

Leistungen und Ergebnisse  
Jahresbericht 2000

Achievements and Results  
Annual Report 2000



Impressum / Imprint

Herausgeber / Published by:

Fraunhofer-Institut für  
Integrierte Schaltungen  
Bereich Bauelementetechnologie  
Schottkystraße 10  
D-91058 Erlangen

Redaktion / Editing:

Richard Öchsner  
Heiner Ryssel

Gestaltung und Realisierung/

Layout and Setting:

Markus Pfeffer  
Richard Öchsner  
Melanie Schmeing

Druck / Printed by:

Roland Heßler, Baiersdorf

Titelbild / Cover Photo:

Experimentelle Verifikation eines  
leistungselektronischen Systemdesigns  
mittels Thermographie.

Experimental verification of a  
power electronic system design  
by means of thermal imaging.

© Fraunhofer-Institut für Integrierte  
Schaltungen, Erlangen 2001

Alle Rechte vorbehalten. Nachdruck nur  
mit Genehmigung des Instituts.

All Rights reserved. Reproduction only  
with express written authorization.

Leistungen und Ergebnisse  
Jahresbericht 2000

Achievements and Results  
Annual Report 2000

Fraunhofer Institut für  
Integrierte Schaltungen  
Bereich Bauelementetechnologie IIS-B

Fraunhofer Institute of  
Integrated Circuits  
Device Technology Division IIS-B

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@iis-b.fhg.de](mailto:info@iis-b.fhg.de)  
Internet: <http://www.iis-b.fhg.de>

# Vorwort

Das Jahr 2000 war sehr erfolgreich für das IIS-B. Wieder wurde ein Industrieertrag von über 50% des Haushalts erreicht.

Seit der Gründung im Jahre 1985 ist das Ziel des Institutes, die Halbleiterindustrie sowie Geräte- und Materialunternehmen durch Forschung und Entwicklung zu unterstützen sowie ein umfassendes Dienstleistungsangebot anzubieten. Dieses umfaßt Modellierung und Simulation von Fertigungsprozessen der Mikroelektronik, der Kristallzüchtung, Geräte- und Materialforschung sowie die Entwicklung neuer bzw. verbesserter Prozeßschritte. Eine breite Basis aus technischem und technologischem Know-how, dem Stand der Technik entsprechende Halbleiterfertigungsgeräte sowie innovative Entwicklungen, die auf einen dynamischen Markt abzielen, machen das IIS-B zu einem anerkannten und kompetenten Partner für Industrie - sowie öffentliche Forschung und Entwicklung.

Das Institut verfügt über moderne Reinnräume, eine Vielzahl von Labors und industriekompatiblen Prozeßgeräten. Die enge Zusammenarbeit mit der Universität Erlangen-Nürnberg gewährleistet den Zugang zur Grundlagenforschung. Die Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten sind darüber hinaus durch den Fraunhofer-Verbund Mikroelektronik koordiniert. Von besonderer Bedeutung ist die Zusammenarbeit mit unseren zahlreichen Partnern aus der Industrie. Die Leistungen innerhalb bilateraler Forschungs- und Entwicklungsverträge sind der Ausgangspunkt für Innovationen und die Reputation auf nationaler und internationaler Ebene.

Außerdem ist das IIS-B auf Vorschlag führender europäischer Halbleiterfirmen seit Anfang 2000 an der Fortschreibung der bekannten „International Technology Roadmap for Semiconductors“ beteiligt.

Nicht unerwähnt bleiben soll auch die Präsenz des IIS-B in der „Scientific Community“, die sich durch zahlreiche Publikationen und Konferenzbeiträge ausdrückt. Hervorzuheben ist die erfolgreiche Organisation der IIT in Alpbach/Österreich und die Mitorganisation der AEC/APC-Konferenz in Dresden, die auf Initiative des IIS-B erstmals in Europa stattfand.

Die Abteilung Technologiesimulation konnte in allen ihren wissenschaftlichen Aktivitäten ihre bereits sehr gute Stellung in der Kooperation mit Kunden und Forschungspartnern in Deutschland, Europa und weltweit weiter ausbauen. Dies kam neben der wiederum zentralen Rolle des IIS-B in drei EU-Projekten unter anderem auch durch die sehr erfolgreiche Bearbeitung eines von SEMATECH finanzierten Projekts zur Lithographiesimulation zum Ausdruck. Neben dem weiterhin sehr hohen Finanzierungsanteil durch externe Projekte gelang es der Abteilung im Jahr 2000 erstmals, rund 50% ihrer Kosten aus Industrieerträgen zu bestreiten. Zu dieser Entwicklung trugen neben der seit Herbst 1999 neu aufgebauten Aktivität auf dem Gebiet der Lithographiesimulation auch die bisherigen Arbeitsgebiete der Abteilung bei.

Auf dem Gebiet der Halbleiterfertigungsgeräte hat das IIS-B seine Arbeiten zur Integration von Meßtechnik in Prozeßgeräte insbesondere für die 300 mm-Technik weiter vorangetrieben. Hervorzuheben ist die unmittelbare Beteiligung des IIS-B am Aufbau der weltweit ersten 300 mm-Pilotlinie in Dresden. Im Rahmen eigener Forschungsprojekte wird die rasche Implementierung der Sensorik im Sinne von „Advanced Process Control“, „Advanced Equipment Control“ und „Advanced Fab Control“ unterstützt. Basierend auf einem grundlegenden Patent können direkt im Gerät dimensionale Messungen durchgeführt werden und dadurch separate Beur-

teilungsschritte eingespart werden. Die Möglichkeiten der 300 mm-Testplattform, die mittlerweile zahlreiche 300 mm-Prozeß- und Analytikgeräte für Forschungs- und Entwicklungsarbeiten wie auch für Dienstleistungen umfaßt, konnte dank eines größeren Geräteinvestitionsprojektes des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) in ihrer Leistungsfähigkeit in wichtigen Bereichen erweitert werden. Die Nutzung vor allem durch KMUs erlaubt für diese den wichtigen Zugang zur 300 mm-Technologie. Im Rahmen der materialseitigen Forschung ist insbesondere das neue Arbeitsgebiet „Wafer Reclaim“ weiter ausgebaut worden. Auch dieses profitiert von den 300 mm-Aktivitäten, da besonders hier die Wiedereinsatzbarkeit von Test- und Monitorscheiben wichtigste Kostenvorteile ermöglicht und somit zur Stabilisierung heimischer Arbeitsplätze einen wichtigen Beitrag leistet.

Zur Verbreiterung der Basis des Instituts wurde im Frühjahr 2000 die Abteilung Leistungselektronische Systeme gegründet, die in enger Zusammenarbeit mit der Abteilung Technologie arbeitet. Schwerpunktthema der Abteilung ist die Anwendung neuer Schaltungs- und Bauelementekonzepte für die Leistungselektronik und die Mechatronik. Mit dieser Kompetenzerweiterung auf der Seite der Anwendungs- und Systemtechnik sowie dem Ausbau des Schwerpunkts „Leistungsbaulemente“ im Bereich der Technologie ist die Leistungselektronik am Institut auf eine breite und solide Basis gestellt. Damit sehen wir uns in dieser Schlüsseltechnik für Zukunftsthemen wie Energieeinsparung, dezentrale Energieversorgung oder schadstoffarme Verkehrstechnik hervorragend positioniert. Trotz der schwierigen Situation bei der Anwerbung von Ingenieuren kam der Aufbau der neuen Abteilung zügig voran; besonders erfreulich war, daß hierfür auch drei erfahrene Fachleute aus der Industrie gewonnen werden konnten.

# Preface

2000 was a very successful year for the IIS-B and once again the industrial return of the institute was more than 50% of the budget.

Since the institute was established in 1985, the mission is to support IC manufacturers as well as the suppliers of equipment and materials by providing R&D and services on a broad scale. This covers modeling and simulation, crystal growth processes as well as key micro-electronic manufacturing processes, equipment and materials research, and development of advanced processing steps. A sound basis of knowledge and skill, state-of-the-art processing equipment and innovative developments targeting at a dynamic R&D market make IIS-B a well-recognized and competent partner for industrial and public R&D.

Supported by industry, "the Förderkreis für die Mikroelektronik", the Bavarian State, and by the German BMBF, the Institute has established advanced cleanroom facilities, laboratories, and industry-compatible processing equipment. Close cooperation with the University of Erlangen-Nuremberg provides access to basic research. Furthermore, the R&D activities are closely coordinated with the Fraunhofer Group of Microelectronics. Most important, the cooperation with numerous industrial partners has to be acknowledged. The achievements made within the scope of bilateral R&D contracts are the most important sources of innovation and international reputation.

Besides this, following a suggestion from leading European semiconductor companies, the IIS-B contributes to the updating of the well-known "International Technology Roadmap for Semiconductors" since the beginning of 2000.

Furthermore, the numerous publications and conference contributions of the IIS-B have to be mentioned which

show the presence of IIS-B in the "Scientific Community". It has to be emphasized that the IIS-B successfully organized the IIT in Alpbach/Austria. In addition, the IIS-B was one of the initiators of the AEC/APC Conference in Dresden which took place in Europe for the first time.

In all its scientific activities, the department Technology Simulation could further extend its already excellent position in cooperations with customers and research partners in Germany, Europe, and world-wide. Among others, this has been highlighted by the again central role of FhG-IIS-B in three European projects, and by the very successful and highly acknowledged work in a project on lithography simulation, funded by SEMATECH. Once again, the costs of the department were covered by external projects to a very large extent. Moreover, in 2000 for the first time about half of the costs were covered by revenues from industrial contracts. Besides the newly started activities on lithography simulation also the other activities of the department contributed to this development.

In the field of Semiconductor manufacturing Equipment, the Fraunhofer IIS-B has made considerable progress concerning the integration of metrology into process equipment, especially for 300 mm technology. It has to be emphasized that the IIS-B has been directly involved in the build-up of the first 300 mm pilot line worldwide in Dresden. Within the framework of our internally sponsored research projects, the rapid implementation of the sensors is supported by "Advanced Process Control", "Advanced Equipment Control" and "Advanced Fab Control". On the basis of a patent, measurements can be performed directly inside the equipment and, therefore, separate steps of evaluation can be saved. The capabilities of the 300 mm test platform, which in the meantime includes several

300 mm process and analytical tools for research and development as well as for services, could be extended in their efficiency in some important areas - thanks to a major investment project for equipment, funded by the German Federal Ministry of Education and Research). Thus, small and medium-sized companies (KMUs), who mainly use this equipment, can make an important step towards 300 mm technology. Within the research in terms of materials, the new field "Wafer Reclaim" has been further developed. This area also benefits from the 300 mm activities, as especially in this field the recycling of test and monitor wafers allows to reduce the costs substantially and thus contributes to a stabilization of the job situation in our country.

In order to extend the basis of the institute, in spring 2000 the new department Power Electronic Systems was founded, which works closely together with the technology department. The main emphasis of the new department is the application of new circuit and device concepts for power electronics and mechatronics. With this competence extension in application and system engineering and the enhancement of the field "power semiconductor devices", power electronics have been put on a broad and solid base within the institute. We are convinced that the institute now is excellently positioned in this key technology with regard to future topics such as energy saving, decentralized power supply or low-emission transportation systems. Despite the currently difficult situation concerning the recruiting of electrical engineers, the set-up of the new division made good progress: It was particularly pleasant that three experts with long-standing industry experience could be engaged for this purpose. The work for the projects within the "Bavarian Network of Competence for Mechatronics" - a network of six institutes funded by the state of Bavaria in

Die Arbeiten zu den aus der High-Tech Offensive des Freistaats geförderten Projekten im Rahmen des "Bayerischen Kompetenznetzwerks Mechatronik" sind plangemäß angelaufen. Das sehr erfolgreich verlaufene Fachsymposium zu "Entwicklungstrends in der Leistungselektronik und Mechatronik" anlässlich der 15-Jahrfeier des Instituts war eine ideale Plattform, um das neue Arbeitsgebiet einem breiten und sehr interessierten Publikum aus Wirtschaft und Forschung vorzustellen.

Ende des Jahres gelang es der Abteilung Technologie, mit der amerikanischen Forschungseinrichtung SEMATECH einen Entwicklungsauftrag zu neuen Gatedielektrika abzuschließen. Das FhG-IIS-B wird verstärkt die Entwicklung geeigneter Abscheideverfahren dielektrischer Schichten mittels metallorganischer Dampfphasenabscheidung betreiben. Weitere Schwerpunkte der Arbeiten liegen auf dem Gebiet moderner Leistungsschalter und der prozeßtechnischen Realisation. Für fortschrittliche IGBT- und Smart Power-Konzepte wurden Techniken zur Handhabung extrem dünner Wafer und zur Herstellung voll-isolierter Halbleiterinseln entwickelt. Auf dem Gebiet der SiC-Bauelemente konnten Arbeiten zu Fertigungsschritten bei extrem hohen Temperaturen angestoßen werden. Das IIS-B ist daneben in die Vorserienentwicklung von SiC-Bauelementen eingebunden. Die Aktivitäten zur Halbleiteranalyse entwickelten sich hin zur Nanoanalyse und Nanotechnologie. Das IIS-B wurde, speziell durch seine führenden Arbeiten zur lokalen Materialbearbeitung mittels Ionen- und Elektronenstrahlen, zu einem gefragten Partner auf dem Gebiet der Nanotechnik.

Die Erfolge der Abteilung Kristallzucht im Jahr 2000 drücken sich dadurch aus, daß die erzielten FuE-Ergebnisse dazu beitragen, die Marktposition der Industriepartner als führende Hersteller von Silicium und III-V-Halbleiter-

kristallen sowie von Fluoridkristallen weiter auszubauen. Sowohl für das industrielle Si-Czochralski-Verfahren als auch für das GaAs-LEC-Verfahren hat die Abteilung Kristallzucht Meßtechniken entwickelt, die in den Anlagen der Industriepartner zur Untersuchung des Einflusses diverser Prozeßparameter auf den Wärme- und Stofftransport eingesetzt werden und dadurch zur Prozeßoptimierung beitragen. Zur Herstellung von  $\text{CaF}_2$ -Kristallen für einen Einsatz als Linsenmaterial in der Mikrolithographie hat die Abteilung eine von ihr entwickelte FuE-Anlage in Betrieb genommen und erste Kristallzuchtversuche durchgeführt, um für den Industriepartner grundlegende Zusammenhänge zwischen Prozeßparametern und Materialqualität zu erarbeiten. Darüber hinaus hat die Abteilung ihre Position als Kompetenzzentrum auf dem Gebiet der Simulation von Kristallzuchtprozessen weiter festigen können. Die von der Abteilung entwickelten Programme wurden in enger Kooperation mit den industriellen Nutzern im Hinblick auf neue oder verbesserte physikalische Modelle, auf Benutzerfreundlichkeit und auf effizientere numerische Algorithmen weiterentwickelt. Außerdem konnten mehrere neue Lizenzverträge mit Industriefirmen und Hochschulinstituten bezüglich der Nutzung der Software abgeschlossen werden. Die Erfolge der Abteilung Kristallzucht werden auch durch die Tatsache unterstrichen, daß sie sich zu 100% durch externe Projekte finanziert, mit einem Industrieanteil von 96%.

Die erfolgreiche Arbeit am IIS-B während des abgelaufenen Zeitraums war nur möglich durch Unterstützung von staatlicher Seite, durch die Auftraggeber aus Industrie und öffentlichen Einrichtungen sowie durch den unermüdlchen Einsatz der Mitarbeiter des IIS-B.



Erlangen, Mai 2001

A handwritten signature in black ink, appearing to read "M. Ryssel". The signature is fluid and cursive, written on a white background.

Prof. Dr. Heiner Ryssel

the context of the High-Tech Initiative - has started as scheduled. On the occasion of the 15-years celebration of the institute, we had a very successful symposium about "development trends in power electronics and mechatronics". This was an ideal platform to introduce the new field of activity to a wide and very interested audience from economy and research.

Late 2000, IIS-B successfully filed a contract with the US-leading research consortium SEMATECH on investigation of novel gate dielectrics. FhG-IIS-B will increase its activities on deposition of dielectric layers by metal-organic chemical vapor deposition. Other focal areas of the activities were on advanced power devices and related process technology. For application in IGBT- and smart power technology, new methods for thin-wafer processing and dielectric device isolation were developed. In the field of SiC device technology, new activities on high-temperature processing were initiated. IIS-B has also taken part in prototype fabrication of SiC devices. Research on semiconductor analysis has developed more and more towards nanoanalytics. Especially due to its leading-edge work on local material processing using ion beams and electron beams, IIS-B has become a well-accepted partner in the field of nanotechnology.

The success of the department crystal growth in 2000 is evident from the fact that the obtained R&D results contributed to a further expansion of the position of its industrial partners as leading suppliers of Si and III-V semiconductor crystals as well as of fluoride crystals. The department crystal growth developed measuring techniques for the industrial Si-Czochralski process as well as for the GaAs-LEC process which are used for analyzing the effects of several process parameters on the heat and mass transport in the facilities of the industrial partners and, therefore, con-

tribute to the optimization of the processes. For the growth of  $\text{CaF}_2$  crystals to be used as lense material in photolithography, the department successfully constructed and installed an R&D furnace and performed the first crystal growth runs in order to investigate basic relations between process conditions and material quality. In addition, the department consolidated its position as competence center in the field of numerical simulation of crystal growth processes. The software programs developed by the department are continuously further developed in close cooperation with industry regarding new or improved physical models, an easier way to use the programs and more efficient algorithms. Furthermore, several new license contracts with companies and research institutes concerning the use of the software were concluded. The success of the department is also evident from the fact that it is financed to 100% by external projects with an industrial part of 96%.

The very successful activities undertaken last year were only possible through the support provided by the cooperation with our customers from the public and the private sector, as well as the untiring efforts of the employees of IIS-B.

Erlangen, Mai 2001



Prof. Dr. Heiner Ryssel

# Leistungen und Ergebnisse Jahresbericht 2000

## Das Institut im Profil

Ziele .....	10
Kurzportrait .....	10
Arbeitsschwerpunkte .....	12
Kompetenzen und Anwendungen .....	12
Kuratorium .....	16

## Das Forschungs- und Dienstleistungsangebot

Institutsspezifische Angebote zur Vertragsforschung .....	18
Apparative Ausstattung .....	20
Kontakt und weitere Informationen .....	24

## Das Institut in Zahlen

Mitarbeiterentwicklung .....	26
Betriebshaushalt .....	26

## Die Fraunhofer-Gesellschaft auf einen Blick

Die Forschungsorganisation .....	28
Die Forschungsgebiete .....	28
Die Zielgruppen .....	28
Das Leistungsangebot .....	28
Die Vorteile der Vertragsforschung .....	30

## Der Weg zur Zusammenarbeit mit der Fraunhofer-Gesellschaft

Fraunhofer-Verbund Mikroelektronik .....	32
Die Standorte der Forschungseinrichtungen .....	33

## Technologiesimulation

Schwerpunkte, Trends und Potentiale der Abteilung Technologiesimulation .....	34
Gitterleerstellengesteuerte Sauerstoffpräzipitation in CZ-Silicium .....	36
Modellierung der Diffusion und Aktivierung von Dotieratomen im Rahmen des Projektes RAPID .....	38
Simulation neuer Maskentechnologien .....	40

# Achievements and Results

## Annual Report 2000

### Profile of the Institute

Objectives .....	11
Brief Portrait .....	11
Major Fields of Activity .....	13
Areas of Competence and Applications .....	13
Advisory Board .....	17

### Research and Services

Contract Research Services .....	19
Facilities .....	21
Contact and Further Information ..	25

### Representative Figures

Staff Development .....	26
Budget .....	26

### The Fraunhofer-Gesellschaft at a Glance

The Research Organization .....	29
The Research Fields .....	29
The Research Clients .....	29
The Range of Services .....	29
The Advantages of Contract Research .....	29

### Working Together with the Fraunhofer-Gesellschaft .....

Fraunhofer Consortium Microelectron- ics .....	32
Locations of the Research Institutes	33

### Technology Simulation

Focal Areas of Research and Develop- ment, Trends and Potentials of the De- partment of Technology Simulation	35
Vacancy-controlled Oxygen Precipita- tion in CZ Silicon .....	37
Modeling the Diffusion and Activation of Dopants in the RAPID Project ....	39
Simulation of New Mask Technologies .....	41

## Halbleiter-Fertigungsgeräte und Materialien

Schwerpunkte, Trends und Potentiale der Abteilung Halbleiter-Fertigungsgeräte und Materialien ..... 42

Neues optisches Verfahren zur schnellen und kosteneffizienten Prozeßkontrolle bei der Fertigung von Speicherstrukturen ..... 44

Methoden zur ganzheitlichen Beurteilung von integrierter Meßtechnik .. 48

Erfolgreiche Zusammenarbeit mit International Sematech auf dem Gebiet der Evaluierung von 300 mm Front Opening Unified Pods ..... 50

HECTOR 300 - Herstellung von Kondensatoren mit hoch-dielektrischem Material ..... 54

Meßtechnik und Analytik für 300 mm-Scheiben ..... 58

## Prozeßtechnik

Schwerpunkte, Trends und Potentiale der Abteilung Prozeßtechnik .. 60

Schädigung des Gateoxids bei der Implantation durch MOS-Strukturen . 62

Elektromagnetischer Mikrochopper für die Medizintechnik ..... 66

Metallorganisch-chemische Dampfphasenabscheidung von hoch- $\epsilon$  Dielektrika aus neuartigen Precursoren ..... 68

## Kristallzüchtung

Schwerpunkte, Trends und Potentiale der Abteilung Kristallzüchtung 70

300 mm Silicium Czochralski Kristallzüchtung ..... 72

Züchtung von  $\text{CaF}_2$  Kristallen als Linsenmaterial für die DUV Lithographie . 74

Modellierung von Kristallzüchtungsprozessen ..... 76

Unterstützung von Mikrogravitationsexperimenten durch den Einsatz der numerischen Simulation ..... 78

Globale Simulation des Tri-Si Verfahrens zur Herstellung von Silicium für photovoltaische Anwendungen ..... 80

## Leistungselektronik

Schwerpunkte, Trends und Potentiale der Abteilung Leistungselektronische Systeme ..... 82

Der Kurbelwellenstartergenerator - eine Herausforderung für die Leistungselektronik ..... 84

Energiesparende integrierte Kleinantriebe ..... 86

## Namen, Daten, Ereignisse

Gastwissenschaftler ..... 88

Patenterteilungen ..... 89

Mitarbeit in Fachgremien, Fachverbänden und Komitees ..... 89

Veranstaltete Konferenzen und Workshops ..... 91

Messebeteiligungen ..... 91

## Wissenschaftliche Veröffentlichungen

Promotionen ..... 92

Herausgegebene Bücher / Buchbeiträge ..... 98

Veröffentlichungen ..... 98

Vorträge ..... 100

Studienarbeiten ..... 105

Diplomarbeiten ..... 105

## Semiconductor Manufacturing Equipment and Materials

Focal Areas of Research and Development, Trends and Potentials of the Department of Semiconductor Manufacturing Equipment and Materials .... 43

New Optical Technique for Fast and Cost-effective Process Control of Memory Patterns in Semiconductor Manufacturing ..... 45

Methods for a Comprehensive Evaluation of Integrated Metrology ..... 49

Successful Cooperation together with International Sematech on the Evaluation of 300 mm Front Opening Unified Pods ..... 51

HECTOR 300 - Manufacturing of Capacitors with High-k Material ..... 55

Metrology and Analysis for 300 mm Wafers ..... 59

## Process Technology

Focal Areas of Research and Development, Trends and Potentials of the Department of Process Technology ... 61

Gate-oxide Damage in Through-the-Gate Implanted (TGI) MOS Structures ..... 63

Electromagnetic Micro-chopper for Medical Technology ..... 67

Metal-organic Chemical Vapor Deposition of High-k Dielectrics with Novel Precursors ..... 69

## Crystal Growth

Focal Areas of Research and Development, Trends and Potentials of the Department of Crystal Growth ..... 71

300 mm Silicon Czochralski Crystal Growth ..... 73

Growth of CaF<sub>2</sub> Crystals as Lenses for DUV Lithography ..... 75

Modeling of Crystal Growth Processes ..... 77

Support of Microgravity Experiments by Using Numerical Simulation ..... 79

Global Simulation of the Tri-Si Process for the Production of Silicon to be Used in Photovoltaics ..... 81

## Power Electronics

Focal Areas of Research and Development, Trends and Potentials of the Department of Power Electronic Systems ..... 83

The Crankshaft Starter-generator - a Challenge in Power Electronics ..... 85

Energy-saving Integrated Low Power Drives ..... 87

## Important Names, Data, Events

Guest Scientists ..... 88

Patents ..... 89

Participation in Committees ..... 89

Conferences and Workshops ..... 91

Fairs and Exhibitions ..... 91

## Scientific Publications

PhD Theses ..... 92

Edited Books /  
Contributions to Books ..... 98

Journal Papers and Conference Proceedings ..... 98

Presentations ..... 100

Theses ..... 105

Diploma Theses ..... 105

# Das Institut im Profil

## Ziele

Das Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen, Bereich Bauelementetechnologie, hat die Aufgabe, gemeinsam mit der Industrie neue Halbleiter-Fertigungsgeräte und -Verfahren zu entwickeln und Simulationswerkzeuge zur Beschreibung moderner mikroelektronischer Fertigungsschritte bereitzustellen.

## Kurzportrait

Das IIS-B 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 Werkstoffe der Elektrotechnik zusammen. Die Struktur zeigt das Organigramm in Fig. 1.

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

Die Institutsleitung des IIS-B 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

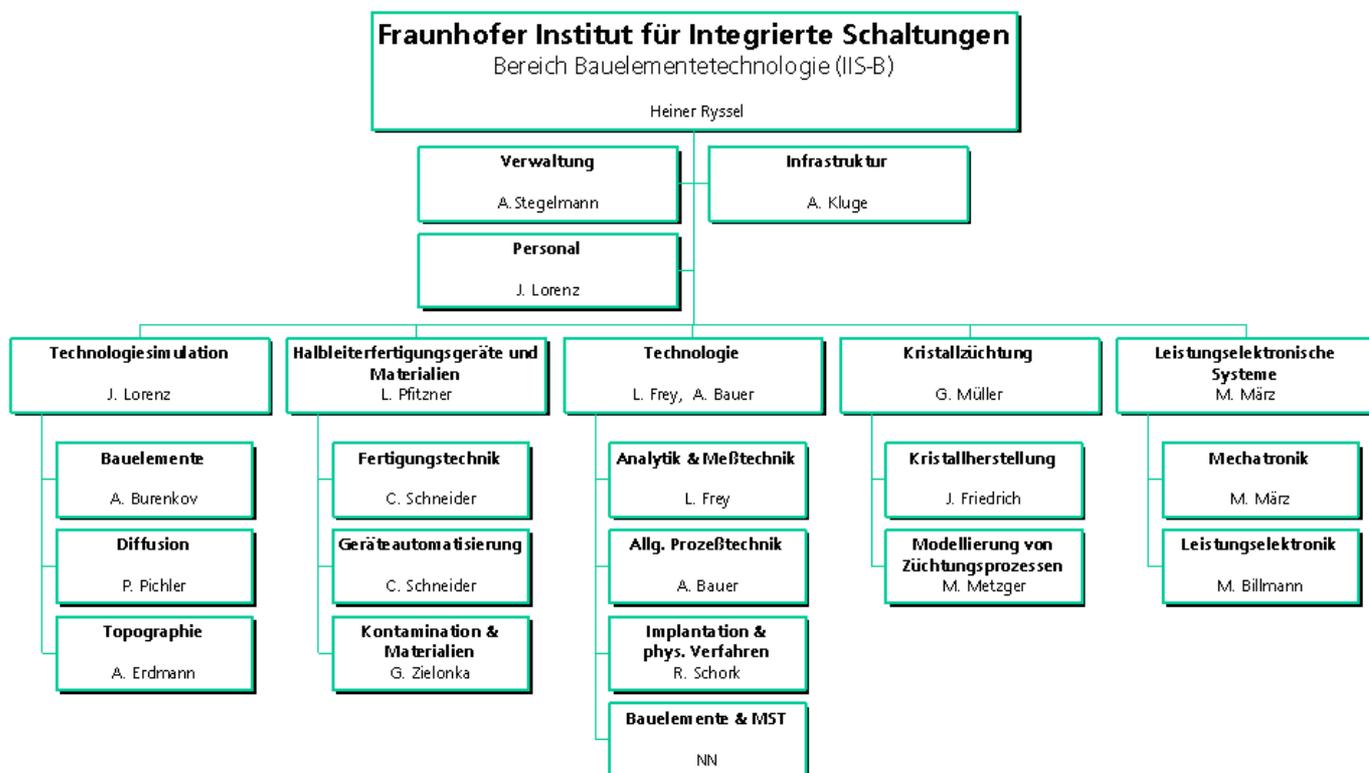


Fig. 1: Organigramm des Fraunhofer-Instituts für Integrierte Schaltungen, Bereich Bauelementetechnologie.

# Profile of the Institute

## Objectives

Together with its industrial partners, the Device Technology Division of the Fraunhofer Institute of Integrated Circuits is responsible for developing new equipment and processes for use in semiconductor manufacturing, as well as to provide simulation tools to characterize the process steps involved in modern microelectronics manufacturing.

## Brief Portrait

IIS-B consists of five departments and closely cooperates with the Chair of Electron Devices and the Chair of Electronic Materials in the field of crystal growth. Fig. 1 shows the organizational structure.

The director of IIS-B 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 IIS-B and the heads of all departments. Since 1994, a Betriebsrat (works

council) participates in decisions according to the Betriebsverfassungsgesetz (works council constitution act).

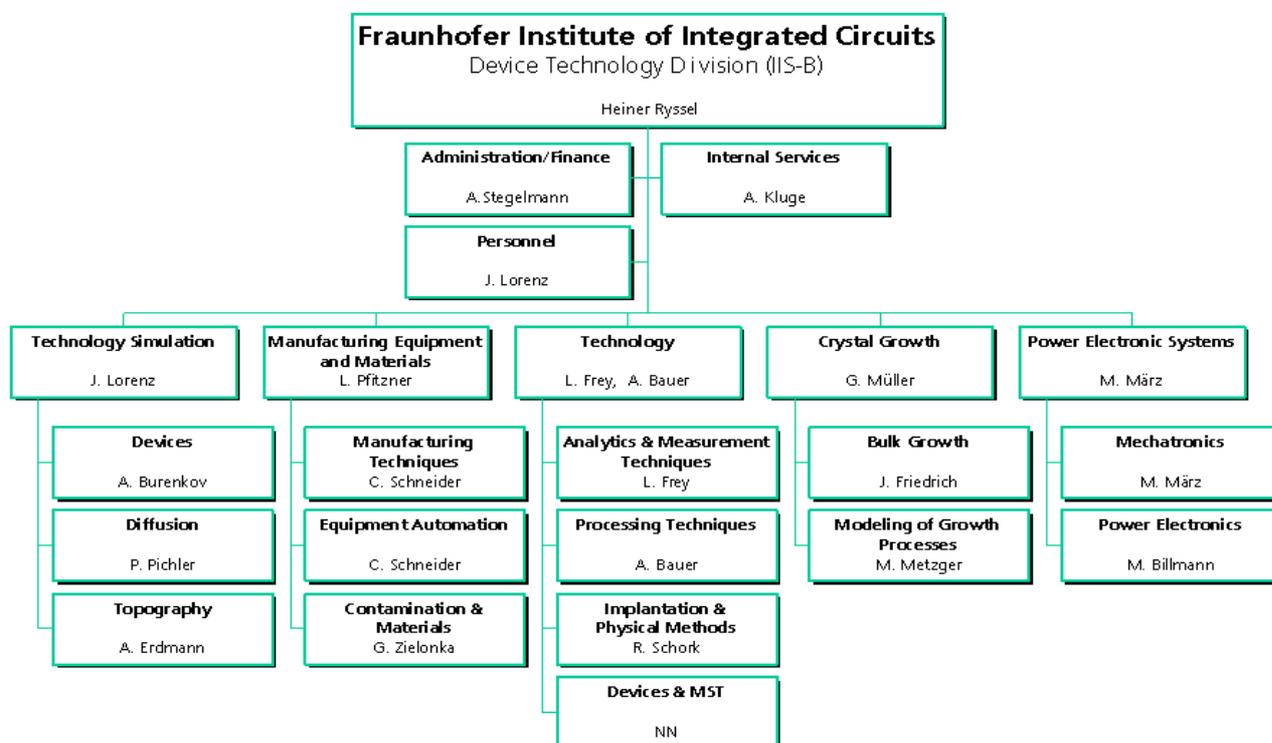


Fig. 1: Organizational Structure of IIS-B.

## Arbeitsschwerpunkte

Im Arbeitsgebiet Technologiesimulation werden leistungsfähige Simulationsprogramme zur Optimierung von Einzelprozessen und Prozeßfolgen in der Halbleitertechnologie entwickelt.

Im Arbeitsgebiet Halbleiter-Fertigungsgeräte und Materialien werden Firmen bei der Entwicklung und Verbesserung neuer Fertigungsgeräte, Materialien und der zugehörigen Prozesse unterstützt (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 und für moderne Leistungsbaulemente werden im Arbeitsgebiet Prozeßtechnik entwickelt.

Höchstauflösende Meß- und Analysemethoden erlauben dabei Verunreinigungen geringster Konzentrationen in Gasen, Chemikalien und auf Siliciumscheiben sowie ihre Wirkung auf die elektrischen Eigenschaften von Bauelementen zu erfassen.

Im Arbeitsgebiet Kristallzucht werden Anlagen und Prozesse zur Herstellung von Kristallen für die Mikroelektronik 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 Kristallzuchtprozessen entwickelt und eingesetzt.

Einen weiteren Arbeitsschwerpunkt bildet die Leistungselektronik. Im Rahmen dieses Schwerpunkts werden innovative Lösungen zur monolithischen, hybriden und mechatronischen System-

integration 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. Der Bereich des Instituts beschäftigt 95 feste Mitarbeiter. Fast 5000 m<sup>2</sup> 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 Schaltungen, Bereich Bauelementetechnologie, zeigt Fig 2.

## Major Fields of Activity

The Department of Technology Simulation develops high-performance simulation tools for optimizing single processes and process sequences in semiconductor technology.

The Department of Semiconductor Manufacturing Equipment and Materials 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 techniques 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.

High-resolution metrology and analytics allow the detection of impurities of extremely low concentration levels in gases, chemicals, and on silicon wafer surfaces as well as the determination of their impact on the electrical properties of the devices.

The Department of Crystal Growth develops and optimizes equipment and processes together with its industrial partners for the growth of crystals to be used in microelectronics and microlithography. Thereby, 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 are developed and applied.

Power electronics is another major field of activity. Innovative solutions for monolithic, hybrid or mechatronic sys-

tem 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. IIS-B has a permanent staff of 95 people. Nearly 5.000 m<sup>2</sup> 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 Circuits, Device Technology Division, known for its efficient and internationally renowned contract research activities, are illustrated in Fig. 2.

Wissenschaftlich-technische Kernkompetenz

# IIS-B

F & E-Produkte

	Prozeßsimulation	Mathematische Algorithmen	Programmierung komplexer Systeme	Halbleiterprozeßtechnik	in situ / 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 Kernkompetenz des FhG-IIS, Bereich Bauelementetechnologie.

Competences and Applications

# IIS-B

R & D Products

	Process Simulation	Mathematical Algorithms	Programming of Complex Systems	Semiconductor Physics	in situ / 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: Competences and Applications of the FhG-IIS-B.

██████████  
Kuratorium

Die Institutsleitungen von IIS-A und IIS-B werden durch ein gemeinsames Kuratorium beraten, dessen Mitglieder aus Wirtschaft und Wissenschaft stammen:

Prof. Dr. rer. nat. Nikolaus Fiebiger  
Geschäftsführer der Bayerischen  
Forschungstiftung  
(Vorsitzender des Kuratoriums)

Dr.-Ing. Hans-Georg Betz  
STEAG Industrie AG  
(Stellvertretender Vorsitzender)

Dr. sc. techn. h.c. Dietrich Ernst  
1. Vorsitzender des Förder- und Freun-  
deskreises für den Ausbau der Mikro-  
elektronik an der Friedrich-Alexander-  
Universität Erlangen-Nürnberg

Prof. Dr.-Ing. Wolfram H. Glauert  
Friedrich-Alexander-Universität  
Erlangen-Nürnberg  
Lehrstuhl für Rechnergestützten Schal-  
tungsentwurf

Jürgen Großkreutz  
Ministerialdirigent  
Bayerisches Staatsministerium für  
Wissenschaft, Forschung und Kunst

Klaus Jasper  
Ministerialdirigent  
Bayerisches Staatsministerium für Wirt-  
schaft, Verkehr und Technologie

Dr. Hans-Georg Junginger  
Sony Europe GmbH  
Chief Technology Officer  
Executive Vice President

Prof. Dr.-Ing. Harald Meerkamm  
Friedrich-Alexander-Universität  
Erlangen-Nürnberg  
Dekan der Technischen Fakultät

Dr. Franz Neppi  
Infineon AG  
Senior Vice President  
Corporate Development

Prof. Dr.-Ing. Peter Pirsch  
Universität Hannover  
Institut für Theoretische Nachrichten-  
technik und Informationsverarbeitung

Prof. Dr.-Ing. habil.  
Hans Jörg Werrmann  
Deutsche Forschungsanstalt für Luft-  
und Raumfahrt e. V. - DLR

Dr. Markus Zügel  
Industrieberatung  
Halbleitertechnologie

██████████  
Advisory Board

IIS-B is consulted by an Advisory Board, whose members come from industry and research.

Prof. Dr. rer. nat. Nikolaus Fiebiger  
Managing Director of the Bavarian Research Foundation  
(Chairman of the Advisory Board)

Dr.-Ing. Hans-Georg Betz  
STEAG Industrie AG  
(Vice Chairman)

Dr. sc. techn. h.c. Dietrich Ernst  
Chairman of Förder- und  
Freundeskreises für den Ausbau der  
Mikroelektronik an der Friedrich-  
Alexander-Universität Erlangen-  
Nürnberg

Prof. Dr.-Ing. Wolfram H. Glauert  
Friedrich-Alexander-University of  
Erlangen-Nuremberg  
Chair of Integrated System Design  
Automation

Jürgen Großkreutz  
Ministerialdirigent  
Bavarian State Ministry of  
Science, Research and the Arts

Klaus Jasper  
Ministerialdirigent  
Bavarian State Ministry of  
Commerce, Transportation and Tech-  
nology

Dr. Hans-Georg Junginger  
Sony Europe GmbH  
Chief Technology Officer  
Executive Vice President

Prof. Dr.-Ing. Meerkamm  
Friedrich-Alexander-University of  
Erlangen-Nuremberg,  
Dean of the Faculty of Engineering

Dr. Franz Nepl  
Infineon AG  
Senior Vice President  
Corporate Development

Prof. Dr.-Ing. Peter Pirsch  
University of Hannover  
Institute of Communication Theory and  
Signal Processing

Prof. Dr.-Ing. habil.  
Hans Jörg Werrmann  
German Aerospace Center (DLR)

Dr. Markus Zügel  
Semiconductor Technologies,  
Industrial Consultant

# Das Forschungs- und Dienstleistungsangebot

## Institutsspezifische Angebote zur Vertragsforschung

Die Arbeitsschwerpunkte des IIS-B liegen auf dem Gebiet der Simulation der Technologie mikroelektronischer Bauelemente sowie der Herstellungsverfahren von Halbleitermaterialien, der Entwicklung neuer Halbleiterfertigungsgeräte und Materialien sowie der Entwicklung neuer Prozessschritte und Verfahren zur Herstellung höchst- und ultrahochintegrierter Schaltkreise und der Entwicklung von Bauelementen der Mikrosystemtechnik.

Im Bereich der Technologiesimulation werden leistungsfähige Simulationsprogramme zur kostengünstigen und zügigen Bauelemententwicklung erstellt, die beispielsweise eine zweidimensionale 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, wobei durch die modulare Struktur der Programme eine Anpassung an spezifische Anforderungen des jeweiligen Nutzers ermöglicht werden kann.

Ein weiterer Schwerpunkt des IIS-B befaßt sich mit der Entwicklung und Erprobung von Halbleiterfertigungsgeräten und Materialien. 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.

Der Arbeitsschwerpunkt Technologie befaßt sich mit Entwicklung von neuen Prozessschritten und Verfahren für höchstintegrierte Schaltungen, der Qualifizierung von Gasen und Chemikalien anhand von Testprozessen und der Entwicklung von Bauelementestrukturen der Mikrosystemtechnik. In Zusammenarbeit mit dem Lehrstuhl für Elektronische Bauelemente wird dafür ein Reinraum betrieben, welcher die Durchführung der wichtigsten Prozessschritte auf Siliciumscheiben von 100 bis 150 mm Durchmesser ermöglicht. Für zukünftige VLSI- und ULSI-Schaltkreise werden Einzelprozesse entwickelt. Insbesondere werden umfangreiche Arbeiten auf den Gebieten der Erzeugung dünner dielektrischer Schichten mittels Kurzzeitprozessen (RTP, RTN) und chemischer Dampfphasenabscheidung unter Verwendung metallorganischer Precursormaterialien sowie der Implantation von Dopanden

bei Nieder- und Hochenergie durchgeführt. Darüberhinaus laufen Arbeiten auf den Gebieten der Oberflächenmodifikation von Metallen und Kunststoffen.

Entwicklungen aus den oben genannten Forschungsschwerpunkten der Abteilung für Bauelementetechnologie werden unterstützt durch meßtechnische Untersuchungen. Zu einem besonderen Schwerpunkt hat sich hier die Analytik von Spurenverunreinigungen auf Siliciumscheiben, in Prozeßchemikalien und in Gasen durch TXRF, AAS, VPD-AAS und ICP-MS bzw. HRICP-MS und API-MS entwickelt. Daneben werden die klassischen 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 angewendet.

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 und Mikrolithographie. Die Abteilung verfügt dazu über benutzerfreundliche Simulationsprogramme, die die Berechnung des globalen Wärme- und Stofftransports in Hochtemperaturanlagen mit komplexer Geometrie erlauben. Diese Programme werden in enger Kooperation mit den industriellen Nutzern in Hinblick auf neue oder verbesserte physikalische Modelle, auf Benutzerfreundlichkeit und auf effizientere numerische Algorithmen weiterentwickelt. Es sind darüber hinaus um-

## Contract Research Services

The focal areas of the Institute are technology simulations 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, and devices for microsystems technology.

In the domain of technology simulation, high-performance simulation tools for a cost-effective and rapid device development are developed. These tools allow, for example, a two-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. Thus, the modular structure of these tools enables their adaptation to the specific requirements of their respective users.

The second key activity of IIS-B 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-chemical 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 engi-

neering, 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 IC factories. 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.

The Process Technology Department works on the development of new process steps and methods for VLSI circuits, the qualification of gases and chemicals by means of test processes, as well as on the development of device structures in microsystems technology. For this purpose, IIS-B and the Chair of Electron Devices maintain joint cleanroom facilities. This allows the implementation of the most important process steps performed out on silicon wafers with diameters from 100 to 150 mm. Individual processes are developed for future VLSI and ULSI circuits. Special activities are focused on generating thin dielectric layers by means of rapid processes (RTP, RTN) and 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 surface modification of metals and plastics.

Developments achieved in the above-mentioned key areas are supported by metrological services. Analysis of trace impurities on silicon wafers, in process chemicals and gases through TXRF, AAS, VPD-AAS, and ICP-MS or HRICP-MS and API-MS has evolved into a major field of activity. Apart from that, 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 are performed.

The Department Crystal Growth provides various R&D services which are based on its know-how in crystal growth and 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 the growth of crystals to be used in microelectronics and microlithography. The department is provided with user-friendly simulation programs, which are especially suitable for global 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 the heat and mass transport in crystal growth equipment. In addition, numerous methods for electrical and optical characteriza-

fangreiche 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 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 alle Felder der Leistungselektronik mit Schwerpunkten in den Bereichen Industrie- und Automobilelektronik. Unterstützt werden Firmen in der anwendungsorientierten Vorlaufforschung 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 Leistungsbauelemente, 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 IIS-B sehr eng mit dem Lehrstuhl für Elektronische Bauelemente sowie mit dem Institut für Werkstoffwissenschaften, Lehrstuhl 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 Schaltungen, Bereich Bauelementetechnologie, verfügt über eine Fläche von 4780 m<sup>2</sup>, davon 2620 m<sup>2</sup> Büro- und Sonderflächen sowie 1590 m<sup>2</sup> Laborräume. Gemeinsam mit dem Lehrstuhl für Elektronische Bauelemente wird die Reinraumhalle der Universität mit 600 m<sup>2</sup> 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 Scheibehandhabung von Kassette zu Kassette entspricht dem in der Industrie geforderten Standard.

Im einzelnen stehen folgende Großgeräte zur Verfügung:

#### Technologiegeräte

- Oxidation: 3-Stock- und 4-Stocköfen, 300 mm-Vertikalofen, Kurzzeitoxidation, Rohrreinigungsanlage
- Dotierung: 5 Ionenimplantationsanlagen einschließlich einer Hoch-

energieimplantationsanlage bis zu 6 MeV, Diffusions- und Temperöfen, Kurzausheilapparaturen

- Schichtabscheidung: LPCVD von SiO<sub>2</sub>, Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Polysilicium, SIPOS, Elektronenstrahlverdampfung, Widerstandsverdampfung und induktiver Verdampfer, Sputteranlage für hochschmelzende Metalle, Gold und Aluminium, Epitaxieanlage
- Ätztechnik: Plasma- und RIE-Trockenätzer für SiO<sub>2</sub>, Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, Silicium, Aluminium, Lackveraschung, Naßätzbänke für alle wesentlichen Reinigungs- und Ätzschritte
- Lithographie: Projektions- und Proximity-Belichtungsgeräte, automatische Lackstraße für Belägen und Entwickeln
- 2 Bonder (Hand und Automatik), Verkapselung
- Reinräume der Klasse 100 für die Entwicklung, Erprobung, Vorqualifikation und Montage von Halbleiterfertigungsgeräten mit
  - MESC-kompatibler Clusterplattform mit XPS-Meßmodul
  - Versuchsstand für Partikelmessung
  - Versuchsstand für Plasmadiagnostik
  - Vertikalofen mit *in situ*-Schichtdickenmeßtechnik
- Siliciumscheibenmarker und Mehrkammerprozeßanlagen
- Kristallziehanlagen: 2 Hochdruck-Czochralski-Anlagen, 3 Hochdruck-Mehrzonenoefenanlagen, 1 Ofenanlage für Hochvakuum bzw. Reaktivgase, mehrere Mehrzonenoefen u.a. für spezielle Einsatzgebiete (Magnetfelder, Zentrifuge)
- Diverse Magnetsysteme für statische und zeitabhängige Magnetfelder
- Zentrifuge (3 m Durchmesser, bis zu 250 U/min)
- Drahtsäge und Poliermaschine (max 3")
- Schichtabscheidung: Zwei Aufdampfanlagen, zwei Sputteranlagen

tion of crystals are available due to a close cooperation to the Department of Material Science, Institute for Electrical Engineering Materials.

The department of Power Electronic Systems is engaged in circuit and system engineering for all fields of power electronics with main emphasis on industrial and automotive electronics. 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, IIS-B and the Chair of Electron Devices as well as the Department of Material Science, Institute for Electrical Engineering Materials maintain a close link enabling them to share available R&D infrastructure and equipment as well as to coordinate research activities and application-oriented teaching and professional training in the domain of microelectronics.

Not only by its membership of the Fraunhofer Group 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 Circuits, Device Technology Division, has a total of 4,780 m<sup>2</sup> of floor space at its disposal; 2,620 m<sup>2</sup> for offices and special purposes and 1,590 m<sup>2</sup> of laboratory space. In addition, 600 m<sup>2</sup> of cleanroom 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 IIS-B has the following large-scale equipment at its disposal:

#### Processing Equipment

- Oxidation: 3-stage and 4-stage furnaces, 300 mm vertical furnace, rapid thermal oxidation, tube cleaning 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 SiO<sub>2</sub>, Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, polysilicon, SIPOS, electron beam evaporation, resistance evaporation, and inductive evaporator, sputtering system for refractory metals, gold, and aluminum, epitaxy system
- Etching methods: plasma and RIE dry etcher for SiO<sub>2</sub>, Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, silicon, aluminum, resist ashing, wet benches for all essential cleaning and etching

steps

- Lithography: projection and proximity exposure systems, automatic wafer track for coating and developing
- 2 bonders (manual and automatic), packaging
- 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 and integrated vacuum processing tools
- Facilities for crystal growth: 2 high-pressure Czochralski pullers, 3 high-pressure multi-zone furnaces, 1 multi-zone furnace for high vacuum and reactive atmosphere, several multi-zone furnaces among others for special applications (magnetic fields, centrifuge)
- S Several magnets for steady and time-dependent magnetic fields
- centrifuge (3 m diameter, up to 250 rpm)
- Wire saw and polishing mashine (max. 3")
- Layer deposition: 2 evaporation systems, 2 sputter systems (max. 150 mm), 2 liquid phase epitaxy facilities

#### Electrical Metrology

- Sheet resistance (four-point probe)
- Profile of carrier concentration & mobility (Hall measuring set, spreading resistance)
- Diffusion length and lifetime of minority carriers (Electrolytical Metal Tracer (ELYMAT), Surface photovoltage (SPV), Microwave photocurrent decay ( $\mu$ W-PCD))
- Oxide-charge and interface-state density (high- and low-frequency

(max. 150 mm), zwei Flüssigphasenepitaxieanlagen

#### Elektrische Meßtechnik

- Schichtwiderstand (Vierspitzenmeßplatz, Teststrukturen)
- Profile von Ladungsträgerkonzentration und -beweglichkeit (Hall-Meßplatz, Spreading-Resistance)
- Diffusionslänge und Lebensdauer von Minoritätsladungsträgern (Electrolytical Metal Tracer (ELYMAT), Surface Photovoltage (SPV), Microwave Photocurrent Decay ( $\mu\text{W-PCD}$ ))
- Oxidladungs- und Grenzflächenzustandsdichte (hoch- und niederfrequente Kapazitäts-Spannungsmessung, Thermo-Streß)
- Trap-Konzentration (Deep Level Transient Spectroscopy (DLTS))
- I(U)- und C(U)-Messungen mit manuellen oder automatischen Scheibenprobern
- Prüfkartenfertigungsplatz
- Solarmeßplatz
- Hall-Effekt (Temperaturabhängig 15 K - 650 K)
- Widerstandsmapping (4 Spitzen und Spreading Resistance)
- C(U), DLTS, TSC und PICTS für Messung von flachen und tiefen Störstellen
- Photolumineszenz (14 K, 300 K), IR-Absorption
- Oszilloskope (bis 10GS/s)
- IR-Thermographie
- Zth-Meßplatz
- normgerechte Burst/Surge-Generatoren
- Netzleistungs- und Oberwellen-Analysator
- Temperaturschockschrank
- Klimaschrank
- Schaltungssimulatoren
- 3-D thermische FEA

#### Geometrische Charakterisierung

- Scheibendicke und -verbiegung

(kapazitiv)

- Schichtdicken (optisch mit Ellipsometer oder Interferometer, mechanisch mit Profilometer, schnelles Interferometer für *in situ*-Messungen, Spektrellipsometer (*in situ, ex situ*))
- Strukturbreiten (Rasterelektronenmikroskop, Laserrasterelektronenmikroskop)
- Partikelkontamination (für strukturierte und nicht strukturierte Scheiben)
- Elektronenoptische Untersuchungen (Transmissions- und Rasterelektronenmikroskop mit digitaler Bildverarbeitung, Probenpräparation)
- Mechanische Spannungen in dünnen Schichten
- Interferometer

#### Analytik

- Rasterelektronenmikroskop (REM) mit energiedispersiver Röntgenstrahlanalyse (EDX)
- Rasterkraftmikroskop (AFM)
- Feldemissions-Rasterelektronenmikroskop
- Sekundärionen-Massenspektrometer (SIMS)
- Flugzeit-Sekundärionen-Massenspektrometer (ToF-SIMS)
- Neutralteilchen-Massenspektrometer (SNMS)
- Rutherford-Rückstreu-Spektrometer (RBS)
- Photoelektronen-Spektrometer (XPS)
- Atomabsorptionsspektrometer (AAS mit VPD)
- Transmissionselektronenmikroskop (TEM)
- Totalreflexions-Röntgenfluoreszenz-Analyse (TXRF)
- Hochauflösende Röntgendiffraktometer (HR-XRD)
- Optische Emissionsspektroskopie mit induktiv gekoppeltem Plasma (ICP-OES)
- UV / VIS / NIR Spektrometer
- Atmosphärendruckionisations-

Massenspektrometer (APIMS)

- Kontaktwinkelmeßgerät
- Magnetsektorfeldmassenspektrometer
- ICP-Massenspektrometer (ICP-MS)
- Hochauflösendes ICP-Massenspektrometer (HR-ICP-MS)
- Flüssigchromatograph (LC)
- TOC-/DOC-Meßgeräte
- Partikelzähler für flüssige und gasförmige Medien und zur Überwachung der Reinraumqualität
- Feinfokussionstrahlanlagen
- Thermowellentechnik
- optisches System zur Halbleiterscheibeninspektion und Klassifikation
- Gaschromatograph-Massenspektrometer mit Thermodesorption (TD)-GC-MS
- Kalometrie, Thermodynamik (DTA und DSC)

Am IIS-B können folgende Prozeßschritte und Analytik auf 300 mm-Scheiben durchgeführt werden:

#### Prozesse

- Oxidation
- Ionenimplantation
- Reinigung
- Naßätzen
- Aufdampfen (Metallisierung)
- Lithographie (bis zu 10  $\mu\text{m}$ )
- Polieren

#### Meßtechnik

- Schichtdickenmessung (Spektral- und Einwellenellipsometrie, Interferometrie)
- Thermowellentechnik
- Vapor Phase Decomposition (VPD) mit und ohne automatischen Tropfenscanner
- Atomabsorptionsspektroskopie (AAS)
- ICP-Massenspektrometrie
- Optische Emissionsspektroskopie

- capacitance voltage measurement, thermal stress)
- Trap density (Deep Level Transient Spectroscopy (DLTS))
- I-V and C-V measurements with manual or automatic wafer probers
- Test card assembly
- Solar measurement set-up
- Hall effect (temperature-dependent 15 K - 650 K)
- Resistivity mappings (4-point probe and spreading resistance)
- C(U), DLTS, TSC und PICTS for measurement of shallow and deep levels
- Photoluminescence (14 K, 300 K), IR Absorption
- Oscilloscopes (up to 10GS/s)
- Thermal imaging system
- Zth measurement equipment
- Burst and surge pulse sources
- Three-phase power meter with line harmonic analyzer
- Thermal shock chamber
- Climatic test cabinet, Circuit simulation tools
- 3-D thermal FEA

#### Geometric Characterization

- Wafer thickness and bow (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)
- Transmission and scanning electron microscopy with digital image processing, sample preparation
- Mechanical stress in thin films
- Particle contamination (patterned and unpatterned)
- Interferometer

#### Analytics

- Scanning electron microscope (SEM)

- with energy-dispersive X-ray analysis (EDX)
- Atomic force microscope (AFM)
- Field-emission scanning electron microscope
- Secondary ion mass spectroscopy (SIMS)
- Time-of-flight secondary ion mass spectroscopy (ToF-SIMS)
- Secondary neutral mass spectroscopy (SNMS)
- Rutherford backscattering spectroscopy (RBS)
- X-ray photoelectron spectroscopy (XPS)
- Atomic absorption spectroscopy (AAS with VPD)
- Transmission electron microscope (TEM)
- Total-reflection X-ray fluorescence analysis (TXRF)
- High-resolution X-ray diffractometer (HR-XRD)
- Optical emission spectroscopy with inductively coupled plasma (ICP-OES)
- UV / VIS / NIR spectrometer
- Atmospheric pressure ionization mass spectrography (APIMS)
- Contact angle measurement tool
- Magnetic sector field mass spectrography
- ICP mass spectrography (ICP-MS)
- High-resolution ICP mass spectrography (HRICP-MS)
- Liquid chromatography (LC)
- TOC / DOC measurement tools
- Particle counter for liquid and gaseous media and for monitoring cleanroom quality
- Focused ion beam systems
- 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)

At the IIS-B, the following process steps and analytics can be performed for 300 mm wafers:

#### Processing

- Oxidation
- Ion implantation
- Cleaning
- Wet etching
- Deposition (metallization)
- Lithography (down to 10  $\mu\text{m}$ )
- Polishing

#### Metrology

- Layer thickness (single-wavelength and spectral ellipsometer, interferometer)
- Thermal wave metrology
- Vapor phased decomposition (VPD) with or without automatic droplet scanner
- Atomic absorption spectroscopy (AAS with VPD)
- ICP mass spectrometry (ICP-MS)
- 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

(ICP-OES)

- Gaschromatograph-Massenspektrometrie (GC-MS)
- Totalreflexions-Röntgenfluoreszenz-Analyse (TXRF)
- Diffusionslänge und Lebensdauer von Minoritätsladungsträger mit Electrolytical Metal Tracer (ELYMAT)
- Partikelmessungen

Rechner

- DEC Alpha Server 2100 5/250 - 4 CPUs, DEC Alpha Workstations, Sun Workstations, Arbeitsplatz- und Steuerrechner, AutoCAD
- Halbleiterfertigungsgeräteentwicklung
  - Fuzzyentwicklungssystem
  - Entwicklungssysteme für Gerätsteuerung

██████████  
Kontakt und weitere Informationen

Öffentlichkeitsarbeit

Dr. Claus Schneider  
Telefon: +49 (0) 9131 761-161  
Fax: +49 (0) 9131 761-390  
Email: info@iis-b.fhg.de

Applikations- und Dienstleistungszentrum Mikrosystemtechnik

N.N.

Technologiesimulation

Dr. Jürgen Lorenz  
Telefon: +49 (0) 9131 761-211  
Fax: +49 (0) 9131 761-212  
Email: lorenz@iis-b.fhg.de

Halbleiter-Fertigungsgeräte und Materialien

Dr. Lothar Pfitzner  
Telefon: +49 (0) 9131 761-111  
Fax: +49 (0) 9131 761-112  
Email: pfitzner@iis-b.fhg.de

Prozeßtechnik

Dr. Lothar Frey  
Telefon: +49 (0) 9131 761-320  
Fax: +49 (0) 9131 761-312  
Email: frey@iis-b.fhg.de

Dr. Anton Bauer  
Telefon: +49 (0) 9131 761-308  
Fax: +49 (0) 9131 761-312  
Email: anton.bauer@iis-b.fhg.de

Kristallzüchtung

Prof. Georg Müller  
Telefon: +49 (0) 9131 852-7636  
Fax: +49 (0) 9131 852-8495  
Email: georg.mueller@iis-b.fhg.de

Dr. Jochen Friedrich  
Telefon: +49 (0) 9131 761-344  
Fax: +49 (0) 9131 761-390  
Email: jochen.friedrich@iis-b.fhg.de

Leistungselektronische Systeme

Dr. Martin März  
Telefon: +49 (0) 9131 761-310  
Fax: +49 (0) 9131 761-312  
Email: martin.maerz@iis-b.fhg.de

## Computers

- DEC alpha server 2100 5/250 - 4 CPUs, DEC alpha workstations, Sun workstations, PCs, and control computers, Auto CAD
- Development tools for equipment control
  - Fuzzy development system
  - Development systems for equipment control

## Contact and Further Information

### Public Relations

Dr. Claus Schneider  
 Phone: +49 (0) 9131 761-161  
 Fax: +49 (0) 9131 761-390  
 Email: info@iis-b.fhg.de

### Application and Service Center for Microsystems Technology

N.N.

## Technology Simulation

Dr. Jürgen Lorenz  
 Phone: +49 (0) 9131 761-210  
 Fax: +49 (0) 9131 761-212  
 Email: lorenz@iis-b.fhg.de

## Semiconductor Manufacturing Equipment and Materials

Dr. Lothar Pfitzner  
 Phone: +49 (0) 9131 761-110  
 Fax: +49 (0) 9131 761-112  
 Email: pfitzner@iis-b.fhg.de

## Process Technology

Dr. Lothar Frey  
 Phone: +49 (0) 9131 761-320  
 Fax: +49 (0) 9131 761-312  
 Email: frey@iis-b.fhg.de

Dr. Anton Bauer  
 Phone: +49 (0) 9131 761-308  
 Fax: +49 (0) 9131 761-312  
 Email: anton.bauer@iis-b.fhg.de

## Crystal Growth

Prof. Georg Müller  
 Phone: +49 (0) 9131 852-7636  
 Fax: +49 (0) 9131 852-8495  
 Email: georg.mueller@iis-b.fhg.de

Dr. Jochen Friedrich  
 Phone: +49 (0) 9131 761-344  
 Fax: +49 (0) 9131 761-390  
 Email: jochen.friedrich@iis-b.fhg.de

## Power Electronic Systems

Dr. Martin März  
 Phone: +49 (0) 9131 761-310  
 Fax: +49 (0) 9131 761-312  
 Email: martin.maerz@iis-b.fhg.de

## Mitarbeiterentwicklung

2000 beschäftigte das IIS-B 95 Mitarbeiter. Fig. 3 zeigt die Entwicklung des Personalstandes seit 1990.

## Staff Development

In 2000, IIS-B had 95 employees. Fig. 3 shows the staff development since 1990.

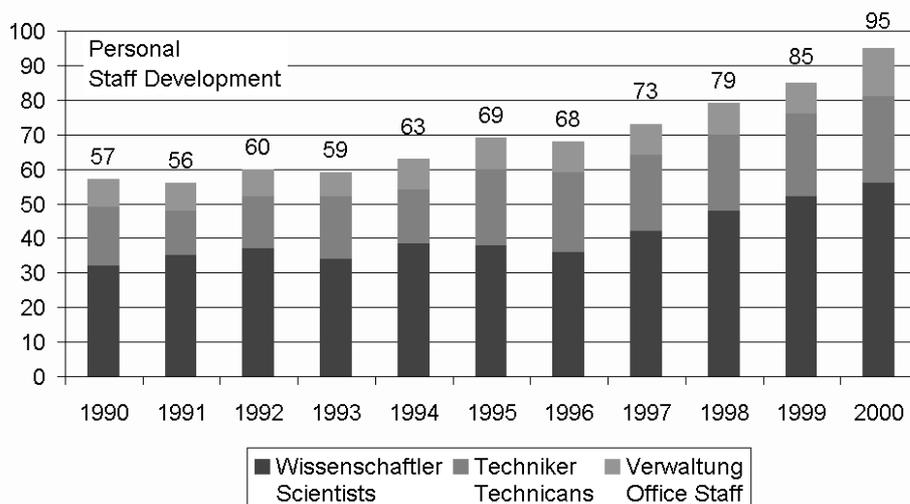


Fig. 3: Personalentwicklung 1990 - 2000;  
Staff development 1990 - 2000.

## Betriebshaushalt

Fig. 4 und Fig. 5 sollen eine schnelle Orientierung über die wichtigsten Kennziffern bei Aufwand und Finanzierung des IIS-B schaffen.

## Budget

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

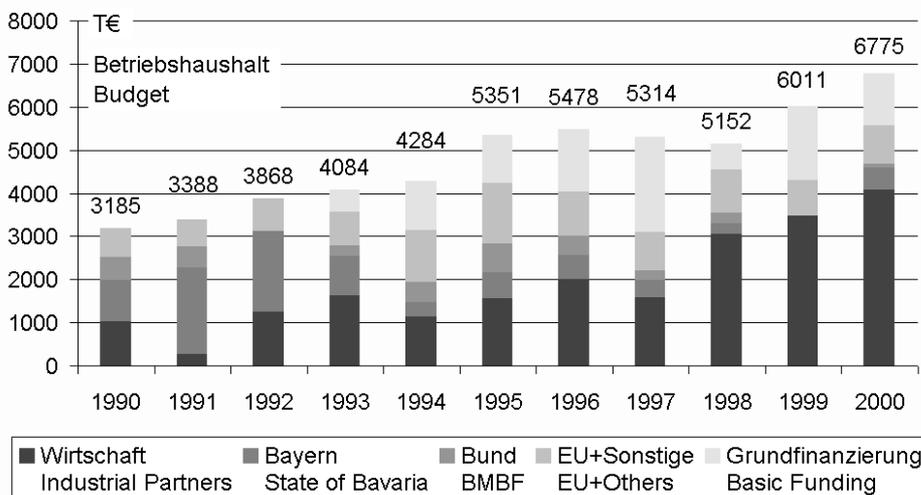


Fig. 4: Entwicklung des Betriebshaushaltes;  
Budget development IIS-B.

# Representative Figures

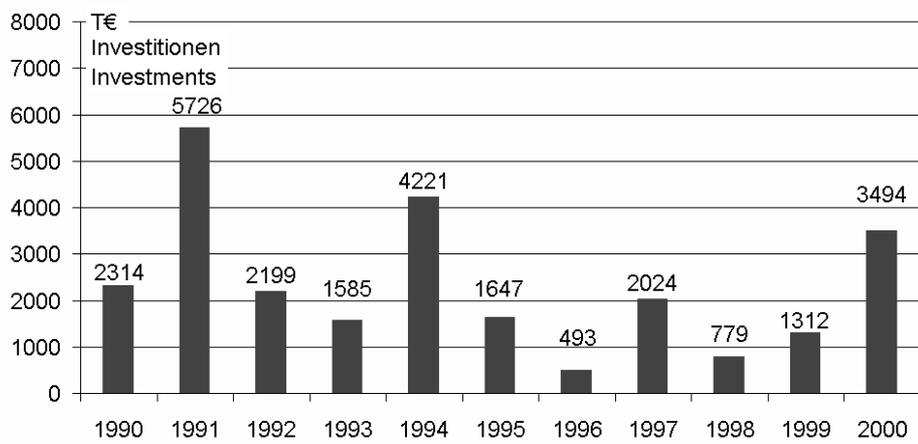


Fig. 5: Entwicklung des Investitionshaushaltes;  
Development of investments.

# Die Fraunhofer-Gesellschaft auf einen Blick

## Die Forschungsorganisation

Die Fraunhofer-Gesellschaft ist die führende Trägerorganisation für Einrichtungen der angewandten Forschung in Deutschland. Sie betreibt Vertragsforschung für die Industrie, für Dienstleistungsunternehmen und die öffentliche Hand. Für Kunden aus der Wirtschaft werden einsatzreife Lösungen technischer und organisatorischer Probleme rasch und kostengünstig erarbeitet.

Im Rahmen der Technologieprogramme der Europäischen Union wirkt die Fraunhofer-Gesellschaft in Industriekonsortien an der Lösung technischer Fragen zur Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit der europäischen Wirtschaft mit. Im Auftrag und mit Förderung durch Ministerien und Behörden des Bundes und der Länder werden strategische Forschungsprojekte durchgeführt, die zu Innovationen im Bereich von Schlüsseltechnologien und im öffentlichen Nachfragebereich (Energie, Verkehr, Umwelt) beitragen. Die Globalisierung von Wirtschaft und Forschung macht eine internationale Zusammenarbeit unerlässlich. Niederlassungen einzelner Fraunhofer-Institute in den USA und in Asien sorgen daher für Kontakt zu den wichtigsten gegenwärtigen und zukünftigen Wirtschaftsräumen.

Die Fraunhofer-Gesellschaft betreibt derzeit 48 Forschungseinrichtungen an Standorten in der gesamten Bundesrepublik. Die internationale Zusammenarbeit wird durch Niederlassungen in den USA und in Asien gefördert. Rund 9 600 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, überwiegend mit natur- oder ingenieurwissenschaftlicher Ausbildung, erarbeiten das jährliche Forschungsvolumen von rund 760 Millionen Euro. Davon fallen mehr als 650 Millionen Euro auf den Leistungsbereich Vertragsforschung. Rund zwei Drittel die-

ses Leistungsbereichs erwirtschaftet die Fraunhofer-Gesellschaft aus Aufträgen der Industrie und öffentlich finanzierten Forschungsprojekten. Die Fraunhofer-Wissenschaftler sind auf differenzierte Forschungsaufgaben aus einem breiten Spektrum von Forschungsfeldern spezialisiert. Wenn Systemlösungen gefragt sind, arbeiten mehrere Institute interdisziplinär zusammen.

Mitglieder der 1949 gegründeten und als gemeinnützig anerkannten Fraunhofer-Gesellschaft sind namhafte Unternehmen und private Förderer. Von ihnen wird die bedarfsorientierte Entwicklung der Fraunhofer-Gesellschaft mitgestaltet. Ihren Namen verdankt die Gesellschaft dem als Forscher, Erfinder und Unternehmer gleichermaßen erfolgreichen Münchner Gelehrten Joseph von Fraunhofer (1787-1826).

Die Gesamtaufwendungen der Fraunhofer-Gesellschaft 1999 betragen rund 700 Millionen Euro, davon 600 Millionen im Leistungsbereich Vertragsforschung. Hier erwirtschaftete sie etwa zwei Drittel aus Aufträgen der Industrie und aus öffentlich finanzierten Forschungsprojekten. Mehr als 50 Prozent der Aufträge aus der Wirtschaft stammen von kleinen und mittleren Unternehmen.

## 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, Informationsvermittlung

## 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

# The Fraunhofer-Gesellschaft at a Glance

## The Research Organization

The Fraunhofer-Gesellschaft is Germany's leading organization of institutes of applied research. It undertakes contract research on behalf of industry, the service sector, and government. Customers are provided with rapid, economical and immediately applicable solutions to technical and organizational problems.

The Fraunhofer-Gesellschaft works within the framework of the European Union's technology programs, striving to improve the competitiveness of European industry through the enhancement of technical systems and processes. Commissioned and funded by the Federal and Länder governments, the Fraunhofer-Gesellschaft undertakes strategic research projects which contribute to the development of innovations in key technologies and spheres of major public concern, such as energy, transport and the environment.

The Fraunhofer-Gesellschaft currently maintains 48 research establishments throughout Germany. A staff of 9,600, the majority of whom are scientists and engineers, generate the annual research budget of more than 760 million euro. Work focuses on specific tasks across a wide spectrum of research fields. Where systematic solutions are required, several institutes collaborate on an interdisciplinary basis.

The Fraunhofer-Gesellschaft was founded in 1949 and is a recognized non-profit organization. Amongst its members are well-known companies and private patrons who contribute to the promotion of its application-oriented policy.

The organization takes its name from Joseph von Fraunhofer (1787-1826), the successful Munich researcher, in-

ventor and entrepreneur.

The total expenditure of the Fraunhofer-Gesellschaft in 1998 was around 1.3 billion DM. Two-thirds of this was derived from industrial contracts and publicly funded research projects. More than 50 percent of contracts from industry came from small and medium-sized companies. Revenue generated by the Fraunhofer-Gesellschaft abroad exceeded 107 million DM.

## 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 behaviour
- 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 marketable 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

ten 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 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.

### Die Wege zur Zusammenarbeit mit der Fraunhofer-Gesellschaft

Fraunhofer-Gesellschaft  
Hauptabteilung Forschung und Kommunikation  
Telefon: +49 (0) 89/12 05-577 / 544  
Fax: +49 (0) 89/12 05-317  
Email: gorzaw@zv.fhg.de  
Email: behlau@zv.fhg.de

Die zentrale Anschrift lautet:

Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e. V.  
Postfach 19 03 39  
D-80603 München  
Leonrodstraße 54  
D-80636 München  
Telefon: +49 (0) 89/12 05-01  
Fax: +49 (0) 89/12 05-317  
Internet: <http://www.fhg.de/>

Dem Vorstand gehören an:

Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. mult.  
Hans-Jürgen Warnecke  
(Präsident)  
Dr. Dirk-Meints Polter  
(Vorstand Personal und Recht)  
Dr. Hans-Ulrich Wiese  
(Vorstand Finanzen)

Ihre Ansprechpartner in der Abteilung für Presse und Öffentlichkeitsarbeit:

Dr. Ingo Heinemann  
(Öffentlichkeitsarbeit)  
Telefon: +49 (0) 89/12 05-277 / 278  
Email: heinemann@zv.fhg.de  
Franz Miller  
(Presse)  
Telefon: +49 (0) 89/12 05-533  
Email: miller@zv.fhg.de

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

Research and Communications Division

Phone: +49 (0) 89 1205-577 / 544

Fax: +49 (0) 89 1205-317

Email: gorzaw@zv.fhg.de

Email: behlau@zv.fhg.de

The central address is:

Fraunhofer-Gesellschaft zur Foerderung der Angewandten Forschung e.V.

Postfach 19 03 39

D-80603 Muenchen

Leonrodstrasse 54

D-80636 Muenchen

Phone: +49 (0) 89 1205-01

Fax: +49 (0) 89 1205-317

Internet: <http://www.fhg.de/>

The Members of the Executive Board:

Prof. Hans Jürgen Warnecke  
(President)

Dr. Dirk-Meints Polter  
(Personnel, Legal Department, International Relations)

Dr. Hans-Ulrich Wiese  
(Accounting Department)

Press and Public Relations:

Dr. Ingo Heinemann  
(Public Relations)  
Phone: +49 (0) 89 1205-277 / 278  
Email: [heinemann@zv.fhg.de](mailto:heinemann@zv.fhg.de)

Franz Miller  
(Press)  
Phone: +49 (0) 89 1205-533  
Email: [miller@zv.fhg.de](mailto:miller@zv.fhg.de)

## Fraunhofer-Verbund Mikroelektronik

Die Geschäftsstelle des Fraunhofer-Verbunds Mikroelektronik fungiert als zentrales Koordinierungsbüro für sieben Verbundinstitute. Sie berät und unterstützt das Direktorium des Verbunds Mikroelektronik bei Fragen der inhaltlichen Abstimmung und der fachlichen Zukunftsplanung. Zentrale Aufgabe ist die Erarbeitung von Strategien und Roadmaps für die Verbundinstitute sowie die Koordinierung ihrer Umsetzung. Darüber hinaus ist die Geschäftsstelle für zentrales Marketing und institutsübergreifende Öffentlichkeitsarbeit zuständig.

## Fraunhofer Consortium Microelectronics

The Fraunhofer Microelectronics Alliance VμE coordinates the activities of the Fraunhofer institutes working in the fields of microelectronics and microintegration. Its purpose is to recognize and anticipate new trends in microelectronics applications and to incorporate them in the future strategic plans of the member institutes. This is generally done by defining joint focal areas of research and through joint projects. This method of working enables the cooperating institutes to offer their customers, in particular innovative small and medium-sized firms, access to cutting-edge research and innovative developments in applications

at an extremely early stage, thus giving them a distinct competitive advantage. The office of the Fraunhofer Microelectronics Alliance serves as a central liaison point for the seven member institutes. Acting in an advisory function, it provides support to the steering committee of the Microelectronics Alliance in matters related to the coordination of research content and the planning of future work. The office's main function is to draw up strategies and roadmaps for the member institutes and to coordinate their implementation. A further aspect of its work is central marketing and cross-institute public relations work.

Die beteiligten Institute sind:  
The member institutes are:

Institut / Institute	Ort / Location	Leitung / Director
Angewandte Festkörper Physik IAF / Applied Solid State Physics IAF	Freiburg	Prof. Dr. Günter Weimann
Systeme der Kommunikationstechnik ESK / Communications Systems ESK	München	Prof. Dr. Ingolf Ruge
Integrierte Schaltungen, Bereich Angewandte Elektronik IIS-A / Integrated Circuits, Applied Electronics Division IIS-A	Erlangen, Nürnberg, Fürth Dresden, Ilmenau, Saarbrücken	Prof. Dr. Heinz Gerhäuser
Integrierte Schaltungen, Bereich Bauelementetechnologie IIS-B / Integrated Circuits, Device Technology Division IIS-B	Erlangen	Prof. Dr. Heiner Ryssel
Mikroelektronische Schaltungen und Systeme IMS / Microelectronic Circuits and Systems IMS	Duisburg, Dresden, München	Prof. Dr. Günter Zimmer
Siliciumtechnologie ISIT / Silicon technology ISIT	Itzehoe	Prof. Dr. Anton Heuberger
Zuverlässigkeit und Mikrointegration IZM / Reliability and Microintegration IZM	Berlin, München, Teltow Chemnitz, Paderborn	Prof. Dr. Herbert Reichl Vorsitzender des Verbundes/Chairman

Die Standorte der Forschungseinrichtungen

Locations of the Research Facilities

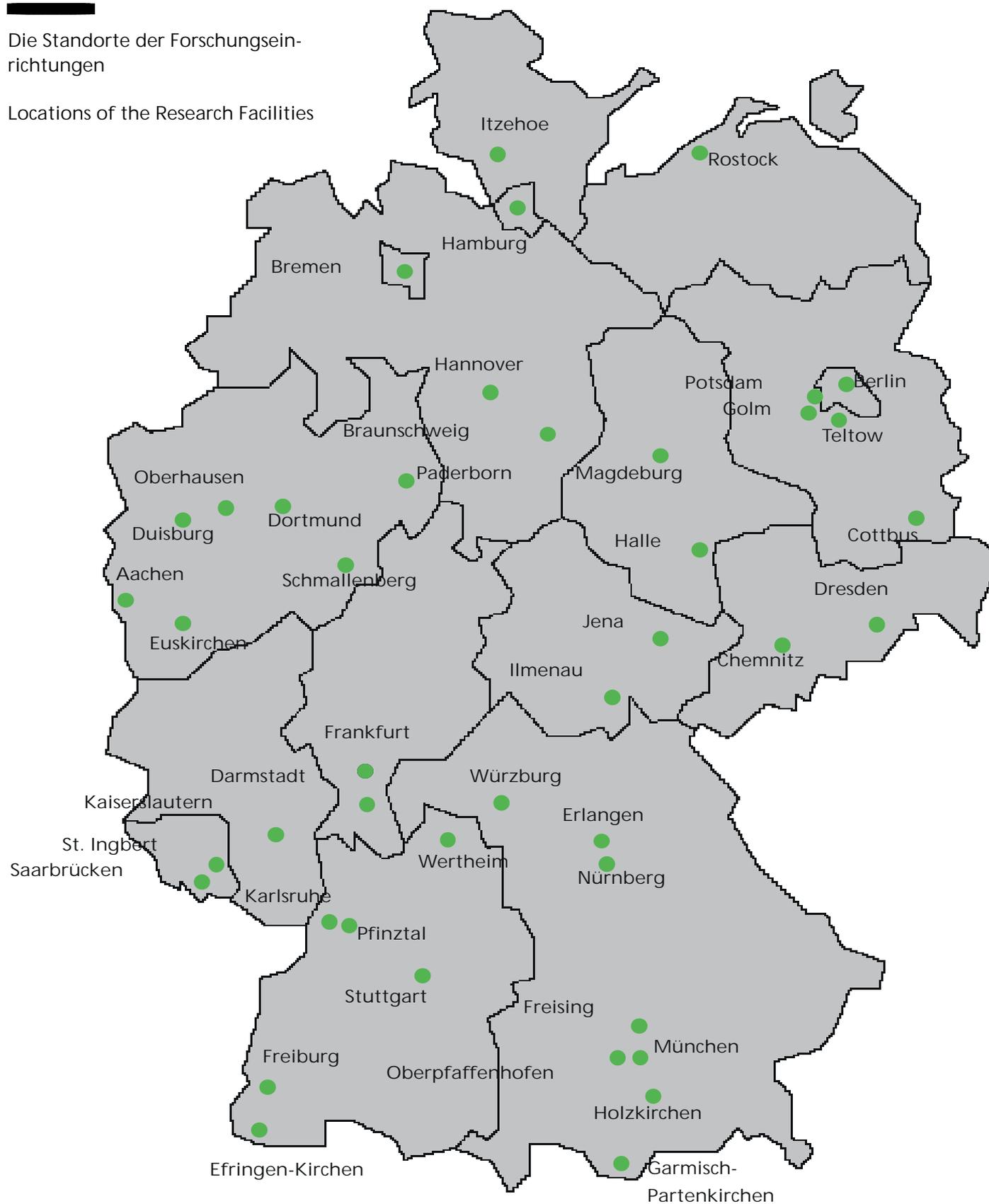


Fig. 6: Die Standorte der Forschungseinrichtungen;  
Locations of the Research Institutes in Germany.

Schwerpunkte, Trends und Potentiale der Abteilung Technologiesimulation

Das Jahr 2000 war für die Abteilung Technologiesimulation eines der erfolgreichsten seit Gründung des Instituts und der Abteilung: In allen wissenschaftlichen Aktivitäten der Abteilung konnte die bereits sehr gute Stellung der Abteilung in der Kooperation mit Kunden und Forschungspartnern in Deutschland, Europa und weltweit weiter ausgebaut werden. Neben einem wiederum sehr hohen Finanzierungsanteil durch externe Projekte gelang es der Abteilung im Jahr 2000 erstmals, rund 50% ihrer Kosten aus Industrieerträgen zu bestreiten.

Einen wichtigen Beitrag zu dieser Entwicklung leisteten die im Rahmen der neu gebildeten Gruppe Topographiesimulation am IIS-B neu aufgebauten Aktivitäten zur Lithographiesimulation. Trotz des generellen kritischen Mangels an Nachwuchswissenschaftlern in Natur- und Ingenieurwissenschaften gelang es, geeignete zusätzliche Mitarbeiter zu gewinnen, so daß die Gruppe von drei Mitarbeitern Ende 1999 auf sechs Mitarbeiter Anfang 2001 wuchs, mit weiter steigender Tendenz. Hierbei kam der Gruppe neben der weiter stark ansteigenden Bedeutung lithographischer Probleme für die zukünftige Entwicklung der Mikroelektronik und der daraus resultierenden industriellen Nachfrage nach F&E Leistungen die internationale Orientierung ihrer Arbeiten zugute, die sie auch für Wissenschaftler aus dem Ausland attraktiv macht. Die Finanzierung dieses Wachstums erfolgt neben einem Marie-Curie-Stipendium der Europäischen Union im wesentlichen aus eigenen Industrieerträgen. Strategische Kooperationen bestehen u.a. mit Infineon und dem Software Haus SIGMA-C Besonders bemerkenswert ist die außerordentliche

Anerkennung der im Rahmen eines von Sematech finanzierten Projekts durchgeführten Arbeiten durch die Auftraggeber.

Eine besonders wichtige Entwicklung in den europäischen Kooperationen der Abteilung war der sehr erfolgreiche Abschluß des vom IIS-B koordinierten ESPRIT-Projekts „RAPID“ zur transienten Diffusion in Silicium: Von den Gutachtern wurden nicht nur die erreichten Ergebnisse außerordentlich gelobt, sondern auch eine Fortsetzung der Aktivitäten auf europäischer Ebene gefordert. Dies ist für das Jahr 2001 geplant. Parallel dazu wurde Anfang 2000 mit dem IST-Projekt „MAGIC\_FEAT“ zur Entwicklung von Programmen für die dreidimensionale Gittergeneration das vierte in Folge vom IIS-B koordinierte europäische industrielle Verbundforschungsvorhaben zur Prozeßsimulation begonnen. Aufgrund der Rolle des IIS-B in der von ihm initiierten und koordinierten industriellen Nutzergruppe „UPPER“ (User Group for Process Simulation European Research) wurde der Leiter der Abteilung von den führenden europäischen Halbleiterfirmen gebeten, als Experte und Co-chairman der europäischen Simulationsaktivitäten an der Erstellung der „International Technology Roadmap for Semiconductors (ITRS)“ teilzunehmen. Insgesamt sieht sich die Abteilung in der Verantwortung, weiter nachdrücklich für die bestmögliche Nutzung der europäischen Möglichkeiten auf dem Gebiet der Prozeßsimulation hinsichtlich technischem Fortschritt und industrieller Ausrichtung und Anwendung einzutreten und sie zu organisieren.

Ein weiterer Schwerpunkt der Abteilung im Jahr 2000 bestand in der Thematik der energiesparenden Elektronik: Die Aktivität wurde im Jahr 2000 durch die Marktorientierte Strategische Vorkaufforschung (MaVo) „Integrierte Energieversorgung“ gestärkt. Neben

Arbeiten der Abteilung Technologie trägt das IIS-B zu diesem Projekt mit der Erweiterung, Anpassung, Integration und Anwendung von Werkzeugen zur Prozeß-, Bauelemente- und Schaltungssimulation bei. Ziel ist es, die technischen Möglichkeiten und das Akquisitionspotential der FhG und insbesondere des Fraunhofer-Verbunds Mikroelektronik auf dem Gebiet der portablen Elektronik weiter zu stärken. Der Beitrag der Abteilung hierzu besteht in der Bestandsaufnahme, der Bewertung und der Anpassung von im FhV oder von externen Anbietern verfügbaren Technologien durch den Einsatz der Simulation, um Kunden des FhV ein möglichst attraktives Angebot machen zu können.

Aufgrund der hier teilweise skizzierten laufenden Entwicklungen können die Zukunftsperspektiven der Abteilung als sehr gut eingeschätzt werden. Die treibende Kraft für diese Entwicklung ist die weiter steigende Notwendigkeit zur Kostenreduktion bei der Entwicklung mikroelektronischer Bauelemente und Schaltungen: Bereits für das Jahr 2005 wird von der Industrie eine Kostenersparnis von 35% durch den Einsatz von Prozeß-, Bauelemente- und Schaltungssimulation (Technology Computer Aided Design - TCAD) bei der Entwicklung neuartiger Bauelemente gefordert. Darüber hinaus belegt das aktuelle ITRS Strategiepapier einen großen industriellen Bedarf an TCAD über seinen gesamten Prognosezeithorizont, d.h. zumindest bis 2014.

Ansprechpartner

Dr. Jürgen Lorenz  
Telefon: +49 (0) 9131 761-210  
Email: lorenz@iis-b.fhg.de

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

2000 has been one of the most successful years for the department technology simulation since the founding of the institute and of the department. In all its scientific activities, the department could further extend its already very good position in cooperations with customers and research partners in Germany, Europe, and world-wide. Again, the costs of the department were covered by external projects to a very large extent. Moreover, in 2000 for the first time about half of the costs were covered by revenues from industrial contracts.

The activities on lithography simulation, started at the end of 1999 as part of the topography simulation group, were a very important contribution to this development. In spite of the general critical lack of young scientists in natural and engineering sciences, the group was successful to attract suitable staff and, in turn, grew from three members at the end of 1999 to six at the beginning of 2001. Further growth can be expected. This development was promoted by the further increasing relevance of lithographic problems for the future development of microelectronics and the industrial demand for R&D resulting from this, and by the international orientation of the activities. In turn, the group is also attractive for scientists from other countries. Besides one Marie-Curie-Fellowship sponsored by the European Commission, the financing of this growth results largely from the own industrial revenues earned by the group. Among others, strategic cooperations have been established with Infineon and the software house SIGMA-C. Especially remarkable has been the high recognition the

group received for its work in an international cooperative R&D project funded by SEMATECH.

In the year 2000, the European cooperations of the department again progressed very well: In the final review of the ESPRIT project „RAPID“, coordinated by IIS-B, on the development of physical models for transient diffusion the results obtained were highly appreciated by the reviewers, and follow-up activities were requested. These are planned for 2001. In parallel, at the beginning of 2000, the IST project „MAGIC\_FEAT“ on the development of programs for three-dimensional mesh generation started. This is the fourth European industrial compound project on process simulation in sequence coordinated by IIS-B. Due to his role in the ESPRIT User Group „UPPER“ (User Group for Process Simulation European Research), initiated and coordinated by IIS-B, the head of the simulation department was asked by industry to contribute to the preparation of the „International Technology Roadmap for Semiconductors (ITRS)“ as an expert and co-chairman of the European subgroup on Modeling and Simulation. The department is continuing to promote the optimum use of European expertise in process simulation to achieve best scientific progress and industrial focus and application.

Another central topic of the department has been dedicated to low-power/low-voltage electronics. In 2000, this activity has been extended by the strategic research project „integrated energy supply“, carried out in cooperation between several FhG-Institutes. Besides activities of the technology department, the institute contributes to this project by development, adaptation, integration and application of programs for process, device and circuit simulation. The overall aim of the project is to strengthen the technical capa-

bilities and to extend the market position of FhG, especially the Fraunhofer Alliance Microelectronics, in the field of portable electronics. The department contributes to this through the assessment and adaptation of technologies for low-power electronics, available from inside or outside FhG, by the use of simulation in order to make attractive offers to the customers of FhG.

Due to the developments partly outlined above the perspectives of the department are very good. The driving force for these developments is the ever increasing need for cost reduction in the development of microelectronic devices and circuits: Already for 2005, industry requests a cost saving of 35% in the development of new devices by use of Technology Computer-Aided Design (TCAD). Besides this, the actual ITRS document proves a large industrial demand for TCAD for its whole forecast period, currently until 2014.

## Contact

Dr. Jürgen Lorenz  
Phone: +49 (0) 9131 761-210  
Email: [lorenz@iis-b.fhg.de](mailto:lorenz@iis-b.fhg.de)

# Gitterleerstellengesteuerte Sauerstoffpräzipitation in CZ-Silicium

Für die zuverlässige Produktion von integrierten Schaltungen mit hohen Ausbeuten ist die Sauerstoffpräzipitation in tiegelgezogenem Silicium (CZ, nach dem Czochralski Verfahren hergestelltes Silicium) von großer Bedeutung. Die in der Siliciumscheibe gebildeten Sauerstoffpräzipitate können Verunreinigungen von schnell diffundierenden Metallen, die während der Produktion der integrierten Schaltungen auf die Scheibe gelangen, einfangen (Gettern) und damit unschädlich machen. Zusätzlich erhöht sich durch die Sauerstoffpräzipitate die mechanische Festigkeit der Siliciumscheiben. Wenn jedoch ein solches Sauerstoffpräzipitat an der Oberfläche gebildet wird, können die dort hergestellten Bauelemente beschädigt oder gestört werden. Bisher wurde die Reduzierung der Sauerstoffpräzipitation nahe der Scheibenoberflächen durch die Ausdiffusion von Sauerstoff erreicht. Die Ausdiffusion benötigt jedoch auch bei hohen Temperaturen lange Prozeßdauern, so dass dieser Prozeßschritt sehr kostenintensiv ist. Weiterhin ist die erwünschte Sauerstoffpräzipitation im Volumen der Scheibe stark von der Sauerstoffkonzentration abhängig, so dass die geforderten Sauerstoffkonzentrationen in den Siliciumscheiben sehr genau spezifiziert werden. Dies führt zu erhöhten Kosten für die Hersteller der Siliciumscheiben, da diese für jeden Hersteller der integrierten Schaltungen andere Spezifikationen einzuhalten haben.

MEMC Electronic Materials hat in Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen, Bereich Bauelementetechnologie, ein neues Verfahren für die Steuerung der Sauerstoffpräzipitation durch Gitterleerstellen im Silicium entwickelt. Hierbei wird ausgenutzt, dass sich die Sauerstoffpräzipitate sehr viel schneller bilden, wenn Gitterleerstellen vorhanden sind. Ohne Gitterleerstellen bilden sich unter

gleichen Bedingungen sehr viel weniger Sauerstoffpräzipitate. Die Abhängigkeit der Sauerstoffpräzipitatkonzentration von der Gitterleerstellenkonzentration ist in Fig. 1 gezeigt. Die Gitterleerstellenkonzentration wurde mittels eines am Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen, Bereich Bauelementetechnologie, entwickelten Meßverfahrens bestimmt.

Ein geeignetes Gitterleerstellenprofil kann durch einen wenige Sekunden langen Hochtemperaturschritt in einer RTP-Anlage (Rapid Thermal Processing) bei Temperaturen über 1200 °C erzeugt werden. Während des Hochtemperaturprozesses bilden sich Frenkel-Paare, d.h. Gitterleerstellen und Eigenzwischengitteratome. Zusätzlich diffundieren Gitterleerstellen und Eigenzwischengitteratome von den Scheibenoberflächen in das bzw. aus dem Volumen der Siliciumscheibe. Hierdurch werden die Gleichgewichtskonzentrationen der Punktdefekte innerhalb weniger Sekunden über die gesamte Scheibendicke angenommen. Die Gleichgewichtskonzentration der Gitterleerstellen ist bei diesen Temperaturen höher als die der Eigenzwischengitteratome. Beim schnellen Abkühlen der Scheiben rekombinieren die Punktdefekte, so daß nur Gitterleerstellen zurückbleiben. Durch Ausdiffusion eines Teils der oberflächennahen Gitterleerstellen erhält man ein Gitterleerstellenprofil, das zu den Scheibenoberflächen abfällt. Durch die Variation der Prozeßparameter (Temperatur, Dauer, Abkühlrate und Atmosphäre) kann die Gitterleerstellenkonzentration und die Form des Profils eingestellt werden. In Fig. 2 ist ein gemessenes und ein simuliertes Gitterleerstellenprofil zusammen mit einem gemessenen Sauerstoffpräzipitatkonzentrationsprofil gezeigt. Durch diese Art der Siliciumscheibenbehandlung kann erreicht werden, daß hohe Präzipitatkonzentrationen im Volumen und sehr niedrige an den Scheiben-

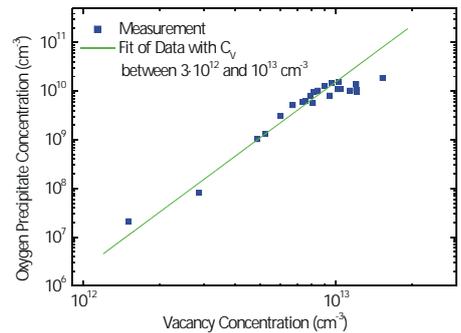


Fig. 1: Abhängigkeit der Sauerstoffpräzipitatkonzentration von der Gitterleerstellenkonzentration; Dependence of the oxygen precipitation concentration on the vacancy concentration.

oberflächen vorliegen. Nahe der Oberfläche bildet sich ein Bereich, der frei von Sauerstoffpräzipitaten ist. Dieser wird auch als „Denuded Zone“ bezeichnet. Hierdurch ist ein sehr gutes intrinsisches Getterverhalten gesichert und gleichzeitig sinkt die Defektdichte an der Oberfläche stark ab. Diese Art von Siliciumscheiben wird bereits von MEMC Electronic Materials unter der Bezeichnung Magic Denuded Zone™-Silicium erfolgreich vertrieben.

## Ansprechpartner

Dr. Peter Pichler  
Telefon: +49 (0) 9131 761-227  
Email: pichler@iis-b.fhg.de

# Vacancy-controlled Oxygen Precipitation in CZ Silicon

The precipitation of oxygen in crucible grown silicon (CZ, grown by the Czochralski method) is of very high interest for the reliable production of integrated circuits with high yield. The oxygen precipitates formed during the processing of the wafers can capture fast diffusing metals by intrinsic gettering. In addition, the mechanical strength of the wafers is increased. However, if such an oxygen precipitate is formed near the surface, the devices on the surface can be damaged or be malfunctioning. Until now, the reduction of the oxygen precipitation near the surface was achieved by the out-diffusion of oxygen. The out-diffusion is a cost-intensive process step, since even at very high temperatures very long diffusion steps are necessary. Furthermore, the desired oxygen precipitate density strongly depends on the oxygen concentration in the silicon material. Therefore, the required oxygen concentration is specified very strictly. This results in increased costs for the producers of silicon wafers, since they have to comply with the different specifications of each manufacturer of integrated circuits.

MEMC Electronic Materials developed a new process to control the oxygen precipitate concentration by vacancies in the silicon material in cooperation with the Fraunhofer Institute of Integrated Circuits, Device Technology Division. Here, it is utilized that the oxygen precipitates are formed much faster in the presence of vacancies. Under the same conditions but without vacancies, much less oxygen precipitates are formed. The dependence of the concentration of oxygen precipitates on the vacancy concentration is shown in Fig. 1. The vacancy concentration was obtained by a measurement process developed at the Fraunhofer Institute of Integrated Circuits, Device Technology Division.

A suitable vacancy profile can be generated by a high-temperature step in an RTP-system (Rapid Thermal Processing) at temperatures of more than 1200 °C lasting a few seconds. During this high-temperature step Frenkel-pairs, i.e. vacancies and self-interstitials, are formed. In addition, vacancies and self-interstitials diffuse into and out of the wafer surface, respectively. Within a few seconds, the equilibrium concentrations of the point defects are assumed. At these temperatures, the equilibrium concentration of the vacancies is higher than that of the self-interstitials. During the fast cooling of the silicon wafer, the point defects annihilate, so that only vacancies remain. Due to the out-diffusion of some of the vacancies near the surface during the cooling, a vacancy profile is obtained which decreases towards the wafer surface. By varying the process parameters (temperature, time, cooling-rate, and atmosphere), the resulting vacancy concentration and the shape of the vacancy profile can be adjusted. In fig. 2 a measured and a simulated vacancy depth profile is shown together with a measured oxygen precipitate concentration profile. By this thermal treatment of the silicon wafers, high oxygen precipitate concentrations in the volume of the wafer and very low concentrations near the surface are achieved. Near the surface, an oxygen precipitate denuded zone is created. Therefore, a very good intrinsic gettering is provided with low defect densities at the surface. This type of material is already produced and sold by MEMC Electronic Materials as Magic Denuded Zone™-Silicon.

## Contact

Dr. Peter Pichler  
Phone: +49 (0) 9131 761-227  
Email: pichler@iis-b.fhg.de

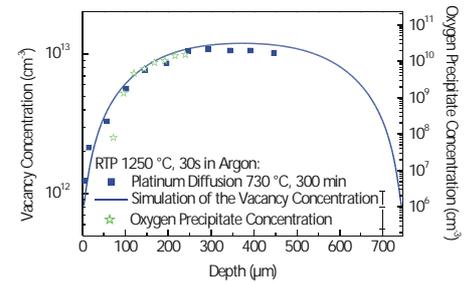


Fig. 2: Gemessenes und simuliertes Gitterleerstellenprofil nach Hochtemperaturprozeß im Vergleich zu einem gemessenen Sauerstoffpräzipitatkonzentrationsprofil; Measured and simulated vacancy profile after an RTP treatment in comparison to a measured oxygen precipitate concentration profile.

# Modellierung der Diffusion und Aktivierung von Dotieratomen im Rahmen des Projektes RAPID

Das Verständnis der Diffusion und Aktivierung von Dotieratomen ist im Hinblick auf die immer weiterführende Verkleinerung der Bauelemente in der Mikroelektronik von großer Bedeutung. Gerade die Diffusion unter Nichtgleichgewichtsbedingungen hat sich in den letzten Jahren als ein wichtiges Problem herausgestellt. Obwohl die intrinsischen Punktdefekte (Eigenzwischengitteratome und Gitterleerstellen) als Ursache für diesen Effekt identifiziert wurden, war das physikalische Verständnis noch immer unzureichend. Dies gilt sowohl für Silicium als auch für Silicium-Germanium als Halbleitergrundmaterial. Allerdings will die Industrie in der Zukunft verstärkt Experimente durch Simulationen ersetzen, um die Entwicklungskosten neuer Bauelemente zu reduzieren. Aus diesem Grund wurde in der aktuellen ITRS Roadmap weiterführende Untersuchungen in diesem Bereich als eine der wichtigsten Forderungen herausgestellt.

Am IIS-B wurde im Rahmen des von der EU geförderten Forschungsprojektes RAPID („Redistribution and Activation Phenomena in Integrated Circuit and Device Manufacturing“) die Diffusion und Aktivierung von Dotieratomen unter Nichtgleichgewichtsbedingungen untersucht. Das ab Juni 1997 unter der Koordination des IIS-B laufende Projekt vereinte die Arbeit von Forschungsgruppen aus fünf europäischen Ländern. Basierend auf den durchgeführten Untersuchungen konnten Modelle zur transienten Diffusion entwickelt werden. Im folgenden sollen exemplarisch einzelne Arbeitsbereiche beschrieben werden.

Zunächst wurden als Quellen für Nichtgleichgewichtseffekte die Ionenimplantation und die Nitridation untersucht. Während dieser Prozeßschritte werden intrinsische Punktdefekte in den Halbleiter injiziert, die dann die Diffusion und Aktivierung von anwesenden Do-

tieratomen bestimmen. Im Rahmen des Projektes gelang es, für alle der genannten Prozeßschritte geeignete Parametersätze zur Beschreibung der Injektion von intrinsischen Punktdefekten zu finden. Als Beispiel ist in Fig. 1 die mit dem Monte-Carlo Programm VISTA berechnete, zweidimensionale Verteilung der Gitterleerstellen nach einer Ionenimplantation unter amorphisierenden Bedingungen gezeigt. Aus experimenteller Sicht kann der mittels Transmissionselektronenspektroskopie (TEM) gemessene Verlauf der Grenze zwischen amorphem und kristallinem Bereich als eine Isolinie der Gitterleerstellenkonzentration interpretiert werden. Auf diese Weise können die Simulationen mit experimentellen Daten verglichen werden, wobei sich eine gute Übereinstimmung zeigt.

Weiterhin konnte ein Modell entwickelt werden, das den Einfluß von ausgedehnten Defekten auf die transient erhöhte Diffusion (TED) von Dotieratomen beschreibt. Dieser Effekt, der während eines Ausheilschrittes nach der Ionenimplantation auftritt, basiert auf der Generation von Eigenzwischengitteratomen durch die Implantation. Zur Beschreibung der TED ist vor allem der zeitliche Verlauf der Übersättigung freier Eigenzwischengitteratome von Bedeutung. Dieser Wert wird wiederum durch die Bildung von Eigenzwischengitteratom-Agglomeraten bestimmt. Im Fall von Bor sind weiterhin Bor-Eigenzwischengitteratom-Komplexe von Bedeutung. Für alle diese ausgedehnten Defekte wurden Modelle entwickelt, die schließlich in einem kombinierten Modell integriert wurden. Als Beispiel für eine Simulation mit diesem Modell zeigt Fig. 2 eine sehr gute Übereinstimmung der berechneten TED von Bor verglichen mit experimentellen Daten.

In bezug auf Silicium-Germanium als Halbleitergrundmaterial wurde die Diffusion von Bor und Antimon erstmals genauer untersucht. Diese Experimente

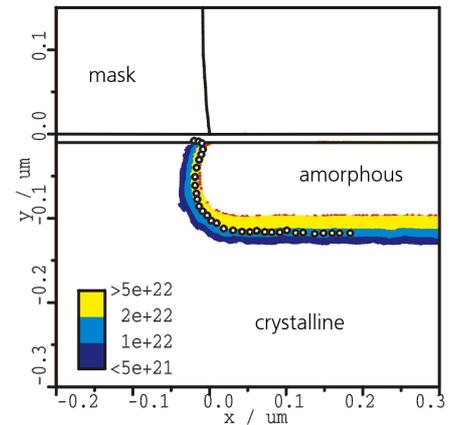


Fig. 1: Simulation der Gitterleerstellenkonzentrationen (farbige Bereiche) nach einer Ionenimplantation. Die simulierte Linie mit der Konzentration  $2 \times 10^{22} \text{ cm}^{-3}$  entspricht dem experimentell gemessenen Übergang zwischen amorphem und kristallinem Bereich (Kreise); Simulation of the vacancy concentrations after ion implantation (colored slices). The simulated line according to the concentration of  $2 \times 10^{22} \text{ cm}^{-3}$  reproduces the interface between amorphous and crystalline area (circles).

demonstrierten auch die Verwendbarkeit von Bor- und Antimon-Markerschichten zur Defektcharakterisierung und der Messung der Punktdefektinjektion.

Auf der abschließenden Projektbegutachtung am 21. Juni 2000 beurteilten die Gutachter die geleistete Forschung in RAPID als herausragend.

## Ansprechpartner

Dorothee Stiebel  
Telefon: +49 (0) 9131 761-223  
Email: stiebel@iis-b.fhg.de

# Modeling the Diffusion and Activation of Dopants in the RAPID Project

Understanding the diffusion and activation of dopants is essential for a further reduction of device scales in microelectronics. During the last years, especially the diffusion under non-equilibrium conditions has turned out to be a considerable problem. Although intrinsic point defects (self-interstitials and vacancies) have been identified as the cause of these effects, the understanding of the physics beyond was still insufficient. This applies to both, silicon and silicon-germanium as raw materials for semiconductors. However, industry is planning to replace more and more experiments by simulations in order to reduce costs for the development of new devices. For this reason, the current ITRS roadmap emphasizes further investigations in this field as one of the major demands.

At IIS-B, the diffusion and activation of dopants under non-equilibrium conditions was investigated in the framework of the research project RAPID („Redistribution and Activation Phenomena in Integrated Circuit and Device Manufacturing“) funded by the EU. Since June 1997, the project which was coordinated by IIS-B comprehended the work performed in research groups in five European countries. Based on the experiments performed, the development of models for transient enhanced diffusion was feasible. In the following, some fields of activities we will focused on exemplarily.

At first, ion implantation and oxidation were investigated as sources for non-equilibrium effects. During these process steps, intrinsic point defects are generated influencing the diffusion and activation of dopants present. For all of the process steps mentioned, the consortium succeeded in constituting parameter sets which describe the injection of point defects. As an example, Fig. 1 shows the two-dimensional dis-

tribution of vacancies after an ion implantation process performed under amorphising conditions. The calculations were performed using the Monte-Carlo program VISTA. From the experimental point of view, the shape of the line separating the amorphous and the crystalline area measured by transmission electron spectroscopy (TEM) can be interpreted as an isoline of the vacancy concentration. In this way, the simulations can be compared with experimental data which shows a high correspondence.

In addition, a model was developed which describes the influence of extended defects on transient enhanced diffusion (TED) of dopants. This effect which can be observed during an annealing step after ion implantation is caused by implantation-induced self-interstitials. For the modeling of TED, the time-dependency of the self-interstitial supersaturation is relevant. In turn, this value is determined by the formation of self-interstitial clusters. With respect to boron atoms, boron-interstitial complexes become also essential for the simulation. For all of these extended defects, models were developed and merged to a combined model at the end of the project. As an example for a simulation using the combined model, Fig. 2 shows a very good agreement of the calculated TED compared with data from experiments.

Concerning silicon-germanium as raw material for semiconductors, the diffusion of boron and antimony was submitted to a careful examination for the first time. In addition, these experiments demonstrated the applicability of boron and antimony marker layers for defect characterization and measurement of point-defect injection.

At the final review meeting on June 21, 2000, the reviewer assessed the research achieved in RAPID as outstanding.

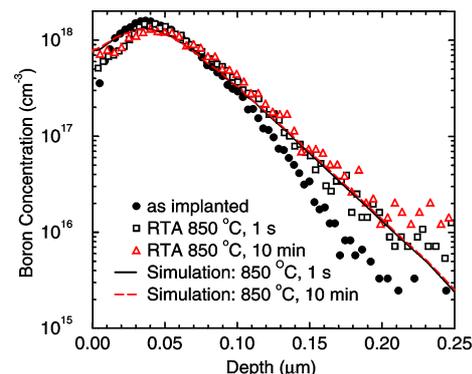


Fig. 2: Vergleich der gemessenen Borprofile (Symbole) mit simulierten Werten (Linien) nach einer Ionenimplantation von Bor ( $10 \text{ keV}$ ,  $10^{13} \text{ cm}^{-2}$ ) und darauf folgenden Ausheilschritten bei  $850 \text{ °C}$ ; Comparison of measured boron profiles (symbols) with simulated values (lines) after boron implantation ( $10 \text{ keV}$ ,  $10^{13} \text{ cm}^{-2}$ ) and subsequent annealing steps at  $850 \text{ °C}$ .

## Contact

Dorothee Stiebel  
Phone: +49 (0) 9131 761-223  
Email: stiebel@iis-b.fhg.de

# Simulation neuer Maskentechnologien

Die optimale Leistungsfähigkeit eines photolithographischen Prozesses kann nur durch das Wechselspiel dreier nahezu perfekter Komponenten garantiert werden: Maske, Projektionssystem und Photolack. Durch das komplexe Zusammenwirken dieser drei Komponenten sind Fehlerquellen im Gesamtprozeß nur schwer zu lokalisieren. Ist das Maskenhaus, der Lieferant des Projektionssystems oder der Lackhersteller für schiefe, falsch platzierte Lackprofile verantwortlich? Ein vertieftes Verständnis der Komplexität des Prozesses und ein verlässliches Simulationsprogramm können bei der Beantwortung dieser Frage sehr hilfreich sein. Das vom Fraunhofer-IIS-B und dem Münchner Softwarehaus Sigma-C gemeinsam entwickelte Simulationsprogramm für die optische Lithographie SOLID-C hat sich zu einem Standardwerkzeug in industriellen und öffentlichen Forschungs- und Entwicklungszentren entwickelt. In diesem Beitrag wird eine neue, im letzten Jahr entwickelte Komponente des Simulationsprogramms vorgestellt. Die Entwicklung dieser Komponente wurde teilweise von Sematech International gefördert.

Bisher wurde die Maske in der Lithographiesimulation als ein unendlich dünnes Objekt mit einer komplexen Transmission betrachtet. Diese Annahme ist für viele standardmäßig eingesetzten Masken mit 80 - 100 nm dicken und mehr als 1000 nm breiten absorbierenden Chromschichten erfüllt. Fortschrittliche lithographische Technologien wie Phasenschiebmasken (PSM) und optische Nahbereichskorrektur (OPC) implizieren jedoch ein komplexeres Design und eine topographische Struktur der Maske. Eine realistische Beschreibung der Lichtbeugung von diesen fortschrittlichen Masken erfordert den Einsatz rigoroser Verfahren zur Berechnung des elektromagnetischen Feldes (EMF-Löser). Deshalb wurde am IIS-B ein sogenannter finite

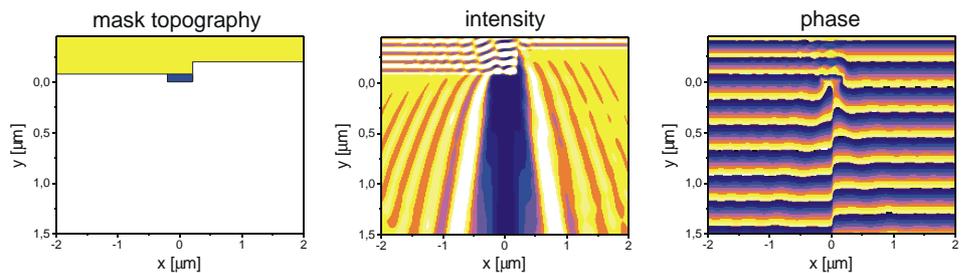


Fig. 1: Rigorose EMF-Simulation der Lichtbeugung durch eine Phasenkante:  
a) links: Geometrie der isolierten Phasenkante, gelb - Glassubstrat; blau - Chromabsorber; weiß - Luft  
b) Mitte: Lichtintensität in der Umgebung der Phasenkante für vertikal einfallendes Licht,  $\lambda = 248$  nm  
c) rechts: Phase des Lichtes im Simulationsgebiet;  
Rigorous EMF simulation of light diffraction in the vicinity of a phase edge:  
a) left: geometry of an isolated phase edge, yellow - glass substrate; blue-chromium absorber; white-air  
b) center: light intensity in the vicinity of the phase edge for vertically incident light,  $\lambda = 248$  nm  
c) right: phase of light in the simulation area.

Differenzen-Zeitbereichsalgorithmus (FDTD) entwickelt und in das Lithographie-Simulationsprogramm SOLID-C eingebunden. Die Anwendungen von FDTD sind nicht auf die Beschreibung der Lichtbeugung an der Maske begrenzt. Potentielle Anwendungsfelder umfassen eine realistische Beschreibung von optischen Meß-techniken wie Justagesystemen für die Photolithographie, Streufeldmessung, Nahfeldmikroskopie und die Modellierung von mikrooptischen Systemen.

Fig. 1 zeigt das elektromagnetische Feld in der Umgebung einer Phasenkante auf einer alternierenden PSM. Solche Phasenkanten werden genutzt, um mit optischer Lithographie bei einer Lichtwellenlänge von 248 nm 70-100 nm breite Photolacklinien herzustellen. Eine realistische Simulation der Breite und der Position dieser Photolacklinien ohne einen rigorosen elektromagnetischen Feldlöser (EMF) ist unmöglich. Eine andere interessante Anwendung des EMF-Lösers ist in Fig. 2 zu sehen. Es wird gezeigt, wie ein Phasendefekt auf der Maske in den Photolack übertragen wird. Die traditionelle Annahme einer unendlich dünnen Maske kann nicht zwischen einer 180°-Erhöhung (Delle) in einem nominell geätzten Bereich der PSM und einem fälschlicherweise geätzten Effekt derselben Höhe in einem nominell nicht geätzten Gebiet unterscheiden. Der rigorose EMF-Löser be-

rücksichtigt die Topographie des Defektes und sagt ein Verschmelzen der benachbarten Photolacklinien für einen Dellen-Defekt voraus. Im Gegensatz dazu hat der geätzte Defekt nur einen kleinen Einfluß auf die Breite der Photolacklinien. Diese Vorhersagen des Simulationsprogramms wurden durch bei Infineon Technologies, München, durchgeführte Experimente bestätigt.

Das rigorose EMF-Programm wurde von Sematech International getestet und mit ähnlichen Produkten amerikanischer Universitäten und Firmen verglichen. Sematech kam zu folgender Schlußfolgerung: "Umfangreiches Testen von SOLID-C zeigte, daß das Rechenprogramm rigorose elektromagnetische Streuphänomene in der optischen Lithographie akkurat beschreibt. Die Effizienz des Rechenprogramms wurde mit anderen Simulationspaketen verglichen und als effektivstes der getesteten Programme bewertet." Eine Präsentation des Rechenprogramms auf der "SPIE Microlithography" in Santa Clara, USA, wurde mit dem Preis für das beste Poster ausgezeichnet.

## Ansprechpartner

Dr. Andreas Erdmann  
Telefon: +49 (0) 9131 761-258  
Email: Andreas.Erdmann@iis-b.fhg.de

# Simulation of New Mask Technologies

The optimum performance of a lithographic process can only be guaranteed by the interplay of three almost perfect components: the mask, the projection system and the photoresist. Due to the complex interplay of these three components, a localization of error sources in the process flow may become rather difficult. Who is to blame for crooked, wrongly placed resist profiles - the mask shop, the stepper vendor or the resist supplier? An increased understanding of the process complexity and a reliable simulation tool can be very helpful to get an answer to that question. The lithography simulation software SOLID-C which was developed in cooperation of the Fraunhofer IIS-B and the Munich-based software house Sigma-C has become a standard tool in industrial and governmental research and development departments. In this text, a new simulation capability of this software which was developed during the last year is described. This development was partly sponsored by Sematech International.

Up to now, in the field of lithography simulation a photomask has been considered as an infinitely thin object with complex transmission. This assumption is fulfilled by many standard photolithographic masks with absorbent chromium layers of 80 - 100 nm in thickness and with feature sizes on the mask level larger than 1 micron. Advanced lithographic techniques such as phase shift masks (PSM) and optical proximity correction (OPC) imply a more complex mask design and technology. A realistic description of the light diffraction from these advanced masks requires the application of rigorous electromagnetic field (EMF) solvers. Therefore, a so-called finite-difference time-domain (FDTD) algorithm was developed at IIS-B and integrated in the standard lithography simulation software SOLID-C. The application of FDTD is not restricted to the modeling of

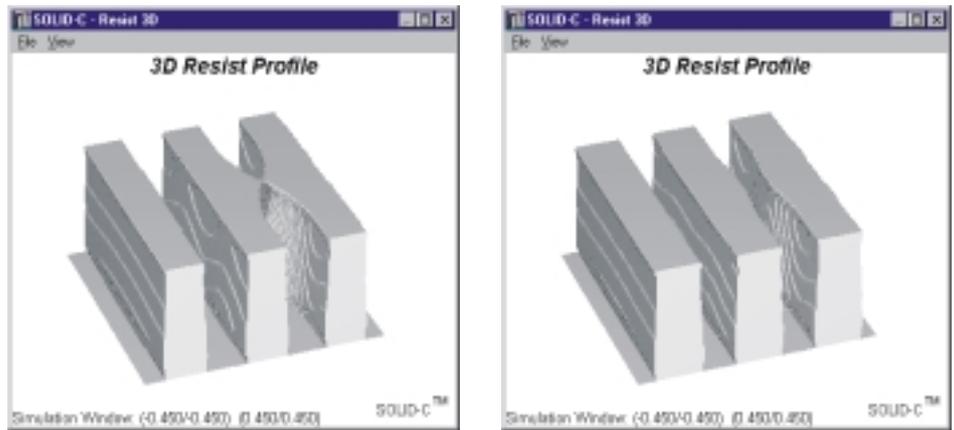


Fig. 2: Auswirkungen eines 180°-Defektes auf einer alternierenden PSM mit 150 nm breiten, dichten Linien, Defektgröße 60x60 nm. a) links: Dellen-Defekt; b) rechts: geätzter Defekt; Defekt printability for a 180° phase defect on an alternating PSM with 150 nm dense lines/spaces, defect size 60x60 nm. a) left: bump defect; b) right: etched defect.

light diffraction from the mask. Potential applications include a more realistic simulation of optical measuring techniques such as alignment systems, scatterometry, near-field microscopy and the modeling of microoptical systems.

Fig. 1 presents the electromagnetic field in the vicinity of a phase edge at an alternating PSM. Such phase edges can be used for realizing resist lines smaller than 100 nm with optical lithography at a wavelength of 248 nm. A realistic simulation of the size and the position of the resist line without the rigorous EMF-solver is impossible. Another interesting application of the EMF solver is depicted in fig. 2. It shows how a phase defect on the mask is transferred into the photoresist. The traditional assumption of an infinitely thin mask cannot differ between a 180° bump in a nominally etched area of the PSM and a (falsely) etched defect of the same height in a nominally non-etched area. The rigorous EMF solver considers the full topography of the effect and predicts the bridging of resist lines for a bump defect, whereas the etched effect has only a minor impact on the width of the resist lines. These predictions of the simulation program were also confirmed by experiments performed at Infineon Technolo-

gies, Munich.

The rigorous EMF software was critically evaluated by Sematech International and compared to similar products from American universities and companies. The conclusion of Sematech was: "Extensive testing on SOLID-C ... has shown that the software can accurately predict EMF scattering phenomena in optical reduction lithography. The efficiency of the software was also compared with other available simulation packages and was found to be the most efficient of the packages tested." A presentation of the software at the SPIE Microlithography 2000 in Santa Clara, USA, was honored by the Best Poster Award.

## Contact

Dr. Andreas Erdmann  
Phone: +49 (0) 9131 761-258  
Email: [Andreas.Erdmann@iis-b.fhg.de](mailto:Andreas.Erdmann@iis-b.fhg.de)

# Halbleiter-Fertigungsgeräte und Materialien

Schwerpunkte, Trends und Potentiale der Abteilung Halbleiter-Fertigungsgeräte und Materialien

Die Abteilung Halbleiter-Fertigungsgeräte und Materialien befaßt sich schwerpunktmäßig mit der Unterstützung von Herstellern von Produktionsanlagen und Materialien für mikroelektronische Bauelemente, Mikrosysteme und Flat Panel Displays sowie mit Aspekten der Geräteintegration in eine Fertigungsumgebung. Ein weiterer Fokus der wissenschaftlichen Arbeiten betrifft die Geräte- und Prozeßgeneration der 300 mm-Technologie und die Implementierung solcher Entwicklungen in eine industrielle 300 mm-Pilotlinie.

Zahlreiche Projekte beziehen sich auf die Entwicklung von innovativen Prozeßkontrollsystemen, bevorzugt Echtzeit-Kontrollsystemen, unter Berücksichtigung von neuen Sensoren, mit der *in situ* on-line-Integration von Meßsystemen in Prozeßgeräte und mit der Realisierung von geschlossenen Regelschleifen. Neben Einzelprozeßgeräten sind vor allem Clustertools für jene Implementierungen ausgewählt worden, wo die Integration im Prozeßmodul, im Zentralhandlermodul oder in separaten Prozeßkontrollmodulen untersucht wurden.

Im Hinblick auf ultrareine Geräte und Materialien ist ein anderer Schwerpunkt dieser Abteilung zu sehen: Die Arbeiten im Bereich von Kontamination von Geräten und Materialien stützen sich auf die meßtechnische Erfassung von Spurenverunreinigungen auf Oberflächen und im Volumen von Siliciumscheiben, Konstruktionsmaterialien, Handlingskomponenten, aber auch in Prozeßchemikalien, deionisiertem Wasser und in Gasen. Als Meßmethoden werden vor allem TXRF, AAS, ICP-OES, ICP-MS und HR-ICP-MS, oft in Verbindung mit

VPD-Aufkonzentration, eingesetzt, aber auch AP-IMS, SIMS, ToF-SIMS und GC-MS sowie Partikelmeßgeräte werden verwendet, um Beiträge zur Reduzierung von anorganischer, organischer und partikulärer Kontamination bei Halbleiterfertigungsgeräten und Halbleitermaterialien zu leisten.

Im Rahmen der Aktivitäten auf dem Gebiet der Geräteentwicklung werden innovative Gerätekomponenten bis hin zu fortschrittlichen Prozeßmodulen entwickelt. Auf Kundenwunsch entstehen Subsysteme, die auf dem Markt nicht erhältlich sind oder die vom potentiellen Gerätehersteller in Auftrag gegeben werden. Die Breite des Leistungsumfangs reicht dabei in Absprache mit dem Auftraggeber vom einfachen Laborversuch bis zum ersten Prototyp für die Serienfertigung.

Zu den weiteren Aufgaben der Abteilung Halbleiter-Fertigungsgeräte gehört die Implementierung von Prozessen auf neuen Fertigungsgeräten bis hin zur Geräteevaluierung. Solche Arbeiten werden in enger Zusammenarbeit mit Gerätefirmen und mit den IC-Firmen als Anwendern vorangetrieben. Hinzu kommt, daß fertigungstechnische Aspekte zu einem immer größeren Einfluß auf die Gerätetechnik führen. Zum Beispiel sind unter Schlagworten wie "scheduled maintenance" und zu "maintenance on demand" Beiträge der Forschung insbesondere im Bereich der Sensorik und Meßtechnik zu verstehen.

Die Finanzierung der Abteilung erfolgt zu über 50 % aus Industriaufträgen sowie zu einem vergleichsweise sehr hohen Prozentsatz von über 20 % aus industrienahen EG-Projekten. Für die Zukunft ist es geboten, durch mehr Vorlaufforschung und öffentlich geförderte Projekte auch wieder hochinnovative und längerfristig wirksame Arbeitsgebiete aufzugreifen und da-

durch einen Beitrag zu weiterem Wachstum und dem Erschließen neuer industriell bedeutender Aufgabengebiete zu leisten. Eine Intensivierung der Zusammenarbeit mit SEMATECH, der führenden Mikroelektronik-Forschungseinrichtung in den USA, wurde erfolgreich gestartet und wird bilateral weiter ausgebaut.

Auch in der Zukunft ist mit einer guten Inanspruchnahme der oben beschriebenen Aktivitäten zu rechnen, zumal die Anzahl der technologisch bzw. fertigungsnah tätigen Forschungseinrichtungen eher sinkt. Hinzu kommt, daß durch die Aktivitäten zu größeren Scheibendurchmessern - nunmehr sind die ersten Pilotlinien und Fabs zu 300 mm-Scheibendurchmessern im Aufbau bzw. in Planung - neue Herausforderungen im F&E-Bereich bei Geräte- und Materialienherstellern zu bearbeiten sind. Hier öffnet sich ein neues Feld der Inanspruchnahme zum einen durch die Bauelementehersteller, zum anderen durch die Siliciumhersteller und die dort benötigten Geräte, zum dritten durch die Hersteller von Halbleiterfertigungsgeräten selbst. Eine umfassende F&E-Kooperation mit einem industriellen Partner, der 300 mm-Siliciumscheiben zur Wiederverwendung in Form sogenannter Reclaim-Wafern bearbeitet ist sehr erfolgreich angelaufen und hat ein neues Kooperationsmodell zwischen Wirtschaft und Wissenschaft zur Folge.

Ansprechpartner

Dr. Lothar Pfitzner  
Telefon: +49 (0) 9131 761-110  
Email: pfitzner@iis-b.fhg.de

# Semiconductor Manufacturing Equipment and Materials

Focal Areas of Research and Development, Trends and Potentials of the Department of Equipment and Materials

The focal area of research within the department "Semiconductor Manufacturing Equipment and Materials" is the support of suppliers of production plants and materials for microelectronic devices, microsystems and flat panel displays as well as aspects of embedding equipment in a production environment. Special attention is given to 300 mm silicon wafer technology, where cooperation with the industry towards novel equipment and production techniques is a major focus.

Numerous projects include R&D and construction of prototypes of innovative process control systems, especially real time control systems, using new sensors, as well as *in situ* on-line integration of metrology systems into processing tools and the realization of closed loop control. Besides implementation into single process stand alone equipment like vertical furnaces, especially the implementations into cluster tools have been chosen, where the integration in the process module, into the central handling module or in separate process controlling modules was investigated and tested.

With regard to ultra clean equipment and materials, the focal fields of R&D towards reduction of contamination from equipment and materials are based on particle monitoring and on comprehensive metal and organic trace analysis of wafers, wafer surfaces and wafer environment, but also of processing chemicals, DI-water and gases. Amongst the available measurement and analytical tools are TXRF, AAS, ICP-OES, ICP-MS, and HR-ICP-MS, very often combined with vapor phase decomposition (VPD). Additional methods

include AP-IMS, TOF-SIMS and GC-MS as well as particle measurement for the reduction of organic, inorganic and particulate contamination.

The range of innovative processing equipment covers the development of new subsystems or components as well as advanced process modules. Most of these systems, which are not available on the market are produced on demand for potential suppliers of equipment and materials. The customer's orders cover the full range from simple lab tests gears to a first prototype for the series production.

In addition, implementing advanced and reproducible processes in new tools as well as evaluating tools under close-to-production conditions belong to the departments focal R&D fields. Performing such tasks is carried out in close cooperation with tool suppliers as well as IC fabs as final users. A special benefit is given where such assessment of processing equipment should be carried out under the guidance of several IC manufacturers, but due to confidentiality reasons open access to the equipment and processing results is excluded. Here, our independent research institute still can give optimum support for the equipment manufacturer in an industrial environment, especially when the evaluation is performed under the auspices of industrial user companies.

Another focus is dealing with aspects of production techniques and automation, which have steadily growing influence on the equipment and processing technology. With regard to these issues subjects like "scheduled maintenance" and "maintenance on demand", research will contribute especially in the fields of sensors and measurement technology.

Today, more than 50 % of the depart-

ment is financed by industrial contracts. A comparatively high percentage of more than 20% is financed by industry-guided projects contracted by the European Commission. This indicates the strong relevance of the department's research and technology for our industry, especially equipment and materials companies and IC manufacturers.

The tremendous budget necessary for the technological infrastructure for advanced and close-to-industry type of R&D results in a declining number of technologically oriented research institutes in Europe. Therefore, a more frequent utilization of the above described activities is expected for the future due to the excellent technical and personnel basis available and to the good international reputation. In addition, a strong collaboration with mutual assignment of people is under way with International SEMATECH, the renowned microelectronics institution in the USA.

The activities towards larger wafer diameter is raising new challenges for equipment and tool suppliers as well as for wafer and IC manufacturers. This will open up a new range of R&D demands for this department, firstly from the equipment suppliers, secondly from the silicon suppliers and, last but not least, from the semiconductor manufacturing companies themselves. A comprehensive R&D cooperation with an industrial wafer reclaim partner, specialized in the recycling of 300 mm silicon wafers, offering new opportunities of collaboration.

## Contact

Dr. Lothar Pfitzner  
Phone: +49 (0) 9131 761-110  
Email: pfitzner@iis-b.fhg.de

# Neues optisches Verfahren zur schnellen und kosteneffizienten Prozeßkontrolle bei der Fertigung von Speicherstrukturen

## Einleitung

Der Regelung und Kontrolle von Fertigungsprozessen bei der Herstellung von Halbleiterbauelementen wird weiter wachsende Bedeutung zukommen. Die laufend verkleinerten Halbleiterstrukturen in Verbindung mit einem auf 300 mm vergrößerten Scheibendurchmesser führen zu sehr komplexen und teuren Geräten und Fertigungsprozessen. Der Wert eines einzigen Loses mit 25 Scheiben erreicht beispielsweise nach mehreren Herstellungsschritten schnell den Wert eines Einfamilienhauses. Prozeßfehler müssen daher weitestgehend vermieden werden.

## Integrierte Meßtechnik

Voraussetzung für die Kontrolle von Fertigungsprozessen ist die Verfügbarkeit geeigneter Sensoren und Meßgeräte zur Beurteilung der hergestellten Bauelemente. Bislang sind die verschiedenen Meßgeräte häufig getrennt von den eigentlichen Fertigungsmaschinen. In diesen Fällen entsteht zwischen dem Ende eines Fertigungsprozesses und der Kontrolle des Ergebnisses ein Zeitverzug, während dem unter Umständen weitere fehlerhafte Lose produziert werden. Bereits seit vielen Jahren bildet daher die sogenannte integrierte Meßtechnik einen Entwicklungsschwerpunkt am Institut. Ziel ist es hier, Meßsysteme direkt am Fertigungsgerät anzubringen, Prozeßfehler sofort zu erkennen und damit korrigieren zu können.

## Prozeßkontrolle in der Lithographie und Ätztechnik

Die Lithographie und die Ätztechnik zur Erzeugung von Strukturen stellen Schlüsselprozesse der Halbleiterfertigung dar. Über ein Drittel aller Meßtechnik-Kosten in der Halbleiter-

fertigung entfallen auf die Kontrolle dieser Prozesse. Die Größe der einzelnen Bauteilstrukturen ist für die Funktionalität der integrierten Schaltungen von entscheidender Bedeutung. Zur Zeit werden diese Linienbreiten mit kostenintensiven und vergleichsweise langsamen Elektronenmikroskopen ermittelt und jeweils nur eine oder wenige Scheiben eines Fertigungsloses werden kontrolliert. Klassische optische Mikroskope können wegen ihres begrenzten Auflösungsvermögens für diese Aufgabe nicht mehr eingesetzt werden.

## Optische Linienbreitenmessung bei sub-Mikrometerstrukturen

Am IIS-B wurde daher im Auftrag eines IC-Herstellers ein neues integrierbares Meßsystem zur kostengünstigen und schnellen optischen Kontrolle von periodischen Oberflächentopographien entwickelt wie sie insbesondere bei Speicherbausteinen bzw. DRAMs vorhanden sind. Die Beugungseffekte sichtbaren Lichts an diesen periodischen Strukturen verhindern die Anwendung optisch abbildender Verfahren. Hier werden jedoch gerade diese charakteristischen Beugungseffekte erfaßt. Fig. 1 zeigt schematisch das Funktionsprinzip. Ein Meßstrahl trifft auf die zu untersuchende Probe mit periodischen Oberflächenstrukturen. Es tritt Beugung auf und die Intensitäten der reflektierten Beugungsordnungen werden gemessen in Abhängigkeit des Winkels des Meßstrahls relativ zur Probenstruktur. Als Meßergebnis erhält man Intensitätsverläufe, die charakteristisch sind für die jeweiligen Oberflächenprofile und die eine Detektion von Linienbreitenänderungen im Nanometer-Bereich ermöglichen. Zur Auswertung der Meßkurven wurden Klassifikationsverfahren basierend auf neuronalen Netzwerken entwickelt. Änderungen der Oberflächentopographie können somit Fehlerkategorien

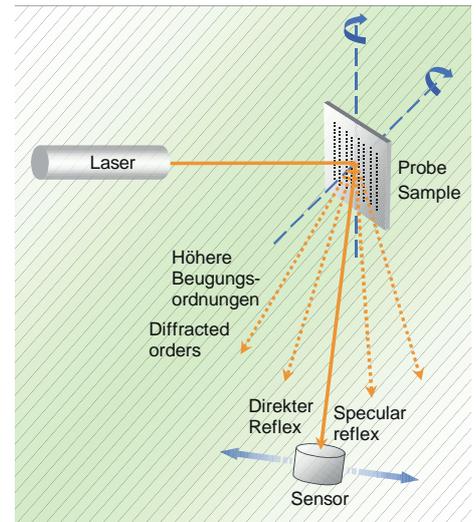


Fig. 1: Schematische Darstellung der Beugungsmessung; Basic setup for scatterometry.

zugeordnet werden. Die Fig. 2a und 2b zeigen Beispiele für korrekte und defekte Lackstrukturen, die für die Herstellung eines Speicherbausteins benötigt werden. Wesentlich ist, daß die Messungen direkt auf diesen Produktstrukturen durchgeführt werden, während alternative Konzepte der Beugungsmessung zusätzliche Teststrukturen erfordern und aus diesen Ergebnissen auf die eigentlich interessierenden Strukturen geschlossen werden muß.

## Test des Meßverfahrens unter Produktionsbedingungen

Das Meßverfahren wurde zunächst im Labormaßstab realisiert und im Reinraum des Instituts mit realen Speicherstrukturen getestet. In einem zweiten Schritt wurde der Prototyp IPCOS300a entwickelt, der den Test des Meßverfahrens in der Pilotlinie des Auftraggebers ermöglichte. Um die Kosten für eine Testintegration des Meßsystems niedrig zu halten, wurde das Gerät mit einer Standard-Schnittstelle für den Zugang zu automatischen Handhabungssystemen für 300 mm-Scheiben versehen. Fig. 3 zeigt das Handhabungssystem für den automatischen

# New Optical Technique for Fast and Cost-effective Process Control of Memory Patterns in Semiconductor Manufacturing

## Introduction

The control and monitoring of manufacturing processes in semiconductor device manufacturing will gain more and more importance. Continuously reduced semiconductor pattern sizes combined with wafer diameters increased to 300 mm result in very complex and expensive manufacturing processes and equipment. After several processing steps, the value of one lot consisting of 25 wafers, for example, easily comes up to the value of a detached house. Therefore, processing faults have to be avoided as far as possible.

## Integrated Metrology

One condition for the monitoring of manufacturing processes is the availability of suitable sensors and measurement tools for an evaluation of the manufactured devices. Up to now, the different measurement tools often have been separated from the manufacturing equipment. In these cases, there is a delay between the end of a manufacturing process and the control of the result. During this delay, further lots could be misprocessed. Hence, for several years already, the so-called Integrated Metrology represents a focal area of development at the IIS-B. Here, the goal is to attach measurement systems directly to the manufacturing equipment, to detect processing faults immediately and, as a result, to be able to correct them.

## Process monitoring in lithography and etching

Lithography and etching for the realization of patterns represent key processes in semiconductor manufacturing. The control of these processes accounts for more than a third of all metrology costs

in semiconductor manufacturing. The size of the individual device patterns is of crucial importance for the functionality of the integrated circuits. Currently, these linewidths are determined by means of expensive and relatively slow electron microscopes and only one or few wafers of a manufacturing lot are checked. Due to their restricted resolution, conventional optical microscopes are no longer applicable for this purpose.

## Optical linewidth measurement for sub-micron patterns

Therefore, at the IIS-B a new integrated measurement system has been developed on behalf of an IC manufacturer for a cost-effective and fast optical control of periodic surface topographies as they exist particularly for memory devices or DRAMs. Diffraction effects of the visible light on these periodic patterns prevent the application of photo-imaging methods. Here, just these characteristic diffraction effects are

evaluated. Fig. 1 shows the principle of scatterometry. A measuring beam hits the sample with periodic surface patterns to be measured. Diffraction occurs and the intensity of the reflected diffraction orders are measured in dependence on the angle of the measuring beam in relation to the sample patterns. The results are intensity curves which are characteristic for the particular surface profiles and which allow the detection of linewidth alterations within the nm-range. Classification methods on the basis of neural networks have been developed for the evaluation of the measurement curves. Thus, changes of the surface topography can be classified into different fault categories. Fig. 2a and 2b show examples for correct and defective resist patterns required for the manufacturing of a memory device. The most important aspect is that the measurements are realized directly on the product patterns, whereas alternative concepts of scatterometry require additional test patterns and the results have to be applied to the patterns in question.



Fig. 3: Geöffnetes Linienbreiten-Meßsystem IPCOS300a, angedockt an Scheiben-Handhabungssystem (mit freundlicher Genehmigung von Infineon / SC300 GmbH); Open linewidth measurement tool IPCOS300a on wafer handling system (courtesy of Infineon / SC300 GmbH).

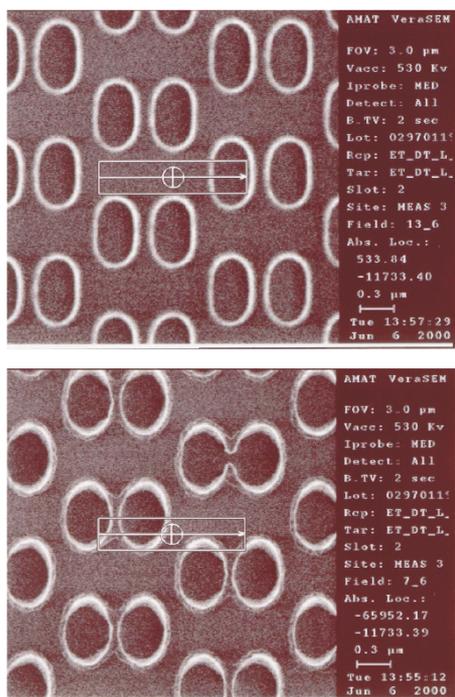


Fig. 2: Beispiel für korrekte und defekte Lackstrukturen eines DRAM-Testwafers;  
Examples for good and defect resist patterns of a DRAM test wafer.

Scheibentransport in der Produktionslinie sowie das auf dem Handhabungssystem stehende, offene Meßsystem. Rechts daneben befindet sich ein sogenannter FOUP, der die zu messenden 300 mm-Scheiben enthält. Es wurde gezeigt, daß mit dem neuen Meßsystem Prozeßfehler erkannt und klassifiziert werden können. Kleine Inhomogenitäten der Linienbreite über die Scheiben können eindeutig festgestellt werden. Das System kann somit einen wichtigen Beitrag zur Verbesserung der Prozeßkontrolle in der Halbleiterfertigung leisten.

## Ansprechpartner

Norbert Benesch  
Telefon: +49 (0) 9131 761-114  
Email: benesch@iis-b.fhg.de

Andrea Hettwer  
Telefon: +49 (0) 9131 761-343  
Email: hettwer@iis-b.fhg.de

## Testing the measurement method under production conditions

First, the measurement method was realized according to the laboratory scale and tested with real memory patterns in the cleanroom of the institute. In a second step, the prototype IPCOS300a was developed which enabled the measurement method to be tested in the pilot line of the customer. To keep down the costs for a test integration of the measurement system, the equipment has been provided with a standard interface to access automatic handling systems for 300 mm wafers. Fig. 3 shows the handling system for an automatic wafer transport in the production line as well as the opened measurement system on top of the handling system. On the right hand side, a so-called FOUP is shown containing the 300 mm wafers to be measured. It has been proven that the new measurement system allows the detection and classification of processing faults. Even small non-homogeneities concerning the linewidths of the wafers can be clearly detected. Thus, the system significantly contributes to the improvement of process control in semiconductor manufacturing.

## Contact

Norbert Benesch

Phone: +49 (0) 9131 761-114

Email: benesch@iis-b.fhg.de

Andrea Hettwer

Phone: +49 (0) 9131 761-343

Email: hettwer@iis-b.fhg.de

# Methoden zur ganzheitlichen Beurteilung von integrierter Meßtechnik

## Motivation und Aufgabenstellung

Komplexere Fertigungsschritte, sinkende Strukturbreiten und kürzere Ramp-up Phasen der Fertigungsprozesse erfordern einen verstärkten Einsatz von integrierter Meßtechnik im Fertigungsprozeß. Neben technologischen Gründen, die einen Einsatz von integrierter Meßtechnik notwendig machen, sind die Reduzierung von Ausschuß und die Vereinfachung der Logistik, z.B. durch wegfallende Transportzeiten und Lager, eine wesentliche Motivation für den Einsatz von integrierter Meßtechnik. Insbesondere auch für die zukünftige Einführung von geräteübergreifenden Regelschleifen in der Halbleiterfertigung spielt der Einsatz von integrierter Meßtechnik eine wesentliche Rolle, da hier das Meßergebnis sofort nach der Prozessierung benötigt wird, um auf das nachfolgende bzw. vorherige Fertigungsgerät korrigierend einwirken zu können.

Den vielfältigen Vorteilen von integrierter Meßtechnik stehen eine Reihe von Anforderungen gegenüber, die je nach Anwendungsfall verschieden stark gewichtet werden müssen: Eine hohe Zuverlässigkeit des Meßsystems, kurze Meß- und Handlingzeiten, keine wesentliche Beeinflussung des Durchsatzes des Fertigungsgeräts durch die Messung, geringe Kosten für Installation und Wartung, Messung auf strukturierten Scheiben, Vergleichbarkeit von gleichartigen, integrierten Meßgeräte untereinander etc.

Wegen der vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten, der verschiedenen Zielsetzungen und Anforderungen wird es notwendig, für den konkreten Anwendungsfall eine ganzheitliche Beurteilung des Einsatzes von integrierter Meßtechnik durchzuführen. Hierzu werden am Institut verschiedene Methoden entwickelt bzw. untersucht, mit

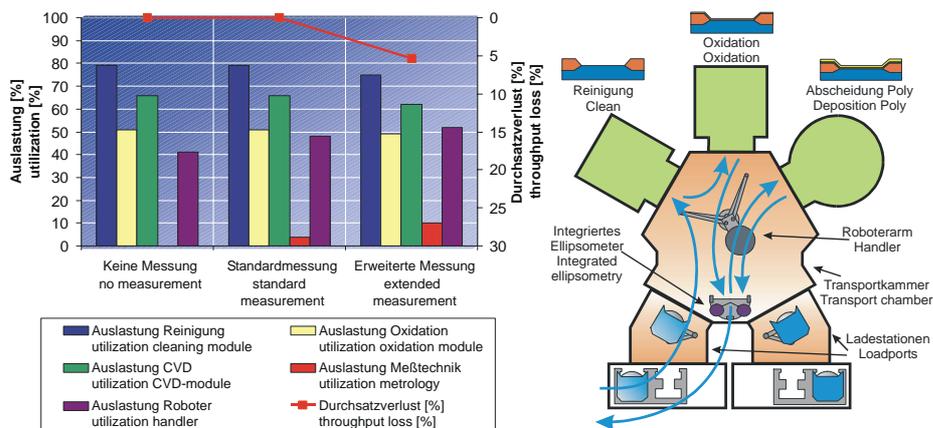


Fig. 1: Ereignisdiskrete Simulation am Beispiel eines Gate-Stack-Clustertools; Event-discrete simulation e.g. for a gate-stack cluster tool.

deren Hilfe die Beurteilung eines Einsatzes von integrierter Meßtechnik aus fertigungstechnischer, logistischer und wirtschaftlicher Sicht möglich wird. Die folgenden Abschnitte geben einen kurzen Überblick über die eingesetzten Methoden Ereignisdiskrete Simulation und Kostenbetrachtungen.

## Ereignisdiskrete Simulation

Mit Hilfe einer ereignisdiskreten Simulation werden die Materialflüsse und Abläufe im Fertigungsgerät bzw. in der betrachteten Geräte- oder Prozeßsequenz simuliert und die Auswirkungen des Einsatzes von integrierter Meßtechnik bezüglich Auslastung, Durchsatz und Durchlaufzeit ermittelt. Am Beispiel eines Gate-Stack-Prozesses, der in einem Clustertool mit in die Transportkammer integriertem Schichtdickenmeßgerät durchgeführt werden soll, zeigt Fig. 1 den Materialfluß durch den Cluster und die aus der Simulation erhaltenen Ergebnisse. Hier ergibt sich, daß der Durchsatz des Clusters durch die Integration eines Schichtdickenmeßsystems in die Transportkammer nicht reduziert wird, sofern der Standardmeßumfang am Schichtdickenmeßgerät nicht überschritten wird.

## Kostenbetrachtungen

Auf der Basis des in der Halbleiterbranche eingeführten Cost-of-Ownership-Modells wurde ein erweitertes Kostenmodell entwickelt, mit dessen Hilfe die wirtschaftlichen Auswirkungen des Einsatzes von integrierter Meßtechnik ermittelt werden können. Mit Hilfe des Modells werden alle Kosten der betrachteten Geräte- oder Prozeßsequenz inklusive der integrierten Meßtechnik über die vorgesehene Lebensdauer der Anlage erfaßt und auf die Anzahl der von diesen Geräten produzierten verkauften Wafer umgelegt. Ein Vergleich mit den Kosten pro Wafer der Geräte- oder Prozeßsequenz ohne integrierte Meßtechnik ergibt den wirtschaftlichen Einfluß der integrierten Meßtechnik. Fig. 2 gibt einen Überblick über die benötigten Größen für die Kostenbetrachtung. Die aus der ereignisdiskreten Simulation erhaltenen Größen, wie z.B. Durchsatz oder Durchlaufzeit, finden hier Eingang in die Kostenbetrachtung.

## Ansprechpartner

Dr. Richard Öchsner  
 Telefon: +49 (0) 9131 761-116  
 Email: oechsner@iis-b.fhg.de

# Methods for a Comprehensive Evaluation of Integrated Metrology

## Motivation and tasks

The increasing complexity of manufacturing steps, decreasing structure widths and shorter ramp-up phases of manufacturing processes require an increased application of integrated metrology in the manufacturing process. Apart from technological reasons that necessitate the application of integrated metrology, scrap reduction and the simplification of logistics, e.g. because of transportation times and storages becoming unnecessary, are a substantial motivation for the application of integrated metrology. Particularly for the future introduction of control loops covering several tools into semiconductor manufacturing, the application of integrated metrology is of particular importance since in this case the measurement result is required directly after processing in order to be able to act on the next or the previous manufacturing tool in a corrective manner.

Facing the manifold advantages of integrated metrology, there are some requirements that have to be evaluated differently according to each application: High reliability of the measurement system, short measurement and handling times, no substantial influence on the throughput of the manufacturing equipment by the measurement, low installation and maintenance costs, measurement on patterned wafers, comparability of similar integrated measuring instruments and so on.

Due to the manifold applications as well as the different purposes and requirements, it is necessary to implement a comprehensive evaluation of the application of integrated metrology for each application case. For this purpose, different methods are developed or researched at the institute which allow an evaluation of the application

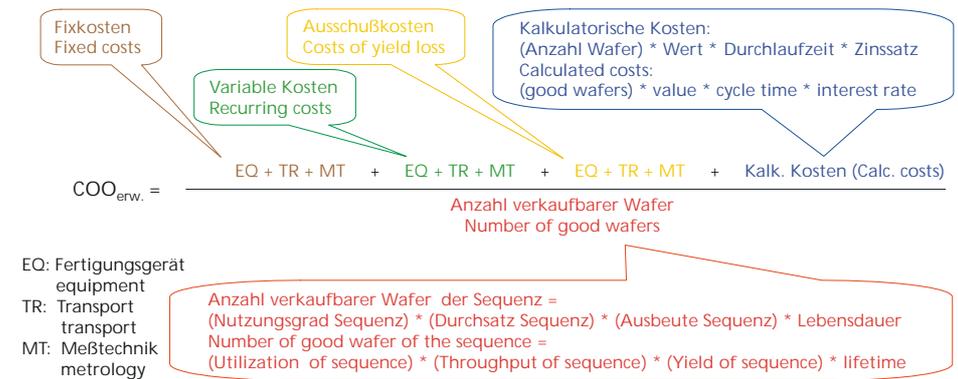


Fig. 2: Erweitertes Cost-of-Ownership-Modell zur Beurteilung von integrierter Meßtechnik;  
Extended cost-of-ownership model for the evaluation of integrated metrology.

of integrated metrology regarding the aspects of manufacturing and logistics as well as the economic facts. The following paragraphs give a short review of the applied methods, namely event-discrete simulation and cost analysis.

## Event-discrete simulation

By means of an event-discrete simulation, it is possible to simulate the material flows and the processes inside the manufacturing equipment or process sequence and to determine the effects of the application of integrated metrology concerning utilization, throughput and cycle time. As an example, fig. 1 shows the material flow through the cluster tool and the results obtained from simulation of a gate-stack process which is to be implemented in a cluster tool with a layer thickness measurement equipment integrated into the transport chamber. In this case, the result is that the cluster throughput is not significantly reduced by the integration of a layer thickness measurement system into the transport chamber provided that the standard measuring scale of the layer thickness measurement equipment is not exceeded.

## Cost analysis

On the basis of the cost-of-ownership model introduced in the semiconductor sector, a new cost model has been developed which allows the determination of economic effects resulting from the application of integrated metrology. By means of this model, all costs of the respective tool or process sequence including integrated metrology over the provided life span of the system are registered and divided among the number of good wafers produced by this equipment. A comparison to the costs per wafer of the equipment or process sequence without integrated metrology shows the economic effect of integrated metrology. Fig. 2 gives a review of the parameters necessary for cost analysis. The parameters obtained from event-discrete simulation such as throughput and cycle time are included in the cost analysis.

## Contact

Dr. Richard Öchsner  
Phone: +49 (0) 9131 761-113  
Email: oechsner@iis-b.fhg.de

# Erfolgreiche Zusammenarbeit mit International Sematech auf dem Gebiet der Evaluierung von 300 mm Front Opening Unified Pods

## Einleitung

Front opening unified pods (FOUPs) sind für den Transport und die Lagerung von 300 mm-Siliciumscheiben in der Halbleiterfertigung entworfen. Die Herstellung von 300 mm-Siliciumscheiben in Pilotlinien mit Minienvironment-Technologie hat bereits begonnen. Weitere Fabrikationsanlagen befinden sich derzeit weltweit im Bau. In den vergangenen Jahren haben sowohl International Sematech als auch das Fraunhofer IIS-B eine Reihe von Untersuchungen durchgeführt, um FOUPs zu charakterisieren bzw. zu optimieren. Standards wurden entwickelt, um die geometrischen Dimensionen, die für die Handhabung, für die Schnittstellen zu Produktionsgeräten und für die Verfahren zur Überwachung der Kontamination in Minienvironments nötig sind, festzulegen. Standardisierte Testverfahren wurden entwickelt, um die Qualität der FOUP-Materialien zu bewerten. Dennoch müssen noch einige Punkte geklärt werden, um einen sicheren Einsatz von FOUPs in der Halbleiterfertigung zu gewährleisten. In einem gemeinsamen Projekt widmeten sich International Sematech und das Fraunhofer IIS-B einem der momentan wichtigsten Themen. Dieses beinhaltete eine umfangreiche Untersuchung bezüglich der Ausgasung von luftgetragener molekularer Kontamination (airborne molecular contamination (AMC)) aus Kunststoff-Komponenten der FOUPs.

## Motivation

Neben partikulärer und inorganischer Kontamination können auch flüchtige organische Verbindungen (volatile organic compounds (VOC)), die aus Kunststoffmaterialien ausgasen, zu Kontaminationen auf Siliciumscheiben führen und somit Defekte in Halbleiterbauelementen verursachen. Diese luftgetragene molekulare Kontamination

auf Siliciumscheiben bewirkt zunehmend eine Verringerung der Ausbeute in der Halbleiterfertigung bei kleiner werdenden Linienbreiten. Typische Ursachen umfassen eine Reduzierung der Einsatzspannung, eine zunehmende Rauigkeit der Siliciumscheiben, eine unerwünscht hydrophobe Oberfläche, eine verminderte Schichthaftung, die Erzeugung von Siliciumcarbid und die Implantation von Kohlenstoff. Die Zielsetzung dieser Evaluierung war deshalb die Bestimmung sowohl der Art als auch der Menge an VOC von FOUPs bei unterschiedlichen Lagerbedingungen. Daraus sollte eine Schlußfolgerung gezogen werden, ob FOUPs den gegenwärtigen Spezifikationen für die Halbleiterfertigung und anerkannten SEMI-Standards entsprechen. Darüber hinaus können die Ergebnisse kritische Bereiche in zukünftigen Anwendungen von FOUPs aufdecken, eine Verschärfung der Spezifikationen vorausgesetzt.

## Experimente

Für die Experimente stellten die FOUP-Hersteller Asyst, Dainichi Shoji, Entegris, Incam Solutions, Kakizaki und Shin-Etsu Polymer ihre aktuellsten FOUP Versionen zur Verfügung. Die AMC aus FOUPs dieser Hersteller wurde mit zwei verschiedenen Meßverfahren gemessen: Thermodesorption / Gaschromatographie-Massenspektrometrie (TD / GC-MS) und Flugzeit-Sekundärionen-Massenspektrometrie (TOF-SIMS). Zur Probenentnahme der zu messenden Moleküle wird beim TD / GC-MS ein Thermodesorptionsröhrchen und beim TOF-SIMS eine Siliciumscheibe verwendet. Bei gleichzeitiger Anwendung beider Meßverfahren in einem FOUP würde die Empfindlichkeit jedes Meßverfahrens jedoch erheblich herabgesetzt, da sowohl das Röhrchen als auch die Siliciumscheibe AMC aus der Luft im FOUP aufnehmen und sich somit gegenseitig in bezug auf das Meßergebnis beeinflussen. Um dies zu vermeiden, wurde

nur ein Meßverfahren pro FOUP angewendet. Von jedem FOUP-Wert wurde ein entsprechender Referenzwert aus dem Reinraum subtrahiert. Die Lagerbedingungen der Scheiben bzw. Röhrchen in 300 mm-FOUPs wurden bezüglich Lagerzeit und Lagertemperatur variiert. Um die möglichen Auswirkungen flüchtiger organischer Verbindungen (VOC) von 300 mm-FOUPs auf die Halbleiterfertigung abschätzen zu können, wurden die gemessenen VOC-Werte der FOUPs mit den VOC-Werten von 200 mm-SMIF-Pods aus der 0,15 µm-Fertigung verglichen.

## Ergebnisse

Die ausgasenden flüchtigen organischen Verbindungen der FOUPs setzten sich zumeist aus Verbindungen aus dem Polymerisationsprozeß (Chlorbenzol), Lösungsmitteln (z.B. Toluol und Alkan), zyklischen Siloxanen und Antioxidantien in geringen Mengen (z.B. substituierte Phenole) zusammen. Diese Verbindungen gehören zur Gruppe der kondensierbaren organischen Verunreinigungen. Die TOF-SIMS-Ergebnisse von Siliciumscheiben, die bei erhöhten Temperaturen in FOUPs gelagert wurden, zeigten eine bis zu zehnmal höhere organische Kontamination als die Ergebnisse von Siliciumscheiben, die der Reinraumluft ausgesetzt waren. Im Vergleich dazu war die organische Kontamination auf Siliciumscheiben, die bei Raumtemperatur in FOUPs gelagert wurden, nur viermal höher. Mit Hilfe von TD / GC-MS wurde bei zwei unterschiedlichen FOUP-Typen das Ausgasen von Siloxanen ermittelt. Übereinstimmend zeigten die ToF-SIMS-Ergebnisse auch größere Mengen von siliciumhaltigen organischen Ionen auf den in diesen FOUPs gelagerten Scheiben. Im Vergleich zu einem in der 0,15 µm-Fertigung verwendeten 200 mm-SMIF-Pod wurde bei den meisten FOUPs eine etwa gleiche bzw. geringere Menge an

# Successful Cooperation together with International Sematech on the Evaluation of 300 mm Front Opening Unified Pods

## Introduction

Front opening unified pods (FOUPs) are designed for transporting and storing 300 mm wafers in semiconductor manufacturing. Pilot line production on 300 mm wafers using minienvironment technology including FOUPs has started already, and several fabs are currently being built world-wide. In recent years, both International Sematech and Fraunhofer IIS-B have performed numerous experiments to characterize and optimize FOUPs. Standards have been developed to define geometric dimensions necessary for handling, interfaces to production tools, and methods of monitoring contamination in minienvironments. Standardized test methods have been developed for evaluating the quality of FOUP materials. However, some issues still need to be clarified to guarantee safe use in production lines. One of the most important present topics was addressed in a joint project of International Sematech and Fraunhofer IIS-B. It comprised an intense study on outgassing airborne molecular contamination (AMC) from polymer compounds of FOUPs.

## Motivation

Beside particulate and inorganic contamination, also volatile organic compounds (VOC) outgassing from polymer materials can lead to contamination on silicon wafers and consequently cause defects on semiconductor devices. This airborne molecular contamination on silicon wafers increasingly reduces yield in semiconductor manufacturing as structural sizes become smaller. Typical reasons comprise a reduction of the threshold voltage, an increasing roughness of silicon wafers, an undesired hydrophobic surface, reduced layer adhesion, formation of silicon carbide, and knock-on implantation of carbon. Therefore, the purpose of this evaluation

was to determine the type and the amount of VOC from FOUPs under different storage conditions. Hence, a conclusion can be drawn on the question whether FOUPs comply with the current specifications of semiconductor manufacturers and with accredited SEMI standards. Furthermore, results may reveal critical areas in future applications of FOUPs, assuming a tightening of the specifications.

## Experimental

The FOUP manufacturers Asyst, Dainichi Shoji, Entegris, Incam Solutions, Kakizaki and Shin-Etsu Polymer provided their latest FOUP versions for the experiments. AMC from these suppliers' FOUPs was measured using two different analytical methods, thermal desorption / gas chromatography mass spectrometry (TD / GC-MS) and time-of-flight secondary ion mass spectrometry (TOF-SIMS). If used together, the corresponding sampling vehicles, thermal desorption tubes used for TD / GC-MS analysis and wafers used for TOF-SIMS analysis, would compete for air-

borne molecular contamination. Thus, the sensitivity of each measurement method would be reduced significantly. To avoid this, only one type of sampling vehicle was used per FOUP. A corresponding reference value from the cleanroom was subtracted from each FOUP value. Storage conditions of the sampling vehicles in 300 mm FOUPs were deliberately varied according to storage time and storage temperature. In order to roughly estimate a possible impact of VOC from 300 mm FOUPs on semiconductor manufacturing, the measured VOC values from the FOUPs were compared to VOC values from a 200 mm standard mechanical interface (SMIF) pod used in 0.15  $\mu\text{m}$  production.

## Results

Outgassing VOCs from FOUPs mainly consisted of compounds from the polymerization process (chlorobenzene), solvents (e.g., toluene and alkanes), cyclic siloxanes, and antioxidants in minor amounts (e.g., substituted phenols). These compounds belong to the

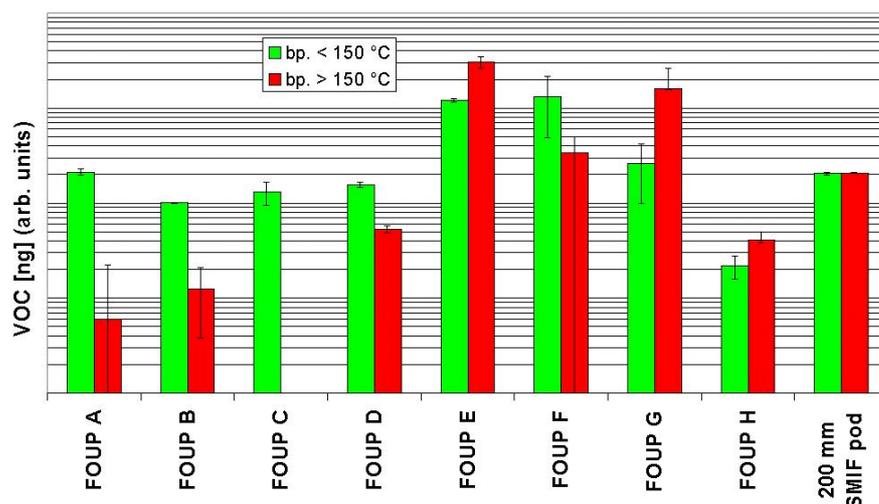


Fig. 1: Ausgasende flüchtige organische Verbindungen aus acht 300 mm-FOUPs und einem 200 mm-SMIF-Pod, die 7 Tage lang bei Raumtemperatur in einem Reinraum der Klasse 1 gelagert wurden (logarithmische Skala beachten!). Die Werte wurden mit TD / GC-MS gemessen; Outgassing volatile organic contamination from eight different 300 mm FOUPs and a 200 mm SMIF pod stored at room temperature in a class 1 cleanroom for 7 days. Values were measured by TD / GC-MS (note the logarithmic scale!).

VOC gemessen (Fig. 1). Bei den FOUPs mit höheren VOC-Werten wurden bei der TD / GC-MS-Analyse beträchtlich hohe Limonen- und Isoalkanwerte festgestellt. Zusätzliche Tests machten deutlich, daß diese Verbindungen nur gemessen wurden, wenn die FOUPs über eine bestimmte FOUP-Reinigungs-firma geliefert wurden. Die Reinigungs-firma identifizierte anschließend den Wareneingangs- und Versandbereich als Quelle dieser Kontamination.

### Schlußfolgerung

Es wurden erhebliche Unterschiede zwischen den FOUPs verschiedener Hersteller nachgewiesen. Die Menge der ausgasenden VOC der FOUPs war erheblich höher als die des sie umgebenden Reinraums. Gemäß der höheren Beweglichkeit der im FOUP-Material enthaltenen organischen Verbindungen bei höheren Temperaturen war die Menge der ausgasenden VOC beim Test mit höheren Temperaturen höher als bei Raumtemperatur. Die Messungen zeigten keine aus den FOUPs ausgasenden hochkritischen Flammschutzmittel oder Weichmacher. Die ausgasende VOC der FOUP-Komponenten umfaßte hauptsächlich weniger kritische kondensierbare Verunreinigungen. Es wurde gezeigt, daß die Kontaminationskontrolle bei FOUPs nicht nur während der Halbleiterfertigung wichtig ist, sondern auch bei der Auswahl und Verarbeitung der Rohmaterialien, bei der Herstellung und dem Zusammenbau der FOUPs, bei der Verpackung und dem Versand von FOUPs sowie bei der Reinigung der FOUPs empfehlenswert ist.

### Konsequenzen & Ausblick

Das in diesem Projekt angewendete Testverfahren des Fraunhofer IIS-B hat gezeigt, daß es ein geeignetes Mittel zur Beschreibung der aktuellen Mög-

lichkeiten und Grenzen von FOUPs darstellt. Basierend auf den Ergebnissen der AMC-Tests werden zur Zeit die Dichtungs- und Filtermaterialien einiger FOUPs durch Polymere ohne Siloxan ersetzt. Gegen die Kontamination mit Limonen im Wareneingangs- und Versandbereich einer FOUP-Reinigungs-firma wurden notwendige Maßnahmen ergriffen. Von mehreren FOUP-Herstellern liegen bereits Anfragen zur Beurteilung ihrer Produkte nach der Optimierung vor. Diese Anfragen zu weiteren Anwendungen des Testverfahrens sind ein deutliches Indiz für den Erfolg dieses gemeinsamen FOUP-Evaluierungsprojektes von International Sematech und Fraunhofer IIS-B.

### Ansprechpartner

Jürgen Frickinger  
Telefon: +49 (0)9131 761-120  
Email: frickinger@iis-b.fhg.de

class of condensable organic contaminants. TOF-SIMS results of wafers stored in FOUPs at elevated temperatures showed up to 10 times more organic contamination compared to wafers exposed to cleanroom air. In comparison, organic contamination on wafers stored in FOUPs at room temperature was only four times higher.

Outgassing of siloxanes from two FOUP types was detected by TD / GC-MS. Correspondingly, ToF-SIMS results also showed higher levels of silicon-containing organic ions on wafers stored in these FOUPs. Almost similar or less VOC was measured for most FOUPs compared to a 200 mm SMIF pod used in 0.15 µm production (Fig. 1). For those FOUPs showing higher VOC values, a significantly high amount of limonene and isoalkane was identified by TD / GC-MS. Additional tests clarified that these compounds are measured only if the FOUPs are delivered via one specific FOUP cleaning facility. The FOUP cleaning company found out later that these compounds did not originate in the FOUPs but in their shipping and receiving area.

## Conclusion

Significant differences between FOUPs from different manufacturers were demonstrated. The amount of outgassing volatile organic contamination from FOUPs was significantly higher than from the surrounding cleanroom. In accordance with the higher volatility of the organic compounds contained in the bulk of the FOUP materials at higher temperature, the value for the amount of outgassing VOC was higher in the test at elevated temperature compared to the test at room temperature. Measurements did not reveal highly critical flame retardants or plasticizers outgassing from FOUPs. VOC outgassing from FOUP components mainly comprised less critical condensables. It was shown that

contamination control in FOUPs does not only apply to semiconductor manufacturing areas but is also highly recommended during FOUP material manufacturing, FOUP assembly, FOUP packaging, FOUP shipping, and FOUP cleaning.

## Consequences & Outlook

The test procedure of Fraunhofer IIS-B, which has been applied in this project, has proven to be a suitable means of characterizing the current status of FOUPs. Following the results of the AMC tests, gasket and filter material for some FOUPs are currently replaced by polymer materials without siloxane. Necessary precautions have been taken against limonene contamination in the shipping and receiving area of one FOUP cleaner company. Several requests from FOUP suppliers have been placed already to characterize their respective equipment after the equipment optimization will be completed. These inquiries about further applications of the test procedure is a clear indication for the success of this joint project of International Sematech and Fraunhofer IIS-B.

## Contact

Jürgen Frickinger  
Phone: +49 (0)9131 761-120  
Email: frickinger@iis-b.fhg.de

# HECTOR 300 - Herstellung von Kondensatoren mit hoch-dielektrischem Material

Das IIS-B hat sich in den vergangenen 3 Jahren am europäischen Projekt HECTOR 300 (High Epsilon Materials Cluster Tool for Optimized Rapid Deposition of Stacked Capacitors on 300-mm Wafers) beteiligt. In diesem Projekt hat das IIS-B gemeinsam mit den Projektpartnern Aixtron, ASM, AMS, Forschungszentrum Jülich, Lucent, Motorola, Infineon und Steag CVD-Systeme, eine Fertigungsanlage für die Herstellung von Kondensatoren mit hoch-dielektrischem Material entwickelt und aufgebaut. Schichten aus diesem Material bilden die Grundlage für DRAMs der nächsten Generation (1 GBit und 4 GBit bei Strukturbreiten von bis zu 0,13 µm), sowie für integrierte, hochkapazitive Kondensatoren, wie sie etwa in Handys Einsatz finden können.

## Hoch-dielektrische Schichten

Die Bedeutung von hoch-dielektrischen Schichten soll am Beispiel einer Speicherzelle für DRAMs aufgezeigt werden, die aus einem Transistor mit nachfolgendem Kondensator besteht. Diese zwei-elementige Struktur befindet sich zu Millionen auf einem Speicherchip. Um diese Speicherchips immer leistungsfähiger zu machen, d.h. die Anzahl der Einzelzellen pro Chip immer weiter zu erhöhen, müssen die Einzelzellen immer kleiner werden. Die Herausforderung bei immer kleineren Strukturgrößen besteht nun darin, die Kapazität des Speicherkondensators aus Gründen der Datensicherheit auf einem Mindestniveau zu halten. Gemäß der Formel für die Kondensatorkapazität  $C$

$$C = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{A}{d}$$

mit  $\epsilon_0$  der Permittivitätszahl des Vakuums und  $\epsilon_r$  der relativen Permittivitätszahl des verwendeten Dielektrikums, ist dies bei kleiner werdender Fläche  $A$

und einer physikalisch begründeten Mindestdicke  $d$  nur mit steigender relativer Permittivitätszahl möglich. Ein Material mit hoher Permittivitätszahl ist Barium-Strontium-Titanat, abgekürzt *BST*. Mit diesem Material sind Permittivitätswerte von  $\epsilon_r = 300$  und mehr möglich. Das ist gegenüber dem bisher oft verwendeten Siliciumoxid mit  $\epsilon_r = 3,9$  eine Steigerung um ca. zwei Größenordnungen.

## Mehrkammerprozeßanlage für MOCVD

Ziel des Projekts war die Herstellung und Charakterisierung einer kompletten Schichtfolge bestehend aus Barrierschicht, Elektrodenschicht, Dielektrikum und zweiter Elektrodenschicht. Als Elektrodenschicht fand Platin Anwendung. Die Barrierschicht ist notwendig, um die Diffusion von Platin und von Sauerstoff in den darunter liegenden Transistor zu verhindern, da dies die elektrischen Eigenschaften negativ beeinflussen würde. Die einzelnen Schichten wurden mittels chemischer Gasphasenabscheidung unter Verwendung metallorganischer Ausgangsstoffe (*MOCVD*) erzeugt. *MOCVD* wurde als Herstellungsverfahren gewählt, da zur Anwendung im industriellen Einsatz Verfahren notwendig sind, die auch auf strukturierten Substraten wie vorprozessierten Siliciumscheiben eine kantenkonforme Bedeckung gewährleisten. Dies ist insbesondere für zukünftige Strukturgrößen kleiner 0,13 µm von Bedeutung.

Die Abscheidung der Schichten findet in verschiedenen Prozeßmodulen statt. Zur Erhaltung der Schichtqualität gerade zwischen den einzelnen Abscheidungsmodulen, finden diese innerhalb einer Mehrkammerprozeßanlage statt. Darunter versteht man den Zusammenschluß mehrerer Prozeßmodule mit einer Transportkammer, die den zum Scheibentransfer notwendigen Roboter

enthält. Vorteil dieses Gesamtsystems ist die Handhabung der Scheiben unter einer genau definierten Atmosphäre vom Zeitpunkt des Einschleusens an, zwischen und während der Abschei-

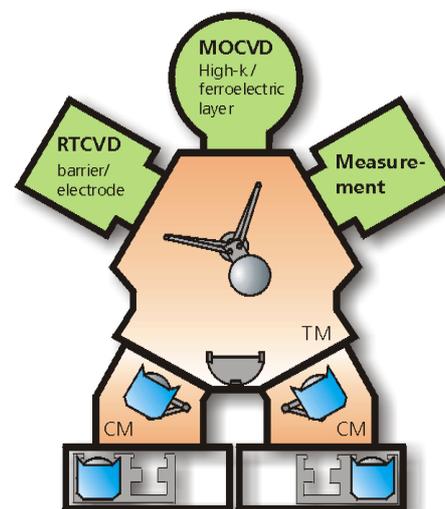


Fig. 1: Mehrkammerprozeßanlage für die Herstellung von Kondensatoren mit hoch-dielektrischem Material; Cluster tool for the manufacturing of capacitors with high-k material.

dungen bis zum Ausschleusen nach Beendigung aller Prozeßschritte in der Anlage. In Fig. 1 ist schematisch die hier verwendete Mehrkammerprozeßanlage dargestellt.

## Messtechnik und Charakterisierung

Seit etwa 10 Jahren arbeitet das IIS-B auf dem Gebiet der MOCVD-Abscheidung von neuen Dielektrika und deren Charakterisierung. Diese Thematik konnte hier unmittelbar fortgeführt und vertieft werden, indem das IIS-B die Prozeßentwicklung im Rahmen von HECTOR 300 durch fortlaufende Charakterisierung der hergestellten Proben begleitete. Dies erfolgte unter Verwendung der im Haus verfügbaren Mess- und Analysemethoden sowie externer Möglichkeiten im Rahmen weiterer Kooperationen. Von den am Institut verfügbaren Meß- und Analyseverfahren wurden unter anderem Röntgenbeugung (XRD), Röntgenphotoelektr-

# HECTOR 300 - Manufacturing of Capacitors with High-k Material

In the last 3 years, the IIS-B participated in the European project HECTOR 300 (High Epsilon Materials Cluster Tool for Optimized Rapid Deposition of Stacked Capacitors on 300-mm Wafers). In this project, the IIS-B developed and set up – in close collaboration with Aixtron, ASM, AMS, research center Jülich, Lucent, Motorola, Infineon and Steag CVD-Systems – a tool for the manufacturing of capacitors with high-k material. Layers of this material are the basis of DRAMs of the next generation (1 GBit and 4 GBit with linewidths of down to 0.13 µm) as well as for integrated, high-capacitive capacitors as could be used e.g. for mobile phones.

## High-k layers

The importance of high-k layers can be shown with the example of a memory cell for DRAMs consisting of a transistor with a capacitor following. Millions of this two-elements structure are to be found on one memory chip. To increase the performance of these memory chips, i.e. to increase the number of single cells per chip, the single cells have to become smaller and smaller. The challenge at ever-decreasing pattern sizes is to keep the capacity of the memory capacitor at a minimum level for data security reasons. According to the formula for the capacity C

$$C = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{A}{d}$$

with the permittivity  $\epsilon_0$  of the vacuum and the relative permittivity  $\epsilon_r$  of the used dielectric, this is only possible at increasing relative permittivity with an decreasing area A and a physically founded minimum thickness d. A material with high permittivity is barium strontium titanate (BST). With this material, permittivity values of  $\epsilon_r = 300$  and higher are possible. Compared to

the commonly used silicon oxide with  $\epsilon_r = 3.9$  this is an increase of approximately two orders of magnitude.

## Cluster tool for MOCVD

The goal of the project was to manufacture and to characterize a complete layer sequence consisting of a barrier layer, an electrode layer, the dielectric and a second electrode layer. Platinum was used as material for the electrode layer. The barrier layer is necessary to prevent the diffusion of platinum and oxygen into the transistor underneath, since this would affect the electrical properties. The individual layers were realized via chemical vapor deposition using metal-organic precursors (MOCVD). As manufacturing procedure, MOCVD was chosen since for an industrial application procedures are necessary which ensure an edge-conformal coating even on patterned substrates such as pre-processed silicon wafers. This is of particular importance for future pattern sizes of less than 0.13 µm.

Layer deposition takes place in different process modules. To maintain the layer quality particularly between the individual deposition steps, these steps take place inside a cluster tool. A cluster tool consists of several process modules combined with a transport chamber which contains the robot handler for wafer transport. The advantage of this comprehensive system is wafer handling in a precisely defined atmosphere during the whole process, i.e. during wafer loading, between and during the different deposition steps as well as during wafer unloading after all process steps inside the cluster tool are finished. Fig. 1 schematically shows the cluster tool used in this project.



Fig. 2: In die Transportkammer integriertes kompaktes Ellipsometer zur Bestimmung von Schichtdicken direkt nach der Abscheidung; Compact ellipsometer integrated in the transport chamber for determination of layer thickness immediately after deposition.

## Metrology and Characterization

For approximately 10 years, the IIS-B has been working in the field of MOCVD deposition of novel dielectrics and their characterization. The IIS-B has been able to continue and to extend this subject by accompanying the process development within the framework of HECTOR 300 by continuous characterization of the manufactured samples. For this purpose, measurement and analysis techniques available at the IIS-B as well as external facilities within the framework of other cooperations were applied. In-house measurement and analysis techniques applied in this project are, for instance, X-Ray Diffraction (XRD), X-Ray Photoelectron Spectroscopy (XPS) as well as Spectral Ellipsometry (SE). The application of some of these measurement techniques will be exemplified in the following.

Due to preliminary experiments, the layer parameters to be adjusted within

onen-Spektroskopie (XPS) und Spektralellipsometrie (SE) eingesetzt. Exemplarisch wird im folgenden die Anwendung einiger Meßverfahren erläutert.

Aufgrund von Vorversuchen waren die einzustellenden Schichtparameter innerhalb eines Prozeßfensters bekannt. Bei der Abscheidung von BST beispielsweise werden drei Metalle zu einem gemeinsamen Oxid umgesetzt. Hier ist die laufende Kontrolle der Schichtzusammensetzung notwendig. Dies wurde mittels zweier Meßverfahren realisiert, die sich in ihren Möglichkeiten ideal ergänzen:

- Zum einen wurde XPS verwendet, welches direkt an der Mehrkammerprozeßanlage verfügbar war. So war es möglich, die Scheiben direkt nach dem Abscheidungsprozeß zu charakterisieren, ohne daß die Scheiben mit der Raumatmosphäre in Kontakt kommen konnten. Dies hätte eine Verunreinigung der Scheiben und somit eine Verfälschung des Meßergebnisses zur Folge gehabt.
- Zum anderen wurden die Scheiben mittels Röntgen-Fluoreszenz-Analyse (XRF) auf ihre Schichtzusammensetzung untersucht.

XRF hat den Vorteil, eine sehr schnelle Meßmethode zu sein. Zu den Nachteilen dieser Methode gehört, daß leichte Elemente wie Kohlenstoff nicht detektiert werden können. Des Weiteren werden bei diesem Verfahren nicht nur die oberen Schichten erfasst, sondern auch alle darunter liegenden, einschließlich des Substrats. Mehrfach vorkommende Metalle, wie z.B. Titan, in evtl. Haft- oder Barrierschichten verfälschen so das Meßergebnis der dielektrischen Schicht. XPS dagegen ist ein Meßverfahren mit sehr geringer Eindringtiefe, das nur die Oberfläche untersucht und auch leichte Elemente erfassen kann.

Mittels XRD kann das Vorhandensein

und die Orientierung kristalliner Phasen im Material bestimmt werden. Im Fall von BST war bekannt, daß bevorzugt die kubische Phase in (100)-Orientierung hergestellt werden sollte. Durch die laufende Überprüfung der hergestellten Proben konnten Prozeßparameter für die BST-Abscheidung gefunden werden, mit denen eine fast ausschließliche Abscheidung in der gewünschten Phase realisierbar war.

Ellipsometrie ist ein Verfahren zur zerstörungsfreien Bestimmung der Dicke von transparenten Schichten. Mittels Spektralellipsometrie können neben der Schichtdicke auch die optischen Schichtparameter bestimmt werden. Diese werden bei der Verwendung von monochromatischen Ellipsometern benötigt, die eine deutlich höhere Meßgeschwindigkeit besitzen. Im Rahmen dieses Projekts wurde in Zusammenarbeit mit einem mittelständigen deutschen Ellipsometerhersteller ein monochromatisches Ellipsometer entwickelt, welches auf der oberen Abdeckung der Transportkammer montiert ist und eine Scheibe unmittelbar nach dem Prozeßschritt vermessen kann. Dazu wird die Scheibe vom Roboter in der Kammer positioniert. Die Meßzeit verlangsamt den Transportvorgang nur unwesentlich, während eine nachträgliche Messung außerhalb des Fertigungsgeräts einen deutlichen Aufwand beinhaltet. Das Ellipsometer auf der Transportkammer ist in Fig. 2 gezeigt.

#### Ausblick

Die im Rahmen des Projekts HECTOR 300 vom IIS-B übernommenen Aufgaben wurden erfüllt. Dabei konnten die Erfahrungen aus früheren Projekten auf den Gebieten der Gerätetechnik, der metallorganischen Schichtabscheidung sowie der Charakterisierung von Schichten zum Nutzen aller Projektteilnehmer eingebracht werden. Zum Gelingen des Projekts trug auch die Inte-

gration von Meßtechnik zur Unterstützung der Prozeßentwicklung bei. Die im Projekt gewonnenen neuen Erfahrungen und Kenntnisse können bei zukünftigen Aufgaben angewendet werden. Ein Nachfolgeprojekt zur Fortführung der Arbeiten auf dem Gebiet der Schichtabscheidung mittels MOCVD steht unmittelbar bevor.

#### Ansprechpartner

Martin Schellenberger  
Telefon: +49 (0) 9131 761-222  
Email: schellenberger@iis-b.fhg.de

Christian Schmidt  
Telefon: +49 (0) 9131 852-8636  
Email: schmidt@iis-b.fhg.de

a process window were already known. In the deposition of BST, for instance, three metals are transformed into a combined oxide. Here, it is necessary to continuously monitor the layer composition. This was realized by means of two measurement techniques that complement each other in an ideal way:

- On the one hand, XPS was applied which was available directly at the cluster tool. Thus, it was possible to characterize the wafers directly after the deposition process without the wafers being exposed to the room atmosphere. This would have entailed a contamination of the wafers and thus a distortion of the measurement results.
- On the other hand, the layer composition of the wafers was investigated by means of X-Ray Fluorescence Analysis (XRF).

The advantage of XRF is that it is a very fast measurement technique. One of the disadvantages of this technique is the fact that light elements such as carbon cannot be detected. Furthermore, by this technique not only the upper layers are investigated but also all the other layers beneath, including the substrate. Thus, the measurement results of the dielectric layer are distorted by metals which can be found in several layers, such as titanium in adhesion or barrier layers. XPS, however, is a measurement technique with a low penetration depth which serves to investigate only the surface and by which also light elements can be detected.

By means of XRD, the existence as well as the orientation of crystalline phases in the material can be detected. In the case of BST it was known that the cubic phase in (100) orientation was to be manufactured preferentially. By means of continuous monitoring of the manufactured samples, process parameters for the deposition of BST could be

found by which the material could be deposited almost exclusively in the desired phase.

Ellipsometry is a non-destructive technique to measure the thickness of transparent layers. By means of Spectral Ellipsometry, not only the layer thickness but also optical layer parameters can be measured. These parameters are required when using monochromatic ellipsometers which have a much higher measurement velocity. Within the framework of this project and in cooperation with a medium-sized German ellipsometer manufacturer, a monochromatic ellipsometer was developed which is mounted at the upper covering of the transport chamber and by means of which a wafer can be measured directly after the process step is finished. For this purpose, the wafer is positioned inside the chamber by the robot handler. The transport process is only slightly delayed by the measurement time, whereas a subsequent measurement outside the manufacturing tool would imply a substantial effort. Fig. 2 shows the ellipsometer on top of the transport chamber.

## Outlook

The tasks assumed by IIS-B within the framework of the project HECTOR 300 have been met. Experiences from previous projects concerning the development of novel tools, metal-organic layer deposition as well as layer characterization contributed to the project for the benefit of all participants. Besides, the integration of metrology in order to support process development contributed to the success of the project. The new experience and knowledge obtained from this project can be applied to future tasks. A subsequent project to continue the activities in the field of layer deposition by means of MOCVD is imminent.

## Contact

Martin Schellenberger  
Phone: +49 (0) 9131 761-222  
Email: schellenberger@iis-b.fhg.de

Christian Schmidt  
Phone: +49 (0) 9131 852-8636  
Email: schmidt@iis-b.fhg.de

# Meßtechnik und Analytik für 300 mm-Scheiben

## Einleitung

Mit Einführung der 300 mm-Technologie in der Halbleiterfertigung wurde am Institut eine Technologie- und Meßtechnikplattform für 300 mm-Wafer aufgebaut. Dieses 300 mm-Labor steht für die Industrie und Forschungseinrichtungen innerhalb und außerhalb der EU zum Test und zur Vorqualifizierung von Fertigungsgeräten und Materialien zur Verfügung. Zur Zeit werden am Institut 300 mm-Teilprozesse, wie z.B. Reclaim, Polieren, haze-free Polieren, Oxidation, Implantation, Ätzen und Reinigung bereitgestellt.

Im Rahmen verschiedener Projekte wurden in den letzten Jahren am Institut eine Reihe von neuen Anlagen für die 300 mm-Meßtechnik und -Analytik installiert. Diese Plattform bildet die Grundlage laufender und zukünftiger industrienaher Forschungs- und Entwicklungsarbeiten im Bereich innovativer Prozesse, Geräte und Materialien für die 300 mm-Technologie.

## Meßtechnik und Analytik

Das Institut bietet eine Vielzahl von Methoden und Verfahren zur Charakterisierung von Prozessen, Halbleiterfertigungsgeräten und Scheiben. Im folgenden werden nur Bestandteile der Plattform für 300 mm-Siliciumscheiben aufgeführt. Das Equipment ist überwiegend in Reinräumen der Klasse 10 oder besser installiert.

Verfahren der Meßtechnik sind:

1. Oberflächeninspektion der Wafer wie Advanced Nanodefekt Surface Inspection System (ANS), Optische Mikroskopie.
2. Schichtcharakterisierung: Thermo Wave Analysis (TWA), Spektraler Ellipsometrie.
3. Elektrische Charakterisierung: Electrolytical Metal Analysis Tool (ELY-

MAT), Waferprober, 4-Point-Probe.  
4. Wafergeometrie.

Verfahren der Analytik für 300 mm-Wafer sind:

1. Direkte anorganische Kontaminationsanalytik: Total Reflection X-Ray Fluorescence (TXRF)
2. Präparationstechnik: Vapor Phase Decomposition (VPD) und Tropfencanner kombiniert mit den von der Wafergröße unabhängigen Verfahren wie Atomic Absorption Spectroscopy (AAS), Inductively Coupled Plasma Mass Spectroscopy (ICPMS)

## Anwendungen

Kontaminationsfreie Untersuchungen sind eine Grundvoraussetzung für Kontrolle, Monitoring und Entwicklung ultrareiner Prozesse in der Halbleiterfertigung wie auch für Halbleiterfertigungsgeräte. Ein Schwerpunkt des Institutes bildet die Qualifizierung und Evaluierung von Halbleiterfertigungsgeräten unter Reinraumbedingungen.

Anorganische Kontaminationen auf der Waferoberfläche werden mit TXRF nachgewiesen. Die Messung von Partikelkontaminationen und Haze auf Scheibenoberflächen wird mit dem ANS realisiert. Diese Messungen wer-

den oft auf Monitorwafern, die die Prozesse und die Geräte durchlaufen, durchgeführt. Die Messungen können auch in-line erfolgen. Die Werte der Wafergeometrie nach oder vor einem Prozeß werden mittels kapazitiven Abstandsmessungen berührungsfrei ermittelt. Schichtdicken oder charakteristische Eigenschaften von Schichten auf den Wafern werden mit spektraler Ellipsometrie oder TWA bestimmt.

VPD ist eine etablierte Methode zur Waferpräparation für die Spurenanalytik in der Halbleiterfertigung. VPD ist nicht zerstörungsfrei, ermöglicht aber die Kombination mit allen zur Verfügung stehenden Analysemethoden bei gleichzeitiger Verbesserung der Nachweisempfindlichkeit. Die ELYMAT-Methode erlaubt einen sehr empfindlichen Nachweis von Defekten im Siliciumkristall. Diese Technik kommt vor allem dann zum Einsatz, wenn andere Methoden ihre Nachweisgrenze erreichen.

## Ansprechpartner

Dr. Andreas Nutsch  
Telefon: +49 (0) 9131 761-115  
Email: nutsch@iis-b.fhg.de



Fig. 1: Linke Seite: 300 mm-Mikroskop (Hellfeld, Dunkelfeld, Differential Interferenz Kontrast, 50fache bis 1000 fache Vergrößerung), Rechte Seite: 200/300 mm-System zur Bestimmung der Wafergeometriegrößen (Dicke, Total Thickness Variation, Bow, Warp);

Left: 300 mm microscope (bright field, dark field, Differential Interference Contrast, 50x to 1000x magnification), Right: 200/300 mm system to determine wafer geometry parameters (thickness, total thickness variation, bow, warp).

# Metrology and Analysis for 300 mm Wafers

## Introduction

With the introduction of 300 mm technology in semiconductor manufacturing, the Fraunhofer IIS-B set up a technology and metrology platform for 300 mm wafers. This 300 mm laboratory is available for partners from industry and research inside and outside the EU for testing and pre-qualifying new manufacturing equipment and materials. Currently, the institute provides 300 mm sub-processes such as wafer reclaim, polishing, haze-free polishing, oxidation, implantation, etch and clean.

Within the framework of different projects, a number of new tools for 300 mm metrology and analysis has been installed at the institute in recent years. This platform forms the basis of current and future industry-oriented R&D activities in the field of innovative processes, equipment and materials for 300 mm technology.

## Metrology and Analysis

The IIS-B offers a multitude of methods and techniques for the characterization of processes, semiconductor manufacturing equipment and wafers. In the following, only the constituents of the platform for 300 mm silicon wafers are listed. For the most part, the equipment is installed in cleanrooms of class 10 or better.

Metrology techniques are:

1. Surface inspection of the wafer e.g. by Advanced Nanodefekt Surface Inspection System (ANS), Optical Microscopy.
2. Layer characterization: Thermo Wave Analysis (TWA), Spectral Ellipsometry.
3. Electrical characterization: Electrolytical Metal Analysis Tool (ELYMAT), Wafer Prober, 4-Point Probe.

## 4. Wafer geometry.

Analytical techniques for 300 mm wafers are:

1. Direct inorganic contamination analysis: Total Reflection X-Ray Fluorescence (TXRF)
2. Preparation technique: Vapor Phase Decomposition (VPD) and droplet scanner combined with techniques which are independent of the wafer size such as Atomic Absorption Spectroscopy (AAS), Inductively Coupled Plasma Mass Spectroscopy (ICPMS), etc.

## Applications

Contamination-free investigations are a prerequisite for the control, monitoring and development of ultra-clean processes in semiconductor manufacturing as well as for semiconductor manufacturing equipment. A focal area at the IIS-B is the qualification and evaluation of semiconductor manufacturing equipment under cleanroom conditions.

Inorganic contamination on the wafer surface is detected by means of TXRF. The measurement of particle contami-

nation and haze on wafer surfaces is realized by means of ANS. These measurements often are performed on monitor wafers which pass through the different processes and tools. The measurements also can be performed in-line. The wafer geometry values before or after a process are determined by means of non-contact capacitive distance measurements. Layer thicknesses or characteristic properties of layers on the wafers are determined by means of spectral ellipsometry or TWA.

VPD is an established method to prepare wafers for trace analysis in semiconductor manufacturing. VPD is a surface-destructive method, but allows the combination with all available analytical methods with simultaneous improvement of the detection sensitivity. The ELYMAT method allows a very sensitive detection of defects in the silicon single-crystal. This method is applied particularly when other methods hit their detection limit.

## Contact

Dr. Andreas Nutsch

Phone: +49 (0) 9131 761-115

Email: [nutsch@iis-b.fhg.de](mailto:nutsch@iis-b.fhg.de)

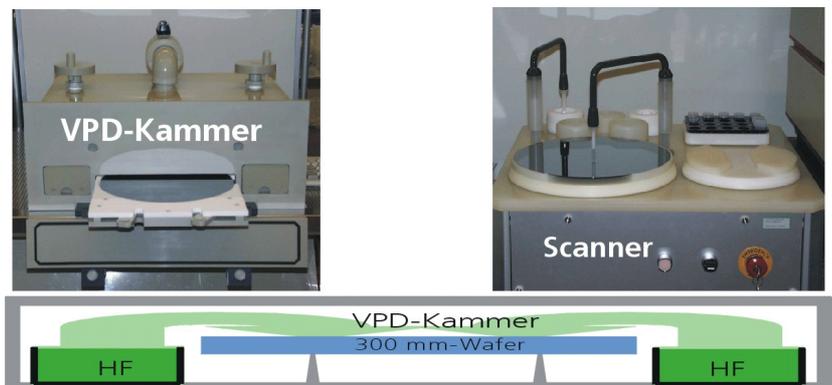


Fig. 2: Präparation der 300 mm-Wafer: In HF Atmosphäre (Abb. VPD Kammer oben links) wird die Oxidschicht der Wafer angeätzt. Das bei der Reaktion entstehende Wasser auf der Waferoberfläche enthält die Kontamination und wird mit dem Scanner (Abb. oben rechts) eingesammelt. Das untere Bild zeigt schematisch den Aufbau der 300 mm-VPD Kammer;

Preparation of 300 mm wafer: In HF atmosphere (fig. top left: VPD chamber), the oxide layer of the wafer is slightly etched. The water on the wafer surface emerging from the reaction contains the contamination and is collected by means of a scanner (fig. top right). The figure below schematically shows the set-up of a 300 mm VPD chamber.

Schwerpunkte, Trends und Potentiale der Abteilung Prozeßtechnik

Die Basis der Abteilung Technologie bildet ein 1000 m<sup>2</sup> Reinraum mit CMOS-kompatiblen Equipment. Die Entwicklung neuartiger Prozeßschritte und Verfahren für höchstintegrierte Schaltungen, die Bearbeitung mikroskopischer Strukturen mittels Ionenstrahltechnik und die Entwicklung von Bauelementstrukturen der Leistungselektronik sind die Arbeitsschwerpunkte dieser Abteilung. In Zusammenarbeit mit dem Lehrstuhl für Elektronische Bauelemente wird dafür ein Reinraum betrieben, der die Durchführung aller wichtigen Prozeßschritte auf Siliciumscheiben von 100 bis 150 mm Durchmesser, für Einzelprozeßschritte von 200 und 300 mm Durchmesser, ermöglicht. Ein von der Wirtschaft transferierter CMOS-Prozeß ist in der Prozeßlinie des IIS-B implementiert und an die speziellen Anforderungen eines Forschungsinstitutes angepaßt. Dieser Prozeß bildet die Basis, die Einzelprozeßentwicklung für zukünftige VLSI- und ULSI-Schaltkreise zu stärken und eine Erprobung von neuen Prozessen im Umfeld eines Gesamtprozesses zu ermöglichen.

Unter dem Begriff Entwicklung von neuartigen Prozeßschritten und Verfahren für höchstintegrierte Schaltungen fallen vor allem Prozesse im sogenannten "Front End of Line"-Bereich, d.h. Prozeßschritte bei der Herstellung von CMOS-Bauelementen bis zur ersten Metallisierungsebene. Mittlerweile sind bei einigen Prozeßschritten die physikalischen Grenzen erreicht, z.B. bei der Reduzierung der Gateoxiddicke bis zu 1,2 nm. Deshalb müssen neuartige Materialien oder Herstellungsverfahren in die Halbleiterfertigung eingeführt werden. Mit hochmodernen Abscheidungsanlagen auf der Basis von MOCVD steht dem IIS-B geeignetes Equipment

zur Abscheidung von hoch-epsilon und metallischen Schichten zur Verfügung. Die Kernkompetenzen des IIS-B liegen dabei in der Anpassung dieser Anlagen an die jeweilige Precursorenchemie, in der langjährigen Erfahrung hinsichtlich der Abscheidung aller Arten von Precursoren und Charakterisierung der abgeschiedenen Schichten und in der Zusammenarbeit mit mehreren chemischen Instituten zur Herstellung und Modifizierung neuartiger Precursoren. Grundlage bei der Charakterisierung der Schichten ist die umfangreiche Erfahrung des IIS-B in der Herstellung und Untersuchung dünnster SiO<sub>2</sub>-Schichten als Dielektrika. Traditionell ist auch die Ionenstrahltechnik am IIS-B angesiedelt. Implantationsanlagen von einigen eV bis hin zu mehreren MeV stehen der Ionenstrahltechnik am IIS-B zur Verfügung. Vor allem Sonderimplantationen, sowohl in der CMOS- als auch in der Leistungsbauelementetechnologie sind bei der Industrie sehr gefragt. Für solche Implantationen außerhalb der "Mainstream"-Technologie wurden kommerzielle Anlagen modifiziert, bzw. erweitert, so daß nicht nur alle möglichen Arten von Scheibendurchmessern, sondern auch bei erhöhten Temperaturen eine Vielzahl von Elementen implantiert werden können.

Ein weiterer Kompetenzbereich der Abteilung ist die Ionenstrahltechnik zur Bearbeitung mikroskopischer Strukturen. Das IIS-B entwickelt fortgeschrittene Verfahren zur Modifikation von Bauelementen mittels FIB (Focused Ion Beam).

Weitere Aktivitäten finden in den Bereichen Leistungsbauelemente und Siliciumcarbid statt. Das IIS-B engagiert sich in letzter Zeit stärker auf diesem Gebiet. Mit neuem Equipment und neuen Prozeßschritten sollen die speziellen Anforderungen der Leistungs- und SiC-Elektronik, wie Herstellung von Trenchstrukturen und deren Befüllung oder

Hochtemperatur-Prozessierung für SiC, erfüllt werden. Basis hierfür ist auch die umfangreiche Simulation solcher neuartiger Strukturen am Computer mit geeigneten Software-Tools, die auch am IIS-B seit kurzem vorhanden sind.

Die Entwicklungen aus den oben genannten Forschungsschwerpunkten der Abteilung Technologie werden unterstützt durch meßtechnische Untersuchungen. Zu einem besonderen Schwerpunkt hat sich hier die Analytik von Spurenverunreinigungen auf Siliciumscheiben, in Prozeßchemikalien und in Gasen durch TXRF, ToF-SIMS, AAS, VPD-AAS und ICP-MS entwickelt. Als physikalische Untersuchungsmöglichkeiten stehen SIMS, SNMS, XPS und RBS zur Verfügung. Daneben werden die klassischen Untersuchungsverfahren wie MOS-, I/U-, C/U-, Schichtwiderstands-, Beweglichkeits-, Dotierungsprofil-, Halleffektmessungen, SEM- und TEM-Untersuchungen sowie energiedispersive Röntgenanalyse, aber auch Bestimmung von Linienbreiten, Schichtdicken, Scheibenebenheit und prozeßinduziertem Scheibenverzug gepflegt.

Ansprechpartner

Dr. Lothar Frey  
Telefon: +49 (0) 9131 761-320  
Email: frey@iis-b.fhg.de

Dr. Anton Bauer  
Telefon: +49 (0) 9131 761-308  
Email: anton.bauer@iis-b.fhg.de

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

A cleanroom of 1000 m<sup>2</sup> equipped with CMOS-compatible equipment is the basis of research activities of the Technology Department. The Technology Department works on the development of novel process steps and methods for ULSI devices, ion beam techniques for dopant engineering and micro-machining as well as on the development of device structures in power electronics. For this purpose, IIS-B and the Chair of Electron Devices maintain joint cleanroom facilities. This allows the implementation of the most important process steps on silicon wafers with diameters from 100 to 150 mm, for certain process steps 200 and 300 mm. An industrial CMOS process was transferred to IIS-B and adapted for research and development purposes. This process is used as reference and basis for development of advanced process technology.

Development of novel process steps and methods for ULSI devices at IIS-B includes mainly the so-called "Front End of Line" area, this means process steps for manufacturing of CMOS devices up to the first metalization level. In the meantime, some process steps have reached their physical limits, e.g. the reduction of the gate oxide thickness down to 1.2 nm. Therefore, novel materials or manufacturing methods have to be introduced. Very progressive deposition tools on the basis of MOCVD (metal organic chemical vapour deposition) are available for deposition of high-k and metal layers at IIS-B. Modification of those tools regarding the chemistry of the precursors, long-standing experience concerning the deposition of various precursors, characterization of the deposited

layers, and cooperation with chemical institutes for manufacturing and modification of precursor chemistry are core competences of IIS-B. Extensive experience of IIS-B in manufacturing and investigation of ultra-thin silicon dioxide layers used for electrics is the basis for characterization of novel layer materials. Special activities are focused on ion implantation technologies. At IIS-B, implantation tools with acceleration voltages from some eV up to several MeV are available. For instance, special implantations for CMOS as well as for power semiconductors are well-known, e.g. commercial tools have been modified to be suitable to implant several wafer diameters and manifold elements at elevated temperatures.

Another focal area of the department are ion beam techniques for dopant engineering and micro-machining. IIS-B develops advanced procedures for circuit modification by FIB techniques and a new, low-cost ion implantation system with a large area ion source.

Further activities take place in the fields of power semiconductors and silicon carbide electronics. IIS-B is increasing its commitment in these fields by implementing new equipment and processes to serve special needs necessary for power devices and SiC electronics, like etching and filling of deep trenches or high-temperature processing capabilities for SiC. Extensive simulation tools for simulation of novel power devices are available at IIS-B for a few months.

Developments achieved in the above-mentioned key areas are supported by metrological services. Analysis of trace impurities on silicon wafers, in process chemicals and in gases through TXRF, AAS, VDP-AAS and ICP-MS has become a major field of activity. Apart from that, classical testing methods, such as MOS, I-V, C-V, sheet resistance, mobility, doping profile and Hall effect mea-

surements, as well as SEM & TEM investigations, energy-dispersive X-ray analysis, AFM surface characterization, the determination of feature size, layer thickness, wafer planarity and process-induced wafer warp are performed.

## Contact

Dr. Lothar Frey  
Phone: +49 (0) 9131 761-320  
Email: frey@iis-b.fhg.de

Dr. Anton Bauer  
Phone: +49 (0) 9131 761-308  
Email: anton.bauer@iis-b.fhg.de

# Schädigung des Gateoxids bei der Implantation durch MOS-Strukturen

## Einleitung

Die steigende Zahl an Metallisierungsebenen und die erhöhte Komplexität von MOS-Transistoren mit Gatelängen im Submikrometerbereich führen zu einer starken Zunahme von Prozessschritten und Maskenebenen bei der Fertigung von CMOS-Schaltungen. Moderne Fertigungsprozesse bestehen aus über 400 Einzelprozessschritten mit über 20 Maskenebenen. Zur Reduktion von Prozeß-Durchlaufzeiten und Herstellungskosten wird ständig nach Möglichkeiten gesucht, redundante Einzelprozesse einzusparen oder Prozessschritte in geeigneter Weise zusammenzufassen.

Bei der Herstellung von konventionellen CMOS-Bauelementen sind in verschiedenen Prozeßstadien Maskierungsschritte zur Unterscheidung zwischen n- und p-Kanal-Bauelementen nötig. So müssen z.B. die n-Kanal-Bauelemente während der Herstellung der n-Wanne, des p-Kanals und der p-Source/Drain-Gebiete durch Photolackmasken bzw. Masken aus vorher strukturierten funktionellen Schichten bedeckt werden; gleiches gilt komplementär für die p-Kanal-Bauelemente. Die Ionenimplantation mit ihren vielfältigen Möglichkeiten zur Einstellung von Dotieratomverteilungen erlaubt eine Zusammenfassung dieser Maskierungsschritte zu je einem Maskierungsschritt pro Transistor-Leitungstyp. Da jedoch die Source/Drain-Implantationen teilweise von der Gateelektrode des Transistors maskiert werden, muss in diesem Fall die Dotierung der Wannen und der Kanäle durch die MOS-Struktur hindurch erfolgen.

Untersuchungen an solchen "durch die Gateelektrode implantierten" (TGI, engl. von "Through-the-Gate Implanted") Bauelementen haben neben dem verringerten Prozessieraufwand

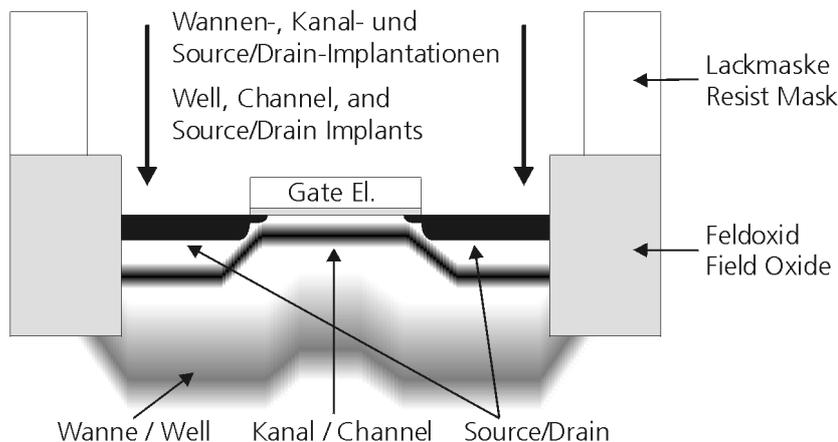


Fig. 1: Prozeßvereinfachung mittels Implantation durch die MOS-Gatestruktur. Die Source/ Drain - Implantation wird teilweise durch die Gateelektrode maskiert; Process simplification using Through-the-Gate Implantation (TGI). Self-aligned source/drain implants are partly masked by the gate stack.

verbesserte elektrische Eigenschaften gegenüber herkömmlichen MOS-Bauelementen gezeigt. Dabei sorgen die höheren Implantationsenergien und eine geringe thermische Belastung im Anschluß an die Implantationen dafür, daß die Maxima der Dotierungsprofile aus kritischen Bereichen wie dem Kanal in die Tiefe verlagert werden. Es entstehen sogenannte retrograde Profile. Im Fall des Transistor-Kanals hat dies eine erhöhte Beweglichkeit der Ladungsträger und damit eine höhere Stromtragfähigkeit der Bauelemente zur Folge.

Bei den hier beschriebenen Arbeiten wurden zunächst mittels beschleunigter Testverfahren die Auswirkungen der TGI auf die Zuverlässigkeit der Gateoxide untersucht. Darüber hinaus wurde anhand elektrischer Meßverfahren versucht, Aufschlüsse über die Oxid-Schädigung während der Durchimplantation zu erhalten.

## Experimentelle Vorgehensweise

Für die Untersuchungen wurden NMOS-Kondensatoren und Transistoren mit Oxiddicken zwischen 3,3 nm und 20 nm hergestellt. Bei der Probenherstellung wurde streng darauf geach-

tet, daß Oxid-Schwächungen ausschließlich durch die Ionenimplantation zu Stande kamen. Zur gezielten Schädigung der Oxide wurden Borionen mit Dosen zwischen  $2 \cdot 10^{12} \text{ cm}^{-2}$  und  $1 \cdot 10^{14} \text{ cm}^{-2}$  durch die MOS-Strukturen implantiert. Die Implantationsenergie war dabei so gewählt, daß eine maximale Schädigung der Oxidstruktur erreicht wurde.

Die Zuverlässigkeit der MOS-Strukturen mit 20 nm Oxiddicke wurde mittels Konstantstrominjektion bestimmt. Dabei wird der Strom durch das Bauelement zunächst bis auf den Streßwert erhöht, anschließend der Streßstrom bis zum Durchbruch des Oxides beibehalten. Fig. 2 zeigt die statistische Verteilung der jeweils bis zum Durchbruch durch das Gateoxid geflossenen Ladung. Deutlich ist zu erkennen, daß die Belastbarkeit der Isolatoren mit steigender durchimplantierter Dosis abnimmt.

Aufgrund der veränderten Leitungsmechanismen im Isolator führt für Oxide mit Dicken kleiner als 5 nm die Bestimmung der Qualitätskennndaten über Konstantspannungsstreß zu aussagekräftigeren Ergebnissen. In Fig. 3 sind für verschiedene Kombinationen aus Dosis, Oxiddicke und Streßbedingungen die Zeiten aufgetragen, zu denen

# Gate-oxide Damage in Through-the-Gate Implanted (TGI) MOS Structures

## Introduction

An increasing number of metalization levels and the high complexity of advanced submicron MOS field effect transistors require additional processing steps and lead to a significant increase in mask levels in CMOS integrated circuit processing. State-of-the-art manufacturing processes consist of more than 400 processing steps and more than 20 masking levels. For reduction of overall processing time and manufacturing costs, process simplification is mandatory.

Manufacturing of CMOS devices requires several masking levels for separation of n-channel and p-channel devices. N-channel devices must be covered by photoresist or a hard mask, when the doping of the n-well, the p-channel, and the p+-source/drain is carried out and vice versa. Substituting the diffusion of deep profiles by high energy ion implantation, it is possible to combine these masking levels, resulting in only one masking level per transistor conduction type. As the gate electrode is used as a hard mask for source/drain implants in self-adjusting CMOS processes, the implantation of well and channel dopants has to be realized through the MOS structure.

Besides the reduced effort needed for circuit processing, through-the-gate implanted (TGI) devices show improved electrical properties compared to conventionally manufactured transistors. Due to the higher implant energies and the lower thermal budget after the doping, retrograde doping profiles can be achieved in the channel region and at the drain/substrate junction. The reduced doping density in this regions leads to an enhanced channel carrier mobility and a lowering of drain substrate capacitance. This results in a higher current drivability and faster de-

vices.

The work presented here concerns reliability aspects of TGI MOS devices. We performed accelerated testing and employed several electrical characterization techniques for understanding the physical nature of the defects introduced by through-the-gate implantation.

## Experimental and Results

The aim of our studies is to reveal intrinsic gate oxide weakening due to TGI. As a consequence, samples were prepared that exclude any additional process related defects. We processed MOS capacitors and transistors with oxide thicknesses of 3.3 nm to 20 nm. Through-the-gate implantation of Boron was performed out at doses between  $2 \cdot 10^{12} \text{ cm}^{-2}$  and  $1 \cdot 10^{14} \text{ cm}^{-2}$ . TRIM Monte-Carlo simulations of the implantation process showed a maximum level of gate oxide damaging in the energy range from 80 to 100 keV. Thus, for examination of the worst case, the implantation energy was fixed to 100 keV.

The MOS capacitor reliability was evaluated using accelerated testing methods. Constant-current stress tests were performed at the samples with an oxide thickness of 20 nm. Fig. 2 shows the statistical distribution of the total charge per area injected at breakdown occurrence. As charge to breakdown is significantly lowered with increasing TGI dose, TGI is assumed to degrade gate-oxide reliability.

Due to a change in carrier transport mechanisms in the oxide, constant voltage stress tests lead to more significant results when comparing oxides with thicknesses below 5 nm. Fig. 3 shows the time to hard breakdown at 63 % cumulative failure tBD,63 % for differ-

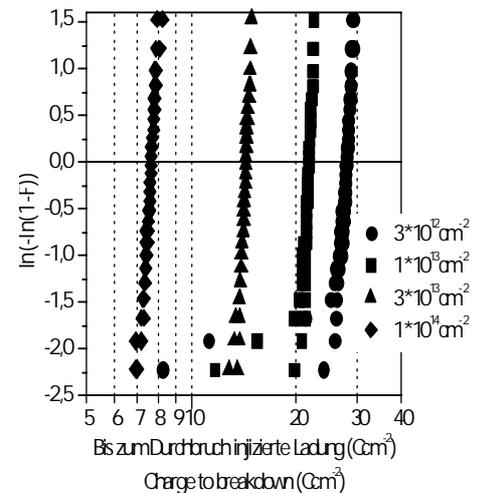


Fig. 2: Statistische Verteilung der bis zum Durchbruch injizierte Ladung; Charge to breakdown statistics for samples with oxide thickness of 20 nm.

ent combinations of TGI dose, oxide thickness and stress conditions. A tendency towards a lowering of tBD,63% values with rising TGI dose can be seen. Due to statistical variations, this result is not as clear as it is for the samples with an oxide thickness of 20 nm.

Common models for gate-oxide weakening assume that oxide damage is caused by generation of electron traps in the oxide. Breakdown occurs when the cross sections of the electron traps overlap and a conductive path between the gate electrode and the substrate is formed. Electron traps can be filled up to a certain percentage, depending on the applied electrical field. The charge stored in filled electron traps results in a threshold-voltage shift in the device. Using capacitance-voltage measurements or analyzing transistor I-V characteristics, the threshold-voltage shifts can be extracted and the electron trap densities of differently processed devices can be compared.

Furthermore, in oxides with thicknesses between 2.0 nm and 5.5 nm the stress-induced leakage current (SILC) can be used for an investigation of oxide defects. The SILC mechanism is based on

jeweils 63% der Bauelemente ausgefallen sind. Tendenziell ist hier ebenfalls eine zunehmende Schwächung des Gateoxids mit steigender Dosis zu erkennen, jedoch ist dieser Befund wegen starker statistischer Schwankungen nicht so ausgeprägt wie bei den Strukturen mit 20 nm Oxiddicke.

Gängige Modelle führen die Oxidschwächung und letztlich den Oxidurchbruch auf die Generation von Elektronenhaftstellen im Oxid zurück. Der Durchbruch ist dann erreicht, wenn die Wirkungsquerschnitte dieser Haftstellen überlappen und sich ein leitfähiger Pfad zwischen den beiden Elektroden ausbildet. Elektronenhaftstellen lassen sich in Abhängigkeit vom angelegten Feld zu einem bestimmten Prozentsatz mit Elektronen auffüllen. Die Volumenladung im Oxid resultiert in einer Verschiebung der Einsatzspannung. Anhand von Kapazitäts-Spannungs-Messungen ( $C(U)$ ) oder aus Transistorkennlinien lassen sich so die Dichten der Elektronenhaftstellen vergleichen.

Zudem bietet sich in Oxiden mit Dicken zwischen 2 nm und 5,5 nm mit dem sogenannten streßinduzierten Leckstrom (SILC) eine weitere interessante Möglichkeit zur Untersuchung von Oxiddefekten. Der SILC-Mechanismus basiert auf haftstellenunterstütztem Tunneln der Ladungsträger, der Leckstrom nimmt mit der Dichte der Haftstellen zu. Eine Betrachtung der Strom-Spannungs-Kennlinien ( $I(U)$ ) der MOS-Strukturen kann hier zur Auswertung der implantationsinduzierten Schädigungen herangezogen werden.

Die Untersuchungen haben gezeigt, daß für Oxide im untersuchten Dickenbereich bereits direkt nach der Herstellung eine erhöhte Dichte an Elektronenhaftstellen festgestellt werden kann und bei den 20 nm dicken Oxiden auch im Betrieb des Bauelementes eine er-

höhte Neigung zur Bildung von Defekten vorliegt. Aufgrund einer umfassenderen Diskussion der Ergebnisse unserer Untersuchungen wird davon ausgegangen, daß vor allem eine erhöhte Anfälligkeit während des Betriebs bei den stärker dotierten Bauelementen für die Verringerung der Zuverlässigkeit verantwortlich ist.

Die Qualität der durchimplantierten Bauelemente läßt sich durch zusätzliche thermische Behandlung verbessern. Generell ist eine Erhöhung des thermischen Budgets jedoch nicht erwünscht, da dies zur Ausdiffusion von Dotierprofilen führen kann. Speziell nach Kanaleinstellung und Source/ Drain-Implantation ist man darauf bedacht, die Belastung durch thermische Prozesse möglichst gering zu halten.

■■■■■■■■■■

#### Ausblick

Weitere Arbeiten auf diesem Gebiet konzentrieren sich auf die Charakterisierung der Generationsdynamik für Elektronenhaftstellen. Des weiteren werden die Untersuchungen auf PMOS-Bauelemente und alternative Dotierspezies ausgedehnt.

■■■■■■■■■■

#### Ansprechpartner

Michael Jank  
Telefon: +49 (0) 9131 852-8637  
Email: jank@iis-b.fhg.de

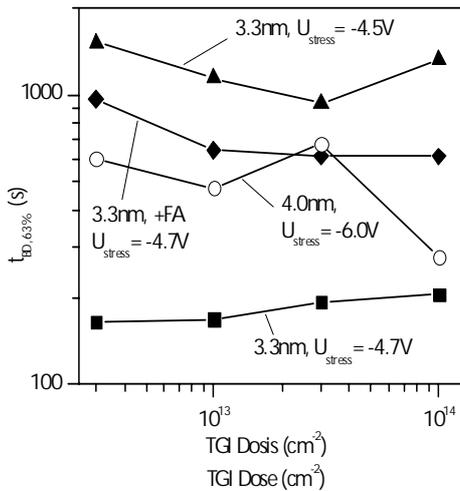


Fig. 3: Ultradünne Gateoxide: Zeit bis zum Durchbruch von 63 % der Proben;  
Time to breakdown statistics for samples with ultrathin gate oxides.

trap-assisted tunneling of carriers through the gate oxide. Leakage current rises with increasing defect density. Thus, I-V characteristics of MOS capacitors can be used for evaluation of implantation-induced defects in MOS devices with ultrathin gate oxides.

Employing these techniques on unstressed (i.e. as-processed) samples, we found a significant increase in intrinsic electron-trap density with increasing boron TGI dose. For the samples with 20 nm oxides, we also measured the electron-trap density after a certain level of electrical stressing. Trap generation during electrical stress or even during device operation is more pronounced in samples implanted at higher doses. Based on a more extensive discussion that will not be given here, we found that the increased trap generation rate is much more detrimental than the increase in intrinsic electron-trap density.

Oxide traps can partly be annealed by thermal treatment. However, to avoid outdiffusion of doping profiles, additional thermal budget is not desired at advanced processing states.

## Outlook

Further work mainly focusses on the evaluation of electron trap generation dynamics under electrical stress. Also alternative doping species and PMOS devices will be investigated.

## Contact

Michael Jank  
Telefon: +49 (0) 9131 852-8637  
Email: jank@iis-b.fhg.de

# Elektromagnetischer Mikrochopper für die Medizintechnik

Bestimmung von Gaskonzentrationen mittels Absorptionsspektroskopie

Eine Schwerpunktaktivität der Arbeitsgruppe Bauelemente / Mikrosystemtechnik stellt die Entwicklung miniaturisierter Komponenten für medizinische Anwendungen dar.

Der große Bedarf nach einem in Silicium-Mikrosystemtechnik hergestellten Mikrochopper kristallisierte sich bei der Durchführung mehrerer Forschungsprojekte zur Gasbestimmung (Anästhetika, Lungenfunktionsparameter) heraus. Die entwickelten Systeme basieren auf der Messung der Infrarotabsorption der gesuchten Gase. Ein hochauflösendes und schnelles Meßsystem benötigt zur Ansteuerung eines Lock-In-Verstärkers die Modulation der Strahlungsintensität mit hoher Frequenz.

Herkömmlich verfügbare Choppersysteme sowie die bisher bekannten Siliciumchopper erfüllen nicht alle für medizinische Anwendungen notwendigen Anforderungen:

- Geringe Systemabmessungen bei möglichst großer Spiegelfläche
- Hohe Frequenz (kHz Bereich)
- Niedrige Betriebsspannung
- Hohe Lebensdauer
- Niedrige Herstellungskosten

Die am Institut speziell für die Medizintechnik entwickelten Mikrochopper bestehen aus einer freistehenden einseitig eingespannten oder einer torsionsgelagerten Siliciumzunge mit 10 bis 30 Mikrometern Dicke (Fig. 1). Die Kantenlänge der Membranen liegt zwischen 0.5 und 5 mm. Nach Aufbringen eines Systems aus Haftsichten, ferromagnetischen Schichten und im Infraroten hochreflektierenden Reflexionschichten ist die Auslenkung der

Zunge mittels eines herkömmlichen Elektromagneten möglich. Die Mikrochopper weisen Resonanzfrequenzen auf, die von der Größe und Dicke der freigeätzten Siliciumfläche abhängen und zwischen 500 Hz und 5 kHz liegen (Fig. 2).

Das gesamte Bauelement besitzt einen Platzbedarf von weit unter einem Kubikzentimeter. Aus den guten mechanischen Eigenschaften von einkristallinem Silicium resultiert eine hervorragende Langzeitstabilität sowie mechanische Belastbarkeit. Aufgrund des einfachen Aktorprinzips und der niedrigen Betriebsspannung kann die Ansteuerlektronik raum- und kostensparend ausgeführt werden.

Durch Integration der Spule in das Siliciumbauteil können die Produktionskosten weiter reduziert werden.

Ansprechpartner:

Reinhold Waller  
Telefon: +49 (0) 9131 761-342  
Email: waller@iis-b.fhg.de

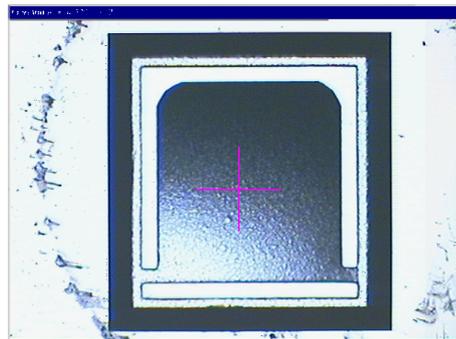


Fig. 1: 2x2mm Siliciumzunge eines Mikrochoppers;  
2x2mm silicon cantilever of a micro-chopper device.

# Electromagnetic Micro-chopper for Medical Technology

Determination of gas concentrations by means of absorption spectroscopy

A major activity of the working group of devices / micro system engineering represents the development of miniaturized components for medical applications.

A large demand for a micro-chopper manufactured in silicon micro system technology has been realized within the scope of several research projects for gas determination (anaesthetics, lung function parameters). The developed systems are based on the measurement of the infrared absorption of the investigated gases. A high-resolution and fast measurement system needs the modulation of the radiation intensity with high frequency for the control of a lock-in amplifier.

Conventionally available chopper systems as well as known silicon choppers do not meet all requirements in medical applications:

- small system dimensions with a reflector area as large as possible
- high working frequency (kHz band)
- low operating voltage
- high lifetime
- low manufacturing costs

The micro-choppers developed at the Institute, particularly for medical technology, consist of a stand-alone, one side clamped or a torsion-supported silicon cantilever (fig. 1) with 10 to 30 micrometers thickness. The edge length of the diaphragms is situated between 0.5 and 5 mm. After deposition of a system of adhesive layers, ferromagnetic layers and a layer highly reflective in the infrared band, the deflec-

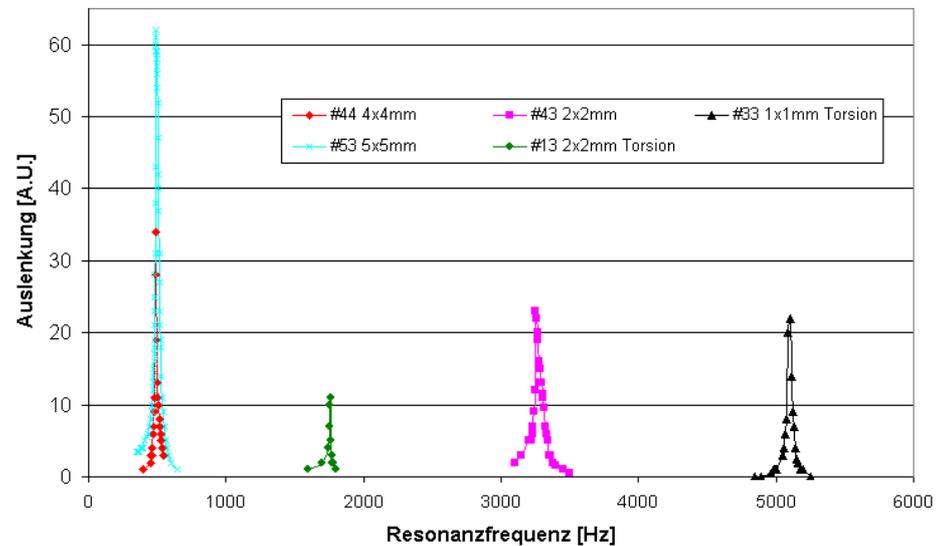


Fig. 2: Resonanzfrequenzen der Chopper bei unterschiedlicher Zungenfläche; Resonant frequencies of the choppers versus cantilever area.

tion of the tongue is achievable by means of conventional solenoids. The micro-choppers show resonant frequencies which depend on size and thickness of the free-etched silicon cantilever and lie between 500 Hz and 5 kHz (fig. 2).

The entire device requires far less than one cubic centimeter space. An outstanding long-term stability and good performance against mechanical maximum stress results from the excellent mechanical characteristics of single-crystal silicon.

Due to the simple actuator principle and the low operating voltage the electronics can be manufactured space- and cost-saving. By integrating the coil into the silicon component, production costs can be further reduced.

Contact:

Reinhold Waller  
Phone: +49 (0) 9131 761-342  
Email: waller@iis-b.fhg.de

# Metallorganisch-chemische Dampfphasenabscheidung von hoch- $\epsilon$ Dielektrika aus neuartigen Precursoren

Die Erhöhung der Integrationsdichte in der Halbleiterindustrie schreitet rasch voran und führt zu immer kleineren lateralen und vertikalen Dimensionen, so daß neuartige Materialien gefunden werden müssen, die den neuen Anforderungen gewachsen sind. In diesem Zusammenhang haben sich hoch- $\epsilon$  Materialien mit einer Dielektrizitätskonstante, die deutlich über der von Siliciumdioxid liegt, als vielversprechend für zukünftige elektronische Bauelemente wie zum Beispiel MOSFETs erwiesen. Eines dieser Materialien ist das Siliciumdioxid.

Als Herstellungsmethode für die Abscheidung von dünnen Schichten wurde die Niederdruckchemische Dampfphasenabscheidung mit metallorganischen Ausgangssubstanzen (MOCVD) gewählt. Sie gewährleistet offensichtliche Vorteile wie homogene Schichtabscheidung und gute Kantenbedeckung.

Die Abscheidungen werden mit Hilfe von passenden metallorganischen Ausgangssubstanzen durchgeführt, welche im Laufe des Projektes neu entwickelt wurden. Die Untersuchung der Schichteigenschaften beinhaltet eine umfassende Charakterisierung in Wechselwirkung mit der Optimierung der Abscheidungsprozesse. Wichtigste Anforderung an die Ausgangssubstanz ist dabei ein ausreichend hoher Dampfdruck zusammen mit einer hohen thermischen Stabilität, welche die Zersetzungsreaktion auf der Oberfläche des Substrates gewährleisten. Außerdem muß die Abscheidung von Kohlenstoff auf ein Minimum reduziert werden.

Für die Abscheidung der dünnen Titanoxidschichten wurde ein niederdruckstabiler horizontaler Kaltwandreaktor mit separatem Gasverteilungssystem verwendet. Innerhalb der Reaktorkammer können Siliciumsubstrate bis zu ei-

nem Durchmesser von 150 mm beschichtet werden. Während des Prozesses liegt die Siliziumscheibe vollständig auf einem SiC-beschichteten Graphitsuszeptor auf. Erhitzt wird dieser durch ein System von jeweils sechs oberhalb und unterhalb des Quarzkörpers angebrachten Halogenlampen.

Für die Abscheidung des Titanoxids wurden Temperaturen zwischen 290°C und 400°C und ein Gesamtdruck von 0,5 mbar gewählt. Nach der Dosierung in einer Massenflußregelungseinheit wird der flüssige Precursor durch ein Verdampfungssystem in die Gasphase gebracht. Stickstoff wird zugeleitet und dient als Trägergas um das Gasgemisch durch die geheizte Leitung in die Reaktorkammer einzubringen. Unter Zugabe von Sauerstoff findet dort die Zersetzung des Gases und die Bildung der Oxidschicht auf der Substratoberfläche statt. Nach der Abscheidung werden die Schichten bei einer Temperatur von 750°C für 30 Minuten in Sauerstoffatmosphäre getempert.

Im Laufe des Projektes FOROB II wurden von den Projektpartnern des Lehrstuhles für Anorganische Chemie in München drei geeignete Titanprecursoren entwickelt. Die Titanprecursoren werden synthetisiert, indem die an das Metallzentrum zu bindenden Liganden ausgehend von käuflichen Metallalkoxiden bei 150°C ohne Lösungsmittel zur Reaktion gebracht und anschließend destilliert werden. Die Precursoren besitzen eine höhere Feuchtigkeitsstabilität als handelsübliche Substanzen und können für kurze Zeit an Luft gebracht werden.

Die Aktivierungsenergie der neuen Precursoren lag in etwa in der gleichen Größenordnung wie die des üblichen Titanisopropoxid (siehe Fig.1). Die Titanoxidschichten besaßen eine Dicke zwischen 20 nm und 120 nm und unterschieden sich hinsichtlich der

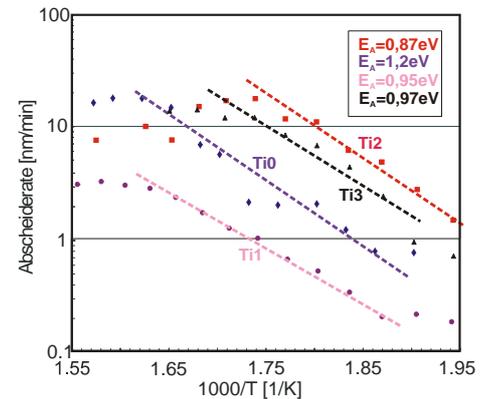


Fig. 1: Abscheideraten und Aktivierungsenergien der verschiedenen Titanprecursoren; Deposition rates and activation energy of different titanium precursors.

Schichthomogenität abhängig von den verwendeten Precursoren. Die Dielektrizitätskonstante, welche mittels Metall-Isolator-Halbleiterstrukturen (MIS) gemessen wurde, erreichte Werte zwischen 40 und 80, teilweise abhängig von der Schichtdicke. Messungen der Kristallstruktur zeigten eine Polykristallinität der Schichten.

Einer der neuartigen Precursoren zeigte einen deutlich geringeren Leckstrom und eine bessere Stabilität gegen Feuchtigkeit als handelsübliche Precursoren und ist somit ein vielversprechender Kandidat für Anwendungen in zukünftigen Speichergenerationen. In Zukunft werden diese Messungen mit Hilfe eines neuen modernen MOCVD-Reaktors (siehe Fig.2) auf das hoch- $\epsilon$  Dielektrikum Barium-Strontium-Titanat (BST) ausgedehnt.

Ansprechpartner

Trixi Leistner

Telefon: +49 (0) 9131 852-8660

Email: leistner@iis-b.fhg.de

# Metal-organic Chemical Vapor Deposition of High-k Dielectrics with Novel Precursors

The increase of integration density in the semiconductor industry rapidly precedes and leads to smaller and smaller lateral and vertical dimensions so that alternative materials are needed to grant further improvements. In case for gate-oxide high-k dielectrics like  $\text{TiO}_2$  with a considerably higher dielectric constant than silicon-dioxide have been found to be very promising for applications like MOSFETs.

As manufacturing method for the deposition of thin layers with a thickness less than 100 nm, low pressure chemical vapor deposition with metal-organic precursors (MOCVD) was chosen because of its apparent advantages like homogeneity of films also on 3-D surfaces and good coverage of edges.

Deposition processes for generating the high-k layer system  $\text{TiO}_2$  by MOCVD are performed using suitable metal-organic precursors, which have been newly developed over the course of the project. The investigation of the layer properties comprises an extensive characterization of the layers in interaction with optimization of the deposition process. The essential requirements of the precursor are a sufficiently high vapor pressure and a high thermal stability, which ensure the decomposition of the substance at the surface of the substrate. Additionally, the incorporation of carbon must be reduced to a minimum.

A low-pressure resistant horizontal cold wall-type furnace with a separate gas distribution system was used for the deposition of the titanium dioxide thin films. Inside the reactor chamber silicon substrates up to a diameter of 150 mm can be processed. The complete area of the silicon wafers is placed horizontally on a SiC-layered graphite susceptor. The heating is performed by a system of about 6 halogen lamps above and 6 below the quartz tube.

For the deposition of titanium oxide temperatures between 290°C and 400°C and a total pressure of 0,5 mbar were chosen. After passing the mass flow controlling unit, the liquid precursor material is brought into the gas phase by means of a vaporizer system.  $\text{N}_2$  is used as a carrier gas to transport the vapor through a heated pipe to the reactor chamber. The decomposition of the substance and formation of the layer on the substrate takes place under the presence of oxygen which is also added to the chamber. After the deposition, the substrates are annealed for 30 min at a temperature of 750°C in oxygen atmosphere.

Three novel titanium precursors have been developed over the course of the project FOROB II by our project partners from the Chair of Anorganic Chemistry at the Technical University of Munich. The synthesis of the precursors is accomplished by reaction of the commercially available titaniumisopropylate with an alcohol at about 150°C, with isopropanol being distilled off. For purification, the compounds are distilled in vacuum. Due to their higher stability towards water vapor they can be handled in air for several minutes.

The activation energy for deposition of all precursors lay within the range of customary titaniumisopropoxide (see fig. 1). The  $\text{TiO}_2$  layers with a thickness between 20 nm and 120 nm showed different homogeneity depending on the precursors. The dielectric constant measured by metal-insulator-semiconductor devices was between 40 and 80 according to the layer thickness. Measurements of the crystallographic structure showed the polycrystallinity of the layer.

One of the precursors showed a significantly lower leakage current and far



Fig. 2: Neue moderne MOCVD-Anlage im Verbundlabor;  
New modern MOCVD furnace in the joint laboratory.

better stability towards oxygen than the customary precursor and is, therefore, a promising candidate for application in future device generations. In the future, the measurements will be extended to the high-k dielectric material BST with the help of a newly constructed MOCVD reactor (see fig. 2).

## Contact

Trixi Leistner  
Phone: +49 (0) 9131 852-8660  
Email: [leistner@iis-b.fhg.de](mailto:leistner@iis-b.fhg.de)

## Schwerpunkte, Trends und Potentiale der Abteilung Kristallzüchtung

In der Kette der Herstellungsprozesse von (opto-) elektronischen Bauelementen ist die Kristallzüchtung, d.h. die Herstellung der "massiven" Kristalle, die dann in Wafer weiterverarbeitet werden, eine Schlüsseltechnologie. Dabei werden aus wirtschaftlichen Gründen immer größere Kristalldimensionen benötigt. Gleichzeitig steigen die Anforderungen an die Kristallqualität.

Der Forschungsschwerpunkt der Abteilung Kristallzüchtung liegt deshalb darin, gemeinsam mit den Industriepartnern Anlagen und Prozesse zur Herstellung von Kristallen für die Mikroelektronik und für die Mikrolithographie zu entwickeln und zu optimieren, um den steigenden Anforderungen bezüglich Kristallqualität und Kostenreduktion gerecht zu werden.

Im Bereich des industriellen Si-Czochralski-Verfahrens und des GaAs – LEC Verfahrens entwickelt die Abteilung Kristallzüchtung Meßtechniken, um in den Anlagen der Industriepartner den Einfluß diverser Prozeßparameter auf den Wärme- und Stofftransport zu untersuchen und dadurch zur Prozeßoptimierung beizutragen. Zur Herstellung von  $\text{CaF}_2$  – Kristallen für einen Einsatz als Linsenmaterial in der Mikrolithographie führt die Abteilung in einer von ihr entwickelten FuE – Anlage Kristallzüchtungsversuche durch, um für den Industriepartner grundlegende Zusammenhänge zwischen Prozeßparametern und Materialqualität zu erarbeiten.

Darüber hinaus verfügt die Abteilung Kristallzüchtung über benutzerfreundliche Simulationsprogramme, die die Berechnung des globalen Wärme- und Stofftransports in Hochtemperaturanlagen mit komplexer Geometrie erlau-

ben. Diese Programme werden in enger Kooperation mit den industriellen Nutzern in Hinblick auf neue oder verbesserte physikalische Modelle, auf Benutzerfreundlichkeit und auf effizientere numerische Algorithmen weiterentwickelt. Sie werden außerdem für und von den Industriepartnern eingesetzt, um Kristallzüchtungsanlagen und -prozesse für die unterschiedlichen Materialien (Si, GaAs, InP,  $\text{CaF}_2$ , Oxidkristalle) zu entwickeln.

In Kooperation mit dem Institut für Werkstoffwissenschaften, Lehrstuhl Werkstoffe der Elektrotechnik, wird darüber hinaus experimentell auf dem Gebiet der Züchtung von defektarmen GaAs und InP Kristallen nach dem Vertikalen Gradient Freeze (VGF) Verfahren sowie auf der Herstellung von CIS Dünnschichtszellzellen geforscht. Es stehen dabei zahlreiche Verfahren zur elektrischen und optischen Charakterisierung von Kristallen zur Verfügung.

Die Höhepunkte der Abteilung Kristallzüchtung im Jahr 2000 können wie folgt zusammengefaßt werden:

- Mit der VGF-Methode wurden 3" GaAs bzw 2" InP Einkristalle mit Versetzungsdichten  $< 30\text{cm}^{-2}$  bzw.  $< 2000\text{cm}^{-2}$  gezüchtet. Diese Werte stellen auf jeden Fall nationale Rekordwerte dar.
- Eine neue Anlage zur Züchtung von  $\text{CaF}_2$ -Kristallen, die komplett von der Abteilung entwickelt und gebaut wurde, wurde erfolgreich in Betrieb genommen und ein erster Einkristall hergestellt. Parallel dazu hat der Industriepartner die größte Fabrik zur Herstellung von  $\text{CaF}_2$ -Kristallen eröffnet. Die darin befindlichen Anlagen wurden mit Unterstützung der Abteilung in Form von Simulationsrechnungen der thermischen Aufbauten konstruiert.

- Die Kompetenz der Abteilung auf dem Gebiet der Computersimulation wird weiterhin dadurch unterstrichen, daß der Partner Freiburger Compound Materials (FCM) seine Position auf dem Weltmarkt als GaAs-Hersteller nicht zuletzt durch den erfolgreichen Einsatz der von der Abteilung Kristallzüchtung entwickelten Simulationsprogramme ausbauen konnte.
- Zahlreiche neue Projekte konnten im vergangenen Jahr akquiriert werden. In einem Vorhaben geht es beispielsweise um die globale Simulation des sogenannten TRI-SI Verfahrens zur Herstellung von Si für die Photovoltaik. Außerdem wurde ein Vorhaben begonnen, in dem die internationale Raumstation für materialwissenschaftliche Experimente genutzt werden soll.

Die Abteilung Kristallzüchtung pflegt Kooperationen mit der Industrie in Deutschland aber auch im Ausland. Die Partner waren im vergangenen Jahr Wacker Siltronic (D), Freiburger Compound Materials (D), Schott ML (D), MA/COM (USA), MEMC (I), Mitsubishi Electric, (JP), Super Silicon (JP), LG Siltron (KO), Sumitomo Electric (JP), Wafer Technology (UK), Siemens Solar (D).

## Ansprechpartner

Dr. Jochen Friedrich  
Telefon: +49 (0) 9131 761-344  
Email: jochen.friedrich@iis-b.fhg.de

Prof. Georg Müller  
Telefon: +49 (0) 9131 852-7636  
Email: georg.mueller@iis-b.fhg.de

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

In the chain of all manufacturing processes for (opto-) electronic devices crystal growth, i.e. production of bulk crystals, which are then processed to wafers, is one of key technologies.

Thereby, larger crystal dimensions are continuously required for economic reasons. At the same time, the requirements on the crystal quality are further increasing.

Therefore, the focal area of research of the department of Crystal Growth is to develop and optimize - in close collaboration with industry - equipment and processes for the production of crystals to be used in microelectronics and microlithography in order to meet the increasing requirements regarding crystal quality and cost reduction.

In the field of the industrial Si Czochralski process and of the LEC GaAs process, the department develops measuring techniques for analyzing the influence of different process parameters on the heat and mass transport and thus to contribute to the process optimization. For the production of CaF<sub>2</sub> crystals to be used as lens material in microlithography, the department performs crystal growth experiments in a furnace completely developed and constructed by the department in order to study basic relations between process conditions and crystal quality for the industrial partner.

Furthermore, the department is provided with user-friendly simulation programs, which are especially suitable for the global heat and mass transport calculation in high temperature equipment with complex geometry. These computer codes are continuously further developed in close cooperation to

the industrial users with regard to new or improved physical models, to an easier way of using the programs and to more efficient algorithms. The programs are used for and by the industrial partners to develop crystal growth equipment and processes for different materials (Si, GaAs, InP, CaF<sub>2</sub>, oxide crystals)

In cooperation with the institute of material science, chair for electrical engineering materials, the growth of low-defect GaAs and InP by the Vertical Gradient Freeze technique as well the production of thin film solar cells are studied. Thereby, numerous methods for electrical and optical characterization of the crystals are available.

The highlights of the department Crystal Growth in the year 2000 can be summarized as follows:

- 3" GaAs and 2" InP single crystals have been grown with the VGF technique having dislocation densities of  $< 30 \text{ cm}^{-2}$  resp.  $< 2000 \text{ cm}^{-2}$ . These values are at least national records.
- A new equipment for the growth of CaF<sub>2</sub> crystals completely developed by the department was installed and a first single crystal has been grown. In parallel, the industrial partner has opened the biggest fab for the production of CaF<sub>2</sub> crystals. The furnaces in the fab were constructed with the support of the department by performing simulations of the inner thermal set-up.
- The competence of the department in the field of computer simulation is emphasized due to the fact that the partner Freiburger Compound Materials (FCM) has expanded its position on the world market as GaAs supplier by using successfully the software of the department

crystal growth.

- Numerous new projects have been initiated last year. The topic of one project, for example, is the global simulation of the so-called TRI-SI process for the production of Si for photovoltaics. In another project the international space station will be used as platform to perform solidification experiments.

The department Crystal Growth maintains national but also international cooperations to industry. The industrial partners were Wacker Siltronic (D), Freiburger Compound Materials (D), Schott ML (D), MA/COM (USA), MEMC (I), Mitsubishi Electric (JP), Super Silicon (JP), LG Siltron (KO), Sumitomo Electric (JP), Wafer Technology (UK), Siemens Solar (D).

## Contact

Dr. Jochen Friedrich  
Phone: +49 (0) 9131 761-344  
Email: jochen.friedrich@iis-b.fhg.de

Prof. Georg Müller  
Phone: +49 (0) 9131 852-7636  
Email: georg.mueller@iis-b.fhg.de

# 300 mm Silicium Czochralski Kristall- züchtung

Die FuE - Aktivitäten in der Silicium - Czochralski - Kristallzüchtung sind geprägt vom übergeordneten Ziel, versetzungsfreie Einkristalle mit 300 mm-Durchmesser und größer herzustellen. Die Vergrößerung des Kristalldurchmessers wird begleitet von dem Bestreben, gleichzeitig immer größere Schmelzvolumina einzusetzen, um die Ausbeute zu steigern bzw. die Produktionskosten zu senken. Die damit verbundene Vergrößerung der Tiegel hat zur Folge, daß angetrieben von großen Temperaturgradienten in der Si - Schmelze dreidimensionale, zeitabhängige, turbulente Strömungen auftreten, die einen ungünstigen Einfluß auf den Wärme- und Sauerstofftransport und damit auf die Kristallqualität haben.

Zur Vorhersage solcher Schmelzströmungen in Tiegeln mit bis 1 m Durchmesser und 500 kg Schmelzeinwaagen wäre der Einsatz numerische Simulation denkbar. Eine realitätsnahe Computersimulation großer Schmelzvolumina ist aber zur Zeit nur eingeschränkt möglich, da die hierfür benötigte Rechenleistung selbst auf Großrechnern noch nicht zur Verfügung steht. Aus diesem Grund muß der Wärme- und Sauerstofftransport in solchen Schmelzen experimentell mit Hilfe geeigneter Sensorik untersucht werden. Hierbei steht insbesondere der Einfluß unterschiedlicher Prozeßparameter, wie Tiegel- und Kristallrotation, Gasdruck und Gasfluß, "Hot Zone Design" oder Magnetfeldanordnung auf die Transportprozesse und damit auf die Kristallqualität im Vordergrund.

Für eine in situ-Analyse der Temperaturverteilung in den Produktionsanlagen des Industriepartners Wacker Silicon AG hat die Abteilung Kristallzüchtung die dafür geeignete Meßtechnik entwickelt. Mithilfe von mobilen Thermoelementaufbauten, sowie mit optischen Temperatursensoren und

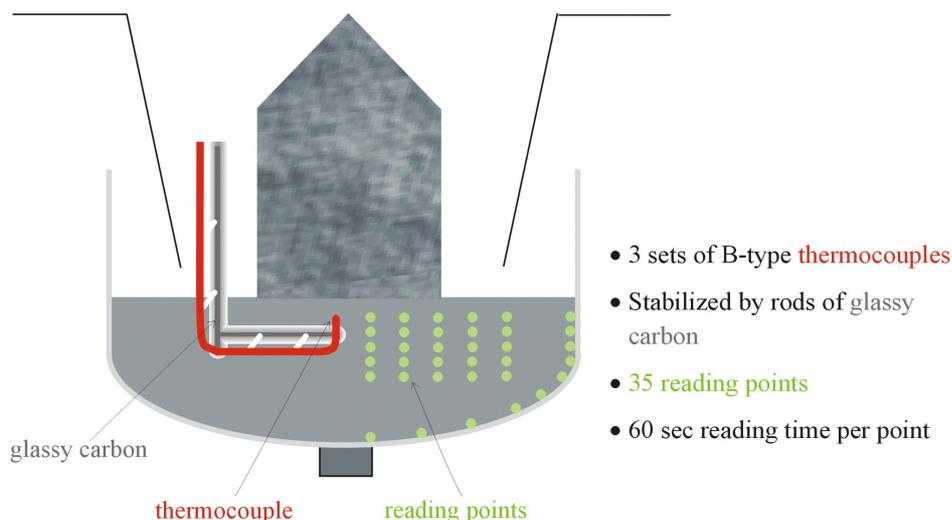


Fig. 1: Anordnung der Meßpunkte bei der Messung der Temperaturverteilung in Si - Schmelzen; Arrangement of measuring position for the determination of the temperature distribution in Si melts.

den dafür erforderlichen Meßdatenerfassungssystemen werden sowohl lokale Temperaturfluktuationen als auch globale Temperaturverteilungen in der Schmelze in den Produktionsanlagen bestimmt.

Die Experimente dienen dabei zur Auswahl von Prozeßparametern, welche sich eignen, den Wärme- und Stofftransport in der Schmelze signifikant zu verbessern. Weiterhin sollen diese Messungen aber auch experimentelle Daten für die Entwicklung und Verifikation der numerische Simulation bereitstellen.

Neben der Temperaturverteilung spielt der Sauerstofftransport bei der Züchtung der Si-Kristalle eine sehr große Rolle. Der Sauerstoff gelangt dabei durch die Auflösung des Quarzglasiegels in die Si-Schmelze. Dazu wurde von der Abteilung Kristallzüchtung eine in situ-Meßmethode, basierend auf Reflexionsmessungen, entwickelt, um die Auflösungsrate des Tiegels als Funktion der Temperatur und des Gasdrucks zu messen. Diese Meßergebnisse dienen insbesondere als Eingabeparameter für die numerische Simulation.

Um während einer Silicium-Czochralski-Züchtung die Sauerstoffkonzentration sowohl im Gasraum als auch in der Schmelze in situ bestimmen zu können, hat die Abteilung Kristallzüchtung einen speziellen Sensor einschließlich der dazu erforderlichen Auswerteeinheit entwickelt. Die Sauerstoffkonzentration im Gasraum ist mit der Konzentration in der Schmelze korreliert und könnte deshalb zu einer aktiven Regelung der Sauerstoffkonzentration im Kristall herangezogen werden. Derartige Sensoren werden zur Zeit erfolgreich eingesetzt, um den Einfluß der verschiedenen Prozeßparameter auf den Sauerstofftransport zu bestimmen.

## Ansprechpartner

Oliver Gräbner  
Telefon: +49 (0) 9131 761-333  
Email: oliver.graebner@iis-b.fhg.de

# 300 mm Silicon Czochralski Crystal Growth

In Silicon Czochralski crystal growth the R&D activities are motivated by the aim to grow dislocation-free crystals of 300 mm in diameter and larger. This increase of the crystal diameter results in an increase of the melt volumes in order to increase the yield and to decrease the costs. The increase of the needed crucible dimensions causes the melt flow driven by large temperature gradients to be three-dimensional, time-dependent and turbulent which in most cases has a detrimental effect on the heat and mass transfer and thereby on the crystal quality.

The prediction of melt-flows in crucibles with diameters of up to 1 m and melt charges of up to 500 kg by numerical simulation would be a solution since improved furnace parameters could then be found by numerical experiments. However, a realistic simulation of the flow in such large melts is only partly possible at the moment even by using high performance computing. For that reason, the heat and mass transfer in such melts still has to be investigated experimentally using

appropriate sensor equipment. Thereby, the influence of process parameters like crystal and crucible rotation, inert gas flow and pressure, hot zone design and magnetic field configurations on the transport processes is of special interest.

For in situ analysis of temperature distributions in the production facilities of its industrial partner Wacker Siltronic AG, the Department of Crystal Growth has developed appropriate measurement equipment. Temperature distributions within the whole silicon melt as well as local temperature fluctuations are measured during crystal growth using mobile thermocouple arrangements and fibre-optical temperature sensors.

The measured data are primarily used to select process parameters, which are suitable to improve significantly the heat and mass transport conditions. Furthermore, they are used to provide benchmark data for the development and verification of numerical models.

In addition to the temperature distribution, the transport of oxygen plays an important role in the Czochralski growth of silicon crystals. The oxygen enters the silicon melt due to the dissolution of the silica crucible. In order to measure the dissolution rate of the silica crucible as a function of temperature and gas pressure, an in situ measuring technique based on the measurement of reflection was developed. These experimental results serve as input data for numerical simulation.

For in situ measurement of the oxygen concentration in the melt as well as in the gas phase during crystal growth the Department of Crystal Growth has developed an oxygen sensor. The oxygen concentration in the gas is related to the concentration in the melt. Thus, this value could be used for an active

control of the oxygen concentration in the crystal. Currently, such sensors are applied successfully to determine the influence of the different process parameters on the oxygen transport.

## Contact

Oliver Gräbner  
Phone: +49 (0) 9131 761-333  
Email: [oliver.graebner@iis-b.fhg.de](mailto:oliver.graebner@iis-b.fhg.de)

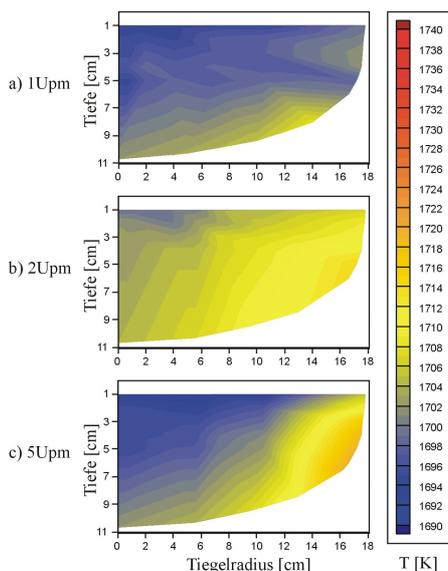


Fig. 2: Temperaturverteilungen in einer Si-Cz-Schmelze für Tiegelrotationen 1Upm, 2Upm und 5Upm;  
Temperature distributions in a Si - Cz-melt for crucible rotation rates 1rpm, 2rpm and 5 rpm.

# Züchtung von $\text{CaF}_2$ - Kristallen als Linsen- material für die DUV Lithographie

Photolithographie ist eine Schlüsseltechnologie für die Herstellung von Halbleiterbauelementen. Dabei ist die fortschreitende Miniaturisierung der Baugröße der Bauelemente verbunden mit einer Reduzierung der Belichtungswellenlänge im ultravioletten Bereich und damit mit der Verfügbarkeit von geeigneten Werkstoffen für die optischen Komponenten. Zur Zeit werden in den entsprechenden Abbildungssystemen bis zu einer Wellenlänge von 248 nm Komponenten aus Quarzglas eingesetzt. Die Arbeitsbereiche der nächsten Generationen von Waferteppern, liegen bei 193 nm und später bei 157 nm. In diesem Wellenlängenbereich kann Quarzglas aufgrund der hohen Absorptionsverluste nicht mehr ausschließlich eingesetzt werden.

Einkristallines  $\text{CaF}_2$  besitzt hervorragende Transmissionseigenschaften bis hinunter in das tiefe Ultraviolett. Es ist deshalb als Linsenmaterial in den nächsten Generationen der Lithographie vorgesehen. Die Anforderungen an das Material für diese optische Anwendung sind extrem hoch. Deshalb werden einkristalline  $\text{CaF}_2$ -Kristalle mit geringer Defektdichte und extrem gleichmäßigen optischen Eigenschaften benötigt. Neben Verunreinigungen haben vor allen Dingen eine Vielzahl von Kristalldefekten, wie z.B. Versetzungen, einen großen Einfluß auf die optische Qualität der Kristalle. Deshalb gilt es, während der Kristallzüchtung insbesondere thermische Spannungen zu vermeiden.

Die numerische Simulation spielt dabei eine große Rolle, um die für den Kristallzüchtungsprozeß erforderlichen Anlagen aufzubauen zu entwickeln als auch die Prozesse zu optimieren.

In diesem Zusammenhang setzt die Abteilung Kristallzüchtung ihre Erfahrung auf dem Gebiet der Computersimulation und ihr Know-how in der Entwick-

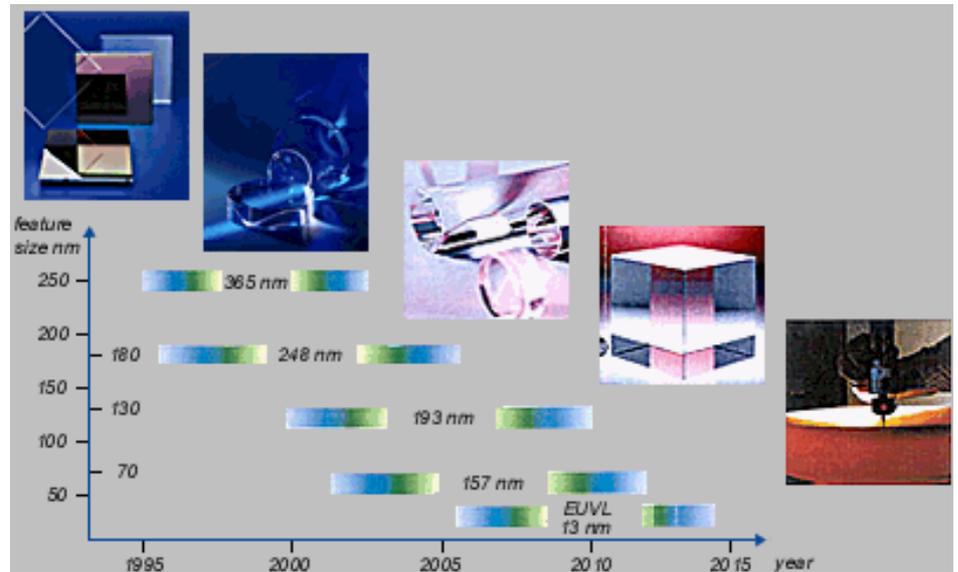


Fig. 1: Geplante Entwicklung der Strukturweite und der dazu eingesetzten Wellenlänge (Quelle: Schott ML);

Planned development of the feature size and the used exposure wave lengths (Source: Schott ML).

lung von Kristallzüchtungsprozessen ein, um die Anlagen- und Prozeßentwicklung beim Industriepartner Schott ML zu unterstützen.

Die Abteilung Kristallzüchtung hat zusammen mit dem Industriepartner den thermischen Aufbau der Produktionsanlagen optimiert. Darüber hinaus untersucht und bewertet die Abteilung durch den Einsatz der Computersimulation verschiedene Prozeßvarianten, um eine noch höhere Ausbeute und Materialqualität zu erzielen.

Neben umfangreichen Simulationsrechnungen hat die Abteilung Kristallzüchtung eine spezielle F&E-Anlage zur Züchtung von  $\text{CaF}_2$ -Kristallen entwickelt und am Institut aufgebaut. Diese Anlage ist mit einer Vielzahl von in situ-Meßsystemen ausgestattet, um während der Züchtung Temperaturverteilungen im System Kristall/Schmelze zu bestimmen als auch um Informationen über chemische Reaktionen während der Prozessierung zu gewinnen.

Bereits im ersten Züchtungsexperiment in dieser F&E-Anlage konnte ein Einkristall gezüchtet werden. Zusätzlich

wurden experimentelle Daten gewonnen, die als Benchmark-Daten für die numerische Simulation dienen und außerdem wichtig sind für den Prozeß beim Industriepartner. Basierend auf diesen Meßergebnissen konnte bestätigt werden, daß bei der numerischen Modellierung der interne Wärmetransport durch Strahlung im semitransparenten  $\text{CaF}_2$  in geeigneter Weise berücksichtigt werden muß.

Ansprechpartner

Dr. Jochen Friedrich

Telefon: +49 (0) 9131 761-344

Email: jochen.friedrich@iis-b.fhg.de

# Growth of CaF<sub>2</sub> Crystals as Lenses for DUV Lithography

Photolithography is a key technology for the manufacturing of semiconductor devices. The progressive reduction of the feature size of devices implies a reduction of the optical wavelength into the ultraviolet range and thus the need for appropriate materials for the optical components. Currently, projection systems which can be used at wavelengths down to 248 nm are provided with fused silica components. The next generation of wafer steppers will be operating at wavelengths of 193 nm and later 157 nm, where fused silica cannot be used any more because of its high absorption losses.

Single-crystalline CaF<sub>2</sub> has excellent transmission properties down to deep UV and is, therefore, selected as the main optical material for the next generation of lithography. The material requirements for this optical application are extremely high. Thus, single crystals of CaF<sub>2</sub> with a low defect density and extremely high uniformity are needed. Apart from impurities, all types of crystal defects, i.e. dislocations, play a major role concerning the optical quality of the crystals. Therefore, it is important to avoid particularly thermal stress during crystal growth.

Thereby, numerical simulation plays an important role for the crystal growth process in order to develop the adequate growth set-up and to optimize the processing conditions.

In this context, the department of crystal growth uses its experience in the field of numerical simulation of heat transport processes and its know-how in the development of crystal growth processes to support the equipment and process development of its industrial partner Schott ML.

The department of crystal growth together with its industrial partner has

optimized the thermal set-up of the production facilities. In addition, the department analyzes and evaluates by computer simulation different process strategies for its industrial partner in order to achieve higher yield and material quality.

Beside numerous numerical simulations, the department of crystal growth has also developed and built an especially designed R&D-furnace for the growth of CaF<sub>2</sub> crystals, which is equipped with a variety of *in situ* measurement systems to obtain information about temperature distributions in the crystal/melt system as well as data about chemical reaction occurring during processing.

Already in the first crystal growth run, a single crystal has been grown in this R&D facility. In addition, experimental data have been obtained which serve as benchmark data for the numerical simulation and are also valuable for the process used by the industrial partner. Based on these data, it is confirmed that the proper consideration of the internal heat transfer by radiation during crystal growth in the semitransparent CaF<sub>2</sub> is of significant importance for numerical modeling.

## Contact

Dr. Jochen Friedrich  
Phone: +49 (0) 9131 761-344  
Email: jochen.friedrich@iis-b.fhg.de

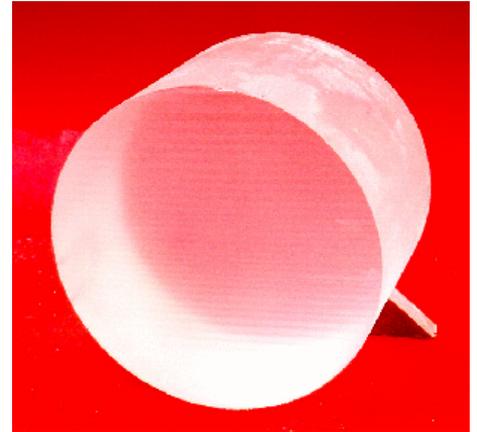


Fig. 2: Erster CaF<sub>2</sub> Kristall, gezüchtet in einer vom IIS-B entwickelten F&E-Ofenanlage; First CaF<sub>2</sub> crystal grown in the new R&D furnace developed by the IIS-B.

# Modellierung von Kristallzuchtungsprozessen

Die Arbeitsgruppe "Modellierung von Kristallzuchtungs- und Erstarrungsprozessen" hat die Entwicklung und den Einsatz von Simulationsprogrammen für die Berechnung des Wärme- und Stofftransports in Hochtemperaturanlagen und -prozessen zur Aufgabe. Diese Aufgabe umfaßt die Umsetzung neuer numerischer Verfahren in die bestehenden Softwareprogramme, die Bereitstellung von benutzerfreundlichen Programmoberflächen als Voraussetzung für eine Lizenzvergabe, die Implementierung neuer physikalischer Modelle sowie deren Verifikation durch Vergleich mit experimentellen Ergebnissen und schließlich die Schulung und Betreuung der Lizenznehmer.

Die Abteilung Kristallzuchtung hat dabei in enger Kooperation mit dem Institut für Werkstoffwissenschaften VI der Universität Erlangen-Nürnberg bisher zwei Programmpakete zur Simulation zweidimensionaler und achsensymmetrischer Geometrien entwickelt: STHAMAS und CrysVUN. Diese Programme basieren auf der Finite-Volumen-Methode und lösen numerisch die Wärme- und Stofftransportgleichungen in komplexen Geometrien unter Berücksichtigung von Wärmeleitung, laminare/turbulente Konvektion und Strahlung. Beide Programme ermöglichen die Berechnung von diffusivem und konvektivem Stofftransport von, z.B. Sauerstoff in Silicium- oder von Dotierstoffen in Halbleiter- und metallurgischen Schmelzen. Zudem sind die Programme unter anderem in der Lage, thermische Spannungen sowie verschiedene Arten von stationären und zeitabhängigen Magnetfeldern zu behandeln. Während CrysVUN unstrukturierte Dreiecksgitter verwendet, nutzt STHAMAS blockstrukturierte Gitter. Beide verfügen über eine graphische Benutzeroberfläche, die eine einfache Bedienung der Programme gewährleistet. CrysVUN und STHAMAS werden

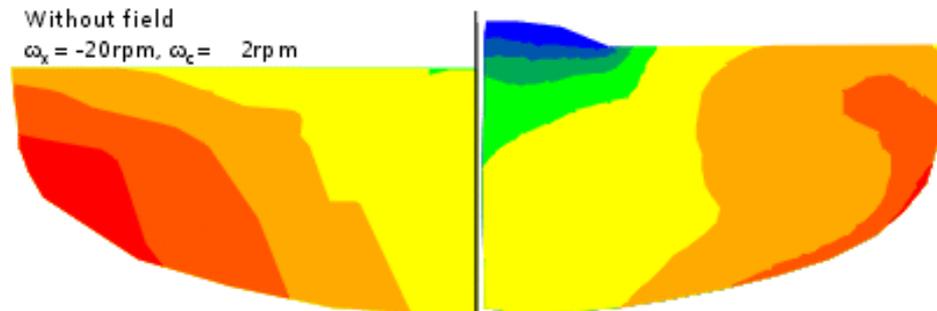


Fig. 1: Gemessene (links) und mit STHAMAS3D berechnete (rechts) Temperaturverteilung in einer Si – Czochralski-Schmelze mit 14" -Durchmesser; Measured (left) and with STHAMAS3D calculated (right) temperature distribution in a vertical cross section in a Si Czochralski melt with 14" diameter.

innerhalb der Abteilung für Auftragsrechnungen sowie zur Unterstützung der eigenen experimentellen Arbeitsgruppen, aber auch über Lizenzvergabe von externen Nutzern verwendet. Zur Zeit gehören insgesamt etwa 18 Firmen und Institute zu den Software-Kunden der Abteilung Kristallzuchtung.

Der Vorteil von CrysVUN und STHAMAS gegenüber anderen kommerziellen Programmen liegt darin, daß sie speziell für die Kristallzuchtung entwickelt und experimentell verifiziert wurden. CrysVUN ist zudem für die Lösung von sogenannten inversen Problemen ausgelegt. Dies ermöglicht zum Beispiel die Bestimmung von optimalen Heizleistungen für eine gewünschte zeitliche und räumliche Temperaturverteilung. Darüber hinaus werden die Programme um die Möglichkeit des "Defekt-Engineering" ergänzt. Dies beinhaltet beispielsweise die Berechnung der bei der Siliciumzuchtung auftretenden Punktdefekte im Kristall wie Leerstellen und Zwischengitteratome.

Außerdem entwickelt und nutzt die Abteilung Kristallzuchtung das auf blockstrukturierten Gittern beruhende Finite-Volumen-Programm STHAMAS3D zur Simulation komplexer Strömungsvorgänge in Halbleiterschmelzen bei der Kristallzuchtung nach dem Czochralski-Verfahren. Zur numerischen Erfassung der dadurch entste-

henden Strömungsstrukturen ist eine hohe räumliche und zeitliche Auflösung erforderlich. Daher wird STHAMAS3D hauptsächlich auf Hochleistungsrechnern betrieben. Zur Erweiterung der Berechnungen auf das System Kristall-Schmelze wird momentan ein Modell zur Behandlung der Phasengrenze Kristall-Schmelze implementiert.

## Ansprechpartner

Bernd Fischer  
Telefon: +49 (0) 9131 761-331  
Email: bernd.fischer@iis-b.fhg.de

# Modeling of Crystal Growth Processes

The tasks of the working group "Modeling of crystal growth and solidification processes" are the development and the use of simulation programs for the calculation of heat and mass transport in high-temperature furnaces and related processes. This includes the use of modern numerical methods in our software packages, the preparation of user-friendly graphical interfaces as a premise for granting licenses, the implementation of new physical models as well as their verification by comparison with experimental results, and, finally, the training and support of the licensees.

In this context, the department Crystal Growth, in close cooperation with the Institute of Materials Science VI of the University of Erlangen-Nuremberg, so far has developed two program packages for the simulation of two-dimensional and axisymmetric geometries: STHAMAS and CrysVUN. These programs are based on the finite-volume method and numerically solve the heat and mass transport equations in complex geometries, taking into account heat conduction, laminar/turbulent convection and radiation. Both programs allow the calculation of diffusive and convective species transport of e.g. oxygen in silicon melts or of dopants in semiconductor and metallurgical melts. In addition, the programs are, among other things, able to treat thermal stress and different kinds of time-dependent and stationary magnetic fields. While CrysVUN uses unstructured grids, STHAMAS works with block-structured grids. Both dispose of a graphical user interface, which ensures an easy use of the programs. CrysVUN and STHAMAS are used by our department for ordered simulations and for the support of our own experimental work groups, but also by external users via licenses. Today, 18 companies and institutes

belong to the software customers of the department Crystal Growth.

Compared to other commercial software, the advantage of CrysVUN and STHAMAS is in the fact that they have been developed especially for crystal growth, and that they have been verified experimentally. In addition, CrysVUN is designed for the solution of inverse problems. This allows e.g. the determination of optimal heater powers for a desired temporal and spatial temperature distribution. Moreover, the possibility of defect engineering is currently added to the programs. For example, this includes the calculation of point defects like vacancies and interstitials being generated during the growth of silicon by the Czochralski method. Both CrysVUN and STHAMAS offer the possibility to calculate radiative heat transport in semi-transparent media. In crystal growth equipments, these are the crystals or the boron oxide used for covering the melt.

In addition, the department Crystal Growth develops and uses the finite-volume code STHAMAS3D, which is based on block-structured grids, for the simulation of three-dimensional geometries. An example for this is the simulation of complex flow phenomena in semiconductor melts during crystal growth by the Czochralski method. Thereby, the melt is subjected to different influences like crystal and crucible rotation, magnetic fields, and especially strong buoyant forces. For the numerical treatment of the resulting flow structures, a very high spatial and temporal resolution is necessary. Therefore, STHAMAS3D is mainly used with high-performance computers. For the extension of the calculations to the crystal-melt system, a model for the treatment of the phase-boundary crystal melt is currently implemented.

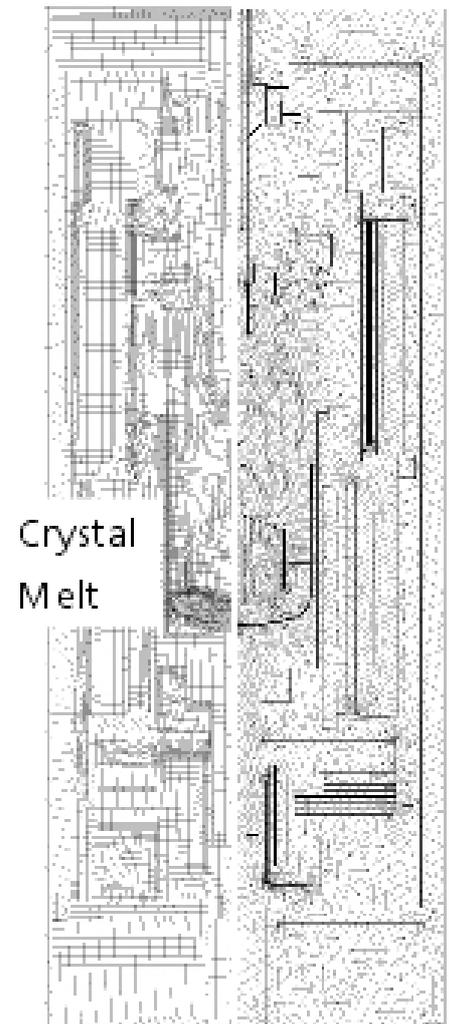


Fig. 2: Komplizierte Geometrie einer Kristallzuchtungsanlage mit strukturiertem Gitter von STHAMAS (links) und unstrukturiertem Gitter von CrysVUN (rechts); Complex geometry of a crystal growth facility with structured grid of STHAMAS (left) and unstructured grid of CrysVUN (right).

## Contact

Bernd Fischer  
Phone: +49 (0) 9131 761-331  
Email: bernd.fischer@iis-b.fhg.de

# Unterstützung von Mikrogravitationsexperimenten durch den Einsatz der numerischen Simulation

Die Abteilung Kristallzüchtung ist Projektleiter eines europäischen Verbundvorhabens, in dem die Internationale Raumstation Alpha (ISS) als Plattform für wissenschaftliche Experimente genutzt werden soll. An dem Projekt "Microstructure Formation in Casting of Technical Alloys under Diffusive and Magnetically Controlled Convective Conditions" (MICAST) sind insgesamt 6 europäische Hochschul- bzw. Forschungsinstitute sowie 8 Industriefirmen beteiligt. Trotz des ungewöhnlichen Forschungsplatzes geht es in MICAST auch um industrielle Fragestellungen, was bereits an der großen Zahl beteiligter Industriefirmen erkennbar ist. Betrachtet werden Al-Si-Legierungen, wie AlSiMg oder AlSiFe, die heute als Basislegierungen für die Aluminiumindustrie im Bereich des Strang-, Form- und Feingießens Verwendung finden.

Das nicht alltägliche Gebiet der Weltraumforschung hat in der Abteilung bereits eine lange Tradition. So wurden durch den Leiter der Abteilung, Prof. Müller, in den 80er und 90er Jahren in den deutschen Spacelab Missionen D1 und D2 sowie in mehreren Raketenflügen materialwissenschaftliche Fragestellungen untersucht.

In MICAST geht es nun darum, experimentell und numerisch die Gefügestruktur während des Gießens von technischen Al-Legierungen unter diffusiven und kontrolliert konvektiven Transportbedingungen zu untersuchen. Dabei werden die konvektiven Transportvorgänge in der Schmelze mit Hilfe von Magnetfeldern definiert eingestellt. Mikrogravitationsexperimente spielen dabei eine Schlüsselrolle, weil dort definierte Transportbedingungen ausgehend von rein diffusivem bis hin zu kontrolliert konvektivem Transport unter schrittweiser Hinzunahme zeitabhängiger Magnetfelder eingestellt werden können.

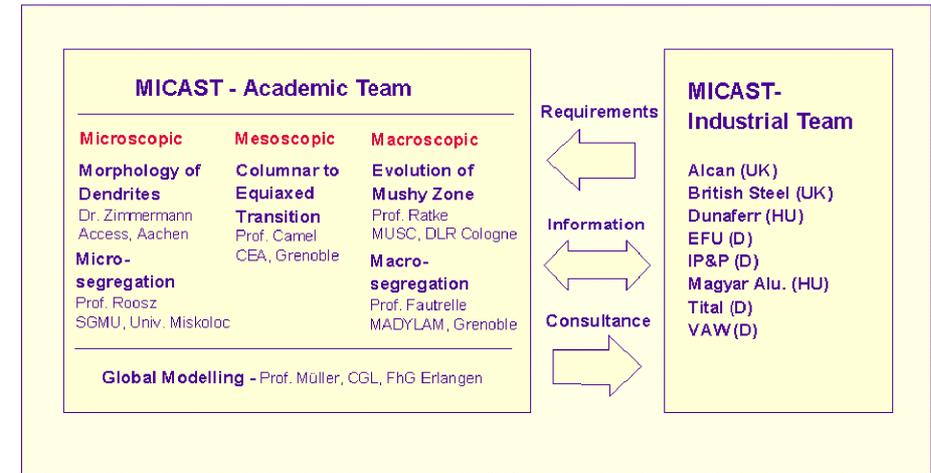


Fig. 1: Struktur des MICAST Projektes; Structure of the MICAST project.

Eine wesentliche Aufgabe der Abteilung Kristallzüchtung ist die Unterstützung der durchgeführten Experimente durch die numerische Simulation. Als Beispiel seien an dieser Stelle Arbeiten für die Ofenanlage ARTEMIS, entwickelt von der DLR, genannt. Ein wesentliches Konstruktionselement dieser Anlage ist die Verwendung eines Aerogels als Tiegelmateriale. Diese außergewöhnlichen Materialien sind charakterisiert durch eine extrem niedrige Wärmeleitfähigkeit, die um ca. 3 Größenordnungen unterhalb der von normalem Quarzglas liegt. Durch die Transparenz der Aerogele kann die Erstarrungsfront durch die Verwendung einer CCD-Kamera optisch bestimmt werden, wodurch der Erstarrungsvorgang durch die Messung ungestört bleibt. Simulationen haben gezeigt, daß eine semitransparente Behandlung des Aerogels nötig ist, um das thermische Verhalten richtig reproduzieren zu können.

Im Rahmen dieses Vorhabens wird die Abteilung das numerische Modell weiterentwickeln und an die speziellen experimentellen Anforderungen anpassen. Dabei gilt es geeignete Modelle zur Beschreibung der Strömung innerhalb des Zweiphasengebietes zwischen der festen und der flüssigen Phase zu

implementieren. Dieses numerische Modell soll anhand von Experimenten verifiziert werden, die im Rahmen von MICAST unter der Mitarbeit der beteiligten Institutionen durchgeführt werden.

## Ansprechpartner

Marc Hainke  
Telefon: +49 (0) 9131 761-229  
Email: marc.hainke@iis-b.fhg.de

# Support of Microgravity Experiments by Using Numerical Simulation

The department of crystal growth is principal investigator of an European joint project, in which the International Space Station Alpha (ISS) will be used for solidification experiments. The project is entitled "Microstructure Formation in Casting of Technical Alloys under Diffusive and Magnetically Controlled Convective Conditions" (MICAST). Six European research institutes and 8 companies participate in MICAST. In spite of the unusual research platform, the objective of MICAST is also to contribute to solve industrial problems. The industrial relevance of the project is obvious from the large number of industrial participants. MICAST deals with Al-Si alloys, like AlSiMg or AlSiFe which are the basis material of the aluminum industry, i.e. in billet or slab casting and in shaped casting like investment or sand casting.

The exceptional field of microgravity research has a long tradition in the department. In the 80ies and 90ies, problems related to solidification of materials have been investigated by the head of the department, Prof. Müller, in the German Spacelab Missions D1 and D2 as well as during several sounding rocket flights.

The aim of MICAST is to study experimentally as well numerically microstructure formation during casting of technical aluminum alloys under diffusive and magnetically controlled convective conditions. Diffusive heat and mass transport conditions and a precisely controlled flow will be achieved by applying time-dependent magnetic fields in a microgravity environment.

An important task for the department is the support of the experiments by means of numerical simulation. The furnace ARTEMIS, developed by the DLR, may serve as an example. An important constructive element of this

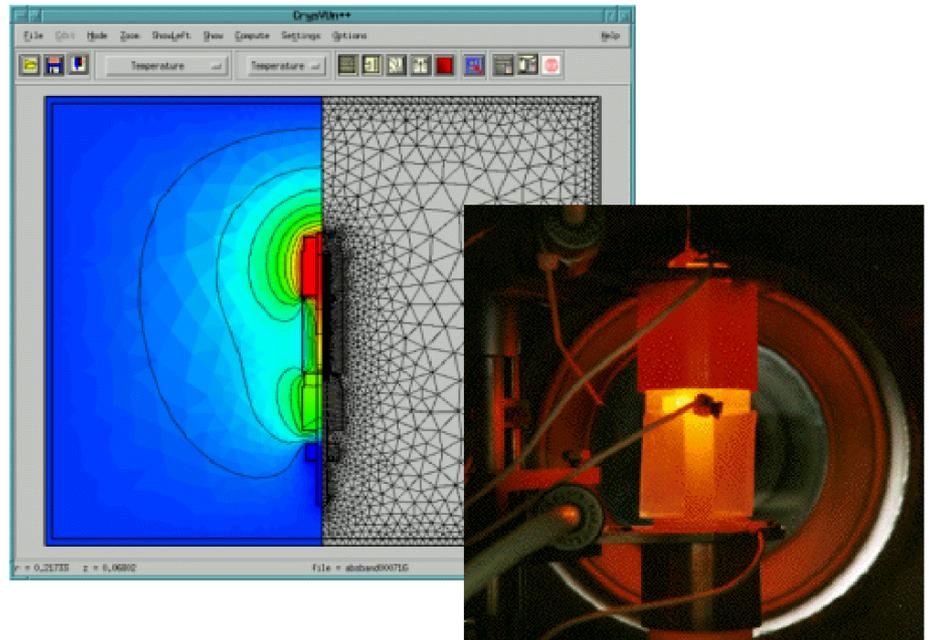


Fig. 2: Photo der Ofenanlage ARTEMIS sowie das dazugehörige numerische Modell in CrysVUN; Photo of the furnace ARTEMIS and the corresponding numerical model in CrysVUN.

furnace is the use of an aerogel as material for the crucible. This extraordinary material is characterized by an extremely low thermal conductivity which is approximately 3 orders of magnitude lower than silica. Because of the transparency of the aerogel, the solidification process can be monitored optically by using a CCD camera without disturbing the process itself. The numerical results have shown that it is necessary to treat this material as semitransparent in order to reproduce correctly the thermal behavior of the furnace.

Within the framework of this project, the department will further develop the numerical model and adapt it to the special experimental conditions. One task will be to implement a proper model for the description of convection in the two-phase region between solid and liquid phase. The model should be verified by model experiments carried out by the participating MICAST partners.

## Contact

Marc Hainke

Phone: +49 (0) 9131 761-229

Email: marc.hainke@iis-b.fhg.de

# Globale Simulation des Tri-Si-Verfahrens zur Herstellung von Silicium für photovoltaische Anwendungen

Der derzeitige Photovoltaikmarkt wird zu über 90% von Solarzellen aus ein- und multikristallinem Silicium bedient. Bis auf die noch zu hohen Herstellungskosten erfüllt Silicium alle anderen Anforderungen an Solarzellen, wie z. B. hoher Wirkungsgrad, Langzeitstabilität, Großflächigkeit, Vorrätigkeit und Umweltverträglichkeit. Im Labor wurden bereits einkristalline Si-Solarzellen ( $4\text{ cm}^2$ ) mit Wirkungsgraden von 24 % hergestellt. Der theoretisch maximal erreichbare Wirkungsgrad liegt bei 28 % bis 29 %. In der industriellen Fertigung werden bei einkristallinen Si-Solarzellen ( $100\text{ cm}^2$ ) zwischen 14 % und 16 % erreicht.

Der Herstellungsprozeß von monokristallinem Silicium ist jedoch relativ aufwendig und damit teuer. Heutzutage entfallen über 55 % der Produktionskosten für ein Solarmodul auf die Herstellung der Si-Wafer, während die Zellenprozessierung nur etwa 12 % und die Modulherstellung weitere 35 % erfordern. Es ist somit offensichtlich, daß im Bereich der Waferherstellung das größte Kostenreduktionspotential liegt. Insbesondere eine schnellere Kristallziehgeschwindigkeit sowie verlustarmes Sägen sehr viel dünnerer Scheiben (Wafers) aus den Si-Kristallstäben bieten hier mögliche Ansatzpunkte.

Diese beiden Ziele lassen sich gleichzeitig, mit guten Erfolgsaussichten, beim Einsatz des sogenannten trikristallinen Siliciums (Tri-Si) verfolgen, welches sich als aussichtsreiche Alternative in Bezug auf dünne Si-Solarzellen erwiesen hat und bei SIEMENS SOLAR bereits seit einigen Jahren untersucht wird.

Beim Tri-Si-Czochralski-Verfahren werden zylinderförmige, trikristalline Si-Stäbe gezogen, die aus drei etwa gleich großen, parallel angeordneten Si-Einkristallsäulen mit tortenstückähnlichem

Querschnitt bestehen. Diese Tri-Si Struktur bietet einerseits Vorteile bei der Kristallzucht (Strukturstabilität bei mehrfachem Rechargieren und hohen Ziehgeschwindigkeiten), und andererseits auch eine deutlich erhöhte mechanische Stabilität beim Sägen und Verarbeiten. Daher lassen sich Tri-Si-Stäbe bei gleicher Ausbeute deutlich dünner sägen.

Der erfolgreiche industrielle Einsatz des Tri-Si Verfahrens wird entscheidend davon abhängen, ob es gelingt, die generell höheren Kosten des Czochralski-Verfahrens durch höhere Produktivität und Materialausbeute in der Kristallzucht zu reduzieren. Dazu müssen die Wachstumsbedingungen für das schnelle Ziehen von Trikristallen unter Beibehaltung oder Verbesserung der mechanischen und elektrischen Qualität optimiert werden.

In diesem Vorhaben wurden in einem ersten Schritt numerische Simulationsrechnungen zu der bestehenden Ofenanlage bei SIEMENS SOLAR durchgeführt und Vorschläge für eine gezielte Geometrieänderung erarbeitet. Weitere Simulationen der thermischen Verhältnisse sowie deren Einfluß auf die Defektbildung in den Kristallen werden die Prozeßentwicklung bei SIEMENS SOLAR unterstützen. Die Rechnungen werden von SIEMENS SOLAR durch entsprechende Experimente begleitet, um die Validität des numerischen Modells sicherzustellen. Ziel ist es, Prozeßfenster zu erarbeiten, in denen eine erhöhte Materialqualität und Produktivität bei der Herstellung von Si-Kristallen nach dem Tri-Si - Verfahren möglich sind. Dabei steht insbesondere die Frage im Vordergrund, durch welche Prozeßparameter die Ziehrate unter Beibehaltung und/oder Verbesserung der mechanischen und elektrischen Eigenschaften erhöht werden kann. Das Vorhaben wird durch das BMBF und SIEMENS SOLAR gefördert und ist auf drei

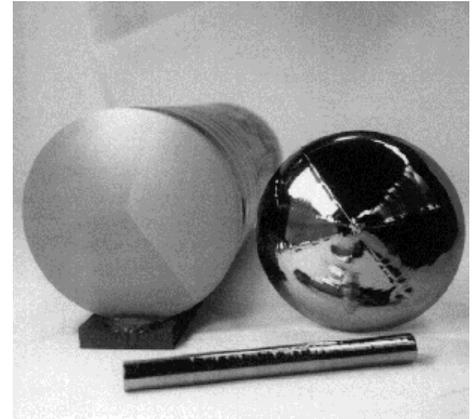


Fig. 1: Tri-Si Kristall für Solarzellen, gezüchtet von Siemens Solar;  
Tri-Si crystal grown by Siemens Solar for solar cells.

Jahre ausgelegt.

Ansprechpartner

Michael Krause

Telefon: +49 (0) 9131 761-252

Email: michael.krause@iis-b.fhg.de

The market of photovoltaics currently consists to 90 % of solar cells made from single- and polycrystalline silicon. Silicon meets a lot of requirements like efficiency, long-term stability, availability in large areas, availability at all, and environmental compatibility except the still too high production costs. In laboratories single-crystalline Si solar cells (4 cm<sup>2</sup>) with an efficiency of 24 % have been manufactured. The theoretical maximum efficiency is 28 % to 29 %. In industrial production, an efficiency of 14 % to 16 % is reached using single-crystalline Si solar cells (100 cm<sup>2</sup>).

However, the production of single-crystalline Si is relative expensive and thus expensive. Today, over 55 % of the production costs of a solar cell module are caused by the production of the Si wafer, on the other hand only 12 % are caused by the processing of the cells and 35 % by the module fabrication. Thus, it is obvious, that the field of wafer production offers the largest potential for cost reduction. Especially a faster crystal growth velocity as well as a sawing with little loss of thinner wafers from the bulk crystals are good starting points.

Bright prospects exist for achieving these two goals by using the so-called tri-crystalline Si (Tri-Si), which is the most successful alternative to thin-film Si solar cells and which is studied by Siemens Solar for a few years.

In the Tri-Si Czochralski process cylinder-shaped tri-crystalline Si rods are grown, which consist of three single-crystalline rods with almost equal size and having pie-shaped cross sections. Therefore, the Tri-Si structure has advantages during crystal growth (stability of the structure for multiple charging and high growth velocities) as well as during sawing and wafering. Thus, Tri-Si rods can be sawed much

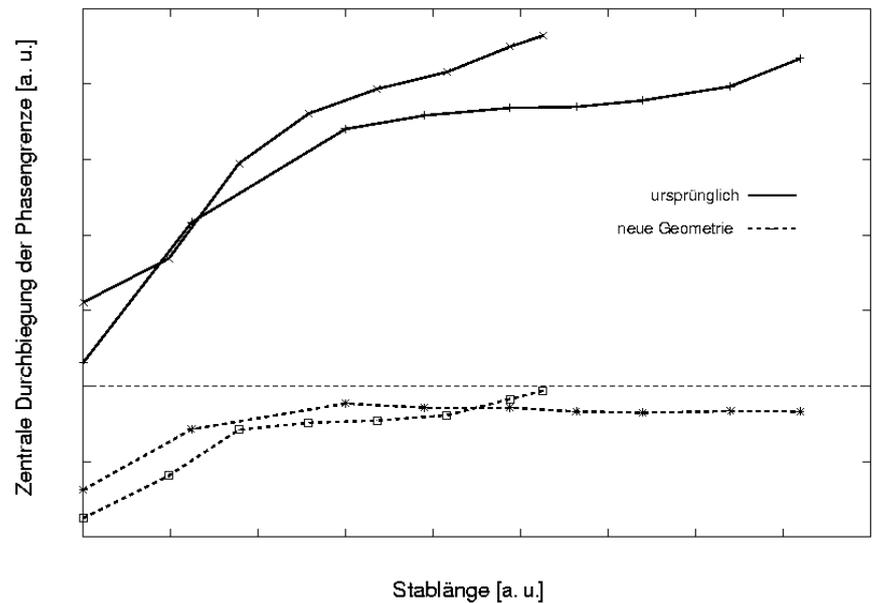


Fig. 2: Berechnete Durchbiegung der s/l Phasengrenze für zwei unterschiedliche Anlagengeometrien als Funktion der Stablänge;  
Calculated shape of s/l interface versus crystal lengths for two different geometries of the puller.

thinner at the same yield as single-crystalline wafers.

The successful industrial use of the Tri-Si process depends strongly on the fact whether it is possible to reduce the usually higher costs of the Czochralski process by more efficient productivity and yield. Therefore, the growth conditions have to be optimized to achieve a faster growth of the Tri-Si crystals and while maintaining or improving the mechanical and electrical properties.

In this project, numerical simulations of the furnace available at Siemens Solar have been performed and suggestions have been made for an aimed change of the geometry. Further simulations of the thermal conditions as well as their influence on the defect formation in the crystals should contribute to a further optimization of the process. These simulations will be accompanied by model experiments at Siemens Solar in order to validate the numerical model. The final goal is to elaborate process windows which allow a higher material

quality and higher productivity during the production of Tri-Si crystals. Thereby, the focus is on the question which process parameters result in higher pulling rates retaining or improving the mechanical and electrical properties. The project is financed by the BMBF and Siemens Solar and will last 3 years.

## Contact

Michael Krause  
Phone: +49 (0) 9131 761-252  
Email: michael.krause@iis-b.fhg.de

# Leistungselektronische Systeme

Schwerpunkte, Trends und Potentiale der Abteilung Leistungselektronische Systeme

Im April 2000 nahm die Abteilung "Leistungselektronische Systeme" ihre Arbeit auf. Das Tätigkeitsfeld der neuen Abteilung umfaßt die Schaltungs- und Systementwicklung für alle Felder der Leistungselektronik, mit Schwerpunkten auf der Industrie- und Automobilelektronik. Mit dieser anwendungsnahen Ausrichtung ergänzt die neue Abteilung in idealer Weise die am Institut bereits bestehenden Aktivitäten im Bereich der Technologie- und Prozeßentwicklung für Leistungshalbleiterbauelemente.

Auch im industriellen Umfeld ist der Arbeitsschwerpunkt Leistungselektronik hervorragend positioniert, so findet sich in der Region Nordbayern die deutschlandweit dichteste Ballung von Firmen aus den Branchen Energieerzeugung und -verteilung, Antriebs- und Automatisierungstechnik sowie der Verkehrstechnik, mit mehr als 300 Firmen und über 30.000 Mitarbeitern. Als industrienahe Forschungs- und Entwicklungseinrichtung sehen wir unsere wichtigste Aufgabe darin, insbesondere den kleinen und mittelständischen Unternehmen in der anwendungsorientierten Vorlauforschung sowie bei der Entwicklung von Prototypen und Kleinserien ein leistungsfähiger Partner zu sein.

Leistungselektronik umfaßt alle Systeme, deren primäre Funktion in der Steuerung oder der Umwandlung elektrischer Leistung besteht. In Form von Schaltern, Treibern, Endstufen, Netzteilen oder Umrichtern findet sich Leistungselektronik in praktisch jedem elektronischen Gerät. Entsprechend breit ist auch der Leistungsbereich, von wenigen Watt bei intelligenten Lampenschaltern im Auto, Handy-Ladegeräten usw. bis weit in den Megawatt-

Bereich in der Energieverteilung und der Antriebstechnik.

Aufgrund ihrer originären Funktion "Steuerung und Umwandlung elektrischer Leistung" ist die Leistungselektronik maßgeblicher Hebel zum Beispiel beim Zukunftsthema Energieeinsparung. Viele Lösungen, wie bedarfsgerecht regelbare Kleinantriebe, Elektro- und Hybridfahrzeuge oder effizientes Batteriemangement werden durch den Einsatz moderner innovativer Leistungselektronik überhaupt erst möglich. Aber auch im Bereich dezentraler Energieerzeugung mit Brennstoffzellen, Windkraft oder Photovoltaik spielt die Leistungselektronik eine zentrale Rolle. Marktfähige Produkte sind dabei zunehmend Systeme, die ein intelligentes Zusammenspiel zwischen Leistungselektronik, Signalverarbeitung, Sensorik, Aktorik und Mechanik beinhalten – und dies weit über den Rahmen einer monolithischen Integration hinaus.

Diesen Anforderungen entsprechend ist die Abteilung in zwei Arbeitsgruppen gegliedert:

Die Gruppe Mechatronik befaßt sich mit den Fragen der mechatronischen Systemintegration wie Aufbautechnik, Hochtemperaturelektronik oder thermische Systemanalyse. Diese Themen gewinnen gerade im Zusammenhang mit der zunehmenden Miniaturisierung leistungselektronischer Systeme und der damit steigenden Verlustleistungsdichte sowie beim Zusammenwachsen von Elektronik mit der i.a. für wesentlich rauhere Umgebungsverhältnisse ausgelegten Mechanik (Mechatronik) entscheidend an Bedeutung. Für thermische Untersuchungen stehen ein modernes IR-Thermographiesystem, ein Zth-Meßplatz, Klima- und Temperaturschock-Schränke sowie diverse Simulationswerkzeuge zur Verfügung. Aktueller Forschungsschwerpunkt der Gruppe sind kostenoptimierte drehzahlveränderliche Kleinantriebe.

Die Gruppe Leistungselektronik befaßt sich mit Systemen zur effizienten Umwandlung elektrischer Leistung wie Schaltnetzteile, DC/DC-Wandler usw. Aktuelle Themen hier sind kostengünstige Lösungen zur Leistungsfaktor-korrektur (PFC), spezielle Ansteuer-schaltungen für Leistungstransistoren sowie die Untersuchung neuer Anwendungsfelder für innovative Komponenten, wie beispielsweise SiC-Bauelemente.

Die Anschubfinanzierung erfolgt im Rahmen des "Bayerischen Kompetenznetzwerks für Mechatronik - BKM", einer Maßnahme der High-Tech-Offensive Zukunft Bayern. Das Institut ist eines der sechs Gründungsmitglieder des BKM, und mit sechs Projekten sowie einem Gemeinschaftsprojekt am Netzwerk beteiligt. Bearbeitet werden die BKM-Projekte in enger Zusammenarbeit zwischen den Abteilungen Technologie und Leistungselektronische Systeme. Wir planen für die kommenden drei Jahre einen Personalaufbau auf etwa 15 Mitarbeiter. Angesichts der für uns überaus schwierigen Arbeitsmarktlage bei Elektroingenieuren wird dieser Aufbau sicherlich eine unserer größten Herausforderungen darstellen.

Ansprechpartner

Dr. Martin März  
Telefon: +49 (0) 9131 761-310  
Email: Martin.Maerz@iis-b.fhg.de

Focal areas of research and development, trends and potentials of the department of power electronic systems

In April 2000, the new department of power electronic systems took up work. The department is engaged in circuit and system engineering for all fields of power electronics with main emphasis on industry and automotive electronics. With its application orientation, the new department completes the activities already existing at the institute in the fields of technology and process development for power semiconductor devices in an ideal way.

Power electronics also has an excellent position in the industrial environment since in northern Bavaria the highest concentration of companies engaged in energy generation and distribution, drive engineering and automation as well as in transportation are to be found, with more than 300 companies and over 30.000 employees. As an application-oriented research institute, one of our most important tasks is to support especially small and medium-sized companies in application-oriented research and development projects as well as in engineering and fabrication of prototypes and low-volume product series.

Power electronics covers all systems whose primary function is either the control or the conversion of electrical power. In the form of switches, drivers, boosters, power supplies or converters, power electronics can be found in almost any electronic equipment. Correspondingly, the power range is very broad, from a few watts with smart-power lamp drivers, mobile phone chargers etc. up to many megawatts in energy distribution and traction applications.

Due to its original function "control and conversion of electrical power", power electronics is the decisive booster for the trend-setting topic of energy saving. Many innovative solutions like energy-saving variable speed drives, electrical and hybrid vehicles or efficient battery management are made possible only by the use of modern power electronics. But power electronics also plays a central role in the field of decentralized energy generation with fuel cells, wind power or photovoltaics. Commercially successful products in these fields increasingly are systems which contain an intelligent combination of power electronics, signal processing, sensor technology and mechanics - and this far beyond a monolithic integration.

According to these requirements, the department is divided into two working groups:

The group mechatronics is focused on topics of mechatronic system integration like assembly techniques, high temperature electronics and thermal system analysis. These topics gain considerable importance regarding the increasing miniaturization of power electronic systems and the density of dissipating power increasing with that. The same is valid, if electronics is integrated into mechanic systems since these are normally designed for much rougher ambient conditions. A modern infrared thermal imaging system, Zth-measuring equipment, climate and temperature shock chambers as well as various simulation tools are available for thermal investigations. Currently, the group's focal area of research are cost-effective variable speed drives.

The power electronics group deals with systems for the efficient conversion of electrical power like switched-mode power supplies, DC/DC converters and so on. Current topics here are cost-effective solutions for power fac-

tor correction (PFC), special driver circuits for power transistors as well as the examination of new applications for innovative components, such as SiC devices.

Start-up financing is carried out within the framework of the Bavarian competence network for mechatronics (BKM), an initiative of the "High-Tech Offensive Zukunft Bayern". Our institute is one of the six foundation members of the BKM and involved in the network with six projects as well as one community project. The BKM projects are worked on in close cooperation of the two departments of technology and power electronic systems. Within the next three years, a staff increase up to about 15 employees is planned. This increase will surely represent one of our largest challenges regarding the - from our point of view - very difficult job situation with electrical engineers.

## Contact

Dr. Martin März  
Phone: +49 (0) 9131 761-310  
Email: [Martin.Maerz@iis-b.fhg.de](mailto:Martin.Maerz@iis-b.fhg.de)

# Der Kurbelwellenstartergenerator - eine Herausforderung für die Leistungselektronik

## Einleitung

Moderne Konzepte in Kraftfahrzeugen setzen auf immer mehr elektrisch betriebene Hilfsaggregate. Um die wachsende Zahl von Verbrauchern mit höherer Leistung noch wirtschaftlich versorgen zu können, muß die Bordnetzspannung über die heute üblichen 12 V hinaus erhöht werden. Dabei hat man sich auf ein 42 V-Kfz-Bordnetz geeinigt. Elektrische Verbraucher mit mehreren Kilowatt Puls- und Dauerleistung würden beim bestehenden Konzept Ströme benötigen, die sich heute gar nicht aus dem 12 V-Bordnetz entnehmen ließen. Ein künftiges Bordnetz muß elektrische Leistungen bis zu 10 kW gegenüber den bisher verfügbaren 0,8 - 1,5 kW abdecken können, um elektrische Lüfter, Klimakompressoren, Katalysator-Vorheizung oder elektronische Ventilsteuerungen versorgen zu können. Kern dieser neuen elektrischen Bordnetzstruktur bildet eine Einheit, die aus der Verschmelzung der beiden Aggregate mit den größten Strömen im Fahrzeug entsteht, dem Anlasser und der Lichtmaschine. Konstruktiv möglichst nahe an die Kraftübertragung angeflanscht, hat sich die Bezeichnung Kurbelwellen-Startergenerator durchgesetzt.

## Vorteile des Startergenerator - Konzeptes

Nur die simple Zusammenführung zweier Einzelaggregate kann aus heutiger Sicht noch nicht zu einer kostenoptimalen Lösung führen. Erst die Ausnutzung zusätzlicher Synergieeffekte liefert ein wirtschaftlich interessantes Ergebnis für das Fahrzeug als Gesamtsystem. Mit dem Startergenerator verfügt man gleichzeitig über einen hochdynamischen Elektromotor direkt im Antriebsstrang. Vorstellbar ist ein aktiver Ausgleich der schlechten Laufruhe, die von einem verbrauchoptimierten Verbren-

nungsmotor mit kleiner Zylinderanzahl herrührt. Beispielhaft sei auch noch angeführt, daß ein solcher Elektroantrieb über hohes Drehmoment verfügt. Damit kann neben dem Anlaßvorgang bei künftigen wirkungsgradoptimierten Verbrennungsmotoren auch das Fahrverhalten bei Beschleunigungsvorgängen unterstützt werden.

## Anforderungen an einen Startergenerator

Aus Sicht der Leistungselektronik ergeben sich vielschichtige, teilweise gegensätzliche Ansprüche. Kompakte Integration an ein mechanisches Verbrennungsmotorsystem mit entsprechenden Vibrationsanforderungen in rauher Umgebung benötigt spezielle Aufbau- und Verbindungstechniken. Die geforderten Grenzwerte für elektromagnetische Verträglichkeit sind gegenüber herkömmlichen Industrieanforderungen verschärft.

Kühlmitteltemperaturen von 125°C lassen kaum noch Verlustwärme im Leistungsteil zu. Die geforderte Lebenserwartung in Verbindung mit bei Lastzyklen auftretenden Temperaturschwankungen schließt die Verwendung einer Vielzahl heute üblicher Bauelemente für Ansteuerung, Mikrocontroller und Leistungsteil aus.

Die maximal zulässige Bordspannung liegt bei 60 V. Durchlaßoptimierte Leistungsschalter mit 75 V Sperrspannung lassen dann aber kaum noch Reserve für transiente Schaltüberspannungen. Bei den Kommutierungszellen an einem Spannungszwischenkreis ergeben sich dadurch dramatisch ungünstigere Verhältnisse verglichen mit einem 600 V IGBT-Industriemrichter.

Am IIS-B wurden hierzu bisher Optimierungsaufgaben im Bereich der Stromverschienung behandelt, um die Kommutierungszellen im Leistungsteil nie-

derinduktiv zu gestalten. Zusammen mit einem Industriepartner wurde die Spezifikation für ein Ansteuer-IC erarbeitet, die insbesondere auch die kritischen Parameter wie  $dU/dt$ -Unempfindlichkeit, Temperaturbereich, Toleranz gegen Massenversatz, Latch-up-Festigkeit usw. umfaßt.

Parallel dazu sind diskrete, induktiv gekoppelte Treiberschaltungen in der Entwicklung und Erprobung. Diese weisen gegenüber heute verfügbaren monolithischen Ansteuer-ICs keine Einschränkung bezüglich des auftretenden Massenversatzes auf und lassen gegenüber Ansätzen via Optokoppler die geforderte höhere Betriebstemperatur zu. Ziel ist hierbei eine fertigungsgerechte und kostenoptimierte Schaltungslösung.

## Ansprechpartner

Markus Billmann

Telefon: +49 (0) 9131 761-234

Email: markus.billmann@iis-b.fhg.de

# The Crankshaft Starter-generator - a Challenge in Power Electronics

## Introduction

Modern concepts in vehicles bring up the need for more and more electrified subsystems. To offer the ability of supplying the increased number of loads with higher power consumption in an economical way, the existing 12 V car powerbus must be added with or substituted by a new 42 V system. Electrical loads with pulsed and permanent power consumption of several kilowatts would draw currents that cannot be offered by the existing 12 V car wiring. A future electrical car supply must be stable up to 10k W compared to the 0.8 to 1.5 kW a today's system can maximum support. This becomes necessary for electrical fans to cool the main combustion engine, climate compressor, preheating of catalytic converters, electromagnetic valves and many other intended systems. The core of this new electrical car structure is the fusion of the two aggregates inside a vehicle that have to deal with the highest currents, dynamo and engine starter. Located very close to the main drive, most of the technical issues designate the unit as the crankshaft starter generator.

## Advantages of a starter-generator concept

Today, just a simple combination of two stand-alone parts cannot lead to a cost-effective solution. Only the use of additional synergy effects from this new subsystem will provide an interesting economical result for the vehicle as a whole unit. At the same time a starter-generator is a highly dynamic electric motor, which is directly located inside the mechanical drive assembly. One idea is an active compensation of the vibrations in rotation produced by a modern main engine with poor number of cylinders. A modern main engine usually is optimized for fuel consump-

tion, but not in torque. With respect to its high dynamic torque at any speed, the starter-generator as electric motor is able to boost the main engine for acceleration processes.

## Starter-generator requirements

From power electronic's point of view a starter-generator brings up a variety of requirements with some of them being even oppositional. Integration into a mechanical system with severe vibration requirements in rugged ambient force special mounting and connecting techniques. Compared to standard industrial values, the limits stipulated for electromagnetic compatibility in cars are lower and, therefore, harder to reach.

Coolant temperatures of up to 125°C do not allow much losses in power semiconductors, drivers or micro-controllers. Desired lifetime combined with temperature cycles occurring at load cycles exclude the use of the majority of electronic components that can be found in today's drivers, controllers or power circuits.

The maximum operating voltage of the new car wiring is set to 60 V. Conduction loss optimized power semiconductors with a breakdown voltage rated at 75 V have only a very poor safety margin for transient overvoltages. For the commutation cells inside a voltage fed inverter, the inductive aspect is considerably worse compared to the ratio in a 600 V industrial inverter system running at 400 V.

At the IIS-B, studies concentrated on the optimization of busbars to minimize the commutation cells' inductance in the power electronics section. Together with an industrial partner, the specification for a suitable integrated driver circuit was developed with special focus on critical parameters like

dU/dt noise immunity, temperature range, immunity against transients in ground loops, latch-up and so on.

Additionally, discrete, inductively coupled driver circuits are developed and tested. Compared to existing monolithic integrated devices, there is no restriction in terms of ground bounce, together with higher permissible operating temperatures of today's solutions using optical coupled techniques. The main goal is to find a cost-effective solution also optimized for production performance.

## Contact

Markus Billmann  
Phone: +49 (0) 9131 761-234  
Email: markus.billmann@iis-b.fhg.de

# Energiesparende integrierte Kleinantriebe

Unabhängige Studien zeigen, daß rund 10% des gesamten industriellen Energieverbrauchs eingespart werden könnten, wenn im Antriebsbereich konsequent drehzahlgeregelte Systeme eingesetzt würden (Fig. 1). Die Lebensdauererkosten eines Antriebs bestehen zu über 90% aus Energiekosten, die Anschaffungskosten liegen dagegen nur bei wenigen Prozenten der Lebensdauererkosten. Umso unverständlicher ist die Tatsache, daß nur ca. 5 % der genutzten Antriebe drehzahl geregelt ausgeführt sind (Fig. 2). Durchflußmengen könnten zum Beispiel statt per Drosselklappe oder Bypass viel effizienter durch die Drehzahlregelung der Pumpe gesteuert werden.

Das Einsparpotential von 10 % entspricht der Jahresproduktion von 8 Kohlekraftwerken der 500 MW-Klasse; ein ähnliches Einsparpotenzial besteht im Bereich der Haushalts- und Consumerlektronik. Um diese Potentiale erschließen zu können, dürfen jedoch moderne energiesparende Antriebe nicht teurer als heutige unregelmäßige Antriebe sein.

Zur Erreichung dieses Entwicklungsziels ist es notwendig, die unterschiedlichsten Problemfelder von der Schaltungstechnik über die thermische Auslegung bis hin zur mechanischen Integration (Aufbautechnik, Motorenkonstruktion) in ihrer wechselseitigen Abhängigkeit zu betrachten und daraus ein Gesamtsystemkonzept zu erarbeiten. Gerade bei in Motornähe platzierter Elektronik spielt die Temperatur eine entscheidende Rolle, da die üblichen Motortemperaturen meist deutlich über der zulässigen Einsatztemperatur von aktiven und passiven elektronischen Bauelementen liegen, und die im Betrieb auftretenden Temperaturzyklen die Systemlebensdauer entscheidend begrenzen. Daher ist eine sorgfältige, auf thermischen Simulationen basierte Auswahl von Ma-

terialen und Einbauorten von großer Bedeutung.

Um einen umfassenden Überblick über den aktuellen Stand der Technik bei verschiedenen Antriebsherstellern zu erhalten, wurden diverse Umrichter motoren beschafft. Diese werden derzeit einem Reverse-Engineering unterzogen. Es zeigte sich, daß die heute als "Umrichtermotoren" bezeichneten Systeme im Grunde nur aus räumlich zusammengedrängten traditionellen Teilsystemen (Motor, Umrichter) bestehen und ein "mechatronischer" Ansatz noch kaum erkennbar ist. Häufig ist die Gesamtkonstruktion sogar deutlich aufwendiger, was auch die deutlich erhöhten Kosten für diese Umrichtermotoren erklärt.

Aufbauend auf der derzeit laufenden, detaillierten Kostenanalyse soll die kostengünstigste Schaltungs- und Aufbautechnik für die Leistungsklasse 750 W (1hp) ermittelt werden. Ein Schwerpunkt der Betrachtungen liegt dabei auf dem Leistungsteil, hier konkurrieren low-cost Leistungsmodulen mit konventionell isolierten, diskreten Leistungsbaulementen (FullPack) und mit thermisch optimierten SMD-Aufbauten. Wesentliche Hilfsmittel bei diesen Un-

Energie-Einsparpotential ca. 19TWh/a  
(entspricht ca. 8 Kohlekraftwerken der 500MW-Klasse)  
energy reduction potential app. 19TWh/a  
(this corresponds to about eight 500MW-class coal power plants)

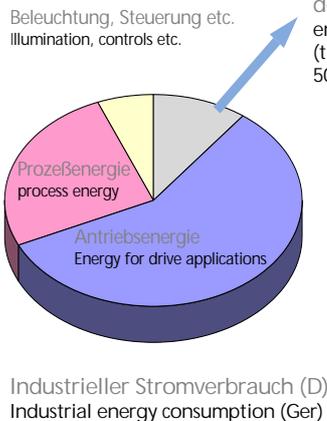


Fig. 1: Energieeinsparung durch drehzahlgeregelte Systeme im Antriebsbereich; Energy consumption in the industrial sector by using variable speed drives.

tersuchungen sind thermische Simulationen mit FEA-Programmen, elektrisch/thermische Schaltungssimulationen und thermographische Messungen an Prototypaufbauten.

Ansprechpartner:

Ernst Schimanek  
Telefon: +49 (0) 9131 761-240  
Email: Ernst.Schimanek@iis-b.fhg.de

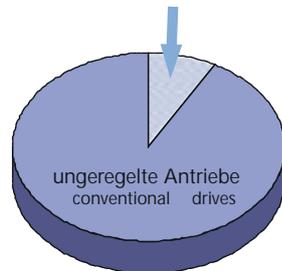
# Energy-saving Integrated Low Power Drives

Several independent studies show that nearly 10 % of the energy consumption in the industrial sector can be saved by using variable speed drives consistently (Fig. 1). More than 90 % of the life cycle costs of a drive are energy costs, only a few percent are acquisition costs. Due to this fact, it is hard to believe that only 5% of all drives in use are speed-controlled (Fig. 2). Flow control, for instance, could be realized by controlling the flow rate with variable speed pumps instead of regulating valves and bypass systems.

The potential energy-saving of 10 % represents the annual production of 8 coal power plants with nominal power of 500 MW. Almost as much energy can be saved in the field of home appliances and electronic commodity goods. To open this market, the cost of a modern energy-saving drive must not exceed the cost of a traditional non-controlled drive.

To meet the development objectives, it is necessary to consider the critical items concerning circuit design, thermal calculation, mechatronic integration and motor construction. Furthermore, it is important to consider the interdependence of these topics to develop a concept for a complete mechatronic system. Especially for electronics that are placed near to the motor, the different temperature levels of motor and electronics have to be taken into account. Normally, the motor temperature is much higher than the permissible operating temperature of active and passive electronic components. Due to this fact, the temperature cycles during operation strongly affect the lifetime of the system. Therefore, a careful selection of materials and mounting positions based on thermal simulation is very important.

derzeit ca. 5%  
Marktdurchdringung  
mit drehzahlgeregelten Antrieben  
about 5% variable speed drives today



Industrielle Antriebstechnik  
industrial drives

Über die Lebensdauer kumulierte  
Kosten eines Antriebs  
life cycle costs of a drive

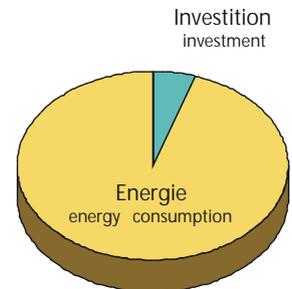


Fig. 2: Derzeitige Marktdurchdringung mit drehzahlgeregelten Antrieben und über die Lebensdauer kumulierte Kosten eines Antriebs;

Amount of variable speed drives today and life cycle costs of a drive.

To get an extensive overview concerning the state of the art of integrated drives, a variety of inverter drives from different drive manufacturers was provided. These drives are currently investigated in a reverse engineering project. It turned out that the inverter motors of today consist of traditional sub-systems, i.e. motor and inverter, that are positioned very close to each other and that the mechatronic approach is hardly perceptible. In many cases, much more complicated constructions result in increased costs compared to traditional solutions.

Based on a current detailed cost analysis, the goal is to ascertain the most cost-effective solution for a 750 W (1HP). The power unit is the main focus of the investigations. Low-cost power modules are compared to discrete power components and SMD assemblies. Important tools for these investigations are thermal simulation tools, electric and thermal circuit simulation and thermographic measurements on prototypes.

Contact:

Ernst Schimanek  
Phone: +49 (0) 9131 761-240  
Email: Ernst.Schimanek@iis-b.fhg.de

# Namen, Daten, Ereignisse

## Names, Data, Events

Gastwissenschaftler  
Guest Scientists

Banosch, Noemi  
01.11.00 – 31.12.00

Rumänien / Romania

*Entwicklung und Anwendung des  
Hochleistungsrechenprogramms STHA-  
MAS2D*

*Development and Application of the  
High-performance Computer Code  
STHAMAS2D*

Barsony, Dr., Istvan

13.08.00 - 23.08.00

26.11.00 - 06.12.00

Ungarn / Hungary

*Optische Meßtechnik und Sensorik  
Optical Metrology and Sensors*

Boubekeur, Horice

13.01.00 - 14.01.00

22.02.00 - 10.03.00

22.03.00 - 30.03.00

03.05.00 - 05.05.00

22.05.00 - 29.05.00

07.06.00 - 08.06.00

04.07.00 - 05.07.00

11.07.00 - 14.07.00

20.07.00 - 21.07.00

27.07.00 - 28.07.00

21.08.00 - 24.08.00

06.10.00 - 12.10.00

23.10.00 - 02.11.00

Algerien / Algeria

*Kontamination bei ferroelektrischen  
Schichten*

*Contamination of Ferreelectric Layers*

Derby, Prof., J. J.

01.05.00-31.08.00

USA

*Kopplung von 2D- und 3D-Simulation  
Coupling of 2D and 3D simulation*

Fried, Miklos

08.07.00 - 15.07.00

03.12.00 - 15.12.00

Ungarn / Hungary

*Mikroelektronik*

### *Microelectronics*

Gyulai, Prof., Jozsef

26.04.00 - 01.05.00

12.08.00 - 19.08.00

12.12.00 - 17.12.00

Ungarn / Hungary

*Ionenstrahltechnik  
Ion Beam Processing*

Horvath, Zsolt

26.11.00 - 02.12.00

Ungarn / Hungary

*Defekte nach Ionenimplantation in Sili-  
cium*

*Defects after Ion Implantation in Silicon*

Khanh, Dr., Nguyen Quoc

07.09.00 - 18.09.00

Ungarn / Hungary

*Materialforschung, Angewandte Physik  
Material Science, Applied Physics*

Licz, Anton

11.11.00 – 31.12.00

Rumänien / Romania

*Entwicklung und Anwendung des  
Hochleistungsrechenprogramms STHA-  
MAS3D*

*Development and Application of the  
High-performance Computer Code  
STHAMAS3D*

Lohner, Dr., Tivadar

28.08.00 - 14.09.00

Ungarn / Hungary

*Materialforschung, Angewandte Physik  
Material Science, Applied Physics*

Lukacs, I.

03.12.00 - 06.12.00

Ungarn / Hungary

*Optische Meßtechnik*

*Optical Metrology*

Mu, Dr., Yuguang

01.01.00 - 29.02.00

China

*Simulation der elektrischen Abbrem-  
sung bei der Ionenimplantation  
Simulation of Electronic Stopping for*

### *Ion Implantation*

Petrik, Peter

02.05.00 - 19.05.00

01.07.00 - 31.07.00

19.08.00 - 31.10.00

03.12.00 - 15.12.00

Ungarn / Hungary

*Spektralellipsometrische Messungen an  
Polysiliciumschichten*

*Spectroscopic Ellipsometry for Polysili-  
con Layers*

Riesz, Dr., F.

03.12.00 - 06.12.00

Ungarn / Hungary

*Optische Meßtechnik*

*Optical Metrology*

Shin, Paik-Kyun

01.01.00 - 30.04.00

Korea / Korea

*Modifikation von ionensensitiven*

*Schichten durch Ionenimplantation*

*Modification of Ion-sensitive Layers by*

*Ion Implantation*

Stanke, Mladen

15.03.00 - 15.06.00

Kroatien / Croatia

*Entwicklung eines piezo-*

*elektrischen Mikroventils*

*Development of a Piezo-electric Micro  
Valve*

Svorcık, Dr., Vaclav

05.06.00 - 14.06.00

31.07.00 - 03.08.00

02.10.00 - 13.10.00

Tschechien / Czech Republic

*Implantation in Polymere*

*Implantation into Polymers*

Takai, Prof., Mikio

09.01.00 - 21.01.00

08.03.00 - 11.03.00

am 25.09.00

20.11.00 - 25.11.00

Japan

*Nachbearbeitung von Vakuum-Feld-  
emittern und Bearbeitung von Spei-*

*cherbauelementen mittels fokussierten Ionenstrahlen*  
*Postprocessing of Vacuum Field Emitter and Processing of Memory Devices by Means of Focused Ion Beams*

*Vizman, Dr., Daniel*  
*1.1.00 – 31.10.00*

Rumänien / Romania

*Entwicklung und Anwendung des Hochleistungsrechenprogramms STHAMAS3D*  
*Development and Application of the High-performance Computer Code STHAMAS3D*

*Yasenov, Nedyu*  
*01.04.00 - 31.12.00*

Bulgarien / Bulgaria

*Entwicklung eines Mikrozerstäubers zur Zerstäubung flüssiger Medien*  
*Development of a Micronebulizer for Nebulizing Liquid Media*

*Zhou, Tian-hua*  
*1.1.00 - 31.12.00*

China

*Konzipierung von integrierten Meßsystemen in Halbleiterfertigungsgeräten unter Einsatz von Bussystemen*  
*Conception of Integrated Metrology Systems for Semiconductor Manufacturing Equipment Using Sensor Bus Technology*

Patenterteilungen  
Patents

Benesch N., Schneider C., Pfitzner L.  
*Verfahren und Vorrichtung zur optischen Kontrolle von Fertigungsprozessen feinstrukturierter Oberflächen in der Halbleiterfertigung*

Benesch N., Schneider C., Pfitzner L.:  
*Gerät zur schnellen Messung winkelabhängiger Beugungseffekte an feinstrukturierten Oberflächen*

Kluge, A., Zielonka, G.  
*Vorrichtung zum Greifen von Scheiben und Verwendung der Vorrichtung*

Müller, G., Ammon, J.  
*Verfahren zur Herstellung von siliciumdotierten Galliumarsenid-Einkristallen*

Müller, G., Seid, A.  
*Process and Device for Measuring the Oxygen Potential in a Silicon Melt*

Stryzewski, P., Roeder, G., Pfitzner, L., Ryssel, H.  
*Verfahren und Vorrichtung zur Überführung eines Flüssigkeitsstromes in einen Gasstrom*

Stryzewski, P., Roeder, G., Pfitzner, L., Ryssel, H.  
*Process and Device for Converting a Liquid Stream Flow into a Gas Stream Flow*

Mitarbeit in Fachgremien, Fachverbänden und Komitees  
Participation in Committees

Bauer, A.

- ITG Informationstechnische Gesellschaft im VDE, Fachbereich 8 Mikroelektronik, Fachausschuß 8.1 Festkörper-Technologie, Fachgruppe: Heißprozesse

Bügler, J.

- SEMI Task Force: International Environmental Contamination Control Task Force

Frey, L.

- Mitglied in der Informationstechnischen Gesellschaft (ITG): Fachbereich 5.6.2 Qualität und Zuverlässigkeit - Analysestrategien

Frickinger, J.

- SEMI Task Force: International Environmental Contamination Control Task Force
- SEMI Europe Equipment Automation Committee

Friedrich, J.

- Member of the Physical Science Working Group of European Space Agency (ESA)

Lorenz, J.

- VDE/VDI-Gesellschaft für Mikroelektronik, Mikro- und Feinwerktechnik, Fachbereich 6 "Halbleitertechnologie und Halbleiterfertigung", Leiter der Fachgruppe 6.2.7 "Prozeß- und Gerätesimulation"
- Member of the Committee Mitglied des Programm-Komitees der 30th European Solid-State Device Research Conference" (ESSDERC'00): Sub-Komitee „Process and Device Simulation“, Cork ,Irland, Sept. 2000
- Member of the Electrochemical Society
- Member of Modeling and Simulation

Working Group (ITWG) der ITRS (International Technology Roadmap for Semiconductors)

Müller, G.

- President of the German Association on Crystal Growth (DGKK)
- Associate editor of the journal "Crystal Growth and Technology"
- Associate editor of the journal "Crystal Growth"
- Member of the board of the Center of Competence for new Materials (neue Materialien GmbH)

Öchsner, R.

- SEMI Voting Member Committee "Equipment Automation"
- SEMI Task Force: Equipment Productivity Metric Task Force
- SEMI Task Force: Cluster Tool RAM Task Force
- GMM-Fachausschuß 6.1 "Produktionstechniken", Themenleiter "Qualitätsmanagement" und "Umwelt- und ressourcenschonende Produktion"
- Mitglied der Factory Integration Working Group (FITWG) der ITRS (International Technology Roadmap for Semiconductors)

Pfützner, L.

- Chairman bei der Fachtagung "2000 IEEE International Symposium on Semiconductor Manufacturing Conference", Okt. 2000, Tokyo, Japan
- Mitglied im Programmkomitee ISSM 2000 (2000 IEEE International Symposium on Semiconductor Manufacturing Conference", Okt. 2000, Tokyo, Japan)
- VDE/VDI-Gesellschaft für Mikroelektronik, Mikro- und Feinwerktechnik, Fachbereich 6 "Halbleitertechnologie und Halbleiterfertigung", Leiter des Fachausschusses 6. 1 "Produktion und Fertigungsgeräte"
- VDE/VDI-Gesellschaft für Mikroelektronik, Mikro- und Feinwerktechnik,

Fachbereich 6 "Halbleitertechnologie und Halbleiterfertigung", Leiter der Fachgruppe 6.1.1 "Geräte und Materialien"

- VDI Fachausschuß "Reinraumtechnik", Arbeitsgruppe "Personal am reinen Arbeitsplatz"
- VDI Fachausschuß "Reinraumtechnik", Arbeitsgruppe "Reinheit in Prozeßmedien"
- Leiter der SEMI Task Force "Environmental Contamination Control"
- Co-Chair der SEMI Task-Force "E14 Revision"
- Mitglied der SEMI Task Force "Clean Interfaces"
- Mitglied des Standardisierungskomitees "Equipment Automation Standards Committee" der SEMI
- "Independent Expert" für die SEA ("Semiconductor Equipment Assessment") - Initiative von ESPRIT
- Mitglied des "SEA -Board" ("Semiconductor Equipment Assessment") der Europäischen Kommission
- Mitglied der Metrology Working Group (ITWG) der ITRS (International Technology Roadmap for Semiconductors)

Roeder, G.

- SEMI Task Force: Equipment Productivity Metric Task Force
- SEMI Integrated Measurement Task Force
- GMM Fachausschuß 6.2: "Verfahren"

Ryssel, H.

- International Committee of the Conference „Ion Implantation Technology (IIT)“  
The Conference takes place bi-annually alternatingly in Europe, the USA, and East Asia.
- International Committee of the Conference „Surface Modification of Metals by Ion Beams (SM<sup>2</sup>IB)“  
The Conference takes place bi-annually alternatingly in Europe, the USA,

and East Asia.

- Member of the Program Committee of the Conference „30th European Solid State Device Research Conference (ESSDERC'00)“, Cork, Republic of Ireland, 11.-13. Sept. 2000
- Mitglied von „Informationstechnische Gesellschaft (ITG)“: Leiter des Fachausschusses 8.1, „Solid State Technology“
- Mitglied der „VDE/VDI-Gesellschaft für Mikroelektronik, Mikro- und Feinwerktechnik“, Leiter des Fachbereichs 6 „Semiconductor Technology and Semiconductor Production“, Leiter der Fachgruppe 6.2.2 „Implantation“
- Member of the Electrochemical Society
- Member of the Material Research Society
- Member of the „Böhmische Physikalische Gesellschaft“
- Senior Member of the Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)
- Board of Editors of „Vacuum Technique and Technology“, Minsk, Belarus
- Editorial Board of „Radiation Effects and Defects in Solids“ Gordon and Breach Science Publishers
- Geschäftsführender Vorstand des Instituts für Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik an der Technischen Fakultät der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg sowie Vorsitzender der Studienkommission Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik.
- Mitglied der Studienkommission Maschinenbau
- Mitglied des Senats der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg

Schmidt, C.

- SEMI Integrated Measurement Task Force - Integrated Ellipsometry

Schneider, C.

- Mitglied des Wissenschaftlich-Technischen Rates der Fraunhofer-Gesellschaft
- SEMI Equipment Automation Committee
- Leiter der SEMI Standardization Task Force "Integrated Measurement"
- Mitglied des Board of Directors der Integrated Measurement Association (IMA)
- Steering Committee der European AEC/APC (Advanced Equipment/Process Control) Conference, Dresden 2000 und 2001
- Leiter Program Committee der European AEC/APC Conference, Dresden 2001
- Mitorganisator AEC/APC Symposium, Lake Tahoe, Nevada 2000
- Mitglied der Factory Integration Working Group (FITWG) der ITRS (International Technology Roadmap for Semiconductors)
- Mitglied VDI, VDE/VDI-Gesellschaft für Mikroelektronik, Mikro- und Feinwerktechnik
- GMM-Fachausschuß 6.1: "Produktionstechniken", Fachgruppe 6.1.1: "Geräte und Materialien", Themenleiter Advanced Process Control (APC)
- Independent Expert im SEA (Semiconductor Equipment Assessment)-Programm von ESPRIT
- Fachgutachter STARTUP-Wettbewerb des Sparkassen- und Giroverbandes

Trunk, R.

- SEMI Integrated Measurement Task Force - Leiter ISPM Group
- SEMI Europe Equipment Automation Committee

■■■■■■■■■■  
Konferenzen und Workshops  
Conferences and Workshops

"AEC/APC Workshop", Dresden, 30. - 31. März 2000

"Organic Contamination Workshop 2000", Munich Trade Fair Center, 07. April 2000

Review Meeting des EU-Projektes RAPID, FhG-IIS-B, Erlangen, 21. Juni 2000

Treffen des Fachausschuß 6.1 Produktionstechniken, GMM (Gesellschaft für Mikroelektronik und Feinwerktechnik), FhG-IIS-B, Erlangen, 9. August 2000

13<sup>th</sup> International Conference on Ion Implantation Technology" (IIT 2000), 17. - 22. September 2000 in Alpach, Österreich

Durchführung eines 3-tägigen Trainingskurses "3-Dimensional Optical Lithography Simulation", bei Sematech International, Austin/Texas, September 2000

Zweitägiges Kolloquium zu „Entwicklungstrends in der Leistungselektronik und Mechatronik“ und „Wachsende Scheibendurchmesser und schrumpfende Dimensionen: 300 mm- und Nanometer-Technologien“ aus Anlaß des 15-jährigen Bestehens des IIS-B, 12. - 13. Oktober 2000

Treffen des Fachausschuß 6.1 Produktionstechniken, GMM (Gesellschaft für Mikroelektronik und Feinwerktechnik), FhG-IIS-B, Erlangen, 13. Oktober 2000

Durchführung eines 2-tägigen Lehrgangs "Simulation of Optical Lithogra-

phy" bei Infineon Technologies, München, November 2000

11<sup>th</sup> Workshop on Dielectrics in Microelectronics (WoDiM), 13. - 15. November in Forum Hotel München

■■■■■■■■■■  
Messebeteiligungen  
Fairs and Exhibitions

Medica 2000  
Düsseldorf, 22. - 25.11. 2000

Lorenz, Jürgen

### *Diskretisierung und Gittergeneration für die mehrdimensionale Simulation von Implantation und Diffusion*

Seit ihren Anfängen in der zweiten Hälfte der siebziger Jahre hat sich die Prozeßsimulation zu einem wertvollen Hilfsmittel für die Optimierung der Herstellung mikroelektronischer Bauelemente entwickelt. Der Schwerpunkt lag anfangs in der Entwicklung aus heutiger Sicht einfacher physikalischer Modelle sowie in ihrer Implementierung in eindimensionalen Simulationsprogrammen für die damaligen vergleichsweise leistungsschwachen Rechner. Mittlerweile ist nicht nur aufgrund höherer Anforderungen an die Genauigkeit die Komplexität der benötigten physikalischen Modelle stark angewachsen, sondern wegen der Notwendigkeit zur zwei- oder gar dreidimensionalen Simulation komplizierter und kleinster Strukturen werden auch sehr leistungsfähige Algorithmen benötigt. Hierbei sind wegen der in der Halbleitertechnologie auftretenden nichtplanaren zeitabhängigen Geometrien insbesondere spezielle Programme zur Generation und Adaption der numerischen Gitter erforderlich, die zur Diskretisierung von Geometrien sowie von Dotierungs- und Defektverteilungen benötigt werden. Da die Anforderungen sich von denen anderer Anwendungsbereiche substantiell unterscheiden, müssen hierfür problemangepaßte Algorithmen entwickelt werden.

Entsprechend dieser Problematik werden in der vorliegenden Arbeit zunächst exemplarisch typische Verfahren und Modelle zur Simulation der Implantation von Dotierungsatomen sowie ihrer Diffusion vorgestellt. Hierbei werden auch verbesserte analytische Modelle für die Beschreibung lateraler Im-

plantationsprofile erläutert, die im Rahmen dieser Arbeit entwickelt wurden. Die analytischen Implantationsmodelle werden hinsichtlich ihrer Geometrieabhängigkeiten analysiert, woraus sich Anforderungen an einen numerisch effizienten dreidimensionalen Algorithmus ergeben. Ein entsprechendes Programm für die dreidimensionale Simulation der Ionenimplantation wurde entwickelt, dessen Kern in der Separation von Geometriebehandlung und Auswertung der analytischen Modelle besteht.

Die sich aus derartigen Implantations- und Diffusionsmodellen ergebenden Anforderungen für die Diskretisierung von nichtplanaren Geometrien sowie für die Generation und Adaption der für die Diskretisierung von Dotierungs- und Defektverteilungen erforderlichen Gitter werden abgeleitet. Vorhandene Verfahren zur Beschreibung von Ober- und Grenzflächen, ihrer Änderung während der Halbleiterprozesse sowie zur Gittergeneration werden vorgestellt und bewertet. Während die Anpassung von zwei- und dreidimensionalen Gittern an die Verteilung von Größen, die im Volumen zu diskretisieren sind, z.B. Dotierungsverteilungen, mithilfe von Verfahren wie der Octree Methode mittlerweile weitgehend gelöst ist, gibt es auch zum Zeitpunkt der Einreichung dieser Arbeit noch keinen allgemein verfügbaren Gittergenerator, der die Vielzahl von Problemen löst, die mit allgemeinen zeitabhängigen Oberflächen verknüpft sind. In der vorliegenden Arbeit wurde daher ein Gittergenerator entwickelt, der auf der weitgehenden Separation von Oberflächen- und Volumeneigenschaften basiert und deshalb die Nutzung bewährter Algorithmen und Programme zur Generation und Adaption von Gittern außerhalb der Umgebung von Ober- und Grenzflächen erlaubt. Der Gesamtalgorithmus wird in der vorliegenden Ausarbeitung dargestellt und eingehend disku-

tiert. Da sich die Kopplung an bestehende Algorithmen und Programme zur Generation und Adaption von Volumengittern als möglich und angemessen erwies und die Programmierung des Gesamtalgorithmus für allgemeine Fälle den Rahmen der Arbeit gesprengt hätte, konzentrierte sich die durchgeführte Implementierung auf das bisher weitgehend unzureichend behandelte Feld der Kontrolle und Verbesserung von Oberflächendiskretisierungen sowie der Generation des Oberflächengitters. Hierzu wurden verschiedene Programmmodule erstellt, erfolgreich an relevanten Beispielen getestet, sowie zum Teil bereits in das im Rahmen der ESPRIT Projekte PROMPT und PROMPT II entwickelte dreidimensionale Prozeßsimulationsprogramm integriert. Sowohl die hier als auch an anderer Stelle durchgeführten Untersuchungen und Simulationen industrieller Anwendungsbeispiele haben gezeigt, daß derartigen Algorithmen eine entscheidende Bedeutung zukommt, um die dreidimensionale Prozeßsimulation für die breite industrielle Nutzung attraktiv zu machen. Insbesondere bilden die vorgestellten Algorithmen wie in der vorliegenden Ausarbeitung dargestellt eine sehr gut geeignete Ausgangsbasis, um auch Probleme der Oberflächendiskretisierung zu lösen, die über Ziele dieser Arbeit hinausgehen. Des Weiteren wird die Anwendung des vorgestellten Gittergenerationsalgorithmus für die Simulation der Diffusion diskutiert.

■■■■■■■■■■  
Lorenz, Jürgen

*Discretization and mesh generation for the multidimensional simulation of ion implantation and diffusion*

Since its beginning in the second half of the seventies, process simulation has developed to be a valuable tool for the optimization of the fabrication of semiconductor devices. Initially, the activities were focused on the development of physical models which are relatively simple from today's point of view and on their implementation into one-dimensional process simulation programs suitable for computers available at that time. Meanwhile, not only the complexity of the physical models used has considerably grown due to the ever increasing demands concerning accuracy but also very powerful algorithms are required to be able to carry out two- or even three-dimensional simulations of current complex and very small devices. Especially because of the nonplanar time-dependent geometries occurring in semiconductor technology, special algorithms are needed for the generation and adaptation of the numerical meshes needed for the discretization of geometries as well as of dopant and defect distributions. Because the requirements considerably differ from those of other fields of application, problem-specific algorithms must be developed.

Accordingly, in this thesis first typical methods and models for the simulation of ion implantation and dopant diffusion are outlined. This includes the discussion of improved analytical models for the simulation of lateral implantation profiles, developed within this work. Analytical implantation models are analysed concerning their dependence on geometry which results in requirements for a numerically efficient three-dimensional algorithm. Based on

this, a program for the three-dimensional simulation of ion implantation was developed which separates the processing of the geometry data from the evaluation of the analytical models.

The requirements on the discretization of nonplanar geometries and on the generation and adaptation of bulk meshes, resulting from such models for ion implantation and diffusion, are derived. Existing methods for the description of surfaces and interfaces as well as for their changes during semiconductor processing and for mesh generation are presented and discussed. Whereas the adaptation of two- and three-dimensional meshes to the distribution of variables which must be discretized in the bulk, e.g. dopant distributions, using e.g. the Octree method has in the meantime been largely solved, at the time of the presentation of this work there is still no mesh generator available which can solve the variety of problems caused by general time-dependent geometries. The mesh generator developed within this work is based on the separation of surface and bulk properties and, in turn, allows for the use of well-tried algorithms and programs for the generation and adaptation of meshes far from surfaces and interfaces. In this thesis, the whole algorithm is described and discussed in detail. Because the coupling to existing algorithms and programs for the generation and adaptation of bulk meshes is possible and suitable and the implementation of the whole algorithm for general applications would have been beyond the scope of this thesis, the implementations carried out concentrated on the so far largely neglected problems of the control and improvement of surface triangulations and the generation of surface meshes. Several program modules were developed for this purpose, successfully tested on relevant examples, and partly already integrated into

the three-dimensional process simulation program developed within the PROMPT and PROMPT II projects. The investigations and simulations carried out here and elsewhere have shown that such algorithms are of crucial importance to enable the broad industrial use of three-dimensional process simulation. Furthermore, the algorithms presented are a very good basis to also solve problems of surface triangulations which are beyond the scope of this work. Finally, the application of the mesh generation algorithm presented to the simulation of dopant diffusion is discussed.

Shin, Paik-Kyun

### *Entwicklung von Alkaliionen- und pH-sensitiven Schichten für den Einsatz in ionensensitiven Feldeffekttransistoren*

Die vorliegende Arbeit behandelt die Herstellung und Charakterisierung von alkaliionensensitiven- und pH-sensitiven Schichten für den Einsatz in ionensensitiven Feldeffekttransistoren. Als sensitive Schichten wurde Titandioxid durch das MOCVD Verfahren, Siliciumdioxid, Siliciumnitrid und drei Varianten Siliciumoxinitrid durch das LPCVD Verfahren hergestellt. Um die alkaliionensensitiven Eigenschaften der Schichten zu modifizieren wurden Bor-, Phosphor-, Natrium-, Aluminium- und Cäsiumionen in Siliciumdioxid (HTO)-, Siliciumnitrid- und die drei unterschiedlichen Siliciumoxinitridschichten implantiert. Deren ionensensitive Eigenschaften wurden durch die Kapazitäts-Spannungs-Messungen an Elektrolyt-Isolator-Silicium-Strukturen bestimmt.

Die Zusammensetzung der Siliciumoxinitridschichten wurde durch die Änderung des Flußratenverhältnisses  $\text{NH}_3/\text{N}_2\text{O}$  geändert. Je geringer der Sauerstoffgehalt war, desto größer war die pH-Empfindlichkeit der Siliciumoxinitridschichten. Trotz der unterschiedlichen Zusammensetzung wiesen die Siliciumoxinitridschichten eine ähnliche Stabilität der pH-sensitiven Eigenschaften wie Siliciumnitrid auf. Die Alkaliionenempfindlichkeit der Siliciumoxinitridschichten war abhängig von dem Sauerstoffgehalt und lag zwischen den Werten von Siliciumdioxid und Siliciumnitrid. Die Alkaliionenselektivität der Siliciumoxinitridschichten wurde hauptsächlich durch den Stickstoffgehalt beeinflusst und war unabhängig von den Sauerstoffgehalt.

Die Titandioxidschichten wurden bei Temperaturen zwischen 500°C und 1000°C getempert. Während die ungetemperte Titandioxidschicht eine niedrigere pH-Empfindlichkeit als die getemperten Titandioxidschichten aufwies, war die Hysterese niedriger als bei den getemperten Titandioxidschichten. Alle Titandioxidschichten wiesen keine Lichtempfindlichkeit auf. Nach einem Langzeitversuch wurde festgestellt, daß die bei 900°C getemperte Titandioxidschicht nur eine geringfügige Änderung der pH-sensitive Eigenschaften aufwies.

Die mit Bor oder Phosphor implantierten Siliciumnitridschichten wiesen keine Änderung der pH-Sensitivität und nur eine geringfügige Änderung der Alkaliionensensitivität auf. Die Bor und Cäsium koimplantierten Siliciumnitridschichten wiesen dagegen eine deutliche Änderung sowohl der pH-Sensitivität als auch der Alkaliionensensitivität auf. Aufgrund der niedrigen Alkaliionenempfindlichkeit sind die ionenimplantierten Siliciumnitridschichten nur für systematische Untersuchungen bei den theoretischen Studien mit dem 'site-binding' Modell geeignet.

Durch die Natrium- und Aluminium-Koimplantation wurde die pNa- und pK-Empfindlichkeit der Siliciumoxinitridschichten deutlich erhöht. Deren pH-Empfindlichkeit wurde dagegen deutlich erniedrigt. Sowohl die pNa- als auch die pK-Empfindlichkeit waren von dem Sauerstoffgehalt in den Siliciumoxinitridschichten abhängig. Die Natrium und Aluminium koimplantierten Siliciumoxinitridschichten wiesen eine gute Stabilität in wäßriger Lösungen auf, wobei deren pNa- und pK-Empfindlichkeiten vergleichbar mit der der Natrium und Aluminium koimplantierten Siliciumdioxidschichten war. Die Siliciumoxinitridschichten sind deshalb für weitere Untersuchungen für die Optimierung der alkaliionensensitiven Eigenschaften

durch Ionenimplantation geeignet.

Shin, Paik-Kyun

*Development of Alkali-ion and pH-sensitive Layers for Application in Ion-sensitive Field-effect Transistors*

This thesis presents the realization and characterization of alkali ion-sensitive and pH-sensitive layers for application in ion-sensitive field-effect transistors. As sensitive layer, titanium dioxide layers were realized by MOCVD. Silicon dioxide, silicon nitride and three different silicon oxynitride layers were realized by LPCVD. In order to modify the alkali-ion-sensitive properties, boron, phosphorus, sodium, aluminum and cesium ions were implanted into silicon dioxide (HTO), silicon nitride and three different silicon oxynitride layers. The ion sensitive properties were investigated by capacitance-voltage measurement of electrolyte-isolator-silicon structures.

The composition of the silicon oxynitride layers were changed by varying the flow ratio  $\text{NH}_3/\text{N}_2\text{O}$ . The lower the oxygen content, the higher the pH sensitivity of the silicon oxynitride layer. Despite the different composition, the silicon oxynitride layers showed a similar stability of the pH-sensing properties as silicon nitride. The alkali-ion sensitivity of silicon oxynitride layers was dependent on the oxygen content and was between the value of silicon dioxide and that of silicon nitride. Regardless of the oxygen content the alkali-ion selectivity of silicon oxynitride layers was influenced by the nitrogen content.

The titanium dioxide layers were annealed at temperatures between 500°C and 1000°C. While the non-annealed titanium dioxide layer had a lower pH sensitivity than the annealed titanium dioxide layers, its hysteresis was lower than that of annealed titanium dioxide

layers. All the titanium dioxide layers showed no light sensitivity. After a long-term measurement it was discovered that the titanium dioxide layer annealed at 900°C showed only a minor change of the pH-sensing properties.

The boron- and the phosphorus-implanted silicon nitride layers showed no modification of pH sensitivity and only a minor modification of alkali-ion sensitivity. On the other hand, the boron- and cesium-coimplanted silicon nitride layers showed a remarkable modification not only in pH sensitivity but also in alkali-ion sensitivity. Because of their low alkali-ion sensitivity, the ion-implanted silicon nitride layers are suitable only for systematic investigations of theoretical studies of the 'site-binding' model.

By sodium and aluminum coimplantation, the sodium and potassium sensitivity of silicon oxynitride layers increased remarkably. Their pH sensitivity, on the contrary, decreased. Not only the sodium but also the potassium sensitivity were dependent on the oxygen content in the silicon oxynitride layers. The sodium- and aluminum-coimplanted silicon oxynitride layers showed a good stability in liquid solution, where their sodium and potassium sensitivity were comparable to that of sodium- and aluminum-coimplanted silicon dioxide layer. The silicon oxynitride layers are therefore suitable for further investigation for the optimization of alkali-ion sensing properties by ion implantation.

Quian, Feng

### *Entwicklung eines Ultraviolett-Photodetektors und eines kompakten Ozonabsorptionsphotometers*

Ozon ist eine Modifikation des Sauerstoffes mit drei Atomen. Das Vorhandensein von Ozon in der Atmosphäre ist, obwohl nur in geringsten Konzentrationen, entscheidend für unsere Lebensqualität. Heutzutage tauchen die Begriffe Ozon, Ozonloch und Ozonalarm häufig in den Medien Fernsehen, Radio, Zeitung und Internet auf. Die Bedeutung der Überwachung von Veränderungen der Ozonkonzentration ist deutlich erkannt worden, Das Ziel dieser Arbeit ist die Entwicklung eines kompakten Ozonabsorptionsphotometers auf der Basis von Halbleiter-Photodetektoren für weitverbreitete kommerzielle Anwendungen.

Der Schwerpunkt der Arbeit richtet sich zunächst auf die Entwicklung des selektiven Si-verstärkten UV- Photodetektors durch Integrieren eines UV-Bandpaß-Interferenzfilters. Um einen hoch selektiven UV- Photodetektor zu erhalten, werden bei 254 nm zentrierte UV-Bandpaß Interferenzfilter mit Siliciumdioxid, Aluminium und Siliciumnitrid entwickelt. Ein Sechs-Schichten Filter mit einer Bandbreite von 50 nm, eine 34 % Transmission bei einer Wellenlänge von 254 nm wurde durch Sputtern entwickelt. Einige Strukturen der Photodetektoren nämlich Photodiode mit flachem p-n Übergang, doppeltem p-n Übergang und lateralem p-n Übergang, Phototransistor und Photodetektor mit indirekter Kopplung (ICP-indirect-coupling photodetector) wurden mit einem Standard-CMOS-Prozeß und einigen zusätzlichen Prozeßschritten hergestellt. Die Eigenschaften des Photodetektors mit flachem p-n Übergang werden deutlich verbessert. Er hat eine niedrige Sättigungsstromdichte

von  $12 \text{ fA mm}^2$  und seine Empfindlichkeit gegenüber Strahlung von 250 nm beträgt  $0,119 \text{ A/W}$ . Die p-n-p-n Photodiode verwirklicht die Trennung der photogenerierten Ladungsträger in den unterschiedlichen Tiefen des Siliciums und hat eine maximale Empfindlichkeit von  $0,18 \text{ A/W}$  bei einer Wellenlänge von 350 nm. Der Photodetektor mit indirekter Kopplung bestehend aus einem flachen aktiven p-n Übergang und einem n-p-n Transistor hat viele Vorteile gegenüber dem Phototransistor. Er ist empfindlich gegenüber UV-Strahlung aufgrund des flachen aktiven p-n Übergangs. Durch die Anpassung der Kopplungsregion zwischen photoelektrischer Konvertierungsregion und elektrischer Signalausgaberegion hat der ICP Detektor einen niedrigen Dunkelstrom und eine schnelle Antwort.

Ein Prototyp eines kompakten Ozonabsorptionsphotometers wird mit Halbleiter-UV-Photodetektoren entwickelt, um die zunehmende Anforderung zum Messen der Ozonkonzentration in der Atmosphäre zu erfüllen. Der Prototyp besteht aus einer Niederdruckquecksilberlampe, zwei Halbleiter-UV- Photodetektoren und einer optischen Absorptionzelle von 28 Zentimetern. Um den Einfluß von Drift und Veränderung der UV-Strahlung auf die Messung der Ozonkonzentration zu vermeiden, wird der zweite UV-Photodetektor zur Überwachung von Veränderungen der UV-Strahlung benutzt. Die Verwendung eines Verkleinerungsobjektivs und die vorsichtigen Justierung der Lampe und der Detektorstruktur schaffen ähnliche Arbeitsbedingungen für die beiden Detektoren. Die Auflösung des Prototyps des Ozonphotometers kann  $5 \text{ ppb}$  erreichen und der Drift des Instruments liegt im Bereich von  $10 \text{ ppb pro Stunde}$ . Verglichen mit einem elektrochemischen Ozonsensor, verfügt der Ozonphotometer mit kompakter Größe und einfache Struktur über gute Linearität, Wiederholbarkeit und gute Selektivität.

Quian, Feng

*Development of an Ultraviolet Photodetector and a Compact Ozone Absorption Photometer*

Ozone is a modification of oxygen with three atoms. The presence of it in the atmosphere, although only in trace amounts, is of crucial importance for our life quality. Nowadays, ozone, ozone hole, and ozone alarm are three words which often appear in various mediums like TV, radio, newspapers and internet. The importance of monitoring changes of ozone concentration has been clearly recognized. The aim of this thesis is to develop a compact ozone absorption photometer for widespread commercial use by using the solid state UV photodetectors.

The thesis focuses firstly on the development of the selective Si-enhanced UV photodetector by integrating an UV interference band-pass filter. To achieve a highly selective silicon UV photodetector, UV Band-pass interference filters centered at 254 nm are designed with silicon dioxide, aluminum, and silicon nitride. A six-layer filter with a pass band (FWHM) of 50 nm and a 34 % transmittance at a wavelength of 254 nm was prepared by sputtering. Several structures of the photodetectors, namely, shallow p-n junction, double p-n junction, lateral p-n junction photodiode, phototransistor and indirect-coupling photodetector were manufactured using a standard CMOS process and a few additional process steps. The properties of the shallow p-n junction photodetector were improved significantly. It has a low saturation current density of  $12 \text{ fA mm}^2$  and its sensitivity to a radiation of 250 nm reaches 0.119 A/W. The p-n- p-n photodiode realizes the separation of the photo-generated carriers in different depths of silicon successively and has a

peak sensitivity of 0.18 A/W at the wavelength of 350 nm. The indirect-coupling photodetector composed of a shallow active p-n junction and a n-p-n transistor features many advantages over the phototransistor. It is sensitive to UV radiation due to the shallow active p-n junction. Thanks to the adoption of the coupling region between photoelectric conversion region and electric signal output region, the detector features a low dark current and a fast response.

A prototype of a compact ozone absorption photometer is developed with solid-state UV photodetectors to meet the increasing demand of the ozone concentration measurement in the atmosphere. It consists of a low-pressure mercury lamp, two solid-state UV photodetectors, and a 28 cm quartz optical absorption cell. To avoid the influence of drift and variation of the UV emission on the ozone concentration measurement, a second UV detector is introduced to monitor changes of the UV emission. The use of a reduction lens and the careful adjustment of the lamp and detector structure create similar working conditions for the two detectors. The resolution of the compact ozone photometer reaches 5 ppb and the drift of the instrument is in the range of 10 ppb per hour. Compared to an electrochemical ozone sensor, the ozone photometer with compact size and simple structure features good linearity, repeatability and good selectivity.

## Publikationen Publications

Herausgegebene Bücher / Buchbeiträge

Edited Books / Contributions to Books

Lorenz, J.:  
*Diskretisierung und Gittergeneration für die mehrdimensionale Simulation von Implantation und Diffusion*  
Erlanger Berichte Mikroelektronik, Band 4/2000, Hrsg. H. Ryssel, Shaker Verlag, Aachen, 2000

Pfützner, L., Bügler, J.:  
*Organic Contamination Workshop, Proceedings 2000*  
Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, 2000

Qian, F.:  
*Development of an Ultraviolet Photodetector and a Compact Ozone Absorption Photometer*  
Erlanger Berichte Mikroelektronik, Band 2/2000 Hrsg. H. Ryssel, Shaker Verlag Aachen, 2000

Roberge, S., Ryssel, H., Frey, L.:  
*Safety Considerations for Ion Implanters*  
IIT School, Ed. J.F. Ziegler, Ion Implantation Technology Co., Edgewater, 2000

Ryssel, H., Current, M., Frey, L.:  
*Contamination Control for Ion Implantation*  
IIT School, Ed. J.F. Ziegler, Ion Implantation Technology Co., Edgewater, 2000

Stief, R.:  
*Dotierung von 4H-SiC durch Ionenimplantation*  
Erlanger Berichte Mikroelektronik, Band 1/2000 Hrsg. H. Ryssel, Shaker Verlag Aachen, 2000

Tietzel, K.:  
*Dreidimensionale analytische Simulation der Ionenimplantation*  
Erlanger Berichte Mikroelektronik, Band 3/2000 Hrsg. H. Ryssel, Shaker Verlag

Aachen, 2000

Publikationen  
Publications

Backofen, R., Kurz, M., Müller, G.:  
*Process Modelling of the Industrial VGF Crystal Growth Process Using the Software Package CrystVUN++*  
J. Cryst. Growth 211, 202 (2000)

Bär, E., Lorenz, J., Ryssel, H.:  
*3D Simulation of the Conformality of Copper Layers Deposited by Low-Pressure Chemical Vapor Deposition from Cu(tmvs)(hfac)*  
Microelectronic Engineering 50, 481 (2000)

Bär, E., Lorenz, J.:  
*Control and Improvement of Surface Triangulation for Three-dimensional Process Simulation*  
IEICE Trans. Electronics E83-C, 1338 (2000)

Beichele, M., Bauer, A.J., Ryssel, H.:  
*Reliability of Ultra-thin N2O-nitrided Oxides Grown by RTP under Low Pressure and in Different Gas Atmospheres*  
Microelectronics Reliability 40, 4-5, 723 (2000)

Benesch N., Hettwer A., Schneider C., Pfützner L., Ryssel H., Broermann O., Marx E., Tegeder V.:  
*Phi-Scatterometry for On-line Process Control"*  
AEC/APC Symposium XII, Lake Tahoe, Nevada, 23. September (2000)

Birkmann, B., Rasp, M., Stenzenberger, J., Müller, G.:  
*Growth of 3" and 4" Gallium Arsenide Crystals by the Vertical Gradient Freeze (VGF) Method*  
J. Cryst. Growth 211, 157 (2000)

Boit, C., Dawes, N., Dziesiaty, A., Demm, E., Ebersberger, B., Frey, L.,

Geyer, S., Hirsch, A., Lehrer, C., Meis, P., Kamolz, M., Lezec, H., Rettenmaier, H., Tittes, W., Treichler, R., Weiland, R., Zimmermann, H.:  
*Wafer Conserving Full Range Construction Analysis for IC Fabrication and Process Development based on FIB/ Dual Beam Inline Application*  
International Symposium for Testing and Failure Analysis (ISTFA 2000), 14. - 15. November 2000, Seattle, WA, USA

Burenkov, A., Tietzel, K., Hössinger, A., Lorenz, J., Ryssel, H., Selberherr, S.:  
*A Computationally Efficient Method for Three-dimensional Simulation of Ion Implantation*  
IEICE Trans. Electronics E83-C, 1259 (2000)

Burenkov, A., Tietzel, K., Lorenz, J.:  
*Optimization of 0.18 µm CMOS Devices by Coupled Process and Device Simulation*  
Solid-State Electronics 44, 767 (2000)

Erdmann, A., Friedrich, C.:  
*Rigorous Diffraction Analysis for Future Mask Technology*  
Proc. SPIE 4000, 684 (2000)

Erdmann, A., Gordon, R., McCallum, M., Rosenbusch, A.:  
*3D Electromagnetic Field Simulation for Low-k<sub>1</sub> Lithography Applications*  
Microlithography World, Winter Issue (2000)

Falster, R., Voronkov, V.V., Quast, F.:  
*On the Properties of the Intrinsic Point Defects in Silicon: A Perspective from Crystal Growth and Wafer Processing*  
Physica status solidi B 222, 219 (2000)

Fischer, B., Friedrich, J., Hilburger, U., Müller, G.:  
*Systematic Study of Buoyant Flows in Vertical Melt Cylinders under the Influence of Rotating Magnetic Fields*  
Proc. EPM2000, Nagoya, Japan, 497 (2000)

- Frank, Ch., Jacob, K., Neubert, M., Rudolph, P., Fainberg, J., Müller, G.: *Temperature Field Simulation and Correlation to the Structural Quality of Semi-insulating GaAs Crystals Grown by the Vapour Pressure Controlled Czochralski Method (VCz)* J. Cryst. Growth 213, 10 (2000)
- Frickinger, J., Bügler, J., Zielonka, G., Pfitzner, L., Ryssel, H., Hollemann, S., Schneider, H.: *Reducing Airborne Molecular Contamination by Efficient Purging of FOUPs for 300 mm Wafers - The Influence of Material Properties* IEEE Trans. on Semicond. Manuf., 13, 427 (2000)
- Friedrich, C., Mader, L., Erdmann, A., List, S., Gordon, R., Kalus, C., Griesinger, U., Pforr, R., Mathumi, J., Ruhl, G., Maurer, W.: *Optimizing Edge Topography of Alternating Phase Shift Masks using Rigorous Mask Modeling* Proc. SPIE 4000, 1323 (2000)
- Friedrich, J., Fischer, B., Gräbner, O., Vizman, D., Müller, G.: *High Performance Computing for the Analysis of the Influence of Steady Magnetic Fields on Convective Heat Transfer in Czochralski Melts: Comparison to Experimental Results* Proc. 4th Int. PAMIR Conference, Presqu'île de Giens, France 239 (2000)
- Herden, M., Bauer, A.J., Ryssel, H.: *Suppression of Boron Penetration through Thin Gate Oxides by Nitrogen Implantation into the Gate Electrode of PMOS Devices* Microelectronics Reliability 40, 4-5, 633 (2000)
- Jank, M.P.M., Lemberger, M., Bauer, A.J., Frey, L., Ryssel, H.: *Electrical Reliability Aspects of through the Gate Implanted MOS-Structures with Thin Oxides* 11<sup>th</sup> Workshop on Dielectrics in Microelectronics (WoDiM), 13.-15. November 2000, München
- Kurz, M., Müller, G.: *Control of Thermal Conditions during Crystal Growth by Inverse Modelling* J. Cryst. Growth, 208, 341 (2000)
- Krause, O., Pichler, P., Ryssel, H.: *Modeling of Intrinsic Aluminum Diffusion for Future Power Devices* Proc. 30<sup>th</sup> European Solid-State Device Research Conference (ESSDERC 2000), Ed. W.A. Lane, G.M. Crean, F.A. McCabe, H. Grünbacher, Frontier Group, 176 (2000)
- März, M., Nance P.: *Thermal Modelling of Power Electronic Systems*, PCIM Europe, 2 20 (2000)
- Meyer, R., Schönweiß, R., Ryssel, H.: *Aus Forschung und Technik - Arbeitsfeld und Aufgaben des Technikers am Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen* in: 90 Jahre Rudolf-Diesel-Fachschule, Juni 2000
- Mu, Y., Burenkov, A., Ryssel, H., Xia, Y., Mei, L.: *Charge State Dependence of Stopping Power for Light Ions Penetrating Thin Carbon Foils at Low Velocity* Nucl. Instr. Methods Phys. Research B164-165, 272 (2000)
- Öchsner R., Tschafartary T., Sommer S., Pfitzner L., Ryssel H., Gerath H., Baier C., Hafner M.: *Feed-Forward Control for a Lithography/Etch Sequence* Process Control and Diagnostics, Ed. M. Miller, K. Ashtiani, Proceedings of SPIE Vol. 4182 (2000)
- Quast, F., Pichler, P., Ryssel, H., Falster, R.: *Vacancy-Nitrogen Complexes in Float-Zone Silicon* In: High Purity Silicon VI, Ed. C.L. Claeys, P. Rai-Choudhury, M. Watanabe, P. Stallhofer, H.J. Dawson, The Electrochemical Society, Pennington, 156 (2000)
- Roeder, G., v. Andrian-Werburg, M., Schneider C., Becher S., John, P., Vatel, O., Tampe, A., Tegeder, V.: *Advanced Process Control for in Situ-Chamber Clean Processes* Advanced Equipment Control / Advanced Process Control (AEC/APC) Workshop Europe - Dresden, Germany, March 30 - 31 (2000)
- Roeder, G., v. Andrian-Werburg, M., Schneider C., Becher S., John, P., Vatel, O., Tampe, A., Tegeder, V.: *Advanced Endpoint Detection for in Situ-Chamber Clean Processes* European IEEE/SEMI Manufacturing Conference, April 3, Munich, Germany (2000)
- Roeder, G., v. Andrian-Werburg, M., Tschafartary, T., Schneider, C., Pfitzner, L., Ryssel, H., John, P., Tegeder, V.: *In-Production Monitoring and Control of in Situ-Chamber Clean Processes* AEC/APC Symposium XII, Lake Tahoe, Nevada, September 23 - 28 (2000)
- Rosenbusch, A., Erdmann, A., Friedrich, C.: *Optical Simulation of 3D Mask Defects* Semiconductor FABTECH, 12<sup>th</sup> Edition, 187 (2000)
- Ryssel, H., Schneider, C.: *The Difficult Transition to 300 mm Technology* Productronics, VDMA-Verlag, Frankfurt, 2000

- Vizman, D., Friedrich, J., Müller, G.:  
*Three Dimensional Numerical Simulation of Thermal Convection in a Czochralski Melt*  
Ed. B. Sunden and C.A. Brebbia, Advanced Computational Methods in Heat Transfer VI, 137 (2000)
- Vizman, D., Fischer, B., Friedrich, J., Müller, G.:  
*3D Numerical Simulation of Melt Flow in the Presence of a Rotating Magnetic Field*  
Int. J. Num. Meth. Heat Fluid Flow 10, 366 (2000)
- Švorcik, V., Walachová, K., Prošková, K., Dvoánková, B., Vogtová, D., Öchsner, R., Ryssel, H.:  
*Adhesion and Proliferation of Keratinocytes on Ion Beam Modified Polyethylene*  
Journal of Materials Science: Materials in Medicine 11, 655 (2000)
- Yavas, O., Ochiai, C., Takai, M., Park, Y.K., Lehrer, C., Lipp, S., Frey, L., Ryssel, H., Hosono, A., Okuda, S.:  
*Field Emitter Array Fabricated Using Focused Ion and Electron Beam Induced Reaction*  
J. Vac. Sci. Technol. B, 18/2, 976 (2000)
- Vorträge  
Presentations
- Beichele, M., Bauer, A.J., Ryssel, H.:  
*Reliability of Ultra Thin Nitrided Oxides Grown in Low Pressure N<sub>2</sub>O Ambient*  
11<sup>th</sup> Workshop on Dielectrics in Microelectronics (WoDiM), 13. - 15. November 2000, Forum Hotel, München
- Bügler, J.  
*„Airborne Organic Molecular Contamination“*  
IEST Conference 2000, Annual Technical Meeting, Providence, USA, 4. Mai 2000
- Erdmann, A., Friedrich, C.:  
*Rigorous Diffraction Analysis for Future Mask Technology*  
SPIE Symposium on Microlithography, Santa Clara (USA), Februar/März 2000
- Erdmann, A.:  
*Simulation of Optical Lithography with SOLID*  
Vorträge bei Numeritech (San Jose, USA), Philips SMST (Stuttgart), Universität Siegen, Universität Erlangen, 2000
- Fischer, B., Friedrich, J., Hilburger, U., Müller, G.:  
*Systematic Study of Buoyant Flows in Vertical Melt Cylinders under the Influence of Rotating Magnetic Fields*  
3<sup>d</sup> Int. Symp. on Electromagnetic Processing of Materials (EPM2000), Nagoya, Japan, 3. - 6. April 2000
- Frickinger, J.:  
*Applied Research towards Improved Cleanliness in Equipment & Materials*  
IEEE Konferenz, Semicon Europa 2000, 3. April 2000
- Frickinger, J.:  
*Extending High Accuracy Analytical Probing to 300 mm Wafers*
- Semiconductor Equipment Assessment (SEA) Konferenz, Semicon Europa 2000, 4. April 2000
- Frickinger, J.:  
*Monitoring Ionic and Particulate Contamination in Minienvironments*  
SEMI International Environmental Contamination Task Force, Semicon Europa 2000, 5. April 2000
- Frickinger, J.:  
*Final Assessment Report on the Evaluation of a 300 mm Wafer Prober within a European SEA Project*  
International Sematech ISMT Meeting, 15. Mai 2000
- Frickinger, J.:  
*Carrier Evaluation with Respect to Airborne Molecular Contamination*  
International Sematech Factory Productivity Working Group Meeting, 27. Juni 2000
- Frickinger, J.:  
*Carrier Evaluation with Respect to Cleaning Efficiency of Carrier Cleaning Tools and Cleanability of Carriers*  
International Sematech Factory Productivity Working Group Meeting, 27. Juni 2000
- Frickinger, J.:  
*Focal Areas of Applied Research at Fraunhofer IIS-B with Respect to Minienvironments*  
International Sematech Factory Productivity Working Group Meeting, 27. Juni 2000
- Frickinger, J.:  
*SEMI Standards for Contamination Control in Minienvironments*  
Semicon West 2000 SEMI International Environmental Contamination Task Force, 12. Juli 2000

- Frickinger, J.:  
*Ballot Review of SEMI Documents on Contamination Control in Minienvironments*  
Semicon Southwest 2000, SEMI International Environmental Contamination Task Force, 16. Oktober 2000
- Frickinger, J.:  
*Final Report on Carrier Evaluation with Respect to Airborne Molecular Contamination*  
International Sematech Factory Productivity Working Group Meeting, 2. November 2000
- Frickinger, J.:  
*Interim Report on Carrier Evaluation with Respect to Cleaning Efficiency of Carrier Cleaning Tools and Cleanability of Carriers*  
International Sematech Factory Productivity Working Group Meeting, 2. November 2000
- Frickinger, J.:  
*Revised SEMI Document on Monitoring Ionic Contamination in Minienvironments*  
Semicon Japan 2000 SEMI International Environmental Contamination Task Force, 6. Dezember 2000
- Frickinger, J.:  
*SEMI International Environmental Contamination Task Force - Standard Activity Report*  
SEMI STEP Meeting: Contamination Control in Minienvironments, Semicon Japan 2000, 7. Dezember 2000
- Friedrich, J., Fischer, B., Gräbner, O., Vizman, D., Müller, G.:  
*High Performance Computing for the Analysis of the Influence of Steady Magnetic Fields on Convective Heat Transfer in Czochralski Melts: Comparison to Experimental Results*  
Fourth Int. PAMIR Conference on Magnetohydrodynamic at Dawn of Third Millenium, Presqu'ile de Giens, France, 18. - 22. September 2000
- Friedrich, J., Fischer, B., Gräbner, O., Vizman, D., Müller, G.:  
*High Performance Computing for the Analysis of the Influence of Steady and Time-dependent Magnetic Fields on Convective Heat Transfer in Czochralski Melts: Comparison to Experimental Results*  
Presentation at 4<sup>th</sup> Int. PAMIR Conference, Presqu'ile de Giens, 18. - 22. September 2000
- Friedrich, J., Gräbner, O., Fischer, B., Vizman, D., Müller, G.:  
*Influence of Magnetic Fields on Convection in Czochralski Melts: Experimental and Numerical Results*  
Presentation at ICTAM 2000, EPM Symp., Chicago, 27. August - 2. September 2000
- Friedrich, J.:  
*Untersuchungen zum Wärme- und Stofftransport beim 300 mm-Si-Czochralski - Verfahren*  
Invited Presentation at Kolloquium zur Halbleitertechnologie und Meßtechnik, IIS-B, Erlangen 10. Juli 2000
- Friedrich, J.:  
*Optimierung von Kristallzüchtungsprozessen mit Hilfe von Modell-experimenten und numerischer Simulation*  
Invited Presentation at Crystallographic Seminar, University Freiburg 4. Juli 2000
- Friedrich, J., Backofen, R., Müller, G.:  
*Numerical Simulation of Grain Structure and Global Heat Transport during Solidification of Technical Alloys in MSL Inserts under Diffusive Conditions*  
Presentation at COSPAR 2000, Warsaw, 17. - 19. Juli 2000
- Friedrich, J., Müller, G.:  
*Numerical Modelling of MSL - Furnaces and Solidification Processes in the MSL: Requirements on Models/Software, Possibilities in Erlangen*  
Presentation at Int. Workshop on Modelling of MSL Furnaces, MUSC (DLR), Köln, 13. Juni 2000
- Friedrich, J.:  
*Microstructure Formation during Casting of Technical Alloys under Diffusive and Magnetically Controlled Convective Conditions*  
Presentation at ESA's Material Sciences Projects Coordination Meeting in Noordwijk, 16. - 17. Februar 2000
- Friedrich, C., Mader, L., Erdmann, A., List, S., Gordon, R., Kalus, C., Griesinger, U., Pforr, R., Mathumi, J., Ruhl, G., Maurer, W.:  
*Optimizing Edge Topography of Alternating Phase Shift Masks Using Rigorous Mask Modeling*  
SPIE Symposium on Microlithography, Februar/März 2000, Santa Clara (USA)
- Funk, K., Häublein, V., Chakor, H., Ameen, M., Frey, L., Ryssel, H., Ramirez, A.:  
*Investigation of Molybdenum Contamination in 11B+ and 31P+ Implants*  
XIII<sup>th</sup> International Conference on Ion Implantation Technology (IIT 2000), 17. - 22. September 2000, Alpbach, Österreich.
- Häublein, V., Weiß, R., Frey, L., Ryssel, H.:  
*Monte Carlo Simulation and Modeling of Ion Implantation Induced Contamination Profiles*  
XIII<sup>th</sup> International Conference on Ion Implantation Technology (IIT 2000), 17. - 22. September 2000, Alpbach, Österreich
- Hainke, M., Müller, G.:  
*Equipment and Process Modeling of Industrial Crystal Growth Using the Fi-*

- nite Volume Codes CrysVUN++ and STHAMAS*  
ECMI2000, Palermo, Italy, 25. - 30. September 2000
- Hainke, M., Müller, G.:  
*Equipment and Process Modeling of Industrial Crystal Growth Using the Finite Volume Codes CrysVUN++ and STHAMAS*  
"Junior-Euromat", Lausanne, Schweiz, 28. Aug. - 2. September 2000
- Hainke, M., Müller, G.:  
*Equipment and Process Modeling of Industrial Crystal Growth Using the Finite Volume Codes CrysVUN++ and STHAMAS*  
"SIM2000", Modeling of Casting, Welding and Advanced Solidification Processes IX, Aachen, 20. - 25. August 2000,
- Jank, M.P.M., Lemberger, M., Frey, L., Ryssel, H.:  
*Gate Oxide Damage Due to through the Gate Implantation in MOS-Structures with Ultrathin and Standard Oxides*  
XIII<sup>th</sup> International Conference on Ion Implantation Technology (IIT 2000), 17. - 22. September 2000, Alpbach, Österreich
- Jank, M.P.M., Lemberger, M., Bauer, A.J., Frey, L., Ryssel, H.:  
*Electrical Reliability Aspects of through the Gate Implanted MOS-Structures with Thin Oxides*  
11<sup>th</sup> Workshop on Dielectrics in Microelectronics (WoDiM), 13. - 15- November in Forum Hotel, München
- Kalus, C., List, S., Schmöller, T., Erdmann, A., Gordon, R., McCallum, M., Semmler, A.:  
*Benchmarking of Available Rigorous Electromagnetic Field (EMF) Simulators for Phase-shift Mask Applications*  
Micro- and Nano-Engineering 2000, September 2000, Jena
- Kröner, F., Schork, R., Taggruber, M., Frey, L., Burenkov, A., Ryssel, H.:  
*Phosphorus Ion Shower Implantation for Special Power IC Applications*  
13<sup>th</sup> International Conference on Ion Implantation Technology (IIT 2000), 17. - 22. September 2000, Alpbach, Österreich
- Krause, O., Pichler, P., Ryssel, H.:  
*Modeling of Intrinsic Aluminum Diffusion for Future Power Devices*  
30<sup>th</sup> European Solid-State Device Research Conference (ESSDERC 2000), 11. - 13. September 2000, Cork, Irland
- Krause, O., Pichler, P., Ryssel, H.:  
*Aluminiumdiffusion in Silicium*  
Berichtskolloquium der DFG zum DFG-Schwerpunktprogramm "Halbleitersbauelemente hoher Leistung", 5. Oktober 2000, Karlsruhe
- Kröner, F., Schork, R., Frey, L., Ryssel H.:  
*Phosphorus Ion Shower Implantation for Special Power IC Application*  
XIII<sup>th</sup> International Conference on Ion Implantation Technology (IIT 2000), 17. - 22. September 2000, Alpbach, Österreich
- Lehrer, C., Frey, L., Takai, M., Ryssel, H.:  
*Defects and Gallium-Contamination during Focused Ion Beam Micro Machining*  
XIII<sup>th</sup> International Conference on Ion Implantation Technology (IIT 2000), 17. - 22. September 2000, Alpbach, Österreich
- Müller, G.:  
*Numerische Simulation von industriellen Kristallzüchtungsprozessen*, Kolloquium des Caesar Institutes, 10. Februar 2000
- Müller, G.  
*Computer Simulation of Melt Growth Processes*
- ISCGT2 , Zao (Japan) Aug. 25 - 29 2000
- Nutsch, A.:  
*Kontaminationsanalytik für 300 mm-Wafer*  
Präsentation bei Atomika Instruments GmbH, Oberschleißheim, 15. Februar 2000
- Nutsch, A.:  
*Spurenanalytik mit Siliciumscheiben*  
GMM-Workshop, FhG IIS-B, Erlangen, 24. Februar 2000
- Nutsch, A.:  
*Trace Analysis for 300 mm Wafers and Processes with TXRF*  
8<sup>th</sup> Conference on Total Reflection X-Ray Fluorescence Analysis and Related Methods, TXRF 2000, Atom-institut, Wien, 28. September 2000
- Öchsner, R.:  
*Examples for Advanced Semiconductor Manufacturing Technique*  
Präsentation bei AMD, 8. März 2000, Dresden
- Öchsner, R.:  
*Fertigungstechnik am IIS-B*  
Präsentation für NFT, 10. März 2000, Erlangen
- Öchsner, R.:  
*Kommunikation in der Halbleiterfertigungstechnik*  
Präsentation für Nanophotonics, 30. Mai 2000, Erlangen
- Öchsner, R.:  
*Data Mining*  
Präsentation für AMD 8. Juni 2000, Erlangen
- Öchsner, R.:  
*Vorstellung der Schwerpunktthemen für neue Forschungsbereiche*  
Präsentation im Rahmen der GMM FA 6.1 - Fachausschußsitzung, 9. August 2000, Erlangen

- Öchsner, R.:  
*Feed-Forward Control for a Lithography/Etch Sequence*  
Präsentation auf der SPIE-Conference, Process Control and Diagnostics, 18. - 19. September 2000, Santa Clara, USA
- Öchsner, R.:  
*Aktivitäten im Bereich Fertigungstechnik am IIS-B*  
Präsentation für AMS, 23. November 2000, Graz, Österreich
- Öchsner, R.:  
*Aktivitäten im Bereich Halbleiterfertigungstechnik*  
Vortrag im Rahmen des MIT, 9. Juni 2000, Erlangen
- Pichler, P.:  
*Introduction, Overview und Generation of Point Defects*  
Vorträge auf dem Review Meeting des EU-Projektes RAPID, 21. Juni 2000, Erlangen.
- Quast, F., Pichler, P., Ryssel, H., Falster, R.:  
*Vacancy-Nitrogen Complexes in Float-Zone Silicon*  
198<sup>th</sup> Meeting of The Electrochemical Society, 22. - 27. Oktober 2000, Phoenix (USA)
- Roberge, S., Ryssel, H., Frey, L.:  
*Safety Considerations for Ion Implanters*  
IIT School, XIII<sup>th</sup> International Conference on Ion Implantation Technology (IIT 2000), 17. - 22. September 2000, Alpbach, Österreich
- Roeder, G., Benesch, N., Öchsner, R., Schellenberger, M., Schmidt, C., Trunk, R., Tschafary, T., Waller, R., Ziegler, J., Schneider, C.:  
*AEC/APC-Lösungen für die Meßtechnikintegration und Prozeßkontrolle*  
2. GMM-Workshop, 29. Juni 2000, Erlangen FhG IIS-B
- Roeder, G.:  
*Integrated Measurement Task Force - Film Thickness Measurement Group*  
IMTF Meeting Semicon, Sentech, Berlin, 18. September 2000
- Roeder, G.:  
*Integrated Measurement Task Force - Film Thickness Measurement Group*  
IMTF Meeting Semicon, SEMI Europe Standards Fall Conference, 26. Oktober 2000, Dresden
- Roeder, G.:  
*Forschungsthemen im Bereich der in situ-Meßtechnik und Geräteautomatisierung*  
MIT-Treffen, Erlangen, 9. Juni 2000
- Roeder, G.:  
*BMBF-Projekt: Prozesse und Equipment für 300 mm-Wafer, Topic3: Entwicklung, Implementierung und Test einer Endpunkterkennung für die Reinigung von Prozeßkammern bei Abscheideanlagen*  
Präsentation der Projektergebnisse bei Infineon Technologies SC300, 7. Dezember 2000, Dresden
- Ryssel, H., Current, M.I., Frey, L.:  
*Contamination Control for Ion Implantation*  
IIT School, XIII<sup>th</sup> International Conference on Ion Implantation Technology (IIT 2000), 17. - 22. September 2000, Alpbach, Österreich
- Ryssel, H.:  
*Diffusion*  
Silicon Processing for ULSI Circuit Fabrication (IMEC short course), 23. - 26. Oktober 2000, Leuven, Belgien
- Ryssel, H.:  
*Ion Implantation*  
Silicon Processing for ULSI Circuit Fabrication (IMEC short course), 23. - 26. Oktober 2000, Leuven, Belgien
- Schellenberger, M., Schneider C., Pfitzner L., Ryssel H., Uhl, H., Mauer-mann H., Rauch H.:  
*Modular Control Architecture for Integrated Metrology*  
AEC/APC Symposium XII, Lake Tahoe, Nevada, 23. September 2000
- Schmidt C.:  
*Hector 300 - Deposition of High-k Material*  
MFA-MTA, KFKI Budapest, 6. November 2000
- Schneider, C.:  
*Update on AEC/APC Workshop Europe Luncheon Talk at AEC/APC Symposium XII, Lake Tahoe, Nevada, 29. September 2000*
- Schneider C.:  
*Status Report of IIS-B*  
Hector-300 Review Meeting, Erlangen, 6. Juli 2000
- Schneider, C.:  
*Integrierte Metrologie und Prozeßkontrolle*  
15 Jahre IIS-B: 300 mm- und Nanometer-Technologien, Erlangen, 13. Oktober 2000
- Schneider, C.:  
*Research Group Integrated Metrology at IIS-B*  
Medea + Diamant Preparation Meeting, München, 9. August 2000
- Schneider, C.:  
*Arbeitsschwerpunkte der Gruppen Geräteautomatisierung/Fertigungstechnik*  
MIT-Treffen, Erlangen, 9. Juni 2000
- Schneider, C.:  
*Advanced Process/Equipment Control at IIS-B - Research Group Integrated Metrology*  
Presentation at AMD Dresden, 8. März 2000

- Schneider, C.:  
*Update on APC Activities at IIS-B*  
Presentation at AMD, Austin, 14. Juli 2000
- Schneider, C.:  
*Integrated Measurement Task Force - Film Thickness Measurement Group*  
IMTF Meeting Semicon, München, 4. April 2000
- Schneider, C.:  
*Integrated Measurement Task Force - Film Thickness Measurement Group*  
IMTF Meeting SOPRA Paris, 26. Mai 2000
- Schneider, C.:  
*SEMI IMTF Europe*  
IMA Meeting, San Francisco, 12. Juli 2000
- Stiebel, D., Burenkov, A., Pichler, P., Cristiano, F., Claverie, A., Ryssel, H.:  
*Modeling the Amorphization of Si due to the Implantation of As, Ge, and Si*  
13<sup>th</sup> International Conference on Ion Implantation Technology (IIT 2000), 17. - 22. September 2000, Alpbach, Österreich
- Stiebel, D., Pichler, P., Cowern, N.E.B., Ryssel, H.:  
*Modeling Boron Activation and Diffusion in the Presence of {113}-Defects and Boron-Interstitial Complexes*  
2000 International Conference on Simulation of Semiconductor Processes and Devices (SISPAD 2000), 6. - 8. September 2000, Seattle, USA
- Strobel, S., Bauer, A.J., Beichele, M., Ryssel, H.:  
*Suppression of Boron Penetration through thin Gate Oxides by Nitrogen Implantation into the Gate Electrode or by Nitridation of the Gate Oxide*  
11<sup>th</sup> Workshop on Dielectrics in Microelectronics (WoDiM), 13. - 15. November 2000, Forum Hotel, München
- Tajjima, J., Park, Y.K., Takazawa, Y., Fujita, M., Takai, M., Schork, R., Frey, L., Ryssel, H.:  
*Enhanced Depth-Resolution Analysis with Medium Energy Ion Scattering (MEIS) for Shallow Junction Profiling*  
XIII<sup>th</sup> International Conference on Ion Implantation Technology (IIT 2000), 17. - 22. September 2000, Alpbach, Österreich
- Tschafary, T. :  
*Optimizing Semiconductor Manufacturing*  
Präsentation für Infineon, 07. Juni 2000, Regensburg
- Tschafary, T. :  
*Neue Monitoringverfahren für Fertigungen mit breitem Produktspektrum*  
Präsentation für Applied Materials, 12. Oktober 2000, Erlangen
- Tschafary, T. :  
*Konzeption eines PPS-Systems zur Einzelscheibenverfolgung*  
Präsentation für die Firma Isiltec, 24. Februar 2000, Erlangen
- Waller R., Ziegler J.:  
*Schichtdickenmeßverfahren in der Prozeßkammer*  
Semiconductor 300, Dresden, 10. Juli 2000
- Vizman, D., Friedrich, J., Müller, G.:  
*Comparison of the Predictions from 3D Numerical Simulation with Temperature Distributions Measured in Si Czochralski Melts under the Influence of Different Magnetic Fields*  
Presentation at 3<sup>rd</sup> Workshop on Modeling in Crystal Growth, Stony Brook, 17. - 20. August 2000
- Wehrhan, G., Mörsen, E., Reichard, T., Degenhardt, A., Friedrich, J.:  
*Konzeption, Bau und Erprobung einer Kristallzuchtungsanlage für die industrielle Fertigung von CaF<sub>2</sub> - Kristallen für die DUV Lithographie*
- Presentation at DGKK Jahrestagung, 20. - 22. März 2000

Studienarbeiten  
Theses

Strobel, Silviu

*Vergleichende Untersuchungen des anisotropen Ätzens von Silicium mit KOH, TMAH und Cholin*

Betreuer / Supervisor: Kühnhold, R.

Lemberger, Martin

*Optimierung des Reinigungsverfahrens "Standard Clean 1" (SC1)*

Betreuer / Supervisor: Frey, L.

Baldreich, Holger

*Optimierung einer Meßanordnung zur Erfassung optischer Beugungssignaturen bei periodischen sub-Mikrometerstrukturen*

Betreuer / Supervisor: Benesch, N., Hettwer, A.

Reimann, Christian

*Entwicklung einer Online-Überwachung von Halbleiterfertigungsgeräten*

Betreuer / Supervisor: Tschafarty, T., Öchsner, R.

Vogl, Andreas

*Elektrische Charakterisierung von mit MOCVD abgeschiedenen Titandioxidschichten auf der Basis von verschiedenen Precursoren*

Betreuer / Supervisor: Leistner, T.

Diplomarbeiten  
Diploma Theses

Birnthaler, Robert

*Konzipierung einer dynamischen Prozeßsteuerung für die Halbleiterfertigung*

Betreuer / Supervisor: Tschafarty, T., Öchsner, R.

Pfeffer, Markus

*Simulation des Einflusses von integrierter Meßtechnik auf Kenngrößen von Halbleiterfertigungsgeräten*

Betreuer / Supervisor: Tschafarty, T., Öchsner, R.

Zhao, Zhihuan

*Maschinenkonzept für ein Verfahren zur Herstellung von Leiterplatten mit Laserdirektbelichtung*

Betreuer / Supervisor: Christoph, F. (FAPS)

Immel, Regina

*Entwicklung und Vergleich von Kostenmodellen zur Bewertung der Integration von Meßtechnik in Halbleiterfertigungsgeräten*

Betreuer / Supervisor: Tschafarty, T., Öchsner, R.

Walter, Thomas

*Entwicklung einer modularen Geräteanbindung zur Steuerung und automatisiertem Datenaustausch*

Betreuer / Supervisor: Tschafarty, T., Öchsner, R.

Strobel, Silviu

*Untersuchung von Bordiffusion bei dünnen nitridierten Oxiden*

Betreuer / Supervisor: Beichele, M.

Lemberger, Martin

*Auswirkungen der Ionenimplantation durch die Gateelektrode auf die elektrischen Eigenschaften und die Zuverlässigkeit von MOS-Strukturen*

Betreuer / Supervisor: Jank., M.