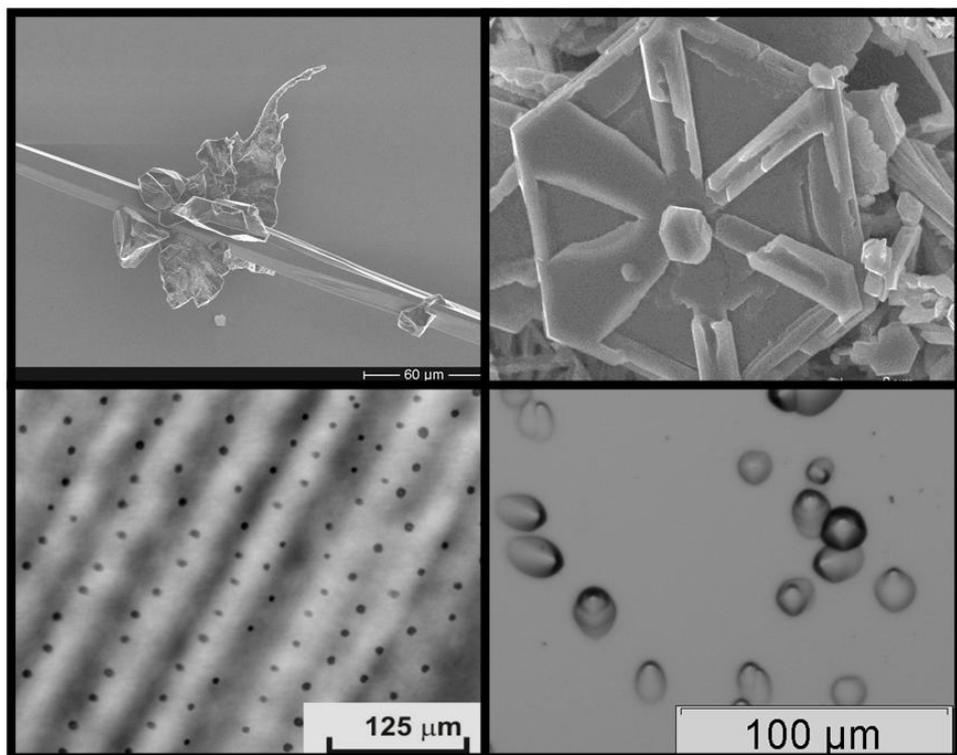




Fraunhofer Institut
Integrierte Systeme und
Bauelementetechnologie

Leistungen und Ergebnisse Jahresbericht 2006

Achievements and Results Annual Report 2006





Impressum / Imprint

Herausgeber / Published by:

Fraunhofer-Institut für
Integrierte Systeme und
Bauelementetechnologie
Schottkystraße 10
D-91058 Erlangen

Redaktion / Editing:

Richard Öchsner
Heiner Ryssel

Gestaltung und Realisierung/ Layout and Setting:

Markus Pfeffer
Richard Öchsner
Felicitas Coenen

Druck / Printed by:

Roland Heßler, Erlangen

Titelbild / Cover Photo:

(von links oben nach rechts unten)
(from the upper left to the lower right)

- SiC/Si₃N₄-Ausscheidung,
herauspräpariert aus gerichtet
erstarrtem Solarsilicium
SiC/Si₃N₄ precipitates, prepared from
directionally solidified solar silicon
- Durch homogene Keimbildung in
einer Gallium-Lösung entstandene
GaN-Kristallite
GaN crystallites grown by homoge-
neous nucleation in a gallium con-
taining solution
- Linienförmige Aufreihung von
Gasblasen in einem Saphirkristall
Linear arrangement of gas bubbles
in a sapphire crystal
- Versetzungen sichtbar als Ätzgruben
auf einem KOH-geätzten SiC-Wafer
Dislocation visible as etch pits on a
SiC wafer etched by KOH

© Fraunhofer-Institut für Integrierte
Systeme und Bauelementetechnologie,
Erlangen 2007

Alle Rechte vorbehalten. Nachdruck nur
mit Genehmigung des Instituts.

All rights reserved. Reproduction only
with express written authorization.

Leistungen und Ergebnisse
Jahresbericht 2006

Achievements and Results
Annual Report 2006

Fraunhofer-Institut für
Integrierte Systeme und
Bauelementetechnologie, IISB

Fraunhofer Institute of
Integrated Systems and
Device Technology, IISB

Institutsleitung / Director:
Prof. Heiner Ryssel

Schottkystrasse 10
D-91058 Erlangen
Telefon / Phone: +49 (0) 9131 761-0
Fax: +49 (0) 9131 761-390
Email: info@iisb.fraunhofer.de
Internet: www.iisb.fraunhofer.de

Das Fraunhofer-Institut für Integrierte Systeme und Bauelementetechnologie (IISB) kann für 2006 erneut auf ein in wissenschaftlicher und wirtschaftlicher Hinsicht sehr erfolgreiches, von Wachstum geprägtes Jahr zurückblicken. Dies gilt nicht nur für den Stammsitz des IISB in Erlangen, sondern auch für seine beiden, erst in den letzten Jahren entstandenen Außenstellen, dem Zentrum für Kfz-Leistungselektronik und Mechatronik (ZKLM) in Nürnberg und dem Technologiezentrum Halbleitermaterialien (THM) im sächsischen Freiberg.

Das IISB wurde 1985 gegründet und entwickelt als Partner der nationalen und internationalen Industrie neue Materialien, Bauelemente, Prozesse und Geräte für die Halbleitertechnologie der Mikro- und Nanoelektronik, einschließlich Kristallzüchtung und Simulation. Darüber hinaus ist das IISB ein Kompetenzzentrum für Leistungselektronik und Mechatronik, speziell für den Automobilbereich. Von dieser Breite und unserer Flexibilität profitieren vor allem auch unsere mittelständischen Kunden. Dies belegt auch der wirtschaftliche Erfolg des Instituts. Der Betriebshaushalt konnte weiter auf rund 9,7 Mio. € gesteigert werden, wobei etwa die Hälfte aus Wirtschaftserträgen gedeckt wird. Hervorzuheben sind auch der generell sehr hohe Anteil an Drittmittel-Erträgen und der erneut starke Anteil an EU-Projektmitteln. Ein Highlight hier ist das Integrierte Projekt SEA-NET zur Evaluierung von europäischen Leading-Edge-Halbleiterfertigungsgeräten, das vom IISB koordiniert wird. Auch die Mitarbeiterzahl des Instituts konnte im Jahr 2006 deutlich auf 126 gesteigert werden.

Welche Bedeutung das IISB hochqualifizierten und engagierten Mitarbeitern beimißt, erkennt man zum Beispiel an den zahlreichen Aktivitäten zur Nachwuchsförderung. Die Betreuung von

Schülerprojekten in regionalen Gymnasien spielt hierbei eine besondere Rolle. So konnte 2006 durch die Unterstützung und Kooperation mit der Abteilung Kristallzüchtung eine Schule ein Preisgeld von der Deutschen Gesellschaft für Kristallwachstum und Kristallzüchtung (DGKK) entgegennehmen. Auch die Abteilung Leistungselektronische Systeme engagierte sich gleich bei mehreren Schülerwettbewerben, unter anderem der Zeitschrift FOCUS, wo die Schüler den mit einer Reise nach Berlin verbundenen Sonderpreis Technik erringen konnten. Die regelmäßige Beteiligung am Girls' Day, dem Mädchen & Technik-Praktikum oder den Erlanger Techniktage für die Bayerische Eliteakademie ist für das Institut eine Selbstverständlichkeit. Auch für den Jugendpreis des Förderkreises für die Mikroelektronik e.V. war das IISB 2006 Gastgeber – gute, aber auch notwendige Voraussetzungen für exzellente Ingenieure der Zukunft.

Exzellenz ist dieser Tage ein viel strapaziertes Wort in der Wissenschaftspolitik. Man demonstriert sie am besten durch exzellente wissenschaftliche Leistungen, die Sie in diesem Bericht nachlesen können und die zum Beispiel durch den Georg-Waeber-Innovationspreis 2006 belegt sind. Exzellenz zeigt sich aber auch in den internationalen Kooperations- und Forschungspartnern. So war das IISB Vorschlagender und Gastgeber für Prof. Wolfgang Windl, den ersten Preisträger des neu geschaffenen Fraunhofer-Bessel-Preises für herausragende Wissenschaftler aus den USA. Und wie jedes Jahr war das Institut Gastgeber für weitere erstklassige Gastwissenschaftler, sei es aus Indien, Russland oder China.

Wie schon seit nun mehr als 20 Jahren ist ein wichtiger Faktor für das erfolgreiche Arbeiten des IISB die enge Partnerschaft mit der Universität Erlangen-Nürnberg und speziell mit dem Lehr-

stuhl für Elektronische Bauelemente (LEB), der in Personalunion mit dem IISB geleitet wird, sowie mit dem Kristalllabor am Lehrstuhl für Werkstoffe der Elektrotechnik, sei es durch den synergetischen Betrieb von insgesamt 1500 m² Reinraumfläche, die Zusammenarbeit in der Lehre an der Universität, die Ausbildung zum Mikrotechnologen oder die gegenseitige Ergänzung in den Forschungsaktivitäten.

Die regionale Verankerung des IISB zeigt sich aber nicht nur durch die intensive Zusammenarbeit mit der Universität und der im Großraum Nürnberg äußerst starken Industrie zur Leistungselektronik oder die Tatsache, daß rund die Hälfte der Industrieaufträge des Instituts von bayerischen Firmen kommen. Auch vermeintliche Nebenschauplätze wie die Präsentation der umweltfreundlichen Hybridmotortechnologie des Instituts für die interessierte Bevölkerung auf der Erlanger High-Tech-Kärwa sind hier von Bedeutung. Das IISB agierte als ein wissenschaftlicher Berater der Bayerischen Landesausstellung 2006 in Nürnberg und stellte mit seinem Hybridmotor ein Ausstellungsstück als Symbol für die wissenschaftliche Leistungsfähigkeit, aber auch für den industriellen Strukturwandel in der Region.

Auch einem internationalen Publikum präsentiert sich das Institut umfassend, sei es durch Konferenzorganisation für den 5th International Workshop on Modeling in Crystal Growth, die 7. Europäische AEC/APC-Konferenz oder seine 8. Jahrestagung 2006 zum Thema Technologiesimulation, durch Messeauftritte wie bei der SEMICON Europa, PCIM und SPS/IPC/Drives oder durch Angebote für Kundenfortbildung, etwa durch den erfolgreichen Workshop zur Lithographiesimulation oder als Exkursionsziel für große Firmen oder das Europäische Patentamt.

Preface

The Fraunhofer Institute of Integrated Systems and Device Technology (IISB) can once again look back on a very successful year in both the scientific and the economic sense, accompanied by considerable growth. This is true not only for the main location of IISB in Erlangen, but also for its two subsidiaries, the Center for Automotive Power Electronics and Mechatronics (ZKLM) in Nuremberg and the Technology Center for Semiconductor Materials (THM) in Freiberg, Saxony, which were established only a few years ago.

IISB was founded in 1985 and develops as a partner of national and international industry new materials, devices, processes, and equipment for semiconductor technology in micro and nanoelectronics, including crystal growth and simulation. Moreover, IISB is a center of excellence for power electronics and mechatronics, especially for the automotive field. This wide range of competencies and our flexibility offer many benefits, especially for our medium-sized enterprise customers. This is documented by the economic success of the institute. The budget was further increased to about 9.7 million € in 2006, with about half the budget being covered by industrial funding. The very high proportion of third-party funds and the again considerable funding from EU projects are also worth mentioning. A highlight in that respect is the EU Integrated Project SEA-NET for the evaluation of European leading-edge semiconductor manufacturing equipment, which is coordinated by IISB. The staff of the institute was significantly increased to 126 in 2006.

Highly qualified and motivated staff is very important for IISB. This is supported, e.g., by numerous activities for the promotion of young researchers. Among others, the supervision of pupils' projects in regional secondary schools plays an important role. In

2006, one school received a financial support from the German Association for Crystal Growth (DGKK) through the cooperation with our Crystal Growth department. Also, the Power Electronic Systems department has been involved in several pupils' competitions, e.g. of the FOCUS magazine, where the pupils were awarded the special technology prize endowed with a trip to Berlin. The regular participation in Girls' Day, Girls & Technology Internship, or the Erlangen Technology Days for the Bavarian Elite Academy is a matter of course for the institute. In 2006, IISB was also the host for the presentation of the youth prize of the regional association for the promotion of microelectronics – good, but also necessary prerequisites for excellent engineers of the future.

Excellence has been a well stressed word in science politics these days. The best way to demonstrate it are excellent scientific achievements which you can read about in this annual report and which are, e.g., documented by the Georg-Waeber Innovation Prize 2006. But excellence can also be shown by our international partners in cooperation and research. For example, Prof. Wolfgang Windl, the first winner of the newly established Fraunhofer-Bessel Prize for outstanding scientists from the US, was proposed and hosted by IISB. And as usual, the institute was host for further high-class guest scientists, e.g., from India, Russia, or China.

For more than 20 years now, an important factor for the successful work of IISB has been the close partnership with the University of Erlangen-Nuremberg, particularly with the Chair of Electron Devices which is directed in personal union with IISB, and with the Crystal Growth Laboratory at the Chair of Electrical Engineering Materials. This partnership is shown, e.g., by synergetic operation of 1500 m² of cleanroom area by LEB and IISB, by collaboration in

teaching at the University or training of apprentices, and by the mutual complementation in research activities.

The regional links of IISB are, however, not only shown by the intensive cooperation with the University, cooperation with the extremely strong power electronics industry in the metropolitan area of Nuremberg, or by the fact that about half of the industrial funding of the institute comes from Bavarian companies. Also, presumably secondary settings are of great importance in that respect, such as the presentation of the environmentally friendly hybrid motor technology of the institute to the interested public at the Erlangen high-tech fair. IISB acted as a scientific advisor of the Bavarian state exhibition 2006 in Nuremberg, and with its hybrid motor presented an exhibit as a symbol for the scientific capabilities, but also for the structural change of industry in the region.

The institute extensively presents itself also on international level, e.g., by conference organization for the 5th International Workshop on Modeling in Crystal Growth, the 7th European AEC/APC Conference, or the 8th IISB Annual Conference, which in 2006 dealt with technology simulation, by participation in trade fairs, such as SEMICON Europa, PCIM, or SPS/IPC/Drives, by offers for customer training, such as the successful workshop on lithography simulation, or as a destination for excursions of large companies or the European Patent Office.

The successful operation and research of IISB in the last year would not have been possible without the support from the government, industrial partners, and public institutions, as well as the dedicated efforts of the IISB staff members, for which I would like to express my heartfelt gratitude.

Das erfolgreiche Arbeiten und Forschen des IISB im vergangenen Jahr 2006 war nur möglich durch die Unterstützung von staatlicher Seite, durch die Auftraggeber aus Industrie und öffentlichen Einrichtungen sowie durch den unermüdlichen Einsatz der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des IISB. Hierfür herzlichen Dank!



Erlangen, März / March 2007

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'M. Ryssel'.

Prof. Dr. Heiner Ryssel

Leistungen und Ergebnisse Jahresbericht 2006

Das Institut im Profil

Ziele	10
Kurzportrait	10
Ansprechpartner	12
Arbeitsschwerpunkte	14
Kompetenzen und Anwendungen	14
Kooperation mit dem Lehrstuhl für Elektronische Bauelemente	14
Kuratorium	18

Das Forschungs- und Dienstleistungsangebot

Institutsspezifische Angebote zur Vertragsforschung	20
Apparative Ausstattung	22
Kontakt und weitere Informa- tionen	26

Das Institut in Zahlen

Mitarbeiterentwicklung	28
Betriebshaushalt	28

Die Fraunhofer-Gesellschaft auf einen Blick

Die Forschungsorganisation	30
Die Forschungsgebiete	30
Die Zielgruppen	30
Das Leistungsangebot	30
Die Vorteile der Vertragsforschung	32
Der Weg zur Zusammenarbeit mit der Fraunhofer-Gesellschaft	32
Fraunhofer-Verbund Mikroelektronik	34
Die Standorte der Forschungseinrich- tungen	35

Technologiesimulation

Schwerpunkte, Trends und Poten- tiale der Abteilung Technologie- simulation	36
Atomics: Verständnis von Aktivierung und Diffusion in fortschrittlichen Silicium-basierenden Materialien ...	38
Monte-Carlo-Simulation von Ätzprozes- sen	40
Maskeneffekt bei hohen numerischen Aperturen	42
Simulation der Kontakt- und Nahfeldbe- lichtung	44

Achievements and Results

Annual Report 2006

Profile of the Institute

Objectives	11
Brief Portrait	11
Contacts	12
Major Fields of Activity	15
Areas of Competence and Applications	15
Cooperation with the Chair of Electron Devices	15
Advisory Board	19

Research and Services

Contract Research Services	21
Facilities	23
Contact and Further Information ..	27

Representative Figures

Staff Development	28
Budget	28

The Fraunhofer-Gesellschaft at a Glance

The Research Organization	31
The Research Fields	31
The Research Clients	31
The Range of Services	31
The Advantages of Contract Research	33
Working Together with the Fraunhofer-Gesellschaft	33
Fraunhofer Alliance Microelectronics	34
Locations of the Research Institutes	35

Technology Simulation

Focal Areas of Research and Development, Trends and Potentials of the Department of Technology Simulation	37
Atomics: Understanding Activation and Diffusion in Advanced Silicon-Based Materials	39
Monte-Carlo Simulation of Etching Processes	41
Mask Effects for Large Numerical Apertures	43
Simulation of Mask Proximity Printing	45

Halbleiterfertigungsgeräte und -methoden

Schwerpunkte, Trends und Potentiale der Abteilung Halbleiterfertigungsgeräte und -methoden 46

Herstellung und Charakterisierung von Ruthenium-Schichten für die Anwendung bei MIM-Kondensatoren 48

ANNA: Europäisches Verbundlabor für die Charakterisierung von Materialien und Oberflächen in der Nano- und Mikroelektronik 50

Charakterisierung von dünnen gesputterten Schichten 52

Technologie

Schwerpunkte, Trends und Potentiale der Abteilung Technologie 54

Neuartige Ausgangsstoffe zur Herstellung von Elektroden für zukünftige CMOS-Anwendungen 56

Charakterisierung und Modellierung von Ladungseinfangmechanismen in dielektrischen Speicherschichten ... 58

Charakterisierung von Gate-Dielektrika mit dem Elymos-Verfahren 60

Kristallzüchtung

Schwerpunkte, Trends und Potentiale der Abteilung Kristallzüchtung 62

Mehrskalenmodellierung der Mikrostruktur bei der gerichteten Erstarrung von Legierungen 64

Eigenschaften von LPSG-GaN-Substraten 66

Untersuchung der Ausscheidungskinetik in multikristallinem Solarsilicium 68

Modellierung und Konvektionsvorgänge beim Gießen von Solarsilicium .. 70

CrysMas- Ein neues Simulationpaket für die Modellierung von Kristallzüchtungsprozessen 72

Leistungselektronische Systeme

Schwerpunkte, Trends und Potentiale der Abteilung Leistungselektronische Systeme 74

Ultrakompakte Stromversorgung für Flachbildschirme 76

Fehleranalyse mittels Ultraschallmikroskopie 78

Havariesicherung bei Leistungsumrichtern 80

Namen, Daten, Ereignisse

Ereignisse 82

Förderkreis für die Mikroelektronik e.V. 98

Gastwissenschaftler 100

Patenterteilungen 101

Mitarbeit in Fachgremien, Fachverbänden und Komitees 102

Konferenzen und Workshops 104

Messebeteiligungen 105

Wissenschaftliche Veröffentlichungen

Dissertationen 106

Herausgegebene Bücher / Buchbeiträge 118

Publikationen 118

Vorträge 121

Studienarbeiten 129

Diplomarbeiten 129

Masterarbeiten 129

Projektarbeiten 129

Semiconductor Manufacturing Equipment and Methods

Focal Areas of Research and Development, Trends and Potentials of the Department of Semiconductor Manufacturing Equipment and Methods 47

Preparation and Characterization of Ruthenium Films for MIM Capacitor Applications 49

ANNA: European Multi-Site-Laboratory for the Characterization of Materials and Surfaces in Nano- and Microelectronics 51

Characterization of Sputtered Layers 53

Technology

Focal Areas of Research and Development, Trends and Potentials of the Department of Technology 55

Novel Precursors for the Deposition of Metal Electrodes for Future CMOS Applications 57

Characterization and Modeling of Charge-Trapping Mechanisms in Dielectric Memory Layers 59

Characterization of Gate Dielectrics Using the Elymos Technique 61

Crystal Growth

Focal Areas of Research and Development, Trends and Potentials of the Department of Crystal Growth 63

Multi-Scale Modeling of the Microstructure Formation during the Directional Solidification of Alloys . 65

Properties of LPSG GaN Substrates 67

Analysis of the Kinetics of the Formation of Precipitates of Multi-crystalline Silicon for Solar Cells 69

Modeling of Melt Convection during Ingot Casting of Silicon for Solar Cells 71

CryMas- a new Simulation Tool for Global Modeling of Crystall Growth Processes 73

Power Electronic Systems

Focal Areas of Research and Development, Trends and Potentials of the Department of Power Electronic Systems 75

Ultra-Compact Power Supply for LCD TV 77

Failure Analysis with Scanning Acoustic microscopy 79

Hazard Protection in Power Inverters 81

Important Names, Data, Events

Events 83

Förderkreis für die Mikroelektronik e.V. 99

Guest Scientists 100

Patents 101

Participation in Committees 102

Conferences and Workshops 104

Fairs and Exhibitions 105

Scientific Publications

PhD Theses 107

Edited Books / Contributions to Books 118

Publications 118

Presentations 121

Theses 129

Diploma Theses 129

Master Theses 129

Project Theses 129

Ziele

Das Fraunhofer-Institut für Integrierte Systeme und Bauelementetechnologie (IISB) hat die Aufgabe, gemeinsam mit der Industrie neue Geräte und Verfahren zur Halbleiterfertigung zu entwickeln und Simulationswerkzeuge zur Beschreibung moderner mikroelektronischer Fertigungsschritte bereitzustellen. Als Kompetenzzentrum für Leistungselektronik entwickelt das IISB darüber hinaus leistungselektronische Bauelemente und Systeme - von Einzeldioden bis hin zu kompletten Prototypen für Schaltnetzteile, Frequenzumrichter u.v.a.m.

Kurzportrait

Das IISB gliedert sich in fünf Abteilungen und arbeitet auf den meisten Gebieten eng mit dem Lehrstuhl für Elektronische Bauelemente sowie bei der Kristallzüchtung mit dem Lehrstuhl für Werkstoffe der Elektrotechnik der Universität Erlangen-Nürnberg zusammen. Die Struktur zeigt das Organigramm in Fig. 1.

Die Institutsleitung des IISB wird durch ein Kuratorium, das Direktorium, den Institutsleitungsausschuß und den Arbeitsschutzausschuß beraten. Dem Institutsleitungsausschuß gehören neben den Abteilungs- und stellvertretenden Abteilungsleitern die Infrastrukturleitung, die Verwaltungsleitung und die gewählten Vertreter des wissenschaftlich-technischen Rates an. Das Direktorium besteht aus der Institutsleitung

und allen Abteilungsleitern. Seit 1994 gibt es einen Betriebsrat, der entsprechend dem Betriebsverfassungsgesetz an den Entscheidungen beteiligt wird.

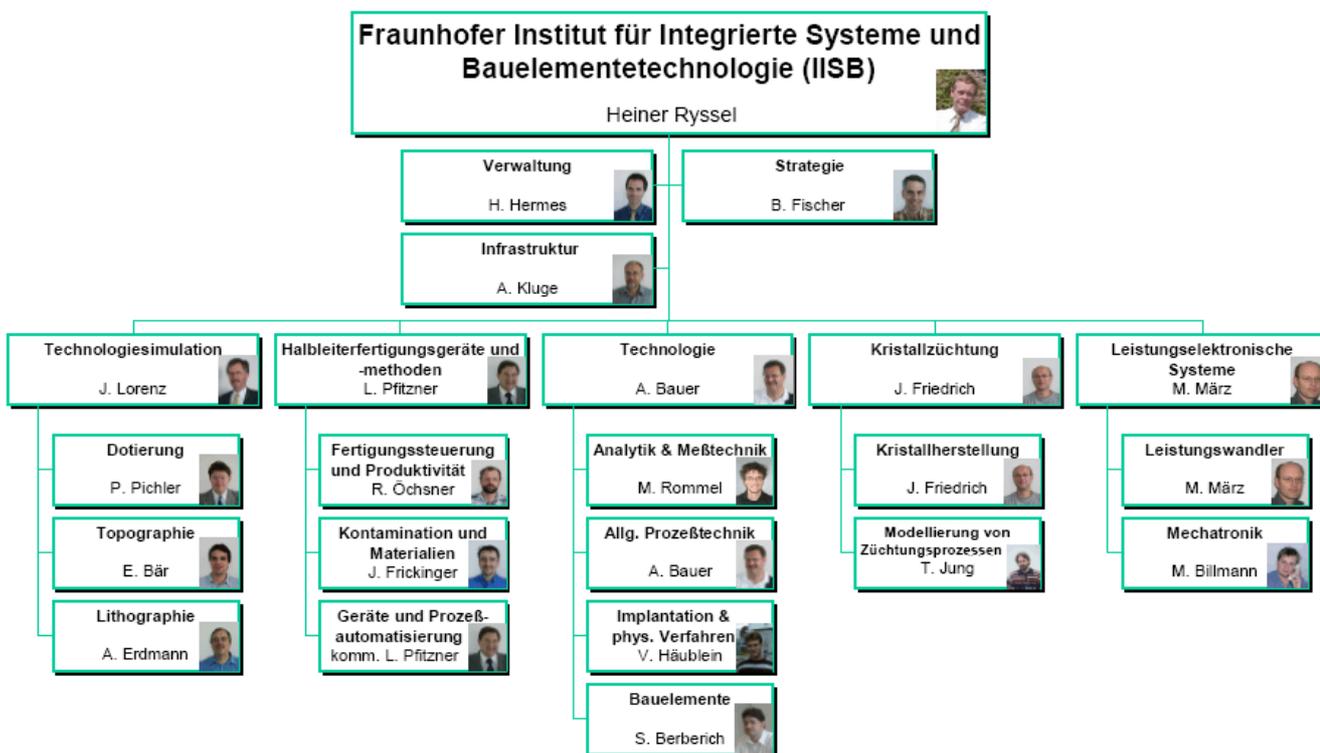


Fig. 1: Organigramm des Fraunhofer-Instituts für Integrierte Systeme und Bauelementetechnologie.

Objectives

Together with its industrial partners, the Fraunhofer Institute of Integrated Systems and Device Technology (IISB) is responsible for developing new equipment and processes in semiconductor manufacturing as well as for providing simulation tools to characterize the process steps involved in modern micro-electronics manufacturing. As a center of excellence for power electronics, the IISB develops power electronic devices and systems - from discrete diodes up to complex prototypes for switch-mode power supplies, drives etc.

Brief Portrait

The IISB consists of five departments and closely cooperates with the Chair of Electron Devices and the Chair of Electrical Engineering Materials of the University of Erlangen-Nuremberg in the field of crystal growth. Fig. 1 shows the organizational structure.

The director of IISB is consulted by an Advisory Board, the Board of Directors, the Institute Executive Committee, as well as by the Workplace Safety Committee. The Institute Executive Committee includes the department heads and vice department heads, the infrastructure manager, the administration manager, and the elected representatives of the Technical Research Board. The board of directors consists of the director of IISB and the heads of all departments. Since 1994, a works council par-

ticipates in decisions according to the Works Council Constitution Act.

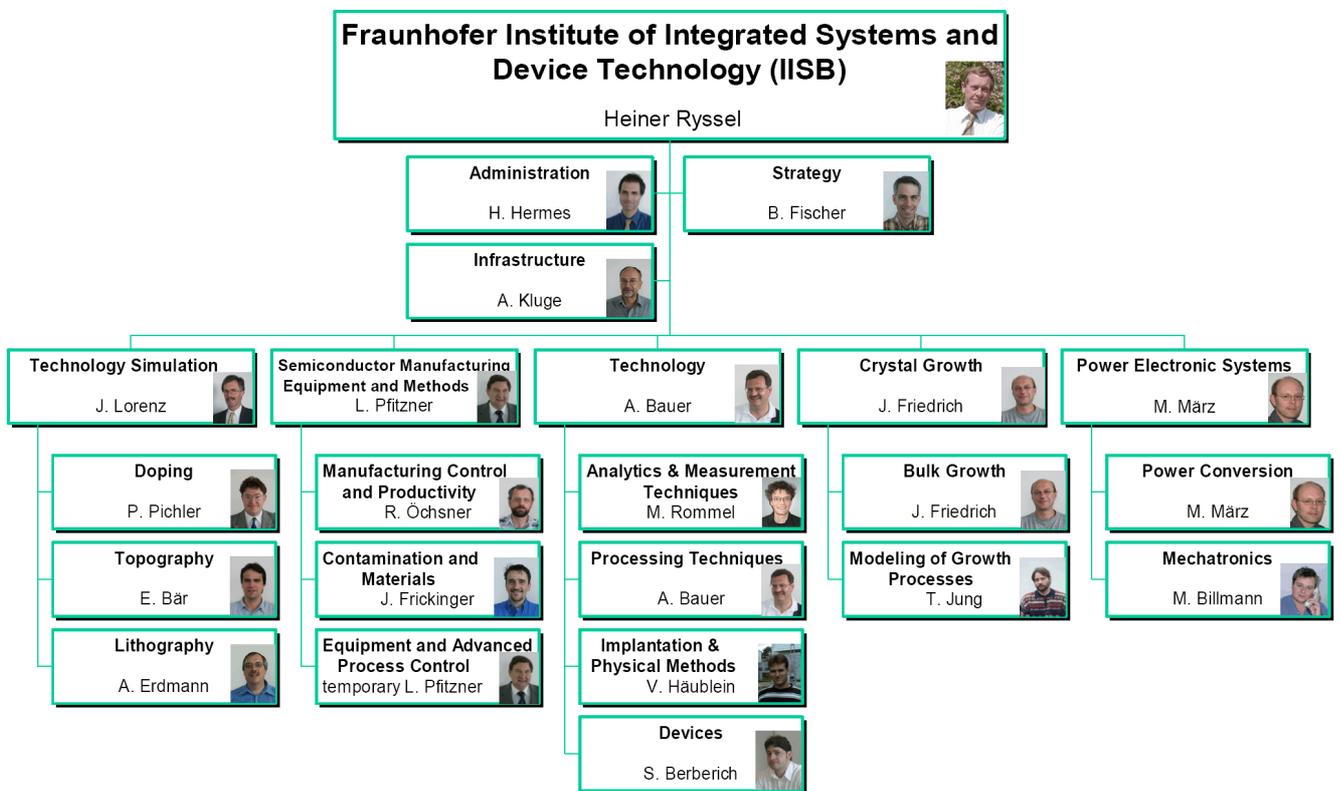


Fig. 1: Organizational structure of the Fraunhofer Institute of Integrated Systems and Device Technology.

Institutsleitung Director

Prof. Heiner Ryszel
Telefon / Phone: +49 (0) 9131 761-0
heiner.ryssel@iisb.fraunhofer.de

Strategie Strategy

Dr. Bernd Fischer
Telefon / Phone: +49 (0) 9131 761-106
bernd.fischer@iisb.fraunhofer.de

Verwaltung

Administration

Hartmut Hermes
Telefon / Phone: +49 (0) 9131 761-305
hartmut.hermes@iisb.fraunhofer.de

Infrastruktur

Infrastructure

Dr. Andreas Kluge
Telefon / Phone: +49 (0) 9131 761-159
andreas.kluge@iisb.fraunhofer.de

Abteilung / Department Technologiesimulation Technology Simulation

Dr. Jürgen Lorenz
Telefon / Phone: +49 (0) 9131 761-210
juergen.lorenz@iisb.fraunhofer.de

Dotierung Doping

Priv.-Doz. Dr. Peter Pichler
Telefon / Phone: +49 (0) 9131 761-227
peter.pichler@iisb.fraunhofer.de

Topographie

Topography

Dr. Eberhard Bär
Telefon / Phone: +49 (0) 9131 761-217
eberhard.baer@iisb.fraunhofer.de

Lithographie

Lithography

Dr. Andreas Erdmann
Telefon / Phone: +49 (0) 9131 761-258
andreas.erdmann@iisb.fraunhofer.de

Abteilung / Department Halbleiterfertigungsgeräte und -methoden Semiconductor Manufacturing Equipment and Methods

Prof. Lothar Pfitzner
Telefon / Phone: +49 (0) 9131 761-110
lothar.pfitzner@iisb.fraunhofer.de

Fertigungssteuerung und Produktivität Manufacturing Control and Productivity

Dr. Richard Öchsner
Telefon / Phone: +49 (0) 9131 761-116
richard.oechsner@iisb.fraunhofer.de

Kontamination und Materialien Contamination and Materials

Jürgen Frickingner
Telefon / Phone: +49 (0) 9131 761-158
juergen.frickingner@iisb.fraunhofer.de

Geräte- und Prozeßautomatisierung Equipment and Advanced Process Control

Prof. Lothar Pfitzner (komm., temp.)
Telefon / Phone: +49 (0) 9131 761-110
lothar.pfitzner@iisb.fraunhofer.de

**Abteilung / Department
Technologie
Technology**

Dr. Anton Bauer
Telefon / Phone: +49 (0) 9131 761-308
anton.bauer@iisb.fraunhofer.de

**Analytik und Meßtechnik
Analytics & Measurement
Techniques**

Mathias Rommel
Telefon / Phone: +49 (0) 9131 761-108
mathias.rommel@iisb.fraunhofer.de

**Allgemeine Prozeßtechnologie
Processing Techniques**

Dr. Anton Bauer
Telefon / Phone: +49 (0) 9131 761-308
anton.bauer@iisb.fraunhofer.de

**Implantation und physikalische
Verfahren
Implantation & Physical Methods**

Dr. Volker Häublein
Telefon / Phone: +49 (0) 9131 761-220
volker.haeublein@iisb.fraunhofer.de

**Bauelemente
Devices**

Dr. Sven Berberich
Telefon / Phone: +49 (0) 9131 761-341
sven.berberich@iisb.fraunhofer.de

**Abteilung / Department
Kristallzüchtung
Crystal Growth**

Dr. Jochen Friedrich
Telefon / Phone: +49 (0) 9131 761-269
jochen.friedrich@iisb.fraunhofer.de

**Kristallherstellung
Bulk Growth**

Dr. Jochen Friedrich
Telefon / Phone: +49 (0) 9131 761-269
jochen.friedrich@iisb.fraunhofer.de

**Modellierung von
Züchtungsprozessen
Modeling of Growth Processes**

Dr. Thomas Jung
Telefon / Phone: +49 (0) 9131 761-264
thomas.jung@iisb.fraunhofer.de

**Abteilung / Department
Leistungselektronische Systeme
Power Electronic Systems**

Dr. Martin März
Telefon / Phone: +49 (0) 9131 761-310
martin.maerz@iisb.fraunhofer.de

**Leistungswandler
Power Conversion**

Dr. Martin März
Telefon / Phone: +49 (0) 9131 761-310
martin.maerz@iisb.fraunhofer.de

**Mechatronik
Mechatronics**

Markus Billmann
Telefon / Phone: +49 (0) 9131 761-234
markus.billmann@iisb.fraunhofer.de

Arbeitsschwerpunkte

Im Arbeitsgebiet Technologiesimulation werden physikalische Modelle und leistungsfähige Simulationsprogramme zur Optimierung von Einzelprozessen und Prozeßfolgen in der Halbleitertechnologie entwickelt und in die Anwendung transferiert. Des Weiteren wird die Entwicklung und Optimierung von Prozessen, Bauelementen und Schaltungen durch Prozeß-, Bauelemente- und Schaltungssimulation unterstützt.

Im Arbeitsgebiet Halbleiterfertigungsgeräte und -methoden werden Firmen bei der Entwicklung und Verbesserung neuer Fertigungsgeräte, Materialien und der zugehörigen Prozesse unterstützt (z.B. durch Integration von in situ-Meßtechniken und durch Minimierung der Kontamination). Ein weiteres Gebiet der Forschungsaktivität ist die Halbleiterfertigungstechnik.

Neue technologische Prozesse und Herstellungsmethoden für die VLSI- und ULSI-Technologie sowie für moderne Leistungsbauelemente werden im Arbeitsgebiet Technologie entwickelt. Im speziellen umfassen die Tätigkeiten unter anderem Oberflächen- und Dünnschichttechnik, Prozesse für dünne dielektrische und metallische Schichten, Nanoelektronik, Schaltkreismodifikation und IC-Reparatur, sowie Entwicklung von Sensoren und Aktoren.

Im Arbeitsgebiet Kristallzüchtung werden Anlagen und Prozesse zur Herstellung von Kristallen für die Mikroelektronik, Optoelektronik, Kommunikationstechnologie, Photovoltaik, Medizintechnik und für die Mikrolithographie entwickelt und optimiert. Dazu werden Simulationsprogramme zur Berechnung von Hochtemperaturanlagen und -prozessen sowie Meßtechniken zur Bestimmung des Stoff- und Wärmetransportes in Kristallzüchtungsprozessen

entwickelt und eingesetzt. Die Materialforschung unter Schwerelosigkeit vervollständigt das Arbeitsgebiet.

Einen weiteren Arbeitsschwerpunkt bildet die Leistungselektronik. Im Rahmen dieses Schwerpunkts werden innovative Lösungen zur monolithischen, hybriden und mechatronischen Systemintegration von Leistungswandlern aller Art wie Schaltnetzteile, Frequenzumrichter usw. entwickelt.

Die Finanzierung erfolgt etwa zu gleichen Teilen durch öffentliche Projekte und Aufträge aus der Halbleiter- und Halbleitergeräte-Industrie. Das Institut beschäftigte im Jahr 2006 126 feste Mitarbeiter. Fast 5000 m² Büro- und Laborfläche stehen zur Bearbeitung von Forschungsaufträgen zur Verfügung. Ferner besteht die Möglichkeit, das Reinraumlabor des Lehrstuhls für Elektronische Bauelemente (Prof. Heiner Rysse) der Universität Erlangen-Nürnberg zu nutzen.

Kompetenzen und Anwendungen

Die Kompetenzen und Anwendungen der anerkannten Forschungstätigkeit des Fraunhofer-Institutes für Integrierte Systeme und Bauelementetechnologie zeigt Fig 2.

Kooperation mit dem Lehrstuhl für Elektronische Bauelemente

Das IISB und der Lehrstuhl Elektronische Bauelemente, Universität Erlangen-Nürnberg, betreiben im Rahmen eines Kooperationsvertrages nicht nur gemeinsam Labore, sondern sind auch bei Ausbildung und Forschung gemeinsam tätig. So beteiligen sich die Mitarbeiter des IISB bei Praktika für Studenten und umgekehrt wird die Berufsausbildung zum „Mikrotechnologen“ im IISB durch Mitarbeiter des Lehrstuhls für Elektro-

nische Bauelemente unterstützt.

Der Lehrstuhl ist daneben in mehreren Forschungsrichtungen mit grundlegenden Vorfeldarbeiten tätig, die auch für das IISB von großem Interesse sind. Dazu gehören Projekte zu neuen Dielektrika und Metal Gate, SiGe-Gateelektroden, SiC und Aktoren.

Major Fields of Activity

The department of Technology Simulation develops physical models and high-performance simulation programs for the optimization of single processes and process sequences in semiconductor technology and transfers them into application. Furthermore, it supports the development and optimization of processes, devices, and circuits by simulation.

The department of Semiconductor Manufacturing Equipment and Methods supports industrial companies in developing and upgrading new manufacturing equipment, materials and relevant processes (e.g. by integrating *in situ* measurement techniques and by minimizing contamination). Research in semiconductor manufacturing technology is an additional field of activity.

New technological processes and manufacturing methods for both VLSI and ULSI technology as well as for advanced power devices are being developed by the Department of Process Technology. The activities include surface and thin film technologies, processes for thin dielectric and metallic layers, nano-electronic, circuit modification and IC repair as well as development of sensors and actors.

The department of crystal growth develops and optimizes equipment and processes for the growth of crystals to be used in microelectronics, optoelectronics, communication technology, photovoltaics, medical technology, and microlithography in collaboration with its industrial partners. It develops and applies simulation programs for modeling of high-temperature equipment and processes as well as measuring techniques for determining the mass and heat transport in crystal growth processes. Material science under micro-

gravity conditions completes the field of activity.

Power electronics is another major field of activity. Innovative solutions for monolithic, hybrid or mechatronic system integration of all kinds of power converters - such as switch-mode power supplies or drive inverters - are developed in this context.

The budget of the Institute is obtained almost equally from public project funding and from contract research performed for the semiconductor and semiconductor equipment industry. IISB had a permanent staff of 126 people in 2006. Nearly 5.000 m² of office and laboratory space provide ample room to perform contract research. Moreover, the staff can use the cleanroom building belonging to the Chair of Electron Devices (University of Erlangen-Nuremberg). Both institutions are headed by Prof. Heiner Ryssel.

Areas of Competence and Applications

The technological expertise and applications offered by the Fraunhofer Institute of Integrated Systems and Device Technology, known for its efficient and internationally renowned contract research activities, are illustrated in Fig. 2.

Cooperation with the Chair of Electron Devices

IISB and the Chair of Electron Devices, University of Erlangen-Nuremberg, do not only operate joint laboratories in the framework of a cooperation contract, but moreover are also working together in education and research. Employees of IISB promote student practical training, and the professional training as "Microtechnologists" at IISB is being supported by employees of the

Chair of Electron Devices.

Furthermore, the Chair of Electron Devices does preliminary basic research work in several areas. This work, which is of great interest to IISB as well, comprises projects regarding new dielectrics and metal gate, SiGe gate electrodes, SiC, and actuators.

Wissenschaftlich-technische Kernkompetenz

IISB

F & E-Produkte

	Prozeßsimulation	Mathematische Algorithmen	Programmierung komplexer Systeme	Halbleiterprozeßtechnik	<i>in situ</i> / on line-Meßtechnik	Gerätekonstruktion (mech., elektr., prozeßtech.)	Halbleiter- u. Bauelementemeßtechnik	Analytik (chem., phys. Kontamination)	Schichttechniken	Kristallzüchtung	Ionenstrahltechniken	Reinigung	Teststrukturen	Bauelementephysik	Leistungselektronik (LE)	Thermische Systemanalyse	LE-Meßtechnik
Physikalische Modelle f. Einzelprozesse u. Strukturen	•		•	•			•	•	•	•	•		•			•	
Rechenprogramm zur Prozeßsimulation		•	•							•				•			
Gerätesimulation			•	•	•				•	•			•		•		•
Geräteentwicklung			•	•	•	•		•		•					•	•	•
Gerätequalifizierung				•			•	•		•			•			•	•
Prozeßautomatisierung	•	•	•	•	•	•				•							•
Materialienqualifizierung				•	•		•	•	•				•			•	
Reinraumtechnik	•			•			•	•				•			•		
Normung				•	•	•	•	•				•	•				•
Prozeßentwicklung	•			•	•		•	•	•	•	•	•	•	•	•		•
Analytische Verfahren				•		•	•	•		•						•	
Bauelemente der Mikrosystemtechnik	•			•			•	•	•		•	•	•	•	•		
Lebensdauerengineering	•			•			•	•			•						
Chippreparatur/Maskenreparatur				•			•		•		•						
Sensorentwicklung	•			•			•	•	•	•	•	•	•	•			
Schaltungs- und Systementwicklung															•	•	•

Fig. 2: Wissenschaftlich-technische Kernkompetenzen des FhG-IISB.

Competencies and Applications

IISB

R & D Products

	Process Simulation	Mathematical Algorithms	Programming of Complex Systems	Semiconductor Physics	<i>in situ</i> / on line Metrology	Equipment Design (mech., electrical, technolog.)	Semiconductor and Device Metrology	Analytics (Chemical and Physical Contamination)	Thin-film Technologies	Crystal Growth	Ion Beam Technologies	Cleaning	Test Structures	Device Physics	Power Electronics (PE)	Thermal System Analysis	PE Metrology
Physical Models for Single Processes	•		•	•			•	•	•	•	•		•			•	
Process Simulation Software		•	•							•				•			
Equipment Simulation			•	•	•				•	•			•		•		•
Equipment Development			•	•	•	•		•		•					•	•	•
Equipment Qualification				•			•	•		•			•			•	•
Process Automation	•	•	•	•	•	•				•							•
Materials Qualification				•	•		•	•	•				•			•	
Cleanroom Technology	•			•			•	•				•			•		
Standardization				•	•	•	•	•				•	•				•
Process Development	•			•	•		•	•	•	•	•	•	•	•	•		•
Analytic Techniques				•		•	•	•		•						•	
Microsystems Technology	•			•			•	•	•		•	•	•	•	•		
Lifetime Engineering	•			•			•	•			•						
Chip Repair / Mask Repair				•			•		•		•						
Sensor Development	•			•			•	•	•	•	•	•	•	•			
Circuit and System Engineering															•	•	•

Fig. 2: Competencies and Applications of the FhG-IISB.



Kuratorium

Die Institutsleitung wird durch ein Kuratorium beraten, dessen Mitglieder aus Wirtschaft und Wissenschaft stammen:

Dr. Reinhard Ploß
Infineon Technologies AG
(Vorsitzender des Kuratoriums)

Prof. Dr. Ignaz Eisele
Universität der Bundeswehr München
Lehrstuhl für Mikrosystemtechnik
(stellvertretender Vorsitzender des Kuratoriums)

Dr. Dietrich Ernst
Vorsitzender des Förderkreises für die
Mikroelektronik e.V.

Prof. Dr. Nikolaus Fiebiger
im Ruhestand, ehemaliger Präsident der
Universität Erlangen-Nürnberg, ehema-
liger Präsident der Bayerischen For-
schungsstiftung

Klaus Jasper
Ministerialdirigent a. D., Bayerisches
Staatsministerium für Wirtschaft, Infra-
struktur, Verkehr und Technologie

Prof. Dr. Alfred Leipertz
Dekan der Technischen Fakultät der
Universität Erlangen-Nürnberg

Dr. Ewald Mörsen
Crystal Growth Consulting

Dr. Karl-Heinz Stegemann
ZFOUNDRY
ZMD Analog Mixed Signal Services
GmbH & Co. KG

Dr. Thomas Stockmeier
SEMIKRON Elektronik GmbH & Co. KG

Dr. Uwe Weigmann
Deutsches Zentrum für Luft- und Raum-
fahrt e.V. (DLR)
Projektträger im DLR Nanoelektronik
und -systeme



Advisory Board

IISB is consulted by an Advisory Board, whose members come from industry and research.

Dr. Reinhard Ploß
Infineon Technologies AG
(Chairman of the Advisory Board)

Prof. Dr. Ignaz Eisele
University of the German Federal
Armed Forces, Munich
(Deputy Chairman of the Advisory
Board)

Dr. Dietrich Ernst
Chief Executive Officer of the
"Förderkreis für die Mikroelektronik
e.V."

Prof. Dr. Nikolaus Fiebiger
retired, former president of the Univer-
sity of Erlangen-Nuremberg, former
managing director of the Bavarian Re-
search Foundation

Klaus Jasper
Ministerialdirigent a. D., Bavarian Mini-
stry of Economic Affairs, Infrastructure,
Transport and Technology

Prof. Dr. Alfred Leipertz
Dean of the Faculty of Engineering
Sciences of the University of Erlangen-
Nuremberg

Dr. Ewald Mörsen
Crystal Growth Consulting

Dr. Karl-Heinz Stegemann
ZFOUNDRY
ZMD Analog Mixed Signal Services
GmbH & Co. KG

Dr. Thomas Stockmeier
SEMIKRON Elektronik GmbH & Co. KG

Dr. Uwe Weigmann
German Aerospace Center (DLR)
Project Management Organisation in
the DLR Nanoelectronics and
Nanosystems

Institutsspezifische Angebote zur Vertragsforschung

Die Arbeitsschwerpunkte des IISB liegen auf dem Gebiet der Simulation der Technologie mikroelektronischer Bauelemente sowie der Herstellungsverfahren von Halbleitermaterialien, der Entwicklung neuer Halbleiterfertigungsgeräte und -methoden sowie der Entwicklung neuer Prozessschritte und Verfahren zur Herstellung höchst- und ultrahochintegrierter Schaltkreise, der Entwicklung von Bauelementen der Mikrosystemtechnik und der Kristallzüchtung sowie der Anlagen zur Herstellung von Kristallen. Einen weiteren Arbeitsschwerpunkt bildet die Leistungselektronik. Hier werden innovative Lösungen zur monolithischen, hybriden und mechatronischen Systemintegration von Leistungswandlern aller Art entwickelt.

Im Bereich der Technologiesimulation werden zusammen mit Partnern leistungsfähige Simulationsprogramme zur kostengünstigen und zügigen Bauelementeentwicklung erstellt, die beispielsweise eine dreidimensionale Vorausberechnung der Ergebnisse der Technologieprozesse gestatten. Neben der Programmerstellung umfassen diese Arbeiten umfangreiche experimentelle Untersuchungen zur Aufstellung von verbesserten physikalischen Modellen. Mit den entwickelten Programmen stehen der Halbleiterindustrie und der Forschung Werkzeuge zur Verfügung, die die Simulation aller wesentlichen Prozessschritte wie Lithographie, Ionenimplantation, Diffusion, Ätzen und Schichtabscheidung gestatten. Die Abteilung unterstützt die Entwicklung von Prozessen, Bauelementen und Schaltungen durch den Einsatz der Simulation

Ein weiterer Schwerpunkt des IISB befaßt sich mit der Entwicklung und Erprobung von Halbleiterfertigungsgerä-

ten und -methoden. Die enge Verbindung zwischen Gerätetechnik, chemisch-physikalischer Verfahrenstechnik und Bauelementetechnologie ist hier von herausragender Bedeutung. Die Abteilung bietet interdisziplinäre Forschungs- und Entwicklungsleistungen ausgehend von einem breiten Know-how und Erfahrungen im Bereich Gerätebau, neue Regelungs- und Steuerungsverfahren, Meßtechnik, chemische Verfahren, Softwareengineering und Fertigungstechnik an. Durch die Anwendung von neuen Simulations- und Entwicklungswerkzeugen können Systemlösungen für Fertigungsgeräte- und Materialhersteller sowie für Halbleiterhersteller entwickelt werden. Beispiele für erfolgreiche neue Entwicklungen sind: Gerätequalifizierung für ultrareine Prozessierung, Meßtechnik für integrierte Qualitätskontrolle, neue Gerätekonzepte und die Integration von Feed-Forward- und Feedback-Regelungen in Fertigungssteuerungen. Die Entwicklungen tragen den steigenden Anforderungen nach schneller Anwendung in ULSI-Fertigungslinien und einer erhöhten Zuverlässigkeit und Produktivität Rechnung. Deshalb verfügt die Abteilung über eine leistungsfähige Analytik zur Charakterisierung von Geräten, Komponenten und Materialien. Daneben steht die Analytik von Spurenverunreinigungen auf Siliciumscheiben in Prozeßchemikalien und in Gasen durch TXRF, AAS und VPD-AAS zur Verfügung.

Die Abteilung Technologie befaßt sich mit der Entwicklung von neuen Prozessschritten und Verfahren für höchstintegrierte Schaltungen, der Entwicklung von Bauelementestrukturen der Leistungselektronik und Mikrosystemtechnik und der Qualifizierung von Gasen und Chemikalien anhand von Testprozessen. In Zusammenarbeit mit dem Lehrstuhl für Elektronische Bauelemente wird dafür ein Reinraum betrieben, welcher die Durchführung der wichtig-

sten Prozessschritte auf Siliciumscheiben von 100 bis größtenteils 200 mm Durchmesser ermöglicht. Für zukünftige VLSI- und ULSI-Bauelemente werden Einzelprozesse entwickelt. Insbesondere werden umfangreiche Arbeiten auf den Gebieten der Erzeugung dünner dielektrischer und metallischer Schichten mittels chemischer Dampfphasenabscheidung unter Verwendung metallorganischer Precursormaterialien, sowie der Implantation von Dopanden bei Nieder- und Hochenergie durchgeführt. Darüber hinaus laufen umfangreiche Arbeiten auf dem Gebiet der Bearbeitung von Nano-Strukturen und der Analyse oder Reparatur von Prototypen elektronischer Bauelemente. Entwicklung von Leistungsbauelementen bzw. von Komponenten für Leistungsbauelemente sind die Aufgaben der Gruppe Bauelemente.

Entwicklungen aus den oben genannten Forschungsschwerpunkten der Abteilung für Bauelementetechnologie werden unterstützt durch meßtechnische Untersuchungen. Zu einem besonderen Schwerpunkt hat sich hier die elektronische Meßtechnik entwickelt. Vor allem klassische Meßverfahren wie MOS-, I(U)-, C(U)-, Schichtwiderstands-, Beweglichkeits-, Dotierungsprofil-, Halleffektmessungen, REM- und TEM-Untersuchungen sowie energiedispersive Röntgenanalyse, aber auch Bestimmung von Linienbreiten, Schichtdicken, Scheibenebenheit und prozeßinduziertem Scheibenverzug werden eingesetzt.

Die Abteilung Kristallzüchtung bietet basierend auf ihrem Know-how aus der Kristallzüchtung und den langjährigen Erfahrungen der Mitarbeiter im Anlagenbau, in der Meßtechnik und in der Computersimulation vielfältige Forschungs- und Entwicklungsleistungen an. Dazu zählt insbesondere die Entwicklung und Optimierung von Anlagen und Prozessen für die Züchtung von Kristallen für die Mikroelektronik,

Contract Research Services

The focal areas of the Institute are technology simulation for advanced manufacturing processes, development of new semiconductor manufacturing equipment and materials, new process steps and methods for manufacturing very-large-scale-integration and ultra-large-scale-integration circuits, devices for microsystems technology and crystal growth processes and equipment. Power electronics is another major field of activity. Innovative solutions for monolithic, hybrid or mechatronic system integration of all kinds of power converters are developed.

In the domain of technology simulation, high-performance simulation tools for a cost-effective and rapid device development are developed in cooperation with partners. These tools allow, for example, a three-dimensional prediction of results to be obtained from technology processes. Apart from the development of software, these activities comprise extensive experimental investigations for designing improved physical models. With the programs developed, the semiconductor industry as well as universities and research centers have tools at their disposal allowing the simulation of all essential process steps, such as lithography, ion implantation, diffusion, etching, and layer deposition. Furthermore, it supports the development and optimization of processes, devices and circuits by simulation.

The second key activity of IISB is the development and testing of semiconductor manufacturing equipment and materials. Most businesses active in this domain have evolved from mechanical engineering or chemical companies and are small or medium-sized. In this context, the close interrelation between equipment technology, physical-chemi-

cal process engineering, and device technology is of outstanding importance. The department provides interdisciplinary R&D services, and a wide range of know-how and skills including mechanical engineering, novel control concepts, metrology, chemical engineering, software engineering, and manufacturing techniques. Using advanced simulation tools and the latest technological developments, the department is able to provide system solutions for the benefit of E&M suppliers as well as for IC manufacturers. Recent examples for advanced developments are equipment characterization methods for ultraclean processing, metrology for integrated quality control, novel equipment concepts, and integration of feedback and feed-forward controls into control systems. Development of new manufacturing tools takes into account the increasing demand for immediate applicability in ULSI production lines and for enhanced reliability and productivity. The present focus of the department is, therefore, on providing complementary analytical characterization of equipment, components, and materials to provide the latest measurement and control techniques to be integrated into equipment being modular measurement systems and the integration of novel monitoring strategy into IC manufacturing. Apart from that, analysis of trace impurities on silicon wafers, in process chemicals and gases through TXRF, AAS and VPD-AAS is performed.

The technology department works on the development of new process steps and methods for the integration of circuits, the processing of device structures in power electronics and microsystems technology, as well as on the qualification of gases and chemicals by means of test processes. For this purpose, IISB and the Chair of Electron Devices maintain joint cleanroom facilities. This allows the implementation of the

most important process steps performed on silicon wafers with diameters from 100 to in the most instances 200 mm. Individual processes are developed for future VLSI and ULSI circuits. Special activities are focused on generating thin dielectric and metallic layers by means of chemical vapor deposition using organo-metallic precursor materials, as well as low and high-energy implantation of dopants. Moreover, research endeavors are being pursued in the domain of nano-structuring and analysis or repair of prototypes of electronic devices. The development of power devices and components for power devices is the challenges of the device group.

Developments achieved in the above-mentioned key areas are supported by metrological services. Classical testing methods, such as MOS, I-V, C-V, sheet resistance, mobility, doping profile, and Hall Effect measurements as well as SEM & TEM investigations, energy-dispersive X-ray analysis, the determination of feature size, layer thickness, wafer planarity, and process-induced wafer warp have evolved to a major field of activity.

The department of crystal growth provides various R&D services which are based on its know-how in crystal growth and solidification as well as on the profound experiences of its co-workers in mechanical engineering, process analysis and computer simulation. R&D services are especially the development and optimization of equipment and processes for melt growth of crystals to be used in microelectronics, optoelectronics, communication technology, photovoltaics, medicine technique and microlithography. Thereby, the strategy is to contribute by experimental and theoretical studies to the identification and quantification of the relation of process conditions on crystal properties and defects. The de-

Optoelektronik, Kommunikationstechnologie, Photovoltaik, Medizintechnik und für die Mikrolithographie. Die Strategie ist dabei, sowohl durch experimentelle als auch theoretische Studien den Zusammenhang zwischen den Prozeßbedingungen und den Kristalleigenschaften bzw. Kristalldefekten zu identifizieren und zu quantifizieren. Dazu verfügt die Abteilung über leistungsfähige, benutzerfreundliche Simulationsprogramme zur Berechnung des globalen Wärme- und Stofftransports in Hochtemperaturanlagen mit komplexer Geometrie. Diese Programme werden in enger Kooperation mit den industriellen Nutzern im Hinblick auf neue oder verbesserte physikalische Modelle, auf Benutzerfreundlichkeit und auf effizientere numerische Algorithmen weiterentwickelt.

Es sind darüber hinaus umfangreiche experimentelle Erfahrungen im Bereich der Entwicklung und Anwendung von Meßtechniken zur Bestimmung des Wärme- und Stofftransports in Kristallzüchtungsanlagen vorhanden. Zusätzlich stehen durch die enge Zusammenarbeit mit dem Institut für Werkstoffwissenschaften, Lehrstuhl für Werkstoffe der Elektrotechnik, zahlreiche Verfahren zur elektrischen und optischen Charakterisierung von Kristallen zur Verfügung.

Das Arbeitsgebiet der Leistungselektronik umfaßt die Bauelemente, Schaltungs- und Systementwicklung für die Antriebs- und Stromversorgungstechnik. Unterstützt werden Firmen in der anwendungsorientierten Vorlauforschung sowie bei der Entwicklung von Prototypen und Kleinserien. Besonderes Augenmerk gilt der mechatronischen Systemintegration, d.h. der Integration von Leistungselektronik, Mikroelektronik, Sensorik und Mechanik. Weitere Themenfelder sind die elektrische und thermische Systemanalyse, Hochtemperaturelektronik, Ansteuerschaltungen

für Leistungsbaulemente, innovative Lösungen zur Energie-Einsparung und Wirkungsgradoptimierung, leistungselektronische Meßtechnik, Bauteilcharakterisierung und Modellbildung.

Durch einen Kooperationsvertrag zwischen der FhG und der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg ist das IISB sehr eng mit dem Lehrstuhl für Elektronische Bauelemente sowie mit dem Institut für Werkstoffwissenschaften, Lehrstuhl für Werkstoffe der Elektrotechnik, verknüpft. Dies ermöglicht die gemeinsame Nutzung vorhandener Forschungseinrichtungen, Abstimmung der Forschungsaktivitäten und anwendungsorientierte Lehre und Ausbildung auf dem Gebiet der Technologie der Mikroelektronik.

Nicht nur über die Zugehörigkeit zum Fraunhofer-Verbund Mikroelektronik und der Einbindung in die Technische Fakultät der Universität Erlangen-Nürnberg, sondern auch über die Verbindung zu zahlreichen Lehrstühlen und Instituten anderer Universitäten, Forschungseinrichtungen und Organisationen in Deutschland, im europäischen Ausland, in Nordamerika, Japan und China wird die wissenschaftliche Forschungsbasis auf dem Gebiet der Herstellung und der Technologie der Mikroelektronik verbreitert und langfristig gesichert.

Apparative Ausstattung

Das Institut für Integrierte Systeme und Bauelementetechnologie verfügt über eine Fläche von 4780 m², davon 2620 m² Büro- und Sonderflächen sowie 1590 m² Laborräume. Gemeinsam mit dem Lehrstuhl für Elektronische Bauelemente wird die Reinraumhalle der Universität mit 600 m² genutzt.

Bei der Auswahl und Beschaffung der Technologiegeräte wurde besonderer

Wert auf die industriekompatible Ausstattung des Halbleiterlabors gelegt. Die Prozeßgeräte ermöglichen durchgängig die Bearbeitung und meßtechnische Auswertung von Siliciumscheiben bis 150 mm Durchmesser, auch die Scheibenhandhabung von Kassette zu Kassette entspricht dem in der Industrie geforderten Standard.

Im einzelnen stehen zur Verfügung:

Technologiegeräte

- Oxidation: 3-Stock- und 4-Stock-Öfen, 300-mm-Vertikalöfen, Kurzzeitoxidation, Rohrreinigungsanlage
- Dotierung: 5 Ionenimplantationsanlagen einschließlich einer Hochenergieimplantationsanlage bis zu 6 MeV, Diffusions- und Temperöfen, Kurzzeitausheilapparaturen
- Schichtabscheidung: LPCVD von SiO₂, Si₃N₄, Polysilicium, BPSG, metallorganische CVD für Isolatoren hoher Dielektrizitätskonstante und Metalle, Elektronenstrahlverdampfung, Widerstandsverdampfung und induktiver Verdampfer, Sputteranlage für hochschmelzende Metalle, Platin und Aluminium, Ausheil- und Epitaxieanlagen für SiC
- Ätztechnik: Plasma- und RIE-Trockenätzer für SiO₂, Si₃N₄, Silicium, Aluminium, Lackveraschung, Naßätzbänke für alle wesentlichen Ätzschritte
- Polieren: Doppelseitenpoliermaschine, Einseitenpoliermaschine (Chemical Mechanical Polishing)
- Reinigung: Endreinigungsanlage
- Lithographie: Projektions- und Proximity-Belichtungsgeräte, automatische Lackstraße für Belackern und Entwickeln
- Nanoimprint-Lithographie: Nano-Patterning-Stepper (NPS) 300; Strukturierung von Substraten mit Durchmessern bis 200 mm
- 2 Bonder (Hand und Automatik), Verkapselung

partment is provided with highly efficient user-friendly simulation programs, which are especially suitable for heat and mass transport calculations in high-temperature equipment with complex geometry. These computer codes are continuously further developed in close cooperation with industry with regard to new or improved physical models, to an easier way to use the programs and to more efficient algorithms. Furthermore, profound experimental experience exists in the development and application of process analysis, especially for the determination of heat and mass transport in crystal growth equipment. In addition, numerous methods for electrical and optical characterization of crystals are available due to a close collaboration with the Institute of Material Science, Department for Electrical Engineering Materials.

The Power Electronic Systems department is engaged in circuit and system engineering for drive and power generation technology. We support our partners in application-oriented research projects, in circuit design and prototype engineering. A focus is on mechatronic system integration, i.e. the integration of power electronics, microelectronics, remote sensing, and mechanics. Further topics are electrical and thermal system engineering, high-temperature electronics, driver circuits, innovative solutions for energy saving and efficiency optimization, measuring techniques for power electronics, device characterization and modeling.

Through a cooperation contract between the Fraunhofer-Gesellschaft and the Friedrich-Alexander University of Erlangen-Nuremberg, IISB and the Chair of Electron Devices as well as the Institute of Material Science, Department for Electrical Engineering Materials, maintain a close link enabling them to share available R&D infrastructure and equipment as well as to coordinate re-

search activities and application-oriented teaching and professional training in the domain of microelectronics.

Not only by its membership of the Fraunhofer Alliance Microelectronics and its incorporation into the Engineering Faculty of the University of Erlangen-Nuremberg, but also by its connections to numerous chairs and institutes of other universities, research institutions, and organizations in Germany as well as in other European countries, in North America, Japan, and China, the basis for scientific research in the field of the technology and fabrication of microelectronic products is enlarged and guaranteed in the long run.

Facilities

The Institute of Integrated Systems and Device Technology has a total of 4,780 m² of floor space at its disposal; 2,620 m² for offices and special purposes and 1,590 m² of laboratory space. In addition, 600 m² of clean-room space are shared with the Chair of Electron Devices (University of Erlangen-Nuremberg).

Great importance was attached to the compatibility of the semiconductor laboratory equipment with industry standards. The entire equipment enables processes and metrological evaluation of silicon wafers with a diameter of up to 150 mm. Also, the cassette-to-cassette wafer handling meets the high standards required by the semiconductor industry.

The IISB has the following equipment at its disposal:

Processing Equipment

- Oxidation: 3-stage and 4-stage furnaces, 300 mm vertical furnace, rapid thermal oxidation, tube clean-

ing system

- Doping: 5 ion implanters, including a high-energy implanter (up to 6 MeV), diffusion and annealing furnaces, rapid thermal annealing units
- Layer deposition: LPCVD of SiO₂, Si₃N₄, polysilicon, BPSG, metal-organic CVD of high-k dielectrics and metals, electron beam evaporation, resistance evaporation, and inductive evaporator, sputtering system for refractory metals, platinum and aluminum, annealing and epitaxy systems for SiC
- Etching methods: plasma and RIE dry etcher for SiO₂, Si₃N₄, silicon, aluminum, resist ashing, wet benches for all essential etching steps
- Polishing: double side polishing, chemical mechanical polishing
- Cleaning: final cleaning equipment
- Lithography: projection and proximity exposure systems, automatic wafer track for coating and developing
- Nanoimprint Lithography: Nano Patterning Stepper (NPS) 300; structuring of substrates with diameters up to 200 mm
- 2 bonders (manual and automatic), packaging
- Al wedge bonding
- Vacuum vapor phase soldering
- Class 100 cleanrooms for the development, testing, prequalification, and mounting of semiconductor manufacturing equipment with
 - MESC-compatible cluster platform with XPS measurement module
 - Test set-up for particle measurements
 - Test set-up for plasma diagnostics
 - Vertical furnace with in situ layer thickness metrology
- Silicon wafer marker
- Facilities for crystal growth: 5 high pressure furnaces, 1 multi-zone furnace for high vacuum and reactive atmosphere, several multi-zone furnaces, among other things for special applications
- Wire saw and polishing machines

- Al-Dickdraht-Bonder
- Vakuum-Dampfphasenlötanlage
- Reinräume der Klasse 100 für die Entwicklung, Erprobung, Vorqualifikation und Montage von Halbleiter-Fertigungsgeräten mit
 - MESC-kompatibler Clusterplattform mit XPS-Messmodul
 - Versuchsstand für Partikelmessung
 - Versuchsstand für Plasmadiagnostik
 - Vertikalofen mit in situ-Schichtdickenmeßtechnik
- Siliciumscheibenbeschrifter
- Kristallziehanlagen: 5 Hochdruckofenanlagen, 1 Mehrzonenofenanlage für Hochvakuum bzw. Reaktivgase, mehrere Mehrzonenöfen u.a. für spezielle Einsatzgebiete
- Drahtsäge und Poliermaschinen

Meßtechnik und Analytik

- Widerstandsmapping (Vierspitzen und Spreading Resistance)
- Profile von Ladungsträgerkonzentration und -beweglichkeit (Hall-Meßplatz, Spreading-Resistance)
- Diffusionslänge und Lebensdauer von Minoritätsladungsträgern (Electrolytical Metal Tracer (ELYMAT), Microwave Detected Photoconductivity Decay (μ -PCD))
- Oxidladungs- und Grenzflächenzustandsdichte (hoch- und niederfrequente Kapazitäts-Spannungs-Messung, Thermo-Streß)
- Haftstellen-Konzentration (Deep Level Transient Spectroscopy (DLTS))
- I(U)- und C(U)-Messungen mit manuellen oder automatischen Scheibenprobern
- Solarzellenmeßplatz
- C(U) und DLTS für Messung von flachen und tiefen Störstellen
- Oszilloskope bis 10 GS/s (Giga-Samples/Sekunde)
- IR-Thermographie
- Z_{in} -Meßplatz
- Normgerechte Burst/Surge-Generatoren, Load-dump, ESD

- Netzleistungs- und Oberwellen-Analysator
- Klimatestkammer
- Lastwechseltesteinrichtung
- Impedanzanalysator
- Teilentladungsmessung
- DC-Quellen und elektronische Lasten bis 60 kW
- Motorprüfstand (bis 40 kW)
- Photometer
- Scheibendicke und -form (kapazitiv)
- Schichtdicken (optisch mit Ellipsometer oder Interferometer, mechanisch mit Profilometer, schnelles Interferometer für in situ-Messungen, Spektralellipsometer (in situ, ex situ))
- Strukturbreiten (Rasterelektronenmikroskop, Laserrasterelektronenmikroskop, AFM)
- Partikelkontamination (für strukturierte und nicht strukturierte Scheiben)
- Elektronenoptische Untersuchungen (Transmissions- und Rasterelektronenmikroskop, Probenpräparation)
- Mechanische Spannungen in dünnen Schichten
- Interferometer
- Rasterelektronenmikroskop (REM) mit energiedispersiver Röntgenstrahlanalyse (EDX)
- Feldemissions-Rasterelektronenmikroskop (REM)
- Rasterkraftmikroskope (AFM) zur Topographie- bzw. Rauigkeitsbestimmung
- Rasterkraftmikroskop für elektrische Messungen: Tunnel- bzw. Leckstrombestimmung (TUNA), Bestimmung des Ausbreitungswiderstands (SSRM), Kapazitätsmessung (SCM)
- Sekundärionen-Massenspektrometer (SIMS)
- Neutralteilchen-Massenspektrometer (SNMS)
- Photoelektronen-Spektrometer (XPS)
- Atomabsorptionsspektrometer (AAS)
- Scheibenoberflächenpräparationssystem (WSPS)
- Pack Extraction Method (PEM)
- Transmissionselektronenmikroskop

- (TEM)
- Totalreflexions-Röntgenfluoreszenz-Analyse (TXRF)
- UV / VIS / NIR Spektrometer
- Atmosphärendruckionisations-Massenspektrometer (APIMS)
- Kontaktwinkelmessgerät
- Magnetsektorfeld-Massenspektrometer
- Flüssigchromatograph (LC)
- TOC-/DOC-Meßgeräte
- Partikelzähler für flüssige und gasförmige Medien und zur Überwachung der Reinraumqualität
- 2 Feinfokusionenstrahlanlagen (FIB)
- Laserrasterelektronenmikroskop (LSM)
- Thermowellanalyse
- optisches System zur Siliciumscheideninspektion und Defektklassifikation
- Gaschromatograph-Massenspektrometer mit Thermodesorption (TD)-GC-MS
- Kalometrie, Thermodynamik (DTA und DSC)
- Fouriertransformations-Infrarot-Spektroskopie (FTIR)

Meßtechnik und Analytik für 300-mm-Scheiben

- Schichtdickenmessung (Spektral- und Einwellenellipsometrie, Interferometrie)
- Gasphasenzersetzung (VPD) mit und ohne automatischem Tropfenscanner
- Atomabsorptionsspektroskopie (AAS)
- Scheibenoberflächenpräparationssystem (WSPS)
- Pack Extraction Method (PEM)
- Optische Emissionsspektroskopie (ICP-OES)
- Gaschromatograph-Massenspektrometrie (GC-MS)
- Totalreflexions-Röntgenfluoreszenz-Analyse (TXRF)
- Diffusionslänge und Lebensdauer von Minoritätsladungsträger mit Electrolytical Metal Tracer (ELYMAT)

Metrology and Analytics

- Resistivity mappings (four point probe and spreading resistance)
- Profile of carrier concentration and mobility (Hall measuring set, spreading resistance)
- Diffusion length and lifetime of minority carriers (Electrolytical Metal Tracer (Elymat), Microwave Detected Photoconductivity Decay (μ -PCD))
- Oxide-charge and interface-state density (high and low-frequency capacitance voltage measurement, thermal stress)
- Trap density (Deep Level Transient Spectroscopy (DLTS))
- I-V and C-V measurements with manual or automatic wafer probers
- Solar cell measurement setup
- C-V and DLTS for measurement of shallow and deep levels
- Oscilloscopes up to 10 GS/s (Gigasamples per second)
- Thermal imaging system
- Z_{th} measurement equipment
- Burst and surge pulse sources, load-dump, ESD
- Three-phase power meter with line harmonic analyzer
- Climatic test cabinet
- Power cycling test equipment
- Impedance analyzer
- Partial discharge measuring
- DC power sources and electronic loads up to 60 kW
- Drive test bench (up to 40 kW)
- Photometer
- Wafer thickness and shape (capacitive)
- Layer thickness (optically with ellipsometer or interferometer, mechanically with profilometer, rapid interferometer for in situ measurements, spectral ellipsometer (in situ, ex situ))
- Feature size (scanning electron microscope, laser scanning microscope, AFM)
- Particle contamination (patterned and unpatterned)
- Transmission and scanning electron microscopy with digital image processing, sample preparation
- Mechanical stress in thin films
- Interferometer
- Scanning electron microscope (SEM) with energy-dispersive X-ray analysis (EDX)
- Atomic force microscopes (AFM) for topography and roughness measurements
- Atomic force microscope for electrical measurements: tunnel and leakage current (TUNA), spreading resistance (SSRM), capacitance (SCM)
- Field-emission scanning electron microscope (SEM)
- Secondary ion mass spectroscopy (SIMS)
- Secondary neutral mass spectroscopy (SNMS)
- X-ray photoelectron spectroscopy (XPS)
- Atomic absorption spectroscopy (AAS)
- Wafer surface preparation system (WSPS)
- Pack extraction method (PEM)
- Transmission electron microscope (TEM)
- Total-reflection X-ray fluorescence analysis (TXRF)
- UV / VIS / NIR spectrometer
- Atmospheric pressure ionization mass spectrography (APIMS)
- Contact angle measurement tool
- Magnetic sector field mass spectrography
- Liquid chromatography (LC)
- TOC / DOC measurement tools
- Particle counter for liquid and gaseous media and for monitoring cleanroom quality
- 2 focused ion beam systems (FIB)
- Laser scanning microscope (LSM)
- Thermal wave metrology
- Optical system for wafer inspection and classification
- Gas chromatography mass spectrometer with thermo-desorption (TD) GC MS

- Calometry, thermodynamics (DTA and DSC)
- Fourier transformation infrared spectroscopy (FTIR)

Metrology and Analytics for 300 mm Wafers

- Layer thickness (single-wavelength and spectral ellipsometer, interferometer)
- Vapor phase decomposition (VPD) with or without automatic droplet scanner
- Atomic absorption spectroscopy (AAS)
- Wafer surface preparation system (WSPS)
- Pack extraction method (PEM)
- Optical emission spectroscopy with inductively coupled plasma (ICP-OES)
- Gas chromatography mass spectrometer with thermo desorption (TD) GC MS
- Total-reflection X-ray fluorescence analysis (TXRF)
- Diffusion length and lifetime of minority carriers (Electrolytical Metal Tracer (ELYMAT))
- Particle counter
- Fourier transformation infrared spectroscopy (FTIR)
- Thermo-desorption
- Defect inspection of unpatterned wafer surfaces
- Microscope with digital image processing

Software Tools

- Circuit simulation tools Pspice, Simplorer
- 3-D thermal FEA
- Ansoft PEMAG
- Various tools (commercial ones as well as in-house developments) for equipment, process, and device simulation, e.g. ICECREM, TRIM, DIOS, DESSIS, FLOOPS, SENTAURUS, RAPHAEL, SOLID, DEP3D, ANETCH, Dr.Litho, ENCOTION

- Partikelmessungen
- Fouriertransformations-Infrarot-Spektroskopie (FTIR)
- Thermodesorption
- Defektinspektion auf unstrukturierten Scheibenoberflächen
- Mikroskop mit digitaler Bildverarbeitung

Softwareausstattung

- Schaltungssimulatoren Pspice, Simplorer
- Flotherm (3D thermische FEA)
- Ansoft PEMAG
- Verschiedene Programme (sowohl kommerzielle Programme als auch Eigenentwicklungen) für Geräte-, Prozeß- und Bauelementesimulation, z. B. ICECREM, TRIM, DIOS, DESSIS, FLOOPS, SENTAURUS, RAPHAEL, SOLID, DEP3D, ANETCH, Dr.Litho, ENCOTION
- Arena (Logistik-Simulation)
- Cadence Design Paket zur Synthese von Analog-Mixed-Signal ASICs
- Entwicklungswerkzeuge zur Gerätesteuerung
- Fuzzyentwicklungssystem

Rechner

- Leistungsfähiges Rechner-Netzwerk zur Durchführung von Simulationen, Arbeitsplatz- und Steuerrechner

Kontakt und weitere Informationen

Öffentlichkeitsarbeit

Dr. Bernd Fischer
Telefon: +49 (0) 9131 761-106
Fax: +49 (0) 9131 761-102
info@iisb.fraunhofer.de

Technologiesimulation

Dr. Jürgen Lorenz
Telefon: +49 (0) 9131 761-210
Fax: +49 (0) 9131 761-212
juergen.lorenz@iisb.fraunhofer.de

Halbleiterfertigungsgeräte und -methoden

Prof. Lothar Pfitzner
Telefon: +49 (0) 9131 761-110
Fax: +49 (0) 9131 761-112
lothar.pfitzner@iisb.fraunhofer.de

Technologie

Dr. Anton Bauer
Telefon: +49 (0) 9131 761-308
Fax: +49 (0) 9131 761-360
anton.bauer@iisb.fraunhofer.de

Kristallzüchtung

Dr. Jochen Friedrich
Telefon: +49 (0) 9131 761-269
Fax: +49 (0) 9131 761-280
jochen.friedrich@iisb.fraunhofer.de

Leistungselektronische Systeme

Dr. Martin März
Telefon: +49 (0) 9131 761-310
Fax: +49 (0) 9131 761-312
martin.maerz@iisb.fraunhofer.de

- Arena (discrete event simulation)
- Cadence design package for syntheses of analog mixed-signal ASICs
- Development tools for equipment control
- Fuzzy development system

Computers

- Powerful computer network for performing simulations, PCs, and control computers



Contact and Further Information

Public Relations

Dr. Bernd Fischer
Phone: +49 (0) 9131 761-106
Fax: +49 (0) 9131 761-102
info@iisb.fraunhofer.de

Technology Simulation

Dr. Jürgen Lorenz
Phone: +49 (0) 9131 761-210
Fax: +49 (0) 9131 761-212
juergen.lorenz@iisb.fraunhofer.de

Semiconductor Manufacturing Equipment and Methods

Prof. Lothar Pfitzner
Phone: +49 (0) 9131 761-110
Fax: +49 (0) 9131 761-112
lothar.pfitzner@iisb.fraunhofer.de

Technology

Dr. Anton Bauer
Phone: +49 (0) 9131 761-308
Fax: +49 (0) 9131 761-360
anton.bauer@iisb.fraunhofer.de

Crystal Growth

Dr. Jochen Friedrich
Phone: +49 (0) 9131 761-269
Fax: +49 (0) 9131 761-280
jochen.friedrich@iisb.fraunhofer.de

Power Electronic Systems

Dr. Martin März
Phone: +49 (0) 9131 761-310
Fax: +49 (0) 9131 761-312
martin.maerz@iisb.fraunhofer.de

Mitarbeiterentwicklung

2006 beschäftigte das IISB 126 Mitarbeiter. Fig. 3 zeigt die Entwicklung des Personalstandes seit 1996.

Staff Development

In 2006, IISB had 126 employees. Fig. 3 shows the staff development since 1996.

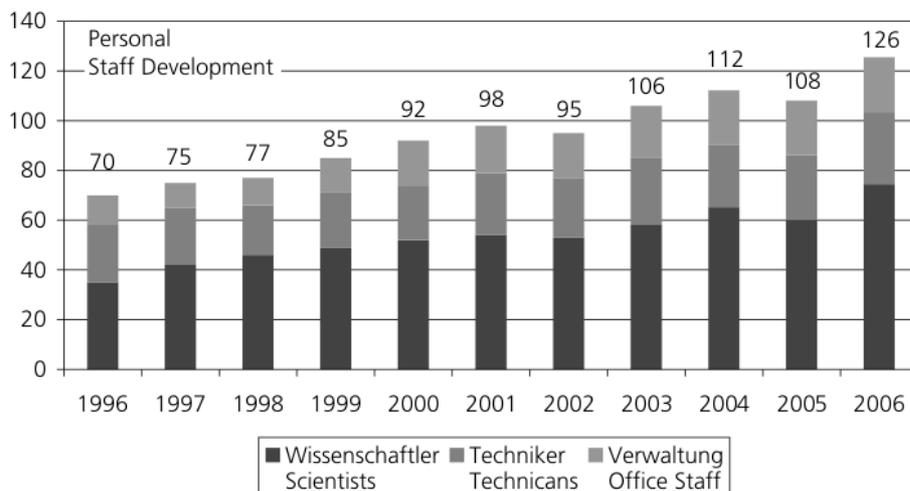


Fig. 3: Personalentwicklung 1995 - 2006; Staff development 1995 - 2006.

Betriebshaushalt

Fig. 4 und Fig. 5 geben eine schnelle Orientierung über die wichtigsten Kennziffern bei Aufwand und Finanzierung des IISB.

Budget

Fig. 4 and Fig. 5 give a quick overview of the most important representative figures in terms of funding and investments of IISB.

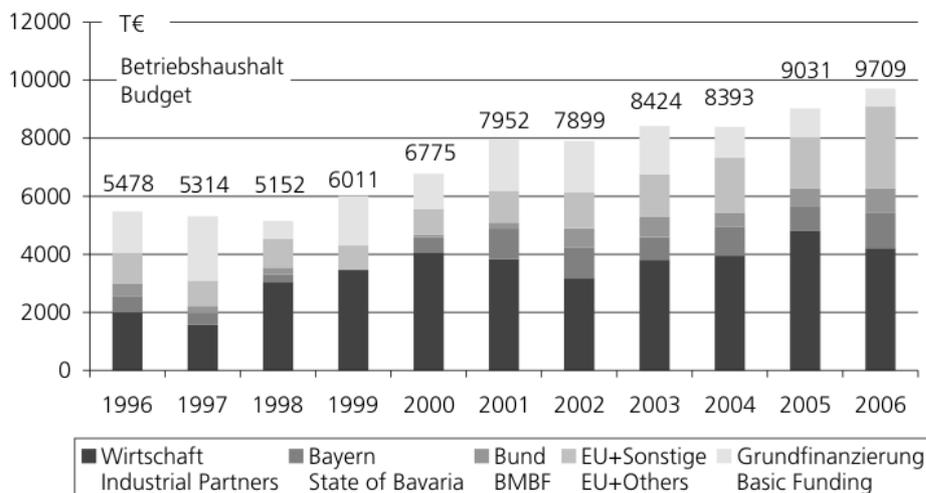


Fig. 4: Entwicklung des Betriebshaushaltes; Budget development IISB.

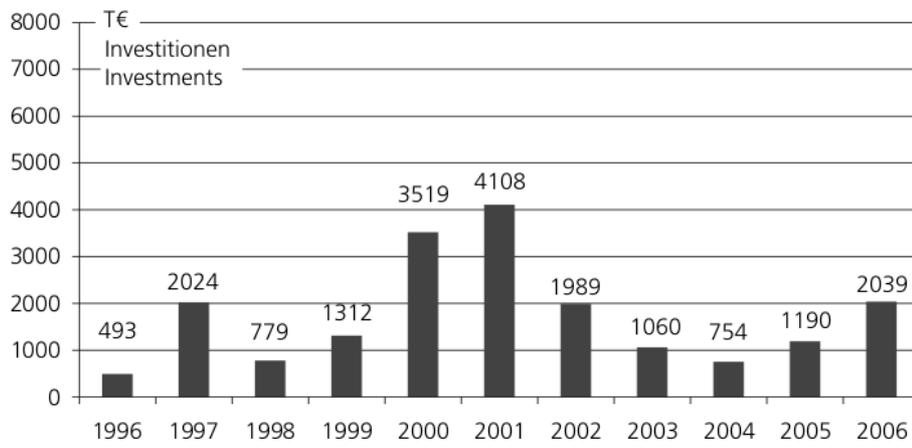


Fig. 5: Entwicklung des Investitionshaushaltes;
Development of investments.

Die Forschungsorganisation

Forschung für die Praxis ist die zentrale Aufgabe der Fraunhofer-Gesellschaft. Die 1949 gegründete Forschungsorganisation betreibt anwendungsorientierte Forschung für die Wirtschaft und zum Vorteil der Gesellschaft. Vertragspartner und Auftraggeber sind Industrie- und Dienstleistungsunternehmen sowie die öffentliche Hand. Im Auftrag von Ministerien und Behörden des Bundes und der Länder werden zukunftsrelevante Forschungsprojekte durchgeführt, die zu Innovationen im öffentlichen Nachfragebereich und in der Wirtschaft beitragen.

Die Wirkung der angewandten Forschung geht über den direkten Nutzen für die Kunden hinaus: Mit ihrer Forschungs- und Entwicklungsarbeit tragen die Fraunhofer-Institute zur Wettbewerbsfähigkeit der Region, Deutschlands und Europas bei. Sie fördern Innovationen, stärken die technologische Weiterentwicklung, verbessern die Akzeptanz moderner Technik und sorgen auch für Information und Weiterbildung des dringend benötigten wissenschaftlich-technischen Nachwuchses.

Ihren Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern bietet die Fraunhofer-Gesellschaft die Möglichkeit zur fachlichen und persönlichen Entwicklung für anspruchsvolle Positionen in ihren Instituten, in anderen Bereichen der Wissenschaft, in Wirtschaft und Gesellschaft. Studentinnen und Studenten an Fraunhofer-Instituten eröffnen sich wegen der praxisnahen Ausbildung und Erfahrung hervorragende Einstiegs- und Entwicklungschancen in Unternehmen.

Die Fraunhofer-Gesellschaft betreibt derzeit mehr als 80 Forschungseinrichtungen, davon 56 Institute, an 40 Standorten in ganz Deutschland.

12 500 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, überwiegend mit natur- oder ingenieurwissenschaftlicher Ausbildung, bearbeiten das jährliche Forschungsvolumen von 1,2 Milliarden €. Davon fallen mehr als 1 Milliarde € auf den Leistungsbereich Vertragsforschung. Zwei Drittel dieses Leistungsbereichs erwirtschaftet die Fraunhofer-Gesellschaft mit Aufträgen aus der Industrie und mit öffentlich finanzierten Forschungsprojekten. Nur ein Drittel wird von Bund und Ländern als Grundfinanzierung beigesteuert, damit die Institute Problemlösungen erarbeiten können, die erst in fünf oder zehn Jahren für Wirtschaft und Gesellschaft aktuell werden.

Niederlassungen in Europa, in den USA und in Asien sorgen für Kontakt zu den wichtigsten gegenwärtigen und zukünftigen Wissenschafts- und Wirtschaftsräumen.

Namensgeber der als gemeinnützig anerkannten Fraunhofer-Gesellschaft ist der Münchner Gelehrte Joseph von Fraunhofer (1787-1826), der als Forscher, Erfinder und Unternehmer gleichermaßen erfolgreich war.

Die Forschungsgebiete

Die Schwerpunkte der Forschungs- und Entwicklungsarbeit an den Fraunhofer-Instituten sind acht Forschungsgebieten zugeordnet:

- Werkstofftechnik, Bauteilverhalten
- Produktionstechnik, Fertigungstechnologie
- Informations- und Kommunikationstechnik
- Mikroelektronik, Mikrosystemtechnik
- Sensorsysteme und Prüftechnik
- Verfahrenstechnik
- Energie- und Bautechnik, Umwelt- und Gesundheitsforschung
- Technisch-ökonomische Studien, In-

formationsvermittlung

Die Zielgruppen

Die Fraunhofer-Gesellschaft ist sowohl der Wirtschaft und dem einzelnen Unternehmen als auch der Gesellschaft verpflichtet. Zielgruppen und damit Nutznießer der Forschung der Fraunhofer-Gesellschaft sind:

- Die Wirtschaft: Kleine, mittlere und große Unternehmen in der Industrie und im Dienstleistungssektor profitieren durch die Auftragsforschung. Die Fraunhofer-Gesellschaft entwickelt konkret umsetzbare, innovative Lösungen und trägt zur breiten Anwendung neuer Technologien bei. Für kleine und mittlere Unternehmen ohne eigene F&E-Abteilung ist die Fraunhofer-Gesellschaft wichtiger Lieferant für innovatives Know-how.
- Staat und Gesellschaft: Im Auftrag von Bund und Ländern werden strategische Forschungsprojekte durchgeführt. Sie dienen der Förderung von Spitzen- und Schlüsseltechnologien oder Innovationen auf Gebieten, die von besonderem öffentlichem Interesse sind, wie Umweltschutz, Energietechniken und Gesundheitsvorsorge. Im Rahmen der Europäischen Union beteiligt sich die Fraunhofer-Gesellschaft an den entsprechenden Technologieprogrammen.

Das Leistungsangebot

Wer wirtschaftlichen Erfolg sucht, muß neue Ideen entwickeln und rasch in Produkte umsetzen. Der schnelle Informationstransfer zählt zu den wichtigsten Zielen der Unternehmenspolitik der Fraunhofer-Gesellschaft. Unternehmen aller Größen und Branchen nutzen die Fraunhofer-Institute als externe High-Tech-Labors für praktisch alle Arten von

The Research Organization

Research of practical utility lies at the heart of all activities pursued by the Fraunhofer-Gesellschaft. Founded in 1949, the research organization undertakes applied research that drives economic development and serves the wider benefit of society. Its services are solicited by customers and contractual partners in industry, the service sector and public administration. The organization also accepts commissions from German federal and *Länder* ministries and government departments to participate in future-oriented research projects with the aim of finding innovative solutions to issues concerning the industrial economy and society in general.

Applied research has a knock-on effect that extends beyond the direct benefits perceived by the customer: Through their research and development work, the Fraunhofer Institutes help to reinforce the competitive strength of the economy in their local region, and throughout Germany and Europe. They do so by promoting innovation, accelerating technological progress, improving the acceptance of new technologies, and not least by disseminating their knowledge and helping to train the urgently needed future generation of scientists and engineers.

As an employer, the Fraunhofer-Gesellschaft offers its staff the opportunity to develop the professional and personal skills that will allow them to take up positions of responsibility within their institute, in other scientific domains, in industry and in society. Students working at the Fraunhofer Institutes have excellent prospects of starting and developing a career in industry by virtue of the practical training and experience they have acquired.

At present, the Fraunhofer-Gesellschaft maintains more than 80 research units, including 56 Fraunhofer Institutes, at 40 different locations in Germany. The majority of the 12,500 staff are qualified scientists and engineers, who work with an annual research budget of €1.2 billion. Of this sum, more than €1 billion is generated through contract research. Two thirds of the Fraunhofer-Gesellschaft's contract research revenue is derived from contracts with industry and from publicly financed research projects. Only one third is contributed by the German federal and *Länder* governments in the form of institutional funding, enabling the institutes to work ahead on solutions to problems that will not become acutely relevant to industry and society until five or ten years from now.

Affiliated research centers and representative offices in Europe, the USA and Asia provide contact with the regions of greatest importance to present and future scientific progress and economic development.

The Fraunhofer-Gesellschaft is a recognized non-profit organization which takes its name from Joseph von Fraunhofer (1787-1826), the illustrious Munich researcher, inventor and entrepreneur.

The Research Fields

The focal research and development activities at the Fraunhofer Institutes are grouped into eight focal fields, with the respective Institutes listed accordingly:

- Materials technology, component behavior
- Production technology, manufacturing engineering
- Information and communications technology

- Microelectronics, microsystems technology
- Sensor systems, testing technology
- Process technology
- Energy and building technology, environmental and health research
- Technical and economic studies, information transfer

The Research Clients

The Fraunhofer-Gesellschaft maintains an obligation to serve industry, its partner companies, and society at large. Target groups and thus beneficiaries of research conducted by the Fraunhofer-Gesellschaft are:

- Industry: Small, medium-sized and multinational companies in industry and in the service sector all profit from contract research. The Fraunhofer-Gesellschaft develops technical and organizational solutions which can be implemented in practice, and promotes applications for new technologies. The Fraunhofer-Gesellschaft is a vital supplier of innovative know-how to small and medium-sized companies who do not maintain their own in-house R&D departments.
- Government and Society: Strategic research projects are carried out under contract to national and regional government. They serve to promote the implementation of cutting-edge technology and innovations in fields of particular public interest, such as environmental protection, energy conservation and health. The Fraunhofer-Gesellschaft furthermore participates in technology programmes supported by the European Union.

The Range of Services

Commercial success depends on new ideas rapidly implemented as market-

Entwicklungsaufgaben, für spezielle Dienstleistungen und als kompetente Berater in organisatorischen und strategischen Fragen. Professionelles Projektmanagement und Verfahren des Qualitätsmanagements führen zu konkreten Ergebnissen, die sich in der Praxis bewähren.

Die Vorteile der Vertragsforschung

Die Fraunhofer-Gesellschaft entwickelt in acht Forschungsgebieten Produkte und Verfahren bis zur Anwendungsreife. Dabei werden in direktem Kontakt mit dem Auftraggeber individuelle Lösungen erstellt. Durch die Zusammenarbeit aller Institute stehen den Auftraggebern der Fraunhofer-Gesellschaft zahlreiche Experten mit einem breiten Kompetenzspektrum zur Verfügung. Gemeinsame Qualitätsstandards und das professionelle Projektmanagement der Fraunhofer-Institute sorgen für verlässliche Ergebnisse der Forschungsaufträge.

Modernste Laborausstattungen machen die Fraunhofer-Gesellschaft für Unternehmen aller Größen und Branchen attraktiv. Neben der Zuverlässigkeit einer starken Gemeinschaft sprechen auch wirtschaftliche Vorteile für die Zusammenarbeit, denn die kostenintensive Vorlauforschung bringt die Fraunhofer-Gesellschaft bereits als Startkapital in die Partnerschaft ein.

Der Weg zur Zusammenarbeit mit der Fraunhofer-Gesellschaft

Die zentrale Anschrift lautet:

Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung
der angewandten Forschung e. V.
Postfach 20 07 33
80007 München
Hansastraße 27C
80636 München
Telefon: +49 (0) 89/12 05-0
Fax: +49 (0) 89/12 05-7531
<http://www.fraunhofer.de/>

Dem Vorstand gehören an:

Prof. Dr. Hans-Jörg Bullinger, Präsident
(Unternehmenspolitik und Forschung)
Prof. Dr. Ulrich Buller
(Forschungsplanung)
Dr. Alfred Gossner
(Finanzen und Controlling, IT)
Dr. Dirk-Meints Polter
(Personal und Recht)

Ihr Ansprechpartner in der
Abteilung für Presse und Öffentlich-
keitsarbeit:

Franz Miller
Telefon: +49 (0) 89/12 05-1301
franz.miller@zv.fraunhofer.de

able products. One of the primary policy objectives of the Fraunhofer-Gesellschaft is improved information transfer. Companies of all sizes and from all sectors of industry use the Fraunhofer Institutes as external high-tech laboratories for virtually all kinds of development work, for special services, and as expert consultants on organizational and strategic questions. Professional project management and processes of quality management lead to concrete results of genuine market value.

The Advantages of Contract Research

The Fraunhofer-Gesellschaft develops products and processes through to market implementation in eight focal research fields. Individual solutions are generated in close cooperation with the industrial partner. The cooperation of all Fraunhofer Institutes ensures industrial partners the necessary expertise across a wide spectrum of disciplines. Common standards of quality and the professional project management of the Fraunhofer Institutes guarantee reliable results from research contracts.

The latest laboratory equipment makes the Fraunhofer-Gesellschaft attractive to companies of all sizes and from all sectors of industry. In addition to the reliability of this powerful association, economic benefits also speak for collaboration; cost-intensive preparatory research by the Fraunhofer-Gesellschaft represents the investment capital it makes available to any partnership.

Working together with the Fraunhofer-Gesellschaft

The central address is:

Fraunhofer-Gesellschaft zur Foerderung
der Angewandten Forschung e.V.
Postfach 20 07 33
80007 München
Hansastraße 27C
80636 München
Phone: +49 (0) 89 1205-0
Fax: +49 (0) 89 1205-7531
Internet: <http://www.fraunhofer.de/>

The Members of the Executive Board:

Prof. Dr. Hans-Jörg Bullinger, President
(Corporate Management)
Prof. Dr. Ulrich Buller
(Research Planning)
Dr. Alfred Gossner
(Finance and Controlling, IT)
Dr. Dirk-Meints Polter
(Personnel and Legal Affairs)

Press and Public Relations:

Franz Miller
Phone: +49 (0) 89 1205-1301
franz.miller@zv.fraunhofer.de

Fraunhofer-Verbund Mikroelektronik

Der Fraunhofer-Verbund Mikroelektronik (V μ E) koordiniert seit 1996 die Aktivitäten der auf den Gebieten Mikroelektronik und Mikrointegration tätigen Fraunhofer-Institute: Das sind zehn Institute (und zwei Gastinstitute) mit rund 2340 Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern. Das jährliche Budget beträgt rund 219 Mio €. Die Aufgaben des Fraunhofer V μ E bestehen im frühzeitigen Erkennen neuer Trends bei mikroelektronischen Technologien und Anwendungen sowie deren Berücksichtigung bei der strategischen Weiterentwicklung der Verbundinstitute. Dazu kommen das gemeinsame Marketing und die Öffentlichkeitsarbeit.

Hauptarbeitsfelder sind die Entwicklung gemeinsamer Themenschwerpunkte und Projekte. So kann der Verbund insbesondere innovativen mittelständischen Unternehmen rechtzeitig zukunftsweisende Forschung und anwendungsorientierte Entwicklungen anbieten und damit entscheidend zu deren Wettbewerbsfähigkeit beitragen. Die Kernkompetenzen der Mitgliedsinstitute werden gebündelt in den Geschäftsfeldern:

- »Smart System Integration«
- »More Moore« und »Beyond CMOS«
- Kommunikation und Unterhaltung
- Mobilität
- Automatisierungstechnik
- vernetzte Assistenzsysteme
- Medizintechnik
- Licht
- Sicherheit

Die Geschäftsstelle des Fraunhofer-Verbunds Mikroelektronik ist das zentrale Koordinierungsbüro. In enger Zusammenarbeit mit den Instituten bildet sie das Bindeglied zwischen Wissenschaft, Wirtschaft und Politik

Beteiligt sind die Fraunhofer-Institute für

- Angewandte Festkörperphysik IAF
- Digitale Medientechnologie IDMT (Gast)
- Integrierte Schaltungen IIS
- Integrierte Systeme und Bauelemente-technologie IISB
- Mikroelektronische Schaltungen und Systeme IMS
- Nachrichtentechnik, Heinrich-Hertz-Institut, HHI
- Offene Kommunikationssysteme FOKUS (Gast)
- Photonische Mikrosysteme IPMS
- Siliciumtechnologie ISIT
- Systeme der Kommunikationstechnik ESK
- Zuverlässigkeit und Mikrointegration IZM sowie das
- Fraunhofer-Center Nanoelektronische Technologien CNT

Fraunhofer Alliance Microelectronics

The Fraunhofer Microelectronics Alliance V μ E has been coordinating the activities of Fraunhofer Institutes working in the fields of microelectronics and microintegration since 1996. Its membership consists of ten institutes as full members and two as associated members, with a total workforce of around 2,340 and a combined budget of roughly €219 million. The purpose of the Fraunhofer V μ E is to scout for new trends in microelectronics technologies and applications and to integrate them in the strategic planning of the member institutes. It also engages in joint marketing and public relations work.

The activities of the alliance concentrate largely on establishing joint focal research groups and projects. In this way, the alliance is able to provide innovative small and medium-sized enterprises, in particular, with future-oriented research

and application-oriented developments that will help them to gain a decisive competitive edge. The alliance pools the core competences of its member institutes in the areas of:

- »Smart System Integration«
- »More Moore« and »Beyond CMOS«
- Communication and entertainment
- Mobility
- Automation technology
- Networked assistance
- Medical engineering
- Light
- Security

The central office of the Fraunhofer Microelectronics Alliance coordinates all activities, working closely with the member institutes to forge durable contacts between science, industry and politics.

The alliance comprises the Fraunhofer Institutes for

- Applied Solid State Physics IAF
- Communication Systems ESK
- Digital Media Technology IDMT (associated member)
- Integrated Circuits IIS
- Integrated Systems and Device Technology IISB
- Microelectronic Circuits and Systems IMS
- Open Communication Systems FOKUS (associated member)
- Photonic Microsystems IPMS
- Reliability and Microintegration IZM
- Silicon Technology ISIT
- Telecommunications, Heinrich-Hertz-Institut, HHI and the
- Fraunhofer Center Nanoelectronic Technologies CNT

Die Standorte der Forschungseinrichtungen

Locations of the Research Facilities



Fig. 6: Die Standorte der Forschungseinrichtungen (Quadrate: Institute; Punkte: Institutsteile, Teilinstitute, Einrichtungen, Arbeitsgruppen, Außenstellen sowie Anwendungszentren);
Locations of the Research Institutes in Germany (squares: Institutes; dots: Branches of Institutes, Research Institutions, Working Groups, Branch Labs, Application Centers).

Schwerpunkte, Trends und Potentiale der Abteilung Technologiesimulation

Die Abteilung Technologiesimulation entwickelt physikalische Modelle und Programme zur Simulation von Halbleiterprozessen, -geräten und -bauelementen und transferiert diese Ergebnisse in die Anwendung - die Optimierung von Prozeßabläufen, von Masken für die Lithographie, von Bauelementen und von Schaltungen. Dieser Transfer erfolgt einerseits durch direkte Kooperation insbesondere mit Halbleiterfirmen, aber auch mit anderen Forschungseinrichtungen, andererseits auch durch die Vermarktung von Simulationsprogrammen über Softwarehäuser. Seit vielen Jahren ist die von der Abteilung betriebene arbeitsteilige Zusammenarbeit mit industriellen Anwendern sowie anderen Forschungseinrichtungen ein zentrales Element des Erfolgs der Abteilung. Sie beginnt regional in Bayern und Sachsen mit Firmen wie AMTC, Infineon, Qimonda und SIGMA-C, schließt in Europa weitere Firmen von Weltrang wie ASML, Mattson, Philips (jetzt NXP), STMicroelectronics und Synopsys sowie führende Forschungseinrichtungen und Universitäten ein, und erstreckt sich bis in die USA und nach Japan. Dieses vom IISB aufgebaute Netzwerk ermöglicht die optimale Nutzung der in Europa vorhandenen Kompetenz für die Entwicklung und industrielle Anwendung der Technologiesimulation.

Wichtige Verbundprojekte sind exemplarisch für dieses Netzwerk und die Bedeutung des IISB: Im BMBF-Projekt „Abbildungsmethodiken für nanoelektronische Bauelemente“ unterstützt das IISB durch Anwendung seiner Programme zur Lithographiesimulation die Entwicklung der für zukünftige höchstintegrierte Schaltungen erforderlichen Lithographieverfahren. Die extreme Ultra-

violett-Lithographie EUV, welche eine Wellenlänge von 13,5 nm und deshalb zwangsläufig als optische Elemente Spiegel statt Linsen verwendet, ist zur Zeit die vielversprechendste Option für die Ablösung der optischen Lithographie jenseits des 32-nm-Technologieknötens der International Technology Roadmap for Semiconductors ITRS. Die nötigen Prozesse und Geräte wurden im von ASML koordinierten und bis Ende 2006 von der EU geförderten Integrierten Projekt (IP) „More Moore“ entwickelt, in dem das IISB wichtige Simulationsunterstützung u.a. zur Optimierung von Mehrlagenspiegeln hinsichtlich der Einflüsse von Defekten leistete. Daneben unterstützt das IISB mittels umfangreicher Simulationsarbeiten in einem bilateralen Projekt die Einführung der 193-nm-Immersionlithographie am IMEC, der zur Zeit erfolgversprechendsten Option zumindest für den 45-nm-Technologieknötens. Für die weitere Entwicklung von CMOS-Transistoren in Europa sind das von STMicroelectronics koordinierte und von der EU geförderte IP „NANOCMOS“ sowie sein im Juni 2006 begonnenes Nachfolgeprojekt PULLNANO von zentraler Bedeutung. In beiden Projekten leistete das IISB wichtige Beiträge zur Optimierung von Prozeßabläufen und zur Bewertung der untersuchten Bauelementarchitekturen mittels dreidimensionaler Prozeß- und Bauelementesimulation, wobei sich PULLNANO auf die Demonstration des 32-nm-Technologieknötens und die Vorbereitung des 22-nm-Technologieknötens konzentriert. Die Erzeugung von sehr flachen Source- und Drain-Kontakten mit hinreichend hoher Aktivierung der Dotierungsatome - bis hin zur metastabilen Aktivierung über die Löslichkeit der Dotierung im Silicium hinaus - ist eines der wichtigsten Probleme für die weitere Skalierung von Transistoren entsprechend dem Moore'schen Gesetz und der ITRS. Aufgabe der Technologiesimulation hierzu ist nicht nur die Entwicklung von Modellen

und Programmen zur Simulation fortschrittlicher Prozesse zur Aktivierung von implantierten Dotierungsverteilungen, wie z.B. den sogenannten „Flash Anneals“, sondern auch ein verbessertes Verständnis der physikalischen Mechanismen für Diffusion und Aktivierung, um damit zur Weiterentwicklung dieser Prozesse beizutragen. Dies ist Gegenstand des vom IISB koordinierten und seit Februar 2006 bearbeiteten „Specific Targeted Research Project“ (STREP) „ATOMICS“. Dieses Projekt erfordert neben umfangreichen theoretischen Arbeiten und der Implementierung der Ergebnisse in möglichst weit verbreiteter Simulationsprogramme zahlreiche dezidierte Experimente, die nur durch Nutzung spezieller Kompetenzen verschiedener Partner möglich sind. ATOMICS ist damit ein ausgezeichnetes Beispiel für die nötige und vom IISB betriebene arbeitsteilige Kooperation in Europa und darüber hinaus. Als Teil dieser Strategie setzte die Abteilung auch 2006 ihre koordinierenden Arbeiten zu den Spezifikationen für das „Technology Computer Aided Design“ sowohl in der EU „Specific Support Action“ SUGERT als auch in der ITRS fort.

Neben dem seit einiger Zeit jährlich sehr erfolgreich durchgeführten Lithografieworkshop war die von der Abteilung turnusgemäß im Jahr 2006 organisierte IISB-Jahrestagung ein Höhepunkt des Jahres, in der am 12. Oktober zahlreichen Teilnehmern durch Vorträge von Mitarbeitern und Kooperationspartnern ein umfassender Überblick der Entwicklung des Arbeitsgebiets gegeben wurde.

Ansprechpartner

Dr. Jürgen Lorenz
Telefon: +49 (0) 9131 761-210
juergen.lorenz@iisb.fraunhofer.de

Focal Areas of Research and Development, Trends and Potentials of the Department of Technology Simulation

The Technology Simulation department develops physical models and programs for the simulation of semiconductor fabrication processes, equipment and devices, and transfers these results into application - the optimization of processes, lithographic masks, devices and circuits. This transfer is on the one hand side made by direct cooperations especially with semiconductor companies, but also with other research institutes, on the other hand side through the commercialization of simulation programs via software houses. Since many years, the close cooperation with industrial users and other research institutes, promoted by IISB, is a key element of the success of the department. It spans from the regions of Bavaria and Saxony with partner companies like AMTC, Infineon, Qimonda and SIGMA-C, includes in Europe further industrial key players like ASML, Mattson, Philips (now NXP), STMicroelectronics and Synopsys and leading research institutes and universities, and extends as far as to the USA and Japan. This network promoted by IISB enables the optimum usage of the competence available in Europe for the development and industrial use of semiconductor technology simulation.

Several important cooperative projects provide very good examples for this network and for the important role of IISB: Within the BMBF project "Abbildungsmethodiken für nanoelektronische Bauelemente", IISB supports via the application of its lithography simulation programs the development of lithographical steps which are required for future integrated circuits with ever smaller feature sizes. The Extreme Ultraviolet Lithography (EUV), which em-

loys a wavelength of 13.5 nm and in consequence inevitably reflective instead of refractive optics, currently is the most promising option for the replacement of optical lithography beyond the 32 nm node of the International Technology Roadmap for Semiconductors (ITRS). The processes and the equipment required have been developed within the Integrated Project (IP) "More Moore" which has been coordinated by ASML and funded by the EC until the end of 2006. Here, IISB provides important simulation support among others for the optimization of the required multilayer mirrors w.r.t. the influence of defects. In addition, IISB supports by broad simulation activities carried out within a bilateral project the introduction of 193 nm immersion lithography at IMEC, the currently most promising option at least for the 45 nm technology node. For the further development of CMOS transistors in Europe the IP "NANOCMOS", coordinated by STMicroelectronics and funded by the EC, and its follow-up project PULLNANO started in June 2006 are of key importance. In both projects, IISB provides via three-dimensional process and device simulation important contributions for the optimization of process sequences and the assessment of the device architectures. Compared to NANOCMOS, the follow-up project PULLNANO focuses on the demonstration of the 32 nm node and the preparation of the 22 nm node. The formation of shallow source/drain regions with high activation - up to metastable activation beyond the solubility of the dopant in silicon - is one of the most important problems for further scaling of transistors according to Moore's law and the ITRS. The task of technology simulation is not only the development of models and programs for the simulation of advanced processes for the annealing of implanted dopant distributions, e.g. "flash anneals", but also an improved understanding of the physical

mechanisms of diffusion and annealing in order to contribute to process development. This is the objective of the "Specific Targeted Research Project" (STREP) "ATOMICS" coordinated by IISB which is being funded by the EC since February 2006. Besides broad theoretical activities and the implementation of the results in widely spread simulation programs "ATOMICS" requires many dedicated experiments which are possible only by exploiting special competencies of various partners. In this way, ATOMICS is an excellent example for the indispensable cooperation within Europe and beyond, which has been promoted by IISB since long. As part of this strategy, the department has continued its coordinating role concerning specifications for "Technology Computer Aided Design" in the EC "Specific Support Action" SUGERT and in the ITRS in 2006.

Besides the lithography simulation workshop which has been organized by IISB with great success for several years, the IISB Annual Conference 2006 which was organized in 2006 by the Technology Simulation department was a special highlight: On October 12, IISB scientists and cooperation partners presented a comprehensive overview of the current developments in the area of technology simulation to many interested participants.

Contact

Dr. Jürgen Lorenz
Phone: +49 (0) 9131 761-210
juergen.lorenz@iisb.fraunhofer.de

Einleitung

Der computerunterstützte Entwurf (TCAD) ist ein unverzichtbares Werkzeug für die Entwicklung neuer Generationen von elektronischen Bauelementen in der Industrie. In der International Technology Roadmap for Semiconductors (ITRS) wurde geschätzt, daß die industrielle Anwendung von TCAD die Technologieentwicklungskosten um 35% mit ansteigender Tendenz reduziert. Die Vorläuferprojekte von ATOMICS, das ESPRIT-Projekt RAPID (Redistribution and Activation Phenomena in Integrated Circuits and Device Manufacturing) und das IST-Projekt FRENTECH (Front-End Models for Silicon Future Technology) trugen zu diesem Erfolg bei. Um jedoch auch für den 32-nm-Technologieknoten und darüber hinaus so nützlich zu sein, müssen die Möglichkeiten von TCAD dem Paradigmenwechsel zu Prozessen und Materialien für Nanobauelemente folgen. Es ist das Ziel des IST-Projekts ATOMICS (Advanced Front-End Technology Modeling for Ultimate Integrated Circuits), das von der Europäischen Kommission seit Februar 2006 auf drei Jahre gefördert und vom Fraunhofer IISB koordiniert wird, die benötigten Front-End-Prozessmodelle für die Halbleiterindustrie zu erstellen.

Front-End-Prozesse für zukünftige Nanobauelemente

Front-End-Prozesse für Nanobauelemente werden wohl kompatibel zu aktuellen Bauelementetechnologien sein, sie aber wo notwendig erweitern. Auf diese Weise werden neue Materialien wie SiGe-Legierungen, verspanntes Silicium, freitragendes Silicium (SON) und Silicium auf Isolatoren (SOI) die gebräuchlichen Siliciumsubstrate ersetzen. Statt „Spike“-Ausheilung, dem aktuellen Standard in der Halbleiterfertigung,

werden Tieftemperatur- oder Millisekunden-Ausheilstrategien Verwendung finden. Mit der reduzierten thermischen Belastung wird die Aktivierung der Dotieratome im Vergleich zu ihrer Diffusion an Bedeutung gewinnen.

Ziele

Die Ziele von ATOMICS sind, die aktuellen Beschränkungen der existierenden Front-End-Prozessmodelle aufzuheben und die für die Prozessierung zukünftiger Nanobauelemente gebrauchten Modelle zu erstellen. Dies beinhaltet Modelle für die Aktivierung/ Deaktivierung von Dotieratomen in Silicium und deren gewollte Beeinflussung über Punktdefekte.

- Modelle für die Bildung von ausgedehnten Defekten in den in Betracht gezogenen neuen Materialien.
- Modelle für den Einfluß der Zusammensetzung von SiGe-Schichten und von mechanischen Spannungen auf die Aktivierung und Diffusion von Dotieratomen darin.
- Experimente zur Erforschung einer eventuellen Diffusionsanisotropie in verspannten Schichten.

Zur direkten Nutzung der entwickelten Modelle in der Halbleiterindustrie sollen sie in die TCAD-Umgebung Sentaurus von Synopsys integriert werden.

Das ATOMICS-Team

Um die für das Erreichen der Ziele verbundenen Arbeiten durchführen zu können, wurde ein Konsortium aus vier industriellen und drei Forschungsinstituten gebildet:

- Fraunhofer-Institut für Integrierte Systeme und Bauelementetechnologie (IISB), Erlangen, Deutschland
- Institut Laboratoire d'Analyse et d'Architecture des Systèmes (LAAS) und Centre d'Elaboration de Matériaux et d'Etudes Structurales (CE-

MES) des Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS), Toulouse, Frankreich

- The Centre for Surface and Materials Analysis (CSMA), Stoke-on-Trent, Großbritannien
- Mattson Thermal Products GmbH, Dornstadt, Deutschland
- STMicroelectronics Crolles, Crolles, Frankreich
- Synopsys Schweiz LLC, Zürich, Schweiz
- Universität Surrey, Surrey, Großbritannien

Innerhalb des Konsortiums wird die Prozessierung der Proben vor allem durch die industriellen Partner STMicroelectronics (Epitaxieprozesse und Implantationen) und Mattson (thermische Ausheilprozesse) vorgenommen und durch die Forschungsinstitute (IISB, LAAS/CEMES und Univ. Surrey) ergänzt. Die Charakterisierung der Proben beruht vor allem auf den Expertisen von CSMA in der Charakterisierung von ultraflachen pn-Übergängen und von LAAS/CEMES für Kristalldefekte. Die Entwicklung der physikalischen Modelle, das Herz des Projekts, erfolgt vor allem durch die Forschungsinstitute und durch STMicroelectronics. Zur Implementierung und Kommerzialisierung dieser Modelle ist der führende Hersteller von TCAD-Software, Synopsys, als Partner im ATOMICS-Team.

Zusätzliche Informationen

Zur Verbreitung von Informationen über ATOMICS und später über seine Ergebnisse wurde auf http://www.iisb.fraunhofer.de/en/arb_geb/atomics.htm eine Web-Seite eingerichtet.

Ansprechpartner

Priv.-Doz. Dr. Peter Pichler
Telefon: +49 (0) 9131 761-227
peter.pichler@iisb.fraunhofer.de

Introduction

Technology-computer-aided design (TCAD) is an indispensable tool for the development of new generations of electronic devices in industrial environments. It was estimated in the International Technology Roadmap for Semiconductors (ITRS) that the application of TCAD in semiconductor industry reduces technology development costs by 35% with a tendency to rise. The predecessor projects of ATOMICS, the ESPRIT project 23481 RAPID (Redistribution and Activation Phenomena in Integrated Circuits and Device Manufacturing) and the IST project FRENTECH (Front-End Models for Silicon Future Technology) contributed to this success. However, to continue to be that useful for the 32 nm technology node and beyond, the capabilities of TCAD have to follow the paradigm shift to processes and materials considered for such nanodevices. It is the goal of the IST project ATOMICS (Advanced Front-End Technology Modeling for Ultimate Integrated Circuits), funded by the European Commission since February 2006 for three years and organized by the Fraunhofer IISB, to provide the required front-end process models to the semiconductor industry.

Front-End Processes for Future Nanodevices

Front-end processes of nanodevices will most likely be compatible to the current silicon semiconductor technologies, but extend them where necessary. This implies that new materials like silicon-germanium alloys, strained silicon, silicon on nothing (SON), and silicon-on-insulator (SOI) materials will replace bulk silicon wafers. Instead of spike annealing, the current standard in semiconductor production, low-

temperature or millisecond annealing strategies will be used. With the reduced thermal budget, the activation of dopants will gain importance in comparison to their diffusion.

Objectives

The objectives of ATOMICS are to eliminate the actual restrictions of the currently existing front-end process models and to establish the models needed for the processing of future nanodevices. This includes

- Models for the activation/deactivation of dopant atoms in silicon and the intentional influencing via point defects on them.
- Models for the formation of extended defects in the new materials taken into considerations.
- Models for the influence of the composition of silicon-germanium layers and of mechanical strain on the activation and diffusion of dopants in such layers.
- Experiments for the investigation of a possible diffusion anisotropy in strained layers.

For direct use of the developed models in semiconductor industry, the developed models shall be integrated into the TCAD framework of Synopsys.

The ATOMICS Team

To be able to perform the tasks needed to reach the goals, a consortium was formed consisting of four industrial partners and three research institutes:

- Fraunhofer-Institut für Integrierte Systeme und Bauelementetechnologie (IISB), Erlangen, Germany
- Institut Laboratoire d'Analyse et d'Architecture des Systèmes (LAAS) and Centre d'Elaboration de Matériaux et d'Etudes Structurales (CEMES) of the Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS),

Toulouse, France

- The Centre for Surface and Materials Analysis (CSMA), Stoke-on-Trent, United Kingdom
- Mattson Thermal Products GmbH, Dornstadt, Germany
- STMicroelectronics Crolles, Crolles, France
- Synopsys Schweiz LLC, Zurich, Switzerland
- University of Surrey, Surrey, United Kingdom

Within the consortium, processing of samples is performed especially by the industrial partners STMicroelectronics (epitaxial deposition processes and ion implantation) and Mattson (thermal processes) complemented by the capabilities of the research institutes (IISB, LAAS/CEMES and Univ. Surrey). The characterization of the samples relies especially on the expertise of CSMA in the characterization of ultrashallow junctions and on the expertise of LAAS/CEMES for the characterization of crystal defects. Model development, the heart of the project, is in the hands of the research institutes and STMicroelectronics. To implement and commercialize the models developed, the leading vendor of TCAD software, Synopsys, is a partner in the ATOMICS team.

Additional Information

To disseminate information about ATOMICS and later about the results achieved, a website has been installed at http://www.iisb.fraunhofer.de/en/arb_geb/atomics.htm which, besides details about ATOMICS, contains the CVs of the scientists involved.

Contact

Priv.-Doz. Dr. Peter Pichler
Phone: +49 (0) 9131 761-227
peter.pichler@iisb.fraunhofer.de

Einleitung

Zur Herstellung von integrierten Schaltungen werden verschiedene Prozessschritte benötigt. Die Erzeugung von dreidimensionalen Strukturen wird nach der Lithographie über einen Ätzschritt erreicht, der partiell Schichten wegätzt. Zwei grundlegende Ätzarten werden unterschieden: das Naßätzen und das Trockenätzen. Naßchemisches Ätzen führt im allgemeinen zu einem isotropen Profil. Liegen Strukturen dicht beisammen oder soll tief geätzt werden, ist ein isotropes Profil nicht gewollt. Trockenätzen kann anisotrope Profile erzeugen. Eine Art des Trockenätzens ist das reaktive Ionenätzen. Die experimentelle Untersuchung von Plasmaprozessen ist teuer. Es werden daher zunehmend Computersimulationen eingesetzt, um diesen Prozessschritt zu simulieren. Die hier vorgestellte Simulation ist vollkommen dreidimensional. Unter Verwendung früherer Arbeiten wird die Oberfläche trianguliert. Ein Teil der Computersimulation ist die Ermittlung der Ätzraten pro Oberflächenelement. Ein neuer Ansatz für diesen Teil wird hier vorgestellt.

Simulationsmethode und Ergebnisse

Zur Bestimmung der Ätzraten wurde die Monte-Carlo-Methode gewählt. Sobald die Partikel (Ionen und Radikale) vom

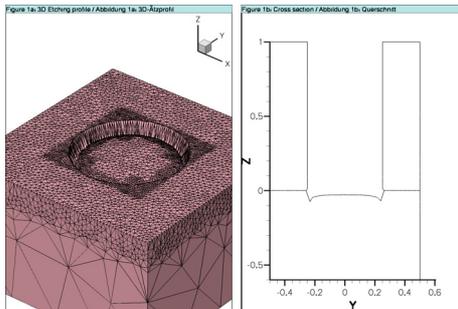


Fig. 1: Ätzprofil für eine isotrope Winkelverteilung der Cl-Ionen und eine Zylindermaske; Etching profile for a uniform angular distribution of Cl ions and a cylinder mask.

Plasma mit einer charakteristischen Energie- und Winkelverteilung in die Nähe der Siliciumscheibe kommen, beginnt die Simulation. Die Flugbahn ist eine Gerade, da keine Wechselwirkung mit anderen Partikeln (freie Weglänge groß gegen die Strukturabmessungen) und keine elektrischen oder magnetischen Felder angenommen werden. Der Auftreffpunkt wird ermittelt.

Die Reaktionen der Partikel haben eine Wahrscheinlichkeit, mit der sie ablaufen können. Ein Pseudozufallsgenerator bestimmt, welche Reaktion abläuft. Daher der Name „Monte Carlo“ für die Methode.

Es kann zum Herausschlagen von Gitteratomen (physikalisches Ätzen) durch schwere Partikel (Ionen, Atome und Moleküle) mit Energien über 20 eV oder zu einer chemischen Reaktion mit den Gitteratomen durch die Radikale kommen, wobei die Energie der Ionen die Reaktion unterstützt. Die Reaktionsprodukte desorbieren von der Oberfläche.

Zur ersten Validierung des Simulationsmoduls wurde das physikalische Ätzen von Silicium in einem Chlor-Plasma mit einem einfachen Modell untersucht. Als Maske diente eine Zylindermaske bzw. eine lange Grabenmaske mit schrägen und senkrechten Wänden. Die Winkelverteilung der Chlorionen wurde isotrop oder normalverteilt angenommen. Die Ionen werden ab einem Glanzwinkel von 80° reflektiert. Analytische Rechnungen zum Vergleich mit den Simulationsergebnissen für die isotrope Ionenverteilung und die senkrechten Maskenwände wurden ebenfalls durchgeführt. Für den langen Graben, der oft als Vergleich zu zweidimensionalen Simulationen herangezogen wird, konnte gezeigt werden, daß in diesem speziellen Fall ein Unterschied zwischen zwei- und dreidimensionaler Simulation besteht. In der Fig. 1 ist ein Ätzprofil wie-

dergegeben, daß sich bei einer Zylindermaske und einer isotropen Winkelverteilung der Ionen ergibt. Wie die Abbildung zeigt, konnte sogenanntes „Microtrenching“ (kleine Gräben am Substrat-Masken-Übergang) wiedergegeben werden. Die Ergebnisse stimmen mit analytischen Rechnungen und mit Simulationen eines anderen Simulationsmoduls (ballistische Rechnung) gut überein. Dies ist in Fig. 2 dargestellt. Am Zylinderrand ist die Ätzrate in der Simulation etwas geringer als bei der analytischen Rechnung. Dies ist auf die Diskretisierung der Oberfläche zurückzuführen.

Das Rauschen bei den Ätzraten wird mit zunehmender Partikelzahl kleiner und mit einer zunehmend feinen Oberflächendiskretisierung größer. Eine Abschätzung der Standardabweichung stimmte mit den Simulationsergebnissen überein.

Zusammenfassung

Das Simulationsmodul gibt die Charakteristika für das physikalische Ätzen richtig wieder. Die Simulationszeiten hängen von der gewünschten Genauigkeit ab. Andere Methoden als die Monte-Carlo-Methode haben geringere Simulationszeiten. Der große Vorteil der Monte-Carlo-Methode ist aber ihre Flexibilität bei einem komplexeren Verhalten der Ionen und Radikale, sodaß zugunsten der höheren Flexibilität auch eine höhere Rechenzeit in Kauf genommen werden kann. Als nächster Schritt ist eine Implementierung von komplexeren Modellen geplant.

Ansprechpartner

Daniel Kunder
Telefon: +49 (0) 9131 761-223
daniel.kunder@iisb.fraunhofer.de

Introduction

For the development of integrated circuits, numerous processes are required. After the lithography step, etching forms the three-dimensional structure of the IC. Two main classes of etching processes exist: dry etching and wet etching. In general, wet etching leads to isotropic profiles. Dry etching is used, if anisotropy with a high aspect ratio is required. One form of dry etching is reactive ion etching.

The development of plasma processes is expensive. Therefore, computer simulations are used to support this development in order to keep the costs down. The simulation presented here is fully three-dimensional. In a first step, the surface is triangulated using earlier work of IISB. The next part of the simulation is the determination of the etching rates for each surface element. A new approach for this part is discussed here.

Simulation Method and Results

To determine the etch rates, the Monte-Carlo method is used here. After the particles (ions and radicals) are generated in the plasma with their characteristic energy and angular distribution, the

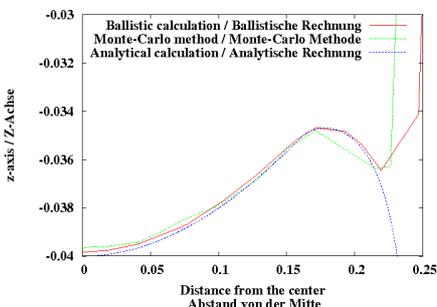


Fig. 2: Vergleich der mit drei unterschiedlichen Methoden erzeugten Ätzprofile: ballistische Rechnung, Monte-Carlo-Methode und analytische Rechnung; Comparison of the etching profiles produced by three different approaches: ballistic calculation, Monte-Carlo method and analytical calculation.

simulation starts. The trajectory is a straight line, because there are no particle-particle interactions (the mean free path is large compared to the dimensions) and no electric or magnetic field. Then, the point where the particle hits the wafer is calculated.

The particle reactions happen with a certain probability. We use a pseudo random generator to decide which reaction is going to happen. This explains the name "Monte Carlo" for this method.

Heavy particles (ions, atoms and molecules) with energies of more than 20 eV can sputter atoms from the surface (physical sputtering). Reactive particles can have a chemical reaction with the surface atoms. The reaction energy is due to the impact energy of the ions. The reaction products are removed from the surface.

To validate the simulation, physical sputtering of silicon in a chlorine plasma was simulated. A cylinder mask and a trench mask with normal and tilted side walls were used. The angular distribution of the Cl ions was assumed to be uniform or normal. The ions were reflected at a Bragg angle of more than 80°. For an uniformly angular distribution of the Cl ions and normal side walls, an analytical calculation was done to compare the results with the simulation. The long trench often used to compare two-dimensional simulations with three dimensional simulations, shows a different result in this special case. For a uniform distribution of the Cl ions and a cylinder mask with normal side walls, the simulation shows micro-trenching (fig. 1). Micro-trenching stands for small trenches at the intersection of the mask to the substrate. The results (fig. 2) are comparable with the analytical results and the results of a different simulation method (ballistic calculation). At the intersection of the

mask to the substrate, the etch rate in the simulation is slightly lower than the etch rate in the analytical calculation. This is due to the discretization of the surface.

The noise in the etch rates decreases with the particle number increasing. It increases with a finer discretization. An estimate of the standard deviation corresponds to the simulation results.

Conclusion

This simulation gives correct results for physical sputtering. The simulation time depends on the accuracy. There are other approaches than Monte-Carlo which are faster. The advantage of the Monte-Carlo method is the high flexibility in describing complex behavior of the ions and radicals. This justifies the longer simulation time. It is planned next to implement more complex models.

Contact

Daniel Kunder
Phone: +49 (0) 9131 761-223
daniel.kunder@iisb.fraunhofer.de

Einleitung

Die Gruppe Lithographiesimulation des IISB entwickelt Modelle und Softwarealgorithmen für fortschrittliche Projektionslithographie, welche in der Fabrikation mikroelektronischer Schaltungen mit sub-Mikrometer-Strukturen benutzt wird. Die entwickelte Software wird in Kooperation mit unserem Partner Sigma-C/Synopsys kommerzialisiert und im Rahmen von Simulationsstudien für industrielle Partner angewendet. Die vorhersagegenaue Modellierung der lithographischen Strukturierung unterhalb von 150 nm erfordert die Anwendung fortschrittlicher Algorithmen zur Beschreibung der Lichtbeugung an der Maske.

Maskenmodelle und Diffraktionsanalyse der Maske

Bis vor einigen Jahren betrachteten die meisten Lithographen die Maske als ein unendlich dünnes Objekt mit einer durch das Maskenlayout definierten Transmission und Phase. Diese vereinfachte Betrachtung der Maske ist ausreichend, solange die lateralen Strukturgrößen der Maske größer und die Dicke der Absorberstrukturen klein gegen die Wellenlänge des Lichts ist. Die Einführung von numerischen Aperturen (NA) größer als 0,85, von phasenschiebenden Strukturen und von optischer Proximi-

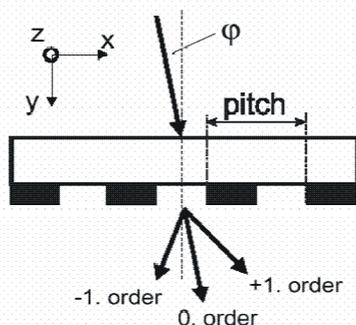


Fig. 1: Prinzipieller Aufbau für die Diffraktionsanalyse; Basic set-up for mask diffraction analysis.

ty-Korrektur (OPC) hat das Verhältnis zwischen den Strukturgrößen der Maske und der Belichtungswellenlänge drastisch reduziert. Rigorose elektromagnetische Feldmodellierung (EMF) der Lichtbeugung an der Maske zeigt einige Phänomene, welche in der lithographischen Prozeßentwicklung berücksichtigt werden müssen.

Im Gegensatz zur Kirchhoff-Näherung betrachtet die rigorose EMF-Modellierung die Maske als ein dreidimensionales Objekt. Die Lichtbeugung wird mit einer numerischen Lösung der Maxwell'schen Gleichungen beschrieben.

Die Maskendiffraktionsanalyse ist ein direktes Verfahren zur Charakterisierung lithographischer Masken. Fig. 1 zeigt den prinzipiellen Aufbau eines solchen Experimentes. Die Maske wird mit einer ebenen Welle beleuchtet und beugt das Licht in diskrete Richtungen – sogenannte Beugungsordnungen. Die Messung bzw. Simulation der Beugungseffizienz liefert einen direkten Zugang zur Analyse entsprechender rigoroser Beugungsphänomene und kann zur Charakterisierung bzw. Optimierung von Maskenmaterialien und Geometrien verwendet werden.

Fig. 2 zeigt die berechnete Beugungseffizienz einer abgeschwächten Phasemaske (AttPSM) in Abhängigkeit von der Linienbreite. Die Simulationen wurden mit dem Kirchhoff-Modell und mit rigoroser EMF-Modellierung durchgeführt. Im zweiten Fall spielt die Polarisation des Lichtes eine wesentliche Rolle. Die für Linienbreiten unterhalb von 100 nm beobachtene Abhängigkeit der Beugungseffizienz von der Linienbreite und der Polarisation können mit dem Kirchhoff-Modell nicht vorhergesagt werden. Die in Fig. 3 gezeigte komplexe Abhängigkeit der Beugungseffizienz von der Brechzahl des Absorbers unterstreicht die zunehmende Bedeutung der Optimierung von Maskenmaterialien für lithographische Prozesse.

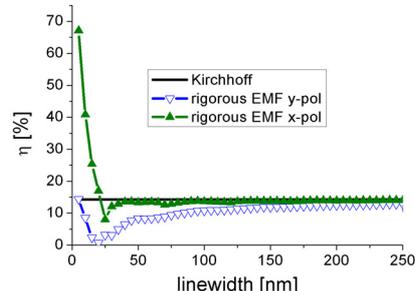


Fig. 2: Effizienz der 0. Beugungsordnung einer AttPSM als Funktion der Linienbreite; Zero order diffraction efficiency of an AttPSM versus linewidth.

Lithographische Effekte

Die beschriebenen Beugungsphänomene haben einen wesentlichen Einfluß auf das lithographische Verhalten der Maske. Resultierende Effekte müssen beim Maskendesign, bei der optischen Proximity-Korrektur, bei der Spezifikation kritischer Defektgrößen und bei der Spezifikation optischer Parameter des Projektionssystems, wie Beleuchtungsrichtungen und Polarisation, berücksichtigt werden. Fig. 4 zeigt simulierte Prozeßfenster für verschiedene Maskenmodelle und Maskenmaterialien.

Ansprechpartner

Dr. Andreas Erdmann
 Telefon: +49 (0) 9131 761-258
 andreas.erdmann@iisb.fraunhofer.de

Introduction

The lithography simulation group of IISB develops models and software algorithms for advanced projection lithography which is used for the manufacturing of microelectronic circuits with sub-micron feature sizes. The resulting software is commercialized in cooperation with our partner Sigma-C/Synopsys and is used for comprehensive simulation studies for several industrial partners. The predictive modeling of lithographic patterning of features below 150 nm requires the application of advanced algorithms to describe the light diffraction of the mask.

Mask Models and Mask Diffraction Analysis

Until several years ago, most lithographers considered photomasks to be infinitely thin objects with a transmission and phase as defined by the mask layout. This simplified understanding of the mask is sufficient as long as the width and length of the features are large and the thickness of features is small compared to the wavelength of the exposure system. The introduction of numerical apertures (NA) larger than 0.85, of phase shifting techniques, and of ad-

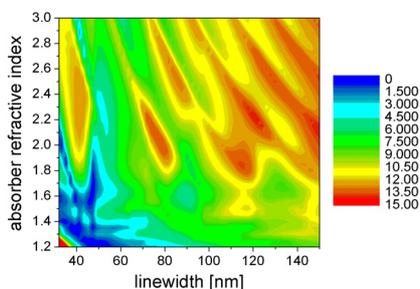


Fig. 3: Effizienz der 0. Beugungsordnung einer alternativen AttPSM als Funktion der Linienbreite bzw. Brechzahl des Absorbermaterials; Zero order diffraction efficiency of an alternative AttPSM material versus linewidth and refractive index of the absorber material.

vanced optical proximity correction (OPC) drastically reduced the ratio between the mask feature sizes and the exposure wavelength. Rigorous electromagnetic field (EMF) modeling of light diffraction of modern masks reveals several important phenomena which have to be considered in lithographic process development.

In contrast to the Kirchhoff approach, rigorous EMF simulation considers the mask as a real three-dimensional diffracting object. The scattering of light by the mask is computed by a numerical solution of Maxwell's equations for the given problem.

Mask diffraction analysis is a direct method for the characterization of lithographic masks. Fig. 1 sketches the basic set-up of a mask diffraction experiment. The mask is illuminated with a plane wave and diffracts the light in several discrete directions – so called diffraction orders. The measurement or simulation of the diffraction efficiency provides a direct access to physics and optics of rigorous EMF mask diffraction phenomena and can be used for mask stack characterization and optimization.

In fig. 2, the diffraction efficiency of an attenuated phase shift mask (AttPSM) is computed versus the width of the lines in a dense array of lines and spaces. Simulations were done both with the simple Kirchhoff approach and with rigorous EMF modeling. In the latter case, the polarization of the incident light has to be taken into account. At linewidths below 100 nm, the Kirchhoff approach fails to predict pronounced variations of the diffraction efficiency with respect to the linewidth and the polarization. The strong variation of the diffraction efficiency with respect to the refractive index of the absorber material in fig. 3 underlines the importance of material optimization for advanced lithographic masks.

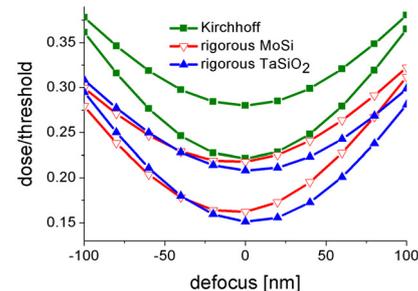


Fig. 4: Simulierte Prozeßfenster eines Linienmusters für verschiedene Maskenmodelle und Maskenmaterialien; Simulated process windows of line space patterns for different mask models and materials.

Lithographic Effects

The described diffraction phenomena have a strong impact on the lithographic performance of the mask. Advanced mask diffraction effects have to be taken into account in mask design, optical proximity correction (OPC), specification of critical defect sizes, and in the specification of optical parameters of the projection system such as illumination directions and polarization properties. Fig. 4 shows simulated process windows for different modeling approaches and mask materials.

Contact

Dr. Andreas Erdmann
Phone: +49 (0) 9131 761-258
andreas.erdmann@iisb.fraunhofer.de

Lithographiesimulation hat sich als sehr nützliches Werkzeug für die Modellierung von Strukturübertragung mit Projektionslithographie im (Sub-)Mikrometerbereich erwiesen. Wegen der hohen Kosten der Projektionslithographie wird allerdings in der Industrie und an vielen Instituten und Universitäten auch auf die einfachere Kontakt- und Nahfeldbelichtung zurückgegriffen.

Zur Übertragung von Strukturen im Bereich weniger Mikrometer bieten sogenannte Proximity-Aligner eine kostengünstige Alternative zu den teuren Projektionsoptiken. Bei den Proximity-Alignern wird auf die teure Projektionsoptik verzichtet.

Die Siliciumscheibe mit dem Photolack wird in einen geringen Abstand von bis zu wenigen Mikrometern von der Maske gebracht. Das lithographische „Bild“ entsteht durch einen „Schattenwurf“ der strukturierten Maske im Photolack. Bei der Simulation von Lithographieprozessen ist das Augenmerk hauptsächlich auf die Projektionslithographie gerichtet. Die Proximity-Aligner lassen sich mit derzeit existierenden Werkzeugen zur Lithographiesimulation nicht beschreiben. Die Simulation von Projektionsbelichtung basiert auf Fernfeld- (Fraunhofer-)Beugung, wo ein direkter Zusammenhang zwischen Maskengeometrie und Intensitätsverteilung exi-

stiert. Für Nahfeld (Fresnel-)Beugung, die den maßgebenden Effekt bei Proximity- und Kontaktbelichtung darstellt, existiert allerdings keine einfache Verbindung zwischen Geometrie und gestreuter Lichtintensität, was die Behandlung solcher Probleme erheblich erschwert.

Wir haben am IISB für die Simulation von Kontakt- und Nahfeldbelichtung eine robuste und sehr zeiteffiziente approximative Methode entwickelt. Durch Ankopplung der Methode an bereits existierende Module unserer hauseigenen Simulationssoftware Dr.LiTHO ist es möglich, den kompletten lithographischen Prozeß (Belichtung, chemische Veränderungen im Photolack, Entwicklung des Lackes und Analyse des Lackprofils nach der Entwicklung) zu simulieren. Die folgenden Abbildungen zeigen Schritte der Simulation. Zuerst wird das Beugungsmuster (Luftbild) hinter der Maskenöffnung (Apertur) berechnet (Fig. 1, es wurde hier eine sechseckige Apertur angenommen). In der Lithographiesimulation ist vor allem die Lichtintensität im Photolack von Bedeutung, weil sie die chemischen Vorgänge im Lack bestimmt. Das errechnete Luftbild wird also mit entsprechenden Methoden auch auf den Photolack und die darunterliegenden Schichten übertragen. In Fig. 2 (Intensität im Photolack) ist das typische Muster von stehenden Wellen, das infolge mehrfacher Reflexionen im Lack entsteht, zu beobachten. Nach der Belichtung folgt ein sogenannter Backschritt, was die Inhomogenität der Intensitätsverteilung im Photolack reduziert. Belichtete Bereiche des Photolackes werden während der Entwicklung gelöst, und es entsteht ein typisches Lackprofil, das die herstellbare Strukturbreite bestimmt (Fig. 3). Die für eine festgelegte Strukturbreite notwendige Belichtungs-dosis wird für mehrere Werte des Proximityabstandes berechnet, was ein sogenanntes Prozeßfenster ergibt. Neben der Strukturbreite wird

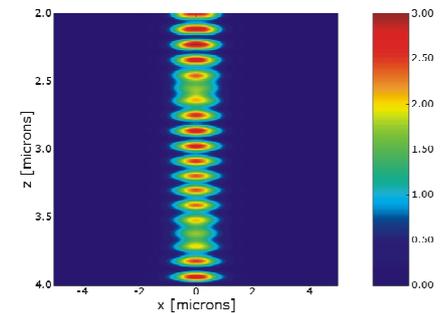


Fig. 2: Intensitätsverteilung im Photolack; Intensity distribution in the photoresist.

immer auch eine Toleranz festgelegt. Es sind solche Prozeßbedingungen zu bevorzugen, bei denen Abweichungen von der eingestellten Belichtungs-dosis oder dem Proximityabstand eine möglichst kleine Schwankung der Strukturbreite mit sich bringen. Die Analyse von Prozeßfenstern ermöglicht die Einstellung optimaler Prozeßparameter (Fig. 4). Üblicherweise werden Prozeßfenster für eine gewisse Strukturgröße und mehrere Maskengrößen erzeugt, was die Optimierung des Prozesses auch angesichts der Größe der Strukturen auf der Maske möglich macht.

Ansprechpartner

Bálint Meliorisz
 Telefon: +49 (0) 9131 761-233
 balint.meliorisz@iisb.fraunhofer.de

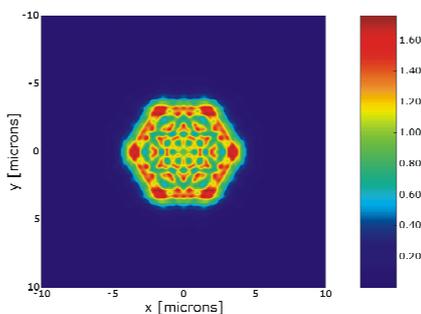


Fig. 1: Beugungsmuster einer sechseckigen Maskenöffnung; Diffraction profile of a hexagon-shaped mask opening.

Simulation of Mask Proximity Printing

Lithography simulation has proven to be a very useful tool for the simulation of (sub-)micron patterning processes using projection lithography. Due to high costs of projection printing, however, the more simple proximity and contact printing is utilized in industry and at several universities and institutes as well. Proximity aligners offer a cost-effective alternative to expensive projection optics for patterning processes with a structure width of some microns. There is no need of the expensive projection lens system in proximity printing.

In proximity printing, the wafer with a deposited photoresist layer is brought in a close distance of several microns to the mask. The lithographic image inside the photoresist is created as the shadow of the structured mask. For the simulation of lithography, main attention is given to projection printing. The existing lithography simulation tools are not suitable for the description of proximity aligners.

The simulation of projection printing is based on the far-field (Fraunhofer) diffraction theory, which delivers a direct correspondence between mask geometry and intensity distribution. For near-field diffraction, representing the most relevant effect in proximity and contact lithography, no simple relationship exists between geometry and scattered light intensity, which makes the handling of such problems significantly more

difficult.

We have developed a robust and very time-efficient approximate method for the simulation of contact and proximity printing. The coupling of the method with already existing modules of our in-house simulation software Dr.LiTHO allows the simulation of the entire lithographic process including imaging, chemical changes inside the photoresist, development of the resist and analysis of the resist profile after development. The following figures show steps of the simulation. First, the diffraction profile (aerial image) behind the mask opening (aperture) is calculated (fig. 1, a hexagon-shaped aperture was assumed here). Light intensity inside the photoresist is of principal interest in lithography simulation, because it determines the chemical reactions in the resist. Therefore, the aerial image obtained is transferred also to the photoresist and other deeper layers by appropriate methods. In fig. 2 (intensity in photoresist), the typical pattern of standing waves generated by multiple reflections inside the photoresist can be observed. A so-called bake step follows after the exposure, which reduces inhomogeneities of the intensity distribution in the photoresist. The exposed parts of the photoresist become soluble during exposure. A typical resist profile is obtained that determines the printable structure width (fig. 3). The illumination dose required to achieve a certain structure width is computed for several proximity distances, which results in a process window. Together with the specified structure width, a tolerance value is always defined as well. Process conditions are preferred at which the variation of the given structure width due to variations of the illumination dose or of the proximity distance remains low. Process window analysis allows to determine the optimum process parameters (fig. 4). Process windows are generally computed

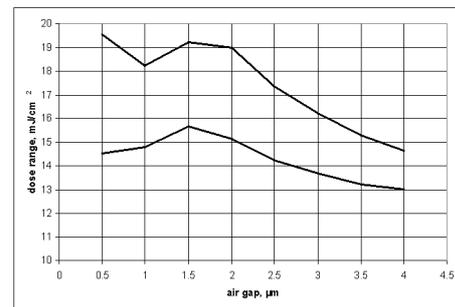


Fig. 4: Prozeßfenster; Process window.

for a certain structure width and for several mask sizes which facilitates process optimization also with respect to the size of the mask openings.

Contact

Bálint Meliorisz
Phone: +49 (0) 9131 761-233
balint.meliorisz@iisb.fraunhofer.de

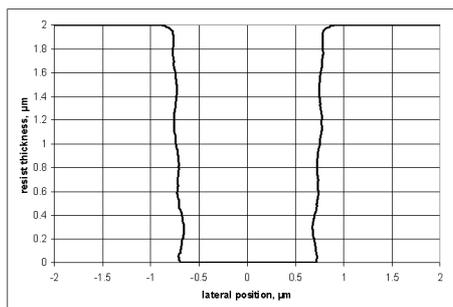


Fig. 3: Lackprofil nach Entwicklung; Resist profile after development.

Schwerpunkte, Trends und Potentiale der Abteilung Halbleiterfertigungsgeräte und -methoden

Primäre Zielsetzung ist die Unterstützung von Geräte- und Materialfirmen mit gerätenaher F&E sowie die Prozeßentwicklung, Prozeßcharakterisierung und die fertigungsnahe Evaluierung. Für die erforderliche Multidisziplinarität und die technologische Breite ist die Vernetzung innerhalb des Institutes und mit industrienahen Forschungseinrichtungen im In- und Ausland von besonderer Bedeutung, ebenso die Zusammenarbeit mit den Halbleiterherstellern. An dem Erfolg der Abteilung sind drei Gruppen beteiligt: „Geräte und Prozeßautomatisierung“, „Kontamination und Materialien“ und „Fertigungssteuerung und Produktivität“. Aus diesen werden im Folgenden kurz die Arbeitsschwerpunkte und wichtige Aktivitäten aus dem Jahre 2006 beschrieben.

Die Gruppe „Geräte und Prozeßautomatisierung“ arbeitet hauptsächlich an der Entwicklung von innovativen Prozeßkontrollsystemen auf der Basis integrierter Meßtechnik und Sensoren. Forschungsschwerpunkte bilden die *in situ*- bzw. in-line-Integration von Meßsystemen in Prozeßgeräte, die Realisierung von Systemen zur Fehlererkennung und -klassifizierung und die modellbasierte Prozeßkontrolle. Die Anpassung an neue Materialien und Prozeßabläufe sowie die Demonstration der Implementierungen erfolgt an Einzelprozeßgeräten oder an Mehrkammerprozeßanlagen (*Cluster Tools*). Für Gerätehersteller ist besonders die Schließung der Lücke zwischen Geräteforschung und -entwicklung und der Anwendung in den Halbleiterfirmen von großer Bedeutung. Der Berichtszeitraum war geprägt von der ersten Phase eines sogenannten „Integrierten Projektes“, eines durch die EU geförderten Vorha-

bens mit fast 30 Partnern aus Wirtschaft und Wissenschaft zur Evaluierung von Halbleiterfertigungsgeräten. In 16 Unterprojekten wurde begonnen, neue Prozeß- und innovative Meßgeräte zu entwickeln, zu testen und zur Serienreife zu bringen. Im Rahmen eines für langfristige und nachhaltige Geräteforschung angelegten Teilprojektes sind Arbeiten zur Standardisierung, zur APC, der „*advanced process control*“ und zum *virtuellen Equipment-Engineering* gestartet worden. Obige und die nachfolgend beschriebene Gruppe sind an mehreren Unterprojekten direkt beteiligt und zudem mit dem komplexen Gesamtmanagement dieses Großprojektes betraut.

Die Gruppe „Fertigungssteuerung und Produktivität“ bearbeitet die Themen Automatisierung, Fertigungssteuerung, Logistik und Qualitätskontrolle. Das Leistungsangebot umfaßt die Konzipierung und Realisierung von vorwärts- und rückwärtsgekoppelten Steuerungen/Regelungen (Feed-Forward bzw. Feedback), neue statistische Auswertungsverfahren zum Produktmonitoring sowie Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen bei der Integration von Meßtechnik in Geräte einschließlich diskreter Ablaufsimulation. Training und Weiterbildung unter Einsatz von e-learning-Methoden sowie die Erstellung von Trainingsmaterial speziell für e-learning gehören ebenso dazu. Ein im Aufbau befindliches Arbeitsgebiet ist die benigne Fertigung. Hier werden Geräte, Prozesse, Logistik und Infrastruktur auf Ihre Optimierung bezüglich eingesetzter Ressourcen unter besonderer Berücksichtigung von Energie-, Wasser-, und Chemikalienverbrauch untersucht und Verbesserungsmöglichkeiten entwickelt.

Schwerpunkte der Arbeiten in der Gruppe „Kontamination und Materialien“ liegen in den Themenbereichen „*Wafer Environment Contamination Control* (WECC)“, „Reinigungs- und

Polierprozesse für Siliciumscheiben“ und „*Yield Enhancement*“. Diese beinhalten Kontaminationsuntersuchungen unterschiedlichster Materialien und Geräte, die Weiterentwicklung von *Minienvironments* für den Transport und die Lagerung von Siliciumscheiben, Polierprozesse für sub-100-nm-Technologien, Doppelseitenpolieren, chemisch-mechanisches Polieren, hazefreies Polieren und optimierte Versorgungsanlagen von Poliermaschinen, weiterhin Reinigungsprozesse für sub-100-nm-Technologien einschließlich Trocknungsverfahren sowie Konditionierungsmethoden für Siliciumoberflächen. Auf der Grundlage umfangreicher Meßergebnisse zur Defekterkennung und -charakterisierung werden im Bereich „*Yield Enhancement*“ grundlegendes Verständnis und fortgeschrittene Modelle entwickelt, um Kontrolle und Vorhersagen zur Ausbeute zu verbessern. Es wurden mehrere Projekte durchgeführt, in denen Siliciumscheiben, Geräte, Medien, Materialien und Umgebungsluft bezüglich partikulärer, anorganischer und organischer Kontamination untersucht wurden. Arbeiten im Kompetenzzentrum für *Minienvironments* waren ein verbessertes automatisiertes Handling, geringere elektrostatische Entladungen und optimierte Inertgasspülung von FOUPs (*Front Opening Unified Pods*) sowie Kontaminationsuntersuchungen an Transportbehältern für Masken.

Mitarbeiter der Abteilung sind in mehreren Fachausschüssen und Fachgruppen der VDI/VDE-Fachgesellschaft GMM aktiv und nehmen Führungsrollen bei der Entwicklung von SEMI-Standards und bei der ITRS, der Internationalen Technologie-Roadmap, ein.

Ansprechpartner

Prof. Lothar Pfitzner
Telefon: +49 (0) 9131 761-110
lothar.pfitzner@iisb.fraunhofer.de

Focal areas of Research and Development, Trends and Potentials of the Department of Semiconductor Manufacturing Equipment and Methods

The primary objective consists in supporting equipment and materials suppliers in process development, process characterization and production-related evaluation by R&D close to the equipment. In view of the required interdisciplinaryity and the wide technological spectrum, close networking both within the institute and with other domestic and foreign industry-near research institutions is of particular importance, as is cooperation with semiconductor manufacturers. Three groups contribute to the successful operation of the department: "Equipment and Process Automation", "Contamination and Materials", and "Manufacturing Control and Productivity". In the following, the focal areas of research and major activities in 2006 will be briefly described.

The group "Equipment and Process Automation" mainly works on the development of innovative process control systems on the basis of integrated measurement methods and sensors. Focal areas are the in situ- and in-line integration of measurement systems into process equipment, the implementation of systems for the detection and classification of defects, and the model-based process control. The adaptation to new materials and processes as well as the implementations are demonstrated by single process or so-called cluster tools. Bridging the gap between equipment research and development and its application in semiconductor manufacturing is for the equipment suppliers most essential. The period of report was influenced by a first phase of a so-called "Integrated Project" funded by the EU for the evaluation of semiconductor manufacturing equipment with almost

30 partners from industry and science. In 16 sub-projects, novel process and innovative measurement equipment has been developed and tested with the purpose of series production. Within a sub-project created for the effective long-term equipment research, operations in the field of standardization, "advanced process control" (APC), and virtual equipment engineering have been launched. The working groups described above and below are involved in several sub-projects and are also in charge of the complete management of this major project.

The group "Manufacturing Control and Productivity" works in the field of automation, production methods, logistics and quality assurance. The range of products and services covers the concept as well as the realization of feed-forward/feed-back control, new statistic evaluation procedures for production monitoring, and efficiency studies regarding the integration of measurement techniques into the equipment including discrete process simulation. Basic and advanced training and education by applying e-learning methods and the preparation of e-learning training material is also part of the work. A field of activity just being built up is benign production – equipment, processes, logistics and infrastructure are analyzed and optimized in terms of their resources - especially focusing on energy, water and chemical consumption.

Focal areas of research in the group "Contamination and Materials" are Wafer Environment Contamination Control (WECC), cleaning and polishing processes for silicon wafers and yield enhancement. The group deals with contamination analysis of different materials and equipment, further development of minienvironments in terms of transport and storing of silicon wafers, polishing processes for sub-100 nm

technologies, double-side polishing, chemical-mechanical polishing (CMP), haze-free polishing as well as cleaning processes for sub-100 nm technologies including drying techniques and conditioning systems for silicon surfaces. In the field of yield enhancement, the fundamental understanding – acquired on the basis of elaborate measurement results for defect detection and characterization – and advanced techniques are developed for the optimization of yield control and prospects. Various projects were carried out, in which silicon wafers, equipment, media, materials, and environment air were examined in terms of particulate, anorganic, and organic contamination. The established center of excellence for the further development of minienvironments focused its research on improved automated handling, reduced electrostatic discharges, and optimized inert gas rinsing of FOUPs (Front Opening Unified Pods) as well as contamination analysis for the transportation of masks in containers.

Members of the department are active in various scientific committees and groups of the technical society GMM (Society of Microelectronics, Micro and Precision Engineering) within VDE/VDI (Association for Electrical, Electronic and Information Technologies) and occupy leading roles both in the development of SEMI standards and in the International Technology Roadmap (ITRS).

Contact

Prof. Lothar Pfitzner
Phone: +49 (0) 9131 761-110
lothar.pfitzner@iisb.fraunhofer.de

Ein wesentliches Merkmal der Entwicklung integrierter Bauelemente ist, daß zunehmend neue Isolatormaterialien mit hoher Dielektrizitätskonstante und neue Metallisierungssysteme eingesetzt werden, da die bislang verwendeten Materialien Siliciumdioxid und Polysilicium wegen der immer dünneren Filmschichtdicken an technologische Grenzen stoßen. Aufgrund der rasanten Technologieentwicklung im Bereich integrierter Schaltungen für die drahtlose Kommunikation und leistungselektronische Anwendungen, ist es auch bei passiven Bauelementen wie planaren Metall-Isolator-Metall-Kondensatoren (MIM) erforderlich, diese neuen Materialsysteme einzuführen. Fig. 1 zeigt schematisch die Struktur eines planaren MIM-Kondensators mit Kupfermetallisierung und Isolatormaterial mit hoher Dielektrizitätskonstante.

Ein wichtiges Ziel bei der Optimierung der MIM-Kondensatorstruktur ist es, durch die Verwendung geeigneter Metallbarrierschichten stabile Grenzflächeneigenschaften zwischen dem Kupfer und dem Isolator zu erhalten. Das Edelmetall Ruthenium und dessen metallisches Oxid RuO_2 sind aufgrund des niedrigen spezifischen Widerstands, der

hohen thermischen Stabilität und der guten Eigenschaft, als Diffusionsbarriere zu wirken, potentiell gut geeignete Barrierematerialien für planare MIM-Kondensatoren.

Im Rahmen des von der Europäischen Union innerhalb des sechsten Rahmenprogramms geförderten Projekts SEA-NET (Semiconductor Equipment Assessment for NanoElectronic Technologies) wird in dem Unterprojekt RACING (Ruthenium Atomic Vapor Deposition Competitiveness in Nanoelectronic Device Generations) eine Anlage für die gepulste metallorganische chemische Schichtabscheidung (MOCVD) für die Herstellung von ultradünnen Ruthenium- und Rutheniumoxidschichten optimiert. Die Ruthenium- und Rutheniumoxidschichten werden dabei in Verbindung mit verschiedenen hochdielektrischen Schichten für die Anwendung bei MIM-Kondensatoren evaluiert. Das Projektkonsortium besteht aus der Firma Aixtron als Geräteelieferant, der Firma Infineon Technologies als IC-Hersteller sowie dem Fraunhofer IISB als Forschungseinrichtung. Die Schichtherstellung erfolgt an einem MOCVD-Reaktor, der an einer Vakuum-Clusteranlage des Fraunhofer IISB installiert ist, und wird von der Firma Aixtron betreut. Fig. 2 zeigt die Kammer eines MOCVD-Reaktors. Die Charakterisierung physikalischer und elektrischer Schichteigenschaften erfolgt durch das Fraunhofer IISB. Für die elektrische Charakterisierung von Kondensatorteststrukturen, die bei Infineon und am IISB durchgeführt werden, wurden in enger Abstimmung zwischen den Partnern Testprozesse etabliert.

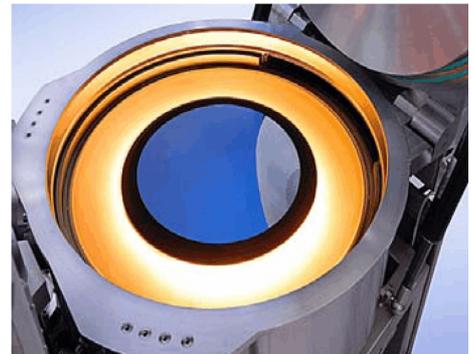


Fig. 2: Reaktor für die gepulste metallorganische chemische Schichtabscheidung; Reactor for the pulsed metal-organic chemical vapor deposition.

wachsraten homogen über die Scheibenfläche hergestellt werden. Fig. 3 zeigt die transmissionselektronenmikroskopische Aufnahme einer mit diesem Verfahren hergestellten 10 nm dicken hochreinen Rutheniumschicht. Der Schichtwiderstand der dünnen Rutheniumschichten liegt dabei in einem Wertebereich, der für massive Einkristalle erhalten wird und weist eine Inhomogenität von weniger als einem Prozent über die Scheibe auf (Fig. 4).

Anhand elektrischer Messungen an Kondensatorteststrukturen mit Aluminiumoxid als Dielektrikum konnte im Rahmen des laufenden Projekts bereits gezeigt werden, daß verbesserte Barriereigenschaften im Vergleich zu Referenzstrukturen erhalten werden. Eine weitere Verbesserung wird hierbei für alternative Isolatoren mit hoher Dielektrizitätskonstante erwartet. Die experimentellen Untersuchungen hierzu sind in der begonnenen zweiten Phase des Projektes vorgesehenen.

Ansprechpartner

Georg Roeder
Telefon: +49 (0) 9131 85 2 86 68
georg.roeder@iisb.fraunhofer.de

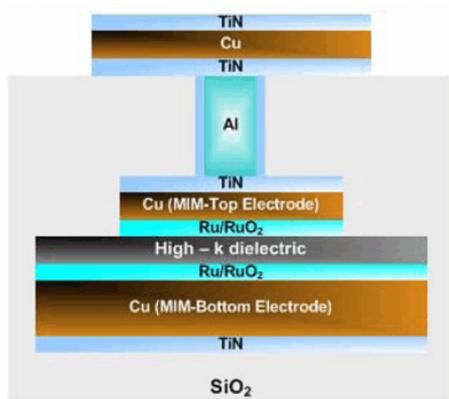


Fig. 1: Planarer MIM-Kondensator mit Ruthenium-/ RuO_2 -Barriere, Kupfermetallisierung und Isolatormaterial mit hoher Dielektrizitätskonstante; Planar MIM capacitor with ruthenium/ RuO_2 barrier layers, copper metallization, and high-k dielectric.

A characteristic trend of the development of integrated circuits is that the commonly used material systems such as silicon dioxide and polysilicon have been pushed to their technological limits and more and more new high-k dielectric materials and novel metallization systems have to be applied. Due to the rapid evolution of the technology for wireless and power devices, these new material systems also have to be introduced for passive devices, e.g. planar metal-insulator-metal capacitors (MIM). Fig. 1 schematically shows the cross-section of a planar metal-insulator-metal capacitor with copper metallization and high-k dielectric.

A major objective for the optimization of the MIM capacitor structure is to obtain stable interface conditions between the copper and the dielectric, which is achieved by the introduction of suitable metal barrier layers. The noble metal ruthenium and its metallic oxide RuO_2 are potentially suitable barrier metals for use in planar MIM capacitors due to their low specific resistivity, their high thermal stability and their good property acting as diffusion barrier.

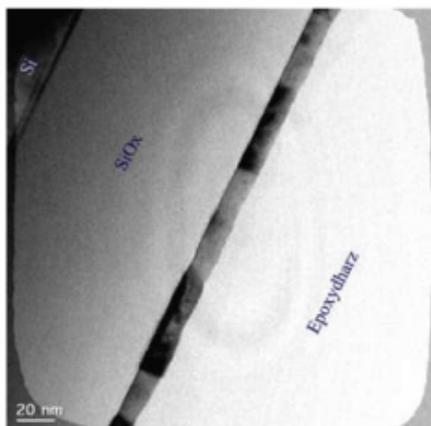


Fig. 3: Transmissionselektronenmikroskopische Aufnahme einer 10 nm dicken hochreinen Rutheniumschicht; Transmission electron microscope image of a 10 nm ruthenium layer.

Within the SEA-NET (Semiconductor Equipment Assessment for Nano-Electronic Technologies) project, which is funded within the Sixth European Framework Programme, a system for the pulsed metal-organic deposition of ultra-thin ruthenium and ruthenium-oxide films is assessed. The assessment is performed within the sub-project RACING (Ruthenium Atomic Vapor Deposition Competitiveness in Nanoelectronic Device Generations). The project consortium consists of the company Aixtron as equipment supplier, the company Infineon as IC manufacturer, and the Fraunhofer IISB as research institute. The layers are manufactured in a MOCVD reactor which is installed on a vacuum cluster system at the Fraunhofer IISB. The layer deposition is carried out by Aixtron. Fig. 2 shows a reactor for the pulsed metal-organic chemical vapor deposition. The characterization of physical and electrical layer properties is carried out by Fraunhofer IISB. For the electrical characterization of capacitor test structures, which is carried out by Infineon and the Fraunhofer IISB, test processes were established in close cooperation.

During the pulsed metal-organic chemical vapor deposition, the precursors for the layer material are introduced into the deposition reactor through injectors providing a well-controlled precursor dosage. With this method, thin layers can be manufactured with a high, well-controlled deposition rate and uniformity across the wafer.

Fig. 3 shows a transmission electron microscope image of a highly pure ruthenium film with a thickness of 10 nm which was deposited with this method. For the thin layer, a sheet resistance within the range of a bulk single crystal with a non-uniformity of less than one percent over the wafer is obtained (fig. 4).

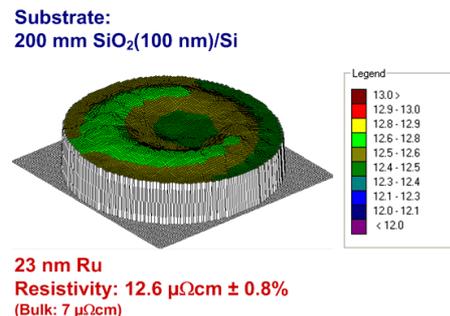


Fig. 4: Schichtwiderstand einer mittels gepulster MOCVD hergestellten dünnen Rutheniumschicht; Sheet resistance of a thin ruthenium layer fabricated by pulsed MOCVD.

Within the ongoing project, electrical measurements were performed on capacitor test structures with aluminum oxide as dielectric. With these measurements it could be shown that improved barrier properties compared to reference devices are obtained. Further improvement for alternative high-k dielectrics is expected. The respective experimental investigations are envisaged for the recently started second project phase.

Contact

Georg Roeder
Phone: +49 (0) 9131 85 2 86 68
georg.roeder@iisb.fraunhofer.de

Einleitung

Die fortgesetzte Miniaturisierung, unterstützt durch neueste Technologien, ermöglicht fortschrittliche Mikro- und Nanoelektronik. Ein erheblicher weltweiter F&E-Aufwand konzentriert sich auf das Verständnis und die Kontrolle von Materialeigenschaften und Abmessungen im atomaren Bereich. Kritisch für wegweisende Neuentwicklungen ist die Verfügbarkeit von adäquaten analytischen Infrastrukturen. Neue Materialien und der Bedarf nach fortwährend besseren Empfindlichkeiten beim Nachweis von Verunreinigungen stellen große Herausforderungen an die derzeitigen Möglichkeiten analytischer Geräte und Expertise. In der Vergangenheit arbeiteten europäische Labore mit Kernkompetenzen bei Materialcharakterisierung und Spurenanalytik weitgehend unabhängig voneinander.

Ziele

In den nächsten Jahren formt das geplante europäische Verbundlabor ANNA ein gemeinschaftliches, synergetisches Netzwerk von analytisch arbeitenden Wissenschaftlern und bereits existierenden Institutionen. Jede Institution verfügt über unterschiedliche aber

komplementäre Kompetenzen und analytische Expertise. Dies bietet den erforderlichen integrierten Ansatz zur Unterstützung der Forschungsaktivitäten für die Mikro- und Nanoelektronik. Dadurch werden die in Europa verfügbaren Ressourcen verknüpft. Gleichzeitig unterstützt der angebotene Service und Transnational Access weitergehende zukünftige Forschung und Entwicklung des Verbundlabors.

Verbund

Das ANNA-Konsortium besteht aus 12 Partnern aus sieben europäischen Ländern (siehe Fig. 1). Die Stärke des Verbundes begründet sich in der Kombination unterschiedlicher Kompetenzen der Partner. Das Konsortium beinhaltet Forschungseinrichtungen, Universitäten und Partner aus der Industrie. Es deckt einen weiten Bereich analytischer Methoden ab, die eine Schlüsselrolle für die zukünftige Entwicklung von Nanotechnologien sind. Die Industriepartner testen und verwenden die Methoden. Weiterhin initiieren sie neue, verbesserte analytische Entwicklungen.

Bildung des Verbundlabors

Das Ziel ist die Integration und der Ausbau des europäischen Forschungsraumes. Der Aufbau des Verbundlabors wird im Rahmen einer "Integrated Infrastructure Initiative (I3)" gefördert. Die Fundamente hierfür sind drei Instrumente: a) Vernetzung zur Bildung von "goldenen" Referenzlaboren. Institutionen und Einrichtungen werden zum Verbundlabor integriert. b) "Transnational Access" ermöglicht den Zugang zum Verbundlabor für Europäische Nutzer. c) fokussierte Verbundforschung im Hinblick auf die Verbesserung und Erweiterung der Methoden und Entwicklung neuer Kompetenzen (siehe Fig. 2).

Beitrag des Fraunhofer IISB

Die Geräte und Methoden des Fraunhofer IISB wurden fortlaufend in zahlreichen Industrie und Forschungsprojekten wie FECLAM, NANOCMOS, Flying Wafer, e-LIMM, SEA und SEA-NET entwickelt. SEMI- und ITRS-Aktivitäten des Fraunhofer IISB beinhalten die Standardisierung und die Definition von Technologietrends. In das Verbundlabor werden folgende Labore des Fraunhofer IISB integriert: a) organische Kontamination, b) Wafer-Oberflächenpräparation und c) Ultra-Spurenanalytik. Die Labore profitieren von der Vernetzung durch die bevorstehende Akkreditierung. Das Institut ist federführend für die Netzwerkaktivität und die Forschung, Entwicklung und Verbesserung organischer und anorganischer Kontaminationsanalytik. Diese Aktivitäten bereiten die beteiligten Labore des Fraunhofer IISB auf zukünftigen Anforderungen der Nanotechnologien vor.

Schlußfolgerung

Der Vorschlag für das I3 wurde vom Fraunhofer IISB initiiert und im März 2005 eingereicht. Der Vertrag wurde im November 2006 unterzeichnet. Während des ersten Jahres werden die Aktivitäten auf die Bildung des Verbundlabors, die Akkreditierung und den Transnational Access fokussiert sein. Europäische Nutzer, wie zum Beispiel Universitäten, SME oder Industrie, sind eingeladen die Fraunhofer-Labore im Rahmen des Transnational Access Programms für Ihre F&E zu nutzen. Internetseite: www.i3-anna.org

Ansprechpartner

Dr. Andreas Nutsch
Telefon: +49 (0) 9131 761-115
andreas.nutsch@iisb.fraunhofer.de

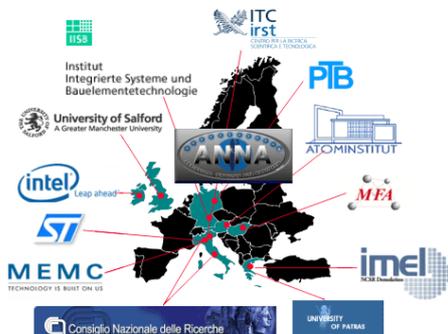


Fig. 1: Konsortium für die "Integrierte Infrastruktur-Initiative (I3)" ANNA. 12 Partner aus sieben europäischen Ländern sind beteiligt. Consortium for the "Integrated Infrastructure Initiative (I3)" ANNA. 12 partners out of 7 European Countries are involved.

Introduction

The continuous miniaturization supported by newest technologies enables advanced micro and nanoelectronics. An enormous worldwide R&D effort focuses on the understanding and controlling materials properties and dimensions at atomic level. Crucial for groundbreaking new developments is the availability of appropriate analytical infrastructures. New materials and the demand of improved detection sensitivities regarding contaminants provides huge challenges concerning the capabilities of current analysis equipment and expertise. In the past, European laboratories with core competencies in materials characterization and trace analysis worked mostly independently.

Objective

Within the next years, the intended European multi-site laboratory ANNA forms a cooperative, synergetic network of analytically working scientists and already existing institutions. Each institution has different but complementary competencies and analytical expertise. This provides the necessary integrated approach supporting the

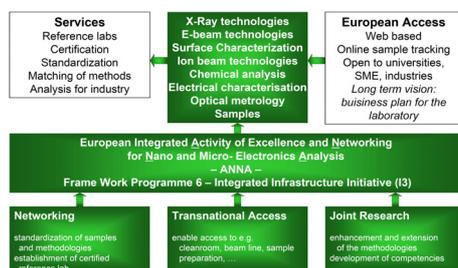


Fig. 2: Die "Integrated Infrastructure Initiative (I3)" basiert auf drei Säulen: Networking, Transnational Access, und Verbundforschung. Das Verbundlabor wird eine große Breite an Service und analytischen Möglichkeiten bieten; The "Integrated infrastructure Initiative" is based on three pillars: networking, transnational access, and joint research. The multi-site laboratory will provide a large variety of services and analytical capabilities.

research activities for micro and nanoelectronics. Thus, the available resources within Europe will be linked. At the same time, the offered analytical services and transnational access enhance further future research and development of the multi-site laboratory.

Network

The ANNA consortium consists of 12 partners from seven European countries (see fig. 1). The strength of this network is based on the combination of complementary backgrounds of the partners. The consortium covers research institutions, universities and industry. The partners provide a wide range of analytical methodologies that are very important for future advanced development of nanotechnologies. The industrial partners test and apply the methodologies. Furthermore, they initiate new enhanced analytical developments.

Creation of the Multi-Site Laboratory

The objective is to integrate and to strengthen the European research area. The creation of the multi-site laboratory is promoted by the "Integrated Infrastructure Initiative (I3)". The pillars of I3 are the three following instruments: a) networking for the formation of "golden" reference laboratories. Institutions and facilities are integrated to multi-site laboratory clusters; b) transnational access provides access to the multi-site laboratory for European users; c) focused joint research aims at enhancing and extending the methodologies and the development of new competencies (see fig. 2).

Contribution of Fraunhofer IISB

The equipment and methodologies of Fraunhofer IISB were developed and extended continuously during numerous industrial and research projects as FECLAM, NANOCMOS, Flying Wafer, e-LIMM, SEA, and SEA-NET. SEMI and ITRS activities of Fraunhofer IISB include the standardization and definition of technology trends. Within the project, Fraunhofer IISB integrates the following laboratories into the multi-site laboratory: a) organic contamination, b) wafer surface preparation, and c) ultra-trace analysis. The laboratories benefit from the networking and from the forthcoming accreditation. The institute leads the networking activity and the research, development, and enhancement of the organic and inorganic contamination analysis competencies. These activities prepare the involved laboratories of the Fraunhofer IISB for future demands in nanotechnologies.

Conclusion

The proposal for the I3 was initiated by Fraunhofer IISB and submitted in March 2005. The contract was signed in November 2006. In the first year, the activities will focus on creation of the laboratory, on accreditation and enabling the transnational access. European users, e.g. universities, SME, or industry, are invited to use the Fraunhofer IISB laboratories during the transnational access program for their R&D. Website: www.i3-anna.org

Contact

Dr. Andreas Nutsch
Phone: +49 (0) 9131 761-115
andreas.nutsch@iisb.fraunhofer.de

Einführung

Das Linear Dynamic Deposition (LDD) System zur Abscheidung von dünnen Schichten (TIMARIS) basiert auf der "Physical Vapor Deposition"-Technologie. Es wurde bei der Firma Singulus Technologies AG entwickelt. Im laufenden europäischen Projekt SEA-NET wurden physikalische Parameter wie Schichthomogenität, Oberflächenrauigkeit oder Schichtdickengenauigkeit während der Abscheidung im TIMARIS-System mittels unterschiedlicher analytischer Methoden evaluiert.

Schichtwiderstand – Vierspitzen (4PP) Messungen

Der Widerstand von Materialien ist ein wichtiger Parameter, da er einen direkten Einfluß auf die Eigenschaften von MOS-Bauelementen hat. Deshalb ist sowohl der absolute Wert des Schichtwiderstandes als auch seine Homogenität äußerst wichtig. Heutzutage ist die 4PP-Methode das gebräuchlichste Verfahren zur Bestimmung des Widerstandes von Schichten. Die Fig. 1 zeigt die statistische Streuung des gemessenen Schichtwiderstandes für die mit unterschiedlicher Dicke im TIMARIS-System abgeschiedenen Materialien. Die Ru- und RuO₂-Schichten zeigen eine ausgezeichnete Homogenität kleiner als 1%. Der Wert von 1δ für die Ta-Schicht

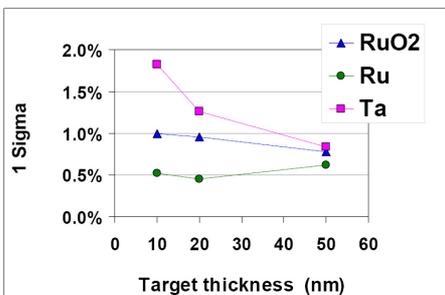


Fig. 1: Standardabweichung (1δ) des Schichtwiderstandes für gesputterte Schichten; Statistical spread (1δ) of sheet resistance for the layer deposited.

hängt von der Schichtdicke ab. Je dicker die Schicht desto kleiner ist die statistische Streuung.

Schichtdicke – Spektrellipsometrie, Röntgenstrahlreflektometrie (XRR)

Spektrellipsometrie und XRR sind sehr gute Meßmethoden zur zerstörungsfreien Bestimmung der Schichtdicke und werden deshalb in der Halbleiterfertigung sehr häufig eingesetzt. Beide Methoden liefern Meßergebnisse, die nur eine indirekte Information ermöglichen. Mathematische und physikalische Modelle sind nötig, um aus den Meßergebnissen die Schichtdicke zu berechnen. Ähnlich wie bei 4PP werden Schichtdicken an verschiedenen Punkten auf der Scheibe gemessen, um die Homogenität and Streuung der Dicke über die Scheibenoberfläche zu bestimmen. Die Fig. 2 zeigt ein Beispiel eines Schichtdickenverteilung über den Wafer einer RuO₂-Schicht. Die Meßmethode war XRR; es ergab sich ein Mittelwert von 52,5nm und eine Streuung von 0,8 %. Alle gemessenen Proben weisen eine gute Schichthomogenität kleiner als 1% auf. Die Dichte von RuO₂ stimmt sehr gut mit dem Literaturwert (7,06 g/cm³) überein.

Schichtrauhigkeit – Rasterkraftmikroskop (AFM)

Die Qualität der Oberfläche einer gesputterten Schicht kann mittels Rasterkraftmikroskopie untersucht werden. Über die Messungen der Kraft zwischen Sonde und Oberfläche kann der Verlauf der Oberflächentopographie und damit die Rauigkeit der Schicht bestimmt werden. Während der Messung wird ein ausgewählter Bereich der Probe gescannt. Mittels definierter Berechnungsmethoden kann daraus die Oberflächenrauigkeit ermittelt werden (z.B. mittlere Rauigkeit (Ra), die quadrati-

sche Rauigkeit (RMS) oder die gemittelte Rauigkeitstiefe (RZ). Die Meßergebnisse lassen sich als zwei- oder dreidimensionales Bild graphisch darstellen. Alle abgeschiedenen Schichten im TIMARIS-System charakterisiert eine sehr niedrige Schichtrauhigkeit. Eine Korrelation zwischen der Schichtdicke und der Schichtrauhigkeit ist zu beobachten. Je dicker Schicht ist, desto hö-

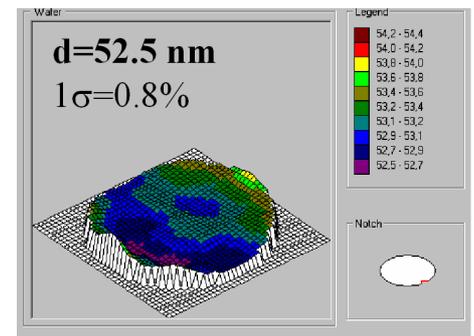


Fig. 2: Schichtdickenverteilung gemessen mit XRR für eine RuO₂-Probe: mittlerer Wert 52,5 nm, Standardabweichung 0,8 % (1δ); Thickness mapping measured by XRR: mean value 52.5 nm, standard deviation 0.8 % (1δ);

her ist die Schichtrauhigkeit, aber immer kleiner als 1 nm.

Austrittsarbeit – C-V Messungen

Die Austrittsarbeit ist ein wichtiger Parameter für eine Gate-Stack-Applikation. Sie kann mittels C-V-Messungen gemessen werden. In der Fig. 4 werden die experimentellen Ergebnisse der Austrittsarbeitbestimmung mittels der Hochfrequenzmessungen gezeigt. Die berechnete Austrittsarbeit für Materialien wie Ta oder RuO₂ stimmt gut mit den Werten in der Literatur überein.

Ansprechpartner

Dr. Magdalena Kozłowska
Telefon: +49 (0) 9131 761-146
magdalena.kozłowska@iisb.fraunhofer.de

Introduction

A Linear Dynamic Deposition (LDD) system of thin films (TIMARIS) based on the Physical Vapor Deposition technology has been developed by Singulus Technologies AG. In the ongoing European Project SEA-NET, physical properties such as uniformity, roughness and controllability of layer thickness during the deposition of the layer in the TIMARIS system were evaluated using different analytical methods.

Sheet Resistance – Four-Point Probe (4PP) Measurements

The resistance of materials is one basic parameter which has an influence on MOS devices' performance. Therefore, the absolute value and the uniformity of the sheet resistance R_s over the wafer plays a crucial role. Today, the Four-Point Probe technique is the most common method for measuring semiconductor resistivity. Within a few minutes, wafer mapping is acquired and the spreading of the layer uniformity can be estimated. Fig. 1 shows a statistical spread of sheet resistance measured for materials deposited with a different thickness in the TIMARIS system. The layers of Ru and RuO₂ exhibit an excellent uniformity lower than 1%. The value of 1δ of Ta layers depends on the layer thickness. The thicker the layer,

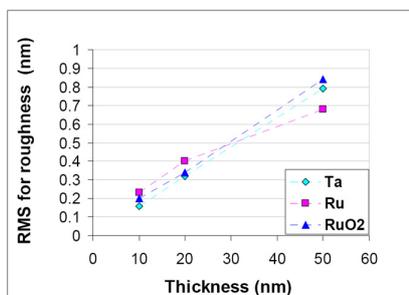


Fig. 3: Rauhgigkeit der gesputterten Schichten im TIMARIS-System; Roughness of layers deposited in the TIMARIS system.

the lower the statistical spread.

Layer Thickness – Spectral Ellipsometry, X-Ray Reflectometry (XRR)

Spectral Ellipsometry and XRR are proven nondestructive methods of thickness control. They are commonly used as conventional tools for thickness determination in semiconductor manufacturing. Both methods deliver parameters which provide only intermediate information and mathematical and physical models are necessary to calculate thickness. Similar to the 4PP thickness measurements wafer mappings are performed to receive thickness distribution and uniformity of the investigated layer. Fig. 2 shows an example of mapping of a RuO₂ layer deposited with mean thickness of 52.5 nm and a statistical spread of 0.8% determined via XRR. All samples investigated show a homogeneity lower than 1% and an acceptable controllability of deposition. The density of RuO₂ layers determined via XRR is quite in accordance with literature data (7.05 g/cm³).

Surface Roughness - Atomic Force Microscopy (AFM)

The surface quality of sputtered layers can be investigated by using AFM. From the measurements of the forces between probe and sample, the surface roughness of a top layer is determined. During the AFM measurements, the chosen area of the sample is scanned and then the surface roughness is calculated. Different definition are used, e.g. mean roughness (Ra), root-mean-squared roughness (RMS), and mean depth of roughness. The visualization of the results can be realized as a two- or three-dimensional image of a sample. All layers deposited in the TIMARIS system show a very low roughness (Fig. 3). A correlation between layer thickness

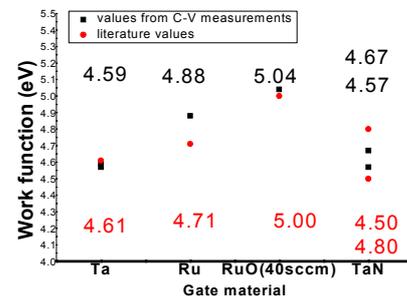


Fig. 4: Austrittsarbeit für gesputterte Materialien (schwarz) im Vergleich zu den Literaturangaben (rot); Work function determined for the materials deposited (black) vs. literature data (red).

and roughness can be found. The thicker the layer, the higher is the roughness of the layer. However, the surface roughness is always smaller than 1 nm, which was specified for the future technology nodes.

Work Function – C-V measurements

For gate stack application, work function is an important parameter. It is measured by the application of C-V measurements. In fig. 4, the experimental results of the work function determination via the high-frequency C-V method are shown. The calculated values for deposited materials like Ta or RuO₂ are in accordance with the literature data.

Contact

Dr. Magdalena Kozłowska
Phone: +49 (0) 9131 761-146
magdalena.kozłowska
@iisb.fraunhofer.de

Schwerpunkt, Trends und Potentiale der Abteilung Technologie

Die Herstellung und Charakterisierung dünnster Schichten für die Nanotechnologie, die Integration neuartiger Materialien in der Siliciumtechnologie, die Bearbeitung mikroskopischer Strukturen mittels Ionenstrahltechnik und die Entwicklung von Bauelementestrukturen der Leistungselektronik und der Mikrosystemtechnik sind die Forschungsschwerpunkte und Kompetenzen der Abteilung Technologie im Bereich Halbleiter- und Nanotechnologie. Für die Durchführung der Arbeiten stehen in Kooperation mit dem Lehrstuhl für Elektronische Bauelemente der Universität Erlangen-Nürnberg mehr als 1000 m² Reinraum (Klasse 10) mit entsprechender Gerätetechnik zur Verfügung. Ein von der Industrie transferierter CMOS-Prozeß ist in der Prozeßlinie des IISB implementiert und an die speziellen Anforderungen eines Forschungsinstitutes angepaßt. Dieser Gesamtprozeß bildet die Basis, die Einzelprozeßentwicklung für zukünftige Bauelemente zu stärken und eine Erprobung von neuen Prozessen im Umfeld eines bekannten Prozesses zu ermöglichen.

Im Bereich Front-End-Prozeßentwicklung und Charakterisierung elektronischer Halbleiterbauelemente steht dem IISB mit hochmodernen Gasphasen-Abscheideanlagen auf der Basis von MOCVD geeignetes Equipment zur Abscheidung von Dielektrika mit hoher Dielektrizitätskonstante und metallischen Schichten zur Verfügung. Die Kompetenzen des IISB liegen dabei in der Anpassung dieser Anlagen an die jeweilige Precursorenchemie, in der Abscheidung aus allen Arten von Precursoren und in der Charakterisierung der abgeschiedenen Schichten. Dies führte dazu, daß im Rahmen mehrerer europäischer Forschungsprojekte - SINANO,

NanoCMOS und PullNano - Hoch-Epsilon- und metallische Schichten untersucht werden bzw. am Fraunhofer CNT in Dresden zusammen mit Qimonda Schichten für Speicher der Jahre 2011 und später entwickelt werden.

Traditionelles Arbeitsgebiet am IISB ist die Ionenstrahltechnik. Implantationsanlagen von einigen eV bis hin zu mehreren MeV stehen zur Verfügung. Die Durchführung von Sonderimplantationen für Industriekunden, sowohl in der CMOS- als auch in der Leistungsbau-elementetechnologie, stellt einen Schwerpunkt der Aktivitäten dar. Ein weiterer Fokus ist die Untersuchung von Kontamination während der oder durch die Implantation. Dazu wurde eigens ein Computerprogramm entwickelt, mit dem nahezu alle Elemente und Verbindungen als Kontaminationsquelle implementiert sind.

Seit bereits mehr als 15 Jahren arbeitet das IISB im Bereich Leistungsbau-elemente und SiC. Dafür stehen dem Institut spezielle Anlagen zur Herstellung von Trenchstrukturen und zu deren Wiederbefüllung zur Verfügung. Daraus ergeben sich vielfache Möglichkeiten der Entwicklung neuartiger Bauelementestrukturen in der Leistungselektronik. So konnte erfolgreich eine Smart-Power-IGBT-Technologie mit Grabenisolation implementiert werden. Dies ermöglicht der Abteilung, den Bereich der Fertigung von Hochvoltbauelementen mit lateralen Isolationen weiter auszubauen. Zur Ergänzung dieser Aktivitäten laufen Arbeiten zum Design von ASICs im integrierten Leistungsbau-elementesektor. Mittlerweile können am IISB nahezu alle in der CMOS-Technologie bekannten Fertigungsschritte auch an SiC-Scheiben durchgeführt werden. Die Entwicklung notwendiger neuartiger Prozeßschritte wie Hochtemperaturausheilung und Epitaxie ist weiter fortgeschritten.

Zur Herstellung von Halbleiterbauelementen gehört unabdingbar die Charakterisierung der einzelnen Prozeßschritte und der jeweiligen Strukturen. Wichtige Methoden sind dabei die Bestimmung der Schichtzusammensetzung, der Topographie, der Dotierprofile und weiterer physikalischer und chemischer Parameter. Besondere Kompetenz der Abteilung liegt in der Kombination verschiedener Methoden zur Analyse von Fehlern in der Prozessierung von Halbleitern und dem Aufspüren von Fehlerursachen. Ergänzend dazu wurde die elektrische Charakterisierung weiter ausgebaut, z.B. Bestimmung von Grenzflächenzuständen mittels Lebensdauerermessung. Darüber hinaus entstand in den letzten Jahren eine europäische Initiative im Rahmen eines EC-Projekts zur Koordination der bedeutendsten europäischen Forschungsinstitute im Bereich MEMS und AVT, bei der die Abteilung maßgeblich beteiligt ist.

Die Kompetenzen in der Bearbeitung von Strukturen in der Größenordnung weniger Nanometer mit Hilfe fokussierter Ionen (Focused Ion Beam, FIB)- und Elektronenstrahlen werden am IISB seit mehreren Jahren entwickelt und für die Reparatur und Analyse von Prototypen elektronischer Bauteile eingesetzt. Darüber hinaus werden mit dieser Technik neue Nanosonden für die Rastermikroskopie entwickelt und gefertigt, die es erlauben, physikalische oder elektrische Parameter, wie Dotierung oder Schichteigenschaften, mit hoher Ortsauflösung zu bestimmen. Weitere Anwendungsgebiete sind kleinste Feldemitterstrukturen für die Vakuum-Nanoelektronik.

Ansprechpartner

Dr. Anton Bauer
Telefon: +49 (0) 9131 761-308
anton.bauer@iisb.fraunhofer.de

Focal Areas of Research and Development, Trends and Potentials of the Department of Technology

The main activities of the semiconductor and nanotechnology department are characterization and integration of new materials into silicon technology, manufacturing of ultra-thin layers for nanotechnology, modification of nanostructures via ion beam techniques, development of device structures for power electronics or micro-electrochemical systems (MEMS) and design of ASICs. For this purpose, IISB and the Chair of Electron Devices of the University of Erlangen-Nuremberg operate joint cleanroom facilities of 1000 m² (class 10) equipped with CMOS-compatible equipment. This allows the implementation of the most important process steps on silicon wafers with diameters of up to 150 mm, for certain process steps even on 200 and 300 mm wafers. An industrial CMOS process transferred to IISB from industry and adapted to research and development purposes is used as reference and basis for the development of advanced process technology.

For the development of novel process steps in the field of gate stack engineering, IISB operates advanced chemical vapor deposition tools on the basis of MOCVD for the deposition of high-k and metallic layers. Adaptation of the equipment to the particular chemistry of the precursor, deposition of a multiplicity of precursors, characterization of the deposited layers, and in cooperation with several chemical institutes, creation and modification of novel precursor chemistry are main tasks of the department. The department is engaged in several European research projects such as SINANO, NanoCMOS and PullNano, where new high-k and metallic layers are analyzed. Together with Qimonda at Fraunhofer CNT,

high-k layers will be developed for dielectrics in memory devices of the generation 2011 and beyond. For advanced electrical characterization of devices, the department operates a wide variety of parameter analyzers, wafer probes, and high-voltage measuring set-ups.

Special activities are focused on ion implantation technologies. At IISB, implantation tools with acceleration voltages of some eV up to several MeV are available. Special implantations for CMOS as well as for power semiconductors are established (e.g. commercial tools have been modified to be able to implant several wafer diameters and manifold elements at elevated temperatures). Investigation of contamination during implantation is a further focus in this domain. A computer program was developed where almost all elemental molecular impurities are implemented.

Further activities focus on the fields of power semiconductors and silicon carbide electronics. IISB has increased its commitment in these fields by implementing new equipment and processes to meet special requirements necessary for power devices and SiC electronics like etching and refilling of deep trenches or high-temperature processing capabilities for SiC. A Smart Power IGBT technology with integrated trench isolation has been successfully implemented. This allows the department to strengthen its competence in manufacturing smart-power or high-voltage devices. This work is supplemented by design activities for ASICs for power electronic applications. In the meantime, almost all necessary manufacturing steps for SiC devices can be performed at IISB. Equipment for high-temperature annealing or epitaxy is available and well accepted by industry.

Physical characterization of process steps and device structures is of utmost importance for the manufacturing of

semiconductor devices. Important steps in this respect are the determination of composition, topography, doping profile, and further physical and chemical parameters as well as SEM & TEM investigations, energy-dispersive X-ray analysis, and AFM surface characterization of layers. The specific competence of the department is the combination of several methods for the analysis of failures during the processing of devices or the tracing of failure causes. The spectrum for electrical characterization was further increased (e.g. lifetime measurements). Furthermore, the department is significantly involved in a European initiative where the five major European research institutes in the field of MEMS (Micro Electro Mechanical System) and packaging coordinate their expertise towards a strategical alliance.

Another focal area of the department is the processing of structures in the range of a few nanometers as well as the repair and analysis of prototypes of electronic devices with focused ion beam (FIB) techniques and electron beams. In addition to that, nanoprobes for atomic force microscopy are developed by using FIB to determine physical and chemical parameters like doping profiles or layer properties with a much higher resolution. Additional fields of application for FIB are smallest structures of field emitters for vacuum nanoelectronics.

Contact

Dr. Anton Bauer
Phone: +49 (0) 9131 761-308
anton.bauer@iisb.fraunhofer.de

Neuartige Ausgangsstoffe zur Herstellung von Elektroden für zukünftige CMOS-Anwendungen

<Inhaltsverzeichnis>

Mit zunehmender Verkleinerung der Bauelemente in integrierten Schaltungen nimmt die Notwendigkeit der Einführung neuer Materialien in nahezu allen Bereichen zu, so auch bei Elektroden. Aktuell werden diese bei Transistoren aus hoch dotiertem Polysilicium gefertigt, was nachteilig etwa in bezug auf die benötigten hohen Temperaturen zur Aktivierung der Dotierstoffe, eine mögliche Verarmung an der Grenzfläche zum Dielektrikum oder einen hohen Widerstand der Elektrode ist. Ein Lösungsansatz ist die Verwendung metallischer Elektroden, wobei mehrere Aspekte hinsichtlich Herstellungsverfahren und Materialwahl eine Rolle spielen.

Bislang werden metallische Schichten hauptsächlich mittels physikalischer Abscheidungsverfahren wie Kathodenzerstäubung hergestellt. Mit Blick auf zukünftige Anwendungen und 3-dimensionale Bauelementearchitekturen mit hohen Aspektverhältnissen sind jedoch Verfahren wie das der chemischen Gasphasenabscheidung (CVD) vorteilhaft, die eine konforme Kantenbedeckung ermöglichen und keine Strahlenschäden erzeugen. Dabei kommt der Entwicklung geeigneter Ausgangsstoffe sowie Prozesse eine entscheidende Bedeutung

zu. Am IISB steht hierzu, wie in Fig. 1 gezeigt, ein CVD-Reaktor zur Beschichtung von 150 mm Scheiben zur Verfügung.

Bei der Materialwahl sind einerseits die elektrischen Schichteigenschaften zu beachten. Neben einem geringen Widerstand ist vor allem die Metallaustrittsarbeit zu nennen, die im Bereich der Bandkanten von Silicium liegen muß. Dies bedeutet, daß für CMOS-Anwendungen zwei unterschiedliche Materialien eingesetzt werden müssen. Andererseits ist die Integration metallischer Elektroden ein entscheidender Aspekt, wobei z.B. Stabilität oder Strukturierbarkeit genannt werden können.

Ein vielversprechendes und in der Mikroelektronik bekanntes Material ist Tantalnitrid (TaN), wofür neben klassischen halogenbasierten CVD-Prozessen bereits Prozesse mit metall-organischen Ausgangsstoffen, z.B. Tert.-Butylimino-Tris-Diethylamino-Tantal (TBTDET), existieren. TBTDET, in Fig. 2 dargestellt, zeichnet sich durch hohe Flüchtigkeit und Reaktivität aus, weist jedoch nur geringe thermische Stabilität sowie Luft- bzw. Feuchtebeständigkeit auf. Ein Austausch der Liganden bewirkt nunmehr eine Änderung dieser Eigenschaften und ermöglicht so einen Kompromiß.

In Fig. 2 ist exemplarisch die Struktur eines gemischten Amido/ Imido/ Guanidinato-Komplexes dargestellt, einem bei 120 °C sublimierenden weißen Feststoff. Dies erlaubt eine gute Reinigung der Ausgangschemie und damit auch Reinheit der abgeschiedenen Schicht, die vorwiegend kubisch kristallin ist. Mit einer Austrittsarbeit von etwa 3,9 eV sind diese für NMOS-Transistoren geeignet. Eine Kohlenstoffverunreinigung ist nicht nachweisbar und der Sauerstoffanteil, z.B. aufgrund Nachoxidation in Luft, liegt unter 5 at.-%. Sauerstoff ist insofern kritisch,

da Metalloxide in der Regel isolierend sind. Diese positiven Ergebnisse spiegeln sich jedoch nicht im Widerstand der erhaltenen Schichten wider. Dieser zeigt etwa zehnmal höhere Werte als mit TBTDET erreicht werden können, zumal diese Schichten, aufgrund geringerer Abscheidetemperaturen, amorph sind und dadurch höhere Sauerstoffanteile aufweisen. Eine Erklärung für die hohen Widerstandswerte kann die Bildung isolierender Ta₃N₅-Phasen sein. Bei den verwendeten Ausgangschemikalien liegt Tantal in der Oxidationsstufe +V vor und muß zur Bildung von leitfähigem TaN auf +III reduziert werden. Ein Ansatz, diese Reduktion ohne, meist gefährliche oder gesundheitsschädliche Reaktivgase zu unterstützen ist der Einbau als reduzierend bekannter Hydrazidoliganden, wie sie im dargestellten gemischten Amido/ Imido/ Hydrazido-Komplex untersucht wurde. Ein positiver Effekt konnte jedoch bislang nicht festgestellt werden.

Für eine Bewertung, ob Tantalnitridschichten der vorgestellten Ausgangsstoffe zukünftig Polysilicium ersetzen können, sind weitere Experimente notwendig. Dabei werden auch Verbindungen zur Abscheidung von Niobium- sowie Hafniumnitrid untersucht. Vorteil dieser ist etwa, daß keine isolierenden stickstoffhaltigen Phasen existieren.



Fig. 1: Reaktor zur chemischen Gasphasenabscheidung metallischer Elektroden; Reactor used for the chemical vapor deposition of metal electrodes.

Ansprechpartner

Martin Lemberger
Telefon: +49 (0) 9131 85-28651
martin.lemberger@iisb.fraunhofer.de

Novel Precursors for the Deposition of Metal Electrodes for Future CMOS Applications

The ongoing downscaling of integrated circuits requires the implementation of new materials in almost all areas of devices including electrodes. At present, highly doped polysilicon is used as transistor gate electrode, but is limited due to e.g. high-temperature dopant activation, gate depletion at the dielectric interface, or high sheet resistance. In future, polysilicon will have to be replaced by metal electrodes. For this purpose, different aspects regarding deposition technique and material selection have to be taken into account.

For metal layers, mainly physical deposition techniques like sputtering are used. However, for future applications and 3-dimensional device architectures with high aspect ratios, chemical vapor deposition techniques are favored because of their capability of conformal step coverage while preventing radiation damage. For this, the development of both precursors as well as processes is essential. In fig. 1, the CVD reactor suitable for 150 mm wafers is shown, which is dedicated for these investigations at IISB.

Regarding material selection, electrical properties have to be considered on the one hand. Besides a low sheet resistance, the metal work function has to be mentioned, which has to fit the silicon band edges. Therefore, two different materials have to be implemented for CMOS applications. This means that on the other hand the integration of metal gate electrodes is a vital aspect. Issues like thermal and chemical stability or patterning have to be considered.

Tantalum nitride (TaN) is one promising material for metal gate electrodes and already known in microelectronics. For the deposition, both classical halide-based CVD processes as well as processes using metal-organic precursors like tert.-butylimino-tris-diethylamino-

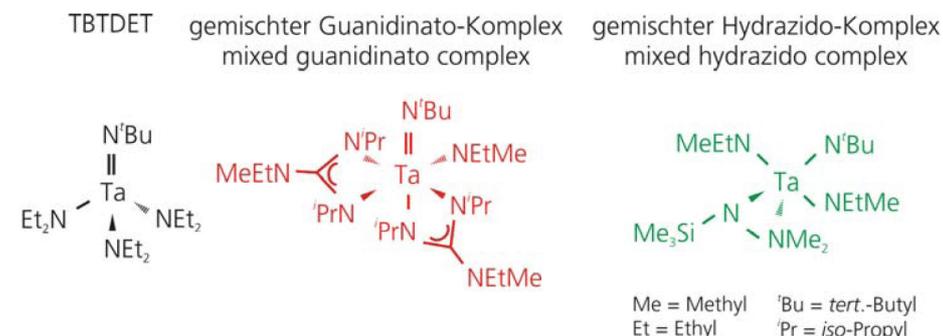


Fig. 2: Bindungsstruktur verschiedener Tantalausgangsstoffe; Binding structure of different tantalum precursors.

tantalum (TBTDET) exist. In fig. 2, the TBTDET precursor is shown. It features high volatility and reactivity, but, also low thermal stability and high sensitivity towards air and moisture. These properties can be tuned by altering the organic ligands, which allows a compromise regarding volatility and hydrolysis stability.

The structure of a mixed amido/ imido/ guanidinato compound is exemplarily given in fig. 2. This precursor is a white solid sublimating at 120 °C, which allows effective precursor cleaning and promises high film purity. The films obtained show a predominately cubic crystalline TaN phase and the metal work function of 3.9 eV is suitable for NMOS devices. No carbon contamination can be detected in deposited layers and oxygen content is below 5 at.-%. Oxygen, which may be due to post-oxidation in ambient air, is crucial as metal oxides are mainly insulating. These positive results, however, have no effect on the resistance of deposited films. The values are more than ten times higher than values obtained from TBTDET. In addition, films deposited from TBTDET at lower temperatures show even higher amount of oxygen due to their amorphous structure. An explanation for the high resistance values might be the formation of insulating Ta₃N₅. In the precursor compounds, tantalum has an oxidation state of +V. For the formation

of conducting TaN, tantalum has to be reduced to an oxidation state of +III. To avoid the use of dangerous and harmful reactive gases, tuning precursor chemistry was applied by the introduction of a hydrazido ligand. Hydrazine moiety is known to have a reducing potential on TaN growth. The obtained mixed amido/ imido/ hydrazido compound is given in figure 2. However, a positive effect on TaN layer growth could not be observed so far.

To evaluate whether these tantalum nitride films obtained from the presented precursors will be able to replace polysilicon in future further investigations have to be done. Thus, further precursors for the deposition of niobium nitride and hafnium nitride will also be examined. One advantage of these materials is e.g. the absence of an insulating nitride phase.

Contact

Martin Lemberger
Phone: +49 (0) 9131 85-28651
martin.lemberger@iisb.fraunhofer.de

Einleitung

Durch den steigenden Bedarf an Flash-Speichern mit höheren Speicherdichten ist es nötig, neue Konzepte zu verfolgen. Ein Ansatz ist die NROM-Technologie, die es durch Beschreiben ortsfester Haftstellen in einer Speicherschicht erlaubt, die Speicherdichte pro Zelle zu verdoppeln. Die NROM-Speicherzelle (Fig. 1) gleicht dem Aufbau herkömmlicher SONOS-Speicher, d.h. es handelt sich um einen n-Kanal MOSFET, dessen Gateoxid durch einen sogenannten ONO-Stapel (ONO: Oxid-Nitrid-Oxid) ersetzt wurde. Die eingebettete Siliciumnitridschicht dient dabei als Speicherschicht, da durch Ladungsinjektion in diese Schicht und dem anschließenden Einfang der Ladungen in ortsfesten Haftstellen eine Speicherung dieser Ladungen möglich ist. Diese gespeicherten Ladungen beeinflussen die Strom-Spannungs-Charakteristik des Transistors. Dies zeigt sich vor allem in einer Veränderung der Einsatzspannung.

Anders als bei herkömmlichen SONOS-Speichern, die durch (modifiziertes) Fowler-Nordheim-Tunneln programmiert werden, injiziert man in der NROM-Technologie heiße Kanalelektronen in die Nitridschicht. Dieser Vorgang findet bei geeignet gewählten Spannungen nahe dem Draingebiet statt, sodaß sich eine sehr stark lokalisierte Ladungsverteilung im Siliciumnitrid ausbildet. Durch eine ausreichend

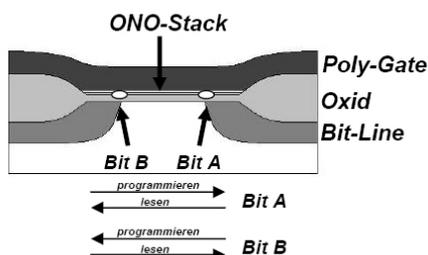


Fig. 1: Aufbau einer NROM-Speicherzelle; Design of a NROM memory cell.

hohe Drainspannung dehnt sich die Drain-Substrat-Raumladungszone so weit in das Kanalgebiet aus, daß der Effekt der gespeicherten Ladungen ausgeblendet werden kann. Die Bestimmung der Einsatzspannung ist in diesem Fall ausschließlich empfindlich auf Ladungspakete, die im Bereich des Sourcegebietes gespeichert sind.

Durch Vertauschen von Source und Drain kann wahlweise der eine oder der andere Bereich beschrieben oder ausgelesen werden. Durch heiße Löcher, die mittels Band-zu-Band-Tunneln generiert werden, lassen sich diese beiden Bits auch separat wieder löschen, sodaß sich pro Speicherzelle zwei Bit speichern und löschen lassen. Im Vergleich zu herkömmlichen Flash-Speichern mit einer potentialfreien Speicherelektrode aus Polysilicium läßt sich mit der NROM-Zelle eine Verdopplung der Speicherdichte erzielen.

Um die Ladungseinfangs- und Verlustmechanismen in der dielektrischen Speicherschicht untersuchen zu können, werden verschiedene elektrische Meßverfahren für die Charakterisierung der Ladungsverteilung in NROM-Speicherzellen entwickelt. Da die eingefangenen Ladungen nicht direkt nachgewiesen werden können, ist es notwendig, die Auswirkung der gespeicherten Ladungen auf elektrische Parameter (z.B. Transistorkennlinie) zu analysieren.

Analyse des Unterschwellenstroms

Eines dieser Verfahren basiert auf der Analyse des Unterschwellenstroms, der auf lokalisierte Ladungen über dem Kanalgebiet des Transistors mit einer Änderung des „Subthreshold Swings“ reagiert. Im Unterschwellenbereich werden die elektrischen Charakteristika der Zelle, insbesondere die Übertragungskennlinie, hauptsächlich vom Bereich unterhalb der gespeicherten Ladungen be-

stimmt. Dort ergibt sich eine modifizierte Beziehung zwischen Gatespannung und Oberflächenpotential, in die auch die laterale Ausdehnung des Ladungspaketes eingeht. In Fig. 2 erkennt man die Zunahme des „Subthreshold Swing“ mit der Verschiebung der Kennlinie zu höheren Einsatzspannungen, was auf eine stärkere Lokalisierung der effektiven Speicherladung schließen läßt.

Ermittlung der Ladungsverteilung

Da die oben genannte Methode nur für den Nachweis eingefangener Ladungen über dem Kanalgebiet anwendbar ist, wird außerdem der gateinduzierte Drain-Leckstrom (GIDL) aufgenommen, der exponentiell vom elektrischen Feld an der Siliciumoberfläche im Überlappungsbereich von Gate und Drain abhängt. Damit stellt dieses Meßverfahren eine sehr sensitive Nachweismethode für Änderungen der Dichte eingefangener Ladungen dar.

Mit den beiden Methoden und den davon abgeleiteten Auswerteverfahren bietet sich die Möglichkeit, die laterale Verteilung von Ladungsträgern im Siliciumnitrid während einzelner Schreib-Löschvorgänge oder auch nach einer Vielzahl von Schreib-Löschzyklen zu charakterisieren.

Ansprechpartner

Oliver Klar
Telefon: +49 (0) 9131 85-28636
oliver.klar@leb.eei.uni-erlangen.de

Introduction

Due to the increasing need of higher memory densities in flash memories, it is necessary to pursue new concepts. One approach is the NROM technology, which allows the doubling of the storage density per cell by storing electrons in localized charge traps in the memory layer. The NROM cell (fig.1) is designed like a conventional SONOS memory cell, meaning it is a n-channel MOSFET whose gate oxide was replaced by a so-called ONO stack (ONO: oxide-nitride-oxide). The embedded silicon nitride layer works as the memory layer, since by injecting charges into this layer and the following capture in localized traps, these charges will be stored permanently. These stored charges affect the characteristic of the transistor which shows up particularly in a change of the threshold voltage.

Contrary to conventional SONOS memory cells which are programmed by (modified) Fowler Nordheim tunneling, the NROM cell is programmed by the injection of hot channel electrons into the nitride layer. At suitable voltages, this mechanism occurs close to the drain junction, so that a narrow and localized

charge distribution is formed in the silicon nitride layer. With a sufficiently high drain voltage, the drain/substrate space charge region expands so far into the channel area that the effect of the stored charges can be suppressed. In this case, the determination of the threshold voltage is only sensitive to charges which are stored near the source.

By exchanging source and drain, both regions can be programmed and read independently of each other. The two bits can be erased separately by hot holes induced by band-to-band tunneling, so that two bits can be independently programmed and erased in one cell. Compared to conventional floating gate flash memory cells, the memory density can be doubled. To investigate the charge trapping and loss mechanisms in the dielectric memory layer, different electrical measurement methods are developed. Since the trapped charges cannot be measured directly, it is necessary to analyze the effect of the stored charges on electrical parameters, like the transistor characteristics, to characterize the charge distribution in NROM memory cells.

Analysis of the Subthreshold Current

One method is based on the analysis of the subthreshold current, which is sensitive to localized trapped charges above the channel of the transistor, causing a change of the subthreshold swing. In the subthreshold region, the characteristic of the cell is dominated by the region below the trapped charges. There, a modified relation between the gate voltage and the surface potential is observed, which also depends on the lateral charge distribution. In fig. 2, the increase of the subthreshold swing in an NROM cell can be observed when programming the device to higher threshold voltages, which suggests a narrow localization of the effective trapped charge.

Determination of Charge Distributions

Since the method mentioned above is applicable only for the verification of trapped charges above the channel, the gate induced drain leakage current (GIDL) is measured additionally. The GIDL exponentially depends on the electrical field at the silicon surface in the gate/drain overlap region. Therefore, it is a very sensitive method to determine changes of the density of trapped charges. These two methods, combined with derived evaluation procedures, give us the possibility of investigating the lateral distribution of carriers in the silicon nitride during particular program and erase steps or after a series of program/erase cycles.

Contact

Oliver Klar
Phone: +49 (0) 9131 85-28636
oliver.klar@leb.eei.uni-erlangen.de

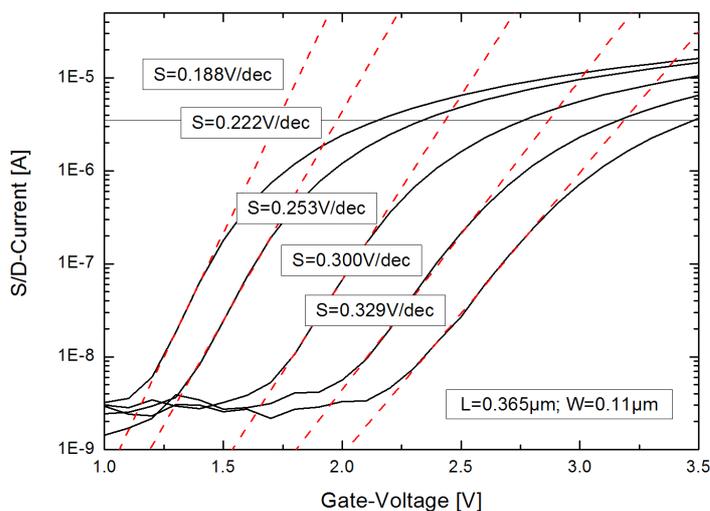


Fig. 2: Anstieg des „Subthreshold Swings“ mit zunehmender Programmierung; Increase of subthreshold swing with program state.

Einleitung

Für die Funktionsweise von MOS-Feld-effekttransistoren, den wichtigsten Bauelementen von integrierten Schaltungen, sind sowohl die Volumeneigenschaften des Gatedielektrikums als auch die Grenzfläche zwischen diesem und dem Silicium von entscheidender Bedeutung. Als Maß für die Qualität der Isolator/Silicium-Grenzfläche dient die sogenannte Grenzflächenzustandsdichte D_{it} . Das Isolatorvolumen wird über die Isolatorladung Q_{is} charakterisiert. Konventionelle Meßverfahren charakterisieren diese Eigenschaften entweder direkt an den entsprechenden Bauelementen oder an eigens hergestellten Teststrukturen. Die Probenpräparation entsprechender Teststrukturen ist jedoch zeit- und kostenintensiv. Ein Rückschluß auf Probleme beim Aufbringen der Isolator-schicht kann erst sehr spät erfolgen. Das Elymos-Verfahren (Fig. 1) ermöglicht dagegen die quantitative Bestimmung sowohl von D_{it} als auch Q_{is} sofort nach dem Aufbringen der Isolatorschicht ohne weitere Probenpräparation. Es wird in einem Projekt der Bayerischen Forschungsstiftung (AZ 579/03), das vom IISB geleitet und zusammen mit der Fa. GeMeTec, München, bearbeitet wird, vom Laborstadium bis hin zur Industrietauglichkeit entwickelt. Schwerpunkte sind die Hardwareentwicklung und der quantitative Vergleich der Meßergeb-

nisse des Elymos-Verfahrens mit Ergebnissen von etablierten Meßverfahren.

Prinzip des Elymos-Verfahrens

Das Elymos-Verfahren stellt eine Weiterentwicklung des Elymat-Meßverfahrens zur Bestimmung der Kontamination im Halbleitervolumen über Rekombination von Ladungsträgern dar. Gemessen wird dabei ein laserinduzierter Diffusionsstrom I_{BPC} (Fig. 1), der mit steigender Konzentration an Rekombinationszentren sinkt. Beim Elymos-Verfahren beruht die Charakterisierung der Isolator/Silicium-Struktur auf der zusätzlichen Rekombination der Ladungsträger an den Grenzflächenzuständen. Die Rekombination kann mittels einer elektrischen Spannung V_{EIS} über der Isolator/Silicium-Struktur gesteuert werden. Aus der maximalen Rekombination wird auf die Grenzflächenzustandsdichte D_{it} geschlossen. Über die Spannung, bei der die maximale Rekombination auftritt, kann die Isolatorvolumenladung Q_{is} bestimmt werden.

Ergebnisse des Elymos-Verfahrens

Im Rahmen des Projektes ist am IISB die für die quantitative Bestimmung der Parameter D_{it} und Q_{is} notwendige Modellierung des Elymos-Verfahrens entwickelt worden, die alle wesentlichen physikalischen Effekte bei der Elymos-Messung berücksichtigt. Durch Anpassung theoretischer Kurven an gemessene $I_{BPC}(V_{EIS})$ -Kurven ist eine eindeutige Extraktion von D_{it} und Q_{is} möglich. Die Fig. 2 zeigt experimentelle und simulierte Kurven für eine 5 nm dicke SiO_2 -Schicht für nahezu den gesamten Meßbereich des Elymos-Geräts. Die Simulationen erfolgten für alle untersuchten Laserleistungen mit identischen Werten von D_{it} und Q_{is} ($3,4 \times 10^{11} \text{ cm}^{-2} \text{ eV}^{-1}$ bzw. $7,9 \times 10^{11} \text{ cm}^{-2}$). Für alle Kurven ist eine gute Übereinstimmung zwischen Simu-

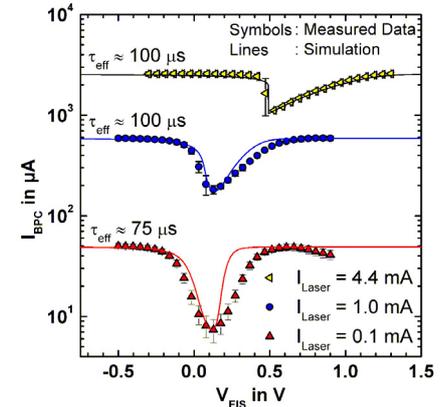


Fig. 2: Abhängigkeit des Diffusionsstroms I_{BPC} von der Spannung V_{EIS} für unterschiedliche Laserleistungen I_{Laser} . Dependence of the diffusion current I_{BPC} on the voltage V_{EIS} for different laser powers I_{Laser} .

lation und Experiment erkennbar. Der Vergleich mit Ergebnissen von konventionellen Verfahren zeigt, daß mit dem Elymos-Verfahren Grenzflächenzustandsdichte und Isolatorladung mit großer Genauigkeit bestimmt werden können (Fig. 3). Weiterhin konnte gezeigt werden, daß alternative hoch- ϵ -Dielektrika ebenfalls mit dem Elymos-Verfahren charakterisiert werden können.

Industrienaher Prototyp

Der am IISB und bei der Fa. GeMeTec während des Projektes in Betrieb genommene Elymos-Prototyp (Fig. 4) ermöglicht durch ein neu entwickeltes Adaptersystem die Charakterisierung von Dielektrika auf Siliciumscheiben von 150, 200 und 300 mm Durchmesser. Die Verwendung eines Echtzeitmeßdatenerfassungssystems erlaubt es, Messungen mit einer Auflösung von 1 mm in akzeptablen Zeiten durchzuführen.

Ansprechpartner

Mathias Rommel
Telefon: +49 (0) 9131 761-108
mathias.rommel@iisb.fraunhofer.de

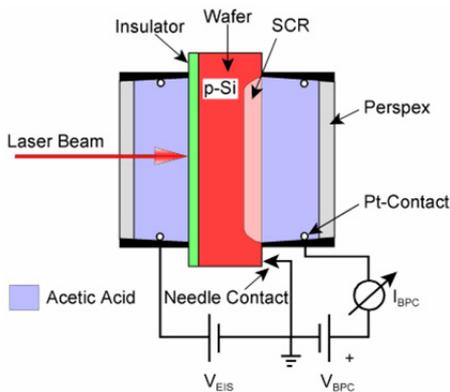


Fig. 1: Aufbau des ELYMOS-Systems; Set-up of ELYMOS system.

Introduction

The functionality of the MOS field effect transistors strongly depends on the characteristics of the gate dielectric. Both, the quality of the insulator/silicon interface and the bulk of the dielectric layer are extremely important. The interface state density D_{it} is typically used as a measure for the interface quality whereas the insulator charge Q_{is} characterizes the insulator bulk properties. Conventional measurement techniques are either directly performed on the devices of interest or on specifically fabricated test structures. However, this procedure is highly time- and cost-consuming. The detection of problems during the deposition process of the insulator layer can only occur much later. The Elymos technique (see fig. 1), however, allows for quantitative detection of both D_{it} and Q_{is} directly after the insulator deposition without the need of any other sample preparation. Within a project supported by the "Bayerische Forschungsstiftung (AZ 579/03)", the technique will be developed to an industrial standard starting from a laboratory stage. The project is managed by the IISB. The industrial

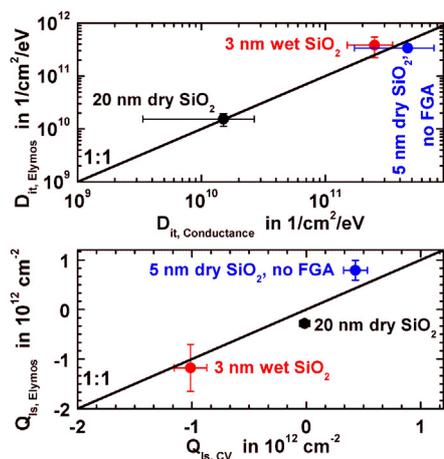


Fig. 3: Vergleich zwischen Elymos-Meßergebnissen und Ergebnissen von konventionellen Meßverfahren (oben Konduktanz-, unten CV-Meßverfahren); Comparison of Elymos results and results from conventional measurement methods (top conductance, bottom CV method).

partner is the company GeMeTec, Munich. Main objectives of the project are the hardware development and the quantitative comparison of Elymos results with results from conventional techniques like CV, conductance method etc.

Principle of the Elymos Technique

The Elymos technique is an advancement of the Elymat technique for the determination of contamination in the silicon bulk by means of charge carrier recombination: The measured laser-induced diffusion current I_{BPC} (see fig. 1) decreases with the number of recombination centers increasing. The characterization of the insulator/semiconductor structure with the Elymos method is based upon the additional recombination of charge carriers at the interface states. This recombination can be controlled by the voltage V_{EIS} above the insulator/semiconductor structure. From the maximum recombination the interface state density D_{it} can be determined. The insulator volume charge Q_{is} can be derived from the voltage at which maximum recombination occurs.

Results of the Elymos Method

Within the framework of the project, the IISB has developed a model of the Elymos method which is the key for the quantitative determination of both, D_{it} and Q_{is} . The model considers all important physical effects during the Elymos measurement. By fitting theoretical to measured $I_{BPC}(V_{EIS})$ curves, D_{it} and Q_{is} can be extracted unambiguously. Fig. 2 shows experimental and simulated curves of a 5 nm SiO_2 layer for almost the entire measurement range of the Elymos tool. For all analyzed laser powers, identical values of D_{it} and Q_{is} have been used for the simulations ($3.4 \times 10^{11} \text{ cm}^{-2} \text{ eV}^{-1}$ and $7.9 \times 10^{11} \text{ cm}^{-2}$,



Fig. 4: Elymos-Prototyp am IISB; Elymos prototype at IISB.

respectively). A good agreement between simulation and experiment can be observed for all curves. The comparison with experiments from conventional methods demonstrates that the Elymos method allows the determination of both interface state density and insulator charge with high accuracy (see fig. 3). Furthermore, it could be shown that alternative high-k dielectrics can also be characterized with the Elymos method very well.

Elymos Prototype

During the project, Elymos prototype tools have been put into operation at the IISB and at GeMeTec (see fig. 4). A novel adapter system allows the characterization of dielectrics on silicon wafers with diameters of 150, 200, and 300 mm, respectively. The use of a real-time data acquisition system allows measurements with a lateral resolution of 1 mm to be performed in acceptable times.

Contact

Mathias Rommel
Phone: +49 (0) 9131 761-108
mathias.rommel@iisb.fraunhofer.de

Schwerpunkte, Trends und Potentiale der Abteilung Kristallzüchtung

Kristallzüchtungsprozesse liefern das Grundmaterial für viele Anwendungen. Die FuE-Arbeiten auf dem Gebiet der Kristallzüchtung werden daher durch die Forderungen nach speziellen Anwendungen vorangetrieben. Im allgemeinen werden dabei aus wirtschaftlichen Gründen immer größere Kristalldimensionen benötigt. Gleichzeitig steigen die Anforderungen an die Kristallqualität im mikroskopischen und makroskopischen Maßstab sowie der Bedarf nach Materialien mit neuen Eigenschaften.

Der Forschungsschwerpunkt der Abteilung Kristallzüchtung, die ein weltweit anerkanntes Kompetenzzentrum ist, liegt darin, gemeinsam mit den Industriepartnern Anlagen und Prozesse zur Herstellung von Massivkristallen und dünnen Schichten zu entwickeln und zu optimieren, um den steigenden Anforderungen bezüglich Kristallqualität und Kostenreduktion gerecht zu werden.

Dabei ist die Strategie des IISB, Kristallzüchtungsprozesse durch eine Kombination aus experimenteller Prozeßanalyse und numerischer Modellierung zu optimieren. Das IISB bietet dabei sowohl die geeignete Infrastruktur als auch leistungsfähige, benutzerfreundliche Simulationsprogramme. Diese Programme, die kontinuierlich weiterentwickelt werden, werden von und für die industriellen Partner zur Entwicklung von Kristallzüchtungsanlagen und Prozessen eingesetzt.

Im Jahr 2006 hat die Abteilung Kristallzüchtung des Fraunhofer-Instituts IISB seine Position als weltweit anerkanntes Kompetenzzentrum auf dem Gebiet der Kristallzüchtung festigen können.

Auf dem Gebiet Herstellung von GaN-Substraten aus metallischen Lösungen bei Raumdruck wurde ein theoretisches Modell entwickelt, mit dem sich die beobachtete Abnahme der Versetzungsdichte um Faktor 10 bis 100 in dem so hergestellten Material erklären läßt. Demnach ist das Auftreten von Wachstumsinseln mit ausgezeichneten Facettenflächen entscheidend für die Versetzungsabnahme. Darüber hinaus konnten vom Kooperationspartner Fraunhofer IAF in Freiburg auf den vom IISB zur Verfügung gestellten GaN-Templates erstmalig leuchtende LED-Teststrukturen sowohl auf „as-grown“ als auch auf polierten Oberflächen hergestellt werden.

Durch Aufnahme der operativen Tätigkeit in der Freiburger Außenstelle des IISB, dem Technologiezentrum Halbleitermaterialien, wurde die Zusammenarbeit mit den vor Ort ansässigen Industriepartnern gestärkt. Dabei konnten speziell auf dem Gebiet der gerichteten Erstarrung von Silizium erste wichtige Beiträge zum besseren Verständnis der bei diesem Verfahren stattfindenden Wärme- und Stofftransportprozesse gewonnen werden, die die experimentellen Beobachtungen erklären können.

Im Bereich der Herstellung von hochschmelzenden Oxidkristallen konnte nach Inbetriebnahme einer neuen Kristallziehanlage ein Basisprozeß für die Züchtung von Saphirbändern entwickelt werden. Diese Prozeßentwicklung war nicht zuletzt aufgrund eines durch die Bayerische Forschungsförderung finanzierten Stipendiums möglich geworden.

Im Bereich Simulation wurde die Software CrysMAS, die das Hauptprodukt der Abteilung Kristallzüchtung darstellt, bezüglich einfacherer Nutzung und effizienterer Strömungsberechnung weiter auf die Kundenbedürfnisse zugeschnitten. Mit dem jetzt vorliegenden Pro-

gramm kann innerhalb einer globalen achsensymmetrischen Simulation der kompletten Kristallzüchtungsanlage die Schmelzkonvektion in einem lokalen dreidimensionalen Modell behandelt werden. Das lokale Modell ist vollkommen in das globale integriert, ohne daß ein Wechsel der Software oder ein Datenaustausch an ein externes Programm erfolgen muß.

Zur Stärkung des internationalen Renommées der Abteilung Kristallzüchtung trugen nicht zuletzt auch mehrere eingeladene Vorträge auf internationalen Konferenzen sowie die Mitarbeit in diversen nationalen und internationalen Fachgremien auf dem Gebiet der Kristallzüchtung bei. Darüber hinaus hat die Abteilung Kristallzüchtung mehrere Veranstaltungen sowie insbesondere den 5. Internationalen Workshop über die Modellierung von Kristallzüchtungsprozessen organisiert, der die größte Veranstaltung auf diesem Gebiet darstellt.

Die Abteilung Kristallzüchtung arbeitet eng mit universitären und außeruniversitären Forschungseinrichtungen zusammen und pflegt die Kooperationen mit der Industrie in Deutschland sowie auch im Ausland.

Ansprechpartner

Dr. Jochen Friedrich
Telefon: +49 (0) 9131/761-269
jochen.friedrich@iisb.fraunhofer.de

Focal Areas of Research and Development, Trends and Potentials of the Department of Crystal Growth

Crystal growth processes provide basic materials for many applications. The research and development of crystal growth processes is driven by the demands which result from specific applications. But in common, there is a need for an increase of crystal dimensions, improved uniformity of the relevant crystal properties in the micro and macroscale and materials with new properties.

Therefore, the focal area of research of the department of crystal growth, which is a world-wide acknowledged center of competence, is to develop – in close collaboration with industry – equipment and processes for the production of bulk crystals in order to meet the increasing requirements for crystal quality and cost reduction.

The strategy of the IISB is to optimize crystal growth processing by a combined use of experimental process analysis and computer modeling. Therefore, IISB is provided with a suitable experimental infrastructure and with high efficient user-friendly simulation programs. These computer codes, which are continuously further developed, are used for and by the industrial partners to develop crystal growth equipment and processes.

In 2006, the department of Crystal Growth of Fraunhofer IISB has consolidated its position as world-wide acknowledged center of competence in the field of crystal growth.

In the field of manufacturing of GaN substrates from metallic solutions under ambient pressure conditions, a theoretical model was developed which can explain the experimentally observed

reduction of the dislocation density in the solution-grown GaN by a factor 10 to 100. Thus, the occurrence of growth islands with facets at the beginning of the growth process is important for the reduction of the dislocation density. Furthermore, the partner Fraunhofer IAF in Freiburg has successfully produced lightning LED test structure on as-grown and polished surfaces of GaN templates delivered by IISB for the first time.

The start of the operational business in the new subsidiary of IISB, the technology center for semiconductor materials in Freiberg, strengthens the collaboration with the local industrial partners. Thus, especially in the area of directional solidification of solar silicon, first important contributions were obtained regarding a better understanding of the heat and mass transport phenomena occurring during the growth process. These contributions help to explain the experimental observations.

In the area of the manufacturing of highly melting oxide crystals, a basic process for the growth of sapphire ribbons was developed after the successful commissioning of a new crystal growth puller. This process development was only possible due to a grant funded by the Bavarian Science Foundation.

In the field of modeling, the software CrysMAS, which is the main product of the department of Crystal Growth, was tailored further in order to meet the needs of the customers with respect to easier usage and more efficient computation of fluid problems. With the present software it is possible to treat the melt convection in a local three-dimensional model within a global axis-symmetrical thermal simulation of the whole crystal growth facility. The local model is completely integrated into the global model without the need to

change the software or to transfer data to an external program.

Last but not least, several invited talks in international conferences as well as the collaboration in different national and international expert panels in the field of crystal growth have contributed to strengthen the international reputation of the Crystal Growth department. Furthermore, the department of Crystal Growth has organized several events. At this point, especially the 5th International Workshop on Modeling in Crystal Growth has to be mentioned which is the largest conference on this topic.

The department of Crystal Growth works closely together with research institutions and maintains national but also international co-operations with industry.

Contact

Dr. Jochen Friedrich
Phone: +49 (0) 9131/761-269
jochen.friedrich@iisb.fraunhofer.de

Mehrskalenmodellierung der Mikrostruktur bei der gerichteten Erstarrung von Legierungen

Erstarrungsprozesse von metallischen Legierungen spielen in der Industrie eine enorm wichtige Rolle. Fast alle Bauteile aus Metall haben in ihrer Entstehungsgeschichte mindestens einen Erstarrungsprozeß erfahren. Abhängig von den weiteren Verarbeitungsschritten werden alle oder zumindest einige Eigenschaften des Bauteils durch den Gußprozeß bestimmt.

Die Vorgänge, die sich bei dem Flüssig-Fest-Phasenübergang abspielen sind außerordentlich komplex. Technische Legierungen erstarren meist mit einer dendritischen Grenzflächenmorphologie wie sie in Fig. 1 zu sehen ist.

In dieser Grenzzone, die zwischen der freien Schmelze und dem vollständig erstarrten Werkstück liegt, bilden sich eine Vielzahl von Phasen und Strukturen, die die späteren Eigenschaften des Werkstoffes bestimmen. So legt der Abstand zwischen den primären (I1) und sekundären (I2) Dendritenarmen den Abstand zwischen harten Partikeln fest, die sich aus Legierungselementen in der Schmelze zwischen den Armen bilden. Dieser Abstand der Partikel bestimmt wiederum bei vielen Legierungen die mechanische Belastbarkeit. Fig. 2 zeigt eine Skizze dieser Vorgänge.

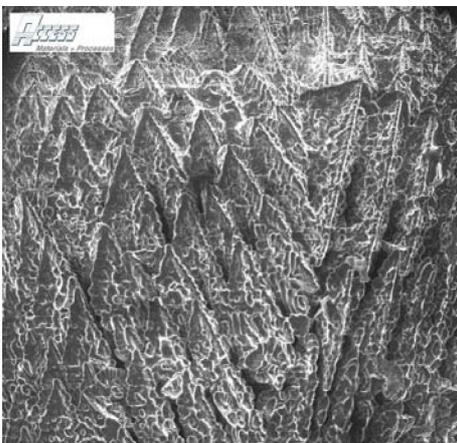


Fig. 1: Dekantierte Dendritenstruktur einer gerichtet erstarrten AISi7-Probe;
Decanted dendritic interface of a directionally solidified AISi7 sample
(Foto/Photo: ACCESS – Aachen).

Die numerische Modellierung dieser Prozesse würde es erheblich erleichtern, bestimmte Bauteileigenschaften zu garantieren. Um diesem Ziel näher zu kommen, wird am IISB zusammen mit europäischen Partnern im Rahmen des MICAST-Projektes an der Untersuchung und Modellierung der Mikrostrukturbildung geforscht. Hierbei wird die sog. gerichtete Erstarrung verwendet. Diese hat den Vorteil, daß die sich bildende Mikrostruktur ebenfalls gerichtet und damit geordnet ist. Dies erleichtert oder ermöglicht überhaupt erst die quantitative Untersuchung von wichtigen Kenngrößen, wie dem primären Dendritenarmabstand. Fig. 3 zeigt die Prozeßführung an einer typischen Probe.

Ein wesentlicher Bestandteil des Projektes sind Mikrogravitationsexperimente. Diese sind nötig, um störende Auftriebsströmungen in den Proben zu unterdrücken. Ein Teil dieser Experimente wird mit Hilfe von Höhenforschungsraketen realisiert, welche etwa 15 Minuten Mikrogravitationszeit zur Verfügung stellen. Durchgeführt werden die Experimente durch das Institut für Raumsimulation der DLR in Köln, das hierfür die Ofenanlage ARTEX und ARTEX+ entwickelt hat. Die Abteilung Kristallzüchtung am IISB unterstützt diese Arbeiten durch numerische Simulation. So werden thermische Simulationen der kompletten Ofenanlage durchgeführt. Diese dienen zum Test und zur Optimierung des Prozesses und der Ofenanlagen. Es wurde unter anderem die Fragestellung bearbeitet, ob die Kapazität der Kühlung in der Rakete für den Ofen ausreicht. Die Modelle berücksichtigen auch den Einfluß des Zweiphasengebietes mit Hilfe eines Volumemittlungsverfahrens. Fig. 4 zeigt das Modell des Ofens ARTEX+.

Die Modelle ermöglichen aber auch detaillierte Berechnungen der Mikrostruktur in der Probe, die in erster Linie durch den primären und sekundären

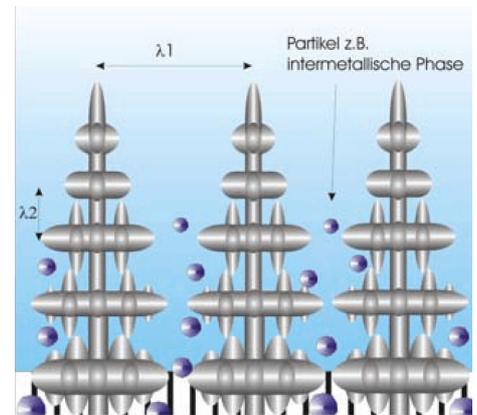


Fig. 2: Skizze des Zweiphasengebietes einer dendritischen Erstarrungsfront;
Sketch of the mushy zone with dendritic morphology.

Dendritenarmabstand charakterisiert wird. Da diese Berechnungen die Temperaturverteilung der Anlage berücksichtigen, ist ein direkter Vergleich der errechneten und gemessenen Gefügeigenschaften möglich, was eine Validierung der Modelle für weitere Anwendungen erleichtert.

Danksagung: Die vorgestellte Arbeit wird durch die DLR im Projekt 50WM0546 und durch die ESA im Projekt 1437-00-NL-SH im Rahmen von MICAST III gefördert.

Ansprechpartner

Johannes Dagner
Telefon: +49 (0) 9131 761-266
Johannes.dagner@iisb.fraunhofer.de

Multi-Scale Modeling of the Microstructure Formation during the Directional Solidification of Alloys

Solidification processes of metallic alloys are of a very high importance in industry. Almost every component made of metal experienced at least one process of solidification during its life cycle. Depending on its further processing, all or at least some properties of the component are defined by the casting process. The physical phenomena found in the mushy zone during the solidification process are of great complexity. Technical alloys usually solidify with dendritic interface morphology as shown in fig. 1.

In this interface area between the melt and the fully solidified component, a considerable number of phases and structures are formed which define the later properties of the material. For example the spacing between the primary (I1) and the secondary (I2) dendritic arm defines the distance between hard precipitations, which might form of the alloy components in the melt and constitute between the arms. This distance of the particles determines the mechanical strength of many alloys. Fig. 2 shows these processes in a sketch.

The numerical modeling of these processes would make it much easier to

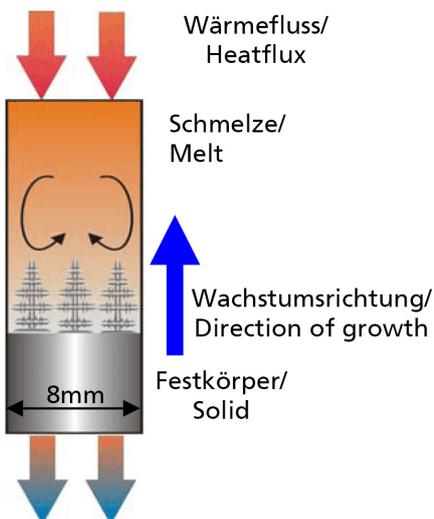


Fig. 3: Skizze der Prozeßführung bei der gerichteten Erstarrung einer Stabprobe; Sketch of the process conditions during directional solidification of a rod like sample.

guarantee specific material properties of a component. To get closer to this objective, the IISB and European partners work together on the analysis and modeling of the microstructure formation within the framework of the MICAST project. In these studies, the so-called directional solidification method is used. This has the advantage that the formed microstructure is also directed and therefore ordered. This facilitates or first enables a quantitative analysis of important parameters such as the primary dendritic arm spacing. Fig. 3 shows the process conditions for a typical specimen.

Important parts of the project are microgravity experiments. These are necessary to eliminate the interfering buoyancy inside the sample. Some of the experiments are carried out with sounding rockets which provide about 15 minutes of microgravity time. These experiments are performed by the Institute of Space Simulation of the DLR in Cologne, which developed the furnaces ARTEX and ARTEX+. The department of crystal growth at the IISB supports this work by numerical simulation. For example thermal simulations of the complete furnace are performed. They provide a tool for testing and optimizing of the process and the furnaces. Among others, it was investigated whether the capacity of the cooling system in the rocket was sufficient for the furnaces. By means of a volume-averaging method, the models also consider the mushy zone. Fig. 4 shows the model of the ARTEX+ furnace.

The models also allow detailed calculations of the microstructures in the specimen, which is mainly characterized by the primary and the secondary dendritic arm spacing. Because these calculations include the temperature distribution in the furnace, it is possible to directly compare the computed and measured microstructure properties, which facili-

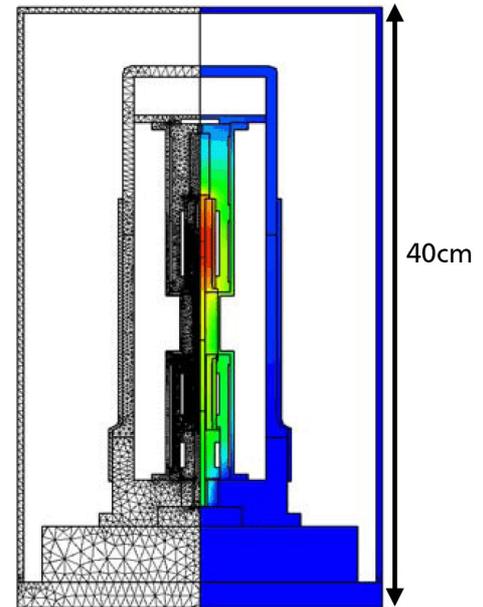


Fig. 4: Globales Modell der ARTEX+ Ofenanlage. Rechts ist das Temperaturfeld dargestellt, links das numerische Gitter; Global thermal model of the ARTEX+ facility. The right half shows the temperature field, the left one the numerical grid.

tates a validation of the models for further application.

Acknowledgment: The work is financially supported by DLR (project 50WM0546) and by ESA (ESA MAP project 1437-00-NL-SH) within MICAST III.

Contact

Johannes Dagner
Phone: +49 (0) 9131 761-266
Johannes.dagner@iisb.fraunhofer.de

Defektarme GaN-Substrate können die Leistungsfähigkeit von GaN-basierten Bauelementen (LED, Transistoren) deutlich erhöhen bzw. deren Verfügbarkeit ist für bestimmte Bauelemente, wie zum Beispiel Laserdioden, zwingend. Jedoch ist es trotz erheblichen Forschungsaufwands schwierig, solche defektarmen GaN-Substrate aus einem GaN-Massivkristall herzustellen.

Das Materialsystem GaN ist im Hinblick auf die Herstellung von Massivkristallen außerordentlich schwierig. Viele grundlegende Fragen der klassischen Kristallzüchtung, wie beispielsweise zu Wachstumskinetik oder Keimbildung sind für dieses Materialsystem unbeantwortet. Aus diesem Grund wird ein Einkristall mit 50 mm Durchmesser und einer Länge von einigen Zentimetern wohl auch in naher und mittlerer Zukunft noch nicht in Sicht sein.

Allerdings gibt es mit den sog. GaN-Templates eine attraktive Lösung, die potentiell für die industrielle Umsetzbarkeit geeignet ist. Bei den GaN-Templates handelt es sich um eine defektarme GaN-Schicht auf einem Fremdsubstrat, auf der dann homoepitaktisch das Bauelement hergestellt werden kann. Die GaN-Schichten, welche nach dem am Fraunhofer IISB entwickelten Niederdruck-Lösungszüchtungsverfahren (LPSG) hergestellt werden, stellen eine solche Template-Lösung dar. Fig. 1 zeigt ein Template mit 2" Durchmesser, das aus einer GaN-Schicht besteht, die mit Hilfe des LPSG-Verfahrens auf einem Saphirsubstrat mit Keimschicht aufgewachsen wurde.

Das LPSG-GaN-Material weist im Vergleich zu herkömmlichen GaN-Schichten, die aus der Gasphase abgeschieden werden, eine um ein bis zwei Größenordnungen geringere Versetzungsdichte auf. Durch ein Abbiegen der Stufenversetzungen aus der Hauptwach-

tumsrichtung kommt es in dem LPSG-Material während des Wachstumsprozesses zu einer verstärkten Rekombination von Versetzungen bereits im ersten Mikrometer nach dem Anwachsen (Fig. 2). Dieses Verhalten kann durch den Wachstumsmodus der Schicht zu Prozeßbeginn erklärt werden. Während des Initialwachstums der Schicht treten bestimmte Wachstumsfacetten auf, die ein Abbiegen der Versetzung in ein anderes Gleitsystem bewirken. Dies führt zu einer Minimierung der Gesamtenergie für diese Versetzung und stellt damit die treibende Kraft für das beobachtete Abbiegen der Versetzungen in der LPSG-GaN-Schicht dar. Die Wahrscheinlichkeit zur Reaktion und Annihilation von Versetzungen, z.B. mit entgegen gesetztem Burgersvektor, ist damit erhöht, und es kommt zu einer reduzierten Versetzungsdichte.

Die strukturellen Eigenschaften der GaN-Templates sind von erheblicher Bedeutung für die Leistung und Lebensdauer von Bauelementen. Ein verbessertes Verständnis des Wachstumsprozesses und der daraus resultierenden Materialeigenschaften steht daher im Zentrum der derzeitigen Untersuchungen. So ist es gelungen, den Lösungszüchtungsprozeß soweit zu optimieren, daß die Dichte an Makrodefekten erheblich reduziert werden konnte. Beispielsweise erlaubt es die verbesserte Kontrolle der Übersättigung beim Wachstum der LPSG-Schicht, die Entstehung von unerwünschten parasitären GaN-Kristalliten in der Züchtungslösung zu minimieren.

Die Oberflächen der LPSG-GaN-Schichten sind in der Regel noch geprägt durch hexagonale Erhebungen, welche bis zu 100 µm im Durchmesser erreichen können. Für die Anwendung solcher Substrate in der Epitaxie müssen derartige Oberflächenstrukturen planarisiert werden. Allerdings sind für GaN noch keine optimierten Polierprozesse

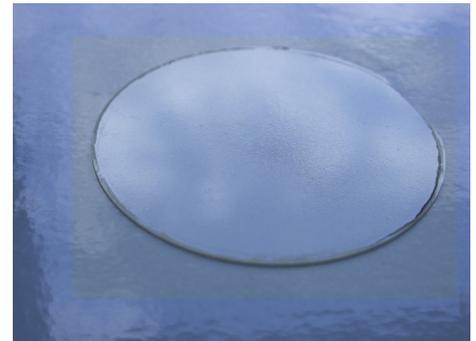


Fig. 1: LPSG-GaN- Template auf Saphir-Substrat mit 2" Durchmesser:
LPSG GaN template grown on sapphire with diameter of 2".

vorhanden, welche epitaxierbare Oberflächen ohne den typischen sog. "sub-surface damage" erzeugen könnten. Durch verbesserte Wachstumsbedingungen konnte die Oberflächenmorphologie der "as-grown"-Oberflächen nach der Lösungszüchtung so weit verbessert werden, daß die Herstellung von LED-Teststrukturen direkt auf as-grown-Oberflächen ohne zusätzlichen Polierschritt möglich war. Für alle getesteten LPSG-Materialien war eine Elektrolumineszenz meßbar. Die erreichten Werte sind zwar noch geringer als bei LED-Strukturen, die unter optimierten Bedingungen auf MOCVD-Material hergestellt wurden, es ist aber ein erheblicher Spielraum für eine Optimierung des LPSG-GaN-Materials, dessen Oberfläche und besonders auch beim anschließenden Epitaxieprozeß vorhanden. Die Weiterentwicklung sowohl des LPSG-Materials als auch der Epitaxie erfolgt dabei in enger Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer IAF in Freiburg.

Ansprechpartner

Dr. Elke Meissner
Telefon: +49 (0) 9131 761-136
elke.meissner@iisb.fraunhofer.de

GaN substrates with low dislocation density can significantly enhance the performance of GaN based devices (LED, transistors) or the availability of low dislocation substrates is essential at all like in the case of laser diodes. Despite the high research activity, it is still difficult to produce low-defect substrates which are cut from a massive GaN crystal.

With respect to the production of a volume crystal, the GaN system is extraordinarily difficult. Many fundamental questions of the classical crystal growth, e. g. the growth kinetics or nucleation processes, are not answered for this particular material system. Due to that fact a single crystal with a diameter of 50 mm and several centimeters in length does still not seem to be lying ahead for the near or medium-term future. With the so-called GaN templates an attractive material is available, which is suitable for industrial applications.

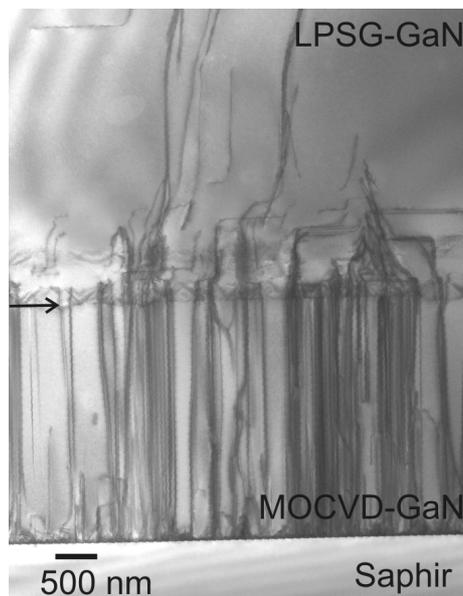


Fig. 2: Abbiegen, Reaktion und Annihilation von Versetzungen an der Grenzfläche zwischen MOCVD-Keimschicht und LPSG-GaN-Schicht, TEM-Abbildung; Bending, reaction and annihilation of dislocations at the interface between the MOCVD seed layer and the LPSG GaN layer, TEM image.

The GaN templates offer a low dislocation GaN layer on top of a foreign substrate, which can be used for homoepitaxial like device processes. The GaN layers produced at Fraunhofer IISB, by means of low-pressure solution growth process (LPSG) are such a template solution. Fig. 1 shows a template with a diameter of 2". This material represents a template with a LPSG GaN layer grown on a sapphire substrate with a seeding layer. The LPSG GaN shows a dislocation density which is about one to two orders of magnitude lower compared to conventional materials deposited from the gas phase. An intensified recombination process occurs already within the first micrometer of growth after the seed interface due to the bending off of dislocations from the main growth direction. This behavior can be explained by the growth mode of the layer during the initial growth. Special crystal facets are developed during the initial growth period. These growth facets can cause a dislocation to bend towards the facet and move into another slip system, which will lower the total energy of the dislocation. This energy minimization is considered to be the driving force for the bending of the dislocations. As a result of the bending, the probability for the reaction between dislocations is enhanced and in case of opposite Burgers vectors, dislocations can annihilate, which will result in a reduced dislocation density (fig. 2).

The structural properties of GaN templates are of particular importance, since lifetime and performance of devices strongly depend on the quality of the substrate used. A better understanding of the growth process and the resulting material properties are, therefore, in the focus of the current research work. We managed to optimize the solution growth process, so that the density of macrodefects was remarkably reduced. The improved control of

the supersaturation during the growth of the layers leads to a minimization of unwanted parasitic GaN crystallite formation. However, the as-grown surfaces of the GaN layers are usually defined by hexagonal hillocks which can have up to 100 μm in diameter. For an application of this type of material in an epitaxial process, those surface structures must be planarized as long as the formation of the hillocks cannot be avoided during the growth process. For GaN, there are no optimized polishing processes available yet which allow to produce epi-ready surfaces without the typical so-called subsurface damage induced by the preparation process.

Due to again improved growth conditions, it was possible to produce as grown surfaces with a surface morphology which made it possible to fabricate LED test structures directly on the as-grown LPSG GaN surfaces without an additional preparation step. For all tested LPSG materials, an electroluminescence was measured. Although the luminescence intensities measured were still lower compared to conventional optimized LED structures on MOCVD material, there is a large potential for possible optimization of the LPSG GaN material as well as the surface quality and the following epitaxial process. The further development of the LPSG material and the epitaxy procedure is done in close cooperation with the Fraunhofer IAF in Freiburg.

Contact

Dr. Elke Meissner
Phone: +49 (0) 9131 761-136
elke.meissner@iisb.fraunhofer.de

Die Photovoltaik ist einer der Wirtschaftszweige, in der seit einigen Jahren ein signifikantes Wachstum stattfindet. Aus diesem Wachstum resultieren unmittelbar die Schaffung neuer Arbeitsplätze, die Verminderung des CO₂-Ausstoßes, die Steigerung des Anteils regenerativer Energien und die Schonung von Umwelt und Ressourcen.

Jedoch zeichnet sich in der Photovoltaik aufgrund der gestiegenen Nachfrage eine Verknappung des Roh-Siliciums ab. Diese kann bis in die Jahre 2007/2008 hinein reichen, woraus sich die Notwendigkeit ergibt, den verfügbaren Rohstoff bei der Herstellung der Silicium-Wafer effizienter einzusetzen. In der Zeit nach der Rohstoffverknappung wird die Nachfrage nach Silicium-Wafern für die Solarzellenherstellung quantitativ leicht bedient werden können. Allerdings wird die Materialqualität der Wafer die Position der Hersteller im Vergleich zu den Wettbewerbern bestimmen.

Die Herstellung des notwendigen Siliciummaterials für die Solarzelle erfolgt dabei nach dem Prinzip der gerichteten Erstarrung. Durch einen Schmelz- und Kristallisationsprozeß werden aus dem Silicium-Ausgangsmaterial Silicium-Blöcke gefertigt. Nach dem Vereinzeln in Silicium-Quader können anschließend einzelne Silicium-Wafer daraus gesägt

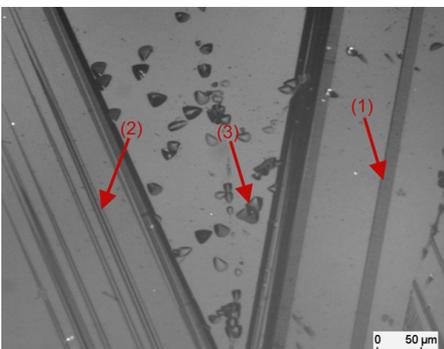


Fig. 1: Durch eine Ätze sichtbar gemachte Korngrenzen (1), Zwillingslamellen (2) und Ätzzruben (3) in multikristallinem Silicium; Grain boundaries (1), twin lamellae (2), etchpits (3) in polycrystalline silicon, visualised by etching after Wright-Jenkins-Etch.

werden.

Die Qualität der Silicium-Wafer wird in großem Maße durch die während der Kristallisation und der Abkühlung auftretenden Wärme- und Stofftransportprozesse beeinflusst. Obwohl dabei die Konvektionsvorgänge in der Silicium-Schmelze eine große Rolle spielen, fehlt bislang ein grundlegendes Verständnis von deren Mechanismus und Folgen auf die Eigenschaften der Silicium-Wafer.

Die Wärme- und Stofftransportphänomene sind wesentlich für das Auftreten von Defekten im Silicium, wie zum Beispiel Spannungen, Versetzungen, metallische Verunreinigungen und insbesondere auch Ausscheidungen bzw. Präzipitate (SiO₂, SiC, Si₃N₄). Diese Defekte können die Ladungsträgerlebensdauer in den Silicium-Wafern reduzieren und damit zu einer geringeren Effizienz der Solarzellen führen. Ferner können Ausscheidungen mitverantwortlich für Kurzschlüsse in der Solarzelle sein und damit zum Ausfall der Energiekonversion führen.

Am Technologiezentrum Halbleiternaterialien Freiberg, der gemeinsamen Außenstelle des IISB und des ISE, wurde Anfang des Jahres 2006 in Zusammenarbeit mit einem der weltweit größten Hersteller von Silicium-Wafern für Solarzellen im Rahmen des KoWäSto-Projektes (P11096) die Verbesserung der Materialqualität für Silicium-Wafer für Solarzellen angegangen.

In einer Versuchsanlage werden die industriellen Öfen im Labormaßstab nachgebildet, sodaß es möglich ist, relativ einfach einzelne Prozeßparameter zu variieren und den Einfluß dieser auf die Materialqualität zu untersuchen.

Mittels verschiedener Ätzverfahren können Korngrenzen und Defekte an der Oberfläche des multikristallinen Silici-

ums sichtbar gemacht werden und damit auch mögliche Ladungsträgerrekombinationszentren.

Dadurch daß Silicium im infraroten Spektralbereich transparent ist, erscheinen einzelne Ausscheidungen im Silicium-Kristall als dunkler Kontrast im Infrarot-Durchlichtbild. Nach dem Herauslösen der Ausscheidungen aus der Silicium-Matrix können diese kristallographisch und chemisch analysiert werden.

Mittels Rasterelektronenmikroskopie (REM) ist es möglich, sich ein hochauflösendes Bild von der Morphologie der Ausscheidungen zu machen. Die energiedispersive Röntgenanalyse (EDX) erlaubt es, Aussagen über den Chemismus der Ausscheidungen zu bekommen. Mit Hilfe obiger Methoden konnten SiC- und Si₃N₄-Ausscheidungen innerhalb der Silicium-Matrix nachgewiesen werden. Die Beobachtungen zeigen, daß die entsprechenden Teile einer Kristallisationsanlage (Isolationsmaterial, Tiegelmateriale, Tiegelbeschichtung, Atmosphäre) einen erheblichen Einfluß auf die Bildung der Ausscheidungen haben können.

In den aktuellen Forschungsarbeiten wird verstärkt auf die Aufklärung des Wachstumsmechanismus der einzelnen Ausscheidungen Wert gelegt. Ziel ist es, die Ausscheidungen örtlich begrenzt zu lokalisieren bzw. zu reduzieren oder ganz zu vermeiden. Die Finanzierung dieser Forschungs- und Entwicklungsarbeiten wird zum einen vom Europäischen Regionalentwicklungsfond 2000 - 2006 (ERDF) und zum anderen vom Wirtschafts- und Arbeitsministerium des Landes Sachsen übernommen.

Ansprechpartner

Christian Reimann
Telefon: +49 (0) 9131 761-272
christian.reimann@iisb.fraunhofer.de

Analysis of the Kinetics of the Formation of Precipitates of Multi-Crystalline Silicon for Solar Cells

Photovoltaics is one of the economic branches which have grown significantly in the last few years. This growth has a direct impact on the creation of new jobs, on the reduction of the CO₂ output, on the increase of renewable energies and on the protection of the environment and resources.

Currently, the bottleneck of the availability of the silicon becomes one of the major problems in photovoltaics industry. It is anticipated that this deficit of raw material will prevail at least until 2007/2008. Therefore, much more efficient methods for the manufacturing of silicon wafers are required. Once this shortage of the silicon is handled efficiently, the demand for silicon wafers can easily be met regarding the production of solar cells. However, the material quality of the silicon wafers will determine the ranking of the manufacturers compared to their competitors.

The necessary silicon material for solar cells is manufactured by the principle of directional solidification. A silicon block is produced from the feedstock material by a melting and crystallization process. After separating the block into columns,

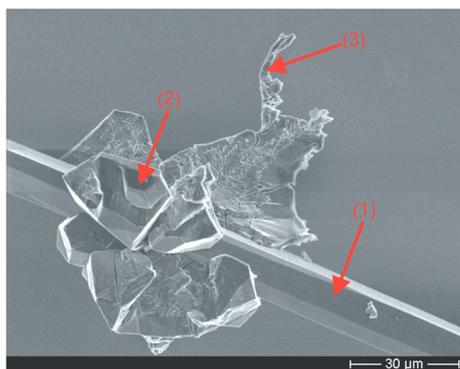


Fig. 2: Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme von aus der Silicium-Matrix herausgelösten Ausscheidungen bzw. Präzipitaten. Durch Pfeile markiert sind ein Si₃N₄-Stab (1), an dem ein SiC-Cluster (2) gewachsen ist. Ausgehend vom SiC-Cluster startet das Wachstum eines SiC-Filamentes (3); SEM picture of the precipitates, which are dissolved from the Si matrix with the arrow-marked (1) Si₃N₄ rod, (2) SiC cluster which grows from the (1) and (3) SiC filaments which grow from the (2).

the individual silicon wafers are produced by wire sawing.

The quality of the silicon wafers extremely depends on the heat and mass transport occurring during the crystallization and cooling process. Despite of the well-known fact that melt convection plays an important role for the heat and mass transport, there is a lack of basic understanding about its mechanism and of the consequences for the properties of the silicon wafer.

The heat and mass transport phenomena are essential for the appearance of the defects in silicon, like stress, dislocations, metallic impurities and in particular inclusions or precipitates (SiO₂, SiC, Si₃N₄). These defects can reduce the charge carrier lifetime in the silicon wafer and can lead to a lower efficiency of the solar cells. In addition, the precipitates can be responsible for short-circuits in the solar cell and might trigger a total breakdown of the energy conversion.

Early this year, the Technology Center for Semiconductor Materials (THM) in Freiberg started a close cooperation with an industrial partner within the framework of the KoWäSto project (P11096) in order to improve the material quality of silicon wafers. THM is a combined branch of Fraunhofer IISB, Erlangen and Fraunhofer ISE, Freiburg.

In addition to normal industrial furnaces, we have developed a special R&D furnace to vary individual process parameters very easily in order to check the influence on the material quality.

By means of different etching methods, grain boundaries and defects could be visualized on the surface of the polycrystalline silicon material. These defects are possible recombination centers for charge carriers.

Silicon is transparent in the infrared spectral zone. Therefore, individual precipitates appear as dark contrasts in an infrared transmitted light photograph in the silicon crystal. These precipitates can be crystallographically and chemically analyzed after they have been dissolved from the silicon matrix.

By means of a scanning electron microscope (SEM), it is possible to make a high-resolution picture of the morphology of the precipitates. The energy dispersive X-ray (EDX) allows it to gather information about the chemical composition of the precipitates. By means of these methods, the existence of SiC and Si₃N₄ precipitates can be proven in the inner core of the silicon matrix. The observation shows that the interior parts of the crystallization furnace (insulating materials, crucible materials, crucible coating, and atmosphere) have a considerable influence on the creation of the precipitates.

The current research activities are concentrated on the individual growing mechanism for the different precipitates. The aim of this work is to limit the occurrence of precipitates and to reduce or even to eliminate them totally.

The research and development activities are partly funded by the European Regional Development Fund 2000 - 2006 (ERDF) and by the Ministry of Economics and Employment of the state of Saxony.

Contact

Christian Reimann
Phone: +49 (0) 9131 761-272
christian.reimann@iisb.fraunhofer.de

Die gerichtete Erstarrung von polykristallinem Silicium ist mit 60 % die industrielle Produktionstechnik mit dem größten Marktanteil für Solarsilicium. Es werden heute Blöcke mit einem Gewicht von über 300 kg durch gerichtete Erstarrung hergestellt. Die numerische Simulation wird zur Unterstützung der Prozeßentwicklung und zur Verbesserung des Verständnisses der Wärme- und Stofftransportphänomene während der Kristallisation eingesetzt. In früheren Untersuchungen des Wärmetransportes wurde die Schmelzkonvektion häufig vernachlässigt. Aufgrund der großen Abmessungen des Schmelzbehälters scheint es jedoch notwendig zu sein, auch den Einfluß der Schmelzkonvektion auf den Wärme- und Stofftransport zu berücksichtigen. Radiale Temperaturgradienten sind die Ursache für Konvektionsströmungen bei der gerichteten Erstarrung von Solarsilicium. Diese führen zu einer Krümmung der Phasengrenze und damit zu Auftriebskonvektion. Wir konzentrieren uns auf die Untersuchung der Schmelzkonvektion beim Erstarrungsprozeß von Solarsilicium, um ein grundlegendes Verständnis der Rolle der Konvektion zu erhalten. Verwendet wird ein vereinfachtes, dreidimensionales Modell eines industriellen Prozesses zur gerichteten Erstarrung von Silicium in einer Kokille. Mit Hilfe der

numerischen Simulation wird der Einfluß verschiedener Parameter (z.B. Größe der Kokille, Wachstumsrate) unter Verwendung des Programms Sthamas3D untersucht.

Die vereinfachte Geometrie besteht aus der Schmelze und dem bereits erstarrten Silicium. Temperaturrandbedingungen wurden aus Messungen übernommen. Das Gitter in der Schmelze besteht typischerweise aus 380.000 Kontrollvolumina. Es zeigte sich, daß dies ausreicht, um die wichtigsten Strömungsmuster aufzulösen. Um ausgehend von einer beliebigen Startlösung eine realistische Lösung zu erhalten, ist es notwendig, mindestens 800 s Realzeit bei einer Zeitschrittweite von 0,1 s zu berechnen. Daher erfordert eine Parameterstudie auch für dieses vereinfachte Modell große Rechenkapazitäten. Aufgrund der hohen Leistungsfähigkeit aktueller PCs und mit Hilfe der Parallelisierung können solche Rechnungen jedoch in akzeptabler Zeit auf einem Cluster von PCs durchgeführt werden. Die dreidimensionalen, zeitabhängigen Simulationsrechnungen dieser Arbeit wurden auf einem Cluster von 12 HP-AMD-Opteron-Prozessoren mit 2,2Ghz (1Gbit/s switched) mit der parallelisierten Version von Sthamas3D durchgeführt. Mit diesem Cluster können 300 s Realzeit an einem Tag be-

rechnet werden. Dies entspricht einer Beschleunigung um den Faktor 4 gegenüber einem einzelnen PC. Die Fig. 1 zeigt ein typisches Beispiel einer berechneten Strömung.

Um den Einfluß unterschiedlicher Wachstumsbedingungen auf Konvektion und Wärmetransport zu untersuchen, wurden die Abmessungen der Kokille, die Wachstumsrate und der Winkel der vertikalen Achse der Kokille zur Schwerkraft variiert. Wir zeigen hier beispielhaft Ergebnisse für den Einfluß der Verkippung auf die Form der Phasengrenze fest-flüssig. Drei Verkippungswinkel (1, 2 und 3 Grad) wurden betrachtet. Die Fig. 2 zeigt, daß auch ein kleiner Verkippungswinkel einen starken Einfluß auf die Form der Phasengrenze hat. Es ist daher sehr wichtig, daß die Kokille vertikal sehr genau ausgerichtet wird.

Die Ergebnisse dieser Arbeit zeigen, daß die Schmelzkonvektion für industrierelevante Kokillenabmessungen und Wachstumsparameter einen beträchtlichen Einfluß auf den Wärmetransport und insbesondere auf die Form der Phasengrenze hat.

Die Finanzierung dieser Forschungs- und Entwicklungsarbeiten wird zum einen vom Europäischen Regionalentwicklungsfond 2000 - 2006 (ERDF) und zum anderen vom Wirtschafts- und Arbeitsministerium des Landes Sachsen übernommen.

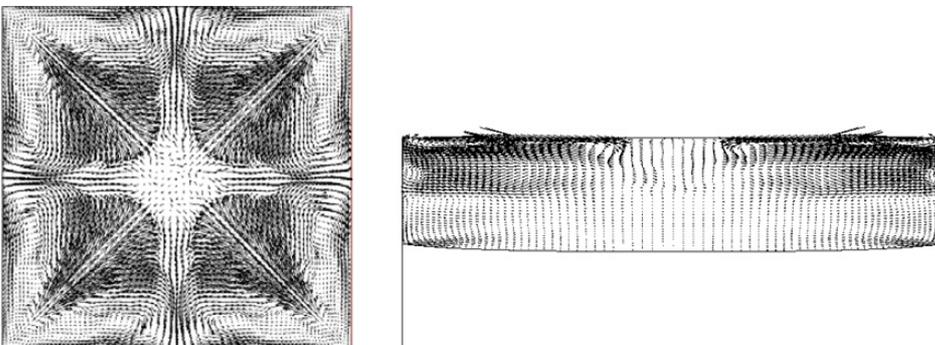


Fig. 1: Geschwindigkeitsfeld in einem horizontalen Schnitt 2 cm unterhalb der freien Oberfläche und in einem vertikalen Schnitt durch die Mitte der Kokille; Velocity field in a horizontal section placed 2 cm under the free surface and in a vertical section placed in the center of the mould.

Ansprechpartner

Dr. Thomas Jung
Telefon: +49 (0) 9131 761-272
thomas.jung@iisb.fraunhofer.de

Directional solidification of multi-crystalline silicon is the industrial production technique with the largest market share for solar silicon of about 60 %. Today, silicon ingots with a weight of more than 300 kg are produced by directional solidification methods. In order to support the process development and to improve the understanding of the heat and mass transport phenomena occurring during the crystallization process, numerical modeling is applied. In previous investigations of the heat transport during directional solidification of solar silicon, melt convection was often neglected. However, due to the large dimensions of the melt container it seems to be necessary to consider also the influence of melt convection on the heat and species transport during directional solidification. The origin of convective flows in directional solidification of solar silicon, which is a so-called "hydrodynamically stable" growth configuration with temperatures increasing from bottom to top, are radial temperature gradients which are leading to a bending of the solid-liquid interface and thus to buoyant convection.

We concentrate on the study of the influence of convective flows on the cast-

ing process of solar silicon in order to get some basic understanding of the role of convection. A simplified three-dimensional model of an industrial directional solidification process of silicon in a mould is used. The influence of various growth parameters (size of the mould, crystallization rate etc.) is studied by numerical simulation using the STHAMAS3D program. A simplified geometry consisting only of melt and already solidified silicon is used. Temperature-related boundary conditions obtained from measurements are applied on the boundaries. The mesh in the melt typically consists of 380.000 control volumes (CV), which were found to be sufficient to resolve the main features of the flow.

In order to obtain a realistic solution starting from an arbitrary initial solution, at least 800 sec of real time should be computed with a time step of 0.1 sec. Therefore, a huge computational power is needed to perform a parametric study, even for this local model. However, due to the high performance of current personal computers and by taking advantage of parallel computing such calculations can be performed in reasonable times especially on a PC cluster. The 3D

time-dependent simulations of this work were carried out on a 12 node HP-AMD-Opteron 2.2 GHz cluster (1 Gbit/s switched) with the parallelized version of STHAMAS3D. With this PC cluster, the time per run for 300 sec of real time is one day, which corresponds to a reduction by a factor 4 compared to one PC. Fig. 1 shows a typical example of calculated flow patterns. In order to investigate the influence of different growth conditions on melt convection and heat transfer, the dimensions of the mould, the rate of crystallization as well as the angle between gravity and the vertical axis of the mould were varied. Here, results for the influence of tilting of the crucible on the interface shape are shown as an example .

Three tilt angles (1, 2, 3 degrees) were considered. The results (fig. 2) show clearly that even a slight tilt of the mould has a strong influence on the interface shape. The interface shape is no longer symmetric in the xOz plane and is deformed towards the tilt direction. Therefore, it is very important to control the vertical alignment of the mould very precisely.

The results of this work show that the consideration of melt convection is important for industry-type mould dimensions and growth parameters, because it has a considerable influence on the shape of the crystallization-phase boundary. The research and development activities are partly funded by the European Regional Development Fund 2000 - 2006 (ERDF) and by the Ministry of Economics and Employment of the state of Saxony.

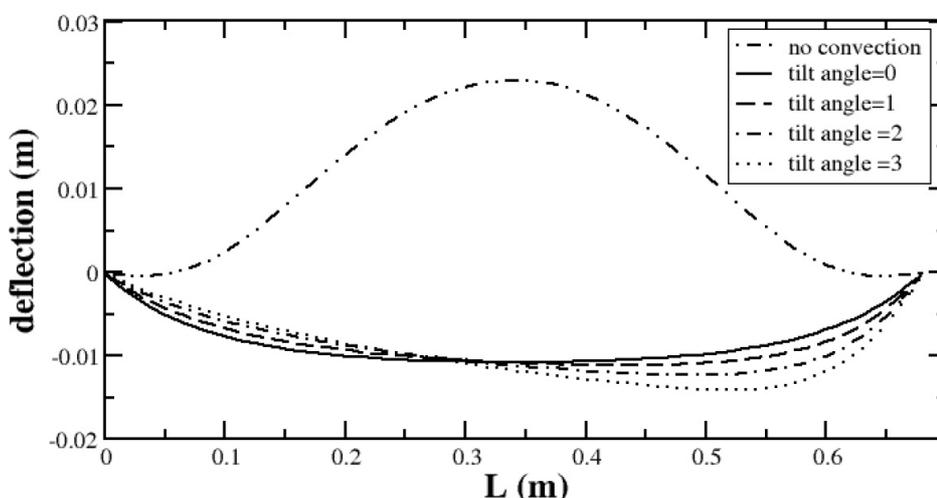


Fig. 2: Durchbiegung der Phasengrenze für verschiedene Verkippungswinkel der Kokille gegen die Schwerkraft, sowie ohne Berücksichtigung der Konvektion; Interface deflection for different tilt angles and without convection.

Contact

Dr. Thomas Jung
Phone: +49 (0) 9131 761-272
thomas.jung@iisb.fraunhofer.de

Im Jahresberichtsbeitrag 2005 "Kopplung von unterschiedlichen Softwarekomponenten für die effiziente Simulation der Konvektionsvorgänge in der Kristallzüchtung" wurde das Konzept der Hybrid-Software CrysMAS für die numerische Simulation der Kristallzüchtungsprozesse beschrieben. Im Rahmen des Konzeptes wurde bereits eine hohe Effizienz der numerischen Modellierung der unterschiedlichen Verfahren für die Kristallzüchtung (Czochralski, Bridgman, EFG) in axialsymmetrischen Geometrien erreicht, was insbesondere die nichtlinearen Vorgänge wie natürliche Konvektion betrifft. Das nächste Ziel der Modellentwicklung war die Erweiterung des globalen 2D-Modells auf ein lokales, völlig thermisch gekoppeltes 3D-Modell der Schmelzströmung. Das 3D-Modell soll dabei komplett in den bestehenden Code CrysMAS integriert werden. Die strömungsmechanische Formulierung erfolgt in zylindrischen Koordinaten, die in radialer und axialer Richtung mit dem globalen 2D-Modell identisch sind. Dadurch vereinfachen sich der Datenaustausch bei der thermischen Kopplung und die 3D-Datenstrukturen. Die 3D-Strömungsmechanik wurde anhand von Testfällen für eine GaAs-Bridgman-Strömung in einem zur Schwerkraft geneigten Tiegel verifiziert (siehe Fig.1).

Der nächste wichtige Aspekt ist die Realisierung der thermischen Kopplung zwischen dem lokalen 3D- und dem globalen 2D-Modell. Die thermische Rückkopplung ist für eine realitätsnahe Modellierung einer Cz-Schmelzströmung unentbehrlich, weil der konvektive Wärmetransport den thermischen Widerstand der Schmelze und dadurch auch die Randtemperatur an der Tiegelwand beeinflusst. Die klassische Lösung ist der Datenaustausch entlang der geteilten Grenze, wonach die Grenzbedingungen anhand der Daten des externen Modells angesetzt werden. Das Gebiet

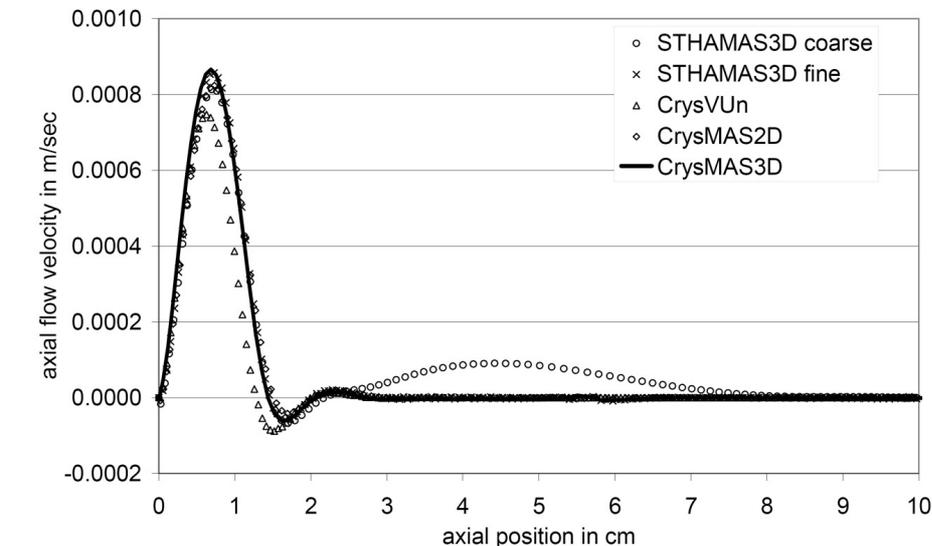


Fig. 1: Profil der axialen Strömungsgeschwindigkeit entlang der Symmetrieachse für einen GaAs-Schmelzzylinder berechnet mit unterschiedlichen Programmen. Die Anzahl der Kontrollvolumina war 257 600 (100 x 28 x 92) für „STHAMAS3D coarse“, 546 000 (130 x 35 x 120) für „STHAMAS3D fine“, ~ 5 000 für CrysVUn, ~ 20 000 für CrysMAS2D und 108x46x53 (z x r x f) für CrysMAS3D; Profile of the axial flow velocity at the symmetry axis computed for a GaAs melt cylinder by means of different computer programs. The number of CVs was 257 600 (100 x 28 x 92) for STHAMAS3D coarse, 546 000 (130 x 35 x 120) for STHAMAS3D fine, ~ 5 000 for CrysVUn, ~ 20 000 for CrysMAS2D and 108x46x53 (z x r x f) for CrysMAS3D.

des lokalen 3D-Modells wird dabei aus dem globalen 2D-Modell ausgeschnitten. Ein neues Konzept der Kopplung wurde realisiert, wonach statt dem Datenaustausch am Rand des Rechengebiets das zeitlich und azimuthal gemittelte Ergebnis für die konvektiven Massenflüsse und turbulente Wärme flüsse im Inneren der Schmelze an das 2D-Modell übergeben werden. Die 2D-Lösung mit den gemittelten Daten entspricht der nach Reynolds gemittelten Enthalpiegleichung. In zwei Dimensionen wird eine quasistationäre Lösung für den zeitlich gemittelten Wärmetransport und die Kristallgeometrie gesucht. Beide Konzepte der Kopplung wurden auf unterschiedliche Cz-Strömungen angewandt und bezüglich der Effizienz miteinander verglichen. Eine typische Momentaufnahme für die Geschwindigkeitsverteilung in einer GaAs-Schmelze ist in Abb. 2 dargestellt. Die Testfälle für GaAs und die Kopplung nach der Reynolds-Mittelung haben gezeigt, daß die Berechnung der turbulenten Wärme flüsse eine simulierte

Echtzeit von über 500 Sekunden in 3D benötigt. Die Integrationszeit reduziert sich erheblich, wenn das gleiche Schema auf eine Si-Cz-Strömung angewandt wird, was durch eine höhere Prandtl-Zahl und dadurch einen kleineren Einfluß der turbulenten Wärme flüsse zu erklären ist. Künftig wird der Datenaustausch entlang der Grenze und die zeitabhängige Lösung für beide 3D- und 2D-Bereiche bevorzugt.

Die FuE-Arbeiten wurden finanziell unterstützt durch Freiburger Compound Materials und Schott Solar.

Ansprechpartner

Jakob Fainberg
 Telefon: +49 (0) 9131 761-231
 jakob.fainberg@iisb.fraunhofer.de

CrysMas - a new Simulation Tool for Global Modeling of Crystal Growth Processes

The concept of the hybrid software CrysMAS for the numerical simulation of crystal growth processes was described in IISB's annual report 2005 „Coupling of different software components for simulation of the convection phenomena in crystal growth configuration“. A high numerical efficiency has already been achieved for modeling of various crystal growth methods like Czochralski, Bridgman, EFG in the framework of this concept especially concerning the nonlinear processes like the buoyancy-driven convection. The next target for the model development was the expansion of the global 2D model towards a local 3D model of the melt flow which is fully thermally coupled with the 2D model. The 3D model must be completely incorporated into the available CrysMAS code. The fluid-dynamics formulation is done in cylindrical coordinates. Thereby, the radial and axial coordinates are identical with the one in the global 2D model. This simplifies the data exchange for thermal coupling and the 3D data structures. The 3D fluid-dynamics model was verified on the basis of test cases for the GaAs melt flow in a tilted Bridgman configuration (see fig. 1).

The next important issue is the managing of the thermal coupling between the local 3D and the global 2D model. The thermal back coupling is essential for a realistic modelling of the Cz melt flow, because the melt flow changes the heat resistivity of the melt and therefore affects the boundary temperature on the crucible wall. The classical approach is the data exchange along the shared boundary. Thereby, the boundary conditions are set using the boundary data of the external model. The area of the local 3D model is then cut out from the global 2D model and not considered during the 2D computational run. In addition to the classical coupling scheme, a new concept is sug-

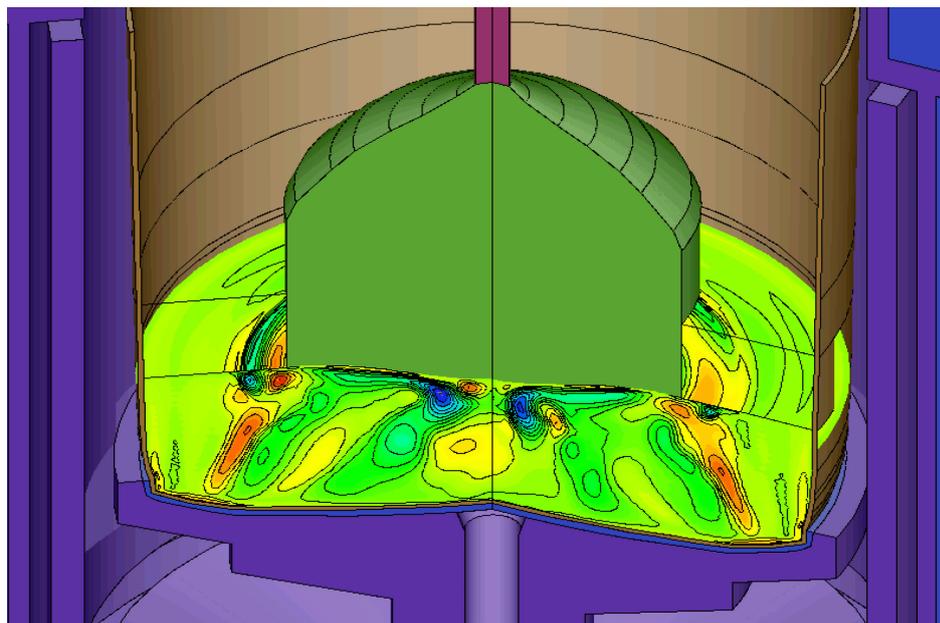


Fig. 2: Eine Momentaufnahme einer zeitabhängigen 3D-GaAs-Cz-Strömung bei der 6"-Kristallzüchtung. Die Kernzone besteht aus Kristall, Schmelze, Tiegel, Heizer und den Graphit-Einbauten. Es ist die Verteilung der vertikalen Geschwindigkeitskomponente in zwei azimuthalen und einer horizontalen Schnittebene unter dem Kristall als Isolines und in Farbkodierung dargestellt. Das gezeigte Ergebnis wurde vollständig thermisch gekoppelt mit dem globalen Modell und errechnet mit dem Code CrysMAS. Schmelze und Tiegel wurden in 3D, der Rest in 2D modelliert;

The instantaneous state of the time-dependent 3D GaAs melt flow in the Cz 6" configuration. The hot core zone consists of crystal, melt, crucible, heater and graphite components. The distribution of the axial velocity component is shown by isolines and color-coded polygons in two azimuthal and one horizontal cross-section under the crystal. The result was computed by means of the numerical code CrysMAS in the fully thermally coupled mode with the global model. Melt and crucible were simulated in 3D, the other compounds in 2D.

gested and implemented which is based on the following. The temporally and azimuthally averaged convective mass fluxes and turbulent heat fluxes inside the melt are evaluated during the 3D run and transferred to 2D according to this concept. The 2D solution based on the averaged data corresponds to Reynolds' averaged enthalpy equation. A quasi-stationary state solution for the 2D temporally averaged heat transfer and crystal geometry is searched for. Both concepts of coupling were applied to various Cz melt flows and their efficiency was compared. A typical instantaneous velocity distribution in the melt is shown in fig. 2. The test cases for GaAs and coupling according to Reynolds' averaging-method indicated the required real time in 3D to be more than 500 seconds for an evaluation of the turbulent heat fluxes. The required time is strongly reduced by the applica-

tion of the same coupling scheme for a Si Cz melt flow. The time reduction might be explained by the lower value of the Prandtl number and therefore the lower influence of the turbulent heat fluxes. The data exchange along the shared wall and the time-dependent solution for both 2D and 3D domains will be preferred in the future coupling scheme.

The R&D work was financially supported by Freiburger Compound Materials and Schott Solar.

Contact

Jakob Fainberg
Phone: +49 (0) 9131 761-231
jakob.fainberg@iisb.fraunhofer.de

Schwerpunkte, Trends und Potentiale der Abteilung Leistungselektronische Systeme

Das Jahr 2006 war gekennzeichnet durch ein weiteres Wachstum der Abteilung, mit zweistelligen Wachstumsraten bei Personal und Erträgen. Gut 2/3 aller Erträge erwirtschaftete die Abteilung in Süddeutschland, d.h. in Bayern und Baden-Württemberg. Der Anteil der Projekterträge aus dem Bereich der Industrie- und Unterhaltungselektronik konnte auf nahezu 30 % gesteigert werden. Damit sind wir auf unserem Weg, diesen Kundenkreis als zweites Standbein neben dem dominierenden Automobilsektor zu erschließen, ein gutes Stück vorangekommen. Der Bereich der Industrieelektronik zeichnet sich durch eine große Anzahl kleiner und mittelständischer Unternehmen (KMU) aus. Um über unseren heutigen Kundenkreis, der überwiegend Großunternehmen umfaßt, auch in den Markt mit KMU-Kunden vordringen zu können, ist eine deutliche Senkung der von uns zu verrechnenden Kostensätze erforderlich. Die Abteilung tritt deshalb auch auf Institutsebene für eine Ausschöpfung aller Maßnahmen zur Senkung der Kostensätze ein.

Bei der Weiterentwicklung unseres Automobilelektronikgeschäfts, das vom Zentrum für KFZ-Leistungselektronik und Mechatronik (ZKLM) in Nürnberg betrieben wird, erhalten wir weiterhin Rückenwind durch den Trend zu verbrauchsärmeren Kraftfahrzeugen. Eine aktuelle Mercer-Studie geht für leistungselektronische Fahrzeugkomponenten von einem Wachstum über 150 % bis zum Jahr 2015 aus. Damit ist Leistungselektronik, noch vor der Informations- und Kommunikationselektronik, der wachstumsstärkste Sektor in der Automobilelektronik und liegt bezüglich des absoluten Wertschöpfungsvolumens bei weitem an der Spitze.

Die Öffentlichkeitsarbeit der Abteilung im Jahr 2006 umfaßte u.a. die Beteiligung an sechs Messen und Ausstellungen, diverse Vorträge auf internationalen Konferenzen und die Betreuung mehrerer bayerischer Gymnasien im Rahmen wissenschaftlicher Schülerwettbewerbe. Dabei erzielte das von der Abteilung betreute Gymnasium in Vilsbiburg den Sonderpreis Technik im Rahmen eines vom Nachrichtenmagazin FOCUS bundesweit ausgeschriebenen Wettbewerbs.

Die im Sommersemester 2006 erstmals angebotene Vorlesung zur KFZ-Leistungselektronik, einem Wahlfach für Studenten der Elektrotechnik und Mechatronik an der Universität Erlangen-Nürnberg, hat die Sichtbarkeit der Leistungselektronik-Aktivitäten am IISB bei den Studenten deutlich erhöht und zu einer erfreulichen Nachfrage nach Projektarbeiten, Praktika und HIWI-Tätigkeiten geführt.

Wie keine andere unabhängige Forschungseinrichtung in Europa bietet das Fraunhofer IISB auf dem Gebiet der Leistungselektronik seinen Kunden neben umfassender Systemkompetenz ein breites Spektrum an Entwicklungsdienstleistungen bis hin zur Realisierung von kundenspezifischen Prototypen. Zum Ausbau unserer Position werden wir die bestehenden Kernkompetenzen weiterhin gezielt stärken und uns ausgewählte, strategisch wichtige Kompetenzfelder neu erschließen. Zu letzterem gehört das Gebiet „Materialien und Zuverlässigkeit“, dem im Zuge des Trends zur wirkungsortgerechten Systemintegration von Leistungselektronik immer mehr eine Schlüsselrolle zukommt.

Um eine Systemintegration mit der erforderlichen Zuverlässigkeit und Wirtschaftlichkeit realisieren zu können, müssen neue Technologien im Bereich der Bauelemente, der Aufbau-, Verbin-

dungs- und Kühltechniken sowie der Montagetechnik entwickelt werden. Erste Arbeiten dazu sind im Jahr 2006 angelaufen:

- In Kooperation mit dem Lehrstuhl für Elektronische Bauelemente der Universität Erlangen-Nürnberg werden im Rahmen des DFG-Sonderforschungsbereichs 694 neue Materialien und Fertigungstechnologien für formflexible induktive Bauelemente untersucht.
- Im EU-Projekt HOPE (High Density Power Electronics for Fuel Cell and ICE-Hybrid Electric Vehicle Power Trains) entwickelt das IISB neue Integrationskonzepte für Leistungselektronik in thermisch hochbelasteten Umgebungen.
- Im BMBF-Projekt „ProMoLES“ werden neue Konzepte und Richtlinien zur montagegerechten Gestaltung leistungselektronischer Baugruppen sowie Möglichkeiten für einen technischen Kopierschutz untersucht.

Mittelfristig soll der Bereich „Materialien und Zuverlässigkeit“ zu einer eigenen Gruppe ausgebaut werden. Entsprechende Fördermittel sind in Aussicht gestellt.

Das WISA-Projekt „Leistungselektronik für kompakte und effiziente Energiewandlung“ konnte Ende 2006 plangemäß und erfolgreich abgeschlossen werden. Dieses Projekt hat uns wichtige Grundlagenarbeiten für extrem kompakte und effiziente elektrische Leistungswandler ermöglicht. Gestützt darauf konnten wir 2006 den bislang größten Entwicklungsauftrag aus der Automobilindustrie akquirieren.

Ansprechpartner

Dr.-Ing. Martin März
Telefon: +49 (0) 9131 761-310
martin.maerz@iisb.fraunhofer.de

Focal Areas of Research and Development, Trends and Potentials of the Department of Power Electronic Systems

The year 2006 featured a further expansion of the department with two-digit expansion rates regarding staff and project turnover. About 2/3 of the department's entire profits were made in Southern Germany, i.e. Bavaria and Baden-Württemberg. The turnover of projects in the fields of industrial and consumer electronics could be increased to a share of almost 30 %. Thus, we have made further progress in establishing this range of customers as a second economic main field in addition to the dominating automotive sector. The field of industrial electronics comprises a large number of small and medium-sized enterprises (SME). In order to attract the market of SME customers - beyond the present range of customers consisting mostly of major enterprises - a considerable reduction of our cost rates is necessary. Therefore, our department emphatically stands for the use of all possibilities in order to reduce the personnel cost rates of institute level.

Regarding the further development of our automotive electronics business carried out by the "Center for Automotive Power Electronics and Mechatronics" (ZKLM) in Nuremberg, we receive a continuous boost due to the trend towards low-consumption vehicles. A current Mercer study estimates a growth of more than 150 % for power electronics vehicle components until 2015. Thus, power electronics is the most expanding sector in automotive electronics, exceeding even information and communication electronics.

The public relation activities of the department in 2006 comprised, among others the participation in six fairs and

exhibitions, various presentations at international conferences, as well as the support of several Bavarian high schools in scientific competitions. One of these, the high school of Vilsbiburg, could gain the extra prize "Technik" in a nationwide competition arranged by the news magazine FOCUS.

The lecture on power electronics, offered for the first time during the summer term 2006 as an elective subject for students of electrical engineering and mechatronics, has clearly increased the visibility of power electronics activities at the IISB and fortunately resulted in an increased demand for project works, internships and research assistant jobs.

Unlike any other independent research institute in Europe, the Fraunhofer IISB offers its customers a broad range of development services up to the engineering and realization of customer-specific prototypes in addition to a profound system competence. For the extension of our position, we will furthermore strengthen our existing core competences as well as develop selected and strategically important new domains. The latter includes the field of "Materials and Reliability" which is increasingly playing a key role in the course of the trend towards a system integration of power electronics.

Such an integration can only be performed with the necessary reliability and cost-effectiveness, if new technologies in the fields of devices, packaging, cooling and assembly technologies are developed.

First projects regarding these purposes were launched in 2006:

- In cooperation with the chair of electronic devices (LEB) at the University of Erlangen-Nuremberg, new materials and manufacturing technologies for form-flexible inductive compo-

nents are being studied in the context of the DFG-Sonderforschungsbereich 694.

- Within the EC project "HOPE" (High Density Power Electronics for Fuel Cell and ICE-Hybrid Electric Vehicle Power Trains), the IISB develops new solutions for the integration of power electronics into thermally high-loaded environments, new joining technologies as well as low-parasitic commutation cells for fast-switching SiC devices.
- Within the BMBF project "ProMoLES", new concepts and design guidelines for an improved manufacturability of power electronic subassemblies as well as technical possibilities for copy protection are examined.

In the medium term, the field "Materials and Reliability" is supposed to be expanded into a group of its own. The WISA project "Power Electronics for Compact and Efficient Power Conversion" could be completed successfully and according to the time schedule in the end of 2006. This project enabled important pre-research work on the way to extremely compact and efficient electrical power converters. Based on that, we were able to acquire the largest engineering order from the automotive industry so far.

Contact

Dr.-Ing. Martin März
Phone: +49 (0) 9131 761-310
martin.maerz@iisb.fraunhofer.de

Ziel des Projekts „Ultrakompakte Stromversorgungen“ ist die Entwicklung innovativer Netzteilkonzepte für den Leistungsbereich von 70 bis 250 W. Zielanwendungen sind elektronische Geräte der Computer- und Unterhaltungselektronik mit sehr begrenzten Platzverhältnissen. Durch eine extrem kompakte Bauweise, d.h. eine hohe Leistungsdichte, und hohe Wirkungsgrade soll eine Integration der Stromversorgung in die Geräte ermöglicht werden, sodaß die heute noch weit verbreiteten „Huckepack“-Lösungen in Form von Stecker-Netzteilen oder externen Netzadaptern überflüssig werden.

Die vorgesehenen Zielanwendungen erfordern Netzteile mit Weitbereichs-spannungseingang für weltweite Einsetzbarkeit (90 V bis 240 V), Leistungsfaktorkorrektur, Wirkungsgrade von über 93 % und Leistungsdichten oberhalb von $0,6 \text{ W/cm}^3$. Aus diesem Profil ergeben sich große Herausforderungen an die Schaltungstopologie, an die Leistungshalbleiter, an das Steuerverfahren und die Aufbau- und Entwärmungstechnik.

Um den für eine sichere Netztrennung erforderlichen Gleichspannungswandler möglichst kompakt und mit hohem Wirkungsgrad realisieren zu können, wurde eine resonante Schaltungstopologie mit Schaltfrequenzen von bis zu einem Megahertz gewählt und mittels umfangreicher Simulationen optimiert.

Die hohe Schaltfrequenz ermöglicht den Einsatz eines besonders kompakten planaren Transformators. Durch die gewählte Schaltungstopologie und ein spezielles Transformator-Design konnten die üblicherweise störenden parasitären Schaltungselemente des Transformators nutzbringend in den Resonanzkreis integriert, und eine Reihe von diskreten passiven Bauelementen eingespart werden.

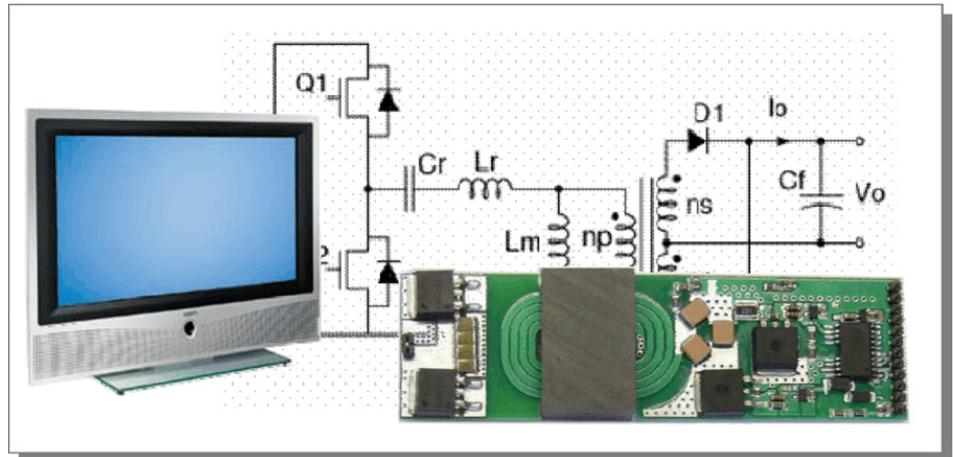


Fig. 1: 250 W Resonanzwandler für das Netzteil eines LCD-Fernsehers;
250 W DC/DC resonant converter for a LCD TV power supply .

Das Ergebnis ist ein besonders kompakter Wandler mit einer Ausgangsleistung von 250 W bei einer Bauhöhe von nur 15 mm. Die Leistungsdichte liegt - je nach Kühlerstruktur - bei Werten um 3 W/cm^3 (ohne PFC). Bereits an dem ersten Prototypen konnte ein Vollastwirkungsgrad von 94 % nachgewiesen werden.

Eine weitere Wirkungsgradoptimierung soll durch den Einsatz eines Synchrongleichrichters in der Ausgangsstufe des Wandlers erreicht werden. Die entsprechende Entwicklung ist gestartet, Herausforderung ist hierbei die hohe Schaltfrequenz von mehr als einem Megahertz.

Besonderes Augenmerk wurde auf eine kostengünstige Montierbarkeit des Wandlers gelegt. Zum Einsatz kommen deshalb - auch im Leistungsteil (!) - ausschließlich oberflächenmontierbare (SMT-)Bauelemente. Ziel ist eine vollautomatisierbare Montage ohne die bei Leistungselektronik häufig noch immer erforderlichen manuellen Arbeitsschritte.

Das Projekt unter der Leitung des Fraunhofer IISB hat eine Laufzeit von 2½ Jahren (2005 – 2007) und wird vom Internationalen Büro (IB) des BMBF im

Rahmen eines Wissenschaftler-Austauschprogramms unterstützt. Projektpartner sind die Infineon AG, die ISLE GmbH in Ilmenau und die chinesischen Universitäten von Nanjing (NUAA), Tongji und Xi'an. Insgesamt drei Gastwissenschaftler von den chinesischen Partner-Universitäten unterstützen im Rahmen mehrjähriger Gastaufenthalte (post doc) die F&E-Arbeiten - darunter Mao Mingping und Li Dong am Fraunhofer IISB in Erlangen. Die Verwertung der Ergebnisse in Form angepaßter Leistungshalbleiter und Steuer-ICs liegt in der Hand der Infineon AG.

Ansprechpartner

Dimitar Tchobanov
Telefon: +49 (0) 9131 761-363
dimitar.tchobanov@iisb.fraunhofer.de

The goal of the project "Ultra-compact power supply for LCD TV" is to develop innovative power supply concepts for the power range from 70 W to 250 W. Target applications are notebooks and consumer electronics with severe size restrictions. Due to an extremely compact design, i.e. high power density and high efficiencies, an integration of the power supply into the application shall be made possible. In consequence, currently widely-used "piggy back" solutions like adaptors will become redundant.

The intended target applications require adapters with a wide range input voltage for world-wide applicability (90 V to 240 V), power factor correction (PFC), efficiencies of more than 93 % and power densities above 0.6 W/cm³. Resulting from this profile, great challenges are made on circuit topology, semiconductors, on control as well as on assembly and cooling techniques. In order to implement the isolated DC/DC converter required for safe mains isolation in a preferably compact

way and with high efficiency, a resonant circuit topology with switching frequencies of up to 1 MHz was chosen and optimized through extensive simulations.

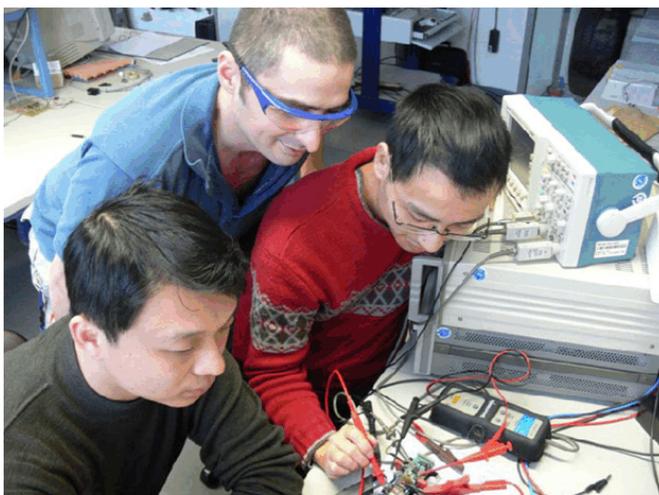
The high switching frequency enables the use of a particularly compact planar transformer. Due to the chosen circuit topology and a special transformer design, the usually disturbing parasitic circuit elements of the transformer could be integrated expediently and therefore several discrete passive devices could be avoided.

The result is a particularly compact converter with an output power of 250 W and a height of only 15 mm. Power density lies around 3 W/cm³, depending on the chosen heatsink design (without PFC). Even for the first prototype, a full-load efficiency of 94 % could be proven.

Further optimization is supposed to be achieved by the use of a synchronous rectifier in the output stage of the converter. According development has

been initiated, yet the challenge hereby is posed by the high switching frequency of more than one megahertz. Special attention was given to a cost-saving assembly of the converter. Therefore, only surface-mountable devices (SMD) are applied – even within the power stage. The goal is a fully automatable assembly without the manual production steps usually still required for power electronics.

The project under the direction of the Fraunhofer IISB has a term of 2½ years (2005 - 2007) and is supported by the International Bureau (IB) of the BMBF within a scientist exchange program. Project partners are Infineon AG, ISLE GmbH in Ilmenau and the Chinese Universities of Nanjing (NUAA), Tongji and Xi'an. All in all, three visiting scientists of the Chinese partner universities support the R&D work within stays for several years – among them Mao Mingping and Li Dong at the Fraunhofer IISB in Erlangen. The use of the project results in form of optimized power semiconductor devices and control ICs is in the hands of Infineon AG.



Contact

Dimitar Tchobanov
 Phone: +49 (0) 9131 761-363
 dimitar.tchobanov@iisb.fraunhofer.de



Fig. 2: Entwicklung eines Schaltnetzteils im Rahmen eines intern. Kooperationsprojekts; Development of a new switch-mode power supply within the framework of an international cooperation project .

Ein immer interessanteres Analyseverfahren, vor allem in der Aufbau- und Verbindungstechnik, aber auch der Prozessschrittkontrolle der Halbleiterherstellung ist die zerstörungsfreie Fehleranalyse mittels Ultraschallmikroskopie.

Grundlagen

Akustische Wellen werden in piezoelektrisch angeregten Transducern erzeugt. Für Frequenzen unter 100 MHz werden Kristalle aus Lithiumniobat, Quarz oder Keramik verwendet. Jenseits dieser Grenze werden piezoelektrische Kristalle, z.B. Zinkoxid (ZnO), eingesetzt.

Die Transducer werden durch elektronisch angeregte Wechselfpulse zum Schwingen in ihrer eigenen Frequenz angeregt. Das akustische Signal wird durch einen Saphirzylinder (Al_2O_3) zur Linse gesendet. Die Schallwellen werden größtenteils an der Oberfläche der Linse bzw. des Koppelmediums gebrochen und auf die Längsachse der Linse fokussiert. Durch das Koppelmedium (in der Regel Wasser) werden die Schallwellen übertragen. Nachdem die Schallwellen das Objekt getroffen haben, arbeitet das System in umgekehrter Reihenfolge. Die reflektierten Schallwellen laufen aus

und werden empfangen, um in ein elektrisches Signal zurückgewandelt zu werden.

Vorteil

Ein großer Vorteil in der akustische Mikroskopie gegenüber anderen Untersuchungsmethoden liegt hauptsächlich in der Art und Weise, wie der Kontrast erzeugt wird. Der Kontrast wird durch verschiedene physikalische Eigenschaften, wie Dichte und Elastizität, an der Oberfläche und im Inneren des Prüfobjektes gewonnen. Die Ultraschallmikroskopie ist eine zerstörungsfreie Messung, solange der Prüfling ein Eintauchen in Wasser übersteht.

Funktion

Die akustische Mikroskopie arbeitet wie das bekannte Echolot bei Schiffen auf Basis der Puls-Echo-Technik. Ein spezielles akustisches Objektiv sendet und empfängt kurze akustische Signale mit einer hohen Wiederholungsrate. Diese werden vom Prüfobjekt reflektiert und in ein Videosignal umgewandelt. Um eine graphische Darstellung zu erhalten, wird der Prüfkopf (Transducer) mit einem Scanner meanderförmig über die

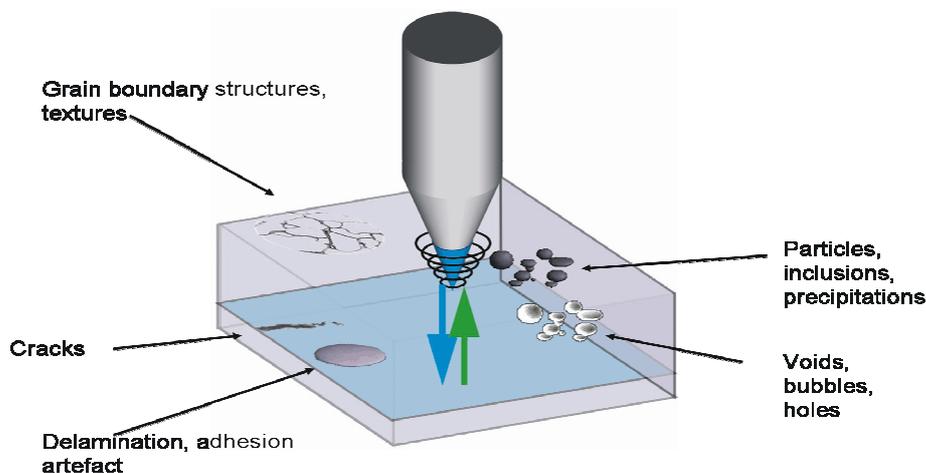


Fig. 1: Funktionsprinzip;
Functioning principle.

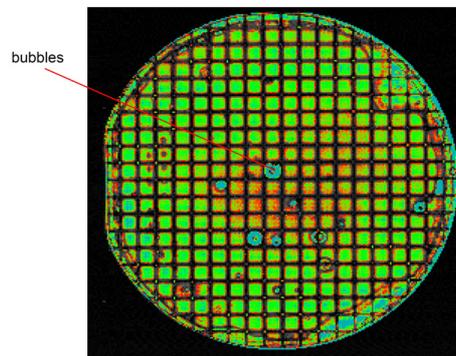


Fig. 2: Fehlerbild einer Luftblase;
Internal defects: bubbles.

Probe geführt. Die Intensität und die Phase der reflektierten, empfangenen Signale werden synchronisiert und stufenweise als Grauwerte auf einem hochauflösenden Monitor dargestellt.

Fehlerdetektion durch Phasenerkennung

Grundsätzlich erhält eine Ultraschallwelle beim Auftreffen auf eine Grenzfläche zwischen einem Material mit hoher akustischer Impedanz und einem Material mit niedriger akustischer Impedanz eine Phasenumkehrung. Diese Eigenschaft wird genutzt zur Darstellung des Übergangs des Probenmaterials zur Luft und damit zum Auffinden von Delaminationen und Lufteinschlüssen.

Am ZKLM wird diese Mikroskopie bevorzugt zur zerstörungsfreien Erkennung von Delaminationen bei Leistungshalbleiter-Modulen eingesetzt.

Ansprechpartner

Markus Billmann
Telefon: +49 (0) 911 23568-20
markus.billmann@iisb.fraunhofer.de

Thomas Götz
Telefon: +49 (0) 911 23568-19
thomas.goetz@iisb.fraunhofer.de

A very interesting analytical method in joining technique as well as in the controlling of processing steps of semiconductor manufacturing is the non-destructive fault analysis by means of an acoustic microscope.

General principle

Acoustic waves are generated in piezo-electrical activated transducers. For frequencies below 100 MHz crystals made of lithium niobate, quartz crystal or ceramics are used. Beyond these frequencies, piezo-electrical crystals like ZnO are applied.

A special acoustic objective - centerpiece of microscope - produces, transmits and receives short sound pulses with a high penetration rate. It is a sapphire cylinder (Al_2O_3) with a sound transducer (a thin ZnO film) sputtered on its upper face and a cavity polished in the base opposite of the transducer. The piezo-ceramic layer converts high-frequency electromagnetic vibrations into sound vibrations which propagate as a plane-parallel wave field inside the sapphire. The cavity focuses the sound field on the sample together with the coupling medium (water). The immersion system cavity/medium therefore acts as the acoustic lens.

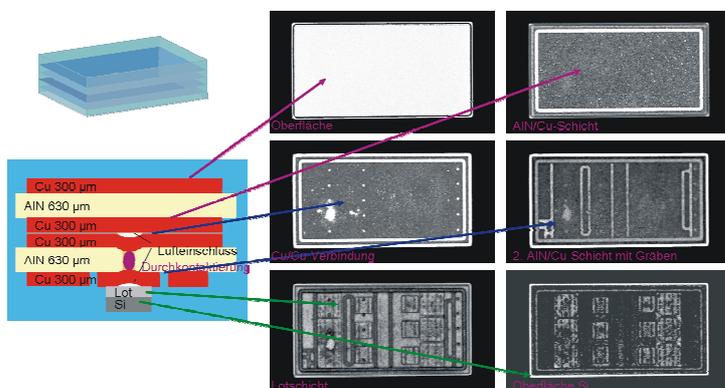


Fig. 3: X-Scan, verschiedene Schichten im Bauteilinneren; X-scan, displaying different layers.

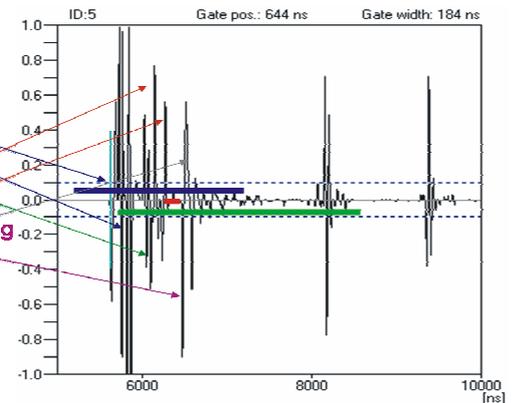
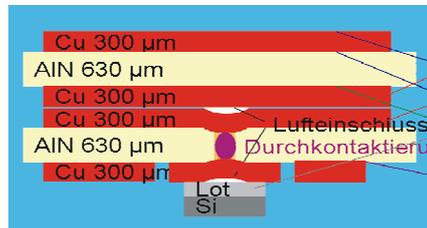


Fig. 4: A-Scan, Zuordnung der unterschiedlichen Signale; A-scan, allocation of different signals.

Advantage

Compared to other fault analysis, acoustic microscopy has the advantage of displaying the contrasts of weak structures or defects. Contrast depends on different physical properties, like density and resilience. Acoustic microscopy is a suitable non-destructive testing (NDT) method, especially in lateral and depth resolution.

Operating principle

The acoustic objective receives the sound pulses reflected from the sample during the intervals between transmission. The transducer transforms them into electromagnetic pulses and a monitor system displays them as a pixel with defined grey value. To produce an im-

age, the acoustic objective scans the sample line by line. The time required to build up an image depends on the scanning rate. For a given deflection of the acoustic objective of 50 Hz and 512 pixels per line, it takes about 10 sec to produce an image of 512 x 512 pixels.

Locating errors by means of phase detection

Basically, sound pulses change their phases when they hit an interface between materials of higher acoustic impedance and materials of lower acoustic impedance. This property is used for displaying the interface of the material to the air and serves for detecting delamination, bubbles or holes.

At ZKLM, we prefer non-destructive analysis with scanning acoustic microscopy to detect delamination of power semiconductor modules und substrate constructions.

Contact

Markus Billmann
Phone: +49 (0) 911 23568-20
markus.billmann@iisb.fraunhofer.de

Thomas Götz
Phone: +49 (0) 911 23568-19
thomas.goetz@iisb.fraunhofer.de

Eine große Herausforderung für die moderne Leistungselektronik ist neben einer zunehmenden Leistungsdichte und Kostenreduktion vor allem auch eine Steigerung der Zuverlässigkeit. Durch erhebliche Fortschritte im Bereich der Zuverlässigkeit der leistungselektronischen Einzelkomponenten steigt die Verlässlichkeit leistungselektronischer Systeme kontinuierlich an.

In industriellen Großanlagen werden sich jedoch Ausfälle auf absehbare Zeit mit vertretbarem Aufwand nicht vollkommen unterbinden lassen. Da für Großanlagen, z.B. im Bereich der Energieversorgung, Serviceintervalle von mehreren Jahren oder sogar Jahrzehnten vorgegeben sind, muß die Verfügbarkeit der Gesamtanlage über diesen Zeitraum sichergestellt werden. Abhängig von der Anwendung geschieht dies üblicherweise durch eine „n+x“-Redundanz, also eine Reihen- oder Parallelschaltung von Teilsystemen bei der eine Anzahl von „x“-Teilsystemen als Reserve vorgehalten wird.

Gerade in Großanlagen werden große Mengen Energie bei hohen Spannungen und Strömen umgesetzt. Ausfälle von Leistungshalbleitern oder im Bereich der Ansteuerungselektronik können zu Teilkurzschlüssen und Lichtbögen im System führen, bei denen schlagartig große Mengen Energie frei werden. In einem typischen Anwendungsumfeld großer Leistungstransistoren kann dies der Explosionswirkung von mehreren 10 g TNT entsprechen.

Durch die dabei entstehenden Kräfte treten erhebliche Beschädigungen an allen Komponenten in direkter Nachbarschaft zur Fehlerstelle auf. Durch herumfliegende, teilweise leitfähige Trümmerteile und austretende Heißgas- und Plasmawolken können aber auch Komponenten aus anderen Teilsystemen in einem weiten Umfeld beeinträchtigt



Fig. 1: Anfangsstadium der Explosion eines 1700 V, 400 A Einzel-IGBTs ohne Havarieschutzmaßnahme; Initial stage of the explosion of a single IGBT 1700 V, 400 A without hazard protection.

werden. Hierdurch kann ein Einzelstörung zu einer Kettenreaktion und somit zu einem Ausfall der Gesamtanlage führen, was durch den redundanten Aufbau vermieden werden sollte.

Ziel der Arbeiten am IISB ist es, durch eine veränderte Konstruktion der leistungselektronischen Systeme die Auswirkungen der Explosion lokal einzudämmen. Dies beinhaltet in einem ersten Schritt eine grundlegende Untersuchung der Zerstörungsmechanismen. Dies geschah unter anderem mit Hilfe von Hochgeschwindigkeitsaufnahmen. Der Verlauf der Explosion eines IGBT-Moduls mittlerer Baugröße komplett ohne Eindämmmaßnahmen ist in den Fig. 1 und Fig. 2 dargestellt. Im Rahmen der Untersuchung wurden Fehlerfälle mit einem Vielfachen der in diesem Beispiel freigesetzten Energie durchgeführt.

In einem zweiten Schritt wurden unterschiedliche konstruktive Maßnahmen ausgearbeitet und in umfangreichen Meßreihen erprobt. Da die Eindämmmaßnahmen auch erheblichen Einfluß auf das thermische Verhalten des Gesamtaufbaus haben, wurden diese ebenfalls thermisch charakterisiert. Weitere Aspekte sind die Auswirkung der Eindämmstoffe auf das Isolationsverhalten sowie eine kostenoptimierte Herstellung.

Im Rahmen dieser Untersuchungen entstanden neuartige Aufbauverfahren für leistungselektronische Aufbauten grö-



ßerer Leistung. Neben der erwünschten Eindämmung der Zerstörungswirkung bieten diese im Vergleich zu traditionellen Konstruktionen erheblich erweiterte Freiheitsgrade für das thermische Design. Auf Basis dieser Ergebnisse wurden 2 Patente angemeldet, ein weiteres Patent ist in Vorbereitung.

Ein Schwerpunkt für weitere Untersuchungen in diesem Gebiet ist die Störsicherheit von leistungselektronischen Ansteuerschaltungen gegenüber den bei den Explosionen benachbarter Teilsysteme entstehenden elektromagnetischen Feldern.

Ansprechpartner

Markus Billmann
Telefon: +49 (0) 911 23568-20
markus.billmann@iisb.fraunhofer.de

Dirk Malipaard
Telefon: +49 (0) 911 23568-24
dirk.malipaard@iisb.fraunhofer.de

A big challenge for modern power electronics is to combine the objective of increased reliability with higher power density and reduced costs. As a result of improvements in the reliability of single power electronic components, the lifetime of power converters is increasing continuously.

In large scale industrial plants, failures within the power electronic system can not be avoided completely at acceptable costs. Due to the fact that industrial plants have service intervals of several years or even decades, the availability of the entire installation has to be guaranteed for this period. Depending on the application, the availability is typically achieved by "n+x" redundancy, this means a series or parallel connection of subsystems with a number of "x" subsystems kept in reserve.

Especially in large-scale plants, energy is transferred with very high voltages and currents. Failures of power semiconductor or parts of the driving circuits may result in partial short-circuits and electric arcs within the system that instantly release a huge amount of energy. In a typical application of big power semiconductor, this energy has an explosion equivalent of several 10 g TNT.

The impact of the explosion might cause extensive damage to all components nearby. Flying conductive debris and escaping plasma might affect intact components from surrounding subsys-

tems. A single local failure might cause a chain reaction and a breakdown of the whole installation can be the consequence. The build-in redundancy cannot cover this special case.

The objective of the IISB research is to modify the construction of the power electronic systems in order to limit the impact of the explosion. As a first step, the exact destruction mechanism was examined. This was done by observing the explosion with high-speed cameras. The process of the explosion of a medium-sized power transistor module without any surrounding case is shown in fig. 1 and fig. 2. Within this project failures with much higher energy than shown in this example have been examined.

In a second step, different constructive arrangements were prepared and tested in extensive test series. Due to the fact that the containments have a big influence on the thermal behavior of the complete system all construction versions run through thermal tests and simulations. Also the influence on the electrical insulation and the manufacturability of the system were part of the examination.

Within this project, novel assembly techniques for high-power electronic systems have been developed. Beside the major objective to reduce the impact of the explosion, this new assembly concepts offer additional degrees of freedom for the thermal design of

power electronic systems. Based on this results, two patents have been applied for, a third patent application is in preparation.

The main focus for future research is on the fail-safe behavior of the driving circuits if exposed to heavy EMI caused by a failure within nearby subsystems.

Contact

Markus Billmann
Phone: +49 (0) 911 23568-20
markus.billmann@iisb.fraunhofer.de

Dirk Malipaard
Phone: +49 (0) 911 23568-24
dirk.malipaard@iisb.fraunhofer.de



Fig. 2: Fortgeschrittene Explosion eines 1700 V, 400 A Einzel-IGBTs ohne Havarieschutzmaßnahme; Mid-stage of the explosion of a single IGBT 1700 V, 400 A without hazard protection.

Ereignisse

Integriertes EU-Projekt SEA-NET zur Evaluierung von Halbleiterfertigungsgeräten erfolgreich gestartet

Am 10. und 11. Januar 2006 fand am IISB das Kick-off-Meeting für das von der Europäischen Kommission geförderte und vom IISB koordinierte Integrierte Projekt SEA-NET (Semiconductor Equipment Assessment for NanoElectronic Technologies) statt. Ziel ist die Evaluierung von europäischen Leading-Edge-Halbleiterfertigungsgeräten unter Einbeziehung von Geräteherstellern, Halbleiterherstellern und Forschungsinstituten. Europäische Gerätehersteller haben damit die Möglichkeit, die Entwicklungsphase vom innovativen Prototyp bis zum fertigungstauglichen Gerät mit hohem Durchsatz und großer Zuverlässigkeit unter Einbeziehung der späteren Nutzer zu beschleunigen.

SEA-NET ist eines der drei großen Integrierten Projekte, die sich im 6. IST-Aufruf zum 6. Rahmenprogramm erfolgreich behaupten konnten. An SEA-NET

sind 27 Partner (einschließlich eines Partners aus Israel) beteiligt. Dies umfaßt die wichtigsten europäischen Halbleiterhersteller wie Infineon, ST und Philips, 15 europäische Gerätehersteller sowie die großen Forschungsorganisationen IMEC, LETI und Fraunhofer. Die Laufzeit des Projekts beträgt 3 Jahre, das Budget beläuft sich auf über 20 Mio. Euro mit einer EU-Fördersumme von mehr als 11 Mio. Euro.

SEA-NET schließt sich an die von der Europäischen Union bereits 1996 gestartete SEA- (Semiconductor Equipment Assessment) Initiative an, die eine engere Bindung zwischen europäischen Halbleiterfertigungsgeräteherstellern und den weltweiten Nutzern, den Halbleiterherstellern, zum Ziel hat.

In SEA-NET werden für die Technologie-knoten 65, 45, 32 und 22 nm Halbleiterfertigungsgeräte aus den Bereichen Schichtabscheidung, Reinigung, Ätzen, Meßtechnik und Assembly evaluiert und der Reifeprozess bis zur Fertigungstauglichkeit beschleunigt. Wichtige Themen sind unter anderem neue Substratmaterialien, Dotierung und Dotierungskontrolle, dielektrische Isolation,

Gatestrukturen, Barrierschichten und Mehrfachsichten für Interconnects.

Sprachpraktika am IISB - Kooperation mit der FH Köln

Seit nunmehr 10 Jahren besteht eine erfolgreiche Kooperation zwischen dem IISB und der FH Köln, im Rahmen derer Studierende des Studiengangs Übersetzen, Schwerpunkt Technik, einen mehrmonatigen Praktikumsaufenthalt am IISB absolvieren.

Zwar stehen am IISB naturgemäß Technologie und Forschung im Vordergrund, doch gerade vor dem Hintergrund der zunehmenden Internationalisierung steigen auch die Anforderungen an eine mehrsprachige Vermittlung der Inhalte von Forschungsprojekten, neuen Technologien und Verfahren. Bei der Abwicklung von EU-Projekten beispielsweise gibt es ein hohes Aufkommen an Texten, das mit einem erheblichen Arbeitsaufwand für die beteiligten Wissenschaftler verbunden ist - Zeit, die für die eigentlichen Kernaufgaben verloren geht.

Aus diesem Grund besteht bereits seit etwa 10 Jahren eine Kooperation des IISB mit dem Institut für Translation und Mehrsprachige Kommunikation (ITMK) der Fachhochschule Köln. Studierende des Studiengangs Übersetzen (Schwerpunkt Technik) bekommen dabei auf Vermittlung von Prof. Michael Grade, dem an der FH Köln für deutsch-englische Fachtextübersetzung zuständigen Dozenten, die Gelegenheit, am IISB in Erlangen ein mehrmonatiges Übersetzerpraktikum zu absolvieren, um Erfahrung für das Berufsleben zu sammeln. Auch wurde von mehreren Praktikanten die Möglichkeit genutzt, die Arbeit am IISB für die Diplomprüfung zu verwenden. Durch die mittlerweile erfolgte Einführung von Bachelor- und Master-Studiengängen an der FH Köln ergibt sich zukünftig die Möglichkeit, am IISB



Teilnehmer des Kick-off-Meetings von SEA-NET in Erlangen;
Participants of the kick-off meeting of the SEA-NET project in Erlangen.

Events

Integrated EU Project SEA-NET for the Evaluation of Equipment for Semiconductor Manufacturing Launched Successfully

On January 10 and 11, 2006, the kick-off meeting for the SEA-NET (Semiconductor Equipment Assessment for NanoElectronic Technologies) project which is funded by the European Commission and coordinated by IISB took place at the IISB. The objective of this project is to evaluate European leading-edge equipment for semiconductor manufacturing together with equipment manufacturers, semiconductor manufacturers, and research institutes. Thus, European equipment manufacturers have the opportunity of accelerating the development phase reaching from the innovative prototype to the final equipment ready for production obtaining a high throughput and high reliability and considering the demands of future users.

SEA-NET is one of three large integrated projects which could prove successfully within the 6th IST call for the 6th Framework Program. 27 partners (including a partner from Israel) participate in the SEA-NET project. The project participants comprise the major European semiconductor manufacturers such as Infineon, ST and Philips, 15 European equipment manufacturers as well as the major research organizations such as IMEC, LETI, and Fraunhofer. The project will run for 3 years and the budget will be more than 20 million Euros with a funding by the EU of more than 11 million Euros.

SEA-NET will follow the SEA (Semiconductor Equipment Assessment) initiative which already was launched by the European Union in 1996 the objective of which was to obtain a closer relation-

ship between European manufacturers of semiconductor manufacturing equipment and the world-wide users of this equipment, i.e. semiconductor manufacturers.

Within the SEA-NET project, semiconductor manufacturing equipment covering the fields of layer deposition, cleaning, etching, metrology and assembly are evaluated for the technology nodes of 65, 45, 32 and 22 nm and the ripening process can be accelerated until the products are ready for production. The major topics are, among others, new substrate materials, doping and doping control, dielectric insulation, gate structures, barrier layers and multilayers for interconnects.

Language Practise at the IISB - Cooperation with the Cologne University of Applied Sciences

The fruitful cooperation between the IISB and the Cologne University of Applied Sciences was established 10 years ago. Students of the course „Translation Studies“ (focus technology) are offered the chance to spend a few months of practical training at the IISB.

At the IISB, research and development are the focal areas - in the light of a growing internationalization, however, the translation of the topics of research projects, new technologies and methods into different languages has become more and more important. Transacting EU projects for instance implies the translation of a great amount of text with quite an effort - time which the scientists should actually spend on their real business.

For this reason, a cooperation of the IISB and the Institute for Translation and Multilingual Communication (ITMK) of the Cologne University of Applied Sciences (FH Köln) was established 10 years ago. Organizer of the program



Thomas Diehl, Sprachpraktikant am IISB im Jahr 2006;
Thomas Diehl, doing his internship at the IISB in 2006.

is Prof. Michael Grade, lecturer at the FH Köln for German-English translations. Students of the course „Translation Studies“ (focus technology) are offered the chance to spend a few months at the IISB in Erlangen in order to collect translation experiences for their future working life. Some students could already benefit using their practical training at the IISB for their diploma. In the future - through the introduction of bachelor and master courses of study at the FH Köln - there will be the chance to combine the curricular practical training at the IISB with the final exam.

Until Dr. Claus Schneider passed away in 2004, he was the advisor of the students at the IISB - after his death, Dr. Bernd Fischer took over the organization. The students' main activities include translating and proof-reading of technical texts and publications as well as PR material or correspondence in general. Due to the complex and specific field of activity, the practical training as a translator makes only sense when the students stay 4 to 6 months,

ein dann ohnehin vorgesehenes Praktikum mit der Abschlußprüfung zu verbinden.

Die Betreuung der Praktikanten am IISB erfolgte bis zu dessen Tod 2004 durch Dr. Claus Schneider und wurde seither von Dr. Bernd Fischer übernommen. Die Tätigkeiten der Praktikanten am IISB umfassen das Übersetzen und Korrekturlesen von zumeist technischen Fachtexten und Veröffentlichungen, aber auch von allgemeinem PR-Material oder Korrespondenz. Bedingt durch die Komplexität und die starke Fachbezogenheit des zu übersetzenden und/oder korrigierenden Materials verbieten sich Kurzpraktika, da schon die Einarbeitung in die Materie eine gewisse Zeit beansprucht. So beträgt die Dauer des Praktikums in der Regel 4 bis 6 Monate.

Erster Fraunhofer-Bessel-Preisträger forscht am IISB

Der erste Preisträger des von der Fraunhofer-Gesellschaft und der Alexander von Humboldt-Stiftung ausgelobten Fraunhofer-Bessel-Forschungspreises, Professor Wolfgang Windl, verbrachte im Rahmen dieser Auszeich-



Prof. Wolfgang Windl

nung einen Forschungsaufenthalt am IISB in Erlangen.

Mit Dr. Peter Pichler, Gruppenleiter für Dotierung in der Abteilung Technologiesimulation des IISB, arbeitet er bereits seit längerer Zeit zusammen. Gemeinsam werden sie Aspekte der Simulation von Halbleiterfertigungsprozessen untersuchen und in einem vom IISB koordinierten EU-Projekt anwenden. Ein zentraler Punkt hierbei sind quantenmechanische Methoden zur Berechnung der Bildung von Dotieratomkomplexen, die in der Halbleitertechnologie eine wichtige Rolle spielen. Prof. Windl hat diese Methoden als einer der Pioniere in diesem Bereich mitentwickelt.

2. FORNEL-Workshop

Am 15. März 2006 fand in Würzburg der zweite öffentliche Workshop des Bayerischen Forschungsverbundes für Nanoelektronik (FORNEL) statt.

IISB-Institutsleiter Prof. Ryssel als Sprecher von FORNEL und Gastgeber Prof. Alfred Forchel vom Lehrstuhl für Technische Physik der Universität Würzburg konnten den rund 50 Teilnehmern hochkarätige Vorträge und Redner sowohl aus dem Verbund als auch von internationalen Firmen und Forschungseinrichtungen präsentieren. So gab es unter anderem Gastredner von IBM Zürich und den Universitäten Genf, Pisa und Berkeley.

Ziel des Workshops ist es, die Aktivitäten von FORNEL der Öffentlichkeit zu präsentieren und durch Kombination der Verbundergebnisse mit externen Präsentationen die aktuellsten Entwicklungen der Nanoelektronik aufzuzeigen. Themen waren beispielsweise neuartige Transistorkonzepte, Nanostrukturierung, neue Materialien für dünnste Schichten sowie molekulare Bauelemente und Schaltungen.

Als besonderen Gast konnten die Organisatoren den neuen Präsidenten der Bayerischen Forschungsförderung, Prof. Joachim Heinzl, auf der Veranstaltung begrüßen.

Der nächste FORNEL-Workshop ist für das Frühjahr 2007 am IISB geplant.

Besuch von Studenten der Bayerischen Eliteakademie am IISB

Bereits zum dritten Mal war am 3. April 2006 das IISB unter den Gastgebern der Erlanger Techniktage der Bayerischen Eliteakademie. Die Techniktage bieten Studierenden der Eliteakademie mit nicht-technischen Studienfächern die Möglichkeit, eigene praktische Erfahrungen mit neuen Technologien zu sammeln. Am IISB sowie am Lehrstuhl für Elektronische Bauelemente der Universität Erlangen-Nürnberg erhielten die Studierenden anschauliche Einblicke in die Mikro- und Nanoelektronik.

Die 27 Teilnehmer hatten Gelegenheit, bis ins Innerste des Reinraumlabor, das vom IISB zusammen mit dem Lehrstuhl für Elektronische Bauelemente betrieben wird, vorzudringen. Um sich im sogenannten Weißbereich bewegen zu können, ohne die Herstellung der Bauelemente zu beeinträchtigen, mußten die Besucher dabei entsprechende Schutzmaßnahmen durchführen: Insbesondere das Einkleiden mit Schutzanzügen und Schutzhauben, um Partikel und Verunreinigungen von den sensiblen Schaltungen fernzuhalten, dürfte einen bleibenden Eindruck hinterlassen haben.

Als Abschiedsgeschenk erhielt jeder Teilnehmer eine fertig prozessierte Halbleiterscheibe mit dem Schriftzug der Erlanger Techniktage 2006.

as - from experience - the on-the-job-training affords quite some time.

The first Fraunhofer-Bessel Laureate Doing Research at the IISB

Professor Wolfgang Windl, the first laureate of the Fraunhofer-Bessel Research Award - offered by the Fraunhofer Company and the Alexander von Humboldt Foundation - is doing research in the framework of this prize at the IISB in Erlangen.

For a long period of time, Prof. Windl has been collaborating with Dr. Peter Pichler, the group manager of doping of the department of Technology Simulation at the IISB. Together they analyze aspects of the simulation of semiconductor manufacturing processes and apply them in a EU-funded project coordinated by the IISB. A main focus is the application of quantum-mechanical methods for the calculation of the formation of dopant complexes which play a prominent role in semiconductor technology. Prof. Windl is one of the pioneers in the development of these methods.

2nd FORNEL Workshop

On March 15, 2006 the second public workshop of the Bayerischer Forschungsverbund für Nanoelektronik (Bavarian Research Cooperation for Nanoelectronics / FORNEL) took place in Wuerzburg.

Prof. Heiner Ryssel, director of the IISB and chairman of FORNEL, together with the host of the workshop, Prof. Alfred Forchel, chair of Applied Physics of Wuerzburg University, presented a number of renowned specialists and high-class speakers from the FORNEL cooperation as well as from international companies and research institutes to around 50 participants. Among them were guest speakers from IBM Zürich



Die Studierenden der Eliteakademie im Weißbereich des Reinraums;
Students of the Elite Academy in the white area of the cleanroom.

and Geneva, Pisa, and Berkeley University.

The intention of the workshop is not only to present the activities of FORNEL, but to also highlight new developments in nanoelectronics - on the basis of new research results combined with external presentations - to the public. Some topics for example were innovative transistor concepts, nanostructuring, novel materials for ultra-thin layers as well as molecular devices and circuits.

As a special guest, the organizers could welcome Prof. Joachim Heinzl - new president of the Bavarian Research Foundation - to the workshop in Wuerzburg. The next FORNEL-Workshop is planned to be held at the Fraunhofer IISB in spring 2007.

Students of the Bavarian Elite Academy Visiting the IISB

On April 3, 2006, the IISB was among the hosts of the "Erlanger Techniktage" of the Bavarian Elite Academy for the

third time already. The "Erlanger Techniktage" offer students of the Elite Academy with non-technical subjects the opportunity of gaining their own practical experience of new technologies. At the IISB and at the Chair of Electron Devices of the University of Erlangen-Nuremberg, the students could get an insight in microelectronics and nanoelectronics.

27 participants had the opportunity of getting into the heart of the cleanroom laboratory which is operated by both IISB and the Chair of Electron Devices. To be allowed to walk around in the so-called white area without affecting the manufacturing of components, the visitors had to take corresponding protective measures. The students were particularly impressed by wearing protective suits and bonnets in order to keep away particles and contamination from the sensitive circuits.

As a farewell gift, each participant was given a completely processed semiconductor wafer with the logo of the

Das IISB beim Girls' Day 2006

Im Rahmen des bundesweiten Girls' Day am 27. April 2006 konnten sich Schülerinnen am IISB über die Berufsmöglichkeiten und die wissenschaftlichen Aspekte der Mikro- und Nanoelektronik informieren. Die Teilnehmerinnen bewegten sich dabei einen Tag lang in der Welt von Kristallen, Halbleitern und Transistoren.

Nach einer Einführung über die Entstehung von Chips wurde anhand von Exponaten die Produktionskette von Halbleiterkristallen über Halbleiterscheiben und Chips bis hin zu kompletten mikroelektronischen Systemen erläutert. So gerüstet durften die Schülerinnen selbst Laborversuche durchführen. In der Abteilung Kristallzüchtung konnte unter dem Mikroskop und im Becherglas live das Wachstum von Kristallen beobachtet werden. Ein Höhepunkt war sicher der Besuch im Innersten des Reinraums, wo unter strengsten Anforderungen an Sauberkeit und mit beeindruckender Infrastruktur mikroelektronische Bauelemente und Schaltungen entwickelt und hergestellt werden.

In diesem Jahr wurde am IISB auch ein Beitrag für die heute-Hauptsendung des ZDF (19 Uhr) am 27. April 2006 aufgenommen, in dem über den bundesweiten Girls' Day berichtet wurde und exemplarisch dessen Durchführung am IISB dargestellt wurde.

Bauelemente-Fachtreffen der Siemens Medical Solutions am IISB

Am 29. März 2006 trafen sich die Mitglieder des Fachteams "Siemens Bereichsüberschreitende Bauelemente-Fachtreffen" im Rahmen ihres halbjährlichen Informationsaustauschs, um sich über die Zukunft der Mikroelektronik zu informieren.

Die wesentlichen Ziele der halbjährlich stattfindenden "Siemens Bereichsüberschreitende Bauelemente-Fachtreffen" sind:

- Gemeinsamer bereichsüberschreitender Erfahrungsaustausch
- Ausarbeitung und Entscheidung gemeinsamer Projekte (z. B. Auswahl und Qualifikation neuer Produkte und Technologien auf Weltmarktebene, bereichsüberschreitende Info-Datenbank, Joined-Qualification-Maßnahmen, bereichsüberschreitende Diskussion fertigungstechnologischer Aspekte, usw.)

Die Teilnehmer sind die Vertreter (in der Regel die Leitung der Bauelementestelle) aus den wichtigsten Siemens-Standorten in Deutschland, der Schweiz und Österreich.

IISB betreut erfolgreich Technikwettbewerbe für Schüler

Dem Nachwuchs die Bedeutung der Technik für unser Leben und unseren wirtschaftlichen Erfolg deutlich zu machen, ist ein großes Anliegen des IISB. Dies muß schon vor der Wahl der Studienrichtung beginnen. Daher verfolgt das IISB umfangreiche Aktivitäten in der Betreuung von Schülerprojekten.

Ein Beispiel ist die Initiative "Vision-Ing21" des in Erlangen ansässigen Förderkreises Ingenieurstudium e.V., einem Zusammenschluß von Firmen, Hochschulen, Forschungseinrichtungen und Verbänden. Bei diesem Wettbewerb entwickeln Jugendliche in einem Team ihre eigenen technischen Ideen, die sie dann auch umsetzen. Für das Dietrich-Bonhoeffer-Gymnasium in Oberasbach und das Erlanger Albert-Schweitzer-Gymnasium übernahm Dr. Martin März, Leiter der Abteilung Leistungselektronische Systeme des IISB die tech-



Präsentation des Projekts "Solarflugzeug" durch die Schüler des Dietrich-Bonhoeffer-Gymnasiums, Oberasbach;
Presentation of the "Solar Plane" project by pupils of the "Dietrich-Bonhoeffer-Gymnasium" from Oberasbach.

"Erlanger Techniktage 2006".

Girls' Day 2006 at IISB

In the framework of the nationwide Girls' Day Campaign, female secondary school students were invited to the Fraunhofer IISB on April 27, 2006 to learn about the professional careers as well as the scientific aspects of micro- and nanoelectronics. The attendees spent a whole day in the world of crystals, semiconductors and transistors.

After an introduction on the development of chips, the chain of production was exemplified by samples - from semiconductor crystals to wafers and chips up to entire microelectronic systems. On the basis of this background information, the female students were invited to carry out experiments by themselves. In the department of Crystal Growth, they could observe the growth of crystals under the microscope and in the tumbler in real time. One highlight was definitely the guided cleanroom tour, where under strict cleanliness requirements and with an imposing infrastructure the development and production of microelectronic devices and circuits is allowed.

At the IISB, a film clip was made this year for the "heute"-News of the Second Channel of German Television Broadcasting (ZDF) on April 27, 2006 reporting on the nationwide Girls' Day by example of the IISB.

Interdisciplinary Specialist Meeting for Devices of Siemens Medical Solutions at the IISB

On March 29th 2006, the members of the expert team "*Siemens Bereichs-überschreitende Bauelemente-Fachtreffen*" (Siemens Interdisciplinary Specialist Meeting for Devices) met at the IISB within the framework of their semi-annual exchange of information in or-

der to keep themselves informed about the future of microelectronics.

The fundamental objectives of those semi-annual specialist meetings are the following:

- common interdisciplinary exchange of experiences
- elaboration and decision of joint projects (e.g. selection and qualification of new products and technology on the worldwide market, interdisciplinary database of information, joint qualification measures, interdisciplinary discussion of the production-related aspects of manufacturing etc.).

The participants are representatives from major Siemens sites of Germany, Switzerland and Austria (normally the heads of the component departments).

IISB Successfully Attends to Technical Competitions for Pupils

It is a major objective of the IISB to explain the significance of technology for our lives and for our economic success to the young generation. This information has to take place, before the pupils choose their subjects of study. Therefore, the IISB takes extensive efforts to attend to pupils' projects.

An example is the "Vision-Ing21" initiative of the "Förderkreis Ingenieurstudium e.V." which is located in Erlangen and which comprises companies, universities, research institutes and associations. In this competition, young people develop and realize their own technical ideas within a team. For two schools, the "Dietrich-Bonhoeffer-Gymnasium" in Oberasbach and the "Albert-Schweitzer-Gymnasium" in Erlangen, Dr. Martin März (head of the department of Power Electronic Systems at the IISB) took over the technical supervision of three different projects on

the topics "Solar Plane", "Night Vision Equipment" and "Noise Level Meter".

Another story of success is the supervision of the project "Hybrid Cars – Mobility of the Future" for the "Maximilian-von-Montgelas-Gymnasium" in Vilsbiburg by the IISB within the framework of the school competition 2006 launched by the FOCUS magazine.

Space Experiment with Participation of the IISB

On May 2, 2006, the uncrewed high-altitude research rocket MAXUS 7 was launched successfully from the launching station Esrange near Kiruna in Northern Sweden. During its mission of approximately 13 minutes, it transported, among others, an experiment of the Space Simulation Institute of the



Weltraumexperiment mit Beteiligung des IISB;
Space experiment with participation of the IISB.

nische Betreuung von gleich drei Projekten zu den Themen „Solarflugzeug“, „Nachtsichtgerät“ und „Lärmampel“. Eine weitere Erfolgsgeschichte ist die Betreuung des Projekts „Das Hybridauto – Mobilität der Zukunft“ für das Maximilian-von-Montgelas-Gymnasium in Vilsbiburg durch das IISB im Rahmen des FOCUS-Schülerwettbewerbs 2006.

Weltraumexperiment mit Beteiligung des IISB

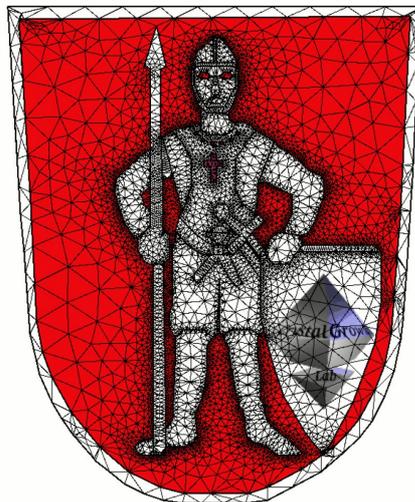
Am 2. Mai 2006 wurde die unbemannte Höhenforschungsrakete MAXUS 7 vom Startplatz Esrange in der Nähe von Kiruna, Nordschweden, erfolgreich gestartet. Auf ihrem gut 13 minütigen Flug trug sie unter anderem ein Experiment des Instituts für Raumsimulation der DLR in Köln mit sich, an dessen Entwicklung die Abteilung Kristallzüchtung des IISB beteiligt war. Das Bild zeigt den Start der Rakete (Quelle: Swedish Space Corporation).

Tagung zur Kristallzüchtungs-Simulation rundum erfolgreich - IISB Mitorganisator der internationalen Konferenz IWMCG-5

Vom 10. bis 14. September 2006 fand im Kongreßzentrum in Bamberg der „5th International Workshop on Modeling in Crystal Growth“ (IWMCG-5) mit mehr als 150 Fachleuten für die Simulation von Kristallzüchtungs- und Kristallwachstumsprozessen statt. Der IWMCG-5 wurde von der Abteilung Kristallzüchtung des IISB und dem Lehrstuhl für Werkstoffe der Elektrotechnik der Universität Erlangen-Nürnberg unter der Schirmherrschaft der Deutschen Gesellschaft für Kristallzüchtung und Kristallwachstum (DGKK) organisiert.

Für diesen Workshop, der der weltweit größte seiner Art ist, hatten die Organisatoren, Prof. Dr. Dr. h.c. Georg Müller von der Universität Erlangen-Nürnberg und Dr. Jochen Friedrich vom IISB, ein

anspruchsvolles Tagungsprogramm entworfen. In etwa 100 Vorträgen und Posterpräsentationen stellten Experten aus Industrie und Forschung neueste Ergebnisse auf dem Gebiet der Modellierung von Kristallzüchtungsprozessen vor. Trotz des umfangreichen wissenschaftlichen Programms blieb den Tagungsteilnehmern auch etwas Zeit, die Schönheit Bambergs kennenzulernen. Den Abschluß der Tagung bildete eine Exkursion von etwa 40 Teilnehmern ans IISB und an die Universität Erlangen-Nürnberg.



IWMCG-5

Das Bamberger Stadtwappen, das mit dem vom IISB entwickelten Programm CrysVUn vernetzt wurde, diente als Logo von IWMCG-5; Bamberg City Arms, webbed by the CrysVUn program - developed by the IISB - provided the IWMCG-5 logo.

Der fränkische Motor - Hybridtechnologie des IISB auf der Landesausstellung 2006

Eine am IISB entwickelte neuartige elektrische Antriebseinheit für Hybridfahrzeuge wird als zukunftsstechnologisches Highlight aus Franken auf der Bayerischen Landesausstellung 2006 gezeigt, die unter dem Motto „200 Jahre Franken in Bayern“ steht.

In der Zwickmühle zwischen Reduktion von Kraftstoffverbrauch und Schadstoffausstoß einerseits und Fahrspaß, Komfort, Sicherheit und Preisdruck andererseits setzt die Automobilindustrie auf sogenannte Hybridantriebe, also die Kombination von herkömmlichem Verbrennungsmotor und einem Elektromotor. Allerdings benötigt die Leistungselektronik für ein solches Auto bisher noch viel zusätzlichen Platz unter der Motorhaube, was den Einsatz in auf dem Markt befindlichen Serienfahrzeugen erschwert. Fazit: Die Elektronik muß kleiner werden.

Genau das ist das Ziel der Forscher am IISB und dessen Zentrum für Kfz-Leistungselektronik und Mechatronik (ZKLM) in Nürnberg. Die Ingenieure entwickeln extrem platzsparende elektronische Systeme und integrieren sie direkt dort, wo sie in der Anwendung benötigt werden, bei einem Hybridauto also in den Antriebsstrang. So ist es den Forschern weltweit erstmals gelungen, mit einer ringförmigen Elektronik einen 50-kW-Elektromotor einschließlich der gesamten erforderlichen Elektronik bauraumneutral in der Kupplungsglocke eines Pkw zu verstauen. Der Hybridmotor war auch Ausstellungsstück auf der *Hightech-Kärwa* am 7. Juli 2006 am IGZ in Erlangen.

Praktikum Mädchen + Technik 2006

Zum wiederholten Mal haben sich vom 4. bis 8. September 2006 das IISB und der Lehrstuhl für Elektronische Bauelemente (LEB) der Universität Erlangen-Nürnberg am technisch-naturwissenschaftlichen Schnupperpraktikum der Universität und der Erlanger Fraunhofer-Institute für Schülerinnen der 8. bis 11. Jahrgangsstufe beteiligt.

Insgesamt informierten sich am IISB und am LEB mehr als 60 Mädchen über die vielfältigen Möglichkeiten und die interessanten Aufgabengebiete technischer und naturwissenschaftlicher Berufe im

DLR in Cologne in the development of which the department of Interdisciplinary Crystal Growth of the IISB took part. The photo shows the launch of the rocket (source: Swedish Space Corporation).

Symposium of Crystal Growth Simulation - all in all a Great Success - IISB Co-organizer of the International Conference IWMCG-5

In the Bamberg Congress Center on September 10 to 14, 2006, the "5th International Workshop on Modeling in Crystal Growth" (IWMCG-5) took place with more than 150 experts in simulation of crystal growth. The IWMCG-5 was organized by the department of Crystal Growth of the IISB and the Chair of Materials for Electrical Engineering of the University Erlangen-Nuremberg under the auspices of the German Society of Crystal Growth (DGKK).

For this workshop, the largest of its kind worldwide, the organizers - Prof. Dr. Dr. h.c. Georg Müller of the University Erlangen-Nuremberg and Dr. Jochen Friedrich of the IISB - arranged a challenging program. In about 100 presentations and posters, specialists from industry and research presented their latest results in the field of modeling of crystal growth processes. Despite the versatile scientific program, there was still some time left to make a tour around the beautiful Bamberg. The symposium ended with an excursion of nearly 40 participants to the IISB and the University of Erlangen-Nuremberg.

The Franconian Motor - Hybrid Technology Made by the IISB at the Regional Exhibition 2006

A novel electrical drive unit for hybrid vehicles developed at the IISB was presented as a future technology highlight from Franconia at the Bavarian Regional



Der Hybridmotor des IISB auf der Landesausstellung;
Hybrid motor developed by IISB at the Regional Exhibition.

Exhibition 2006 which is entitled "200 Years of Franconia in Bavaria".

In order to satisfy the requirements of reduced fuel consumption and reduced pollutant emissions on the one hand and of driving pleasure, comfort, safety and pricing pressure on the other hand, the automotive industry favors so-called hybrid drives, i.e. the combination of a conventional internal combustion engine and an electric motor. For such a vehicle, however, power electronics still require very much additional space under the motor hood which aggravates the use of such motors in serial vehicles available on the market. Conclusion: The electronic unit must be reduced in size.

This is exactly the objective of the researchers at the IISB and of the "Zentrum für Kfz-Leistungselektronik und Mechatronik" (ZKLM) in Nuremberg. The engineers develop extremely space-saving electronic systems and integrate them directly where they are required, i.e. for hybrid cars they are integrated directly into the power train.

Thus, for the first time ever world-wide, the researchers succeeded in packing a 50 kW electric motor including the entire electronic system required with a ring-shaped electronic unit into the transmission bell housing of a passenger car. The hybrid motor was presented at the "Hightech-Kärwa" (Hightech Exhibition) on July 7, 2006 at the IGZ in Erlangen.

Internship "Girls + Technics 2006"

Once again, the IISB and the Chair of Electron Devices (LEB) of the University of Erlangen-Nuremberg participated in the technical and scientific introductory internship offered for girls of the classes 8 to 11 by the University of Erlangen-Nuremberg and the Fraunhofer institutes of Erlangen on September 4 to 8, 2006.

At the IISB and LEB, more than 60 girls wanted to get information on the manifold possibilities and the interesting tasks of technical and scientific careers in the field of microelectronics. The subjects of the experiments were

Bereich der Mikroelektronik. Die Themen der Versuche waren dabei „Reinraumführung – Wie sauber ist „reinst“?“, „Berührungslose Temperaturmessung mit der Wärmebildkamera“, „Rechnen mit Elektronen – Der MOS-Transistor“ und „Untersuchung von Solarzellen“.

Elektronik vom Allerkleinsten als Sommervergnügen - Wissenschaftssommer 2006 in München

Der Bayerische Forschungsverbund für Nanoelektronik (FORNEL) präsentierte sich vom 15. bis 21. Juli auf dem Wissenschaftssommer 2006 von *Wissenschaft im Dialog* in München der Öffentlichkeit.

Seit Mitte 2004 untersuchen die Partner von FORNEL, bayerische Forschungseinrichtungen und Industriefirmen, aktuellste Fragestellungen der Nanoelektronik. Sprecher des Verbundes ist Prof. Heiner Rysse, Leiter des IISB. Auch die Ge-

schäftsführung des Verbundes befindet sich am IISB in Erlangen. Der Auftritt von FORNEL war Teil des Gemeinschaftsstandes der Arbeitsgemeinschaft der Bayerischen Forschungsverbände (abayfor) im beeindruckenden Saal des Alten Rathauses am Marienplatz. Zeitgleich traf sich in München ein internationales Wissenschaftspublikum zum EuroScience Open Forum (ESOF). Entsprechend bunt gemischt waren die Besucher – vom interessierten Rentner oder Familien mit Kindern bis hin zu jungen Wissenschaftlern aus Spanien oder Rußland. Ehrengast zum Auftakt war die Bundesministerin für Bildung und Forschung, Dr. Annette Schavan, die sich auf einem Rundgang über die Vielfalt der Forschungsaktivitäten informierte.

Bundes- und Landtagsabgeordnete zu Besuch am THM

Am 25. Juli 2006 besuchten MdB Marko Mühlstein sowie MdL Dr. Simone Raatz das im Februar 2005 gegründete

Technologiezentrum Halbleitermaterialien (THM) im sächsischen Freiberg. Das THM ist eine gemeinsame Einrichtung der Fraunhofer-Institute für Integrierte Systeme und Bauelementetechnologie (IISB), Erlangen und für Solare Energiesysteme (ISE), Freiburg.

Dr. Jochen Friedrich vom THM stellte die Aktivitäten des THM vor. Er wies auf die erfolgreiche Zusammenarbeit der beiden Fraunhofer-Mutterinstitute IISB und ISE mit den Freiburger Halbleiterfirmen in der Vergangenheit hin. Um die wissenschaftlichen Partnerschaften vor Ort zu stärken, bestand die Notwendigkeit, die gemeinsame Einrichtung der beiden Fraunhofer-Institute in unmittelbarer Nähe zur ansässigen Halbleiterindustrie anzusiedeln.

MdB Marko Mühlstein, Mitglied im Ausschuß für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit sowie in der Querschnittsgruppe Energie der SPD-Bundestagsfraktion sieht in dem Hightech-Cluster, bestehend aus Industrie, THM und TU Bergakademie Freiberg, und den daraus resultierenden Synergieeffekten ein enormes Potenzial für eine weitere Stärkung des Wirtschaftsstandortes in Freiberg. MdL Dr. Simone Raatz, sächsische SPD-Landtagsabgeordnete und u.a. Sprecherin für Forschung, Hochschule, Verkehr und Tourismus hob die große Bedeutung einer starken Forschungslandschaft für die Nachhaltigkeit des Halbleiterzentrums Freiberg hervor. Eine ergänzende Anschubfinanzierung des THM durch sächsische Mittel neben den laufenden FuE-Aufträgen sieht Frau Dr. Raatz als wichtigen Meilenstein für den weiteren Aufbau des THM, dessen Mitarbeiterzahl von heute 6 Mitarbeitern in den nächsten Jahren stark ausgebaut werden soll. Zur Erreichung dieser Ziele wollen beide Politiker das THM im Rahmen ihrer Möglichkeiten unterstützen.



Praktikum Mädchen + Technik 2006;
Internship "Girls + Technics 2006".



Das Tunnelmodell von FORNEL fand auch beim jüngeren Publikum Anklang;
The tunneling model by FORNEL was also an attraction for the youngsters.

lies with children up to young scientists from Spain or Russia. Guest of honor at the opening was the Federal Minister of Education and Research, Dr. Annette Schavan, who learned about the variety of the research activities on a round tour.

Members of the Bundestag and of the Landtag Visiting the THM

On July 25, 2006, the member of the Bundestag (MdB) Mr. Marko Mühlstein and the member of the Landtag (MdL) Dr. Simone Raatz visited the "Technologiezentrum Halbleitermaterialien THM" (Technology Center for Semiconductor Materials) which was founded in February 2005 in the Saxonian city of Freiberg. The THM is a joint facility of the Fraunhofer Institute of Integrated Systems and Device Technology (IISB) in Erlangen and the Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems (ISE) in Freiburg.

Dr. Jochen Friedrich of the THM presented the activities of the THM. He underlined the successful co-operation

"Cleanroom – how clean is ultra-clean?", "Non-contact temperature measurement using a thermal imaging camera", "Calculating with electrons – the MOS transistor" and "Examination of solar cells".

(aboyfor) in the impressive Old Townhall at Marienplatz. At the same time, an international scientific audience met in Munich for the EuroScience Open Forum (ESOF). Accordingly, there was a wide range of visitors - from the inquiring old-age pensioner and fami-

Electronics at the Nanoscale - a Summer Attraction - Summer of Science 2006 in Munich

From July 15 to 21, the Bavarian Research Cooperation for Nanoelectronics (FORNEL) presented itself to the general public at the Summer of Science 2006 of "Wissenschaft im Dialog" in Munich. Since mid-2004, the partners of FORNEL - Bavarian research institutes and industrial partners - have been analyzing important topics related to nanoelectronics. Chairman of the cooperation is Prof. Heiner Ryssel, director of the IISB. The management of the cooperation is also executed by the IISB in Erlangen.

The performance by FORNEL was part of the joint stand of the Consortium of Bavarian Research Cooperations



Teilnehmer des Informationsgesprächs am THM in Freiberg (von links): Dr. Thomas Lindner (Leiter des GIZEF in Freiberg), Manfred Richter (ehemaliger Werksleiter der Siltronic in Freiberg), Dr. Simone Raatz, Marko Mühlstein, Dr. Jochen Friedrich;
Participants of the exchange of information at the THM in Freiberg (from left to right): Dr. Thomas Lindner (head of the GIZEF in Freiberg), Manfred Richter (former plant manager of Siltronic in Freiberg), Dr. Simone Raatz, Marko Mühlstein, Dr. Jochen Friedrich.

Simulation von Prozessen, Bauelementen und Schaltungen - Jahrestagung 2006 des IISB, ausgerichtet von der Abteilung Technologiesimulation

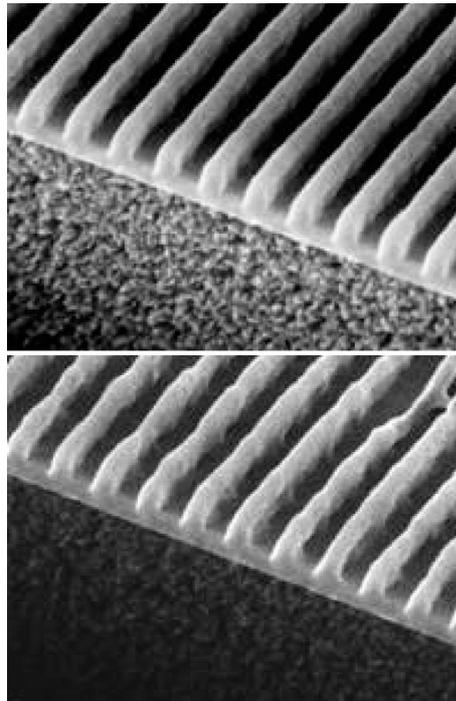
Zur 8. Jahrestagung des IISB trafen sich am 12. Oktober 2006 am IISB in Erlangen rund 70 Experten aus Forschung und Industrie, um neueste Entwicklungen im Bereich der Simulation von Halbleiterprozessen, Bauelementen und Schaltungen zu diskutieren. Im Rahmen der Veranstaltung wurde auch der diesjährige Innovationspreis Mikroelektronik durch den Vorsitzenden des Förderkreises für die Mikroelektronik Dr. Dietrich Ernst verliehen.

Die diesjährige Jahrestagung wurde von der Abteilung Technologiesimulation durchgeführt und bot einen Überblick über das breite Spektrum der Aktivitäten der Abteilung, das von der Entwicklung physikalischer und chemischer Modelle für Halbleiterprozesse bis hin zur Anwendungsunterstützung, z.B. durch die Durchführung von Prozeß- oder Bauelemente-Simulationsstudien, reicht. Das Angebot des IISB umfaßt dabei unter anderem die Modellierung praktisch aller bei der Halbleiterprozessierung auftretenden Schritte.

Vierter IISB-Lithographie-Simulations-Workshop

Mittlerweile als Veranstaltung fest etabliert, fand der vierte IISB-Lithographie-Simulations-Workshop dieses Jahr vom 29. September bis 1. Oktober bei Hersbruck in der Fränkischen Schweiz statt. Wie in den Vorjahren setzte sich der internationale Teilnehmer- und Referentenkreis aus Vertretern von Universitäten, Forschungseinrichtungen und der Industrie zusammen.

Ein Schwerpunktthema des diesjährigen Workshops waren Vorträge und Diskussionen über neue Methoden und Resultate der rigorosen elektromagnetischen Feldsimulation. Ein weiterer Themenbereich war der Optimierung von Lithographieprozessen gewidmet.



55-nm-Photoresiststrukturen, hergestellt mit polarisierter (oben) und unpolarisierter (unten) Belichtung bei Defokus (Quelle: ASML); 55 nm resist patterns, generated with polarized (top) and unpolarized (bottom) exposure with defocus (source: ASML).

Zusätzlich wurden aktuelle Forschungsergebnisse über die Simulation alternativer Strukturierungstechniken - Elektronenstrahl-, Nahfeld- und Nanoimprint-Lithographie - vorgestellt.

Europäisches Patentamt besucht IISB

Mitarbeiter des Europäischen Patentamts in München haben sich im Rahmen einer Exkursion über die Aktivitäten des IISB in Erlangen informiert.

Regelmäßige Information über aktuelle Forschungsaktivitäten und führende Forschungseinrichtungen sind wichtiger Bestandteil der Arbeit des Europäischen Patentamts in München. Mitarbeiter des Direktorats für Halbleiterprozeßtechnologie haben eine Exkursion ans IISB nach Erlangen am 26. September 2006 dazu genutzt, bei einer Labor- und Reinraumführung einen Überblick über die Kompetenzen des Instituts und

brennende Fragestellungen der Nanoelektronik sowie der Leistungselektronik zu gewinnen.

Nanoelektronik-Experte des IISB erhält Professur in Freiberg

Priv.-Doz. Dr. Lothar Frey, langjähriger Mitarbeiter am IISB sowie am Lehrstuhl für Elektronische Bauelemente (LEB) der Universität Erlangen-Nürnberg, hat einen Ruf der TU Bergakademie Freiberg (Sachsen) auf eine W3-Professur für Angewandte Physik-Halbleitermaterialien angenommen.

Dr. Frey ist Experte für die Halbleitertechnologie der Mikro- und Nanoelektronik mit Schwerpunkten in den Bereichen neue Materialien, Schichtabscheidung, Ionenimplantation sowie Charakterisierung und Analytik. Am LEB war Dr. Frey als Leiter des Reinraumlabor und am IISB in Nebentätigkeit als Leiter der Abteilung „Technologie“ tätig. Seit September 2005 war er für eine Forschungstätigkeit beim Halbleiterspeicherhersteller Qimonda AG in Dresden bei der Universität beurlaubt. Sein Thema dort war die Vorfeldentwicklung zu neuen Materialien für zukünftige Transistoren, speziell die Untersuchung von Dielektrika mit hoher Dielektrizitätskonstante und sogenannter metallischer Gateelektroden.

Am 1. November 2006 trat Dr. Frey seine Professur bei der Bergakademie Freiberg an. Hier wird ein neues Reinraumlabor entstehen, das sich speziell mit dem Themenbereich „Neue Materialien für Halbleiterbauelemente“ beschäftigen wird, und für dessen Aufbau Dr. Frey verantwortlich zeichnet.

Hochrangig besetzte Runde diskutiert am IISB Zukunft von Produktionstechniken und Fertigungsgeräten in Deutschland und Europa

Am 23. November 2006 fand am IISB in Erlangen eine Diskussionssitzung des Fachausschusses „Produktionstechniken und Fertigungsgeräte“ der GMM

of the two Fraunhofer institutes IISB and ISE with the semiconductor companies from Freiberg in the past. In order to strengthen the scientific partnership on site, it was necessary to locate the joint facility of the two Fraunhofer institutes in direct vicinity to the resident semiconductor industry.

MdB Marko Mühlstein, member of the committee for environment, nature conservation and reactor safety and of the interdisciplinary group "Energy" of the SPD group in the Bundestag, considers the hightech cluster consisting of industry, THM and the "TU Bergakademie Freiberg" and the resulting synergy effects to have an enormous potential for further strengthening the economic site of Freiberg. MdL Dr. Simone Raatz, Saxonian SPD member of the Landtag and, among others, spokesperson for research, university, traffic and tourism, emphasized the enormous significance of a strong research infrastructure for the sustainability of the semiconductor center of Freiberg. Dr. Raatz considers an additional start-up financing of the THM by means of Saxonian funds besides the running R&D contracts to be an important milestone for the further development of the THM the staff of which will be increased significantly from today 6 employees during the next years. In order to reach these objectives, both politicians would like to support the THM within the realms of possibility.

Simulation of Processes, Devices and Circuits - Annual Meeting 2006 of the IISB Organized by the Department of Technology Simulation

On October 12, 2006, approximately 70 experts from research and industry met at the IISB in Erlangen for the 8th Annual Meeting of the IISB to discuss the latest developments in the field of simulation of semiconductor processes,

devices, and circuits. Within the framework of this event, this year's Innovation Prize for Microelectronics has been awarded by the chairman of the "Förderkreis für die Mikroelektronik", Dr. Dietrich Ernst.

This year's Annual Meeting has been organized by the department of Technology Simulation and offered an overview of the large range of the department's activities including the development of physical and chemical models for semiconductor processes as well as application support, e.g. by performing process or device simulation studies. Among others, the IISB offers the modeling of almost all steps occurring during semiconductor processing.

4th IISB Lithography Simulation Workshop

Meanwhile a mainstream event, the 4th IISB Lithography Simulation Workshop took place between September 29 and October 1, 2006 near Hersbruck in the Franconian Swiss this year. Like in the year before, the international participants and contributors consisted of representatives of universities, research institutes, and industry.

Main topics of the workshop this year were presentations and discussions about innovative methods and results of rigorous electromagnetic field simulation. Another focus was the optimization of lithography processes.

In addition, there were also presentations about the latest results of research in the field of simulation of alternative patterning techniques: e-beam, near-field and nanoimprint lithography.

European Patent Office at the IISB

On an excursion, members of the European Patent Office in Munich learned about the activities at the IISB in Erlan-

gen.

Continuous information about the ongoing activities of the leading research institutes is an important issue of the work of the European Patent Office in Munich. On an excursion on September 26, 2006 members of the directorate of Semiconductor Process Technology took part in a guided laboratory and cleanroom tour at the IISB in Erlangen. They could get a general idea about the competence of the institute as well as challenging research objectives in the field of nanoelectronics and power electronics.

IISB Expert for Nanoelectronics is Offered a Chair in Freiberg

Priv.-Doz. Dr. Lothar Frey, a longstanding employee of the IISB as well as of the Chair of Electron Devices (LEB) of the University of Erlangen-Nuremberg, has been accepted a W3 chair for Applied Physics – Semiconductor Materials at the TU Bergakademie Freiberg (Saxonia).

Dr. Frey is an expert for semiconductor technology of microelectronics and nanoelectronics. His work focuses on new materials, layer deposition, ion implantation as well as on characterization and analytics. At the LEB, Dr. Frey was the head of the cleanroom laboratory and at the IISB, he additionally was in charge of the department of Technology. Since September 2005, he took a sabbatical from the University for research activities at the semiconductor memory manufacturer Qimonda AG in Dresden. There, his main subject of research was the pre-development of new materials for future transistors especially for examining dielectrics with high dielectric permittivity and so-called metallic gate electrodes.

On November 1, 2006, Dr. Frey started his work as a professor at the TU Berg-

(VDE/VDI-Gesellschaft für Mikroelektronik, Mikro- und Feinwerktechnik) statt.

Institutsleiter Prof. Ryssel als Vorsitzender des GMM-Fachbereichs „Mikro- und Nanoelektronik“ und der Leiter des versammelten Fachausschusses Prof. Pfitzner konnten rund 35 hochrangige Vertreter insbesondere der heimischen Halbleiterbranche begrüßen. Dabei waren die „großen“ Halbleiterhersteller AMD, Infineon und Qimonda ebenso vertreten wie die „kleineren“ Produzenten Elmos, Renesas und ZMD, sowie europäische Zulieferer wie Aixtron, ASML, Aviza, Centrotherm, Ion-Tof, Rena, SEZ, Singulus oder TePla.

Der Schwerpunkt der Veranstaltung lag auf der Diskussion zukünftiger F&E-Schwerpunkte und deren Fördermöglichkeiten und -mechanismen für diesen Industriezweig. Auf besonderes Interesse der Teilnehmer stießen daher die Vorträge von Dr. Uwe Weigmann vom Projektträger des BMBF und Dr. Georg Kelm als Vertreter der Europäischen Kommission, welche die Förderstrategien auf nationaler sowie auf europäischer Ebene darstellten.

Auszeichnungen und Preise

Forschungspreis der DGKK an Mitarbeiter des IISB



Der Preisträger im Labor;
The prize winner in the laboratory.

Herr Dipl.-Ing. Stephan Hussy, Mitarbeiter der Abteilung Kristallzüchtung des IISB, wurde mit dem Forschungspreis der Deutschen Gesellschaft für Kristallwachstum und Kristallzüchtung e.V. (DGKK) ausgezeichnet. Herr Hussy erhielt den Preis für seine Beiträge zur Entwicklung der LPSG-Technik (Low-Pressure Solution Growth) zur Herstellung von defektarmen GaN-Templates.

Die Verfügbarkeit von defektarmen GaN-Substraten ist Voraussetzung, um z.B. darauf blaue Laserdioden mit ausreichenden Lebensdauern herstellen zu können. Deshalb werden weltweit große Anstrengungen unternommen, um eine industriell einsetzbare Technologie zur Herstellung von GaN-Substraten zu entwickeln. Mehrere Forschergruppen treiben das so genannte HVPE-Verfahren (Hydride Vapor Phase Epitaxy) voran. Bei der HVPE-Methode reagiert gasförmiges Galliumchlorid bei Temperaturen zwischen 1000 und 1100 °C in der Nähe eines GaN-Keims mit einströmendem Ammoniak unter Freisetzung von Chlorwasserstoff zu GaN.

Die Forscher vom IISB setzen im Rahmen eines vom BMBF geförderten Vorhabens dagegen auf ein anderes Verfahren, das sogenannte LPSG-Verfahren (Low-Pressure Solution Growth). Bei der Erlanger Technologie wird unter Umgebungsdruck Stickstoff, der beispielsweise aus der Gasphase in Form von Ammoniak angeboten wird, in einer zwischen 800 und 1000 °C heißen galliumhaltigen Schmelze gelöst und kontrolliert zu GaN auskristallisiert.

Herr Hussy ist innerhalb des GaN-Teams am IISB verantwortlich für die Prozeßentwicklung. Durch seine systematischen Untersuchungen zum Einfluß der Gaszusammensetzung, der Temperaturführung und des Lösungsmittels ist es erstmalig gelungen, Prozeßbedingungen zu identifizieren, unter denen die Herstellung von transparenten und qualitativ hochwertigen GaN-Templates nach der LPSG-Technik möglich ist.

Der Hauptvorteil der LPSG-Technologie gegenüber dem HVPE-Verfahren liegt darin, daß die Wachstumsbedingungen näher am thermodynamischen Gleichgewicht sind und deshalb geringere Defektdichten in dem LPSG-Material zu erwarten sind.

Der Forschungspreis der DGKK wird für herausragende wissenschaftliche Leistungen von Nachwuchswissenschaftlern ausgeschrieben. Bei der Beurteilung durch die Jury werden insbesondere der erzielte Erkenntnisfortschritt im Bereich der Kristallzüchtung und des Kristallwachstums berücksichtigt.

Verleihung des Innovationspreises Mikroelektronik

Erstmals in der 10-jährigen Geschichte des Innovationspreises Mikroelektronik erhielten dieses Jahr zwei Preisvorschläge von der Jury die gleiche Punktzahl. Der vom Förderkreis für die Mikroelektronik e.V. ausgeschriebene Preis wurde im Rahmen der Jahrestagung durch den Vorsitzenden des Förderkreises für die Mikroelektronik Dr. Dietrich Ernst verliehen.

Individuelle Lösungen durch DECT-Module

Als erstes Siegerteam durften sich Jürgen Hupp vom Fraunhofer IIS und Berthold Hemer, stellvertretender Vorstandsvorsitzender der CeoTronics AG in Rödermark und dort für die Forschung und Entwicklung verantwortlich, über den Preis freuen. Ausgezeichnet wurden sie für ihre gemeinsame Arbeit „Entwicklung eines digitalen, drahtlosen Sprachkonferenzsystems für mobile Einsatzgruppen unter schwierigen Umgebungsbedingungen“.

Höhere Schaltfrequenzen mit verbessertem Wirkungsgrad

Der zweite Preisvorschlag stammt vom IISB. Unter dem Titel „Dotierung und Herstellung der SiC-Schottkydiode“ konnten die Preisträger erstmals ein

akademie in Freiberg. Here, a new cleanroom laboratory will be built up which will be used especially for the subject of "New Materials for Semiconductor Components". Dr. Frey is responsible for building up the new laboratory.

High-ranking Experts Discussed the Future of Production Techniques and Manufacturing Equipment in Germany and Europe at the IISB

On November 23, 2006, a meeting of the expert committee "Production Techniques and Manufacturing Equipment" of the GMM (VDE/VDI association for microelectronics, micro-technology and precision mechanics) took place at the IISB in Erlangen.

The head of the institute, Prof. Ryszel, as chairman of the GMM department "Microelectronics and Nanoelectronics" and the head of the expert committee, Prof. Pfitzner, could welcome approximately 35 high-ranking representatives particularly of the national semiconductor sector. Not only the "big" semiconductor manufacturers AMD, Infineon and Qimonda, but also "smaller" manufacturers such as Elmos, Renesas and ZMD as well as European suppliers such as Aixtron, ASML, Aviza, Centrotherm, Ion-ToF, Rena, SEZ, Singulus or TePla were represented.

The event focused on the discussion of future R&D main subjects and the possibilities and mechanisms of supporting these subjects for this industrial sector. Therefore, the presentations given by Dr. Uwe Weigmann of the project execution organization DLR of the BMBF and by Dr. Georg Kelm as representative of the European Commission, presented support strategies on the national and European level, were of special interest for the participants of the meeting.



Teilnehmer der GMM-Veranstaltung am IISB;
Participants of the GMM event at the IISB.

Honors and Awards

DGKK Research Prize for Employee of the IISB

Dipl.-Ing. Stephan Hussy, a member of the department of Crystal Growth of IISB, has been awarded the research prize of the DGKK (German Association for Crystal Growth). Mr. Hussy has been awarded the prize for his contributions for the development of the LPSG (Low-Pressure Solution Growth) technique for the manufacturing of low-defect GaN templates.

The availability of low-defect GaN substrates is a prerequisite for manufacturing e.g. blue laser diodes with sufficient lifetime on these substrates. Therefore, an enormous effort is taken world-wide to develop an industrially applicable technology for the manufacturing of GaN substrates. Several research groups advance the so-called HVPE (Hydride Vapor Phase Epitaxy) method. With the HVPE method, gaseous gallium chloride reacts with ammonia streaming into

GaN at temperatures between 1000 and 1100°C in the vicinity of a GaN nucleus and emits hydrogen chloride.

Within the framework of a project supported by the BMBF, however, the researchers at IISB favor another method, i.e. the so-called LPSG (Low-Pressure Solution Growth) method. With this technology from Erlangen, nitrogen (which is offered e.g. as ammonia from the gaseous phase) is dissolved in a gallium-containing melt which has a temperature of 800 to 1000°C and is crystallized to GaN in a controlled way.

Within the GaN team, Mr. Hussy is charged with the process development at IISB. Due to his systematic research with regard to the influence of gas structure, temperature control and solvents, he succeeded to identify process conditions for the first time which enable the manufacturing of transparent and high-quality GaN templates using the LPSG method.

The main advantage of the LPSG technology compared to the HVPE method

kommerzielles Bauelement auf Siliciumcarbid zur Verfügung stellen, das den hohen Anforderungen der Leistungselektronik bei gleichzeitig angemessenen Herstellungskosten in hervorragender Weise gerecht wird. Schottkydioden auf Basis von Siliciumcarbid ermöglichen gegenüber herkömmlichen Leistungsdioden annähernd vernachlässigbare Schaltverluste und erlauben dadurch höhere Schaltfrequenzen bei gleichzeitig verbessertem Wirkungsgrad. Dr. Anton Bauer und Dr. Volker Häublein waren von Seiten des IISB an der Entwicklung beteiligt. Prof. Dietrich Stephani als technischer Geschäftsführer der SiCED GmbH & Co. KG, Erlangen, entwickelte dazu einen massenfertigungstauglichen Gesamtprozeß, der von Dr. Roland Rupp bei der Infineon Technologies AG in die Fertigung umgesetzt werden konnte.

Preisverleihung des Jugendpreises Mikroelektronik 2006

Der Förderkreis Mikroelektronik hat zum sechsten Mal den "Jugendpreis Mikroelektronik" verliehen. Bei der Preisverleihung am 27. Juni 2006 am IISB wurden vier Schüler ausgezeichnet. Das Bild zeigt die Preisträger gemeinsam mit IISB-Institutsleiter Prof. Ryszel und dem Vorsitzenden des Förderkreises Dr. Ernst. Von links: Prof. Ryszel, Michael Bleier, Kristin Völk, Jan Kallwies, Fabian Ihl, Dr. Ernst. Im Vordergrund der von Michael Bleier und Jan Kallwies entwickelte "Rollstuhl mit Autopilot", eines der mit dem Jugendpreis ausgezeichneten Projekte.



Preisverleihung des Jugendpreises Mikroelektronik 2006;
Awarding of the Youth Prize of Microelectronics 2006.

is that the growth conditions are closer to thermodynamic equilibrium and thus lower defect densities in the LPSG material can be expected.

The DGKK research prize is awarded for outstanding scientific achievements of promising junior scientists. For assessment, the jury particularly takes into consideration the achieved progress of understanding in the field of crystal growth.

Awarding of the Innovation Prize for Microelectronics

For the first time of the 10 years of history of the Innovation Prize for Microelectronics, this year even two projects were given the same number of points by the jury. The prize offered by the "Förderkreis für die Mikroelektronik e.V." (society for the promotion of microelectronics) has been awarded by Dr. Dietrich Ernst within the framework of the Annual Meeting.

Individual solutions by means of DECT modules

The first winning team are Jürgen Hupp of Fraunhofer IIS and Berthold Hemer, deputy chief executive officer of CeoTronics AG in Rödermark and responsible for research and development of his company. They were awarded the prize for their common work entitled "Development of a digital wireless voice conference system for mobile teams under difficult ambient conditions".

Higher switching frequencies with improved efficiency

The second suggestion comes from the IISB. With the project "Doping and manufacturing of the SiC Schottky diode", the winners could make available – for the first time – a commercial device on silicon carbide which outstand-



Die Preisträger des Innovationspreises Mikroelektronik 2006 (von links): Dr. Rupp, Prof. Stephani, Dr. Häublein, Dr. Ernst (Vorsitzender des Förderkreises), Hr. Hupp, Hr. Hemer. Nicht auf dem Bild: Dr. Bauer;

The laureates of the Innovation Award Microelectronics 2006 (from left): Dr. Rupp, Prof. Stephani, Dr. Häublein, Dr. Ernst (Chairman of the Förderkreis), Mr. Hupp, Mr. Hemer. Not on the photo: Dr. Bauer.

ingly meets the high demands of power electronics at reasonable manufacturing costs. Compared to conventional power diodes, Schottky diodes based on silicon carbide allow almost negligible switching losses and thus enable higher switching frequencies with a simultaneously improved efficiency. Dr. Anton Bauer and Dr. Volker Häublein of the IISB participated in the development. Prof. Dietrich Stephani as technical manager of SiCED GmbH & Co. KG in Erlangen, developed an overall process enabling mass production which could be implemented in manufacturing by Dr. Roland Rupp at Infineon Technologies AG.

Awarding of the Youth Prize of Microelectronics 2006

For the sixth time, the "Förderkreis Mikroelektronik" (society for the promotion of microelectronics) awarded the Youth Prize of Microelectronics. Four pupils were awarded the prize on June 27, 2006 at the IISB. The photo shows the winners together with the head of IISB, Prof. Ryssel, and the chairman of the "Förderkreis Mikroelektronik", Dr. Ernst. From left to

right: Prof. Ryssel, Michael Bleier, Kristin Völk, Jan Kallwies, Fabian Ihl, Dr. Ernst. In front of the group, you can see the "Wheelchair with autopilot function" developed by Michael Bleier and Jan Kallwies, one of the projects which were awarded the Youth Prize.

Förderkreis für die Mikroelektronik e.V.

Vor über 20 Jahren erkannten die Gründer des gemeinnützigen „Förderkreises für die Mikroelektronik e.V.“ die Auswirkung und Rolle der Mikroelektronik auf allen technischen Gebieten und in fast allen Lebensbereichen, die als Schlüsseltechnologie und Innovationsmotor über die Wirtschaftskraft, die Arbeitsplätze und den Wohlstand einer High-Tech-produzierenden Nation wie Deutschland entscheidet und somit für einen Wirtschaftsstandort eine essentielle Bedeutung hat. So wurde 1983 der „Förderkreis für die Mikroelektronik e.V.“ aus der Taufe gehoben mit dem Ziel, die Mikroelektronik im und für den nordbayerischen Raum zu fördern. Dies wurde durch großzügige Spenden der Wirtschaft, umfangreiche Fördermittel der Bayerischen Staatsregierung, die permanente Unterstützung der IHK Nürnberg für Mittelfranken sowie erhebliche Investitionen der Fraunhofer-Gesellschaft ermöglicht und hat in der Neugründung von Lehrstühlen der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg und Instituten der Fraunhofer-Gesellschaft (u.a. des IISB) mit hochmoderner Ausstattung resultiert.

Neben den Mitgliedern aus der Wirtschaft setzen sich die akademischen Partner des Förderkreises aus den beiden Erlanger Fraunhofer-Instituten IIS und IISB sowie von Seiten der Universität Erlangen-Nürnberg aus den Lehrstühlen für Technische Elektronik, für Rechnergestützten Schaltungsentwurf, für Informationstechnik mit Schwerpunkt Kommunikationselektronik sowie dem Lehrstuhl für Elektronische Bauelemente zusammen, den mit Prof. H. Ryssel der Leiter des IISB innehat.

Die umfangreichen Aktivitäten des Förderkreises umfassen:

- Förderung der Zusammenarbeit zwischen Forschung, Entwicklung und Nutzung durch die Wirtschaft
- Unterstützung technisch-wissenschaftlicher Veranstaltungen und Präsentationen
- Vergabe von Preisen und Stipendien

Gerade durch den letzten Punkt verwirklicht der Förderkreis seine Zielsetzung, Forschung, Entwicklung, Lehre und Technologietransfer zusammen mit seinen Partnern zu fördern. So wurde 1996 der „Innovationspreis Mikroelektronik“ gestiftet, der seitdem jährlich verliehen wird und mit 3000 Euro dotiert ist. Kriterien bei der Vergabe des Preises sind vor allem ein herausragender Erkenntnisfortschritt auf dem Gebiet der Mikroelektronik, aber auch dessen Umsetzung in Form einer praktischen Nutzung durch die gewerbliche Wirtschaft. Neben einer Auszeichnung für besondere Leistungen auf dem Gebiet der Mikroelektronik soll dieser Preis auch einen Ansporn für innovatives Engagement und die Stärkung des Wirtschaftsstandortes Deutschland, der für seine Behauptung auf dem Weltmarkt auf Höchsttechnologie angewiesen ist, darstellen. Auch das IISB konnte mit Dr. Thomas Falter (1996, mit Fa. GeMeTec), Dr. Lothar Frey (1999, mit Fa. Nanosensors GmbH), Dr. Andreas Erdmann (2000, mit Fa. Sigma-C GmbH) und Marc Hainke, Dr. Thomas Jung, Flaviu Jurma-Rotariu, Dr. Matthias Kurz, Dr. Michael Metzger und Artur Pusztai (2002), Dr. Martin März und Stefan Zeltner (2005, mit Fa. Semikron) sowie Dr. Anton Bauer und Dr. Volker Häublein (2006, u.a. mit Fa. Infineon), Preisträger stellen.

Ebenso hat der Förderkreis die Bedeutung der Zukunftssicherung in der technischen Ausbildung erkannt. In diesem Zusammenhang wurde im Jahr 2000 ein mit 500 Euro dotierter Jugendpreis ins Leben gerufen, um das Interesse und Engagement unserer Jugend als

zukünftiger Gestalter des technischen Fortschritts zu fördern. Der Jugendpreis, der ebenfalls jährlich in ganz Bayern an ca. 300 Schulen ausgeschrieben wird, findet äußerst reges Interesse.

Ein weiteres Instrument der Förderung durch den Förderkreis stellt ein Promotionsstipendium dar, mit dem besonders qualifizierte wissenschaftliche Nachwuchskräfte, die an einem der Mikroelektronik-Lehrstühle der Universität Erlangen-Nürnberg ihre Promotion durchführen, über einen Zeitraum von zwei Jahren mit 720 Euro pro Monat unterstützt werden können.

Zudem unterstützt der Förderkreis den Aufenthalt von Gastwissenschaftlern und Diplomanden an den genannten Fraunhofer-Instituten und Mikroelektronik-Lehrstühlen.

Eine Unterstützung dieser Aktivitäten und Förderziele ist am besten durch eine Mitgliedschaft im Förderkreis umzusetzen. Einzelheiten hierzu und ausführliche Informationen über die Tätigkeiten des Förderkreises sind über untenstehende Kontaktadresse oder auch über das IISB zu erhalten. Für das IISB war der „Förderkreis für die Mikroelektronik e.V.“ auch im Jahre 2006 wieder ein guter und verlässlicher regionaler Partner.

Förderkreis für die Mikroelektronik e.V.
Vorstandsvorsitzender:
Dr. sc. techn. h.c. Dietrich Ernst
Geschäftsstelle:
IHK Nürnberg für Mittelfranken

Ansprechpartner

Knut Harmsen
Geschäftsführer des Förderkreises
Telefon: +49 (0) 911 1335-320
harmsen@nuernberg.ihk.de
www.foerderkreis-mikroelektronik.de

Förderkreis für die Mikroelektronik e.V.

More than 20 years ago, the founders of the non-profit "Förderkreis für die Mikroelektronik e.V." (development association for microelectronics) recognized the influence and importance of microelectronics in all technical fields and almost all aspects of daily life, with microelectronics as a key technology and innovation motor being decisive for the economic power, jobs, and wealth of a high-tech producing nation like Germany and thus having an essential meaning for a business location. Therefore, the "Förderkreis für die Mikroelektronik e.V." was launched in 1983 with the goal of promoting microelectronics in and for the region of northern Bavaria. This was made possible by generous donations from industry, large subsidies from the Bavarian government, the permanent support by the IHK Nürnberg für Mittelfranken (the local CCI), as well as by enormous investments by the Fraunhofer-Gesellschaft, and resulted in the start-up of chairs of the Friedrich-Alexander University of Erlangen-Nuremberg and institutes of the Fraunhofer-Gesellschaft (among them the IISB) with ultra-modern equipment.

Besides the industrial members, academic partners of the Förderkreis are the two Fraunhofer institutes IIS and IISB in Erlangen, and of the University of Erlangen-Nuremberg the chairs of Electronics, Computer-Aided Circuit Design, Information Technology with Focus on Communication Electronics, as well as the Chair of Electron Devices, which is held by the head of the IISB, Prof. H. Rysssel.

The large activities of the Förderkreis include:

- Promotion of the cooperation between research, development and utilization by industry
- Support of technical and scientific events and presentations
- Granting of awards and grants

Especially by the last item, the Förderkreis realizes its goal of promoting research, development, teaching and technology transfer together with its partners. Thus, in 1996 an innovation award for microelectronics was founded, which is annually granted and endowed with 3000 Euro. Criterion for the jury is mainly an outstanding progress in the field of microelectronics, but also its transfer by a practical utilization by industry. Besides a decoration for special achievements in the field of microelectronics, this award also represents a stimulation for innovative activities and the strengthening of the business location Germany, which depends on ultra-high technology for competing in the world market. The IISB could already provide some of the laureates with Dr. Thomas Falter (1996, together with GeMeTec), Dr. Lothar Frey (1999, together with Nanosensors GmbH), Dr. Andreas Erdmann (2000, together with Sigma-C GmbH), and Marc Hainke, Dr. Thomas Jung, Flaviu Jurma-Rotariu, Dr. Matthias Kurz, Dr. Michael Metzger as well as Artur Pusztai (2002), Dr. Martin März and Stefan Zeltner (2005, together with Semikron) and Dr. Anton Bauer with Dr. Volker Häublein (2006, together with Infineon).

Furthermore, the Förderkreis has recognized the importance of protecting the future of technical education. In this context, in 2000 a youth award endowed with 500 Euro was created in order to support the interests and activities of young people as the future creators of our technical progress. The youth award, which is annually announced in about 300 schools in Bavaria, induces a brisk interest.

Another instrument of promotion by the Förderkreis is a PhD grant, by which especially qualified young PhD students who work on their thesis at one of the microelectronics chairs of the University of Erlangen-Nuremberg, can be supported with 720 Euro per month over a period of two years.

Moreover, the Förderkreis supports the stays of guest scientists and graduates at the listed Fraunhofer institutes and microelectronics chairs.

A support of these activities and promotion goals can be achieved best by a membership in the Förderkreis. Details on this and extended information on the activities of the Förderkreis can be obtained from the contact address below or also from the IISB.

For the IISB, the "Förderkreis für die Mikroelektronik" again was a good and reliable regional partner.

Förderkreis für die Mikroelektronik e.V.
Chief Executive Officer
Dr. sc. techn. h.c. Dietrich Ernst
Office:
IHK Nürnberg für Mittelfranken

Contact

Knut Harmsen
Managing Director of the "Förderkreis"
Phone: +49 (0) 911 1335-320
harmsen@nuernberg.ihk.de
www.foerderkreis-mikroelektronik.de

**Gastwissenschaftler
Guest Scientists**

Abo, Dr., Satoshi
23.02. - 02.03.2006

Japan
Osaka University
TEM-Untersuchung an mittels Elektronenstrahl abgeschiedenen PT-Strukturen
TEM Measurements on Electron Beam Induced Deposited PT Probes

Deniisov, Alexey
16.10. - 30.11.2006

Russland / Russia
St. Petersburg State University
Züchtung von Saphirbändern nach dem EFG-Verfahren
Growth of Sapphire Ribbons by the EFG Method

Fried, Dr., Miklos
27.03. - 31.03.2006
27.11. - 01.12.2006

Ungarn / Hungary
Hungarian Academy of Sciences
Entwicklung eines innovativen 2D-Ellipsometers für Geräte in der Halbleitertechnologie
Development of an Innovative 2D-Ellipsometer for Equipment in Semiconductor Technology

Jacob, Prof., Chacko
14.05. - 12.07.2006

Indien / India
IIT Kharagpur
Siliciumcarbid
Silicon Carbide

Juhasz, Dr., Gyorgy
27.03. - 31.03.2006
27.11. - 01.12.2006

Ungarn / Hungary
Hungarian Academy of Sciences
Entwicklung eines innovativen 2D-Ellipsometers für Geräte in der Halbleitertechnologie

Development of an Innovative 2D-Ellipsometer for Equipment in Semiconductor Technology

Li, Dr., Dong
01.01. - 31.12.2006

China
Nanjing University of Aeronautics and Astronautics
Entwicklung eines Synchrongleichrichters für hochfrequent getaktete Schaltwandler
Development of a Synchronous Rectifier for Resonant Switch-Mode DC/DC Converters

Major, Csaba
27.03. - 31.03.2006

27.11. - 01.12.2006
Ungarn / Hungary
Hungarian Academy of Sciences
Entwicklung eines innovativen 2D-Ellipsometers für Geräte in der Halbleitertechnologie
Development of an Innovative 2D-Ellipsometer for Equipment in Semiconductor Technology

Mao, Dr., Mingping
01.01. - 31.12.2006

China
Tongji University, Shanghai
Entwicklung eines hochkompakten Schaltnetzteils für Flachbildschirme
Development of a High Density Power Supply for LCD Flat Panels

Paskaleva, Dr., Albena
23.10. - 15.11.2006

Bulgarien / Bulgaria
Bulgarian Academy of Sciences
Untersuchungen des Einflusses metallischer Gate-Elektroden auf die elektrischen Eigenschaften von Hoch- ϵ -Dielektrika
Analysis of the Influence of Metallic Gate Electrodes on the Electrical Properties of High-k Dielectrics

Petrik, Dr., Peter
09.01. - 31.01.2006

Ungarn / Hungary
Hungarian Academy of Sciences
Optische Charakterisierung von Mikro- und Nanostrukturen
Optical Characterization of Micro- and Nanostructures
27.03. - 31.03.2006
27.11. - 01.12.2006
Entwicklung eines innovativen 2D-Ellipsometers für Geräte in der Halbleitertechnologie
Development of an Innovative 2D-Ellipsometer for Equipment in Semiconductor Technology

Polgar, Dr., Oliver
27.03. - 31.03.2006

27.11. - 01.12.2006
Ungarn / Hungary
Hungarian Academy of Sciences
Entwicklung eines innovativen 2D-Ellipsometers für Geräte in der Halbleitertechnologie
Development of an Innovative 2D-Ellipsometer for Equipment in Semiconductor Technology

Sukhanov, Dr., Yakov
01.01. - 31.3.2006

Russland / Russia
Russian Academy of Sciences
Charakterisierung und Optimierung von Plasmaätzprozessen und plasma-gestützten Abscheideprozessen
Characterization and Optimization of Plasma Etching and Plasma Assisted Deposition Processes

Tian, Dr., Jian
01.01. - 31.12.2006

China
Xi'an University of Technology
Entwicklung eines low-cost Netzteils für Consumer-Elektronik
Development of a Low-Cost Power Supply for Consumer Appliances

Windl, Prof., Wolfgang
11.05. - 03.09.2006
USA
Ohio State University
Multiscale Computer-Simulation von
Halbleitermaterialien
Multiscale Computer Simulation of Se-
miconductor Materials

Patenterteilungen
Patents

Berberich, S., März, M.:
*Integriertes Beschaltungsbau-
element auf Halbleiterbasis zur Schaltentlastung,
Spannungsbegrenzung bzw. Schwin-
gungsdämpfung*
zum Patent angemeldet
Prio-Tag: 12. Juni 2006

Billmann, M.:
*Verfahren zur redundanten Betriebs-
weise von Spannungszwischenkreis-
umrichtern mit in Reihe geschalteten
Submodulen bzw. Teilumrichtern*
zum Patent angemeldet
Prio-Tag: 5. Mai 2006

Billmann, M.:
*Schutz von Halbleitermodulen oder Teil-
umrichtern gegen Explosion und Aus-
tritt von Heißgasen bzw. Plasma*
zum Patent angemeldet
Prio-Tag: 5. Mai 2006

März, M., Schimanek, E., Schletz, A.,
Brunner, D.:
*Direktgekühlte Leistungsmodule mit
keramischer Grundplatte*
zum Patent angemeldet, 10 2006 006
175.6-33
Prio-Tag: 31. März 2006

Schimanek, E., März, M.:
Slotmodul
zum Patent angemeldet
Prio-Tag: 10. Februar 2006

Schimanek, E., März, M.:
Kühlkörper für Elektronikbauteile
zum Patent angemeldet
Prio-Tag: 5. Mai 2006

Waller, R., Berberich, S., März, M.:
*Verfahren zur galvanisch getrennten
Informations- und Energieübertragung
zwischen zwei elektronischen Schal-
tungseinheiten*
zum Patent angemeldet
Prio-Tag: 19. Juli 2006

Mitarbeit in Fachgremien, Fachverbänden und Komitees Participation in Committees

Bauer, A.

- ITG Informationstechnische Gesellschaft im VDE, Fachbereich 8 Mikroelektronik, Fachausschuß 8.1 Festkörpertechnologie, Fachgruppe: Heißprozesse
- Member of the Technical Program Committee of the "36th European Solid-State Device Research Conference" (ESSCERC' 06), Grenoble, France, September 18 - 22, 2006
- Member of the Technical Program Committee of the "14th Workshop on Dielectrics in Microelectronics" (WoDIM 2006), Catania, Italy, June 26 - 28, 2006

Fischer, B.

- Geschäftsführer des Bayerischen Forschungsverbands für Nanoelektronik (FORNEL)
- Wissenschaftlicher Berater der Ausstellung "700 Jahre Franken in Bayern", Nürnberg, 4. April - 31. Dezember 2006

Frickinger, J.

- Leader of the "SEMI International Environmental Contamination Control Task Force"
- Mitglied der GMM-Nutzergruppe "Inspektion & Analytik"
- Mitglied des VDI-Ausschusses "Reinraumtechnik - Chemische Kontamination (AMC/SMC)"

Friedrich, J.

- Member of the Steering Committee "GaN-Substrates" of the German BMBF
- Member of the board of directors of the "German Crystal Growth Association" (DGKK)

Lorenz, J.

- Chairman of the Modeling and Simulation International Working Group (ITWG) of the ITRS (International Technology Roadmap for Semiconductors)
- Member of the Technical Committee of the "2006 International Conference on Simulation of Semiconductor Processes and Devices" (SISPAD 2006), Monterey, CA, USA, September 6 - 8, 2006
- Member of the Program Committee of the "36th European Solid-State Device Research Conference" (ESSDERC' 06): Sub-Committee "Process and Device Simulation", Grenoble, France, September 18 - 22, 2006
- Member of the Sub-Committee "Modeling and Simulation" of the 2006 International Electron Devices Meeting (IEDM), Washington, D.C., USA, December 11 - 13, 2006
- Member of the Electrochemical Society
- Member of the Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)

März, M.

- Mitglied des wissenschaftlich-technischen Komitees der CIPS (Conference on Integrated Power Systems)
- Mitglied des Fachbereichs Q1 "Leistungselektronik und Systemintegration" im VDE ETG
- Member of the Program Committee of the "Automatic Power Electronics (APE) Conference"
- Mitglied im Programmkomitee "Internationales Fachforum Mechatronik - ifm"

Müller, G.

- Associate editor of the Journal "Crystal Growth and Technology"
- Member of the board of the Center of Competence for New Materials (Neue Materialien GmbH)

- Member of the board of directors of the institute of materials science at the university Erlangen-Nürnberg

Nutsch, A.

- Co-chair of the GMM Yield Enhancement User Group
- Member of the Yield Enhancement International Working Group (ITWG) of the ITRS (International Technology Roadmap for Semiconductors)

Öchsner, R.

- Member of the "Factory Integration Working Group (FITWG)" of the "International Technology Roadmap for Semiconductors (ITRS)"
- Member of the Advisory Committee "online educa", International Conference on Technology Supported Training and Learning
- Member of SEMI European Equipment Automation Committee
- Member of SEMI Task Force: Equipment Productivity Metrics Task Force
- Member of SEMI Task Force: Cluster Tool RAM Task Force
- Member of SEMI Task Force: Process Control Systems (PCS)
- Member of SEMI Task Force: Data Quality

Pichler, P.

- Member of the Board of Delegates of the European Materials Research Society, 2006

Pfützner, L.

- Honorarprofessor an der Universität Erlangen-Nürnberg, Fachbereich Elektrotechnik
- Chairman of the "Yield Enhancement Working Group" (ITWG) of the ITRS (International Technology Roadmap for Semiconductors)
- Chairman of the Program Committee for the "7th Annual European AEC/APC Conference 2006", March 29 - 31, Aix-en-Provence, France
- Member of the Program Committee ISSM 2006 (IEEE "International Sym-

- posium on Semiconductor Manufacturing Conference"), September 25 - 27, Tokyo, Japan
- Mitglied der VDE/VDI-Gesellschaft für Mikroelektronik, Mikro- und Feinwerktechnik, Fachbereich "Halbleitertechnologie und Halbleiterfertigung", Leiter des Fachausschusses "Produktion und Fertigungsgeräte"
 - Mitglied der VDE/VDI-Gesellschaft für Mikroelektronik, Mikro- und Feinwerktechnik, Fachbereich "Halbleitertechnologie und Halbleiterfertigung", Leiter der Fachgruppe 1.1 "Geräte und Materialien"
 - Co-chair of the SEMI Task Force "Environmental Contamination Control"
 - Co-chair of the Standardization Committee "Equipment Automation Standards Committee" of SEMI
 - Member of the "Global Committee" of SEMI
- Roeder, G.
- Head of the SEMI Integrated Measurement Task Force Europe
 - Koordinator der VDE/VDI-GMM-Fachgruppe 1.2.3 „Abscheide- und Ätzverfahren“
 - Coordinator of the EuSIC Network User Group "Integrated Metrology"
- Ryssel, H.
- International Committee of the Conference "Ion Implantation Technology" (IIT)
The conference takes place biannually alternatingly in Europe, the USA, and East Asia.
 - Mitglied der Informationstechnischen Gesellschaft (ITG): Leiter des Fachausschusses 8.1 „Festkörpertechnologie“
 - Mitglied der VDE/VDI-Gesellschaft für Mikroelektronik, Mikro- und Feinwerktechnik, Leiter des Fachbereichs 1, „Mikro- und Nanoelektronik-Herstellung“, Leiter der Fachgruppe 1.2.2 „Ionenimplantation“
 - Mitglied des Beirats der Bayerischen Kooperationsinitiative Elektronik/Mikrotechnologie (Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Verkehr und Technologie)
 - Member of the Electrochemical Society
 - Member of the Material Research Society
 - Mitglied der Böhmisches Physikalischen Gesellschaft
 - Fellow Member of the Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)
 - Editorial Board of "Radiation Effects and Defects in Solids" Taylor & Francis Ltd., Abingdon, U.K.
 - Mitglied der Studienkommission Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik
 - Mitglied des Prüfungsausschusses der Technischen Fakultät
 - Vorsitzender der Studienkommission Mechatronik der Universität Erlangen-Nürnberg
 - Member of the European SEMI Award Committee
 - Scientific Committee of the Conference "MIGAS International Summer School on Advanced Microelectronics"
The conference takes place in France every year.
 - European Sub-Committee of the International Symposium on VLSI Technology, Systems and Applications (IEEE VLSI-TSA)
 - Sprecher des Bayerischen Forschungsverbunds für Nanoelektronik (FORNEL)
- Schellenberger, M.
- Coordinator of the EuSIC User Group "Software"
 - Co-chair of the European SEMI-PCS Taskforce "Process Control Systems"
 - Mitglied des Programm-Komitees und des Steering-Komitees der Europäischen AEC/APC-Konferenz

Konferenzen und Workshops Conferences and Workshops

Gemeinsames Kolloquium zur Halbleitertechnologie und Meßtechnik
IISB, Erlangen
fortlaufende Veranstaltung im Sommer- und Wintersemester 2006

Kick-off Meeting des Integrierten EU-Projekts SEA-NET
IISB, Erlangen
10. Januar 2006

Treffen der Nutzergruppe Inspektion und Analytik
IISB, Erlangen
21. Februar 2006

ATOMICS Partners` Meeting
IISB, Erlangen
13. - 14. März 2006

2. FORNEL-Workshop
Würzburg
15. März 2006

FOCUS Schülerwettbewerb
Vilsbiburg
17. März 2006

Siemens bereichsüberschreitendes Bauelemente-Fachtreffen
IISB, Erlangen
29. März 2006

7th European Advanced Equipment Control/Advanced Process Control (AEC/APC) Conference
Aix-en-Provence, Frankreich
29. - 31. März 2006

Erlanger Techniktage für die Bayerische Eliteakademie
IISB, Erlangen
3. April 2006

Wissenschaftliche Beratung der Bayerischen Landesausstellung 2006 "200 Jahre Franken in Bayern" und Ausstellung des Hybrid-Motors
Museum für Industriekultur, Nürnberg
4. April - 31. Dezember 2006

Electronics Manufacturing Summit - ITRS Yield Enhancement Webcast (virtuelle Konferenz)
IISB, Erlangen
19. April 2006

3rd IISB Lithography Simulation Course
IISB, Erlangen
26. April 2006

Girl's Day
IISB, Erlangen
27. April 2006

Kooperationsforum Leistungselektronik
IISB, Erlangen
28. April 2006

Beteiligung an der Weltraummission MAXUS 7
2. Mai 2006

Treffen der Nutzergruppe RTP
IISB, Erlangen
18. Mai 2006

Treffen der Nutzergruppe Ionenimplantation
IISB, Erlangen
19. Mai 2006

Preisverleihung des Jugendpreises des Förderkreises für die Mikroelektronik e.V.
IISB, Erlangen
27. Juni 2006

5th Yield Enhancement User Group Meeting
Hamburg
3. - 4. Juli 2006

Kickoff-Meeting des Unterprojekts 7 im EU-Projekt PULLNANO
Brüssel, Belgien
18. Juli 2006

Wissenschaftssommer von "Wissenschaft im Dialog" - Präsentation von FORNEL
München
15. - 21. Juli 2006

Besuch von Bundes- und Landtagsabgeordneten
THM, Freilberg
25. Juli 2006

Praktikum "Mädchen und Technik"
IISB, Erlangen
4. - 8. September 2006

5th International Workshop on Modeling in Crystal Growth (IWMCG-5)
Bamberg
10. - 13. September 2006

Workshop zu Aktivitäten im Bereich Geräteentwicklung für 32/22nm im EU-Projekt PULLNANO
Leuven, Belgien
14. September 2006

Exkursion des Europäischen Patentamtes, Direktorat Halbleiterprozeßtechnologie
IISB, Erlangen
26. September 2006

4th IISB Lithography Simulation Workshop
Hersbruck
29. September - 1. Oktober 2006

8. IISB Jahrestagung "Technology Simulation"
IISB, Erlangen
12. Oktober 2006

Ausstellung im neuen Verkehrszentrum des Deutschen Museums durch FORNEL München
20. Oktober - 31. Dezember 2006

*6th Yield Enhancement User Group
Meeting*

Toulouse, Frankreich
20. - 21. November 2006

**Messebeteiligungen
Fairs and Exhibitions**

DGKK-Jahrestagung

Berlin
6. - 8. März 2006

SEMICON Europa 2006

München
4. - 6. April 2006

akademika

Messezentrum, Nürnberg
23. - 24. Mai 2006

PCIM

Messezentrum, Nürnberg
30. Mai - 1. Juni 2006

High-Tech-Kärwa

Erlangen-Tennenlohe
7. Juli 2006

Contact 2006

Technische Fakultät der Universität Er-
langen-Nürnberg
29. November 2006

SPS/IPC/DRIVES

Nürnberg
28. - 30. November 2006

SEMICON Japan 2006

Tokyo, Japan
6. - 8. Dezember 2006

Bános, Noémi

Implementierung eines Modells zur Simulation der Versetzungsmultiplikation bei Kristallzuchtprozessen

Das wichtigste Halbleitermaterial Silicium eignet sich nicht für die Herstellung von Hochfrequenz- und optoelektronischen Bauelementen. Für diese Anwendungen sind Verbindungshalbleiter wie Galliumarsenid (GaAs) oder Indiumphosphid (InP) sehr gut geeignet. Die versetzungsfreie Herstellung der genannten Verbindungshalbleiter für die Verwendung als Substratmaterial ist allerdings bis jetzt nicht gelungen. Da Versetzungen sowohl auf die Funktion als auch auf die Lebensdauer der Bauelemente negative Einflüsse haben, wird die Verbesserung der Qualität des Substratmaterials angestrebt. Für Qualitäts- und Prozeßoptimierung stehen Simulationswerkzeuge zur Verfügung. Am Erlanger Kristalllabor wird seit 1996 das Softwarepaket CrysVUn entwickelt, das speziell für die globale numerische Modellierung von Kristallzuchtanordnungen geeignet ist. Aufgrund der fehlenden implementierten Modelle erfolgten die Prozeßoptimierungen auf Basis der Reduzierung der thermoelastischen Spannungen im Kristall bzw. der Optimierung der Form der Phasengrenze zwischen Kristall und

Schmelze. Im Rahmen dieser Arbeit wurde das Softwarepaket CrysVUn zur numerischen Berechnung der Versetzungsdichte und plastischen Deformation erweitert.

Dafür wurden die Gleichungen des Alexander-Haasen-Modells für axial-symmetrische Geometrien sowohl für den stationären, als auch für den zeitabhängigen Fall implementiert. Der eingesetzte iterative Lösungsalgorithmus ermöglicht die Berücksichtigung der plastischen Deformation bei der Berechnung der Spannungen, sowie des Einflusses der Versetzungsdichte auf die plastische Deformation und des Einflusses der elastischen Restspannung auf die Versetzungsmultiplikation.

Das in CrysVUn implementierte Alexander-Haasen-Modell wurde mit analytischen Lösungen verifiziert. Der Vergleich mit publizierten Ergebnissen zeigt eine gute Übereinstimmung. Im Rahmen von Parameterstudien wurde der Einfluß von unterschiedlichen Parametern auf die Versetzungsdichte in einem GaAs-Kristall numerisch untersucht. Das implementierte Modell wurde für die Berechnung der Versetzungsdichte in realen Anordnungen eingesetzt. Hierbei wurden Simulationen für Anlagen zur Herstellung von GaAs-Kristallen nach dem VCz- bzw. VGF-Verfahren und zur Herstellung von InP nach dem VGF-Verfahren durchgeführt.

Die numerisch ermittelte Versetzungsdichte sowohl in GaAs- als auch in InP-Kristallen wurde mit experimentellen Daten verglichen. Die gute qualitative Übereinstimmung zwischen Simulation und Experiment konnte in jedem untersuchten Fall gezeigt werden. In einem Beispielfall wurde die Anwendbarkeit des implementierten zeitabhängigen Modells für die Berechnung der Versetzungsdichte und den Spannungsabbau im Kristall demonstriert.

Durch die Erweiterung des Softwarepakets CrysVUn, die in dieser Arbeit durchgeführt wurde, kann nun die Optimierung der Kristallqualität bezüglich der Reduzierung der maximalen Versetzungsdichte mittels numerischer Simulation erfolgen.

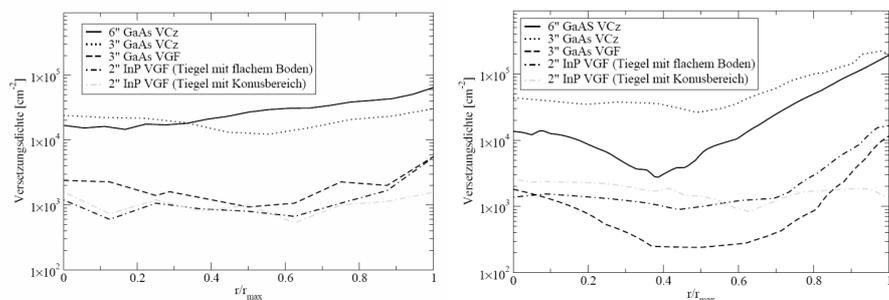


Fig. 1: Radiale Verteilung der experimentellen Mittelwerte der Versetzungsdichte (links) und radiale Verteilung der numerisch ermittelten Versetzungsdichte (rechts) für fünf unterschiedliche Kristallzuchtanordnungen. Experimental data (left) and numerically calculated dislocation density (right) of five different crystal growth facilities.

Báños, Noémi

Implementation of a Model for the Simulation of Dislocation Multiplication by Crystal Growth Processes

Silicon, the most important semiconductor, is not suitable for the manufacturing of high-frequency and optoelectronic devices. For this application, substrates of compound semiconductors such as gallium arsenide (GaAs) or indium phosphide (InP) are needed. At present, the dislocation free manufacturing of the mentioned compound semiconductors is not possible. Because dislocations have a negative influence on the function and on the lifetime of the devices, the improvement of the quality of the substrate is desired. Simulation tools can be used for the optimization of the crystal quality and growth process. The software package CrysVUn is being developed at the Crystal Growth Laboratory in Erlangen since 1996 especially for the numerical mod-

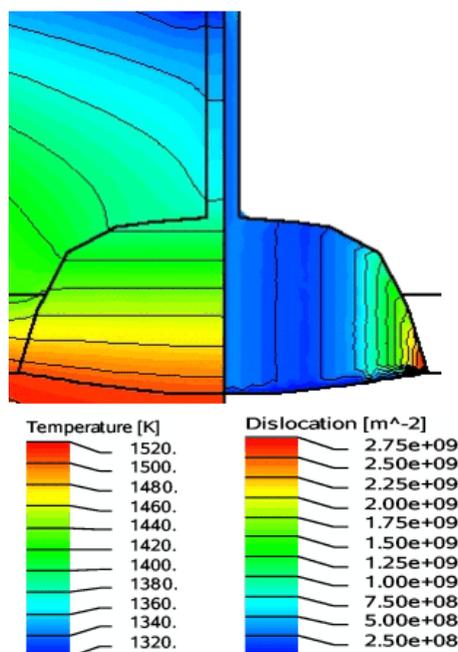


Fig. 2: Mit CrysVUn berechnetes Temperaturfeld (links) und Versetzungsdichte (rechts) in einem 3" undotierten GaAs-VCz-Kristall; Temperature distribution (left) and dislocation density (right) of an undoped 3" GaAs VCz crystal calculated by CrysVUn.

elling of crystal growth facilities. Due to the limitations of the already implemented models in CrysVUn, the growth processes were optimized with respect to minimization of the thermoelastic stresses in the crystal and to the shape of the solid-liquid interface. The model implemented in CrysVUn in this work provides the numerical simulation of the dislocation density and plastic deformation for stationary and time-dependent cases in axisymmetric geometries. The equations of the Alexander-Haasen model are solved by an iterative algorithm, so that plastic deformation can be considered while calculating the stress, as well as the influence of the dislocation density on the plastic deformation. Moreover, the effect of elastic stress in the crystal on the multiplication of dislocations is simulated.

The implemented model was verified by comparison with analytical solutions and published results. Good agreement was found for both cases. The influence of several parameters on the numerical calculation of the dislocation density was analysed in a parameter study for GaAs crystals. The implemented model was used for the calculation of dislocation density in crystal growth facilities. The simulations were applied to the VCz and VGF process for GaAs and to the VGF process for InP. The numerically calculated dislocation density for GaAs and InP crystals was compared with experimental data. There is good agreement between simulation and experiment for all analysed cases. The applicability of the implemented time-dependent model to the calculation of the dislocation density and residual stress is demonstrated for a test case.

By the extension of CrysVUn with the Alexander-Haasen model it is now possible to optimize crystal growth setups and processes with respect to minimize the maximum of the dislocation density in a crystal.

Dirnecker, Tobias

Untersuchung von Aufladungseffekten bei der Ionenimplantation

Während der Ionenimplantation werden Atome und Moleküle ionisiert und auf Halbleiterscheiben beschleunigt. Die durch diese Ionen zur Halbleiterscheibe transportierte Ladung kann zum Aufbau unerwünschter elektrischer Spannungen führen. Vor allem bei Metall-Oxid-Halbleiter (MOS)-Bauelementen können solche Aufladungseffekte zu Parameterschwankungen, Frühausfällen oder zur Zerstörung der Bauelemente führen.

Im Rahmen dieser Arbeit wurden MOS-Kondensatoren mit leitfähigen, ladungssammelnden Flächen (Antennen) zur Bewertung von Aufladungseffekten entworfen und hergestellt. Die Kondensatoren besitzen eine Gateoxidfläche von $10 \mu\text{m}^2$ und eine Gateoxidstärke von 4,5 nm. Die Antennen sind mit der oberen Elektrode der Kondensatoren verbunden und bestehen aus Polysilicium über Isolationsgebiet. Es wurden Teststrukturen mit einer Vielzahl unterschiedlicher Antennenformen, z.B. rechteckige Fläche, Gabelstrukturen (Fig. 1) und Antennenverhältnissen (Verhältnis der Flächen von Antenne

und Gateoxid) von 10^3 bis 10^5 realisiert. Zusätzlich können auf der Scheibe unterschiedliche Photolackstrukturen erzeugt werden. Es wurde ein Auswerteverfahren basierend auf Leckstrommessungen erarbeitet.

Die Ergebnisse zeigen, daß die Plasmaelektronendusche zur Ladungsneutralisation die elektrische Aufladung während der Implantation stark reduziert. Bei Versuchen ohne den Einsatz der Ladungsneutralisation zeigen die Strukturen für Arsenimplantationen mit Dosen zwischen 5×10^{14} und $5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$ und Implantationsströmen zwischen 4 und 16 mA im wesentlichen das erwartete Verhalten, d.h. einen steigenden Anteil an geschädigten Bauelementen mit steigender Implantationsdosis (Fig. 2) und mit steigendem Implantationsstrom.

Weitere Experimente ergaben, daß Strukturen mit weiten Abständen zwischen den Antennenfingern und mit schmalen Fingerbreiten die stärkste Schädigung aufweisen. Ausschlaggebend für dieses Verhalten können Oxidflächen sein, die sich zwischen den Stegen der Antennenstrukturen befinden und sich während der Implantation positiv aufladen. Niederenergetische Elektronen werden dorthin abgelenkt und stehen auf den Antennen nicht mehr

zur Ladungskompensation zur Verfügung. Je kleiner das Verhältnis von Polysiliciumfläche zur zwischen den Stegen befindlichen Oxidfläche ist, desto stärker werden die Strukturen geschädigt.

Hinsichtlich des Einflusses von Photolack auf die elektrische Aufladung während der Ionenimplantation wurden u.a. in der Literatur beschriebene Modelle untersucht und bewertet. Die Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Mit Lack abgedeckte Antennenbereiche fungierten nicht als ladungssammelnde Elektroden.
- Lackflächen, die mit den Gateelektroden von Teststrukturen überlappen, waren nicht als zusätzliche ladungssammelnde Antennen wirksam.
- Der die elektrische Aufladung verstärkende Einfluß von Lack konnte für Strukturen in unmittelbarer Nähe (Abstand bis $5 \mu\text{m}$) von Lackflächen und bei sehr großen Lackflächen für Strukturen über die gesamte Halbleiterscheibe (Durchmesser 200 mm) festgestellt werden. Ausschlaggebend ist die Ablenkung von Elektronen zu den positiv aufgeladenen Lackoberflächen. Die Elektronen stehen an anderer Stelle nicht mehr zur Kompensation elektrischer Aufladung zur Verfügung.

Die im Rahmen dieser Arbeit entworfenen Teststrukturen werden in der industriellen Fertigung von integrierten Schaltungen zur Prozeßkontrolle und zur Anlagenqualifizierung verwendet. Vor allem im Hinblick auf den Einsatz von Hochepsilon-Schichten als neue Gatedielektrika können die Teststrukturen genutzt werden, um das Risiko einer Schädigung durch elektrische Aufladungseffekte für zukünftige Bauelemente abzuschätzen.

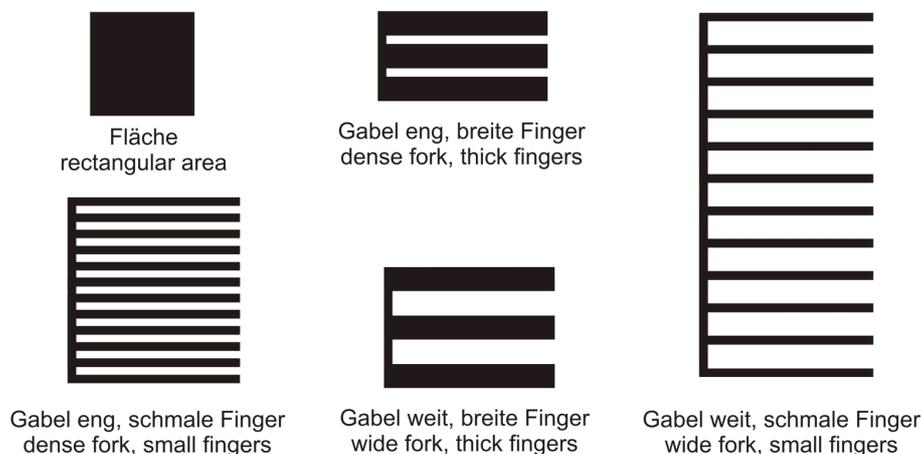


Fig. 1: Schematische Übersicht der Antennenformen in der Polysiliciumebene; Schematic overview of antenna shapes in the polysilicon level.

Dirnecker, Tobias

Investigation of Charging Effects During Ion Implantation

During ion implantation atoms and molecules are ionized and accelerated towards semiconductor wafers. The charge transported by these ions can electrically charge up structures isolated from substrate and may cause unwanted built up of potential differences. Particularly for metal oxide semiconductor devices such charging effects can lead to parameter shifts, early failures or destruction of the devices.

Test structures based on metal oxide semiconductor capacitors with charge collecting electrodes (antennas) for the evaluation of charging effects were developed and processed. The structures possess a gate oxide area of $10 \mu\text{m}^2$ and a gate oxide thickness of 4.5 nm. Antennas consist of polysilicon over isolation area and are connected to the upper electrode of the capacitors. Antennas with antenna ratios (ratio of antenna area to gate oxide area) from 10^3 to 10^5 and with different antenna shapes, e.g. rectangular area, fork type (fig. 1) were used. Additionally a multitude of different photoresist patterns could be produced. An evaluation procedure was developed based on leakage current measurements.

Results show that the plasma electron gun for charge compensation substantially reduces the charging effect during ion implantation. In additional experiments without charge compensation the structures showed for arsenic implantations with doses from 5×10^{14} to $5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$ and implantation currents from 4 to 16 mA substantially the expected behaviors, i.e. an increasing fraction of damaged devices with increasing dose and increasing implantation current.

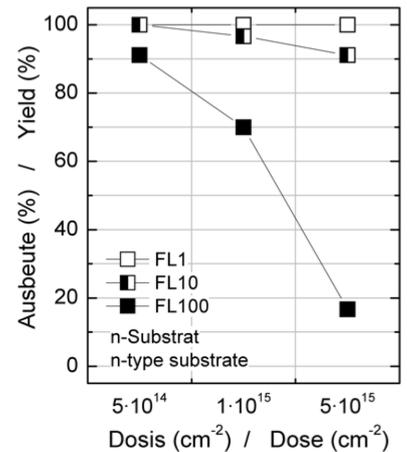
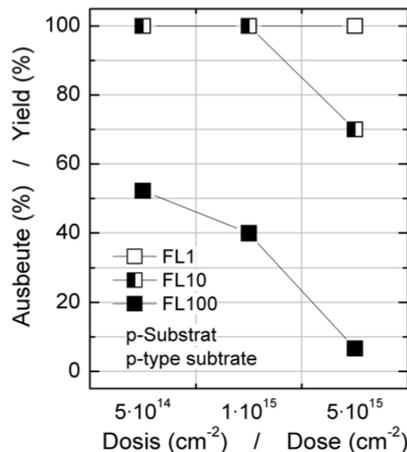


Fig. 2: Abhängigkeit der Ausbeute von der implantierten Dosis (As, 80 keV, 12 mA, Elektronendusche aus) am Beispiel von Flächenantennen mit Antennenverhältnissen zwischen 103 (Struktur FL1) und 105 (Struktur FL100);

Dependency of yield on implanted dose (As, 80 keV, 12 mA, electron flood off) for rectangular area shape antennas with antenna ratios between 103 (structure FL1) and 105 (structure FL100).

Further experiments showed that fork type antenna structures with wide gap and small finger size exhibit greatest charging damage. This behavior can be explained by oxide surfaces positively charged by ion bombardment. Electrons are attracted by the positive potential of the oxide surfaces and are not available for charge neutralization at the antennas. The smaller the ratio of poly silicon area and oxide area between the fingers the higher is the damage level of the structure due to charging effects.

Concerning the influence of photoresist on the electrical charging during ion implantation different models of charging effects described in the literature were examined and evaluated. The results can be summarized as follows:

- Antenna areas covered with resist during the implantation did not act as charge collecting electrodes.
- An increase of the conductivity of the photoresist surface by ion bombardment could not be observed. Resist surfaces, overlapping with gate electrodes of test structures were not effective as additional charge collecting antennas.

- The electrical charging strengthening influence of resist could be determined for structures close to the resist patterns (distance between photoresist and test structure up to $5 \mu\text{m}$) and, using very large resist areas, for structures over the entire wafer (diameter 200 mm). The influence of photoresist patterns can be attributed with priority to the attraction of electrons to positively charged resist areas. The electrons are not available in other place for the compensation of positive charging.

The developed test structures are used in industrial chip production for the purposes of process control and equipment qualification. Due to their simple design the structures can be flexibly used for future technologies, e.g. with varying oxide thicknesses or new gate oxide materials.

Jank, Michael

Entwicklung und Charakterisierung eines CMOS-Prozesses mit minimierter Anzahl an Lithographieebenen

Die Vereinfachung von Halbleiterfertigungsprozessen führt zur schnelleren und wirtschaftlicheren Herstellung von Bauelementen. Durch optimierte Prozeßführung lassen sich Lithographieebenen und Einzelprozeß-Schritte einsparen sowie Fertigungstoleranzen verringern.

In dieser Arbeit wird erstmals ein CMOS-Prozeß auf Bulk-Silicium-Ausgangsmaterial demonstriert, der mit nur drei Maskenebenen für die Bauelementeprozessierung beziehungsweise fünf Maskenebenen bis zur ersten Metallebene durchgeführt werden kann.

Ausgangspunkte für den neu entwickelten CMOS-Prozeß sind ein Konzept zur selbstjustierten Hochenergie-Ionenimplantation der Wannendotierungen über nur eine Photolackmaske und ein Konzept zur Definition der Wannenzugehörigen Source/Drain-Gebiete mit je einer Maskenebene pro Transistor-Leitungstyp. Durch Kombination dieser beiden Ansätze kann die Trennung zwischen p- und n-Kanal-Transistoren während der Dotierung mit lediglich einer Lithographieebene vorgenommen werden.

Als direkte Konsequenz aus dem vorgeschlagenen Dotierungsschema ergibt sich eine gegenseitige Beeinflussung der komplementären Source/Drain-Hochdosisimplantationen. In Anlehnung an den am IISB verfügbaren CMOS-Prozeß werden Experimente mit verschiedenen Energie/Dosis-Kombinationen für n- und p-Hochdosis-Implantationen durchgeführt und Möglichkeiten zur Optimierung aufgezeigt. Der entwickelte CMOS-Prozeß nutzt die

unterschiedlich großen lateralen Streuungen der tiefen Wannensimplantationen im Vergleich zu den flachen Source/Drain-Implantationen. Unter schmalen Lacksäulen oder -stegen in den geöffneten n-Wannenbereichen wird die n-Wanne fortgeführt und gleichzeitig eine Dotierung des n-Wannenkontakts während der p⁺-Hochdosis-Implantation verhindert. Vergleichbare Bedingungen gelten für die p⁺-Wannenkontakte. Untersuchungen mittels Prozeß- und Bauelementesimulationen (Fig. 1) zeigen, daß die maximal zulässigen Dimensionen dieser Lackstrukturen in der vom LEB-CMOS-Prozeß abgeleiteten Technologie realisiert werden können. Bei der Skalierung nimmt die maximal zulässige Dimension weniger stark ab als die minimale Strukturbreite, die Anforderungen entspannen sich.

Zur selbstjustierten Maskierung der Source/Drain-Gebiete werden in dem vorgestellten CMOS-Prozeß sämtliche Dotierungen nach Fertigstellung der Bauelementstrukturen, insbesondere der Gateelektroden, eingebracht. Wannenzugehörigen und Kanalimplantationen

werden somit durch den bestehenden Gatestapel hindurch ausgeführt. Experimente zum Einfluß der Implantation durch den Gatestapel auf Qualität und elektrische Eigenschaften der Gateoxide zeigen, daß deren Schädigung mit der Energieabgabe in Kernstöße im Bereich des Dielektrikums korreliert und durch Temperaturbehandlung teilweise ausgeheilt werden kann. Andererseits wird durch die Implantation die Dichte der Schwachstellen, an denen sich während elektrischer Belastung elektrisch aktive Defekte ausbilden können, reduziert. Trotzdem zeigen mit höheren Dosen durchimplantierte Gateoxide aufgrund der höheren initialen Defektdichten geringere Durchbruchladungen. Mit abnehmender Oxiddicke wirkt sich die Implantation durch den Gatestapel weniger stark auf die Gateoxid-Zuverlässigkeit aus.

Mit den durchgeführten Untersuchungen wird in Anlehnung an den am IISB durchgeführten CMOS-Prozeß die Umsetzbarkeit des entwickelten Konzepts demonstriert und zudem die Skalierbarkeit zu geringeren minimalen Strukturbreiten nachgewiesen.

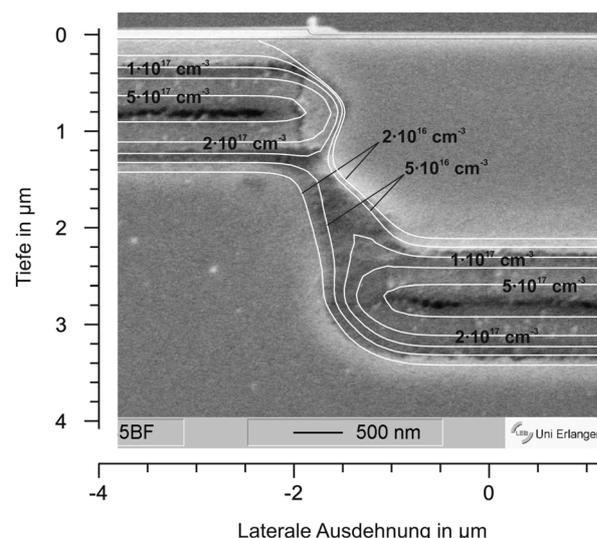


Fig. 1: Überlagerung von simulierten und mittels Experiment bestimmten Iso-Konzentrationslinien einer Mehrfach-Wannen-Struktur. Die Simulation erfolgte mit dem Prozeß-Simulator DIOS, die Präparation der Isokonzentrationslinien an Probenquerschnitten erfolgte unter Ausnutzung konzentrationsabhängiger Ätzraten;

Superposition of simulated and experimentally obtained iso-concentration level lines of a multi-well structure. Simulations were conducted using the process simulation tool DIOS. Preparation of cross-cut samples was done by exploiting the concentration dependency of wet etch rates.

Jank, Michael

Development and Characterization of a CMOS Technology with Minimized Mask Count

Process simplification enables less time consuming and more cost effective manufacturing of semiconductor devices. Mask layers and process steps can be saved by an optimization of the process flow. Also, parameter spread can be reduced using self-aligned processing.

In this work we demonstrate for the first time a CMOS process flow on bulk silicon employing three mask levels for front end processing or a total of five mask levels including patterning of the first metal layer. Critical issues of the novel process scheme are identified and investigated in detail by experiment as well as process and device simulation.

The process flow is based on two well known options for self-aligned and simplified processing. One is the sequential high energy implantation of p-well and n-well dopants using only one resist mask, i.e. p-well doping is done through the resist whereas n-well doping is carried out through the resist openings. The other is the combination of high energy well doping with the respective source/drain doping using one mask level per transistor channel type. The integration of these two concepts leads to a process flow where the distinction of n- from p-channel doping can be carried out by one mask level only.

The proposed concept leads to a mutual interaction of the two complementary high dose implants used for source/drain formation. Starting from parameter sets of the CMOS process operated at IISB, experiments with different energy/dose combinations were

conducted. On basis of the measured contact and sheet resistances of the source/drain regions and the deduced transistor series resistances, an approach for optimization is discussed. The presented CMOS process utilizes differences in the lateral straggle of deep well implants and shallow source/drain implants. These differences enable the formation of p-well contacts in narrow holes or trenches in resist without any impact on the well profile below the resist opening. Complementary, a narrow resist pillar or bar is not effective in interrupting the n-well doping below the resist structure whereas it blocks the p+-implantation from penetrating the n-contact region. Investigations employing process and device simulations show that the maximum allowable dimensions of the resist structures can be realized in a technology generation compatible to the CMOS process operated at IISB. Concerning device scaling, no roadblocks are expected as the maximum allowable dimension is reduced to a lesser extent than is the minimum linewidth.

For self aligned processing of the

source/drain regions with respect to the gate electrode, all doping steps are carried out after completion of the device structures. Thus, well and channel implants have to be carried out through the gate stack. The investigation into the effect of through the gate implantation on oxide reliability and electrical parameters shows a correlation between the oxide degradation and the energy deposited in nuclear collision events inside the gate oxide. In contrast, the density of precursor sites for the formation of electrically active defects during electrical stress is reduced by the implantation. Nevertheless, the through the gate-implanted samples show worse times to failure or charges to failure due to the superposition of implantation induced and stress induced defects. The impact of through the gate-implantation is less pronounced with reduced gate oxide thickness.

The presented results show the feasibility of the developed concept based on critical dimensions and electrical parameters of the CMOS process operated at IISB. Also, the scaling capability of the presented approach is proven.

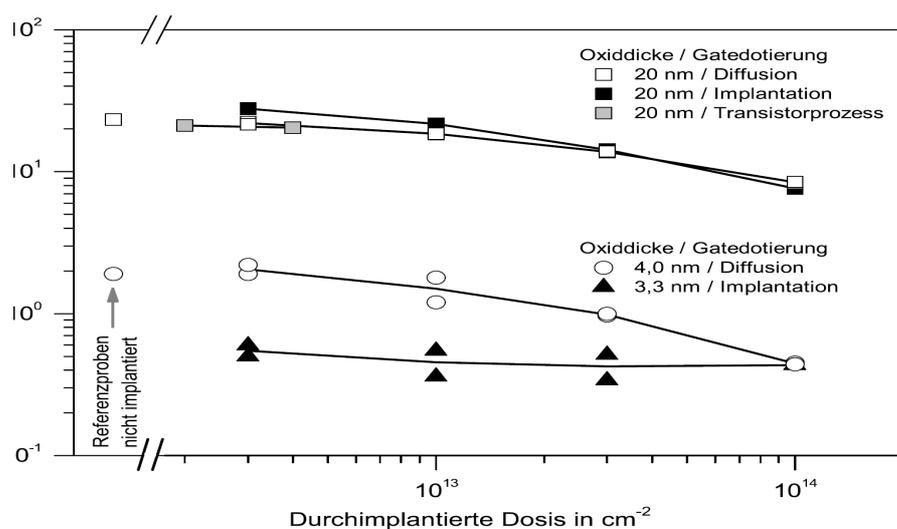


Fig. 2: Konstantstrominjektions-Streßtests an durch das Gate implantierten MOS-Kondensatoren zeigen einen deutlichen Einfluß der durchimplantierten Dosis auf die Zuverlässigkeit der Gateoxide. Für geringe Oxiddicken ist der Einfluß der Durchimplantation weniger stark ausgeprägt; Constant current stress (CCS) tests at through-the-gate (TGI) implanted MOS devices show a clear dependency of gate oxide integrity on the TGI dose. The dose dependency is less pronounced in samples with thin gate oxides.

Kistler, Siegbert

Dreidimensionale Topographiesimulation der ionisierten Metallplasma-Abscheidung in der Halbleitertechnologie

In dieser Arbeit wurde ein Simulationsprogramm entwickelt, das die dreidimensionale Form der Oberfläche von Strukturen nach einer physikalischen Schichtabscheidung - auch mit Rücksputtern - vorhersagen kann.

Als Grundlage dient ein physikalisches Modell zur Beschreibung der Vorgänge an der Strukturoberfläche. Es berücksichtigt energiereiche Teilchen, wie sie gezielt bei der ionisierten Metallplasma-Abscheidung (IMPVD) erzeugt werden, um die Konformität der abgeschiedenen Schicht zu verbessern. Ohne die energiereichen Teilchen beschreibt das Modell herkömmliche physikalische Schichtabscheidung. Die Energie- und Winkelverteilung der auftreffenden Teilchen und deren Haftwahrscheinlichkeit sind Parameter des Modells. Die behandelten Teilchensorten sind Atome und Ionen des sich abscheidenden Materials sowie Ionen des Trägergases. Die Ionen können durch Rücksputtern wieder Material aus der Schicht entfernen und innerhalb der Struktur umlagern. Die Abhängigkeit dieses Vorgangs von der Energie und dem Einfallswinkel des Ions wird berücksichtigt.

Die Topographie der Struktur wird durch Unterteilung in ebene Dreiecke diskretisiert. Basierend auf dem physikalischen Modell wurde für die 3D-Simulation ein lineares Gleichungssystem zur Bestimmung der Abscheideraten an verschiedenen Stellen der Oberfläche aufgestellt. Alle auftretenden Größen wie Teilchenaustausch, Abschattung und gegenseitige Sichtbarkeit von Oberflächenelementen werden in drei Dimensionen behandelt. Mit dem Pro-

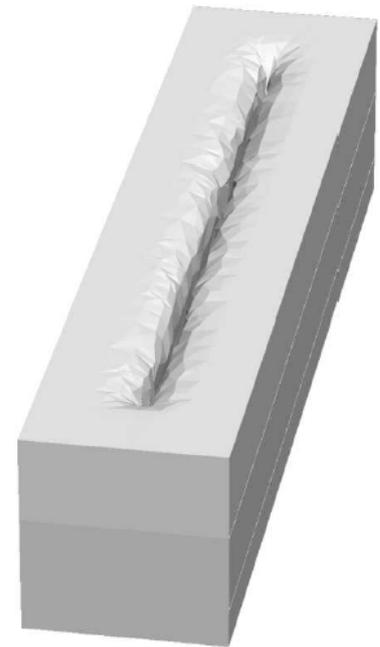
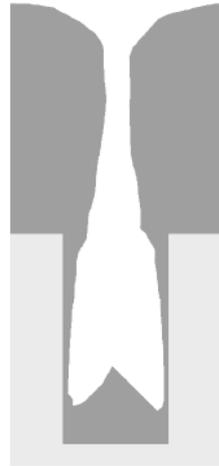


Fig. 1: Dreidimensionale Simulation der ionisierten Metall-Plasma-Abscheidung von Aluminium in einen Graben. Links: Querschnitt in der Mitte des Grabens. Rechts: Blick auf die dreidimensionale Struktur; Three-dimensional simulation of ionized metal plasma deposition of aluminum into a trench. Left: cross section at the center of the trench. Right: three-dimensional view of the structure.

gramm lassen sich erstmals die Topographieänderungen dreidimensionaler Strukturen bei der ionisierten Metallplasma-Abscheidung simulieren. Zur Erzeugung der Struktur nach der simulierten Abscheidung wird ein bestehendes Programm benutzt, das die Dreiecke gemäß den Abscheideraten verschiebt.

Der 3D-Simulator wurde anhand von 2D-Simulationen aus der Literatur validiert, die wiederum mit Experimenten verglichen worden waren. Die 3D-Simulationen zeigen eine gute Übereinstimmung mit den 2D-Simulationen, sowohl mit als auch ohne Rücksputtern. An einer nur dreidimensional behandelbaren Struktur wurden die Einflüsse verschiedener Modellparameter untersucht. Zur weiteren Validierung wurden eigene Experimente zur physikalischen Schichtabscheidung durchgeführt. Dazu wurden trocken geätzte Grabenstrukturen und quadratische Kontaktlöcher bei verschiedenen Argondrücken mit Titan und Tantal beschichtet. Die Strukturen

wurden danach präpariert und zur Anwendung des 3D-Simulators digitalisiert. Für die Simulationen wurden die Modellparameter bestimmt, um die Experimente mit den 3D-Simulationen zu vergleichen. Der Einfluß der Streuung der gesputterten Atome im Reaktor wurde in dieser Arbeit durch die Bestimmung eines isotropen Anteils der Winkelverteilung aus den Simulationen abgeschätzt. Auftretende Effekte wie nicht massive Seitenwandschichten oder die verringerte Dichte von Metallatomen zum Rand des Reaktorvolumens hin konnten zumeist quantitativ erfaßt werden. Die Simulationen beschreiben konsistent die durchgeführten Experimente, aber eine genaue Nachbildung der Unebenheit der Oberfläche der Grabenseitenwände ist nicht möglich, ebenso kann die Bildung unregelmäßiger Strukturen im Nanometerbereich, wie sie bei den Titan-Seitenwandschichten beobachtet wurden, nicht nachgebildet werden.


Kistler, Siegbert***Three-dimensional Topography Simulation of Ionized Metal Plasma Deposition in Semiconductor Technology***

Within this work, a simulation program has been developed which can predict the three-dimensional topography of structures after processes of physical vapor deposition, including resputtering.

Basis of the simulator is a physical model from literature which describes the processes on the substrate surface. It considers energetic particles which are created intentionally by Ionized Metal Physical Vapor Deposition (IMPVD) for improved conformity of the deposited layer. Without the presence of energetic particles the model describes conventional physical vapor deposition. Energy and angular distribution of impinging particles are parameters of the model. The particle species addressed are atoms and ions of the depositing material and ions of the carrier gas. The ions can resputter some material from the deposited layer and redeposit it within the structure. The description of resputtering accounts for its dependence from the energy and the incident angle of the incoming ion.

The topography of the structure is discretized by flat triangles. Starting with the physical model, a system of equations has been set up which provides the deposition rate at different positions of the surface. All occurring values like particle exchange terms, shadowing and mutual visibility of surface elements are treated in three dimensions. With the software, three-dimensional changes of topography during the IMPVD process can be simulated for the first time. An existing software modul is used for creating the

structure after deposition. It moves the triangles according to the deposition rates.

The 3D simulator has been validated by comparison with 2D simulations from literature which in turn have compared with experiments. The 3D simulations with and without resputtering show good agreement with the simulations done in two dimensions. Simulating the deposition of an IMPVD process into a structure which can be treated only in three dimensions, the influences of various model parameters were examined. Own experiments using physical vapor deposition were carried out for further validation. Titanium and tantalum were deposited into dry etched trench structures and quadratic contact holes using varying argon pressures. After deposition, the structures have been prepared for the raster electron microscope and were digitized for comparing the experiments with 3D simulations. The model parameters for the simulations were determined. The influence of scattering of sputtered atoms from the target was estimated by identifying an isotropic fraction of the angular distribution. It was possible to describe effects like not massive sidewall layers or reduced density of metal atoms at the border of the gas volume quantitatively for the most part. The simulations are consistent with the conducted experiments. Restrictions of the simulations have also been seen: the exact reproduction of the sidewall surface of the trenches for the whole simulation region is not possible, as well as the creation of irregular structures in the nanometer range which are observed at the sidewall layers of titanium.

Sun, Guoli

Thermogravimetrische Untersuchungen der Stickstoff-Löslichkeit in Gallium-haltigen Lösungen und der Reaktionskinetik von Gallium mit Ammoniak

Derzeit werden verschiedenen Lösungs-züchtungsverfahren zur Züchtung von GaN-Einkristallen, unter Anwendung von hoher Temperatur und hohem Druck oder unter Verwendung verschiedener Flußmittel intensiv untersucht. Ein Verfahren zur Niederdrucklösungs-züchtung von GaN wurde erfolgreich in der Abteilung Kristallzüchtung des Fraunhofer IISB entwickelt. Dieses Verfahren arbeitet bei Raumdruck und verwendet strömenden Ammoniak als Stickstoffquelle. Das Ziel dieser Arbeit ist es, durch die Messung der Stickstoff-Löslichkeit in Ga-Lösungen und die Untersuchung von Nukleation und Kristallisation von GaN aus Ga-haltigen Lösungen, wichtige Grundlagendaten zur Weiterentwicklung der Niederdrucklösungs-züchtung zu erhalten.

Hierzu wird die Thermogravimetrie (TG) als Werkzeug zur Charakterisierung von Gas-Metall-Wechselwirkungen herangezogen, um sowohl die Stickstoff-Löslichkeit in Ga-haltigen Schmelzen zu quantifizieren als auch die Reaktionskinetik der Reaktion zwischen Gallium und Stickstoff zu betrachten. Durch umfangreiche Optimierungsmaßnahmen, wie die bestmögliche Reproduzierbarkeit der Grundlinie, Langzeitstabilität und ein hohes Signal-Untergrundverhältnis, konnte die Auflösung der TG-Anlage maximiert werden (noise level < 2 mg, curve drift: $\pm 1 - 4$ mg/h). Die Anwendbarkeit des Verfahrens und der experimentelle Ablauf wurden durch entsprechende Kalibrierungsmessungen an einem Referenzmaterial sichergestellt. Die Validierung des Verfahrens erfolgte anhand von Messun-

gen der Stickstoff-Löslichkeit in Eisen. Als untere Meßgrenze für die Messung der Stickstofflöslichkeit in Metallen mittels des am IISB vorhandenen TG-Aufbaus kann 1×10^{-3} wt% angegeben werden.

Im Vergleich zur theoretisch ermittelten Stickstoff-Löslichkeit in reinem Gallium, wurde im Rahmen dieser Arbeit herausgefunden, daß die Zugabe von Lösungsmitteln die Löslichkeit von Stickstoff um etwa drei Größenordnungen erhöht. Es wurde ein kinetisches Modell entwickelt, um die Absorptions- und Desorptions-Raten für atomaren Stickstoff in Ga-Lösungen zu beschreiben, wobei die Raten für die Hin- und Rückreaktion verschieden sind. Die Reaktionsraten können auf Grund unterschiedlicher Oberflächenreaktionen, bedingt durch die unterschiedlichen Atmosphären während der Absorption und der Desorption, hervorgerufen werden. Diese Prozesse werden durch das derzeit gewählte Modell noch nicht detailliert erfaßt.

Hierzu wurde eine systematische Untersuchung der Reaktionskinetik der GaN Bildung aus Ga-haltigen Lösungen durchgeführt. Das Diagramm "Umwandlungsrate als Funktion der Reaktionszeit" (Fig. 1) zeigt generell eine sigmoide Form mit zwei wesentlichen Abschnitten. Der Beginn der Reaktion, die sogenannte "Induktions-Periode", gefolgt von einem Zeitabschnitt mit konstanter Wachstumsrate. Beide Abschnitte werden durch experimentelle Parameter, wie Temperatur, Ammoniakpartialdruck, Lösungsmittel-Konzentration, Vorhandensein eines Keims usw. beeinflußt.

Zur Analyse des Mechanismus der Bildungsreaktion von GaN wurde das Johnson-Mehl-Avrami-Modell (JMA) herangezogen. Die Bildung von GaN aus einer Gallium-haltigen Lösung mit einer Lösungsmittel-Konzentration von

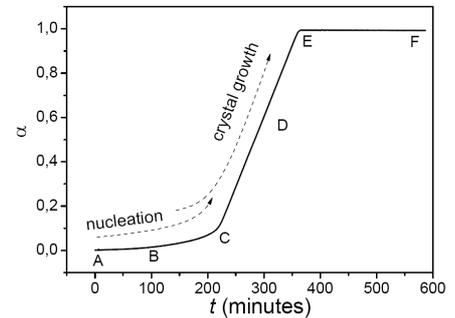


Fig. 1: Umwandlungsrate α als Funktion der Reaktionszeit eines typischen Experiments mit 0,1578 g Ga bei 900°C. Der Gasfluß für Ar, H₂ und NH₃ betrug 24, 16 bzw. 1 ml/min; Plot of the conversion ratio α vs. reaction time t for a typical experiment using 0.1578 g Ga at 900°C. The gas flow rates of Ar, H₂ and NH₃ are 24, 16 and 1 ml/min, respectively.

50% kann durch eine Reaktion vom JMA-Typ, mit einer Keimbildungs- und Wachstumsphase mit konstanter Nukleations- und Wachstumsrate beschrieben werden. Die experimentellen Ergebnisse zeigen jedoch, daß die Konzentration des Lösungsmittels den Reaktionsmechanismus der GaN-Bildung vom reinen JMA-Typ zu einem kombinierten Mechanismus aus grenzflächenkontrolliertem Prozeß und JMA-Reaktion verändern kann (z.B. Lösungen mit einer Lösungsmittel-Konzentration von 25%).

Es werden Kriterien für ein Screening-Verfahren auf der Basis der gewonnenen Erkenntnisse zum Einfluß von Lösungsmitteln auf die Induktionsperiode vorgeschlagen, um neue Lösungsmittel zu untersuchen. Die Untersuchungen zum Einfluß von experimentellen Parametern auf die Induktions- und Wachstumsphase zeigen, daß die Thermogravimetrie als unterstützendes Verfahren bei der Optimierung von Kristallzüchtungsprozessen (im besonderen hier des LPSG-Verfahrens) herangezogen werden kann.

Sun, Guoli

Thermogravimetric Studies of Nitrogen Solubility in Gallium Solutions and Reaction Kinetics of Gallium with Ammonia

At present, solution growth methods are actively explored to grow bulk GaN crystals at high temperature and high pressure or at low temperature and lower pressure using various fluxes. A technique for Low Pressure Solution Growth (LPSG) was successfully developed in the Crystal Growth Department of Fraunhofer IISB, in which flowing NH₃ is used as nitrogen source at ambient pressure. The aim of this study is to provide useful information and data needed for the development of the Low Pressure Solution Growth method, by studying the nitrogen solubility in Ga solutions and investigating the mechanism of nucleation and crystallization of GaN from a Ga containing solution.

The thermogravimetry (TG) technique is explored to investigate gas-metal interactions, including measurement of nitrogen solubility in Ga solutions and the determination of reaction kinetics of Ga and NH₃. A high performance (noise level < 2 mg, curve drift: ±1 - 4 mg/h) of the TG set-up was obtained by the optimizations including the improvements of the baseline reproducibility, long-time stability and resolution of the instrument. The technique was proven suitable to measure low nitrogen solubility in metals using Fe as a reference material. A detection limit (1x10⁻³ wt%) was determined for the TG set-up used in this study.

Measurements of nitrogen solubility in Ga solutions were carried out. Compared to the modeled solubility for pure Ga under NH₃ atmosphere, the addition of the solvents strongly enhances the nitrogen solubility in Ga under the

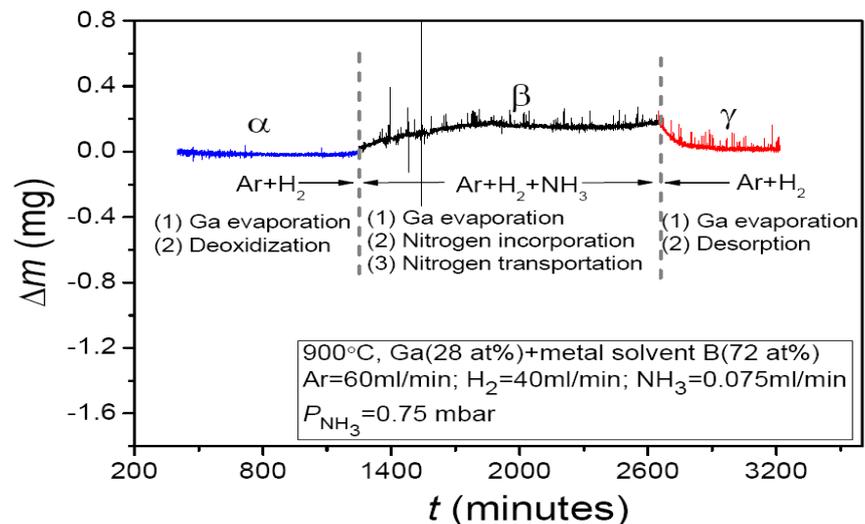


Fig. 2: Korrigierte Massenänderung (Δm) der Ga-Lösung als Funktion der Reaktionszeit (t). Die Bereiche α , β , und γ kennzeichnen den Bereich der Ga-Desoxidierung, Stickstoff-Absorption und der Stickstoff-Desorption;

Plot of the corrected weight change (Δm) vs. time (t) for a Ga solution. The regions, α , β , and γ stand for the processes of Ga deoxidization, nitrogen absorption, and nitrogen desorption.

same experimental conditions by roughly three orders of magnitude.

A kinetic model was developed to evaluate the absorption and desorption rates of atomic nitrogen in Ga solutions. It was found that the rate constants of the forward process calculated from the models are different in the case of absorption and desorption. This could arise from different surface reactions under the different atmospheres for the processes of absorption and desorption, which have been neglected for simplicity so far.

A systematic investigation of the reaction kinetics of the GaN formation was carried out. The curve of the conversion ratio vs. reaction time generally has a sigmoidal shape with two important parts, induction period and a section of crystal growth with a constant rate. Experimental conditions like temperature, ammonia partial pressure, solvent concentrations and seeds etc. have influences on these two parts.

The Johnson-Mehl-Avrami (JMA) model was used for the analysis of the forma-

tion mechanism of GaN crystals. The GaN formation from a Ga solution with a solvent concentration of 50 % can be described by a JMA type reaction with a nucleation/growth kinetic mechanism with a constant nucleation rate and a growth rate not limited by diffusion but by the liquid-solid phase boundary. The experimental results showed that the concentrations of solvents could change the reaction mechanism of GaN formation from a JMA type to a combination of a JMA type and an interface-controlled mechanism (i.e. for pure Ga or Ga solutions with a solvent concentration of 25 %).

A criterion for a screening of possible new solvents is established based on the influence of solvents on nitrogen solubility in Ga solutions and the induction period in the plot of the conversion ratio of GaN vs. reaction time. The studies of the effects of experimental parameters on the induction period and crystal growth shows the application of TG-studies in view to the optimization of crystal growth processes (especially here the LPSG process) can be very beneficial.

Tollkühn, Bernd

Neue Methoden zur automatischen Kalibrierung von Modellparametern für die Simulation optischer Lithographieprozesse

Die Simulation ist für die Erforschung und Entwicklung optischer Lithographieprozesse unverzichtbar geworden. Auf Grund der Komplexität der betrachteten physikalischen und chemischen Prozesse müssen bis zu 40 Parameter bestimmt werden, bevor Simulationen durchgeführt werden können. In dieser Arbeit wurden neue Methoden zur automatischen Kalibrierung von Modellparametern für die optische Lithographiesimulation entwickelt. Neue Zielfunktionen wurden entwickelt, die für beliebige Modellparameter und Kombinationen zur Evaluation von Prozeßgrößen wie Linienbreiten, Prozeßfenstern und Photolackprofilen angewendet werden können. Des Weiteren wurden vereinfachte Photolackmodelle für eine schnelle Prozeß-Simulation implementiert, kalibriert und erweitert. Ein Verfahren zum automatischen Anpassen der Simulation an die Prozesse nicht chemisch verstärkter Photolacke wurde entwickelt. Ein lokaler Simplex-Algorithmus wurde verwendet, um die multiple Parameterkalibrierung zu automatisieren. Geeignete Startwerte wurden durch eine Vorkalibrierung bestimmt. Um mit dieser Methode einen optimalen Parametersatz zu erhalten, müssen weniger als 200 Fokus-Belichtungs-

Matrizen simuliert werden. Weiterhin wurde ein neues Verfahren entwickelt, um Modelle chemisch verstärkter Photolacke mit dem Simplex-Algorithmus zu optimieren. Die Modelle wurden für Fokus-Belichtungs-Matrizen mit verschiedenen Maskenstrukturen und Photolackprofilen kalibriert.

Es zeigte sich, daß die Anwendung dieses Verfahrens für diese Modelle nicht komfortabel ist: Die komplexen physikalischen und chemischen Prozesse chemisch verstärkter Photolacke müssen mit verfeinerten Modellen durch zusätzliche Parameter beschrieben werden. Deshalb wurde ein genetischer Algorithmus für die Kalibrierung von chemisch verstärkten 248-nm- und 193-nm-Photolacken verwendet. Der genetische Algorithmus verbesserte die Genauigkeit der Kalibrierungsergebnisse. Dies ist darauf zurückzuführen, daß die Dimension des Parameterraumes, im Vergleich zur Optimierung mit dem Simplex-Algorithmus, um mehr als das Fünffache vergrößert werden konnte. Zusätzlich verbesserte eine Betrachtung der Meßfehler die Ergebnisse der Kalibrierung signifikant. Die Modelle wurden gleichzeitig für eine Fokus-Belichtungs-Matrix, Daten für die optische Nahbereichskorrektur, den Maskenfehler-Verstärkungs-Faktor und die Linearität kalibriert.

Außerdem wurden neue Algorithmen für die Prozeßfenster-Evaluierung entwickelt. Der erste Algorithmus erlaubt eine analytische Darstellung von Fokus-

Belichtungs-Matrizen mit Polynomen. Die Polynome können für eine quantitative Bewertung der Gebiete sich überlappender Prozeßfenster von simulierten und experimentellen Daten verwendet werden. Der zweite Algorithmus erlaubt eine visuelle Bewertung der Prozeßfenster. Unterschiedliche Darstellungen und die Analyse von Prozeßfenstern erlauben verschiedene Anwendungen.

Es ist wichtig, den Einfluß der Modellparameter auf die Simulationsergebnisse zu kennen, um die Komplexität der Kalibrierung zu reduzieren. Deshalb wurde ein neuer Algorithmus entwickelt, der die Empfindlichkeit beliebiger Modellparameter in einem festgelegten Parameterraum automatisch analysiert. Der Algorithmus kombiniert verschiedene Methoden der Korrelationsanalyse mit der Simulation optischer Lithographieprozesse. Die Ergebnisse zeigten, daß wesentliche Simulationseffekte mit 4 oder 5 Parametern beschrieben werden können. Auf Grund der Ergebnisse wurden vereinfachte Photolackmodelle implementiert und für 1D- und 2D-Maskenstrukturen kalibriert. Es wurde gezeigt, daß ein vereinfachtes 1D-Modell Fokus-Belichtungs-Matrizen für verschiedene Prozeßbedingungen simulieren kann. Eine Erweiterung der Modelle wurde notwendig, um ein Modell für eine Fokus-Belichtungs-Matrix, Daten für die optische Nahbereichskorrektur, den Maskenfehler-Verstärkungs-Faktor und die Linearität zu kalibrieren. Das 2D-Modell wurde für isolierte Ketten und Felder von Kontaktlöchern für einen 193-nm-Photolack kalibriert. Für viele Beispiele konnten die vereinfachten Modelle die experimentellen Daten ebenso gut vorhersagen wie die auf chemischen und physikalischen Gesetzmäßigkeiten basierenden Modelle. Im Gegensatz zu den auf chemischen und physikalischen Gesetzmäßigkeiten basierenden Modellen sind die vereinfachten Modelle 100 mal schneller.

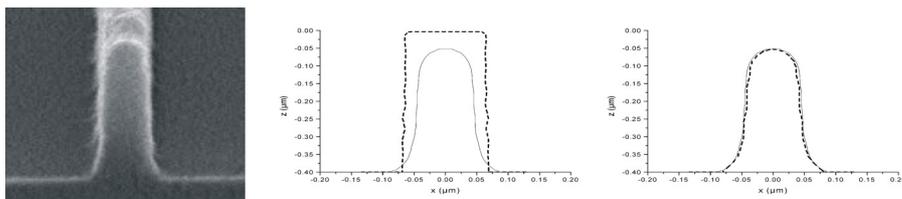


Fig. 1: Kalibrierung der Photolackmodelle mit einem Querschnittsbild eines Profils. Die kontinuierliche Linie visualisiert das gemessene, die gestrichelte Linie visualisiert das simulierte Profil (links: REM Bild; Mitte: Profil vor der Optimierung; rechts: Profil nach der Optimierung); Calibration of resist models with cross section pictures of a profile. The continuous line visualizes the measured, the dashed line visualizes the simulated profile (left: SEM picture; middle: profile before optimization; right: profile after optimization).

Tollkühn, Bernd

New Methods for an Automatic Calibration of Model Parameters for the Simulation of Optical Lithography Processes

Simulation has become indispensable for research and development of optical lithography processes. Due to the complexity of the physical and chemical processes to be taken into account, typically about 40 parameters have to be calibrated before simulation can be performed. In this thesis, new methods were developed to automatically calibrate model parameters for optical lithography simulation. New objective functions were developed which can be applied to arbitrary model parameters and combinations of process evaluation criteria such as linewidth, process windows, and resist profiles. Furthermore, simplified resist models were implemented, calibrated and enhanced for a fast resist process simulation. An automated fitting procedure was developed for the simulation of non-chemically amplified resist processes. A local acting simplex algorithm was used to automate the multiple parameter calibration. In order to find appropriate start values, a precalibration was applied. To obtain an optimum parameter set with this method, less than 200 focus exposure matrix simulations have to be performed. Additionally, a new procedure was developed to optimize models for chemically amplified resists with the simplex algorithm. The models were calibrated for focus exposure matrices with different mask structures and resist profiles.

It was shown that the procedure is not comfortable for these models: The complex physical and chemical processes in chemically amplified resists have to be described by sophisticated simulation models with additional pa-

rameters. Therefore, a genetic algorithm was used for the calibration of models for 248 nm and 193 nm chemically amplified resists, because more parameters have to be calibrated. The genetic algorithm increased the accuracy of the calibration results. This is due to the fact that the dimension of the parameter space can be increased by a factor of 5 or more compared to the optimization with a simplex algorithm. Additionally, the consideration of metrology errors significantly improved the output of the calibration runs. The models were calibrated simultaneously to a focus exposure matrix, optical proximity correction data, mask enhancement error factor data, and linearity data.

Furthermore, new algorithms for process window evaluation were developed. The first algorithm allows an analytical representation of focus exposure matrices with polynomials. The polynomials could be used to quantitatively evaluate the areas of overlapping process windows between simulated and experimental data. The second algorithm allows a visual analysis of process windows. Different representations and the analysis of process windows allow usage within various application scenarios.

It is important to know the impact of model parameters on simulation results

to decrease the complexity of the calibration. Therefore, a new algorithm was developed which automatically analyzes the sensitivity of arbitrary model parameters in a fixed parameter space. The algorithm combines general methods of correlation analysis with the simulation of optical lithography processes. The results of this analysis showed that main simulation effects can be described by only 4 or 5 parameters. Based on these findings, simplified resist models were implemented and the models were calibrated for 1D and 2D mask layout structures. It was shown that one 1D simplified model can simulate focus exposure matrices for different mask structures and process conditions. An enhancement of the models was necessary to calibrate focus exposure matrix, optical proximity correction data, mask enhancement error factor data, and linearity data with one model. The 2D model was calibrated for isolated contact holes, chains of contact holes, and arrays of contact holes for a 193 nm DRAM resist. For many examples, the simplified resist models could predict measured data as precisely as chemically and physically based models can do. In contrast to the chemically and physically based models, the simplified models are 100 times faster.

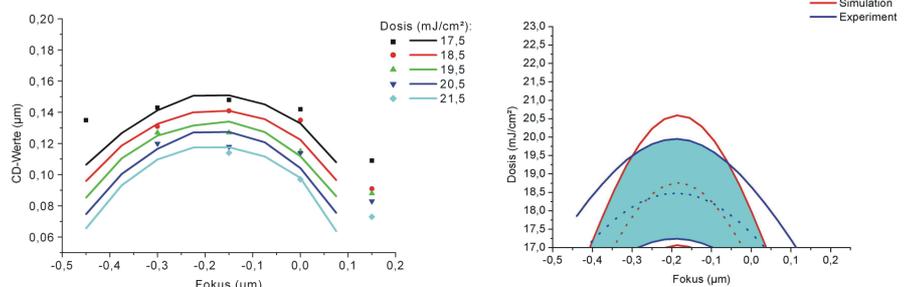


Fig. 2: Vergleich zwischen gemessener (Punkte links) und simulierter Fokus-Belichtungs-Matrix sowie das entsprechende Prozeßfenster (rechts) eines chemisch verstärkten Photolacks nach dem Anpassen der Prozeßfenster;
Comparison of measured (dots in left) and simulated focus exposure matrix as well as the corresponding process window (right) of a chemically amplified resist after matching the process window.

Herausgegebene Bücher / Buchbeiträge
Edited Books / Contributions to Books

Deák, P., Gali, Á., Pichler, P.:
Quantum Mechanical Studies of Boron Clustering in Silicon
High Performance Computing in Science and Engineering '05, Eds.: W. E. Nagel, W. Jäger, M. Resch, Berlin: Springer, 255, 2006

Dirnecker, T.:
Untersuchung von Aufladungseffekten bei der Ionenimplantation
Universität Erlangen-Nürnberg, Lehrstuhl Elektronische Bauelemente
Dissertation
Erlanger Berichte Mikroelektronik, Band 2/2006 Hrsg.: H. Ryssel, Shaker Verlag, 2006

Häublein, V.:
Kontaminationsprozesse in der Ionenimplantation
Universität Erlangen-Nürnberg, Lehrstuhl Elektronische Bauelemente
Dissertation
Erlanger Berichte Mikroelektronik, Band 1/2006 Hrsg.: H. Ryssel, Shaker Verlag, 2006

Publikationen
Publications

Banos, N.:
Implementierung eines Modells zur Simulation der Versetzungsmultiplikation bei Kristallzüchtungsprozessen
Universität Erlangen-Nürnberg, Lehrstuhl Elektronische Bauelemente
Dissertation
<http://www.opus.ub.uni-erlangen.de/opus/volltexte/2006/349/>

Berberich, S.E., März, M., Bauer, A.J., Beuer, S.K., Ryssel, H.:
Active Fuse
Proceedings "18th International Symposium on Power Semiconductor Devices and Ics" (ISPSD), Naples, Italy, 165, 2006

Birkmann, B., Hussy, S., Sun, G., Berwian, P., Meissner, E., Friedrich, J., Müller, G.:
Considerations on Facetting and on the Atomic Structure of the Phase Boundary in Low-pressure Solution Growth of GaN
Journal of Crystal Growth, 297, 133, 2006

Birkmann, B., Salcianu, C., Meissner, E., Hussy, S., Friedrich, J., Müller, G.:
Characterisation of the Electrical Properties of Solution-grown GaN Crystals by Reflectivity and Hall Measurements
phys. stat. sol. (C) 3, 575, 2006

Dagner, J., Hainke, M., Jung, T., Kellner, M., Hadler, H., Friedrich, J., Müller, G.:
Global Modeling of Heat Transfer during Solidification Experiments
Proceedings "Modeling of Casting, Welding, and Advanced Solidification Processes – XI", 1027 - 1034, 2006

Dagner, J., Weiss, A., Hainke, M., Zimmermann, G., Müller, G.:
Global Modeling of Directional Solidification Processes of Binary and Ternary Aluminum Alloys Using the Software Package CrysVUn

Materials Science Forum, 508, Trans Tech Publications, 437, 2006

Eckardt, B., März, M.:
A 100 kW Automotive Powertrain DC/DC Converter with 25 kW/dm³ by Using SiC
Proceedings "PCIM Conference", CD-ROM, Nuremberg, 2006

Eckardt, B., März, M.:
High Power Density DC/DC Converter for Traction Energy Management
Power Electronics Europe, 6, 38, 2006

Eckardt, B., Hofmann, A., Zeltner, S., März, M.:
Automotive Powertrain DC/DC Converter with 25 dW/dm³ by Using SiC Diodes
Proceedings "4th International Conference on Integrated Power Systems" (CIPS), CD-ROM, 2006

Erdmann, A., Graf, T., Bubke, K., Höllein, I., Teuber, S.:
Mask Defect Printing Mechanisms for Future Lithography Generations
Proceedings "2006 SPIE Conference", 61541C, 2006

Erdmann, A., Citarella, G., Evanschitzky, P., Schermer, H., Philipsen, V., De Bisschop, P.:
Validity of the Hopkins Approximation in Simulations of Hyper-NA (NA>1) Line-space Structures for an Attenuated PSM Mask
Proceedings "2006 SPIE Conference", 61540G, 2006

Erdmann, A., Evanschitzky, P., Citarella, G., Fühner, T., De Bisschop, P.:
Rigorous Mask Modeling Using Waveguide and FDTD Methods: An Assessment for Typical Hyper NA Imaging Problems
Proceedings "2006 SPIE Conference", 6283, 628319, 2006

Fischer, B.:
Leistungselektronik für's Auto der Zukunft
Handling, 4/5, 25, 2006

- Frickinger, J., Öchsner, R., Schellenberger, M., Pfeffer, M., Pfitzner, L., Ryssel, H., Claes, M., Bearda, T., Renaud, D., Danel, A., Lering, M., Graef, M., Kaushik, V., Murphy, B., Fritzsche, M., Walther, H., Hury, S.:
Flying Wafer - a Standardised Methodology for Multi-site Processing of 300 mm Wafers at R&D-Sites
Industrial Supplement And Discussion Papers, INCOM 2006, 59, 2006
- Fühner, T., Popp, S., Dürr, C., Erdmann, A.:
Efficient Optimization of Lithographic Process Conditions Using a Distributed, Combined Global/Local Search Approach
Proceedings "2006 SPIE Conference", 6154, 61543S, 2006
- Gelpey, J., McCoy, S., Camm, D., Lerch, W., Paul, S., Pichler, P., Borland, J.O., Timans, P.:
Flash Annealing Technology for USJ: Modeling and Metrology
Proceedings "14th IEEE International Conference on Advanced Thermal Processing of Semiconductors RTP 2006", 103, 2006
- Ghicov, A., Macak, J.M., Tsuchiya, H., Kunze, J., Häublein, V., Schmuki, P.:
Ion Implantation and Annealing for an Efficient N-Doping of TiO₂ Nanotubes
Nano Letters 6, 5, 1080, 2006
- Ghicov, A., Macak, J.M., Tsuchiya, H., Kunze, J., Häublein, V., Kleber, S., Schmuki, P.:
TiO₂ Nanotube Layers: Dose Effects During Nitrogen Doping by Ion Implantation
Chemical Physics Letters 419, 4 - 6, 426, 2006
- Häublein, V., Frey, L., Ryssel, H.:
The Impact of Mass Resolution on Molybdenum Contamination for B, P, BF₂ and As Implantations
AIP Conference Proceedings of the 16th International Conference on Ion Implantation Technology, IIT 2006, 464, 2006
- Hainke, M., Dagner, J., Wu, M., Ludwig, A.:
Control of Interdendritic Convection by the Application of Time-Dependent Magnetic Fields during Directional Solidification of Aluminum Alloys
Proceedings "Modeling of Casting, Welding, and Advanced Solidification Processes - XI", 317, 2006
- Hainke, M., Dagner, J., Friedrich, J., Müller, G.:
Simulation of ESA's MSL Furnace Inserts and Sample-cartridge Assemblies Using the Thermal Modeling Tool CrysvUn
Proceedings "Solidification and Gravity IV", Material Science Forum Vol. 508, 151, 2006
- Hainke, M., Steinbach, S., Dagner, J., Ratke, L., Müller, G.:
Solidification of AlSi Alloys in the ARTEMIS and ARTEX Facilities Including Rotating Magnetic Fields - A Combined Experimental and Numerical Analysis
Proceedings "Solidification and Gravity IV", Material Science Forum, 508, 199, 2006
- Holfeld, C., Bubke, K., Lehmann, F., La Fontaine, B., Pawloski, R., Schwarzl, S., Kamm, F.M., Graf, T., Erdmann, A.:
Defect Printability Study Using EUV Lithography
Proceedings "2006 SPIE Conference", 6151, 61510U, 2006
- Hussy, S., Meissner, E., Birkmann, B., Brauer, I., Scholz, F., Strunk, H.P., Müller, G.:
Morphology and Microstructure of a-plane GaN Layers Grown by MOVPE and by Low Pressure Solution Growth (LPSG)
phys. stat. sol. (A) 203, 7, 1676, 2006
- Jank, M.P.M., Kandziora, C., Frey, L., Ryssel, H.:
Well Design in a Bulk CMOS Technology with Low Mask Count
AIP Conference, Proceedings "16th International Conference on Ion Implantation Technology" IIT 2006, 121, 2006
- Kistler, S.:
Dreidimensionale Topographiesimulation der ionisierten Metallplasma-Abscheidung in der Halbleitertechnologie
Universität Erlangen-Nürnberg, Lehrstuhl Elektronische Bauelemente
Dissertation
<http://www.opus.ub.uni-erlangen.de/opus/volltexte/2006/460/>
- März, M., Billmann, M., Schimanek, E., Schletz, A.:
Herausforderung Systemintegration am Beispiel von Leistungselektronik für die Autos von morgen
Tagungsband der VDE-ETG Tagung "Bauelemente der Leistungselektronik und ihre Anwendungen", 131, 2006
- März, M., Schimanek, E., Schletz, A., Eckardt, B., Egelkraut, S.:
Neue Materialien und Komponenten für hoch-kompakte, systemintegrierbare Leistungselektronik
Fachtagungsberichte des VDE Kongresses 2006, 1, 439, 2006
- März, M., Poech, M.H., Schimanek, E., Schletz, A.:
Mechatronic Integration into the Hybrid Powertrain - the Thermal Challenge
Proceedings "International Conference on Automotive Power Electronics" (APE), CD-ROM, 2006
- März, M.:
Antriebskomponenten für Hybridfahrzeuge - Symbiose von Elektronik und Mechatronik
Sonderausgabe "Antriebstechnik" der Zeitschrift "Konstruktion", 82, 2006
- Müller, G., Friedrich, J.:
Yield Improvement and Advanced Defect Control - Driving Forces for Modeling of Bulk Crystal Growth
Journal of Rare Earths, 24, 200, 2006
- Nenyei, Z., Niess, J., Lerch, W., Dietl, W., Timans, P.J., Pichler, P.:
Pattern Effects with the Mask Offdots
Proceedings "14th IEEE International Conference on Advanced Thermal Processing of Semiconductors RTP 2006", 177-191, 2006

- Nutsch, A., Öchsner, R.:
Scenario for a Yield Model Based on Reliable Defect Density Data and Linked to Advanced Process Control
The Electrochemical Society, ECS Transactions, 2, 2, 433, 2006
- Nutsch, A., Supplith, F.:
Importance of Noise and Crystal Defects for Matching of Defect Inspection Tools at 50 nm Defect Size
Proceedings "7th European Advanced Equipment Control/Advanced Process Control" (AEC/APC) Conference, P607, 2006
- Öchsner, R., Frickingner, J., Pfeffer, M., Schellenberger, M., Roeder, G., Pfitzner, L., Ryssel, H., Fritzsche, M., Kaushik, V., Renaud, D., Danel, A., Claeys, C., Bearda, T., Lering, M., Graef, M., Murphy, B., Walther, H., Hury, S.:
Approach for a Standardized Methodology for Multi-site Processing of 300 mm Wafers at R&D-Sites
Proceedings "15th International Symposium on Semiconductor Manufacturing 2006" (ISSM), CD-ROM, Tokyo, 2006
- Öchsner, R., Pfeffer, M., Pfitzner, L., Ryssel, H., Beer, K., Boldin, M., de Mey, B., Engelhard, M., O'Murchu, C., Ditmar, J., Colson, P., Madore, M., Krahn, L., Kempe, W., Luisman, E.:
Creation of E-Learning Content for Microelectronics Manufacturing
Proceedings "12th IFAC Symposium on Information Control Problems in Manufacturing" (INCOM'2006), Saint-Etienne, France, 29, 2006
- Öchsner, R., Pfeffer, M., Pfitzner, L., Ryssel, H., Beer, K., Boldin, M., de Mey, B., Engelhard, M., O'Murchu, C., Ditmar, J., Colson, P., Madore, M., Krahn, L., Kempe, W., Luisman, E.:
Creation of E-Learning Content for Microelectronics Manufacturing
Proceedings "Interactive Computer Aided Learning Conference" (ICL) 2006, Villach, Austria, CD-ROM, 2006
- Paskaleva, A., Atanassova, E., Lemberger, M., Bauer A.J.:
Correlation between Defects, Leakage Currents and Conduction Mechanisms in Thin High-k Dielectric Layers
Defects in High-k Gate Dielectric Stacks, NATO Science Series II: Mathematics, Physics and Chemistry, Hrsg: Gusev and Evgenj, 220, 411, 2006
- Paskaleva, A., Lemberger, M., Bauer, A.J.:
Stress Induced Leakage Currents and Charge Trapping in Thin Zr- and Hf-Silicate Layers
Proceedings "25th International Conference on Microelectronics" (MIEL 2006), 589, 2006
- Pfitzner, L., Schellenberger, M., Öchsner, R., Roeder, G., Pfeffer, M.:
Trends in European R&D - Advanced Process Control Down to Atomic Scale for Micro- and Nanotechnologies
ECS Transactions, 2, 2, 33, 2006
- Pfitzner, L., Roeder, G., Schellenberger, M., Öchsner, R., Nutsch, A.:
History and Perspective of Integrated Metrology
Proceedings "SEMI Technology Symposium" (STS), SEMICON Japan, CD-ROM, 2006
- Pichler, P., Burenkov, A., Lerch, W., Lorenz, J., Paul, S., Niess, J., Nényei, Z., Gelpey, J., McCoy, S., Windl, W., Giles, L.F.:
Process-Induced Diffusion Phenomena in Advanced CMOS Technologies
Diffusion in Solids and Liquids, ed. by A. Öchsner and J. Grácio, Defect and Diffusion Forum 258-260, 510, 2006
- Pichler, P., Ortiz, C.J., Colombeau, B., Cowern, N.E.B., Lampin, E., Uppal, S., Karunaratne, M.S.A., Bonar, J.M., Wilmoughby, A.F.W., Claverie, A., Cristiano, F., Lerch, W., Paul, S.:
Diffusion and Activation of Dopants in Silicon and Advanced Silicon-Based Materials
Physica Scripta T126, 89, 2006
- Rambach, M., Frey, L., Bauer, A.J., Ryssel, H.:
Extracting Activation and Compensation Ratio from Aluminum Implanted 4H-SiC by Modeling of Resistivity Measurements
Materials Science Forum, 527-529, 827, 2006
- Ratke, L., Steinbach, S., Müller, G., Hainke, M., Roósz, A., Fautrelle, Y., Dupouy, M.D., Zimmermann, G., Weiß, A., Diepers, H., Lacaze, J., Raldes, R., Grün, G.U., Nicolai, H.-P., Gerke-Cantow, H.:
MICAST – Microstructure Formation in Casting of Technical Alloys under Diffusive and Magnetically Controlled Convective Conditions
Proceedings "Solidification and Gravity IV", Material Science Forum, 508, 131, 2006
- Roeder, G., Schellenberger, M., Pfitzner, L., Ryssel, H., Richter, U., Stehle, J.-L., Piel, J.-P.:
Standardization of Integrated Ellipsometry for Semiconductor Manufacturing
4th Workshop "Ellipsometry, Federal Institute for Materials Research and Testing", Conference Proceedings CD-ROM, 2006
- Roeder, G., Schellenberger, M., Öchsner, R., Pfeffer, M., Frickingner, J., Pfitzner, L., Ryssel, H., Fritzsche, M.:
Prospects for the Realization of APC in a Distributed 300 mm R&D-Line
7th European Advanced Equipment Control / Advanced Process Control (AEC/APC) Conference, Conference Proceedings CD-ROM, 2006
- Rouzaud, A., Perret, A., Klumpp, A., Bauer, A.J., Van Hoof, Ch., O'Neill, B.:
MNT Europe project: The collaborative European program for a MNT Distributed Platform
Proceedings "11th Commercialization of Micro and Nano System Conference" (COMS), 2006
- Schermer, J., Evanschitzky, P., Erdmann, A.:
Rigorous Mask Modeling beyond the Hopkins Approach
Proceedings "22nd European Mask and Lithography Conference" (EMLC), 49, 95, 2006

Schermer, J., Evanschitzky, P., Erdmann, A.:
Rigorous Mask Modeling beyond the Hopkins Approach
Proceedings "SPIE Conference 2006", 6281, 62810A, 2006

Schnattinger, T., Bär, E., Erdmann, A.:
A Fast Development Simulation Algorithm for Discrete Resist Models
Microelectronic Engineering, 83, 1008, 2006

Schnattinger, T., Bär, E., Erdmann, A.:
Mesoscopic Resist Processing Simulation in Optical Lithography
Proceedings "International Conference on Simulation of Semiconductor Processes and Devices", SISPAD, 341, 2006

Schnattinger, T., Bär, E., Erdmann, A.:
Three-dimensional Resist Development Simulation with Discrete Models
Journal of Vacuum Science and Technology B, 24, 3040, 2006

Schröder, T., März, M.:
Hybrid-Elektronik wird künftig deutlich kompakter
Automobilwoche, 5, 28, 2006

Schröder, T., März, M.:
Banana-shaped Components
Fraunhofer Magazine, 2, 32, 2006

Steinbach, S., Dagner, J., Hainke, M., Friedrich, J., Ratke, L.:
A Combined Numerical and Experimental Study of the Effects of Controlled Fluid Flow on Alloy Solidification
Materials Science Forum, 519 - 521, 1753, 2006

Sun, G., Meissner, E., Hussy, S., Birkmann, B., Friedrich, J., Müller, G.:
Morphologies of GaN Single Crystals Grown from Ga Solutions under Flowing Ammonia
Journal of Crystal Growth, 292, 201, 2006

Titus, J., Birkmirea, R.W., Hack, C., Müller, G., McKeown, P.:
Sulfur Incorporation into Copper Indium Diselenide Single Crystals Through An-

nealing in Hydrogen Sulfide
Journal of Applied Physics, 99, 043502, 2006

Tollkühn, B.:
Neue Methoden zur automatischen Kalibrierung von Modellparametern für die Simulation optischer Lithographieprozesse
Universität Erlangen-Nürnberg, Lehrstuhl Elektronische Bauelemente
Dissertation
www.opus.ub.uni-erlangen.de/opus/volltexte/2006/396

Zimmermann, G., Sturz, L., Dagner, J.:
Directional Solidification of AlSiMg0.3-Alloys in a Rotating Magnetic Field
Proceedings "5th International Symposium on Electromagnetic Processing of Materials" (EPM 5), 375, 2006

Vorträge Presentations

Bär, E.:
Complete Process Simulation: Requirements and Methods in Topography Simulation
8th IISB Annual Conference
IISB, Erlangen
12. Oktober 2006

Banos, N.:
Implementierung eines Modells zur Simulation der Versetzungsmultiplikation bei Kristallzüchtungsprozessen
Promotion
IISB, Erlangen
16. Februar 2006

Bauer, A.J.:
Nanodevices - Need for New Materials
Bereichüberschreitendes Bauelemente-Fachtreffen der Siemens Medical Solution
IISB, Erlangen
29. März 2006

Bauer, A.J.:
Hochtemperatur RTP am Beispiel Siliciumcarbid
19. Treffen der Nutzergruppe RTP
IISB, Erlangen
18. Mai 2006

Bauer, A.J.:
FEOL Processes and Material Development
Technologietag des Fraunhofer-Verbands Mikroelektronik
Dresden
27. - 28. Juni 2006

Beuer, S., Rommel, M., Lehrer, C., Platzgummer, E., Kvasnica, S., Bauer, A.J., Ryssel, H.:
Accurate Parameter Extraction for the Simulation of Direct Structuring by Ion Beams
International Conference on Micro- and Nano-Engineering (MNE) 2006
Barcelona, Spain
17. - 20. September 2006

Brauer, I., Hussy, S., Meissner, E.,
Birkmann, B., Friedrich, J., Strunk, H.P.,
Müller, G.:
*Transmission Electron Microscope Study
of the Reduction of the Dislocation
Density of GaN Layers Grown by Low
Pressure Solution Growth (LPSG)*
Joint Meeting of German and Polish
Associations for Crystal Growth
Berlin
6. - 8. März 2006

Burenkov, A., Bär, E.:
*Bauelemente- und Interconnect-
Simulation im Projekt NanoCMOS*
Gemeinsames Kolloquium zur Halblei-
tertechnologie und Meßtechnik des LEB
und des IISB
IISB, Erlangen
15. Mai 2006

Burenkov, A., Bär, E.:
*Bauelemente- und Interconnect-
Simulation im Projekt NanoCMOS*
Oberseminar am Lehrstuhl für
Technische Elektrophysik
Technische Universität, München
22. Mai 2006

Burenkov, A., Lorenz, J.:
*Numerical Simulation of Advanced
CMOS Devices*
IEEE EDS Workshop on Advanced Elec-
tron Devices
Fraunhofer IMS, Duisburg
14. Juni 2006

Burenkov, A.:
*Assessment of Future Device Architec-
tures by Simulation*
8th IISB Annual Conference
IISB, Erlangen
12. Oktober 2006

Dagner, J., Hainke, M., Jung, T.,
Friedrich, J., Müller, G.:
*Global Modeling of Heat Transfer dur-
ing Solidification Experiments*
Modeling of Casting, Welding and Ad-
vanced Solidification Processes XI
Opio, France
2. Juni 2006

Dirnecker, T.:
*Untersuchung von Aufladungseffekten
bei der Ionenimplantation*

Promotion
IISB, Erlangen
31. Januar 2006

Domes, K.:
*Stromsensoren in der Leistungselektro-
nik für Ströme von einigen hundert
Ampère*
Gemeinsames Kolloquium zur Halblei-
tertechnologie und Meßtechnik des LEB
und des IISB
IISB, Erlangen
10. Juli 2006

Erdmann, A., Citarella, G.,
Evanschitzky, P., Schermer, H.,
Philipsen, V., De Bisschop, P.:
*Validity of the Hopkins Approximation
in Simulations of Hyper-NA (NA > 1)
Line-space Structures for an Attenuated
PSM Mask*
SPIE Symposium on Microlithography
San Jose, USA
19. - 24. Februar 2006

Erdmann, A., Graf, T., Bubke, K.,
Höllein, I., Teuber, S.:
*Mask Defect Printing Mechanisms for
Future Lithography Generations*
SPIE Symposium on Microlithography
San Jose, USA
19. - 24. Februar 2006

Erdmann, A., Evanschitzky, P., Citarella,
G., Fühner, T., De Bisschop, P.:
*Rigorous Mask Modeling Using Wave-
guide and FDTD Methods: An Assess-
ment for Typical Hyper NA Imaging
Problems*
Photomask Japan 2006
Yokohama, Japan
18. - 20. April 2006

Erdmann, A.:
*Rigorous Electromagnetic Field Simula-
tion: Challenges and Solutions for Li-
thography Simulation*
8th IISB Annual Conference
IISB, Erlangen
12. Oktober 2006

Erlbacher, T., Jank, M.P.M., Lemberger,
N., Bauer, A.J., Ryssel, H.:
*HfSiO₂/SiO₂- and SiO₂/HfSiO₂/SiO₂-Gate
Stacks for Non-Volatile Memories*
Workshop on " Dielectrics in Microelec-

tronics" (WoDiM) 2006
Catania, Italy
25. - 27. Juni 2006

Evanschitzky, P.:
*Rigorous Simulation optischer und EUV
Lithographiemasken mittels der Wave-
guide-Methode*
Gemeinsames Kolloquium zur Halblei-
tertechnologie und Meßtechnik des LEB
und des IISB
IISB, Erlangen
3. Juli 2006

Evanschitzky, P.:
*Fast Optical and EUV Mask Near Field
Simulation Using the Waveguide
Method*
4th IISB Lithography Simulation Work-
shop
Hersbruck
29. September - 1. Oktober 2006

Evanschitzky, P.:
*EUV Lithography - an Important Tech-
nology Option and its Simulation*
8th IISB Annual Conference
IISB, Erlangen
12. Oktober 2006

Fainberg, J., Jung, T., Friedrich, J.,
Müller, G.:
*Coupling of Different Software for Sim-
ulation of Convection Phenomena in
Crystal Growth Configurations*
Joint Meeting of German and Polish
Associations for Crystal Growth
Berlin
6. - 8. März 2006

Fainberg, J.:
*Kopplung von unterschiedlichen Soft-
warekomponenten für die effiziente
Simulation der konvektiven Vorgänge
bei den Kristallzüchtungsprozessen*
Gemeinsames Kolloquium zur Halblei-
tertechnologie und Meßtechnik des LEB
und des IISB
IISB, Erlangen
22. Mai 2006

Fainberg, J., Jung, T., Friedrich, J.,
Müller, G.:
*A New Hybrid Method for the Global
Convection Modeling in the CZ Crystal
Growth Configurations*

- 5th International Workshop on Modeling in Crystal Growth
Bamberg
10. - 13. September 2006
- Frickinger, J.:
Qualifizierung von Front Opening Unified Pods (FOUPs) in AMD's „Fab 36“
Treffen der GMM-Nutzergruppe „Inspektion & Analytik“
IISB, Erlangen
21. Februar 2006
- Frickinger, J.:
New Test Method for Particulate Contamination Control in Minienvironments
Semicon Europa 2006
München
8. April 2006
- Frickinger, J.:
Reinigung von Siliciumscheiben in der Halbleiterfertigung
Technologietag „Kontamination und Reinigung“ bei Berliner Glas
Berlin
11. Mai 2006
- Frickinger, J.:
Flying Wafer - A Concept to Implement a European Distributed 300 mm R&D-Line
INCOM 2006 Conference
Saint-Etienne, France
18. Mai 2006
- Frickinger, J.:
Machbarkeitsstudie über Transfer von 300-mm-Siliciumscheiben zwischen F&E-Standorten
Gemeinsames Kolloquium zur Halbleitertechnologie und Meßtechnik des LEB und des IISB
IISB, Erlangen
29. Mai 2006
- Frickinger, J.:
Contamination Control in Front Opening Unified Pods (FOUPs) for Semiconductor Manufacturing
Conference „Wafer and Reticle Integrity Challenges for Today and Tomorrow“
Dresden
7. November 2006
- Friedrich, J.:
Magnetfelder in der Kristallzüchtung
Institut für Kristallzüchtung
Berlin
1. Mai 2006
- Friedrich, J.:
Kristalle – faszinierende Werkstoffe für die Elektronik
Gymnasium Eckental
Eckental
8. Mai 2006
- Friedrich, J.:
Kristallzüchtung
Technologietag des Fraunhofer-Verbunds Mikroelektronik
Dresden
17. - 28. Juni 2006
- Fühner, T.:
Optimization of Lithographic Conditions by Means of Artificial Evolution
4th IISB Lithography Simulation Workshop
Hersbruck
29. September - 1. Oktober 2006
- Fühner, T.:
Optimization Methods in Lithography Simulation
8th IISB Annual Conference
IISB, Erlangen
12. Oktober 2006
- Häublein, V.:
Charakterisierung von NiCrAl- und SiCr-Schichten
1. Statusmeeting im Projekt Analog IC, Teilprojekt Dünnfilmwiderstände
IISB, Erlangen
6. Februar 2006
- Häublein, V.:
Herstellung von SiC-Feldefekttransistoren
1. Statusmeeting im Projekt NanoHoch
Dresden
16. März 2006
- Häublein, V.:
Kontamination aufgrund von Masseninterferenzen
35. Treffen der Nutzergruppe Ionenimplantation
IISB, Erlangen
19. Mai 2006
- Häublein, V.:
Charakterisierung und Ätzung von NiCrAl- und SiCr-Schichten
2. Statusmeeting im Projekt Analog IC, Teilprojekt Dünnfilmwiderstände
München
13. November 2006
- Häublein, V.:
The Conference IIT 2006 in Retrospect
36th Meeting of the User-group "Ion Implantation"
Villach, Austria
24. November 2006
- Hofmann, A.:
Digitale Regelung für hochphasige DC/DC-Wandler
Gemeinsames Kolloquium zur Halbleitertechnologie und Meßtechnik des LEB und des IISB
IISB, Erlangen
8. Mai 2006
- Holfeld, C., Bubke, K., Lehmann, F., La Fontaine, B., Pawloski, R., Schwarzl, S., Kamm, F.M., Graf, T., Erdmann, A.:
Defect Printability Study Using EUV Lithography
SPIE Symposium on Microlithography
San Jose, USA
19. - 24. Februar 2006
- Hussy, S., Berwian, P., Birkmann, B., Brauer, I., Meissner, E., Friedrich, J., Müller, G.:
Optical, Electrical and Morphological Characterization of 2" Gallium Nitride Layers Grown by Low Pressure Solution Growth Method (LPSG)
Joint Meeting of German and Polish Associations for Crystal Growth
Berlin
6. - 8. März 2006
- Hussy, S., Berwian, P., Birkmann, B., Brauer, I., Meissner, E., Friedrich, J., Müller, G.:
Optical, Electrical and Morphological Characterization of 2" Gallium Nitride Layers Grown by Low Pressure Solution Growth Method (LPSG)
Symposium S "Material Science and Technology of Wide Bandgap Semicon-

ductors", Spring Meeting of the European Materials Research Society
Nice, France
29. Mai - 2. Juni 2006

Hussy, S.:
Charakterisierung von LPSG gezüchteten GaN-Templates
Gemeinsames Kolloquium zur Halbleitertechnologie und Meßtechnik des LEB und des IISB
IISB, Erlangen
19. Juni 2006

Jank, M.P.M., Kandziora, C., Frey, L., Ryssel, H.:
Well Design in a Bulk CMOS Technology with Low Mask Count
16th International Conference on Ion Implantation Technology (IIT) 2006
Marseille, France
11. - 16. Juni 2006

Jank, M.:
Entwicklung und Charakterisierung eines CMOS-Prozesses mit minimierter Anzahl an Lithographieebenen
Promotion
IISB, Erlangen
5. Dezember 2006

Kallinger, B., Meissner, E., Hussy, S., Sun, G., Friedrich, J., Müller, G.:
Study of the Sublimation Growth of GaN on Sapphire Substrates
Joint Meeting of German and Polish Associations for Crystal Growth
Berlin
6. - 8. März 2006

Kallinger, B., Meissner, E., Hussy, S., Sun, G., Friedrich, J., Müller, G.:
Study on the Sublimation Growth of GaN Using Different GaN Powder Sources and Investigations on the Sublimation Behavior of GaN Powder by Means of Thermogravimetry
International Workshop on Nitride Semiconductors
Kyoto, Japan
22. - 27. Oktober 2006

Kistler, S.:
Dreidimensionale Topographiesimulation der ionisierten Metallplasma-Ab-scheidung in der Halbleitertechnologie

Promotion
IISB, Erlangen
31. Juli 2006

Knoke, I.Y., Hussy, S., Meissner, E., Birkmann, B., Friedrich, J., Strunk, H.P., Müller, G.:
Transmission Electron Microscope Study of the Reduction of the Dislocation Density of GaN Layers Grown by Low Pressure Solution Growth (LPSG)
16th International Microscopy Congress (IMC16)
Sapporo, Japan
8. - 12. September 2006

Knoke, I.Y., Hussy, S., Meissner, E., Birkmann, B., Friedrich, J., Strunk, H.P., Müller, G.:
Transmission Electron Microscope Study of the Reduction of the Dislocation Density of GaN Layers Grown by Low Pressure Solution Growth (LPSG)
Extended Defects in Semiconductors
Halle
17. - 22. September 2006

Knoke, I.Y., Hussy, S., Meissner, E., Friedrich, J., Strunk, H.P., Müller, G.:
Correlation between Bending of Dislocations and Surface Morphology of LSPG Grown GaN Layers
DGKK Arbeitskreis Verbindungshalbleiter
DGKK Working Group "Compound Semiconductor"
Freiberg
10. - 11. Oktober 2006

Lorenz, J.:
Fraunhofer Nanotechnology in Germany and Europe
"Nanodistrict" Workshop
Grenoble, France
3. März 2006

Lorenz, J.:
Introduction to Technology Simulation
NanoCMOS/MoreMore Event
Leuven, The Netherlands
9. - 10. Mai 2006

Lorenz, J., Haas, K.-H.:
Fraunhofer at the Nanoworld: Creating Synergies for Optimizing Applications and Enabling New Ones

INC2 Conference (International Nanotechnology Conference on Communications and Cooperation)
Arlington, Virginia, USA
15. - 18. Mai

Lorenz, J., Kücher, P., Lakner, H., Reichl, H., Ryssel, H.:
German High-Tech Corridor in Nanoelectronics Technology Research
INC2 Conference (International Nanotechnology Conference on Communications and Cooperation)
Arlington, Virginia, USA
15. - 18. Mai

Lorenz, J., Pichler, P., Schnattinger, T.:
Semiconductor Technology Simulation Down to the Nanolevel
INC2 Conference (International Nanotechnology Conference on Communications and Cooperation)
Arlington, Virginia, USA
15. - 18. Mai

Lorenz, J.:
Modeling and Simulation
ITRS Summer Conference
San Francisco, CA, USA
12. Juli 2006

Lorenz, J.:
Nanotechnology at Fraunhofer: Materials and Applications in Electronics
BizTech 2006
Eindhoven, The Netherlands
26. September 2006

Lorenz, J.:
Semiconductor Technology Simulation: Industrial Requirements, Technology Roadmaps and the R&D Offer of IISB
8th IISB Annual Conference
IISB, Erlangen
12. Oktober 2006

Lorenz, J.:
Modeling and Simulation
ITRS Winter Conference
Hsin Chu, Taiwan
5. Dezember 2006

März, M.:
Aktive Leisungsbauelemente
OTTI-Profinseminar "Getaktete Stromversorgungen"

- Regensburg
17. - 19. Januar 2006
- März, M.:
Zukünftige Trends der Systemintegration
Kooperationsforum Leistungselektronik
IISB, Erlangen
28. April 2006
- März, M.:
Aktive Leistungsbaulemente
OTTI-Profiseminar "Getaktete Stromversorgungen"
Regensburg
18. - 20. September 2006
- März, M.:
Herausforderung Systemintegration am Beispiel von Leistungselektronik für die Autos von morgen
5. VDE-ETG Fachtagung "Bauelemente der Leistungselektronik und ihre Anwendungen"
Bad Nauheim
10. - 11. Oktober 2006
- März, M.:
Systemintegration in der Leistungselektronik am Beispiel des Hybridantriebs
Bayerisches Cluster Leistungselektronik, Auftaktveranstaltung
Nürnberg
12. Oktober 2006
- März, M.:
Neue Materialien und Komponenten für hochkompakte, systemintegrierbare Leistungselektronik
VDE Kongress 2006, GMM-Fachtagung
Aachen
24. Oktober 2006
- März, M.:
Leistungselektronik für Hybrid-PKW
VDE-ITG Fachgruppe Stromversorgungen, Fachdiskussion
Frankfurt
8. November 2006
- März, M.:
Basics on Heat Transfer
ECPE Seminar "High Temperature Electronics and Thermal Management"
Nürnberg
9. - 10. November 2006
- März, M.:
Special Aspects on Heat Generation and Heat Transfer
ECPE Seminar "High Temperature Electronics and Thermal Management"
Nürnberg
9. - 10. November 2006
- März, M.:
Mechatronische Systemintegration - eine Herausforderung für die Leistungselektronik
Kolloquium der Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik der TU Chemnitz
Chemnitz
16. November 2006
- März, M.:
Elektronik macht mobil - Leistungselektronik für intelligente Antriebe
VE Fachtagung "Mobil und automatisiert - Funktionsintegrierte Selbstüberwachung"
Nürnberg
29. November 2006
- März, M.:
Pkw-Hybridantrieb - Modeerscheinung oder zukunftsweisendes Antriebskonzept
Gemeinsames Kolloquium zur Halbleitertechnologie und Meßtechnik des LEB und des IISB
IISB, Erlangen
18. Dezember 2006
- Meissner, E., Berwian, P., Sun, G., Friedrich, J., Müller, G.:
Study of the Kinetics of the Formation Reaction of GaN from a Solution under Ammonia Atmosphere
International Workshop on Nitride Semiconductors
Kyoto, Japan
22. - 27. Oktober 2006
- Meliorisz, B.:
Mask Proximity Printing
4th IISB Lithography Simulation Workshop
Hersbruck
29. September - 1. Oktober 2006
- Nutsch, A., Öchsner, R.:
Scenario for a Yield Model Based on Reliable Defect Density Data and Linked to Advanced Process Control
209th Meeting of the Electrochemical Society
Denver, CO, USA
10. Mai 2006
- Nutsch, A.:
Zuverlässige Defektkontrolle in der Halbleiterfertigung
Gemeinsames Kolloquium zur Halbleitertechnologie und Meßtechnik des LEB und des IISB
IISB, Erlangen
17. Juli 2006
- Nutsch, A.:
Kontaminationsanalyse und Defektinspektion
35. Treffen der GMM Nutzergruppe Ionenimplantation
Erlangen
19. Mai 2006
- Nutsch, A.:
Study of Wafer Back Side and Wafer Edge
5th GMM Yield Enhancement User Group Meeting
Hamburg
3. - 4. Juli 2006
- Nutsch, A.:
The 7th Framework Programme for Research of the European Commission (FP7)
6th GMM Yield Enhancement User Group Meeting
Toulouse, Frankreich
20. November 2006
- Öchsner, R., Schellenberger, M., Moyne, J., Komeran, A.:
General Introduction of APC
7th European AEC/APC Conference
Aix-en-Provence, France
29. - 31. März 2006
- Öchsner, R.:
Approach for a Standardized Methodology for Multi-Site Processing of 300 mm Wafers at R&D Sites
International Symposium on Semiconductor Manufacturing (ISSM) 2006
Tokyo, Japan

25. - 27. September 2006

Öchsner, R.:
Overview SEA-NET
GMM Diskussionssitzung
IISB, Erlangen
23. November 2006

Öchsner, R.:
Einführung Advanced Process Control
Hausseminar Singulus
Kahl am Main
24. November 2006

Pfeffer, M.:
Creation of E-Learning Content for Microelectronics Manufacturing
12th IFAC Symposium on Information Control Problems in Manufacturing (INCOM 2006)
Saint-Etienne, France
18. Mai 2006

Pfeffer, M.:
Creation of E-Learning Content for Microelectronics Manufacturing
Interactive Computer Aided Learning Conference (ICL2006)
Villach, Austria
27. September 2006

Pfeffer, M.:
Einführung in die diskrete Ereignissimulation
Hausseminar Singulus
Kahl am Main
24. November 2006

Pfützner, L., Schellenberger, M.,
Öchsner, R., Roeder, G., Pfeffer, M.:
Trends in European R&D - Advanced Process Control Down to Atomic Scale for Micro- and Nanotechnologies
209th ECS Meeting
Denver, CO, USA
8. Mai 2006

Pfützner, L., Roeder, G., Schellenberger, M.,
Öchsner, R., Nutsch, A.:
History and Perspective of Integrated Metrology
SEMI Technology Symposium (STS) 2006
Chiba, Japan
6. - 8. Dezember 2006

Pichler, P., Lerch, W., Niess, J., Nenyeyi, Z.:
Numerische Simulation der Diffusion und Aktivierung von Bor bei Hot-Shield Spike Ausheilung
19. Treffen der Nutzergruppe RTP
IISB, Erlangen
18. Mai 2006

Pichler, P.:
European Approaches to Process Simulation in USJ Technology
Symposium U of the Spring Meeting of the European Materials Research Society (E-MRS)
Nice, France
29. Mai - 2. Juni 2006

Pichler, P.:
Simulation of Activation and Diffusion of Boron in Silicon
8th IISB Annual Conference
IISB, Erlangen
12. Oktober 2006

Pichler, P., Burenkov, A., Lerch, W., Lorenz, J., Paul, S., Niess, J., Nényei, Z., Gelpy, J., McCoy, S., Windl, W., Giles, L.F.:
Process-Induced Diffusion Phenomena in Advanced CMOS Technologies
Aveiro, Portugal
27. Juli 2006

Roeder, G., Schellenberger, M., Pfützner, L., Ryssel, H., Richter, U., Stehle, J.-L., Piel, J.-P.:
Standardization of Integrated Ellipsometry for Semiconductor Manufacturing
4th Workshop Ellipsometry
Berlin
20. - 22. Februar 2006

Roeder, G., Schellenberger, M., Pfützner, L., Ryssel, H.:
Standardization of Integrated Ellipsometry - Activities and Results of the EU-IMTF Standardization Efforts
IMA Meeting, 7th European AEC/APC Conference
Aix-en-Provence, France
29. - 31. März 2006

Roeder, G., Schellenberger, M., Pfützner, L., Ryssel, H.:
Review of Standardization Activities for Integrated Ellipsometry in Semiconductor Manufacturing
MFA Seminar, MTA MFA
Budapest, Hungary
23. November 2006

Rommel, M.:
Photocurrent Measurements for Carrier Lifetime Metrology and for Characterization of Insulator Layers
HMI-Seminar of the Silicon-Photovoltaic Department of the Hahn-Meitner Institute
Berlin
26. Januar 2006

Rommel, M., Bauer, A.J., Ryssel, H.:
Quantitative Oxide Charge Determination by Photocurrent Analysis
14th Workshop on Dielectrics in Microelectronics (WoDiM) 2006
Catania, Italy
26. - 28. Juni 2006

Ryssel, H.:
Optik für die Mikro- und Nanoelektronik
LEF 2006 (Laser in der Elektronikproduktion und Feinwerktechnik)
Erlangen
7. März 2006

Ryssel, H.:
The Bavarian Research Cooperation for Nanoelectronics
2nd FORNEL-Workshop (FORNEL: The Bavarian Research Cooperation for Nanoelectronics)
Würzburg
15. März 2006

Ryssel, H.:
Mikro- und Nanoelektronik - Schlüsseltechnologie unserer Zeit
Erlanger Techniktage für Nicht-Techniker
IISB Erlangen
3. April 2009

Ryssel, H.:
Fraunhofer IISB - Successful Research for Micro and Nanoelectronics
Series of Lectures "Competences in

- Nano-electronics" at CNT
Dresden
10. April 2006
- Ryssel, H.:
Safety in Ion Implantation
School - Ion Implantation Technologie
(IIT 2006)
Marseille, France
8. - 10. Juni 2006
- Ryssel, H.:
History of Microelectronics
Indo-German Winter Academy 2006
Digha, Indien
9. - 15. Dezember 2006
- Ryssel, H.:
Silicon Technology
Indo-German Winter Academy 2006
Digha, Indien
9. - 15. Dezember 2006
- Schellenberger, M., Öchsner, R.,
Moyné, J., Komeran, A.:
General Introduction of APC
7th European AEC/APC Conference
Aix-en-Provence, France
29. - 31. März 2006
- Schellenberger, M., Schels, A.:
SEMI Process Control Systems
Taskforce: Status Report
Task Force Meeting, SEMI International
Standards Program, SEMICON Europa
2006
München
4. April 2006
- Schellenberger, M.:
Equipment and Advanced Process Control Group - Competencies and Application Examples
APC-Workshop
IISB, Erlangen
27. April 2006
- Schermer, J., Evanschitzky, P., Erdmann, A.:
Rigorous Mask Modeling Beyond the Hopkins Approach
22nd European Mask and Lithography Conference (EMLC)
Dresden
25. Januar 2006
- Schmitt, H.:
Molds for Imprint Lithography
1st FORNEL-Workshop
München
12. April 2006
- Schmitt, H., Lehrer, C.:
UV Polymers for Nanoimprint Lithography
2nd FORNEL-Workshop
Würzburg
15. März 2006
- Schnattinger, T., Bär, E., Erdmann, A.:
Three-Dimensional Resist Development Simulation with Discrete Models
50th International Conference on Electron, Ion, and Photon Beam Technology and Nanofabrication (EIBPN)
Baltimore, MA, USA
30. Mai - 2. Juni 2006
- Schnattinger, T.:
Mesoskopische Resistsimulation in der optischen Lithographie
Gemeinsames Kolloquium zur Halbleitertechnologie und Meßtechnik des LEB und des IISB
IISB, Erlangen
24. Juli 2006
- Schnattinger, T., Bär, E., Erdmann, A.:
Mesoscopic Resist Processing Simulation in Optical Lithography
International Conference on Simulation of Semiconductor Processes and Devices (SISPAD)
Monterey, CA, USA
6. - 8. September 2006
- Schnattinger, T.:
Problems and Solutions in the Simulation of Modern Photoresists
8th IISB Annual Conference
IISB, Erlangen
12. Oktober 2006
- Steen, C.:
Segregation von Arsen an Silicium-Siliciumdioxidgrenzschichten
Gemeinsames Kolloquium zur Halbleitertechnologie und Meßtechnik des LEB und des IISB
IISB, Erlangen
30. Oktober 2006
- Sun, G.:
Thermogravimetric Studies of Nitrogen Solubility in Gallium Solutions and Reaction Kinetics of Gallium with Ammonia
Promotion
IISB, Erlangen
24. Juli 2006
- Tollkühn, B.:
Neue Methoden zur automatischen Kalibrierung von Modellparametern für die Simulation optischer Lithographie
Promotion
IISB, Erlangen
5. Mai 2006
- Vizman, D., Watanabe, M., Friedrich, J., Müller, G.:
Influence of Different Types of Magnetic Fields on the Interface Shape in a 200 mm Si-EMCZ Configuration
5th International Workshop on Modeling in Crystal Growth
Bamberg
10. - 13. September 2006
- Vizman, D., Friedrich, J., Müller, G.:
Numerical Simulation of Melt Flow in Directional Solidification of Photovoltaic Silicon
5th International Workshop on Modeling in Crystal Growth
Bamberg
10. - 13. September 2006
- Vizman, D., Watanabe, M., Friedrich, J.:
Simulation of Heat and Oxygen Transfer in a 200 mm Si-EMCZ Configuration
51st International Scientific Congress
Technical University Ilmenau
Ilmenau
11. - 15. September 2006
- Wunderwald, U.:
Beeinflussung des Wärme- und Stofftransports bei der Vertical Gradient Freeze-Kristallzüchtung durch ein rotierendes Magnetfeld
Gemeinsames Kolloquium zur Halbleitertechnologie und Meßtechnik des LEB und des IISB
IISB, Erlangen
27. November 2006

Zschorsch, M.:
Sauerstoffausscheidung in hoch bor-dotiertem Silicium
Gemeinsames Kolloquium zur Halbleitertechnologie und Meßtechnik des LEB und des IISB
IISB, Erlangen
20. November 2006

**Studienarbeiten
Theses**

Güntner, J.
Entwicklung eines USB-Interface für den Gate-Treiber in einem automatisierten Kennlinienmeßplatz
Betreuer: Martin März, Alexander Hofmann

Kissing, D.
Prozeßentwicklung, Herstellung und Charakterisierung von 3D-Kapazitäten
Betreuer: Sven Berberich

**Diplomarbeiten
Diploma Theses**

Dürr, C.
Memetische Algorithmen in der globalen restringierten Optimierung von Lithographie-Prozessen - Hybridisierung von Genetischen Algorithmen mit einem analytischen lokalen Optimierer
Betreuer: Tim Fühner

Farny, A.
Optimierung der Prozeßkontrolle für das Dickdrahtbonden
Betreuer: Richard Öchsner

Güntner, J.
Entwicklung einer intelligenten Meßkarte für einen modular aufgebauten aktiven Lastwechseltester
Betreuer: Florian Koller, Martin März

Körner, R.
Gasphasensynthese nanoskaliger Siliciumpartikel
Betreuer: Michael Jank

Lin, J.
Untersuchung kommerzieller Ansteuer-ICs im Rahmen einer Vergleichsstudie
Betreuer: Martin März, Stefan Zeltner

Lohse, A.
Entwicklung und Implementierung einer rechnergestützten Ablaufsteuerung für einen Lastwechselprüfstand
Betreuer: Jürgen Klötzner (WHZ: Westsächsische Hochschule Zwickau), Florian Koller

Müller, B.
Untersuchungen zum Umspritzen von elektronischen Komponenten hoher Wärmekapazität mit thermisch leitfähig gefüllten Kunststoffen
Betreuer: Bernd Eckardt, Simon Amesöder (LKT: Lehrstuhl für Kunststofftechnik)

Schön, F.
Untersuchungen zur Integration eines alternativen Gatestapels in einen CMOS-Prozeß
Betreuer: Martin Lemberger

Zeidler, M.
Optimierung des Quartz-Ätzprozesses zur Herstellung von Prägeformen für die UV-Nanoimprint-Lithografie
Betreuer: Holger Schmitt, Mathias Rommel

**Masterarbeiten
Master Theses**

Al-Rabbat, Muhammad Assem
Entwicklung, Simulation und Integration einer I2C/SMBus-kompatiblen digitalen Schnittstelle
Betreuer: Vincent Lorentz

Fet, Azinwi
Modellierung und Simulation von NROM-Speicherzellen
Betreuer: Oliver Klar

**Projektarbeiten
Project Theses**

Chocholka, K.-J.
Qualifizierung von Lotpasten für die bleifreie Reflowlöttechnik
Betreuer: Michael Rösch (FAPS: Lehrstuhl für Fertigungsautomatisierung und Produktionssystematik), Martin März

Greger, T.
Studie über Möglichkeiten und Grenzen eines technischen Kopierschutzes
Betreuer: Stefan Lang (FAPS: Lehrstuhl für Fertigungsautomatisierung und Produktionssystematik), Martin März

Wenger, M.
Untersuchungen zum Sintern von Ag-nano-Pulver als Verbindungsprozeß für Leistungshalbleiter
Betreuer: Martin März, Florian Koller



Kontakt und weitere Informationen
Contact and Further Information

Öffentlichkeitsarbeit
Public Relations

Dr. Bernd Fischer
Phone: +49 (0) 9131 761-106
Fax: +49 (0) 9131 761-102
info@iisb.fraunhofer.de

Technologiesimulation
Technology Simulation

Dr. Jürgen Lorenz
Phone: +49 (0) 9131 761-210
Fax: +49 (0) 9131 761-212
juergen.lorenz@iisb.fraunhofer.de

**Halbleiterfertigungsgeräte und
-methoden**
**Semiconductor Manufacturing
Equipment and Methods**

Prof. Lothar Pfitzner
Phone: +49 (0) 9131 761-110
Fax: +49 (0) 9131 761-112
lothar.pfitzner@iisb.fraunhofer.de

Technologie
Technology

Dr. Anton Bauer
Phone: +49 (0) 9131 761-308
Fax: +49 (0) 9131 761-360
anton.bauer@iisb.fraunhofer.de

Kristallzüchtung
Crystal Growth

Dr. Jochen Friedrich
Phone: +49 (0) 9131 761-269
Fax: +49 (0) 9131 761-280
jochen.friedrich@iisb.fraunhofer.de

Leistungselektronische Systeme
Power Electronic Systems

Dr. Martin März
Phone: +49 (0) 9131 761-310
Fax: +49 (0) 9131 761-312
martin.maerz@iisb.fraunhofer.de