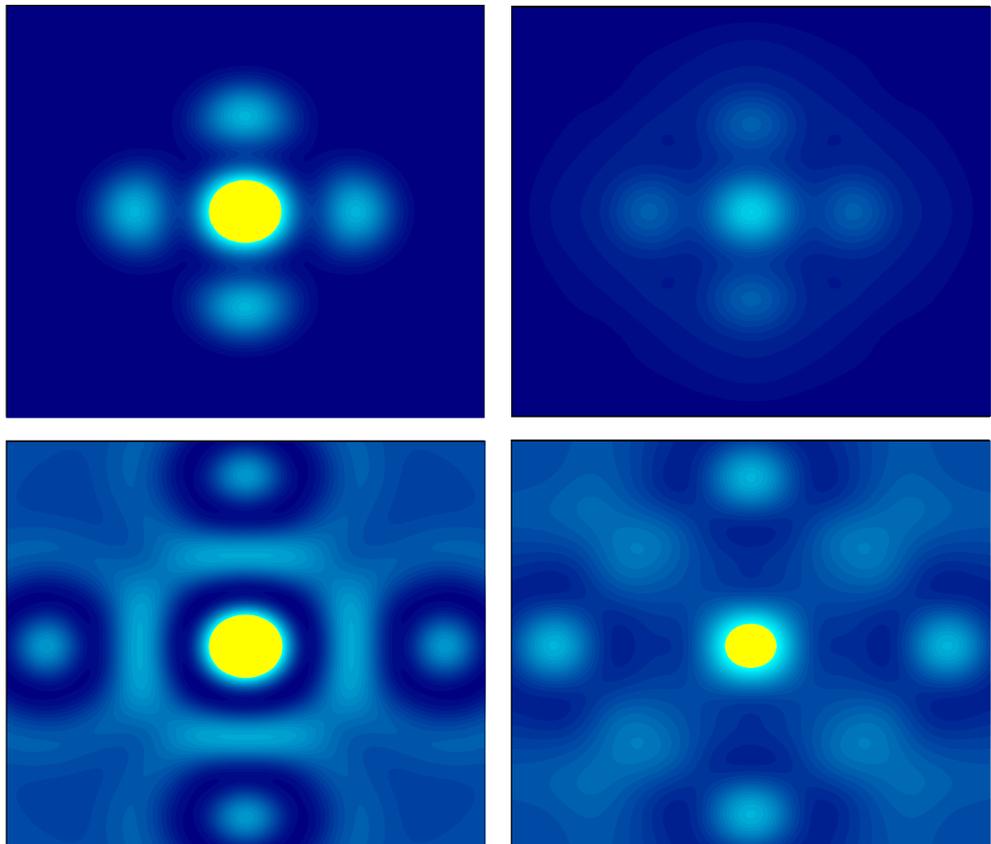




Fraunhofer Institut
Integrierte Systeme und
Bauelementetechnologie

**Leistungen und Ergebnisse
Jahresbericht 2003**

**Achievements and Results
Annual Report 2003**




Impressum / Imprint**Herausgeber / Published by:**

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

Redaktion / Editing:

Richard Öchsner
Heiner Ryssel

**Gestaltung und Realisierung/
Layout and Setting:****Layout and Setting:**

Markus Pfeffer
Richard Öchsner
Felicitas Coenen

Druck / Printed by:

Roland Heßler, Baiersdorf

Titelbild / Cover Photo:

Lithographie-Simulation: Intensitätsverteilung für eine Binärmaske (obere zwei Bilder, links bester Fokus, rechts 400 nm Defokus) und für eine teildurchlässige Phasenverschiebungsmaske (untere zwei Bilder, links bester Fokus, rechts 400 nm Defokus);

Lithography simulation: intensity distribution for a binary mask (upper two figures, left best focus, right 400 nm defocus) and for an attenuated phase shift mask (lower two figures, left best focus, right 400 nm defocus).

© Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen, Erlangen 2004

Alle Rechte vorbehalten. Nachdruck nur mit Genehmigung des Instituts.

All Rights reserved. Reproduction only with express written authorization.

Leistungen und Ergebnisse
Jahresbericht 2003

Achievements and Results
Annual Report 2003

Fraunhofer-Institut für
Integrierte Systeme und
Bauelementetechnologie, IISB

Fraunhofer Institute of
Integrated Systems and
Device Technology, IISB

Institutsleitung / Director:
Prof. Heiner Ryssel

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

Vorwort

Das IISB blickt auf das erste Jahr seiner nun auch formellen Eigenständigkeit mit dem seit 01.01.2003 gültigen neuen Institutsnamen *Fraunhofer-Institut für Integrierte Systeme und Bauelementetechnologie* zurück.

Das Institut konnte das Jahr 2003 sowohl in wissenschaftlicher als auch in wirtschaftlicher Hinsicht wieder sehr erfolgreich abschließen und damit den bisherigen Trend fortsetzen. Trotz der Krise in der Halbleiterindustrie konnten Personalstand und Haushalt weiter gesteigert und ein hoher Industrieanteil an der Finanzierung erreicht werden.

Das IISB entwickelt seit seiner Gründung im Jahr 1985 in enger Kooperation mit seinen Industriepartnern neue Prozesse und Geräte für die Technologie der Mikro- und Nanoelektronik. Dies umfaßt Prozeßschritte für Halbleiterbauelemente, Teststrukturen, analytische Untersuchungen, Entwicklung und Optimierung von Halbleiterfertigungsgeräten und Materialien sowie Modellierung und Simulation von Prozessen und Bauelementen. Darüber hinaus ist das IISB ein Kompetenzzentrum für Kristallzüchtung sowie Leistungselektronik und Mechatronik.

Traditionell mit hohem EU-Anteil an öffentlichen Fördermitteln, ist das IISB aktuell eines der erfolgreichsten Fraunhofer-Institute bei der Akquisition von EU-Mitteln aus dem 6. Forschungsrahmenprogramm. Im Jahr 2003 wurden hierzu die ersten Projekte bewilligt. Im für die Halbleitertechnologie zentralen Themenbereich "Pushing the limits of CMOS, preparing for post-CMOS" ist es an allen beiden geförderten Integrierten Projekten, sowie an einem von zwei Exzellenznetzwerken beteiligt – im Falle des Integrierten Projekts NanoCMOS mit Aktivitäten von drei Abteilungen. Diese beiden Projektarten gehören zu den im 6. Rahmenprogramm eingeführten "Neuen Instrumente", die einen

Großteil des Förderbudgets binden. Daneben koordiniert das IISB die Begleitmaßnahme "Flying Wafer", die ebenfalls innerhalb dieses Calls zur Förderung ausgewählt wurde.

Im Dezember wurde auf einer ITRS-Konferenz in Taiwan die neue Ausgabe der International Technology Roadmap for Semiconductors für das Jahr 2003 vorgestellt, die wie in jedem ungeraden Jahr nicht nur aktualisiert, sondern komplett neu geschrieben wurde. Interessant für das IISB ist unter anderem der große Forschungsbedarf und die Dringlichkeit zahlreicher am Institut bearbeiteter Themen. Der "Modeling and Simulation"-Teil der ITRS wurde von einem Mitarbeiter des IISB als für diesen Teil zuständigen Koordinator präsentiert – eine große Anerkennung für die Beiträge des IISB zur weltweiten Kooperation auf dem Gebiet der Mikroelektronik.

Große Synergieeffekte ergeben sich durch die enge Zusammenarbeit mit dem benachbarten Lehrstuhl für Elektronische Bauelemente (LEB) der Universität Erlangen-Nürnberg, der in Personalunion mit dem IISB geleitet wird. Durch den integralen Ansatz und das gemeinsame Betreiben von Labors und Geräten ergeben sich Möglichkeiten zur Forschung, die beide Seiten alleine nicht tragen könnten. Bestes Beispiel sind die insgesamt 1500 m² Reinraumfläche, die IISB und LEB zur Verfügung stehen. Zudem gewährleistet die Zusammenarbeit mit der Universität den wichtigen Zugang zu Grundlagen- und Vorlauforschung, z.B. über DFG-Projekte. Die Lehrveranstaltungen des LEB an der Universität leisten wichtige Beiträge zu den Studiengängen Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik sowie Mechatronik, Computational Engineering und Werkstoffwissenschaften. Die Mitarbeiter des IISB sind als Partner mit ihrer Expertise in die Ausbildung der Studenten eingebunden. Umgekehrt

erhält das IISB dadurch Zugang zu hochqualifizierten Nachwuchskräften.

Das IISB ist seit Jahren in der Ausbildung von Azubis im gefragten Lehrberuf Mikrotechnologie aktiv. Jetzt konnte die Universität als Partner gewonnen werden, so daß ab 2004 die Ausbildung in den Einrichtungen von IISB und LEB gemeinsam durchgeführt wird. Dadurch wird sich die Anzahl der verfügbaren Ausbildungsplätze erhöhen.

Das IISB ist somit ein bedeutender Bestandteil der Forschungslandschaft zur Mikroelektronik im Raum Erlangen-Nürnberg, die mit zwei Fraunhofer-Instituten und mehreren Universitätslehrstühlen sowie einer entsprechenden lokalen Industrielandschaft aus Großunternehmen und zahlreichen KMUs sowie dem Förderkreis für die Mikroelektronik e.V. als Partnern ein äußerst erfolgreiches Netzwerk bildet. Erlangen ist hinsichtlich Forschung und Industrie der wichtigste Standort für Siliciumcarbid (SiC) in Europa, der Großraum Erlangen-Nürnberg ein europäisches Ballungsgebiet für Leistungselektronik und Mechatronik. An beidem haben die Aktivitäten des Instituts großen Anteil. Für den Standort auch wichtig zu erwähnen ist die Ansiedlung der mittelständischen Firma NanoWorld Services GmbH, die 2003 ihre kompletten deutschen Aktivitäten nach Erlangen an das IISB verlagert hat.

Das IISB ist auch aktiv für die Förderung der Mikroelektronik-Forschung tätig, indem es durch öffentliche Veranstaltungen wie die Jahrestagung 2003 des IISB zum Thema Ionenimplantation die wissenschaftliche und wirtschaftliche Bedeutung von Technologie als Basis für jegliches Mikroelektronik-Produkt vermittelt.

Der Erfolg des IISB wurde wie jedes Jahr getragen durch die Aktivitäten seiner fünf Abteilungen:

Preface

IISB is looking back on its first year of formal independence with the new name *Fraunhofer Institute of Integrated Systems and Device Technology*, valid since January 1, 2003.

The institute could continue its previous development and finish the year of 2003 with both scientific and economic success. Despite the crisis in semiconductor industry, staff and budget could be further increased, reaching a high industry proportion.

Since its foundation in 1985, IISB in close cooperation with its industrial partners develops new processes and equipment for the technology of microelectronics and nanoelectronics. This includes processing steps for semiconductor devices, test structures, analytical investigations, development and optimization of semiconductor manufacturing equipment and materials, as well as modeling and simulation of processes and devices. Moreover, IISB is a competence center for crystal growth as well as for power electronics and mechatronics.

Traditionally with a high EU proportion of public funding, IISB is currently one of the most successful Fraunhofer institutes in acquisition of EU funds from the 6th Framework Programme (FP6). The first projects were approved in 2003. Within the topical area "Pushing the limits of CMOS, preparing for post-CMOS", the institute is involved in both Integrated Projects and in one of the two Networks of Excellence accepted by the EU – in case of the Integrated Project NanoCMOS even with contributions from three of its departments. These two kinds of projects belong to the so-called "New Instruments", to which the larger part of the budget available within FP6 is allocated. In addition, IISB coordinates the accompanying action "Flying Wafer", which has also been selected for funding within this call.

In December, the 2003 issue of the International Technology Roadmap for Semiconductors was presented at an ITRS conference in Taiwan. Similar to other odd years, this is not an update but a completely newly written document. Especially important for IISB is the large demand for research and the urgency of many R&D topics addressed at the institute. The "Modeling and Simulation" chapter of the ITRS was presented by a scientist from IISB, who as chairperson is responsible for that part of the roadmap. This is again a significant recognition for the contributions of IISB to the world-wide cooperation in microelectronics.

Considerable synergy effects result from the close cooperation with the neighboring Chair of Electron Devices (LEB) of the University of Erlangen-Nuremberg, which is headed in personal union together with IISB. This integral approach and the common operation of labs and equipment result in possibilities for research which could not be realized by either of the partners alone. Best example for this are the cleanroom labs of 1500 m² in total which are available for IISB and LEB. Moreover, the cooperation with the University ensures important access to basic research, e.g. via DFG projects. The lecturing activities of LEB contribute considerably to the studies of electrical engineering, mechatronics, computational engineering, and materials science. The staff of the partner IISB with their expertise is involved in the education of the students. On the other hand, IISB has access to highly qualified young researchers.

IISB has been active in the training of microtechnology apprentices for years. Now, the University is joining as a partner, so that from 2004 on the education will be conducted together in the facilities of IISB and LEB. This will increase the number of available traineeships.

So IISB is an important part of the research structure for microelectronics in the area of Erlangen-Nuremberg, with two Fraunhofer Institutes, several University chairs, as well as both big and small and medium-sized industry, the "Förderkreis für die Mikroelektronik e.V.", and the Nuremberg chamber of industry and commerce forming a successful network. Concerning research and industry, Erlangen is the most important site for silicon carbide (SiC) in Europe. The region of Erlangen-Nuremberg also houses the biggest industry cluster for power electronics and mechatronics. In both subjects, the activities of IISB play an important role. It is also important to mention that the company of Nanoworld Services GmbH, which settled down at IISB one year ago, has now transferred its complete German activities to Erlangen at IISB.

IISB is active in the promotion of microelectronics research, by demonstrating the scientific and economic importance of technology as the basis for any microelectronics appliance in the frame of public events like its annual conference 2003 on ion implantation.

As every year, the success of IISB was based on the activities of its five departments:

The Technology Simulation department of IISB develops physical models and programs for the simulation of semiconductor fabrication processes, equipment, and devices. These topics request expertise from different scientific areas along with a broad set of experimental capabilities, which largely extend beyond those of any individual company or institute. In consequence, a close cooperation between different partners is mandatory to successfully address this area. Through its scientific work and the initiation and coordination of this cooperation, the department has gained a central role in semiconductor technology simulation within Europe.

Die Abteilung Technologiesimulation entwickelt physikalische Modelle und Programme zur Simulation von Halbleiterprozessen, -geräten und -bauelementen. Diese Thematik erfordert Kenntnisse aus verschiedenen Fachgebieten sowie eine breite Palette von experimentellen Möglichkeiten, die über die einer jeden einzelnen Firma oder eines jeden einzelnen Instituts weit hinausgehen. Sie kann deshalb nur in enger Kooperation zwischen verschiedenen Partnern erfolgreich bearbeitet werden. Die Abteilung hat sich durch ihre fachlichen Arbeiten und die Initiierung und Koordination dieser Zusammenarbeit eine zentrale Rolle in der europäischen Halbleitertechnologiesimulation erarbeitet. In 2003 hat sich dies unter anderem in der Koordination von vier europäischen Verbundprojekten zur Entwicklung der Simulation durch das IISB gezeigt. Mindestens ebenso wichtig ist die Nutzbarmachung der Simulation für die Technologieentwicklung, die von der Abteilung durch Simulationsunterstützung in Verbundprojekten zur Technologieentwicklung sowie über die Zusammenarbeit mit Softwarehäusern vorangetrieben wird. Besonders wichtige neue Aktivitäten hierzu sind die Beteiligung der Abteilung am BMBF-Verbundprojekt "Abbildungsmethodiken für nanoelektronische Bauelemente", das im Herbst 2003 begann, sowie an den europäischen Integrierten Projekten NanoCMOS und More Moore, die 2003 vorbereitet und angenommen wurden und Anfang 2004 beginnen. Dies sind die aktuell wichtigsten Verbundprojekte in Deutschland bzw. in Europa zur Entwicklung zukünftiger Lithographieverfahren bzw. Front-End-Prozessen und Bauelementarchitekturen. Die Beiträge der Abteilung zielen darauf, durch Simulationsstudien die Technologieentwicklung zu unterstützen – von der Maske bis zum Bauelement. Hierzu kommen unter anderem dreidimensionale Simulationsprogramme zum Einsatz, die am IISB oder mit wesentlicher

Beteiligung des IISB entwickelt wurden und dem Institut einen wichtigen Wettbewerbsvorteil verschaffen.

Die Abteilung Halbleiterfertigungsgeräte und -methoden forscht und entwickelt auf den Gebieten neuartiger Fertigungsverfahren, Geräte und Komponenten, Geräteautomatisierung, Kontamination und Materialien. Im Berichtszeitraum wurden Arbeiten zu Prozeßkontrollverfahren unter dem für die Geräteindustrie bedeutsamen Aspekt der Advanced Process Control (APC) durchgeführt und in den Rahmen eines industriegeführten Projekt-Clusters strukturiert. Die Beteiligung am europäischen Integrierten Projekt NanoCMOS erlaubt die Erarbeitung von Equipmentmodulen unter besonderer Berücksichtigung integrierbarer Metrologietools. Hiervon sollen vor allem mittelständische Equipment- und ASIC-Halbleiterfirmen profitieren, aber auch die Hersteller von Sensoren und Software. Ein gemeinsam mit International SEMATECH bearbeitetes Projekt zur Evaluierung von FOUPs (front opening unified pods) und deren Reinigungsverfahren wurde erfolgreich abgeschlossen. In der Folge konnten zahlreiche Industrieprojekte zur Reduzierung der Kontamination in und durch FOUPs eingeworben werden. Die Vorbereitungen für ein Kompetenzzentrum "Yield Enhancement" gingen weiter voran. Hier werden bestehende Arbeiten zur Defektdetektion und -charakterisierung, zu Yield-Lernprozessen sowie zur Kontaminationskontrolle in der Waferumgebung um FuE zur Yield-Modellierung und zu Defekt-Budgetbetrachtungen erweitert. Die dadurch bestehenden Kompetenzen auf dem Gebiet ultrareiner Fertigungstechnik flossen in die Planungen zu einer neuen 300-mm-Fertigung ein. Im Gerätebau konnten erneut mehrere Prototypanlagen gebaut und ausgeliefert werden, wobei die nötigen Prüfzertifikate zu CE in enger Zusammenarbeit mit der Stuttgarter Tech-

nologie-Entwicklungsgruppe der FhG erstellt wurden. Wie in den Vorjahren war die Abteilung an wichtigen Gremien von SEMI, ITRS und VDE-GMM sowie an Organisations- und Programmkomitees großer internationaler Tagungen und Kongresse maßgeblich beteiligt.

Um auch in Zukunft den gestiegenen Anforderungen in der Halbleitertechnologie gerecht werden zu können, wurde in der Abteilung Technologie im Jahr 2003 der Gerätepark weiter erneuert und ergänzt, vor allem im Hinblick auf die laufende Umstellung von Siliciumscheiben mit einem Durchmesser von derzeit 150 mm auf 200 mm. Für die Schichtabscheidung von dotiertem und undotiertem Polysilicium und Siliciumnitrid wurden zwei Vertikalöfen in Betrieb genommen. Darüber hinaus steht nun eine PECVD Anlage (plasma enhanced chemical vapor deposition) zur Abscheidung von Siliciumdioxid- und streßfreien Nitridschichten zur Verfügung. Bei der Entwicklung geeigneter Verfahren zur Abscheidung dielektrischer Schichten mittels metallorganischer Dampfphasenabscheidung wurden erfolgreich Zircon- und Hafniumsilikatschichten abgeschieden, deren elektrische Charakterisierung zeigte, daß sie den hohen Ansprüchen zukünftiger Technologiegenerationen gerecht werden. Dieses Thema wird zukünftig in zwei europäischen Verbundprojekten im 6. Rahmenprogramm der EU weiterverfolgt. In der Siliciumcarbid-Technologie konnte gemeinsam mit der Industrie ein Hochtemperaturofen entwickelt werden. Im Bereich der Ionenimplantation ist es nun möglich, die im Auftrag industrieller Partner durchgeführten Implantationen an 3"-SiC-Wafern vollautomatisiert abzarbeiten. Bei der Entwicklung von fortschrittlichen Smart Power-Bauelementen ist die auf 16 Maskenebenen basierende Herstellung eines lateralen IGBT (isolated gate bipolar transistor)

Among others, in 2003 the coordination by IISB of four European compound projects on the development of simulation models and tools again made this visible. At least of similar importance is the use of simulation for technology development, which is promoted by IISB via simulation support given within compound research projects on technology development and via the cooperation with software houses. In this respect, especially important new activities are the participation of the department in a new compound project on imaging methods for nanoelectronic devices, started in fall 2003, and in the European Integrated Projects NanoCMOS and More Moore, which were prepared and approved in 2003 and will start at early in 2004. These are the currently most important projects in Germany and Europe, respectively, on the development of future lithography methods and front-end processes and device architectures. The contributions of IISB aim at supporting technology development by simulation studies – from the mask to the device. For this purpose, among others, three-dimensional simulation programs will be used which have been developed at IISB or with major contributions from IISB, and which result in important competitive advantages for the institute.

The department of Semiconductor Manufacturing Equipment and Methods conducts R&D in the fields of new manufacturing techniques, equipment and components, equipment automation, contamination, and materials. In the past year, research for process control techniques was carried out under the aspect of Advanced Process Control (APC), which is important for equipment industry. The results were integrated into a project cluster headed by industry. The participation in the European Integrated Project NanoCMOS allows the construction of equipment modules, especially considering integrated metrology tools, for the benefit

of medium-sized equipment and ASIC companies, but also of sensor producers and software companies. A project together with International SEMATECH on the evaluation of FOUPs (front opening unified pods) was successfully completed. As a result, numerous industry projects on the reduction of contamination in FOUPs could be acquired. The preparations for a competence center on "Yield Enhancement" have further proceeded. In this frame, existing activities on defect detection and characterization, yield learning processes, and contamination control in the wafer environment are enhanced and combined with R&D on yield modeling and defect budget considerations. The resulting competencies in the field of ultra-clean manufacturing were included in the planning for a new 300 mm fab. In the field of equipment manufacturing, again several prototype facilities could be constructed and delivered to the companies, the necessary CE certificates being issued in close cooperation with the technology development group of the Fraunhofer-Gesellschaft in Stuttgart. Like in the years before, the department was massively involved in important committees of SEMI, ITRS, and VDE-GMM, as well as in organization and program committees of big international conferences.

Due to growing demands in semiconductor industry, the Technology department of IISB renewed and completed its equipment park in 2003, especially with regard to a change from 150 mm to 200 mm wafer diameter in the upcoming years. For layer deposition of doped and undoped polysilicon and silicon nitride, two vertical furnaces were installed. Furthermore, a PECVD (plasma enhanced chemical vapor deposition) system for the deposition of silicon dioxide and stress free nitride layers is now available. Zirconium and hafnium-silicate layers have been successfully deposited in the frame of the development of dedicated deposition methods

for dielectric layers via metal organic chemical vapor deposition, and their electrical characterization reveals that the layers meet the demands of future technology generations. This subject will be continued in two European Integrated Projects of FP6. In silicon carbide technology, a high-temperature furnace could be developed together with industry. In the field of ion implantation, it is now possible to carry out the implantations for our industrial partners into 3" SiC wafers in a completely automated way. For the development of innovative smart-power devices, the manufacturing of a lateral IGBT (isolated bipolar gate transistor) based on 16 mask levels is nearly finished. Moreover, the build-up of competencies in circuit design of power devices has been launched. For nanostructuring, by the settlement of Nanoworld Services GmbH, the longstanding cooperation in the production and processing of scanning probes for atomic force microscopy was intensified.

In 2003, the R&D activities of the Crystal Growth department of IISB were decorated with several national awards. The research award of the German Association for Crystal Growth (DGKK) was granted to Dr. Bernhard Birkmann for his outstanding achievements in the field of "growth and characterization of silicon-doped GaAs substrate crystals with extremely low dislocation densities". Dr. Thomas Jung, Marc Hainke and Flaviu Jurma received the Georg-Waeber Innovation Award from the "Förderkreis für die Mikroelektronik e.V." for their outstanding contributions in the field of "development and commercialization of the software program CrysVUn for the optimization of crystal growth processes in microelectronics". During the Festival of Research of the Fraunhofer-Gesellschaft, held on October 22, 2003 in Duisburg, the German science foundation award of the Stifterverband was granted to Dr. Gheorghe Ardelean, Dr. Jochen Fried-

nahezu abgeschlossen. Darüber hinaus wurde begonnen, Kompetenz für den Schaltungsentwurf von Leistungsbau-elementen aufzubauen. Im Arbeitsbereich Mikro- und Nanostrukturierung wurde durch die Ansiedlung der Nano-world Services GmbH die langjährige Zusammenarbeit auf dem Gebiet der Herstellung und Bearbeitung von Rasterkraftsonden intensiviert.

Im Jahr 2003 wurden die FuE-Arbeiten der Abteilung Kristallzüchtung des IISB mit mehreren nationalen Preisen prämiert. Den Forschungspreis der Deutschen Gesellschaft für Kristallzüchtung und Kristallwachstum erhielt Dr. Bernhard Birkmann für seine hervorragenden Leistungen zum Thema "Züchtung und Charakterisierung von versetzungsarmen Silicium-dotierten Galliumarsenid-Substratkristallen". Dr. Thomas Jung, Marc Hainke und Flaviu Jurma wurden für Ihre hervorragenden, in Teamwork erbrachten Leistungen bei der "Entwicklung und Kommerzialisierung des Softwareprogramms CrysVUN zur Optimierung von Kristallzüchtungsprozessen für die Mikroelektronik" mit dem Georg-Waerber Innovationspreis des Förderkreises Mikroelektronik e.V. ausgezeichnet. Im Rahmen des "Fests der Forschung" der Fraunhofer-Gesellschaft wurde am 22.10.2003 in Duisburg der Wissenschaftspreis des "Stifterverbandes für die Deutsche Wissenschaft" an Dr. Gheorghe Ardelean, Dr. Jochen Friedrich, Oliver Gräbner, Alexander Molchanov und Prof. Georg Müller verliehen. Der Preis wurde an die beteiligten Wissenschaftler für ihre erfolgreiche Züchtung hochreiner Kalziumfluoridkristalle, die in der Halbleiterindustrie als Linsenmaterial bei der Herstellung von Mikrochips zum Einsatz kommen, vergeben. Darüberhinaus wurde 2003 die Basis dafür geschaffen, neue Forschungsgebiete weiter ausbauen zu können. Im Bereich der Lösungszüchtung von Galliumnitrid-Kristallen bei moderaten Drücken konnten op-

tisch transparente Kristalle mit Abmessungen bis zu 12x12 mm² reproduzierbar hergestellt werden. Auf dem Gebiet des Low-Cost-Siliciums für photovoltaische Anwendungen wurde ein neues FuE-Projekt mit RWS Schott Solar initiiert. Hier soll der Kohlenstofftransport während des Ziehens von Silicium-Oktagonröhren mit geringer Wandstärke untersucht werden. Bei der numerischen Simulation in der Kristallzüchtung ist das IISB das erste Institut, das neue Methoden aus dem Bereich des Soft-Computing, wie zum Beispiel genetische Algorithmen anwendet, um Kristallzüchtungsanlagen und -prozesse automatisch zu optimieren. Dies ist eine der Voraussetzungen dafür, den Markt für Kristallzüchtungssoftware auch in Zukunft entscheidend mitzubestimmen.

Die Abteilung Leistungselektronische Systeme hat im Jahr 2003 ihre Aktivitäten im Bereich der Kraftfahrzeug-Leistungselektronik stark erweitert. Neben elektrischen Hochleistungskomponenten für den Fahrtrieb stehen hier Leistungswandler für Hybrid- und Brennstoffzellenfahrzeuge im Fokus. Auf diesem Gebiet kooperiert das IISB erfolgreich mit mehreren großen Kfz-Herstellern und Zulieferern im In- und Ausland. Ein Konzeptpapier zum forcierten Ausbau der Kfz-Aktivitäten zu einem "Kompetenzzentrum für Kfz-Leistungselektronik" stieß auf große politische Unterstützung in Bayern und der Region. Bereits für 2004 ist der Start dieser Einrichtung in Form einer Außenstelle des Instituts am Standort Nürnberg geplant. Das vom IISB mitinitiierte "European Center for Power Electronics (ECPE)" - ein Netzwerk führender Industrieunternehmen der Leistungselektronik - nahm 2003 seine Geschäftstätigkeit auf. Wir sind überzeugt, daß das IISB seine Kompetenz auf dem Gebiet der Leistungselektronik hervorragend in dieses Forschungsnetzwerk einbringen können wird.



Auf unerwartet hohe Resonanz stieß die neu gestartete Seminarreihe zu ausgewählten Themen der Leistungselektronik. Als Weiterbildungs- und Technologietransferangebot wenden sich diese Seminare in erster Linie an Entwicklungsingenieure aus der Wirtschaft. Für viele Teilnehmer sind die Seminare der erste Kontakt zum Institut. Sie haben damit auch einen sehr erfreulichen Marketingeffekt.

Die erfolgreiche Arbeit des IISB im vergangenen Jahr war nur möglich durch die Unterstützung von staatlicher Seite, durch die Auftraggeber aus Industrie und öffentlichen Einrichtungen sowie durch den unermüdlichen Einsatz der Mitarbeiter des IISB.

Erlangen, Mai 2004

Prof. Dr. Heiner Ryssel

rich, Oliver Gräbner, Alexander Molchanov, and Prof. Georg Müller. The prize was awarded to the researchers for their successful growth of highly perfect calcium fluoride crystals to be used in semiconductor technology as lens material for producing microchips. Additionally, in 2003 preparations were made to further enhance new research activities. In solution growth of gallium nitride crystals at moderate pressures, optically transparent crystals of up to 12x12 mm² could be reproducibly grown. In the area of low-cost silicon for photovoltaic application, a new R&D project with RWS Schott Solar was initiated, in which the carbon transport during the growth of silicon octagon tubes with low wall thickness will be investigated. In numerical simulation for crystal growth, IISB is the first institute which uses new methods from the field of soft computing, like genetic algorithms, in order to automatically optimize crystal growth furnaces and processes. This is one of the prerequisites to have a considerable say in the market of crystal growth software also in the future.

The department of Power Electronic Systems also has strongly enhanced its activities in automobile power electronics in 2003. Besides electronic high power components for the powertrain, power transformers for hybrid and fuel cell vehicles are in the focus of the department. A concept paper for a forced extension of the automobile activities to a "Competence Center for Automobile Power Electronics" received strong political support in Bavaria and the region. The start of this institution, which will be a branch of IISB in Nuremberg, is scheduled already for 2004. The "European Center for Power Electronics (ECPE)", a network of leading industry companies from power electronics, which was co-initiated by IISB, started its activities in 2003. We are convinced that IISB with its competence in power electronics will make excellent contribu-

tions to this research network. An unexpectedly high resonance received our recently launched seminar series on selected issues of power electronics. Offered for advanced education and technology transfer, these seminars are primarily thought for development engineers from industry. For many participants, these seminars imply the first contact to our institute, which is also a very pleasant marketing effect.

The successful work of IISB in the past year was only possible with the support from the government, from our industrial partners and public institutions, and is based on the dedicated efforts of the IISB staff.

Erlangen, May 2004



Prof. Dr. Heiner Ryssel

Leistungen und Ergebnisse Jahresbericht 2003

Das Institut im Profil

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

Das Forschungs- und Dienstleistungsangebot

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

Das Institut in Zahlen

Mitarbeiterentwicklung	28
Betriebshaushalt	28

Die Fraunhofer-Gesellschaft auf einen Blick

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

Technologiesimulation

Schwerpunkte, Trends und Poten- tiale der Abteilung Technologiesimula- tion	36
Dreidimensionale Simulation neuartiger CMOS-Bauelemente	38
Das Projekt MAGIC_FEAT: Software für 3D-TCAD	40
Vereinfachte Lackmodelle - Grenzen und Potential	42
Künstliche Evolution zur Optimierung lithographischer Prozesse	44
Modeling und Simulation in der 2003 ITRS	46

Achievements and Results

Annual Report 2003

Profile of the Institute

Objectives	13
Brief Portrait	13
Major Fields of Activity	15
Areas of Competence and Applications	15
Cooperation with the Chair of Electron Devices	15
Advisory Board	19

Research and Services

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

Representative Figures

Staff Development	28
Budget	28

The Fraunhofer-Gesellschaft at a Glance

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

Technology Simulation

Focal Areas of Research and Develop- ment, Trends and Potentials of the De- partment of Technology Simulation	37
Three-dimensional Simulation of Advan- ced CMOS Devices	39
The MAGIC_FEAT Project: Software for 3D TCAD	41
Simplified Resist Models - Limits and Potential	43
Artificial Evolution for the Optimization of Lithographic Processes	45
Modeling and Simulation in the 2003 ITRS	47

Halbleiterfertigungsgeräte und -methoden

Schwerpunkte, Trends und Potentiale der Abteilung Halbleiterfertigungsgeräte und -methoden 48

fAPC - die Technik für innovative Produktionsstrategien 50

Untersuchung der Aluminiumkontamination auf Wafern für höchstintegrierte Schaltungen 52

Untersuchung von Mehrscheibenprozessen für die Herstellung ultradünner Schichten mittels Gerätemodellierung 54

Technologie

Schwerpunkte, Trends und Potentiale der Abteilung Technologie 56

Dotierung tiefer Gräben 58

Ionen- und Elektronenstrahlen - universelle Werkzeuge in der Nanotechnologie 60

Entwicklung eines fertigungstauglichen Hochtemperatursystems für die SiC-Technologie 62

Kristallzüchtung

Schwerpunkte, Trends und Potentiale der Abteilung Kristallzüchtung 64

Softcomputing in der Kristallzüchtung 66

Low-Cost Siliciummaterial für die Photovoltaik 68

Einfluß von Sauerstoff auf die optischen Eigenschaften von CaF₂-Kristallen für die Mikrolithographie 70

Das virtuelle Material Science Laboratory auf der Internationalen Raumstation 72

Entwicklung von Prozessen zur Herstellung von GaN-Substratkristallen 74

Leistungselektronische Systeme

Schwerpunkte, Trends und Potentiale der Abteilung Leistungselektronische Systeme 76

Mechatronisch integrierter Umrichter-motor für hybrid angetriebene Kraftfahrzeuge 78

Hochintegrierte Leistungswandler für die Autos von Morgen 80

Multifunktionale Integration auf Leiterplattenebene 82

Namen, Daten, Ereignisse

Ereignisse 84

Förderkreis für die Mikroelektronik e.V. 90

Gastwissenschaftler 92

Patenterteilungen 93

Mitarbeit in Fachgremien, Fachverbänden und Komitees 93

Konferenzen und Workshops 95

Messebeteiligungen 96

Wissenschaftliche Veröffentlichungen

Dissertationen 98

Herausgegebene Bücher / Buchbeiträge 100

Veröffentlichungen 100

Vorträge 103

Studienarbeiten 111

Diplomarbeiten 111

Semiconductor Manufacturing Equipment and Methods

Focal Areas of Research and Development, Trends and Potentials of the Department of Semiconductor Manufacturing Equipment and Methods 49

fAPC - the Technique for Innovative Production Strategies 51

Evaluation of Aluminum Contamination of Silicon Wafers for ULSI Fabrication 53

Investigation of Atomic Layer Deposition Batch Processes Using Equipment Modeling 55

Technology

Focal Areas of Research and Development, Trends and Potentials of the Department of Technology 57

Doping of Deep Trenches 59

Ion- and Electron Beams - Universal Tools for Nanotechnology 61

Development of a High Temperature Furnace for Device Production in SiC Technology 63

Crystal Growth

Focal Areas of Research and Development, Trends and Potentials of the Department of Crystal Growth 65

Softcomputing in Crystal Growth . 67

Low-Cost Silicon for Photovoltaic Applications 69

Influence of Oxygen on the Optical Properties of CaF₂ Crystals for Microlithography 71

The Virtual Material Science Laboratory on Board of the International Space Station 73

Development of Growth Processes for GaN Substrates 75

Power Electronics

Focal Areas of Research and Development, Trends and Potentials of the Department of Power Electronic Systems 77

Mechatronically Integrated Inverter Motor for Hybrid Powered Car Applications 79

High-Power Density DC/DC Converter for Future Cars 81

Multifunctional Integration on Printed Circuit Board Level 83

Important Names, Data, Events

Events 85

Förderkreis für die Mikroelektronik e.V. 91

Guest Scientists 92

Patents 93

Participation in Committees 93

Conferences and Workshops 95

Fairs and Exhibitions 96

Scientific Publications

PhD Theses 99

Edited Books / Contributions to Books 100

Journal Papers and Conference Proceedings 100

Presentations 103

Theses 111

Diploma Theses 111

Das Institut im Profil

Ziele

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

Kurzportrait

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

Die Institutsleitung des IISB wird durch ein Kuratorium, das Direktorium, den Institutsleitungsausschuß und den Arbeitsschutzausschuß beraten. Dem Institutsleitungsausschuß gehören neben den Abteilungs- und stellvertretenden Abteilungsleitern, die Infrastrukturleitung, die Verwaltungsleitung und die gewählten Vertreter des wissenschaftlich-technischen Rates an. Das Direktorium besteht aus der Institutsleitung und allen Abteilungsleitern. Seit 1994 gibt es einen Betriebsrat, der entsprechend

dem Betriebsverfassungsgesetz an den Entscheidungen beteiligt wird.

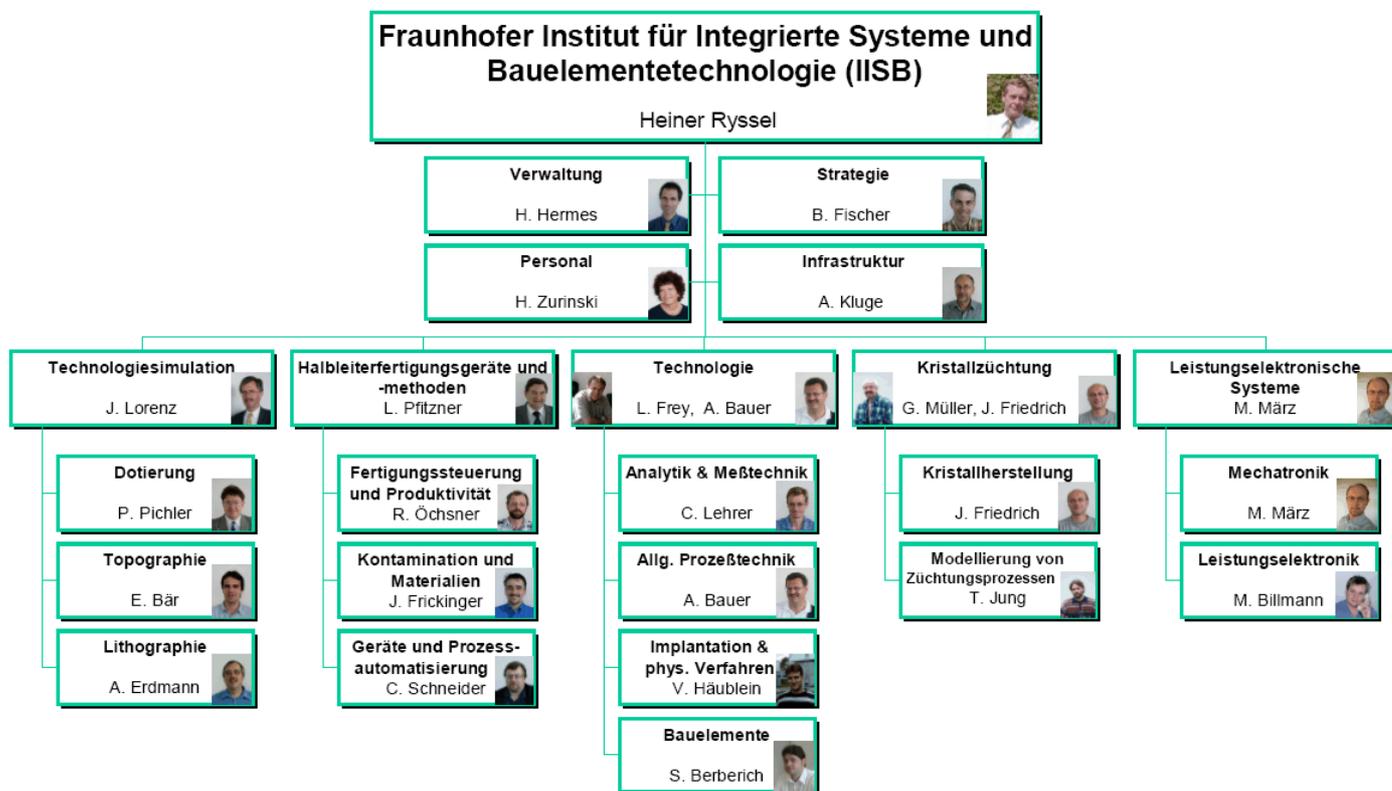


Fig. 1: Organigramm des Fraunhofer-Instituts für Integrierte Systeme und Bauelementetechnologie.

Profile of the Institute

Objectives

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

Brief Portrait

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

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

ments. Since 1994, a works council participates in decisions according to the works council constitution act.

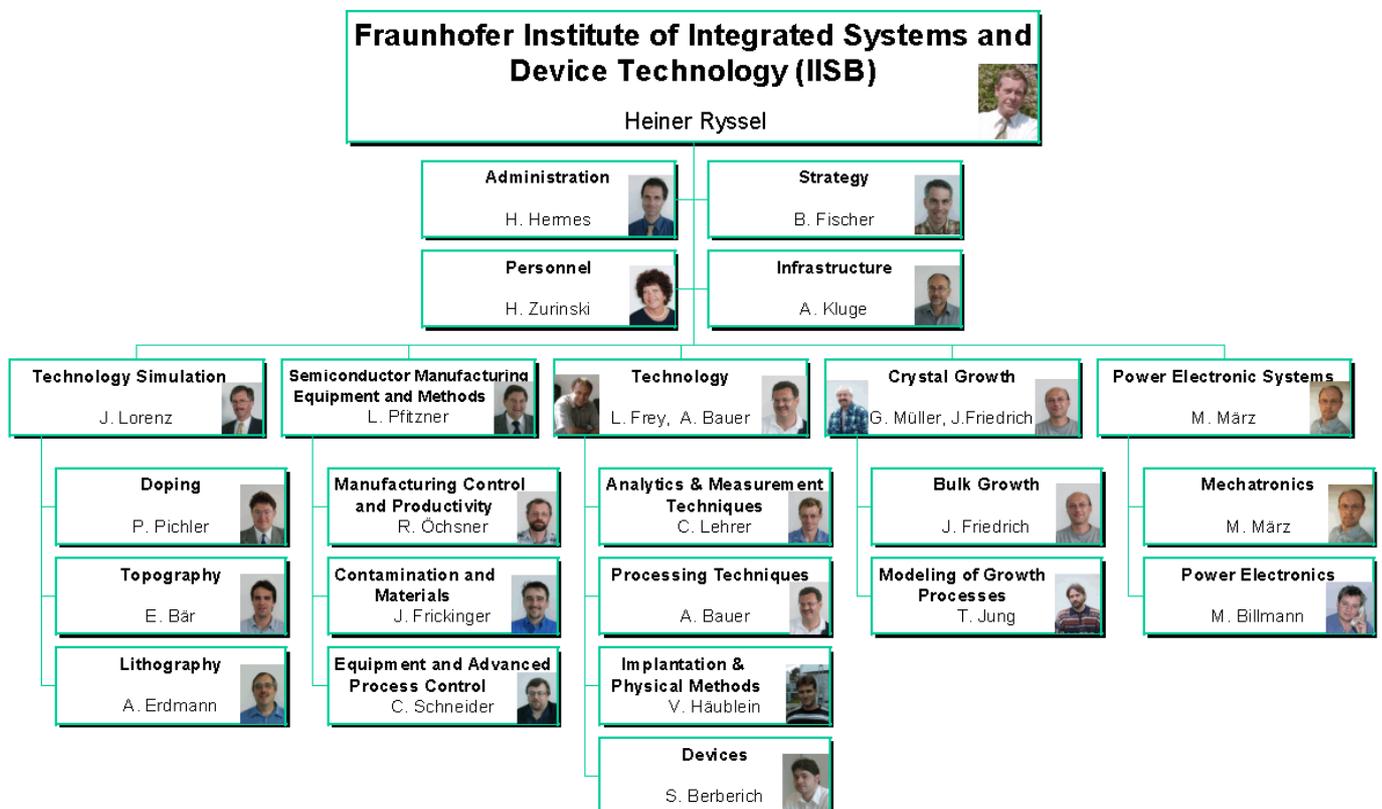


Fig. 1: Organizational Structure of the Fraunhofer Institute of Integrated Systems and Device Technology.

Arbeitsschwerpunkte

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

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

Neue technologische Prozesse und Herstellungsmethoden für die VLSI- und ULSI-Technologie sowie für moderne Leistungsbauelemente werden im Arbeitsgebiet Technologie entwickelt. 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 Kristallzüchtung werden Anlagen und Prozesse zur Herstellung von Kristallen für die Mikroelektronik, Optoelektronik, Kommunikationstechnologie, Photovoltaik, Medizintechnik und für die Mikrolithographie entwickelt und optimiert. Dazu werden Simulationsprogramme zur Berechnung von Hochtemperaturanlagen und -prozessen sowie Meßtechniken zur Bestimmung des Stoff- und Wärmetransportes in Kristallzüchtungsprozessen entwickelt und eingesetzt. Die Materialforschung unter Schwerelosigkeit vervollständigt das Arbeitsgebiet.

Einen weiteren Arbeitsschwerpunkt bildet die Leistungselektronik. Im Rahmen

dieses Schwerpunkts werden innovative Lösungen zur monolithischen, hybriden und mechatronischen Systemintegration von Leistungswandlern aller Art wie Schaltnetzteile, Frequenzumrichter usw. entwickelt.

Die Finanzierung erfolgt etwa zu gleichen Teilen durch öffentliche Projekte und Aufträge aus der Halbleiter- und Halbleitergeräte-Industrie. Das Institut beschäftigte im Jahr 2003 106 feste Mitarbeiter. Fast 5000 m² Büro- und Laborfläche stehen zur Bearbeitung von Forschungsaufträgen zur Verfügung. Ferner besteht die Möglichkeit, das Reinraumlabor des Lehrstuhls für Elektronische Bauelemente (Prof. Heiner Rysse) der Universität Erlangen-Nürnberg zu nutzen.

Kompetenzen und Anwendungen

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

Kooperation mit dem Lehrstuhl für Elektronische Bauelemente

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

Der Lehrstuhl ist daneben in mehreren Forschungsrichtungen mit grundlegenden Vorfeldarbeiten tätig, die auch für das IISB von großem Interesse sind. Da-

zu gehören Projekte zu „Neuen Dielektrika“ und „Metal Gate“, „SiGe- Gateelektroden“, „SiC“ und „Aktoren“.

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

New technological processes and manufacturing methods for both VLSI and ULSI technology as well as for advanced power devices are being developed by the Department of Process Technology. 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 in collaboration with its industrial partners for the growth of crystals to be used in microelectronics, optoelectronics, communication technology, photovoltaics, medical technology and microlithography. It develops and applies simulation programs for modeling of high temperature equipment and processes as well as measuring techniques for determining the mass and heat transport in crystal growth processes. Material science under microgravity conditions completes the field of activity.

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

The budget of the Institute is obtained almost equally from public project funding and from contract research performed for the semiconductor and semiconductor equipment industry. IISB had a permanent staff of 106 people in 2003. Nearly 5.000 m² of office and laboratory space provide ample room to perform contract research. Moreover, the staff can use the cleanroom building belonging to the Chair of Electron Devices (University of Erlangen-Nuremberg). Both institutions are headed by Prof. Heiner Ryssel.

Areas of Competence and Applications

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

Cooperation with the Chair of Electron Devices

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

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

Wissenschaftlich-technische Kernkompetenz

IISB

F & E-Produkte

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

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

Competencies and Applications

IISB

R & D Products

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

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

Kuratorium

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

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

Prof. Dr. Wolfgang Fichtner
Institut für Integrierte Systeme
ETH Zentrum, Zürich

Prof. Dr. Ignaz Eisele
Universität der Bundeswehr München
Fakultät für Elektrotechnik
Institut für Physik

Dr. sc. techn. h.c. Dietrich Ernst
Vorsitzender des Förderkreises für die
Mikroelektronik e.V.

Prof. Dr. Nikolaus Fiebiger
Geschäftsführer der Bayerischen Forschungsstiftung

Klaus Jasper
Ministerialdirigent
Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Verkehr und Technologie

Dr. Ewald Mörsen
CGS Crystal Growing Systems GmbH

Dr. Karl-Heinz Stegemann
ZMD AG

Dr. Thomas Stockmeier
Semikron International Dr. Fritz Martin
GmbH & Co KG

Prof. Dr.-Ing. habil.
Hans-Jörg Werrmann

Prof. Dr. Albrecht Winnacker
Dekan der Technischen Fakultät
Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen-Nürnberg



Advisory Board

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

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

Prof. Dr. rer. nat. Nikolaus Fiebiger
Managing Director of the Bavarian Research Foundation

Prof. Dr. Ignaz Eisele
University of the German Federal Armed Forces, Munich
Faculty of Electrical Engineering
Institute of Physics

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

Klaus Jasper
Ministerialdirigent
Bavarian State Ministry of Commerce, Transportation and Technology

Dr. Ewald Mörsen
CGS Crystal Growing Systems GmbH

Dr. Karl-Heinz Stegemann
ZMD AG

Dr. Thomas Stockmeier
Semikron International Dr. Fritz Martin GmbH & Co KG

Prof. Dr.-Ing. habil.
Hans-Jörg Werrmann

Prof. Dr. Albrecht Winnacker
Dean of the Faculty of Engineering Sciences
Friedrich-Alexander University of Erlangen-Nuremberg

Das Forschungs- und Dienstleistungsangebot

Institutsspezifische Angebote zur Vertragsforschung

Die Arbeitsschwerpunkte des IISB liegen auf dem Gebiet der Simulation der Technologie mikroelektronischer Bauelemente sowie der Herstellungsverfahren von Halbleitermaterialien, der Entwicklung neuer Halbleiterfertigungsgeräte und -methoden sowie der Entwicklung neuer Prozessschritte und Verfahren zur Herstellung höchst- und ultrahochintegrierter Schaltkreise 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 IISB befaßt sich mit der Entwicklung und Erprobung von Halbleiterfertigungsgeräten und -methoden. Die enge Verbindung zwischen Gerätetechnik, chemisch-physikalischer Verfahrenstechnik und Bauelementetechnologie ist hier von herausragender Bedeutung. Die Abteilung bietet interdisziplinäre Forschungs- und Entwicklungsleistungen ausgehend von einem breiten Know-

how und Erfahrungen im Bereich Gerätebau, neue Regelungs- und Steuerungsverfahren, Meßtechnik, chemische Verfahren, Softwareengineering und Fertigungstechnik an. Durch die Anwendung von neuen Simulations- und Entwicklungswerkzeugen können Systemlösungen für Fertigungsgeräte- und Materialhersteller sowie für Halbleiterhersteller entwickelt werden. Beispiele für erfolgreiche, neue Entwicklungen sind: Gerätequalifizierung für ultrareine Prozessierung, Meßtechnik für integrierte Qualitätskontrolle, neue Gerätekonzepte und die Integration von Feed-Forward- und Feedback-Regelungen in Fertigungssteuerungen. Die Entwicklungen tragen den steigenden Anforderungen nach schneller Anwendung in ULSI-Fertigungslinien und einer erhöhten Zuverlässigkeit und Produktivität Rechnung. Deshalb verfügt die Abteilung über eine leistungsfähige Analytik zur Charakterisierung von Geräten, Komponenten und Materialien.

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. Darüberhin-

aus 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, Optoelektronik, Kommunikationstechnologie, Photovoltaik, Medizintechnik und für die Mikrolithographie. Die Strategie ist dabei sowohl durch experimentelle als auch theoretische Studien den Zusammenhang zwischen den Prozeßbedingungen und den Kristalleigenschaften bzw. Kristalldefekten zu identifizieren und zu quantifizieren.

Dazu verfügt die Abteilung über leistungsfähige, benutzerfreundliche Simulationsprogramme, zur Berechnung

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 IISB is the development and testing of semiconductor manufacturing equipment and materials. Most businesses active in this domain have evolved from mechanical engineering or chemical companies and are small or medium-sized. In this context, the close interrelation between equipment technology, physical-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 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, IISB 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 solidification as well as on the profound experiences of its co-workers in mechanical engineering, process analysis and computer simulation.

R&D services are especially the development and optimization of equipment and processes for melt growth of crystals to be used in microelectronics, optoelectronics, communication technology, photovoltaic, medicine technique and microlithography. Thereby, the strategy is to contribute by experimental and theoretical studies to the identification and quantification of the relation of process conditions on crystal properties and defects.

The department is provided with highly efficient user-friendly simulation programs, which are especially suitable for heat and mass transport calculations in high-temperature equipment with complex geometry. These computer codes are continuously further developed in close co-operation with industry with regard to new or improved physical models, to an easier way to use the

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

Das Arbeitsgebiet der Leistungselektronik umfaßt die Bauelemente, Schaltungs- und Systementwicklung für die Antriebs- und Stromversorgungstechnik. Unterstützt werden Firmen in der anwendungsorientierten Vorlauforschung sowie bei der Entwicklung von Prototypen und Kleinserien. Besonderes Augenmerk gilt der mechatronischen Systemintegration, d.h. der Integration von Leistungselektronik, Mikroelektronik, Sensorik und Mechanik. Weitere Themenfelder sind die elektrische und thermische Systemanalyse, Hochtemperatur Elektronik, 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 IISB sehr eng mit dem Lehrstuhl für Elektronische Bauelemente sowie mit dem Institut für Werkstoffwissenschaft-

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

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

Im einzelnen stehen folgende Großgeräte zur Verfügung:

Technologiegeräte

- Oxidation: 3-Stock- und 4-Stocköfen, 300 mm-Vertikalöfen, Kurzzeitoxidation, Rohrreinigungsanlage
- Dotierung: 5 Ionenimplantationsanlagen einschließlich einer Hochenergieimplantationsanlage bis zu 6 MeV, Diffusions- und Temperöfen, Kurzeitausheilapparaturen
- Schichtabscheidung: LPCVD von SiC, SiO₂, Si₃N₄, Ta₂O₅, Polysilicium, SIPOS, Elektronenstrahlverdampfung, Widerstandsverdampfung und induktiver Verdampfer, Sputteranlage für hochschmelzende Metalle, Gold und Aluminium, Epitaxieanlage
- Ätztechnik: Plasma- und RIE-Trockenätzer für SiO₂, Si₃N₄, Silicium, Aluminium, Lackveraschung, Naßätzbänke für alle wesentlichen Ätzschritte
- Polieren: Doppelseitenpoliermaschine, Einseitenpoliermaschine (Chemical Mechanical Polishing)
- Reinigung: Endreinigungsanlage
- Lithographie: Projektions- und Proximity-Belichtungsgeräte, automatische Lackstraße für Belageln und Entwickeln
- Schichtabscheidung: 2 Aufdampf- anlagen, 2 Sputteranlagen, 2 Flüssigphasenepitaxieanlagen
- 2 Bonder (Hand und Automatik), Verkapselung
- Al-Dickdraht-Bonder
- Vakuum-Dampfphasenlötanlage
- Reinnräume 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
- Siliciumscheibenbeschrifter
- Mehrkammerprozeßanlagen

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 characterization of crystals are available due to a close collaboration with the Institute of Electronic Materials Department.

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

Through a cooperation contract between the Fraunhofer-Gesellschaft and the Friedrich-Alexander University of Erlangen-Nuremberg, IISB and the Chair of Electron Devices as well as the 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 Alliance Microelectronics and its incorporation into the Engineering Faculty of the University of Erlan-

gen-Nuremberg, but also by its connections to numerous chairs and institutes of other universities, research institutions, and organizations in Germany as well as in other European countries, in North America, Japan, and China, the basis for scientific research in the field of the technology and fabrication of microelectronic products is enlarged and guaranteed in the long run.

Facilities

The Institute of Integrated Systems and Device Technology has a total of 4,780 m² of floor space at its disposal; 2,620 m² for offices and special purposes and 1,590 m² of laboratory space. In addition, 600 m² of 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 IISB 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 SiC, SiO₂, Si₃N₄, Ta₂O₅, 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 SiO₂, Si₃N₄, silicon, aluminum, resist ashing, wet benches for all essential etching steps
- Polishing: double side polishing, chemical mechanical polishing
- Cleaning: final cleaning equipment
- Lithography: projection and proximity exposure systems, automatic wafer track for coating and developing
- Layer deposition: 2 evaporation systems, 2 sputter systems, 2 liquid phase epitaxy facilities
- 2 bonders (manual and automatic), packaging
- Al wedge bonding
- Vacuum vapor phase soldering
- Class 100 cleanrooms for the development, testing, prequalification, and mounting of semiconductor manufacturing equipment with
 - MESC-compatible cluster platform with XPS measurement module
 - Test set-up for particle measurements
 - Test set-up for plasma diagnostics
 - Vertical furnace with *in situ* layer thickness metrology
- Silicon wafer marker
- integrated vacuum processing tools
- Facilities for crystal growth: 5 high pressure furnaces, 1 multi-zone furnace for high vacuum and reactive atmosphere, several multi-zone furnaces, among other things for special applications (magnetic fields, centrifuge)
- Several magnets for steady and time-dependent magnetic fields
- centrifuge (3 m in diameter, up to 250 rpm)
- Wire saw and polishing machine (max. 3")

- Kristallziehanlagen: 5 Hochdruck-ofenanlagen, 1 Mehrzonenofenanlage für Hochvakuum bzw. Reaktivgase, mehrere Mehrzonenofen 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")

Meßtechnik und Analytik

- Schichtwiderstand (Vierspitzenmeßplatz, Teststrukturen)
- Profile von Ladungsträgerkonzentration und -beweglichkeit (Hall-Meßplatz, Spreading-Resistance)
- Diffusionslänge und Lebensdauer von Minoritätsladungsträgern (Electrolytical Metal Tracer (ELYMAT), Microwave detected Photoconductivity Decay (: -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 (Vierspitzen 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 10 GS/s)
- IR-Thermographie
- Zth-Meßplatz
- normgerechte Burst/Surge-Generatoren, Load-dump, ESD
- Netzleistungs- und Oberwellen-Ana-

- lysator
- Klimatestkammer
- Lastwechselfesteinrichtung
- Impedanzanalysator
- Teilentladungsmessung
- DC-Quellen und elektronische Lasten bis 60 kW
- Motorprüfstand (bis 40 kW)
- Photometer
- Scheibendicke und -form (kapazitiv)
- Schichtdicken (optisch mit Ellipsometer oder Interferometer, mechanisch mit Profilometer, schnelles Interferometer für *in situ*-Messungen, Spektralellipsometer (*in situ*, *ex situ*))
- Strukturbreiten (Rasterelektronenmikroskop, Laserrasterelektronenmikroskop)
- Partikelkontamination (für strukturierte und nicht strukturierte Scheiben)
- Elektronenoptische Untersuchungen (Transmissions- und Rasterelektronenmikroskop mit digitaler Bildverarbeitung, Probenpräparation)
- Mechanische Spannungen in dünnen Schichten
- Interferometer
- 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)
- Scheibenoberflächenpräparationssystem (WSPS)
- Pack Extraction Method (PEM)
- 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
- Magnetsektorfeld-Massenspektrometer
- Flüssigchromatograph (LC)
- TOC-/DOC-Meßgeräte
- Partikelzähler für flüssige und gasförmige Medien und zur Überwachung der Reinraumqualität
- Feinfokusionenstrahlanlagen
- Thermowellenmeßtechnik
- optisches System zur Siliciumscheideninspektion und Defektklassifikation
- Gaschromatograph-Massenspektrometer mit Thermodesorption (TD)-GC-MS
- Kalometrie, Thermodynamik (DTA und DSC)

Technologiegeräte, Meßtechnik und Analytik für 300-mm-Scheiben

Technologiegeräte für

- Oxidation
- Ionenimplantation
- Reinigung
- Naßätzen
- Aufdampfen (Metallisierung)
- Lithographie (bis zu 10 : m)
- Polieren
- Waferreclaim
- Al- und Golddraht-Bonden
- Vakuum-Dampfphasen-Löten

Meßtechnik und Analytik

- Schichtdickenmessung (Spektral- und Einwellenellipsometrie, Interferometrie)
- Thermowellenanalyse
- Atomabsorptionsspektroskopie (AAS)

Metrology and Analytics

- Sheet resistance (four-point probe)
- Profile of carrier concentration and mobility (Hall measuring set, spreading resistance)
- Diffusion length and lifetime of minority carriers (Electrolytical Metal Tracer (Elymat), Microwave detected Photoconductivity Decay (: -PCD))
- Oxide-charge and interface-state density (high and low-frequency capacitance voltage measurement, thermal stress)
- Trap density (Deep Level Transient Spectroscopy (DLTS))
- I-V and C-V measurements with manual or automatic wafer probers
- Test card assembly
- Solar measurement set-up
- Hall effect (temperature-dependent 15 K - 650 K)
- Resistivity mappings (four 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 10 GS/s)
- Thermal imaging system
- Zth measurement equipment
- Burst and surge pulse sources, load-dump, ESD
- Three-phase power meter with line harmonic analyzer
- Climatic test cabinet
- Power cycling test equipment
- impedance analyzer
- partial discharge measuring
- DC power sources and electronic loads up to 60 kW
- Drive test bench (up to 40 kW)
- Photometer
- Wafer thickness and shape (capacitive)
- Layer thickness (optically with ellipsometer or interferometer, mechanically with profilometer, rapid interferometer for *in situ* measurements, spectral ellipsometer (*in situ, ex situ*))
- Feature size (scanning electron microscope, laser scanning microscope)
- Particle contamination (patterned and unpatterned)
- Transmission and scanning electron microscopy with digital image processing, sample preparation
- Mechanical stress in thin films
- Interferometer
- Scanning electron microscope (SEM) with energy-dispersive X-ray analysis (EDX)
- Atomic force 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)
- Wafer surface preparation system (WSPS)
- Pack extraction method (PEM)
- 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
- 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)

Processing Equipment, Metrology and Analytics for 300 mm wafers:

Processing Equipment for

- Oxidation
- Ion implantation
- Cleaning
- Wet etching
- Deposition (metallization)
- Lithography (down to 10 : m)
- Polishing
- Waferreclaim
- Aluminum and gold filament bonding
- Vacuum vapor phase soldering

Metrology and Analytics

- 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)
- Wafer surface preparation system (WSPS)
- Pack extraction method (PEM)
- Optical emission spectroscopy with inductively coupled plasma (ICP-OES)
- Gas chromatography mass spectrometer with thermo-desorption (TD)-GC-MS
- Total-reflection X-ray fluorescence analysis (TXRF)
- Diffusion length and lifetime of minority carriers (Electrolytical Metal Tracer (ELYMAT))
- Particle counter

- Atomabsorptionsspektroskopie (AAS)
- Scheibenoberflächenpräparations-system (WSPS)
- Pack Extraction Method (PEM)
- Optische Emissionspektroskopie (ICP-OES)
- Gaschromatograph-Massenspek-trometrie (GC-MS)
- Totalreflexions-Röntgen-fluoreszenz-Analyse (TXRF)
- Diffusionslänge und Lebensdauer von Minoritätsladungsträger mit Electrolytical Metal Tracer (ELYMAT)
- Partikelmessungen
- Fouriertransformations-Infrarot-Spektroskopie (FTIR)
- Thermodesorption
- Defektinspektion auf unstrukturier-ten Scheibenoberflächen
- Mikroskop mit digitaler Bildverarbei-tung

Softwareausstattung

- Schaltungssimulatoren Pspice, Sim-plerer
- Flotherm (3D thermische FEA)
- Ansoft PEMAG
- Verschiedene Programme für Geräte-, Prozeß- und Bauelemente-simulation, z. B. ICECREM, TRIM, DIOS, DESSIS, FLOOPS, SOLID, DEP3D und Arena
- Cadence Design Paket zur Synthese von Analog-Mixed-Signal ASICs
- Entwicklungswerkzeuge zur Geräte-steuerung
- Fuzzyentwicklungssystem

Rechner

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

Kontakt und weitere Informationen

Öffentlichkeitsarbeit

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

Applikations- und Dienstleistungs-zentrum Mikrosystemtechnik

Sven Berberich
Telefon: +49 (0) 9131 761-341
Fax: +49 (0) 9131 761-360
sven.berberich@iisb.fraunhofer.de

Technologiesimulation

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

Halbleiterfertigungsgeräte und -methoden

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

Technologie

Dr. Lothar Frey
Telefon: +49 (0) 9131 761-320
Fax: +49 (0) 9131 761-360
lothar.frey@iisb.fraunhofer.de

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

Kristallzüchtung

Prof. Georg Müller
Telefon: +49 (0) 9131 852-7636
Fax: +49 (0) 9131 852-8495
georg.mueller@iisb.fraunhofer.de

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

Leistungselektronische Systeme

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

- Fourier transformation infrared spectroscopy (TTIR)
- thermo-desorption
- defect inspection of unpatterned wafer surfaces
- microscope with digital image processing

Software Tools

- Circuit simulation tools Pspice, Simplorer
- 3-D thermal FEA
- Ansoft PEMAG
- Various tools for equipment, process, and device simulation, e.g. ICECREM, TRIM, DIOS; DESSIS, FLOOPS, SOLID DEP3D and Arena
- Cadence design package for syntheses of analog mixed-signal ASICS
- Development tools for equipment control
- Fuzzy development system

Computers

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

Contact and Further Information

Public Relations

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

Application and Service Center for Microsystems Technology

Sven Berberich
 Phone: +49 (0) 9131 761-341
 Fax: +49 (0) 9131 761-360
 sven.berberich@iisb.fraunhofer.de

Technology Simulation

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

Semiconductor Manufacturing Equipment and Methods

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

Technology

Dr. Lothar Frey
 Phone: +49 (0) 9131 761-320
 Fax: +49 (0) 9131 761-360
 lothar.frey@iisb.fraunhofer.de

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

Crystal Growth

Prof. Georg Müller
 Phone: +49 (0) 9131 852-7636
 Fax: +49 (0) 9131 852-8495
 georg.mueller@iisb.fraunhofer.de

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

Power Electronic Systems

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

Mitarbeiterentwicklung

2003 beschäftigte das IISB 106 Mitarbeiter. Fig. 3 zeigt die Entwicklung des Personalstandes seit 1993.

Staff Development

In 2003, IISB had 106 employees. Fig. 3 shows the staff development since 1993.

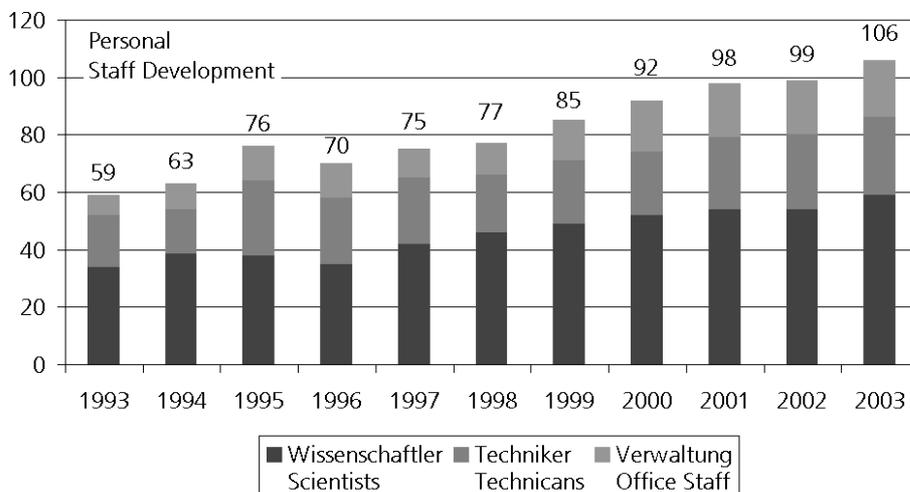


Fig. 3: Personalentwicklung 1993 - 2003;
Staff development 1993 - 2003.

Betriebshaushalt

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

Budget

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

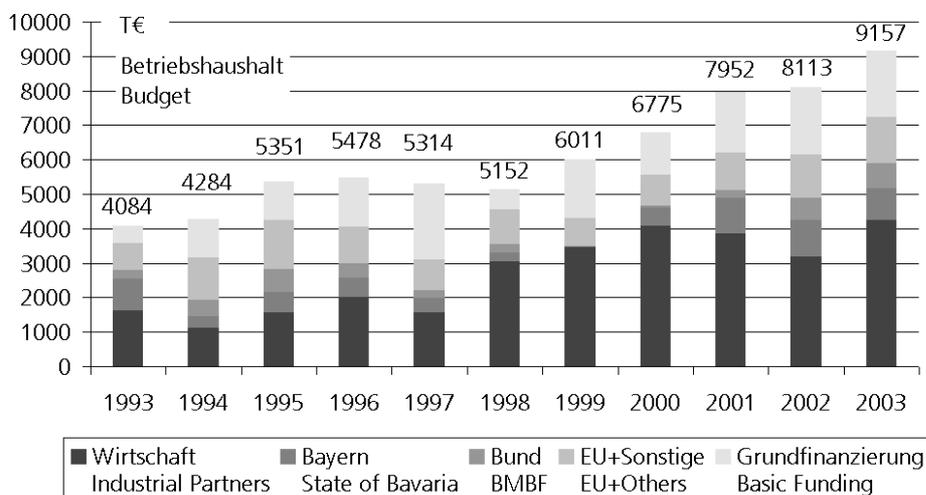


Fig. 4: Entwicklung des Betriebshaushaltes;
Budget development IISB.

Representative Figures

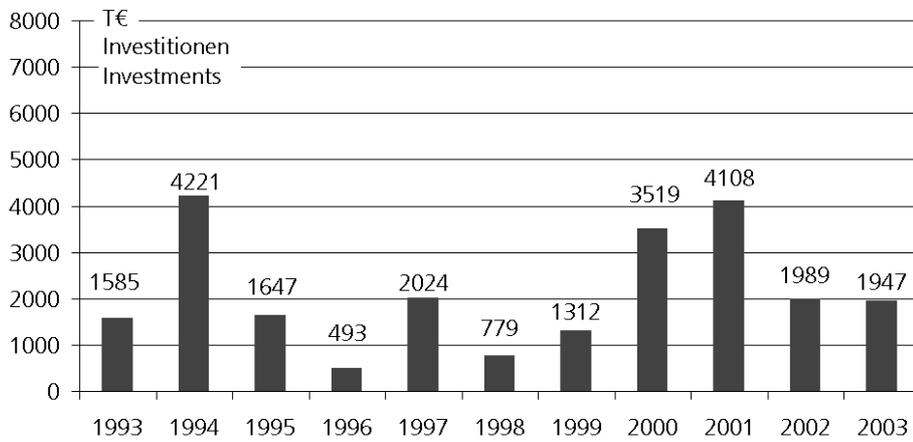


Fig. 5: Entwicklung des Investitionshaushaltes;
Development of investments.

Die Fraunhofer-Gesellschaft auf einen Blick

Die Forschungsorganisation

Die Fraunhofer-Gesellschaft betreibt anwendungsorientierte Forschung zum unmittelbaren Nutzen für Unternehmen und zum Vorteil der Gesellschaft. Vertragspartner und Auftraggeber sind Industrie- und Dienstleistungsunternehmen sowie die öffentliche Hand. Im Auftrag und mit Förderung durch Ministerien und Behörden des Bundes und der Länder werden zukunftsrelevante Forschungsprojekte durchgeführt, die zu Innovationen im öffentlichen Nachfragebereich und in der Wirtschaft beitragen.

Mit technologie- und systemorientierten Innovationen für ihre Kunden tragen die Fraunhofer-Institute zur Wettbewerbsfähigkeit der Region, Deutschlands und Europas bei. Dabei zielen sie auf eine wirtschaftlich erfolgreiche, sozial gerechte und umweltverträgliche Entwicklung der Gesellschaft.

Ihren Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern bietet die Fraunhofer-Gesellschaft eine Plattform zur fachlichen und persönlichen Entwicklung für anspruchsvolle Positionen in ihren Instituten, in anderen Bereichen der Wissenschaft, in Wirtschaft und Gesellschaft.

Die Fraunhofer-Gesellschaft betreibt derzeit rund 80 Forschungseinrichtungen, davon 58 Institute, an über 40 Standorten in ganz Deutschland. Rund 12 500 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, überwiegend mit natur- oder ingenieurwissenschaftlicher Ausbildung, bearbeiten das jährliche Forschungsvolumen von über 1 Milliarde €. Davon fallen mehr als 900 Millionen € auf den Leistungsbereich Vertragsforschung. Für rund zwei Drittel dieses Leistungsbereichs erwirtschaftet die Fraunhofer-Gesellschaft Erträge aus Aufträgen der Industrie und öffentlich finanzierten Forschungsprojekten. Ein Drittel wird

von Bund und Ländern beigesteuert, um damit den Instituten die Möglichkeit zu geben, Problemlösungen vorzubereiten, die in fünf oder zehn Jahren für Wirtschaft und Gesellschaft aktuell werden.

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

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 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 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

The Fraunhofer-Gesellschaft at a Glance

The Research Organization

The Fraunhofer-Gesellschaft undertakes applied research of direct utility to private and public enterprise and of wide benefit to society. Its services are solicited by customers and contractual partners in industry, the service sector and public administration. The organization also accepts commissions and funding from German federal and *Länder* ministries and government departments to participate in future-oriented research projects with the aim of finding innovative solutions to issues concerning the industrial economy and society in general.

By developing technological innovations and novel systems solutions for their customers, the Fraunhofer Institutes help to reinforce the competitive strength of the economy in their local region, and throughout Germany and Europe. Through their work, they aim to promote the successful economic development of our industrial society, with particular regard for social welfare and environmental compatibility.

As an employer, the Fraunhofer-Gesellschaft offers a platform that enables its staff to develop the professional and personal skills that will allow them to take up positions of responsibility within their institute, in other scientific domains, in industry and in society.

At present, the Fraunhofer-Gesellschaft maintains roughly 80 research units, including 58 Fraunhofer Institutes, at over 40 different locations in Germany. A staff of some 12,500, predominantly qualified scientists and engineers, work with an annual research budget of over 1 billion euros. Of this sum, more than €900 million is generated through contract research. Roughly two thirds of the Fraunhofer-Gesellschaft's contract

research revenue is derived from contracts with industry and from publicly financed research projects. The remaining one third is contributed by the German federal and *Länder* governments, as a means of enabling the institutes to pursue more fundamental research in areas that are likely to become relevant to industry and society in five or ten years' time.

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

The Fraunhofer-Gesellschaft was founded in 1949 and is a recognized non-profit organization. Its members include well-known companies and private patrons who help to shape the Fraunhofer-Gesellschaft's research policy and strategic development.

The organization takes its name from Joseph von Fraunhofer (1787-1826), the illustrious Munich researcher, inventor and entrepreneur.

The Research Fields

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

- Materials technology, component behavior
- Production technology, manufacturing engineering
- Information and communications technology
- Microelectronics, microsystems technology
- Sensor systems, testing technology
- Process technology
- Energy and building technology, environmental and health research

- Technical and economic studies, information transfer

The Research Clients

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

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

The Range of Services

Commercial success depends on new ideas rapidly implemented as 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-

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 Vorlaufforschung bringt die Fraunhofer-Gesellschaft bereits als Startkapital in die Partnerschaft ein.

Der Weg zur Zusammenarbeit mit der Fraunhofer-Gesellschaft

Die zentrale Anschrift lautet:

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

Dem Vorstand gehören an:

Prof. Dr. Hans-Jörg Bullinger, Präsident
(Unternehmenspolitik und Forschung)
Dr. Alfred Gossner
(Finanzen und Controlling)
Dr. Dirk-Meints Polter
(Personal und Recht)
Prof. Dr. Dennis Tschirtz
(International Business Development)

Ihre Ansprechpartner in der Abteilung für Presse und Öffentlichkeitsarbeit:

Dr. Ingo Heinemann
(Öffentlichkeitsarbeit)
Telefon: +49 (0) 89/12 05-1351
sarria@zv.fraunhofer.de
Franz Miller
(Presse)
Telefon: +49 (0) 89/12 05-1300
miller@zv.fraunhofer.de

tech laboratories for virtually all kinds of development work, for special services, and as expert consultants on organizational and strategic questions. Professional project management and processes of quality management lead to concrete results of genuine market value.

The Advantages of Contract Research

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

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

Working together with the Fraunhofer-Gesellschaft

The central address is:

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

The Members of the Executive Board:

Prof. Dr. Hans-Jörg Bullinger
(President)
Dr. Alfred Gossner
(Finance and Controlling)
Dr. Dirk-Meints Polter
(Personnel and Legal Department)
Prof. Dr. Dennis Tschritzis
(International Business Development)

Press and Public Relations:

Dr. Ingo Heinemann
(Public Relations)
Phone: +49 (0) 89 1205-1351
sarria@zv.fraunhofer.de
Franz Miller
(Press)
Phone: +49 (0) 89 1205-1300
miller@zv.fraunhofer.de

Fraunhofer-Verbund Mikroelektronik

Der Fraunhofer-Verbund Mikroelektronik V: E koordiniert seit 1996 die Aktivitäten der auf den Gebieten Mikroelektronik und Mikrointegration tätigen Fraunhofer-Institute. Seine Aufgabe besteht dabei im frühzeitigen Erkennen neuer Trends bei mikroelektronischen Anwendungen und deren Berücksichtigung bei der strategischen Weiterentwicklung der Verbundinstitute. Dies geschieht vorwiegend durch Entwicklung gemeinsamer Themenschwerpunkte und Projekte. Auf diesem Wege kann der Verbund insbesondere innovativen mittelständischen Unternehmen rechtzeitig zukunftsweisende Forschung und anwendungsorientierte innovative Entwicklungen anbieten und so entscheidend zu deren Wettbewerbsfähigkeit beitragen. Der Verbund widmet sich beispielsweise den aktuellen Themen ubiquitärer Elektronik und Systeme.

Die Geschäftsstelle des Fraunhofer-Verbunds Mikroelektronik fungiert als zentrales Koordinierungsbüro für neun Verbundinstitute. Sie berät und unterstützt das Direktorium des Verbunds Mikro-

elektronik 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 Alliance Microelectronics

The Fraunhofer Microelectronics Alliance V: E coordinates the activities of the Fraunhofer institutes working in the fields of microelectronics and micro-integration. 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 ex-

remely early stage, thus giving them a distinct competitive advantage.

The office of the Fraunhofer Microelectronics Alliance serves as a central liaison point for the nine 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.

Fraunhofer-Institut / Fraunhofer Institute	Ort / Location	Leitung / Director
Angewandte Festkörper Physik IAF / Applied Solid State Physics IAF	Freiburg	Prof. Dr. Günter Weimann
Heinrich-Hertz-Institut für Nachrichtentechnik HHI Heinrich-Hertz-Institut HHI	Berlin	Prof. Dr. Joachim Hesse
Integrierte Schaltungen IIS / Integrated Circuits IIS	Erlangen, Nürnberg, Fürth Dresden	Prof. Dr. Heinz Gerhäuser
Integrierte Systeme und Bauelementetechnologie IISB / Integrated Systems and Device Technology IISB	Erlangen	Prof. Dr. Heiner Ryszel
Mikroelektronische Schaltungen und Systeme IMS / Microelectronic Circuits and Systems IMS	Duisburg	Prof. Dr. Günter Zimmer
Photonische Mikrosysteme IPMS / Photonic Microsystems IPMS	Dresden	Dr. Hubert Lakner
Siliciumtechnologie ISIT / Silicon technology ISIT	Itzehoe	Prof. Dr. Anton Heuberger
Systeme der Kommunikationstechnik ESK / Communications Systems ESK	München	Dr. Rudi Knorr
Zuverlässigkeit und Mikrointegration IZM / Reliability and Microintegration IZM	Berlin, München, Teltow Chemnitz, Paderborn, Oberpfaffenhofen	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

In 2003 konnte die Abteilung Technologiesimulation erneut die Erfolge der Vorjahre fortsetzen. Neben der Anerkennung der wissenschaftlichen Arbeiten konnte erneut ein sehr hoher Finanzierungsanteil durch externe Projekte erreicht werden. Die Hauptrichtungen der wissenschaftlichen Arbeiten sind nach wie vor die Entwicklung physikalischer Modelle, von problemangepassten Algorithmen und Simulationsprogrammen, sowie ihre Anwendung zur Optimierung von Halbleitertechnologien, -bauelementen und -fertigungsgeräten. Ein Ausbau der Aktivitäten erfolgte insbesondere hinsichtlich der Simulation von Lithographieschritten und von sogenannten Interconnects, die zunehmend die Signalverzögerung in ICs dominieren.

Hinsichtlich unserer europäischen Kooperationen stand 2003 im Zeichen des Übergangs vom fünften zum sechsten Rahmenprogramm der EU. Von den im letzten Jahresbericht erwähnten vier Verbundprojekten, die vom IISB auf dem Gebiet der Technologiesimulation in 2002 koordiniert wurden, wurde das Projekt MAGIC_FEAT Ende April 2003 erfolgreich abgeschlossen. Auf dieses Projekt geht ein separater Fachbeitrag ein. Die wichtigste Änderung des sechsten Rahmenprogramms verglichen mit seinen Vorgängern ist die Einführung der sogenannten „Neuen Instrumente“, die insbesondere aus großen „Integrierten Projekten“ (IPs), bei denen die EU mehr Kompetenz und Verantwortung an das Konsortium delegiert, und „Exzellenznetzwerken“ („Networks of Excellence“ - NoEs), deren wichtigster Zweck die langfristige Integration der Forschungspläne der Teilnehmer ist, bestehen. Insbesondere für die Integrierten Projekte wurden von der EU

einige wenige Themenfelder im „Call for Proposals“ priorisiert. Im für die Abteilung wichtigsten Teil des IST Arbeitsprogramms - „Pushing the Limits for CMOS, preparing for Post-CMOS“ wurden im Laufe des Jahres nach der Evaluierung schließlich insgesamt nur zwei Anträge ausgewählt, die zusammen allerdings etwa die Hälfte der in diesem Teilgebiet verfügbaren Mittel binden: „NANOCMOS“ zur 45- und 32-nm-Front-End-Technologie, sowie „More Moore“ zur EUV-Lithographie. Diese Projekte beginnen im März bzw. im Januar 2004. Aufgrund ihrer fachlichen Vorarbeiten und ihrer zentralen Rolle in abgeschlossenen und laufenden Projekten zur Entwicklung von Modellen und Programmen für die Prozeßsimulation ist die Abteilung in beiden Projekten mit wichtigen Beiträgen zur Unterstützung der Technologieentwicklung mittels Simulation vertreten. Demgegenüber ist die weitere Entwicklung der Simulationswerkzeuge selber nicht Bestandteil dieser IPs, aber unbedingt erforderlich. Das IISB hat durch die Initiierung und Koordination der bereits im letzten Jahresbericht erwähnten IST User Group UPPER+ sowie seine Mitarbeit in der ITRS - siehe auch den separaten Fachbericht - ausgezeichnete Voraussetzungen geschaffen, auch in Zukunft die notwendigen FuE-Arbeiten zur Simulation auf europäischer Ebene weiter effizient entsprechend den industriellen Anforderungen zu organisieren, ähnlich wie in den zur Zeit vom IISB koordinierten laufenden IST-Projekten FRENDETECH und MULSIC.

Auf nationaler Ebene ist die für die Abteilung wichtigste Entwicklung die Gründung des Maskenzentrums AMTC in Dresden durch Infineon, AMD und Dupont. Parallel hierzu fördert das BMBF seit Herbst 2003 das Verbundprojekt „Abbildungsmethodiken für nanoelektronische Bauelemente“ zur Entwicklung fortschrittlicher Lithographieverfahren. Aufgrund seiner in den

letzten Jahren aufgebauten Kompetenz zur Lithographiesimulation kann das IISB zentrale Simulationsbeiträge zu diesem Projekt leisten und erhält dafür von den beteiligten Firmen umfangreiche Aufträge. Neben der oben erwähnten Beteiligung in More Moore unterstreicht dies erneut den Erfolg des Aufbaus des Arbeitsgebiets Lithographiesimulation am IISB.

Auch in 2003 hat sich der den Aktivitäten der Abteilung zugrundeliegende Finanzierungsmix bewährt, der gegenwärtig etwa zu gleichen Teilen aus EU- und verschiedenen Industrieprojekten besteht. Ein Ziel für 2004 ist es, diese bereits sehr breite Basis von Auftraggebern weiter zu verbreitern, um möglichst gut gegen Engpässe bei einzelnen öffentlichen oder industriellen Auftraggebern gewappnet zu sein. Für die Vorlufforschung ist ein weiterer Ausbau der Kooperation mit dem Lehrstuhl für Elektronische Bauelemente geplant. Hier sollte für 2003 speziell die Bewilligung eines Projekts zur Segregation von Dotierungsatomen an Grenzflächen erwähnt werden, das mit Förderung der DFG, der schwedischen SSF bzw. der amerikanischen NSF durch den LEB und Partnerlehrstühle in Schweden und den USA bearbeitet wird.

Ansprechpartner

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

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

In 2003, the department Technology Simulation continued its success from the preceding years. Besides the acknowledgement of its scientific work, again very high revenues from external projects were achieved. The main directions of our work were again the development of physical models, of problem-specific algorithms and simulation programs, and their application for the optimization of semiconductor technologies, devices and fabrication equipment. The activities were especially extended in the areas of simulation of lithography and of interconnects, the latter of which increasingly dominate signal delay in integrated circuits. In turn, the department now works on the simulation of all process steps which are essential in semiconductor technology.

In 2003, our European cooperations were significantly influenced by the transition from the Fifth to the Sixth Framework Programme of the EC. Among the four European compound projects mentioned in our preceding annual report, which have been coordinated by IISB in the field of technology simulation, the project MAGIC_FEAT was successfully completed in 2003. In this report, a separate contribution deals with this project. The most important change in the Sixth Framework Programme compared with the preceding ones has been the introduction of the so-called "New Instruments", which especially include large "Integrated Projects" (IPs) and "Networks of Excellence" (NoEs). The main goal of the Networks of Excellence is the long-lasting integration of the research plans of the partners involved. In the Integrated Projects, the EC delegates more responsibility to the consortium. For the IPs,

only a very small number of areas were prioritized by the EC in the first Call for Proposals. In the area most important for the department within the IST Workplan of the EC – "Pushing the Limits of CMOS, Preparing for Post-CMOS" – during 2003 the EC selected after evaluation of the proposals only two projects for funding, which however add up to about half of the budget available in this area of the work-programme: "NANOCMOS" on 45 and 32 nm front-end technology, and "More Moore" on EUV lithography. These projects start in March and January 2004, respectively. Because of its scientific background work and its central role in completed and running projects on the development of models and programs for process simulation, the department has got involved in both projects with important contributions to the support of technology development by simulation. The further development of the simulation tools is not part of these projects but nevertheless stays highly important. IISB has among others via the coordination of the IST User Group UPPER+ (which has already been mentioned in the preceding report) and via its active involvement in the ITRS - see the separate report - created excellent conditions to efficiently organize the required European R&D work on simulation according to the industrial requirements also in the future. This has been done before, e.g. in the current IST projects FRENDECH and MULSIC, coordinated by IISB.

The development most important for the department on the national level is the foundation of the mask company AMTC in Dresden by Infineon, AMD, and Dupont. In parallel, the BMBF is funding the compound project „Abbildungsmethodiken für nanoelektrische Bauelemente“ (imaging methods for nanoelectric devices) on the development of advanced methods for lithogra-

phy since fall 2003. Due to the excellence in the field of lithography simulation established at IISB during the last years the institute will provide essential contributions on simulation support to this project within bilateral contracts with partner companies. Together with its contribution to More Moore, this again highlights the success of the establishment of lithography simulation at IISB.

In 2003 the financing of the department resulted roughly to the same extent from EU projects and various industrial contracts. This mix has again proven to be advantageous. One goal for 2004 is to further broaden this mix of funding partners, in order to minimize the impact of potential limitations and bottlenecks at individual public or industrial partners. In terms of forefront research a further extension of the cooperation with the Chair of Electron Devices (LEB) is planned. Here, for 2003 especially a new project on the segregation of dopant atoms at interfaces should be mentioned, which will be carried out in cooperation between LEB and partner chairs in Sweden and the USA, funded by the DFG, the Swedish SSF and the American NSF.

Contact

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

Dreidimensionale Simulation neuartiger CMOS-Bauelemente

Zur Zeit bilden Kurzkanaleffekte in der CMOS-Technologie auf konventionellen Siliciumscheiben eine Grenze für die weitere Miniaturisierung der Bauelemente. Deshalb müssen neue Bauelementearchitekturen herangezogen werden, um die Begrenzung zu überwinden. Eine mögliche Lösung ist die Verwendung von SOI (Silicon-On-Insulator)-Substraten in Kombination mit der Einführung von mehrseitigen Gate-Elektroden. Diese Lösung wird im europäischen Projekt NESTOR verfolgt, in welchem führende europäische Halbleiterhersteller neue Technologielösungen für die 25-nm-CMOS-Generation entwickeln. Das IISB unterstützt die technologischen Entwicklungen im Projekt mit Hilfe numerischer Prozeß- und Bauelementesimulation. Speziell führt das IISB dreidimensionale Simulationen von neuartigen FinFET-Bauelementen in diesem Projekt durch.

FinFET-Transistoren stellen eine Art von MOS-Transistoren dar, welche auf SOI-Scheiben hergestellt werden. Die Empfindlichkeit dieser neuen Bauelemente gegenüber verschiedenen technologisch bedingten Einflüssen mußte neu analysiert werden: z.B. mußte der Corner-

Effekt, bekannt als eine Anhäufung der Leckströme in den Ecken des aktiven Gebiets, für FinFETs erneut betrachtet werden. Mit Hilfe von 3D-Simulationen konnten wir zeigen, daß in FinFETs ein umgekehrter Corner-Effekt stattfindet, der sich in einer Verminderung der Leckstromdichte in den Ecken des aktiven Gebiets äußert.

Die Abbildungen dieses Artikels zeigen einige typische Simulationsergebnisse für FinFET-Bauelemente mit 25 nm Kanallänge. Die Simulationen wurden mit den unter Beteiligung des IISB im Projekt MAGIC_FEAT verbesserten Prozeß- und Bauelementesimulatoren des Softwarehauses ISE AG durchgeführt.

In Fig. 1 ist eine Hälfte des FinFET-Transistors abgebildet. Die Vorderwand der gezeigten Struktur stellt eine Symmetrieebene des FinFET-Transistors dar, welche durch die Mitte der Source-Drain- und Gate-Elektroden verläuft. Die Source-Elektrode ist im Bild grün dargestellt und befindet sich links, die Drain-Elektrode ist rot gefärbt und ist rechts im Bild. Der Transistor in Fig. 1 ist in einem elektrisch geschlossenen Zustand. Die Verteilung von Leckstromdichte in einem vertikalen Schnitt durch die Mitte des aktiven Gebiets ist in Fig. 2 gezeigt. Der Leckstrom konzentriert sich in der Mitte des Siliciumstegs, welcher das aktive Gebiet des FinFETs bildet. Die Leckstromdichte in den Ecken des aktiven Gebiets ist um zwei Größenordnungen niedriger als in der Mitte. Das heißt, daß ein umgekehrter Corner-Effekt beobachtet wird und die in diesem Beispiel gewählte omega-förmige Gate-Elektrode eine gute Lösung für die FinFET-Transistoren darstellt.

Fig. 3 vergleicht die elektrische Strom-Spannung-Kennlinien von simulierten FinFETs mit verschiedenen Abmessungen. Die Gatelänge und die Finbreite wurden in den Simulationen variiert. Die Zahlen in der Bildbeschriftung be-

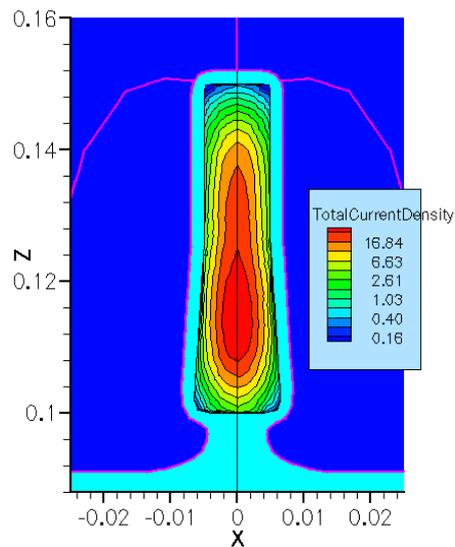


Fig. 2: Leckstromverteilung in einem vertikalen Schnitt in der Mitte der Gate-Elektrode eines 25-nm-FinFET-Transistors; Leakage current distribution in a vertical fin cross-section through the middle of the gate of a 25 nm FinFET transistor.

zeichnen die Gatelänge L und die Finbreite W in Nanometern. Die Finhöhe war für alle simulierten FinFET-Bauelemente 50 nm.

In Fig. 4 wird das Verhältnis zwischen dem Leckstrom und dem Arbeitsstrom derselben FinFET-Transistoren gezeigt. Das Verhältnis zwischen dem Leckstrom und dem Arbeitsstrom ist für die Optimierung der Leistungsfähigkeit der Transistoren von großer Bedeutung. Ein höherer Arbeitsstrom ist üblicherweise mit einer höheren Schaltgeschwindigkeit verbunden und der niedrigere Leckstrom bedeutet einen niedrigeren Stromverbrauch im Ruhezustand. Die Arbeit an der Optimierung neuer Bauelementearchitekturen und technologischer Optionen wird im europäischen Projekt NanoCMOS, welches im zweiten Quartal 2004 startet, fortgesetzt.

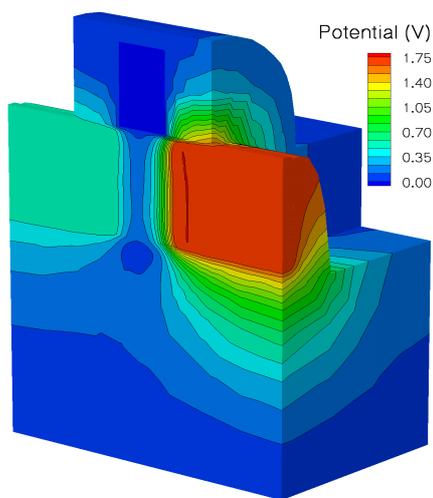


Fig. 1: Dreidimensionale Simulation eines 25 nm FinFET-Transistors: Potentialverteilung im Transistor; Three-dimensional simulation of a 25 nm FinFET transistor: Potential distribution inside the transistor.

Ansprechpartner

Dr. Alexander Burenkov
Telefon: +49 (0) 9131 761-255
alexander.burenkov@iisb.fraunhofer.de

Three-Dimensional Simulation of Advanced CMOS Devices

Miniaturization is the general trend of CMOS technology evolution. Each new generation of CMOS devices has a smaller size and is therefore faster, consumes less energy per function and more functions can be integrated on a chip. Currently, different short-channel effects limit further miniaturization of the conventional bulk silicon CMOS technology. Therefore, new device architectures have to be considered to overcome these limitations. A possible solution is the use of SOI (Silicon-On-Insulator) wafers in combination with the introduction of multiple-gate electrodes in CMOS devices. This way was chosen in the European project NESTOR in which several leading European semiconductor manufacturers are developing new technological solutions for the 25 nm CMOS technology generation. IISB supports technological developments in this project by means of numerical process and device simulations. Specifically, three-dimensional simulations of the novel FinFET devices were performed.

The FinFET transistors are a kind of MOS transistor fabricated on SOI wafers. This transistor architecture allows an easy implementation of differently shaped gate electrodes. The sensitivity of the new devices to different technological uncertainties must be reconsidered for this new kind of transistors.

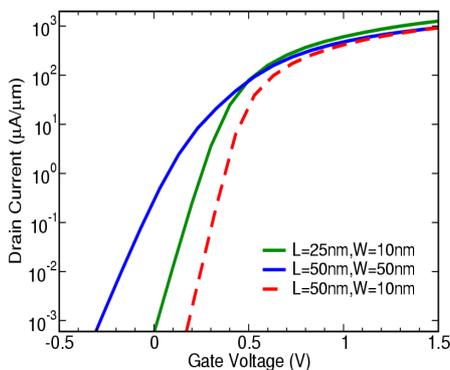


Fig. 3: Übertragungskennlinien von FinFET-Transistoren mit verschiedenen Gatelängen und Finbreiten; Transfer characteristics of FinFET transistors with different gate length and fin width.

For example, the corner effect which is known in larger CMOS devices as a parasitic enhancement of the leakage current in the corners of the active area was investigated in FinFETs. Using 3D simulations, we could show that there is no detrimental influence on FinFET performance because of the corner effect. Therefore, new technological options become possible.

The figures in this contribution show some of the typical simulation results for a FinFET with 25 nm gate length. In fig. 1, one half of the FinFET transistor is depicted. The simulations were performed using device and process simulation software of the software company ISE AG. The software features for 3D simulation have been enhanced in the European project MAGIC_FEAT. The front plane of the structure shown in the picture is the vertical symmetry plane of the FinFET transistor going through the middle of the source, drain, and gate electrode. The source electrode (green) is on the left hand side and the drain electrode (red) is on the right hand side of the figure. The transistor in fig. 1 is in an electrically closed state, so there is a minimum of the electrical potential in the middle of the active area under the gate electrode which builds a barrier between source and drain as it should be in a well-working MOS transistor.

The leakage current distribution in a cut through the active area of the FinFET transistor is shown in fig. 2. The leakage current is concentrated in the middle of the active area, and there is a depletion of the leakage current density in the corners by two orders of magnitude. This means that a reverse corner effect is observed, and the omega-shaped gate as depicted in fig. 2 is a good technological option for these transistors.

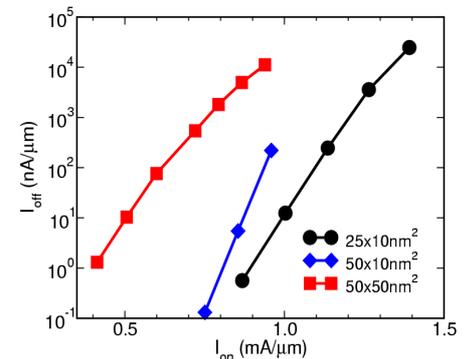


Fig. 4: Verhältnis zwischen dem Leckstrom und dem Arbeitsstrom für FinFET-Transistoren mit verschiedenen Gatelängen und Finbreiten; Relation between the off-current and on-current for FinFET transistors with different gate length and fin width.

Fig. 3 compares the electrical current-voltage characteristics of the FinFET transistors with different gate length and different width of the silicon fin. The numbers in the legend to this figure mean the gate length L and the fin width W which is also the width of the active silicon area of the transistor. The fin height was 50 nm for all transistors considered.

In fig. 4, the relation between the leakage current and the on-state current of the FinFETs with different gate length and different fin width is shown. The relation is especially important for the optimization of device performance since a higher on-current supposes a higher switching speed, and a lower leakage means a lower stand-by current consumption. The work on optimization of the device architectures and technological options for novel devices by means of numerical simulation will be continued in the European project NanoCMOS which was started in the second quarter of 2004.

Contact

Dr. Alexander Burenkov
Phone: +49 (0) 9131 761-255
alexander.burenkov@iisb.fraunhofer.de

Das Projekt MAGIC_FEAT: Software für 3D-TCAD

Einleitung

Gekoppelte Prozeß- und Bauelemente-simulation (das sogenannte TCAD) sind in der industriellen Praxis für die Technologie- und Bauelementeentwicklung mittlerweile unverzichtbar geworden. Für kleiner werdende Strukturgrößen und fortschrittliche Bauelemente-Architekturen ist es dabei notwendig, 3D-Effekte zu berücksichtigen. Von entscheidender Bedeutung ist hier die Diskretisierung der Strukturen. Auf der einen Seite muß die Zahl der Diskretisierungspunkte hoch genug sein, um die Geometrien und Dotierstoffverteilungen hinreichend genau aufzulösen. Auf der anderen Seite ist es anzustreben, mit möglichst wenig Punkten auszukommen, da die Rechenzeit- und Speicheranfordernisse für 3D-Simulationen immer noch relativ hoch sind. Außerdem müssen beliebige Strukturen diskretisierbar und Prozeßfolgen darstellbar sein.

Punkte aktueller Forschung und Entwicklung, für die noch nicht komplett zufriedenstellende Lösungen existieren, sind unter anderem

- die Darstellung hochgradig nicht planarer Geometrien,
- die Auflösung dünner Schichten (z.B. Gateoxide),
- das Wechselspiel zwischen Diskretisierungsgenauigkeit und Rechengeschwindigkeit,
- die Qualität der Gitter im Hinblick auf die in den Simulationsprogrammen eingesetzten numerischen Verfahren,
- Datenstrukturen, die eine Verknüpfung mit existierenden Programm-Systemen erlauben,
- eine modulare Software-Architektur, die eine möglichst einfache Erweiterung ermöglicht, wie zum Beispiel das Hinzufügen neuer physikalischer Modelle.

In MAGIC_FEAT entwickelte Simulationsprogramme

Im Rahmen des EU-Projekts MAGIC_FEAT arbeitete ein Konsortium, bestehend aus Forschungsinstituten, Universitäten, einem Softwarehaus und einer Halbleiterfirma, an der Entwicklung, Implementierung und Evaluierung von fortschrittlichen Software-Modulen für Oberflächen- und Volumengitter, wie sie für 3D-TCAD benötigt werden. Projektpartner: IISB (Koordinator), ISE AG Zürich, ST Microelectronics (Frankreich), ETH Zürich, INRIA (Frankreich), TU Wien. Die im Projekt entwickelte Software benutzt eine standardisierte Datenstruktur, die eine Kopplung mit der Software-Suite des Softwarehauses ISE AG ermöglicht. Das IISB beschäftigte sich im Rahmen des Projektes mit der Entwicklung von Simulations-Modulen für die Erzeugung von 3D-Strukturen (Strukturierung, Abscheidung) und für die Vergrößerung von Oberflächengittern bei gleichzeitigem Beibehalten einer hinreichenden Genauigkeit sowie mit der Verbesserung unseres analytischen Implantations-Simulators hinsichtlich der Rechengeschwindigkeit und der darin zur Verfügung stehenden Modelle.

Die Software-Evaluierung wurde vom Industriepartner ST Microelectronics koordiniert. Die verschiedenen Module wurden dabei kombiniert, um eine Simulation und Vergitterung realistischer 3D-Geometrien und Dotierstoffkonzentrationen zu ermöglichen, wie sie für aktuelle Bauelemente repräsentativ sind. In Fig. 1 ist ein STI (shallow-trench-isolated) MOS-Transistor dargestellt. Dessen Geometrie und Dotierstoffverteilung wurden durch eine Kombination verschiedener Module der MAGIC_FEAT-Software simuliert, darunter die Programme des IISB zur Geometrie-Erzeugung und Simulation der Ionenimplantation. Zusätzlich wurde der Nutzen

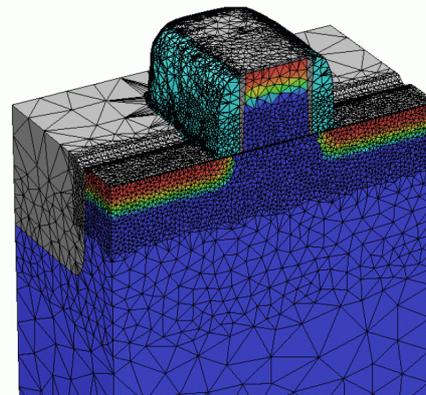


Fig. 1: 3D-Geometrie eines STI MOS-Transistors. Gezeigt ist das Volumengitter sowie die Konzentration des bei der Source-Drain-Implantation eingebrachten Bors; 3D STI MOS transistor geometry with volume mesh and simulated boron concentration implanted during the source-drain implantation step.

der MAGIC_FEAT-Programme für die Anwendung bei der Simulation von fortschrittlichen Bauelementen, wie z.B. sogenannter FinFET-Transistoren, die als vielversprechend für die sub-100-nm-Generation gelten, demonstriert (Fig. 2).

Zusammenfassung

Es wurden erfolgreich verschiedene Software-Module entwickelt oder verbessert, welche die Strukturierung und die Generation von Oberflächen- und Volumengittern ermöglichen, wie sie für die gekoppelte 3D-Prozeß- und Bauelementesimulation benötigt werden. Die Schnittstelle dieser Module zu der ISE Software-Suite ermöglicht die Verwendung im Rahmen einer kommerziellen TCAD-Umgebung.

Ansprechpartner

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

The MAGIC_FEAT Project: Software for 3D TCAD

Introduction

Coupled process and device simulation (so-called TCAD) is an essential tool for device and technology development in industrial practice. With feature sizes shrinking and device architectures becoming more sophisticated (such as FinFET geometries), the consideration of 3D effects becomes indispensable. A crucial point is the way the devices are discretized: The discretization needs to be fine enough to allow accurate simulation. However, for 3D simulation, computation time is still a critical issue, thus requiring also an efficient discretization as reducing the number of mesh points allows a reduction of CPU time and memory requirements. Furthermore, it must be possible to discretize arbitrary structures and to simulate arbitrary process sequences.

Issues to be addressed in this field and for which at present still no completely satisfying solutions exist are among others:

- the representation of highly non-planar time-dependent geometries,
- the resolution of thin layers (such as gate oxides),
- an acceptable tradeoff of discretization accuracy versus efficiency,
- the provision of quality meshes to the solvers employed by the simulation tools,
- interfaces that allow the integration into existing packages,
- a modular software architecture to allow the straightforward addition of e.g. further physical models.

Simulation tools developed within MAGIC_FEAT

Within the project MAGIC_FEAT funded by the EU, a consortium consisting of

European research institutes, universities, a software house, and a semiconductor manufacturer worked on the development, implementation, and evaluation of advanced tools for surface and bulk meshing as required for 3D TCAD. The partners were: IISB (coordinator), ISE AG Zurich, ST Microelectronics France, ETH Zurich, INRIA (France), and TU Vienna. The software is based on a common data structure which allows the use of all modules of MAGIC_FEAT in conjunction with the software suite of the software house ISE AG. The work at IISB within MAGIC_FEAT dealt with the development of tools for creating 3D geometries (patterning, deposition), surface mesh coarsening to reduce the number of triangles while maintaining sufficient accuracy, and the improvement of our 3D analytical ion implantation simulator in terms of performance and available models.

Within benchmarking which was coordinated by ST Microelectronics, all tools have been combined to allow the simulation and meshing of realistic 3D geometries and doping distributions as representative for state-of-the-art devices. In fig. 1, a shallow-trench-isolated (STI) transistor is shown. For this example, the device geometry and the doping distribution have been simulated by combining various tools of the MAGIC_FEAT software suite, including the tools of IISB for geometry generation and ion implantation. Furthermore, the usefulness of the MAGIC_FEAT tools has been demonstrated for advanced devices such as FinFET transistors which are promising candidates for the sub-100-nm device generation (fig. 2). The programs are used in current compound projects on technology development.

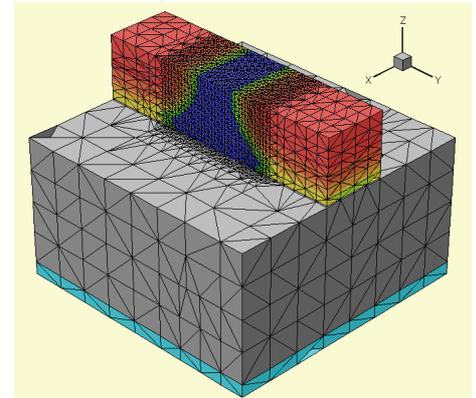


Fig. 2: Simulations-Gitter in einem NMOS FinFET (ein sogenannter Silicium-"Fin" auf einer Oxidschicht). Das Gitter im aktiven Gebiet ist verfeinert, während im Isolationsgebiet (Oxidschicht) eine niedrigere Auflösung hinreichend ist: Simulation grid in an NMOS FinFET (silicon fin on top of an oxide layer). For the active region a fine grid is used, whereas in the isolation area (oxide layer) lower resolution is sufficient.

Conclusions

Within MAGIC_FEAT, various tools have successfully been developed or improved which allow structure creation, as well as generation and optimization of surface and volume meshes as needed for coupled 3D process and device simulation. The tools are interfaced to the ISE software suite which allows the use of them within a commercial TCAD framework.

Contact

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

Vereinfachte Lackmodelle - Grenzen und Potential

Einleitung

Die Simulation physikalischer und chemischer Prozesse in der optischen Lithographie wird immer komplizierter. Benutzer von Computerprogrammen haben verschiedene Interessen. Entwickler möchten präzise Modelle mit vielfältigen Modelloptionen, um Einzelheiten in Prozeßabläufen zu verstehen. Auf der anderen Seite sind Prozeßingenieure an einer einfachen Handhabung der Simulationsprogramme interessiert und bevorzugen schnelle, aussagekräftige Ergebnisse. Für die volle Fotolacksimulation müssen mehr als 25 bis 35 Modellparameter bestimmt werden, bevor mit der Simulation begonnen werden kann. Dagegen sind vereinfachte Fotolackmodelle leicht zu kalibrieren, weil sie nur vier bis fünf Parameter benutzen, um die Prozesse während der Belichtung, dem Backen nach der Belichtung und der Entwicklung zu beschreiben. Außerdem sind vereinfachte Simulationen mehr als 100 mal schneller als präzise Fotolacksimulationen.

Modelle

Es gibt verschiedene vereinfachte Fotolackmodelle für die Auswertung von Prozessen. Alle Modelle beginnen mit einer Intensitätsverteilung des einfallenden Lichtes auf der Oberfläche des Fotolackes. Dieses Luftbild wird verwendet, um die Linienbreite der abgebildeten Struktur ("Critical Dimension" – CD) auf der Siliciumscheibe in Abhängigkeit vom optischen System und den Prozeßbedingungen zu berechnen. Die Modelle gehen davon aus, daß der Fotolack ein Schwellwertdetektor für die Lichtintensität ist. Das heißt, der Fotolack wird bei einer Intensität, die höher als die Schwelle ist, vollständig entfernt. Bevor die Intensitätsverteilung an einem gegebenen Schwellwert ausgewertet wird, verändern die Modelle die Intensi-

tät des Bildes, z.B. durch eine Veränderung des Kontrasts oder durch Verstärkung der normalisierten Intensität. Dadurch wird der Einfluß der Prozeßbedingungen auf das Verhalten des Fotolackes berücksichtigt. Andere Arten von vereinfachten Resistmodellen werden in Computerprogrammen für die optische Nahkorrektur benutzt.

Ergebnisse

In Zusammenarbeit mit industriellen Partnern hat die Lithographiegruppe des IISB die Leistungsfähigkeit der vereinfachten Fotolackmodelle untersucht. Die Zuverlässigkeit und Laufzeit der Modelle wurden mit den vollen Fotolackmodellen verglichen. Obwohl die komplexen Modelle der vollen Fotolacksimulation durch einfache analytische Gleichungen ersetzt wurden, können sowohl geeignete vereinfachte Fotolackmodelle wie auch volle Fotolackmodelle im großen Umfang verschiedene experimentelle Daten beschreiben. Fig. 1 zeigt eine gute Übereinstimmung von Prozeßfenstern, zwischen vollen Fotolackmodellen (schwarz) und vereinfachten Fotolackmodellen (rot) für eine 90-nm-Linie – 90-nm-Spalt-Struktur auf der Maske.

Weiterhin wurden vereinfachte Fotolackmodelle auf experimentelle Daten angewendet. Fig. 2 zeigt, daß gemessene und simulierte CD-Daten sehr gut übereinstimmen. Die Linienbreite und die Periode der Linien auf der Maske wurden gleichzeitig von 90 nm bis 400 nm variiert. Darüber hinaus bestätigten weitere Simulationen, daß vereinfachte Fotolackmodelle experimentelle CD-Daten unter verschiedensten Prozeßbedingungen nachbilden können. Einige Mängel von vollen und vereinfachten Fotolackmodellen beruhen auf der ungenauen Beschreibung der Abbildung, ungenauer optischer Parameter und experimentellen Unsicherheiten.

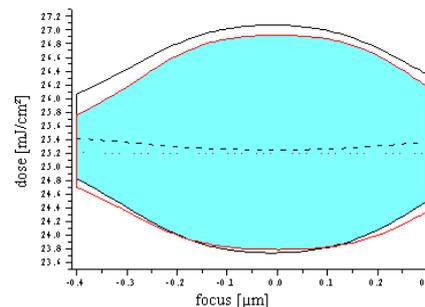


Fig. 1: Simulierte Prozeßfenster mit dem vollen Fotolackmodell (schwarz) und dem vereinfachten Fotolackmodell (rot) mit einer 90-nm-Linien - 90-nm-Spalt-Struktur auf der Maske; Process windows simulated with the full resist simulation model (black) and simplified resist models (red) for 90 nm line – 90 nm space pattern on the mask.

Zusammenfassung

Für viele Anwendungen, z.B. die Simulation großer Gebiete, sind vereinfachte Fotolackmodelle völlig ausreichend. Die Modelle können genauso wie die vollen Fotolackmodelle experimentelle CD-Daten im großen Umfang beschreiben. Vereinfachte Fotolackmodelle können helfen, den Einfluß der Modellparameter auf die Simulation besser zu verstehen. Obwohl sie eine gute Übereinstimmung mit experimentellen Daten zeigen, muß man sich immer vor Augen halten, daß einige 3D-Effekte in der Simulation vernachlässigt werden (Abbildung von Seitenwinkeln, Dickenverlust des Fotolacks während des Backens nach der Belichtung,...). Außerdem haben die vereinfachten Fotolackmodelle einen mehr oder weniger eingeschränkten physikalischen und chemischen Hintergrund. Deshalb ist es notwendig, sowohl präzise als auch vereinfachte Fotolackmodelle für die Simulation optischer Lithographiesysteme zu entwickeln.

Ansprechpartner

Bernd Tollkühn
Telefon: +49 (0) 9131 761-216
bernd.tollkuehn@iisb.fraunhofer.de

Simplified Resist Models - Limits and Potential

Introduction

Simulation of physical and chemical processes in optical lithography becomes more and more complex. Users of simulation tools have different interests. Developers want sophisticated models with multiple model options to understand processes in detail. On the other hand, process engineers are interested in an easy handling of the simulation tool and prefer fast, reliable simulation results. For full resist simulation, it is necessary to determine more than 25 to 35 model parameters before starting simulation. In contrast to that, simplified resist models are easy to calibrate, because they use only four or five parameters to describe the process during exposure, post exposure bake, and development. Additionally, simplified simulations are more than 100 times faster than sophisticated resist simulations.

Models

There are different simplified resist models for fast analysis of processes. All models start with the intensity distribution of the incident light on top of the resist. This aerial image is used to derive the linewidth of a printed feature (critical dimension – CD) on the wafer in dependence of the optical system and process conditions. The models assume that the photoresist is a threshold detector for the light intensity. This means that the resist is completely removed in case of an intensity higher than the threshold. Before evaluating the intensity distribution at a given threshold, models vary the image intensity, e.g. by changing contrast or amplifying the normalized intensity. This takes into account the impact of processing conditions on the resist performance. Other types of simplified resist models are used in software tools for optical proximity correction.

Results

In cooperation with industrial partners, the IISB lithography simulation group has tested the performance of simplified resist models. The reliability and the run time of the models have been compared to full resist simulation models. Although the complex models for full resist simulation are substituted by simple analytical equations, suitable simplified resist models can describe certain types of experimental data to a large extent as full resist models can do. Fig. 1 shows a good agreement between process windows, between full resist simulation models (black) and simplified resist models (red) for a 90 nm line - 90 nm space pattern on the mask.

Furthermore, simplified resist models have been applied to various experimental data. Fig. 2 illustrates that measured and simulated CD data match very well. The linewidth and the period of the lines on the mask were varied simultaneously from 90 nm up to 400 nm. Additionally, various simulation runs confirmed that simplified resist models can describe experimental CD data under different process conditions. Some deficiencies of both the full model and the simplified model are due to deficiencies in the description of imaging, in optical parameters and in experimental uncertainties.

Conclusions

For many applications, e.g. larg-area simulation, simplified resist models are sufficient. The models can describe experimental CD data to a large extent as full resist models can do. Simplified resist models can help to improve the understanding of the impact of model parameters on simulation. Although they show a good accuracy for experimental data, one has to be aware of

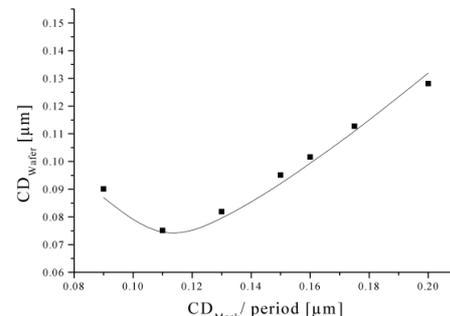


Fig. 2: Experimentelle und simulierte CD-Werte nach der Kalibrierung der Fotolackmodelle. Die Linienbreite und die Periode auf der Maske werden gleichzeitig variiert; Experimental and simulated CD after calibrating simplified resist models. The linewidth and the period are varied simultaneously.

the fact that some 3D resist effects are neglected in simulation (side lobes printing, resist thickness loss during post exposure bake, ...). Furthermore, simplified resist models have a more or less limited physical and chemical background. Therefore, it is necessary to develop both sophisticated and simplified resist models for optical lithography simulation.

Contact

Bernd Tollkühn
Phone: +49 (0) 9131 761-216
bernd.tollkuehn@iisb.fraunhofer.de

Künstliche Evolution zur Optimierung lithographischer Prozesse

Ein typisches Problem der Lithographiesimulation ist die Bestimmung von Maskeengeometrien und optischen Prozeßparametern, mit denen gewünschte Intensitätsverteilungen im Photolack erzeugt werden können. Zusätzlich zu den Abbildungseigenschaften spielen auch die Herstellbarkeit der Masken und die ökonomische Realisierbarkeit bestimmter Prozeßbedingungen eine wichtige Rolle.

Aktuelle Halbleiterbauelemente erfordern die Herstellung von Strukturen mit Abmessungen von einigen zehn Nanometern, z.B. für Kontaktlöcher. Bei der Lithographiesimulation wird häufig mit einer Schwellintensität für den nachfolgenden Entwicklungsschritt gearbeitet. Die Simulation der Belichtung liefert dazu die Intensitätsverteilung im Photolack und sagt damit die erzeugten Strukturen voraus.

Im konkreten Fall sollen ideale Maskeengeometrien und Prozeßbedingungen für die Herstellung von Kontaktlöchern mit 150 nm Durchmesser gefunden werden.

Zur Optimierung wurde ein genetischer Algorithmus (GA) eingesetzt. Da GAs kein a priori Wissen über den Suchraum benötigen (zum Beispiel Gradienten o.ä.) und auch bei widersprüchlichen Optimierungszielen eine stabile Konvergenz zeigen, eignet sich dieser Ansatz gut zur quasi-automatischen Generierung von Masken- und Beleuchtungslayouts. Ähnlich ihrem Vorbild, der "natürlichen" Evolution, erzielen GAs Verbesserungen durch Selektion, Rekombination und Mutation. GA-Operationen werden auf Bitstrings ausgeführt; diese Bitstrings werden aufgelöst und mit einer Fitneßfunktion bewertet. Wie im schematischen Ablauf in Fig. 1 dargestellt, wird zunächst eine zufällig erzeugte Menge von Lösungen bewertet. In einem zweiten Schritt werden Lösungen fitneß-proportional selektiert: Je höher die Güte einer Lösung ist, desto höher ist auch die Wahrscheinlichkeit, mit der sie selektiert wird. Selektierte Lösungen werden dann, wie in Fig. 2 veranschaulicht, zu neuen Lösungen "verschmolzen". Die neu erzeugten "Kinder" erfahren dann eine zufällige Mutation, die eine hohe "Genvielfalt" sicherstellen soll. Im Anschluß werden die neuen Lösungen evaluiert und ein weiterer Iterationsschritt eingeleitet, bis ein vordefiniertes Abbruchkriterium erreicht wird.

Zur Bewertung einer Maskeengeometrie wird deren Intensitätsverteilung mit der gewünschten Verteilung verglichen. Da der Fotolack eine bestimmte Dicke hat, muß die Differenz der Intensitätsverteilungen sowohl an der oberen und unteren Grenze als auch in der Mitte des Photolacks ausgewertet werden. Erste Optimierungsergebnisse des beschriebenen Problems sind in Fig. 3 und 4 dargestellt. Der linke Teil der Abbildungen zeigt schematisch die jeweilige Maskeengeometrie. Rechts daneben finden sich die erzielten Intensitätsverteilungen an der Oberfläche, in der Mitte und am Boden (P1 – P3) des Fotolacks.

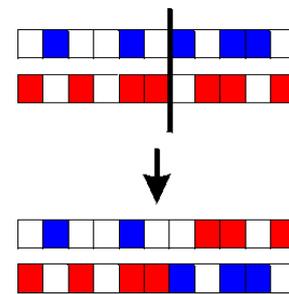


Fig. 2: Rekombination: zwei Eltern-Individuen erzeugen zwei Kinder; Recombination: two parents are merged yielding two offspring solutions.

Nur im gelb markierten Gebiet liegt die Lichtintensität oberhalb der Schwellintensität. Die Maske in Fig. 3 weist zusätzlich zur transparenten Hauptstruktur weitere sehr kleine Hilfsstrukturen auf, deren Größe und Abstand variabel sind. Die Intensitätsverteilungen in der oberen und mittleren Schicht des Lackes entsprechen nahezu der Wunschverteilung. An der unteren Grenzschicht liegt die Intensität aber immer noch überall unterhalb der Schwelle. Bei seit kurzem eingesetzten Phasenschiebemasken (PSM) wird zusätzlich zur Transmission auch die Phase des durch die Maske laufenden Lichtes gezielt beeinflusst. Im Gegensatz zum vorherigen Maskentyp ist auch an der unteren Grenzschicht des Fotolacks ein gelber Bereich zu erkennen (Fig. 4).

Zusammenfassend läßt sich sagen: Mit dem beschriebenen Verfahren lassen sich effizient und quasi-automatisch Masken- und Beleuchtungsgeometrien finden, die die gewünschten Strukturen erzeugen.

Ansprechpartner

Tim Fühner
 Telefon: +49 (0) 9131 761-259
 tim.fuehner@iisb.fraunhofer.de

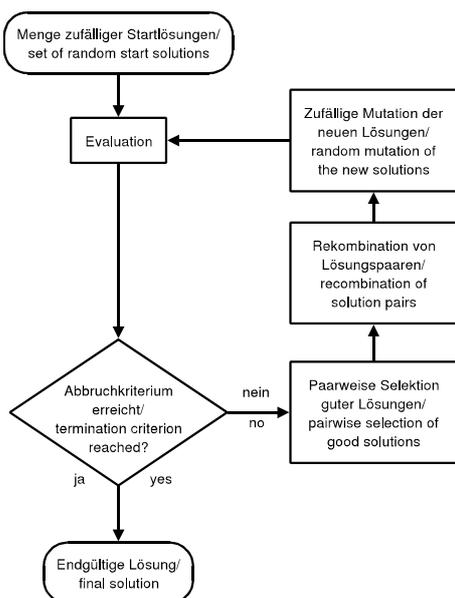


Fig. 1: Schematischer Ablauf eines genetischen Algorithmus; Schematic flow of a genetic algorithm.

Artificial Evolution for the Optimization of Lithographic Processes

A common problem in lithography simulation is to determine appropriate mask geometries and optical process parameters in order to obtain a desired intensity distribution in the photoresist. In addition to ideal imaging conditions, manufacturability as well as cost-efficient operability of the process play an important role.

State-of-the-art semiconductor devices require the production of structures of only a few ten nanometers, e.g. for contact holes. Lithography simulation often introduces a threshold intensity, pre-determined by the following development step. The simulation of the illumination image is used to obtain the intensity distribution in the photoresist. It consequently predicts the generated structures.

The presented case aims at finding ideal mask geometries and process conditions so that contact holes of 150 nm diameter can be produced. The optimization was performed using a genetic algorithm (GA). GAs do not require any a priori information, such as gradients, about the search space. Additionally, they provide a remarkably stable convergence behavior even for contradictory optimization objectives. Thus, the GA approach is well suited for a quasi automatic generation of mask and illumination layouts. In accordance to their role model – the “natural” evolution – GAs improve solutions by means of selection, recombination, and mutation.

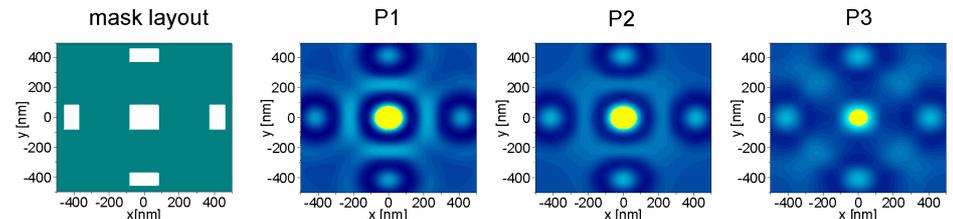


Fig. 4: Phasenschiebemaske (PSM) mit Hilfsstrukturen und damit erreichbare Intensitätsverteilungen an den drei Grenzflächen (P1 – P3) des Fotolacks; Phase-shift mask with assist features and achievable intensity distributions at the three interfaces (P1 – P3) of the photoresist.

GA operations are performed on bit-strings; in order to evaluate solutions, these bit-strings are decoded. As illustrated in the schematic flow in fig. 1, the first step is to evaluate a randomly created set of solutions. Afterwards, solutions are selected fitness-proportionally: the higher the solution’s pay-off, the higher is its probability to get selected. Selected solutions are merged, as demonstrated in fig. 2. The newly generated offspring solutions are then subject to mutation, which is applied in order to maintain a high level of diversity. Finally, the new solutions are evaluated and a new iteration step is triggered. This procedure is repeated until a pre-defined termination criterion is met.

The evaluation of a mask geometry is performed by comparing its intensity distribution with the target distribution. Since the photoresist has a determined gage, differences in the intensity distributions have to be evaluated at the bottom, the middle, and the top of the layer. First optimization results are depicted in fig. 3 and 4. The left sub-figures schematically show the mask ge-

ometry. The remaining sub-figures demonstrate the obtained intensity distributions on the top, in the center, and at the bottom (P1 – P3) of the photoresist. Solely the yellow regions exhibit an intensity exceeding the threshold intensity.

The mask layout in fig. 3 consists of the transparent main feature and very small assist features, whose dimensions and positions are variable. The intensity distributions at the top and bottom interface of the photoresist are almost identical to the target distribution. However, at the bottom interface the intensity does not reach the threshold intensity. In addition to biasing the transition, recently introduced phase-shift masks also selectively control the phase passed through the mask. In contrast to the previous mask type, the bottom interface exhibits a high-intensity region (yellow, fig. 4).

The demonstrated procedure is thus suitable to obtain mask and illumination geometries that generate the desired structures in an efficient and virtually automatic way.

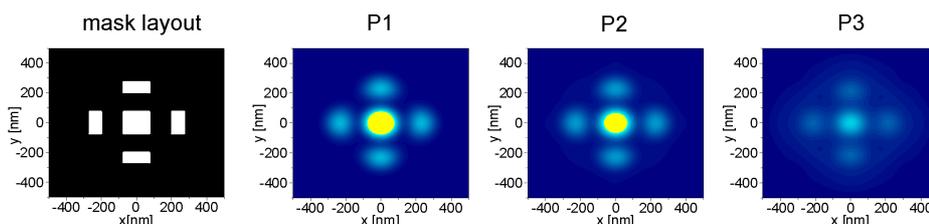


Fig. 3: Binäre Maske mit Hilfsstrukturen und damit erreichbare Intensitätsverteilungen an der oberen Grenzfläche (P1), in der Mitte (P2) und an der unteren Grenzfläche (P3) des Fotolacks; Binary mask with assist features and achievable intensity distributions on the top (P1), in the center (P2), and at the bottom (P3) of the photoresist.

Contact

Tim Fühner
Phone: +49 (0) 9131 761-259
tim.fuehner@iisb.fraunhofer.de

Modeling und Simulation in der 2003 ITRS

In den letzten Jahren hat sich die International Technology Roadmap for Semiconductors (ITRS) zum weltweit wichtigsten Strategiepapier der Halbleiterindustrie für die vorwettbewerbliche Forschung auf dem Gebiet der Halbleitertechnologie entwickelt. Ziel ist es, durch gemeinschaftliche Spezifikation der nötigen Forschung die exponentielle Entwicklung der Mikroelektronik gemäß dem Moore'schen Gesetz aufrechtzuerhalten. An der Ausarbeitung der ITRS arbeiten mittlerweile neben den führenden Halbleiterfirmen aus den beteiligten Regionen USA, Europa, Korea, Japan und Taiwan auch wichtige Lieferanten von Geräten und Materialien sowie Experten von führenden Forschungseinrichtungen mit. Seit 2000 sind auch europäische Forschungseinrichtungen durch die FhG (IISB und IZM) sowie IMEC und LETI vertreten. Seit 2002 leitet das IISB auf Wunsch der Halbleiterindustrie mit der „Modeling and Simulation International Technology Working Group (ITWG)“ eine der zwölf technologischen Arbeitsgruppen der ITRS - nach unserem Wissen wird damit erstmals eine ITWG von außerhalb der USA geleitet.

Die ITRS erscheint jährlich jeweils im Dezember neu und wird über <http://public.itrs.net> veröffentlicht. In den ungeraden Jahren wie 2003 werden alle Teile dieser Roadmap von Grund auf neu geschrieben, während in den geraden Jahren nur ein sogenannter „Update“ erfolgt, bei dem lediglich die Tabellen aktualisiert werden, die die kurz- (7 Jahre) und langfristigen (15 Jahre) Spezifikationen der ITRS zusammenfassen.

Traditionell werden bei jeder Technologiegeneration unter anderem die Transistorabmessungen um 30% reduziert. Seit ca. 1998 wurde dabei eine Beschleunigung der technischen Entwicklung beobachtet: Der Abstand der

Technologiegenerationen war von drei auf zwei Jahre reduziert. Mittlerweile nähert sich aber die Halbleitertechnologie zunehmend physikalischen Grenzen, die unter anderem den Einsatz neuer Materialien (z.B. hoch- ϵ -Dielektrika statt Siliciumdioxid für den Gatestack, und Kupfer mit nieder- ϵ -Dielektrika für Verbindungsstrukturen), neuer Prozessschritte sowie Bauelementarchitekturen und sonstiger Verfahren erfordern. Aufgrund dieser Problematik wurde in der aktuellen ITRS für 2003 wieder der Übergang vom beschleunigten Zweijahreszyklus auf den traditionellen Dreijahreszyklus festgestellt. Die ITRS sagt weiterhin eine rasante Entwicklung der Mikroelektronik für die nächsten 15 Jahre voraus - eine 18-nm-Technologie mit 7 nm physikalischer Gatelänge bis 2018 -, postuliert aber andererseits die zunehmende Notwendigkeit grundlegender Innovationen, um die Entwicklungsgeschwindigkeit möglichst weitgehend beizubehalten. Als Beispiel zeigt Fig. 1 die projizierte Entwicklung der Chipfrequenz bis 2018: Ein Abflachen des Wachstums kann nur durch substantielle Innovationen verhindert werden.

Auch die Technologiesimulation (Technology Computer-Aided Design TCAD) kann und muß einen wesentlichen Beitrag leisten, um die Entwicklungsgeschwindigkeit soweit wie möglich beizubehalten. U.a. wird in der ITRS abgeschätzt, daß bereits 2003 die Kostenersparnis durch den Einsatz von TCAD bei der Entwicklung von Bauelementen und Schaltungen ca. 35% beträgt. Für die wichtigsten technischen Herausforderungen an das TCAD für die nächsten sieben Jahre, die sogenannten „short-term difficult challenges“, wird hier mit Fig. 2 die ITRS zitiert. Insgesamt ergibt sich sowohl für das Arbeitsgebiet der Abteilung als auch für die Halbleitertechnologie allgemein ein großer industrieller Forschungsbedarf zumindest für die nächsten 15 Jahre.

Ansprechpartner

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

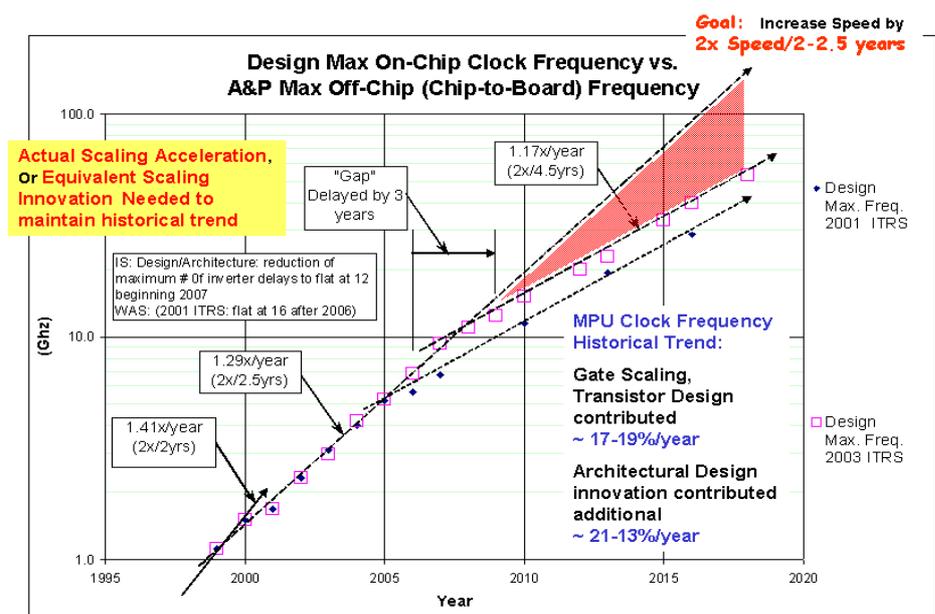


Fig. 1: Vorhersage der 2003 ITRS für die Entwicklung der Chipfrequenz; Prediction from 2003 ITRS for the development of on-chip frequencies.

Modeling and Simulation in the 2003 ITRS

In 2003, the International Technology Roadmap for Semiconductors (ITRS) has become the most important strategy paper of the worldwide semiconductor industry for the precompetitive research in the area of semiconductor technology. Its goal is to define common specifications for precompetitive research in order to maintain the exponential development in microelectronics, according to Moore's law. Besides the leading semiconductor companies from the five regions USA, Europe, Korea, Japan and Taiwan currently also important suppliers of equipment and materials and experts from leading research institutes contribute to the ITRS. Since 2000 also European research is represented by FhG (IISB and IZM), IMEC and LETI. Since 2002, IISB chairs the „International Technology Working Group“ (ITWG) „Modeling and Simulation“, one of the twelve topical areas of the ITRS. To our knowledge, this is the first time an ITWG is chaired from outside the USA.

New editions of the ITRS are released each December and are published among others at <http://public.itrs.net>. Whereas in odd years such as 2003 all parts of the ITRS are newly written, in even years only an update is made where the tables are revised which summarize the short-term (7 years) and long-term (15 years) specifications of the ITRS.

Traditionally, for each technology generation, among others, the length of transistors is reduced by 30%. Here, since about 1998, an acceleration of the technological development was observed: The time between successive technology generations was reduced from three to two years. However, in the meantime semiconductor technology increasingly approaches several physical limits, which, among others, require the introduction of new materi-

<i>Difficult Challenges ≥ 45 nm/Through 2010</i>	<i>Summary of Issues</i>
High-frequency Circuit Modeling for 5–40 GHz Applications	Efficient extraction and simulation of full-chip interconnect delay Accurate and yet efficient 3D interconnect models, especially for transmission lines and S-parameters High-frequency circuit models including non-quasi-static, substrate noise and parasitic coupling Parameter extraction assisted by numerical electrical simulation instead of RF measurements
Front-end Process Modeling for Nanometer Structures	Diffusion/activation/damage models and parameters including low thermal budget processes in Si-based substrate, i.e., Si, SiGe:C (incl. strain), SOI, and ultra-thin body devices Characterization tools/methodologies for these ultra shallow geometries/junctions and low dopant levels Modeling hierarchy from atomistic to continuum for dopants and defects in bulk and at interfaces
Modeling of Equipment Influences on Features Generated in Deposition and Etching Processes	Fundamental physical data (e.g., rate constants, cross sections, surface chemistry); reaction mechanisms, and reduced models for complex chemistry Linked equipment/feature scale models CMP (full wafer and chip level, pattern dependent effects) MOCVD, PECVD, and ALD modeling Multi-generation equipment/wafer models
Lithography Simulation including NGL	Optical simulation of resolution enhancement techniques including mask optimization (OPC, PSM) Predictive resist models including line-edge roughness, etch resistance and mechanical stability Multi-generation lithography system models
Ultimate Nanoscale CMOS Simulation Capability	Methods and algorithms that contribute to prediction of CMOS limits Quantum based simulators Models and analysis to enable design and evaluation of devices and architectures beyond traditional planar CMOS Phenomenological gate stack models for ultra-thin dielectrics Models for device impact of statistical fluctuations in structures and dopant distributions
Thermal-mechanical-electrical Modeling for Interconnections and Packaging	Model thermal-mechanical and electronic properties of low κ , high κ , and conductors and the impact of processing on these properties Model reliability of packages and interconnects, e.g. stress voiding, electromigration, piezoelectric effects; textures, fracture, adhesion

Fig. 2: „Short-term difficult challenges“ aus dem „Modeling and Simulation“-Teil der 2003 ITRS; „Short-term difficult challenges“ from the „Modeling and Simulation“ part of the 2003 ITRS.

als (e.g. high-k dielectrics instead of oxide for the gate stack, and copper with low-k dielectrics for interconnects), novel process steps, device architectures, and other methods. In consequence, in the current ITRS a transition from the accelerated two-years cycle to the traditional three-years cycle has been described for 2003. The current ITRS furthermore predicts the continuation of the rapid development of microelectronics for at least the next 15 years - an 18 nm technology with 7 nm physical gate length till 2018. But it also states the increasing need for basic innovations which are required to maintain the speed of development as far as possible. As an example fig. 1 shows the projected development of on-chip frequency until 2018: A reduction of the exponential growth rate can only be achieved by substantial innovation.

Also Technology Computer-Aided Design (TCAD) can and must make essential contributions in order to maintain that development speed. Among

others the ITRS estimated that already in 2003 the cost saving by the use of TCAD during the development of devices and circuits is about 35%. Fig. 2 is taken from the current ITRS and summarizes the so-called „Difficult Challenges“ for TCAD for the next seven years. Most of these are already being addressed by IISB.

In conclusion, there will be a large industrial demand for the research areas of the department as well as for semiconductor technology in general for at least the next 15 years.

Contact

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

Halbleiterfertigungsgeräte und -methoden

Schwerpunkte, Trends und Potentiale der Abteilung Halbleiterfertigungsgeräte und -methoden

Die Abteilung leistet Forschungsaufgaben zu Prototyp- und Produktionsanlagen sowie Materialien für mikro- und nanoelektronische Technologien und mit Vorarbeiten zur Geräteintegration in die Fertigungsumgebung. Ein Teil der Arbeiten betrifft Prozeß- und Meßtechniken für die 300-mm-Technologie, die Unterstützung der Implementierung solcher Entwicklungen in die industrielle *leading edge*-Produktion und in *mainstream*-Technologien. Die Abteilung gliedert sich in drei Gruppen.

Die Gruppe "Geräte und Prozeßautomatisierung" arbeitet vorwiegend an der Entwicklung von innovativen Prozeßkontrollsystemen unter Einbeziehung von neuartigen Sensoren und an die Erfordernisse von neuen Materialien und Prozeßabläufen angepaßten Meßverfahren. Forschungsschwerpunkte bilden die *in situ*- bzw. *in-line*-Integration von Meßsystemen in Prozeßgeräte, die Realisierung von geschlossenen Regelschleifen und die modellbasierte Prozeßkontrolle. Neben Einzelprozeßgeräten finden vor allem flexibel anpassbare *Cluster Tools* Anwendung für die Demonstration der Implementierungen.

In der Gruppe "Kontamination und Materialien" liegt ein Fokus bei Polier-, Ätz- und Reinigungstechnologien vor allem für die Herstellung und das Reclaim von Siliciumscheiben. Der zweite Schwerpunkt beinhaltet die meßtechnische Erfassung von Spurenverunreinigungen auf Oberflächen und im Volumen von Siliciumscheiben, von Konstruktionsmaterialien, Handlingkomponenten und Prozeßmedien zur Reduzierung anorganischer, organischer und partikulärer Kontamination. Die langjährige Erfahrung wurde sowohl in mehrere internationale Standards als auch in ein im

Aufbau befindliches Kompetenzzentrum "*yield enhancement*" eingebracht.

Die dritte Gruppe "Fertigungssteuerung und Produktivität" beschäftigt sich mit den Anforderungen an Planung, Fertigungssteuerung, Logistik und Qualitätskontrolle. Arbeitsschwerpunkte sind prozeßübergreifende Steuerungs- bzw. Regelungsverfahren zur Prozeßanpassung und -stabilisierung sowie Qualitäts- und Produktmonitoring. Das Leistungsangebot umfaßt die Konzipierung und Realisierung von vorwärts- und rückwärtsgekoppelten Steuerungen/Regelungen (Feed-Forward bzw. Feedback), neue statistische Auswertungsverfahren zum Produktmonitoring sowie Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen bei der Integration von *in-line* oder *in situ*-Meßtechnik bis hin zur diskreten Ablaufsimulation.

Als Querschnittsaufgabe werden Geräteentwicklungen von innovativen Gerätekomponenten und fortschrittlichen Prozeß- und Meßmodulen geleistet. Im Kundenauftrag entstehen Prototypen und Medienversorgungssysteme, die auf dem Markt noch nicht erhältlich sind. Zu den weiteren Aufgaben gehört die Optimierung von Prozessen auf neuen Fertigungsgeräten bis hin zur Geräteevaluierung, zumeist in enger Zusammenarbeit mit Gerätefirmen und mit IC-Firmen als Anwender.

Die Finanzierung der Abteilung erfolgt zu einem hohen Anteil aus Industrieaufträgen sowie aus industrienahen EU-Projekten. Ein zusätzliches Arbeitsfeld mit fast 30 zumeist mittelständischen Projektpartnern war geplant, um den Wissenstransfer aus den Forschungen zu *leading edge* APC-Lösungen (advanced process control) bei der Großindustrie auf die mittelständischen ASIC-Hersteller wirkungsvoll zu übertragen. Trotz immenser Vorleistungen und attraktivster F&E-Inhalte wurde für das Projekt keine nationale Förderung

gefunden und eine geplante Erweiterung um etwa 10 Wissenschaftler verschoben.

Für die Zukunft ist vorgesehen, hochinnovative und längerfristig wirksame Arbeitsgebiete vor allem im Bereich neuer Materialien aufzugreifen und dadurch einen Beitrag zu weiterem Wachstum und dem Erschließen neuer industriell bedeutender Aufgabengebiete zu leisten. Mit der Konzentration der nationalen Fördermittel auf Großprojekte werden hierfür zukünftig verstärkt Mittel bei der EU zusammen mit KMU's (kleine und mittelständische Unternehmen) gesucht, zumal dort die Notwendigkeit der Unterstützung und Zusammenführung kleinerer Firmen zu wirkungsvollen Clustern erkannt wurde. Auf europäischer Ebene ist zudem die abgestimmte Intensivierung der Zusammenarbeit mit dem IMEC in Leuven, Belgien, und mit dem LETI in Grenoble, Frankreich vielversprechend angelaufen.

Auch in der Zukunft ist mit einer guten Inanspruchnahme der Aktivitäten zu rechnen, zumal die Anzahl der technologisch bzw. fertigungsnah tätigen Forschungseinrichtungen eher sinkt. Hinzu kommt, daß durch den Einsatz neuer Materialien neue Herausforderungen im F&E-Bereich bei Geräte- und Materialienherstellern resultieren.

Ansprechpartner

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

Semiconductor Manufacturing Equipment and Methods

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

The department Semiconductor Manufacturing Equipment and Methods performs research in the field of prototype and manufacturing equipment, as well as materials, for micro- and nanoelectronic technologies. Moreover, it does preparatory work for integration of the equipment in a production environment. Part of the work is the development of process and metrology techniques for 300 mm technology, and - in cooperation with industrial partners - the support of implementing the novel equipment in the *leading edge* production and in *mainstream* technologies. The department is divided into three groups.

The group "Equipment and Process Automation" is focusing on the construction of prototypes of innovative process control systems - using new sensors - and metrology systems adapted to the requirements of new materials and processes. Focal activities include *in situ/in-line* integration of metrology systems into processing tools, and the realization of closed-loop control with aspects of model-based process control. Besides implementation into single processes, especially the flexibly adaptable *Cluster Tools* are used for demonstration.

The group "Contamination and Materials" performs R&D in the field of polishing, etching and cleaning technologies, primarily for the production of silicon wafers. The second area covers comprehensive trace contamination analysis of wafers, wafer surfaces, construction materials, equipment components, and processing media to reduce anorganic, organic and particulate contamination.

The IISB has brought its experience of many years into several international standards as well as into the competence center "yield enhancement", which presently is being established.

The third group Control Methods and Productivity deals with aspects of the requirements concerning strategy, control methods, logistics and quality control. Key aspects of activity are control and closed-looped control systems for process adaption and stabilization as well as quality and product monitoring. The full range of services includes the concept and realization of feed forward/feedback and closed-loop control systems, new statistic evaluation methods and the analysis of cost-effectiveness - connected with the integration of *in-line* or *in-situ* metrology systems - and finally the discrete simulation of the process.

The range of R&D in the field of innovative processing equipment covers the development of equipment components up to advanced process modules. The prototype and media supply systems which are not available on the market, are produced on demand for potential suppliers of equipment and materials. In addition, the optimization of processes in new tools -mostly in close cooperation with tool suppliers as well as IC fabs as final users - belong to the focal R&D fields of the department "Semiconductor Manufacturing Equipment and Methods".

The department is financed to a comparatively high percentage by industrial contracts and industry-guided projects, contracted by the European Commission. Another field of activity was planned with almost thirty, mostly medium-sized project partners, with the objective of transferring the knowledge of R&D to *leading edge* APC solutions (advanced process control) with large-scale industry to medium-sized ASIC

manufacturers. In spite of immense preparatory work and attractive R&D contents, the project could not find national funding, and the extension of the department by 10 scientists had to be postponed.

For the future, it is planned to launch highly innovative and efficient R&D activities - especially in the field of new materials - aiming at contributing to further increase and to open up new important fields of cooperation with industrial partners. With the concentration of national funding on large projects, it is more and more necessary to obtain funds by the European Commission together with small and medium-sized companies, the more so as those smaller companies have recently been supported and effectively been merged to so-called clusters. The cooperation within Europe has been further intensified through the collaboration with IMEC (Leuven, Belgium) and LETI (Grenoble, France) with bright future prospects.

In the future it is expected that the activities of the department Semiconductor Manufacturing Equipment and Methods will be further demanded, especially because the number of research institutes - technologically oriented and close-to-industry - is presently decreasing. In addition, the development of new materials is raising new challenges for R&D with equipment and material suppliers.

Contact

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

fAPC - die Technik für innovative Produktionsstrategien

Die Mikroelektronik bildet die Grundlage am Anfang der Wertschöpfungsketten u.a. der Informationstechnologie, der Konsumelektronik, der Automobiltechnik und der Mobilkommunikation mit großen Massenmärkten. Die Investitionskosten für Halbleiter-Fertigungsstätten haben mehrere Milliarden Euro erreicht und einen dramatischen, ökonomisch begründeten Verdrängungswettbewerb im globalen Maßstab ausgelöst.

Von der statistischen Prozeßkontrolle zur automatischen Prozeßregelung

Von strategischer Bedeutung bei der Halbleiterherstellung ist die durchgängige Beherrschung der interaktiven technologischen Verfahren auf Prozeß-, Technologie- und Geräteebene. Traditionell wird bisher die weitgehende Stabilisierung der einzelnen Prozeßschritte angestrebt. Zur Unterstützung werden statistische Methoden (SPC: Statistical Process Control) eingesetzt, die trend-

artige Abweichungen erkennen und ggf. Wartungs- und Requalifizierungszyklen auslösen können.

Seit einigen Jahren ist insbesondere in der Massenfertigung von Halbleiterbauelementen ein Übergang von der klassischen statistischen Prozeßkontrolle (SPC) zu einer automatisierten Prozeßregelung (APC) im Gange. Der Übergang von SPC zu APC verkürzt wesentlich die Zeitverzögerung zwischen Prozeßende und zugehöriger Messung und ermöglicht so, im Fehlerfall oder bei Prozeßabweichungen unmittelbar und automatisch einzugreifen (siehe Fig. 1).

fAPC: APC für flexible Halbleiterfertigungen

Zur Ableitung der erforderlichen Steuerungs- und Regelungskriterien werden prozeßspezifische Modelle benötigt, deren Entwicklung umfangreiche FuE-Arbeiten erfordert. Dies stellt eine besondere Herausforderung für kleine und mittlere Halbleiterhersteller dar, die im Gegensatz zu Massenfertigungen (wie DRAM-Speicher und Mikroprozessoren) eine ungleich höhere Variantenvielfalt an elektronischen Systemen für praktisch alle industriellen und Endverbraucher-Anwendungen fertigen. Allein in Deutschland stehen den beiden "großen" globalen Halbleiterherstellern etwa 20 mittelständische, meist ASIC-Hersteller gegenüber, die vor allem den heimischen Systemmarkt bedienen.

schen Felder

- Meßtechnik und Sensorik
- Datenerfassung und -bereitstellung
- prozeßorientierte Fehleranalyse und adäquate Reaktionsstrategien
- Regelungs- und Kontrollverfahren

kompetent abdeckt.

Ziel des Konsortiums ist die Entwicklung und Erforschung von neuartigen flexiblen Prozeßregelungs- und Kontrollverfahren sowie einer adäquaten, in Prozeßgeräte integrierbaren Meßtechnik und Sensorik, deren Zusammenspiel in Fig. 2 dargestellt ist. Damit kann auch bei der fortschreitenden Strukturverkleinerung und hohen Produktvielfalt der flexiblen mittelständischen ASIC-Fertigung die notwendige hohe Prozeßsicherheit erreicht werden.

Auf Grund der elementaren Bedeutung des Forschungsvorhabens vor allem für KMUs wurde der Projektschwerpunkt fAPC zur Förderung beim Bundesministerium für Bildung und Forschung vorgelegt. Wegen anders gesetzter Prioritäten seitens des Ministeriums konnten jedoch keine Fördergelder zur Verfügung gestellt werden. Das Konsortium ist bemüht, dringend notwendige Forschungsarbeiten auf diesem aktuellen Forschungsgebiet wenigstens teilweise z.B. mit europäischen Fördermitteln durchzuführen, um die Chance zur Stärkung der heimischen mittelständischen Halbleiter- und Zulieferindustrie zu nutzen.

Ansprechpartner

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

Martin Schellenberger
Telefon: +49 (0) 9131 761-222
martin.schellenberger@iisb.fraunhofer.de

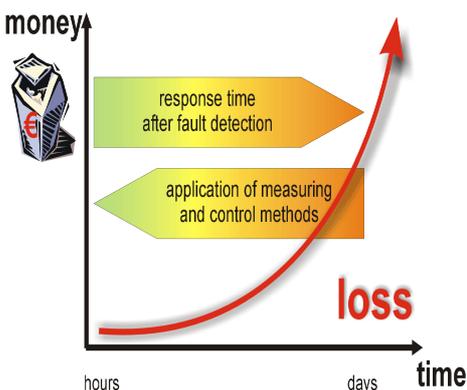


Fig. 1: Mit zunehmender Zeit vom Auftreten bis zum Erkennen eines Fehlers steigen der Wert der Scheibe und damit der Verlust bei Fehlprozessierung stark an. Die Prozeßkontrolle muß daher zunehmend zum Prozeß hin verlagert werden; With increasing time from fault occurrence to fault detection, the value of a wafer as well as the loss in case of misprocessing increases dramatically. Therefore, process control must be shifted towards the process.

Das fAPC-Forschungskonsortium

Um den spezifischen Erfordernissen von flexiblen Halbleiterfertigungen Rechnung zu tragen, hat sich unter Federführung des Fraunhofer IISB ein Forschungskonsortium gebildet, das die für die flexible Prozeßkontrolle strategi-

fAPC - the Technique for Innovative Production Strategies

Microelectronics is the basis for value chains of e.g. information technologies, consumer electronics, automotive and mobile communications with each of them being mass markets. The investment costs for a semiconductor manufacturing plant have reached several billion Euros and caused a dramatic, economical competition in a global scale.

From Statistical Process Control to Advanced Process Control

The continuous monitoring of the interactive technological procedures on process, technology and device level is of strategic importance for semiconductor manufacturing. Up to now, the goal was the overall stabilization of individual process steps. Statistical methods are used to detect trend variations and to trigger maintenance and requalification cycles, if necessary.

For the last few years, particularly in the mass production of semiconductor devices there has been a transition from classic statistical process control (SPC) to advanced process control (APC). The transition from SPC to APC significantly shortens the time loss between process and metrology and thus allows an immediate intervention in case of errors or process deviations (see fig. 1).

fAPC: APC for Flexible Semiconductor Manufacturing

APC requires process-specific models for the deduction of the required control criteria. This requires substantial research and development. This is a particular challenge for small and medium-sized semiconductor manufacturers (SMEs). The product mix for industrial and consumer applications of SMEs is much more varied compared to

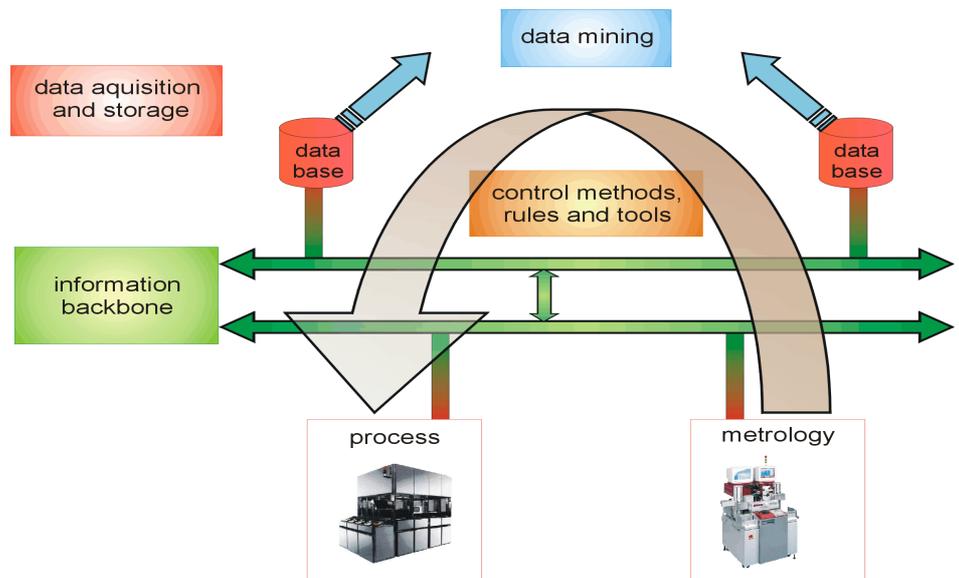


Fig. 2: Zusammenspiel von Schlüsselkomponenten in einem fAPC-System; Interaction of key components in an fAPC system.

mass productions (like DRAMs and microprocessors) and therefore requires different control strategies. In Germany the two global companies Infineon and AMD face about 20 medium-sized companies – most of them are ASIC manufacturers – who are mainly supplying the national system market.

The fAPC - Research Consortium

To meet the specific requirements of flexible semiconductor manufacturing, a research consortium led by Fraunhofer IISB was established, that will cover the strategic fields for flexible process control:

- measurement and sensors,
- data management,
- process-oriented fault detection and appropriate response strategies
- control methodologies.

The goal of this consortium is the research and development of novel, flexible process control methods as well as of appropriate integrated metrology and sensors, the interaction of which is shown in fig. 2. Based on these R&D activities, the required high process reli-

ability can be achieved considering the progressive shrinking of feature size and high product mix in flexible medium-sized ASIC production.

Due to the elementary importance of the research topic, fAPC was submitted for granting to the Federal Ministry of Education and Research. Because of other funding priorities of the ministry, no grant was provided. The consortium is anxious to accomplish essential parts of this ongoing research topic at least partially e.g. by grant of the EC, in order to strengthen the national medium-sized semiconductor and supply industry.

Contact

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

Martin Schellenberger
Phone: +49 (0) 9131 761-222
martin.schellenberger@iisb.fraunhofer.de

Untersuchung der Aluminiumkontamination auf Siliciumscheiben für höchstintegrierte Schaltungen

Einleitung

Die Technologie höchst integrierter Schaltungen auf Siliciumscheiben erfordert eine Reduzierung der Strukturgrößen bis unter 0,1 μm . Gate-Oxidschichten für modernste Mikroprozessoren werden dünner als 2 nm sein. Ihre elektrische Leistungsfähigkeit hängt empfindlich von Verunreinigungen ab. Al verändert die Eigenschaften ultradünner Gateoxide integrierter Schaltungen. Beispiele hierfür sind negative Ladungen im Oxid, eine Erhöhung der Zustandsdichte an der Grenzschicht Silicium/Oxid und die Erhöhung oder die Verminderung der Oxidwachstumsrate. Daher wird eine Reduzierung der Ausbeute höchstintegrierter Schaltungen ab einem bestimmten Niveau der Aluminium (Al)-Kontamination erwartet. Die vorliegenden Untersuchungen zeigen verschiedene Ursachen von Al-Kontamination während der Herstellung von Reclaim- und Produktscheiben. Verschiedene analytische Methoden wurden bezüglich ihrer Effizienz zum Nachweis dieser Verunreinigungen verglichen.

Waferherstellung

Bei der Herstellung oder dem Reclaim von Siliciumscheiben ist der Läpp-Prozess derjenige, der kritisch hinsichtlich Al-Kontamination ist. Der Herstellungsprozess des Läppkornes resultiert in nahezu unlöslichen Verbindungen, wie zum Beispiel Al_2O_3 oder ZrO_2 . Beim Läppen wird die kristalline Siliciumoberfläche zerstört. Um die Störtiefen und die Verunreinigungen der geläppten Oberfläche zu reduzieren, wird diese im Anschluß wiederholt geätzt und poliert. Fig. 1 zeigt schematisch Kontaminationsmechanismen während des Läppens.

Experimente

Mit den Präparationsverfahren *Vapor Phase Decomposition* (VPD) und *Pack Extraction Method* (PEM) können Verunreinigungen auf Siliciumscheiben folgendermaßen extrahiert werden:

- 1) Auf der gesamten Scheibenoberfläche mittels PEM mit verdünnter HCL als Extraktionsmedium.
- 2) Im natürlichen Oxid der Scheibenvorder- oder rückseite mittels VPD und Wassertropfen.
- 3) In der etwa 200 nm dicken Oberflächenschicht der gesamten Scheibe mittels PEM mit verdünnter HF/HNO₃ als Extraktionsmedium.

Das Extraktionsmedium bzw. der Wassertropfen wurde mit Atomabsorptionsspektroskopie (AAS) oder *Inductively Coupled Plasma Mass Spectroscopy* (ICPMS) analysiert und bezüglich Verunreinigungen quantifiziert. Die Untersuchung der Vorderseite von Reclaimscheiben mit VPD-AAS oder VPD-ICPMS wies Verunreinigungen innerhalb der Spezifikation von Produktscheiben nach. Es wurde eine Al-Verunreinigung der Waferrückseite gefunden, die stark zwischen 10^{12} und 10^{14} Atome/cm² schwankte. Reinigungsprozesse konnten die Verunreinigung nicht entfernen. Al-haltige Poliermittelrückstände oder Al-Partikel wurden als Ursache für die Rückseitenkontamination identifiziert. Nach dem Läppen und Ätzen verbliebene Störungen in der Siliciumoberfläche schützten die Verunreinigungen während der Reinigung. Zusätzlich verhinderten Zetapotentiale die Abreinigung von Partikeln. Durch den Siliciumabtrag der HF/HNO₃-PEM konnten diese Verunreinigungen in und auf der Siliciumoberfläche zuverlässig nachgewiesen werden. Dies ist ein hervorzuhebender Vorteil von PEM gegenüber VPD. Weiterhin wurden geläppte Scheiben mit tiefenauflösender Totalreflexions-Röntgenfluoreszenz-Analyse (TXRF) un-

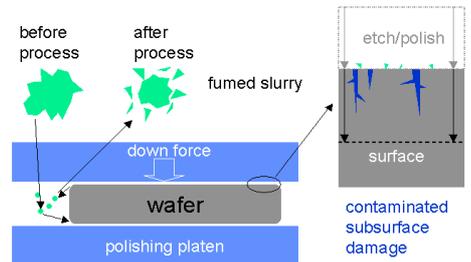


Fig. 1: Die Oberflächenschädigung durch den Läpp-Prozess hat Kapillarwirkung auf gelöste Kontaminationen. Das geschädigte Gitter fängt Metallverunreinigungen der Reclaimscheiben oder der Läpp-Platten, zum Beispiel Fe. Kleine Partikel aus dem Abrieb des Läppkornes werden in die zerstörte Siliciumoberfläche eingebracht; The sub-surface damages from lapping processes function like capillaries for solved contaminants. The damaged lattice gets metal impurities e.g. Fe from lapped layers and metal platen. Small particles from the corrosion of the grain are incorporated into the damaged silicon surface.

tersucht. Fig. 2 zeigt ein Ergebnis das Al als partikuläre Verunreinigung nachweist. Diese Ergebnisse bewiesen die Existenz schwer löslicher, partikulärer Al Verbindungen nach dem Läppen.

Ausblick

Die Verbesserung der Qualität von Reclaim- und Produktscheiben ist unabdingbar für zukünftige Technologien. Daher werden effiziente Ätz-, Reinigungs- und Polierprozesse, wie auch zuverlässige Spurenanalytik immer wichtiger. Aus diesem Grund werden fortschrittliche Fertigungsverfahren für Siliciumscheiben auf kolloidalem Silicium basierende Poliermittel verwenden. Deren Slurrypartikel werden im Prozess größer und weicher und ermöglichen einen fast schadigungsfreien Siliciumabtrag von der Oberfläche.

Ansprechpartner

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

Evaluation of Aluminum Contamination on Silicon Wafers for ULSI Fabrication

Introduction

The technology for ultra-large scale integrated (ULSI) devices in silicon requires scaling down of structures below 0.1 μm . Gate oxide films for high-end microprocessors will be thinner than 2 nm, their electrical performance is sensitive to impurities. Al modifies the properties of ultra-thin gate oxides of integrated circuits. Examples are negative charges in the oxide, the increase of oxide/silicon interface state densities and the decrease or increase of the oxide growth rate. Therefore, Al contamination of a certain level is expected to cause reduced yield for ULSI circuits. In this contribution, investigations reveal sources of aluminum (Al) contamination during production of reclaim and product wafers. Different analyzing methods are compared with respect to their efficiency of recovering these contaminants.

Wafer Production

During the production or the reclaim of silicon wafers, the lapping process is the critical one concerning of Al contamination. The process for production of the grain for lapping process results in nearly non-dissolvable compounds e.g., Al_2O_3 or ZrO_2 . Lapping damages the crystalline silicon surface. To reduce surface damage and contamination the lapped surface is repeatedly etched and polished afterwards. Fig. 1 schematically shows contamination mechanisms during lapping.

Experimental

The sample preparation methods vapor phase decomposition (VPD) and pack extraction method (PEM) on silicon wafers recover impurities in the following ways:

- 1) On the whole wafer surface with PEM using diluted HCl as extraction medium.
- 2) In the native oxide of the wafer front or back side with VPD and a water droplet.
- 3) In an approx. 200 nm thick surface layer of the whole wafer surface with PEM using diluted HF/HNO₃ as extraction medium.

The extraction media or the water droplet are investigated either with atomic absorption spectroscopy (AAS) or inductively coupled plasma mass spectroscopy (ICPMS). The investigation of the front side of reclaim wafers with VPD-AAS or VPD-ICPMS showed an Al contamination within the prime wafer specification. However, the Al contamination on the back side fluctuated between 10^{12} and 10^{14} atoms/cm². Cleaning processes could not remove these impurities. Al-containing slurry residues or Al particles were identified to be responsible for the back side contamination. Remaining (sub) surface damage after lapping and etching protected the contamination during cleaning. Additionally, zeta potentials of the silicon surfaces disabled particle removal. Due to silicon removal of the HF/HNO₃-PEM these contaminants were recovered very reliably in and on the silicon surface. This is a remarkable advantage of PEM compared to VPD. Furthermore lapped wafers were analyzed by depth-profiling total reflection x-ray fluorescence (TXRF). Fig. 2 shows a result that indicates Al as particulate contamination. The results confirm the existence of nearly non-dissolvable particulate contamination of Al compounds during the lapping.

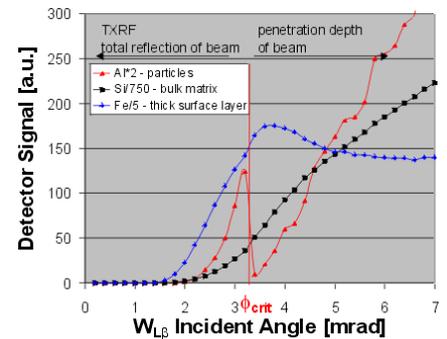


Fig. 2: Die Variation des Einfallswinkels während der TXRF-Messung eines geläppten Wafers zeigt, daß Fe in der Oberflächenschicht enthalten ist. Der Verlauf des Al-Signals zeigt das Vorhandensein von Partikeln auf der Oberfläche sowie Al in der Oberflächenschicht an; The variation of the incident angle during TXRF on a lapped wafer shows that Fe has been incorporated in the surface layer. The Al signal behavior indicates the presence of particles on the silicon surface as well as Al in the bulk.

Conclusion

Upgrading the quality of reclaim and prime wafers is essential for future technologies. Therefore, efficient etching, cleaning and polishing processes as well as reliable trace analysis become more and more important. For this reason, advanced silicon manufacturing will use colloidal silica-based slurry. These slurry particles become larger and softer while removing silicon with negligible damage of the surface.

Contact

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

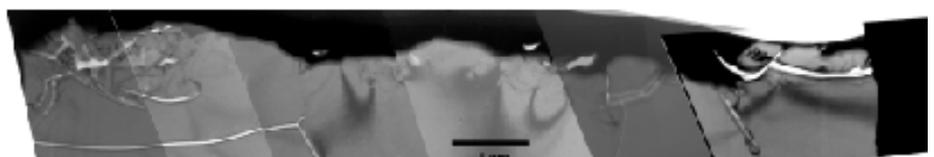


Fig. 3: Das Bild zeigt die Untersuchung eines geläppten und gereinigten Wafers mit TEM. Die mechanische Beschädigung ist in einer Tiefe von 3 bis 4 μm nicht mehr vorhanden; The picture shows the TEM (transmission electron microscope) investigation of a lapped wafer. The mechanical damage vanished in 3 - 4 μm depth from the surface.

Untersuchung von Mehrscheibenprozessen für die Herstellung ultradünner Schichten mittels Gerätemodellierung

Einleitung

Für die Herstellung von dynamischen Speicherbauelementen mit kritischen Strukturgrößen unterhalb von 90 nm werden Materialien mit einer hohen Dielektrizitätskonstante als Isolatorschichten in den Kondensatorstrukturen benötigt. Die Schichten müssen dabei mit äußerst geringen Dicken von einigen Nanometern auf Strukturen mit hohen Aspektverhältnissen abgeschieden werden. Die Atomical Layer Deposition-Technologie (ALD) stellt ein neues Schichtabschideverfahren dar, mit dem sehr dünne Schichten bei niedrigen Abschidetemperaturen erzeugt werden können. Bei dem ALD-Verfahren werden die für die Schichtherstellung benötigten Ausgangsgase sequentiell über die Scheibenoberfläche geleitet. Die Ausgangsgase sind dabei so gewählt, daß eines der Gase auf der Scheibenoberfläche adsorbiert. Die nachfolgend eingelassenen Gase adsorbieren an den bereits auf der Scheibenoberfläche vorhandenen Gasmolekülen und bilden in einer chemischen Reaktion die gewünschte Schicht. Da die Gasmoleküle in einer Monolage adsorbiert werden, wird die Schicht durch die Wiederholung der Gaseinlaßsequenz Atomlage für Atomlage abgeschieden. Durch eine entsprechende Kombination der Ausgangsgase können mit dem ALD-Verfahren eine Vielzahl unterschiedlicher Schichtmaterialien hergestellt werden.

Das Projekt "Hale&Rapid"

Bei einem Einsatz des ALD-Verfahrens unter Fertigungsbedingungen ist es erforderlich, einen möglichst hohen Scheibendurchsatz zu erhalten. Aufgrund des beschriebenen Abschide-mechanismus werden typischerweise nur geringe Abschideraten erzielt. Daher wird angestrebt, das ALD-Verfahren

als Mehrscheibenprozeß zu realisieren.

Im Rahmen des Europäischen Semiconductor Equipment Assessment Projekts "Hale&Rapid" wird eine neue ALD-Mehrscheibenprozeßanlage am Beispiel der Entwicklung von Abschideprozessen von Al_2O_3 - und Ta_2O_5 -Schichten für Kondensatorstrukturen untersucht und optimiert. Die Anlage wurde ausgehend von einem im Produktionsumfeld erprobten Vertikalofensystem mit hohem Scheibendurchsatz entwickelt. Neben der Realisierung der Mehrscheibenprozessierung mit einer Kapazität von einhundert Prozeßscheiben ist die Anlage mit einer Plasmaquelle ausgestattet, die eine *in situ*-Kammerreinigung ermöglicht und dadurch den Scheibendurchsatz weiter erhöht. Fig. 1 zeigt den Reaktorraum mit der integrierten Plasmaquelle.

Das Projektkonsortium besteht aus der Firma Infineon Technologies, bei der die Geräteevaluierung durchgeführt wird, der Firma ASM International als Geräte-lieferant, den Partnern Austria Microsystems und Motorola als IC-Hersteller sowie dem Fraunhofer IISB als Forschungseinrichtung.

Gerätemodellierung

Während für die Abschideprozesse von Al_2O_3 schon in der ersten Projektphase die angestrebten Prozeßspezifikationen erreicht wurden, traten bei der Abschide von Ta_2O_5 niedrige Abschideraten und Schichtdickeninhomogenitäten mit einer typischen parabolischen Schichtdickenverteilung über den Scheibendurchmesser auf. Zur Untersuchung dieser Effekte wurden das Adsorptionsverhalten der Ausgangsgase auf den Scheibenoberflächen für typische Prozeßbedingungen modelliert. Mittels der Gerätemodellierung konnten die experimentell beobachteten Schichtdickeninhomogenitäten nach-



Fig. 1: Reaktorraum der ALD-Mehrscheibenprozeßanlage mit integrierter Plasmaquelle; View of the ALD batch reactor with the integrated plasma source.

gebildet werden. Fig. 2 zeigt das Profil des auf der Scheibenoberfläche adsorbierten Ausgangsgases für die Abschide von Ta_2O_5 für die oberste Scheibe innerhalb des Reaktors nahe dem Gas-einlaß und die unterste Scheibe nahe dem Gasauslaß.

Ausgehend von den Ergebnissen der experimentellen Untersuchungen und der Gerätemodellierung wurde der Abschideprozeß modifiziert, so daß höhere Abschideraten bei verbesserten Schichthomogenitäten erzielt wurden.

Ansprechpartner

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

Investigation of Atomic Layer Deposition Batch Processes Using Equipment Modeling

Introduction

For the manufacturing of dynamic random access memory devices with critical feature sizes below 90 nm, materials with a high dielectric constant are required as insulating layers in the capacitor structures. These layers have to be deposited on structures with high aspect ratios at low film thickness in the range of a few nanometers. The Atomic Layer Deposition technique (ALD) is a novel layer deposition method which enables the manufacturing of ultra-thin films at low deposition temperatures. The principle of the ALD method is that the precursors required for layer formation are directed subsequently over the wafer surface. The precursors are selected in such a manner that one of the gases readily adsorbs on the wafer surface. The subsequently applied precursors preferably adsorb on the gas molecules which are present on the surface forming the desired layer material in a chemical reaction. Since the deposition process is controlled by the adsorption of the gas molecules, the film can be formed monolayer by monolayer by repeating the precursor inlet sequence. The selection of suitable precursors allows for the manufacturing of a large variety of layer materials.

The "Hale&Rapid" project

A prerequisite for the application of the ALD method in device production is the achievement of an optimized wafer throughput. Due to the deposition mechanism described above typically small deposition rates are obtained. A potential solution to circumvent this disadvantage is to implement the ALD method as a batch process.

Within the framework of the European Semiconductor Equipment Assessment project "Hale&Rapid", a novel ALD

batch processing system is evaluated and optimized. The equipment assessment is performed by developing deposition processes for Al_2O_3 and Ta_2O_5 dielectric materials for capacitor structures. The design of the batch system is based on a field-proven high-throughput vertical furnace system. In addition to the realization of the batch-processing capability with a capacity of one hundred wafers, the system is equipped with a remote plasma source which allows an *in situ* clean of the reactor and hence further improves the wafer throughput. Fig. 1 provides a view into the batch reactor with the integrated plasma source.

The project is carried out by a consortium consisting of Infineon Technologies as the equipment evaluation site, ASM International as the equipment supplier, the manufacturing partners Austria Microsystems and Motorola and the Fraunhofer IISB as research partner.

Equipment modeling

While for the processes developed for the deposition of Al_2O_3 the targeted specifications were already met in the initial project phase, the deposition processes for Ta_2O_5 suffered from low deposition rates and a large layer-thickness inhomogeneity with a typical parabolic thickness distribution over the wafer diameter. To investigate these effects, the adsorption process of the precursor gases on the wafer surface was simulated for typical process conditions. The observed layer inhomogeneity could be reproduced by the performed equipment simulations. In fig. 2, the calculated profile of the site fraction of the adsorbed precursor molecules used for Ta_2O_5 deposition is shown. The profile is shown for the top wafer next to the gas inlet and the bottom wafer next to the gas outlet.

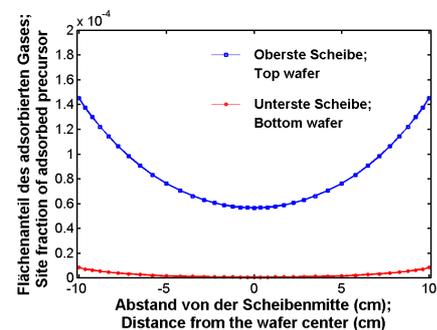


Fig. 2: Profil des auf der Scheibenoberfläche adsorbierten Ausgangsgases zur Abscheidung von Ta_2O_5 für die oberste und unterste Scheibe innerhalb des Reaktors;

Calculated profile of the site fraction of the adsorbed precursor used for Ta_2O_5 deposition on the top wafer next to the gas inlet and the bottom wafer next to the gas outlet of the reactor.

Based on the results of the experimental investigations and the equipment modeling, the deposition process was optimized and significantly higher deposition rates and layers with improved thickness uniformity were obtained.

Contact

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

Schwerpunkte, Trends und Potentiale der Abteilung Technologie

Konzepte zur Herstellung neuer Materialien und Schichten, Integration neuer Materialien in der Siliciumtechnologie, die Bearbeitung mikroskopischer Strukturen mittels Ionenstrahltechnik und die Entwicklung von Bauelementestrukturen der Leistungselektronik und der Mikrosystemtechnik sind die Forschungsschwerpunkte und Kompetenzen der Abteilung Technologie im Bereich Halbleiter- und Nanotechnologie. Für die Durchführung der Arbeiten stehen in Kooperation mit dem Lehrstuhl für Elektronische Bauelemente der Universität Erlangen-Nürnberg mehr als 1000 m² Reinraum (Klasse 10) mit entsprechender Gerätetechnik zur Verfügung. Dadurch ist die Durchführung aller wichtigen Prozeßschritte auf Siliciumscheiben bis 150 mm, für Einzelprozeßschritte bis 200 mm bzw. bis 300 mm Durchmesser möglich. Ein von der Industrie transferierter CMOS-Prozeß ist in der Prozeßlinie des IISB implementiert und an die speziellen Anforderungen eines Forschungsinstitutes angepaßt. Dieser Gesamtprozeß bildet die Basis, die Einzelprozeßentwicklung für zukünftige Schaltkreise zu stärken und eine Erprobung von neuen Prozessen im Umfeld eines bekannten Prozesses zu ermöglichen.

Im Bereich Front-end-Prozeßentwicklung und elektronische Halbleiter-Bauelemente-Charakterisierung steht dem IISB mit hochmodernen Gasphasen-Abscheideanlagen auf der Basis von MOCVD geeignetes Equipment zur Abscheidung von hoch-epsilon und metallischen Schichten zur Verfügung. Kompetenzen des IISB liegen dabei in der Anpassung dieser Anlagen an die jeweilige Precursorenchemie, in der Abscheidung aus allen Arten von Precursoren und in der Charakterisierung der abgesetzten Schichten sowie in Zusam-

menarbeit mit mehreren chemischen Instituten in der Herstellung und Modifizierung neuartiger Precursoren. Dazu und für die weitergehende HL-Bauelemente-Charakterisierung ist das IISB sehr umfassend mit Parametermeßplätzen, Waferprobern und Hochspannungsmessplätzen ausgerüstet.

Traditionelles Arbeitsgebiet am IISB ist die Ionenstrahltechnik. Implantationsanlagen von einigen eV bis hin zu mehreren MeV stehen zur Verfügung. Die Durchführung von Sonderimplantationen für Industriekunden, sowohl in der CMOS- als auch in der Leistungsbau-elementetechnologie, stellt einen Schwerpunkt der Aktivitäten dar.

Seit bereits mehr als 15 Jahren arbeitet das IISB im Bereich Leistungsbau-elemente und SiC. Seit kurzem stehen dem Institut spezielle Anlagen zur Herstellung von Trenchstrukturen und zu deren Wiederbefüllung zur Verfügung. Daraus ergeben sich vielfache Möglichkeiten der Entwicklung neuartiger Bauelementestrukturen in der Leistungselektronik. Das Substratmaterial SiC bietet ungeahnte Möglichkeiten vor allem für die Leistungselektronik. Mittlerweile können am IISB nahezu alle in der CMOS-Technologie bekannten Fertigungsschritte auch an SiC-Scheiben durchgeführt werden. Die Entwicklung notwendiger neuartiger Prozeßschritte wie Hochtemperaturausheilung und Epitaxie ist seit kurzem möglich.

Zur Herstellung von Halbleiterbauelementen gehört unabdingbar die Charakterisierung der einzelnen Prozeßschritte und der jeweiligen Strukturen. Wichtige Schritte sind dabei die Bestimmung der Schichtzusammensetzung, der Topographie, der Dotierprofile und weiterer physikalischer und chemischer Parameter. Besondere Kompetenz der Abteilung Technologie liegt in der Kombination verschiedener Methoden zur Analyse von Fehlern in der Prozessie-

rung von Halbleitern und dem Aufspüren von Fehlerursachen.

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

Ansprechpartner

Dr. Lothar Frey
Telefon: +49 (0) 9131 761-320
lothar.frey@iisb.fraunhofer.de

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

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

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

For the development of novel process steps in the field of gate stack engineering, IISB operates advanced chemical vapour deposition tools on the basis of MOCVD for deposition of high-k and metallic layers. Adaption of the equipment to the particular chemistry of the precursors, deposition of all types of precursors, characterization of the deposited layers, and in cooperation with several chemical institutes, creation and modification of novel precursors are the main tasks of the department. For advanced characterization of devices, IISB operates a wide variety of parameter analyzers, wafer probes, and high-voltage measuring set-ups.

Special activities are focused on ion implantation technologies. At IISB, implan-

tation tools with acceleration voltages of some eV up to several MeV are available. Special implantations for CMOS as well as for power semiconductors are established, e.g. commercial tools have been modified to be able to implant several wafer diameters and manifold elements at elevated temperatures.

Further activities focus on the fields of power semiconductors and silicon carbide electronics. IISB 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 refilling of deep trenches or high-temperature processing capabilities for SiC. In the meantime, nearly all necessary manufacturing steps for SiC devices can be performed at IISB. Further equipment for high-temperature annealing or epitaxy has been installed recently.

Characterization of process steps and device structures is of utmost importance for the manufacturing of semiconductor devices. Important steps for this are the determination of composition, topography, doping profile, and further physical and chemical parameters, as well as SEM & TEM investigations, energy-dispersive X-ray analysis, and AFM surface characterization. The specific competence of the technology department is the combination of varying methods for the analysis of failures during processing of devices or the tracing of failure causes.

Another focal area of the department is the processing of structures in the range of a few nano-meters and repair and analysis of prototypes of electronic devices with focused ion beam (FIB) techniques and electron beams. Beyond that, by using FIB nano-probes for atomic-force microscopy are developed which make it possible to determine physical and chemical parameters like

doping profiles or layer properties with a much higher resolution. Additional fields of application for FIB are smallest structures of field emitters for vacuum nano-electronics.

Contact

Dr. Lothar Frey
Phone: +49 (0) 9131 761-320
lothar.frey@iisb.fraunhofer.de

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

Einleitung

Für die Realisierung von lateralen Leistungsbauerelementen, wie z.B. der laterale Insulated Gate Bipolar Transistor (LIGBT), der laterale doppelt-diffundierete MOS-Transistor (LDMOS) und die laterale PIN-Diode in Netzanwendungen ist es notwendig, neuartige Bauelementkonzepte wie das Reduced Surface Field (RESURF)-Prinzip und dann angepaßte Technologien zu verwenden. Deshalb wurde die Seitenwandimplantation tiefer Gräben mit hohem Aspektverhältnis und hohem Anisotropiegrad ($90^\circ \pm 0,5^\circ$) untersucht. Der Vergleich von zweidimensionaler Simulation und die Auswertung von Versuchsreihen haben gezeigt, daß diese sehr gut übereinstimmen. Die Seitenwanddotierung dient als funktionales p-dotiertes Gebiet der lateralen Leistungsbauerelemente. Die so ermittelten Ergebnisse wurden als Prozeßparameter in einen Leistungsbauerelementprozeß zur Herstellung von LIGBTs übertragen.

Prozeßsimulation

Die Prozeßsimulation wurde für tiefe Grabentopologien (50 : m) mit hohem Aspektverhältnis (15:1) durchgeführt, wie sie für Smart-Power Anwendungen verwendet werden. Die Grabengeome-

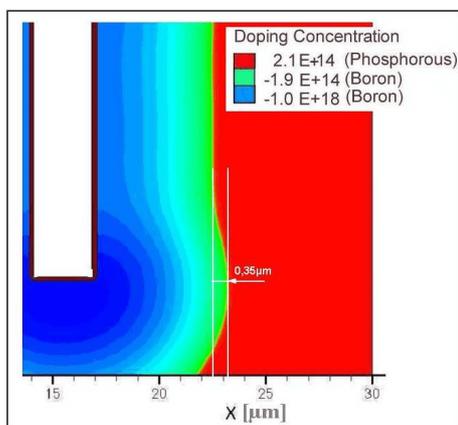


Fig. 1: Dotierte tiefe Grabenstruktur; Sidewall doped trench structure.

trie wird durch die Anwendung der Leistungsbauerelemente als Schalter im Netzbetrieb (600 V) und durch technologische Grenzen vorgegeben. Letzgenannte sind insbesondere die gaseinschlußfreie Wiederbefüllung der Grabenstrukturen. Um die Dotierung der Siliciumoberfläche zu verhindern muß für den Implantationsschritt eine dicke Siliciumoxidmaskierung verwendet werden. Für die Simulation wurde mit einem Tool basierend auf der Monte-Carlo-Simulation (Cristal Trim) gearbeitet, das die Streuung der Ionen nach deren Aufprall auf die Seitenwandatome berücksichtigt. Es wurden Borionen mit einer Energie von 180 keV in einer Dosis von $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$ in ein n-dotiertes Siliciumsubstrat implantiert. In Fig. 1 ist ein solches Simulationsergebnis dargestellt.

In Fig. 2 sind zwei Kurven dargestellt, welche den Dotierungsprofilen in der Mitte und am Boden der Grabenstrukturen entsprechen.

Das Dotierungsprofil B) ist aus der Mitte der Grabenstruktur, A) vom Boden. Die absolute Dotierungskonzentration der Kurve A) ist um einen Faktor 10 höher als für die Kurve B). Der pn-Übergang ist am Grabenboden in lateraler Richtung 0,35 : m tiefer als in der Mitte. Dieser Effekt ergibt sich aufgrund der Streuung der Ionen nach dem Zusammenstoß mit den Seitenwandatomen.

Experimente

Die tiefen Grabenstrukturen wurden mit Hilfe eines anisotropen Trockenätzprozesses hergestellt. Die Ergebnisse der zweidimensionalen Prozeßsimulation stellen die Grundlage für die Versuchsmatrix dar. Für diese wurden die Energie, der Winkel und die Dosis variiert. Nach der Implantation wurde der Eintreitschritt durchgeführt. Die Prozeßparameter wurden mit dem ther-

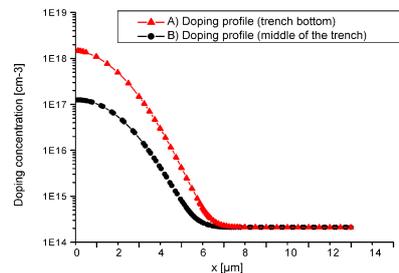


Fig. 2: Horizontale Dotierungsprofile A) am Boden B) in der Mitte des Grabens; Horizontal doping profiles A) trench bottom B) middle of the trench.

mischen Budget des Gesamtprozesses zur Herstellung des LIGBT abgestimmt. Um den pn-Übergang sichtbar zu machen, wurden die gebrochenen Querschnittproben mit einer speziell dafür geeigneten Ätzlösung behandelt. Dieser Präparationsprozeß beruht auf der Selektivität der Ätzlösung, d.h. p-dotiertes Silicium wird schneller geätzt als n-dotiertes. Die geätzten Konturen wurden im Raster-Elektronen-Mikroskop (REM) inspiziert. In Fig. 3 sieht man eine mittels Ionenimplantation dotierte Grabenstruktur mit Äquikonzentrationslinien.

Zusammenfassung

Für die zweidimensionale Prozeßsimulation und die Versuche wurden die gleichen Prozeßparameter verwendet. Ein Vergleich der Fig. 1 und 3 zeigt, daß die Prozeßsimulation und das Versuchsergebnis bzgl. der pn-Tiefe von 5,7 : m und die Äquikonzentrationslinien hervorragend übereinstimmen. Der Ionenimplantationsprozeß eröffnet neue Applikationsfelder, z.B. bei 3D RESURF-Strukturen, wie CoolMOS oder integrierbare passive 3D-Bauerelemente.

Ansprechpartner

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

Introduction

Lateral power devices such as Lateral Insulated Gate Bipolar Transistor (LIGBT), Lateral Double Diffused Metal Oxide Silicon Transistor (LDMOS) and Lateral PIN Diodes for smart power net appliances need novel device concepts like the Reduced Surface Field (RESURF) principle and adapted technology concepts in order to support the device conception. For this reason, sidewall doping of trenches with a high aspect ratio and a high order of anisotropy ($90^\circ \pm 0.5^\circ$) by ion implantation has been investigated. Two-dimensional (2D) processes have shown a good agreement between simulation and experimental results. The doping of the trenches has been evaluated in order to manufacture functional wells for lateral power devices. From these data, the process parameters for the ion implantation process have been determined.

Process simulation

For process simulation, a deep trench topology (50 : μm) with a high aspect ratio (15:1), as proposed for high-voltage smart power processes, was configured. The trench geometry was determined by the application of the power devices as net switches and the technological limitations, i.e. the withstand voltage of 600 V on the one hand and the void-free refill process on the other hand. To prevent doping of the surface of the silicon substrate, a thick oxide mask was required during the implantation process. For simulation of the ion implantation process, a simulation tool based on Monte Carlo (crystal trim) simulation was used, especially regarding the scattering effect of ions from the sidewalls of the trench. Boron ions with an energy of 180 keV and of a dose of $1 \times 10^{15} \text{cm}^{-2}$ have been implanted in a n-doped silicon substrate.

In fig. 1, a simulation result of an doped trench structure is shown. Fig. 2 shows the simulated lateral doping profile in the middle and at the bottom of the trench wall.

Boron profile B) was taken from the middle of the trench wall and A) at the bottom of the trench wall. The absolute doping concentration of A) is 10 times higher than in case B). In lateral direction, the well (pn junction) is 0.35 : μm deeper than in the middle. This is due to the scattering effect of ion implantation.

Experiments

Deep trenches in silicon were manufactured by anisotropic dry etching. The results of 2D process simulation were the basis for the ion implantation experiments. Implantation energy, angle and dose were varied in the experimental matrix. After the implantation, annealing of implant damages and diffusion were performed. The temperatures and times were adjusted to the thermal budget needed for manufacturing a LIGBT. For delineation of the sidewall doping, the cross section samples were exposed to a special silicon etchant. This preparation process is based upon the selectivity of the etchant, i.e. p-doped silicon is etched faster than n-doped silicon. Etching contours will become visible under Scanning Electron Microscopy.

Fig. 3 shows an example of an ion-implanted doped trench, etched to reveal the p-n junction and doping concentration lines.

Conclusion

For the 2D process simulation as well as for the experiments, the same process parameters have been used. A Com

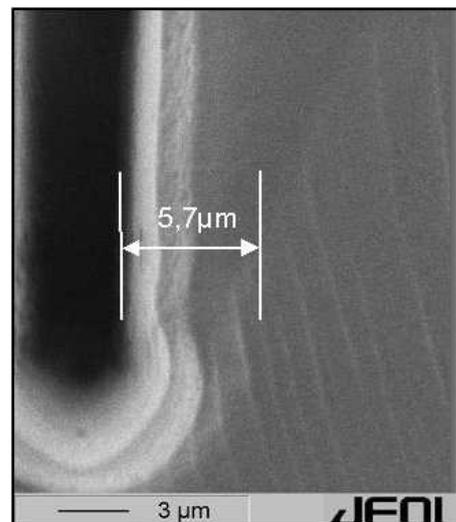


Fig. 3: Mit REM inspizierte Grabenstruktur; Etched sample inspected with SEM.

parison of fig. 1 and 3 shows, that the 2D process simulation of the p-n junction depth of 5.7 microns is in excellent agreement with the experimental determined junction depth. Further on, the simulated doping concentration lines are in good agreement with the experimental results. The ion implantation process opens new fields of application, e.g. in 3D RESURF structures like CoolMOS or integrable passive 3D devices.

Contact

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

Ionen- und Elektronenstrahlen - universelle Werkzeuge in der Nanotechnologie

Nanotechnologie beinhaltet die Herstellung, Untersuchung und Anwendung von Strukturen mit kritischen Dimensionen oder Fertigungstoleranzen von einigen 10 nm bis zu atomaren Abmessungen. Die Anschaffung und der Betrieb der für die Herstellung von nanoskaligen Strukturen verwendeten lithographischen Systeme sind mit hohen Kosten verbunden und nur in der Großserienfertigung rentabel. Aus diesem Grund werden in Forschung und Entwicklung alternative Herstellungstechniken verwendet, die sich durch geringere Kosten und höhere Flexibilität in Bezug auf eine schnelle Änderung der prozessierten Strukturen auszeichnen. Eine dieser Techniken, die für kleine Stückzahlen geeignet ist und die neben den konventionellen lithographischen Strukturierungsmethoden am IISB angewandt und weiterentwickelt wird, beruht auf der Anwendung fokussierter Ionen- und Elektronenstrahlen. Mit Strahldurchmessern von wenigen Nanometern ermöglichen diese durch Materialabtrag als auch durch die Abscheidung verschiedenster Materialien die Herstellung kleinster Strukturen.

Die Materialbearbeitung mittels fokussierter Ionen- und Elektronenstrahlen ist vielseitig anwendbar und wird in den unterschiedlichsten Bereichen eingesetzt. Hauptanwendungsgebiete sind die Modifikation und die Reparatur integrierter Schaltungen durch das Durchtrennen bestehender Verbindungen und nachfolgender Neuverdrahtung, die Präparation durchstrahlbarer Proben mit Dicken kleiner 100 nm für die Transmissionselektronenmikroskopie (TEM), Querschnittsanalysen, die Reparatur von Masken für die optische Lithographie und in zunehmender Weise die allgemeine Nanostrukturierung. Vorteile gegenüber lithographischen Strukturierungsmethoden liegen in der größeren Flexibilität und dem kaum eingeschränkten Anwendungsbereich. Die

Strukturierung erfolgt direktschreibend, in dem der fokussierte Strahl digital über die Probenoberfläche gerastert wird. Auf diese Art und Weise können dreidimensionale Strukturformen erzeugt werden und schnell, ohne die bei der optischen Lithographie notwendige Maskenherstellung, verändert werden. Dies gilt auch für die Bearbeitung von Strukturen mit ausgeprägter Topographie, die mit klassischen lithographischen Techniken nicht zu strukturieren sind. Ein Beispiel hierfür ist die Bearbeitung von Rastersonden, die verwendet werden, um Material- und Oberflächeneigenschaften bis in den Sub-Nanometer-Bereich abzutasten. In Zusammenarbeit mit der NanoWorld AG, einem Hersteller von Rastersonden, werden am IISB mittels fokussierter Teilchenstrahlen Silicium-Sonden gezielt bearbeitet und speziell für den jeweiligen Anwendungsbereich optimiert. Tastspitzen mit besonders hohem Aspektverhältnis und zusätzlich an spezielle Meßanordnungen angepaßter Geometrie (Fig. 1) erhöhen deutlich die Genauigkeit bei der Charakterisierung von Oberflächen mit ausgeprägter Topographie. Durch die Materialbearbeitung mit fokussierten Elektronen- und Ionenstrahlen ist es ebenfalls möglich, miniaturisierte Elektronenquellen herzustellen und diese in eine Rastersonde mit abgeflachter Spitze zu integrieren. Der Durchmesser der durch Materialabtrag mit dem fokussierten Ionenstrahl hergestellten Gateöffnung beträgt 1 : m. Der durch elektronenstrahlinduzierte Materialabscheidung hergestellte Emitter besitzt eine Höhe von 1 : m und einen Durchmesser von ca. 90 nm (Fig. 2).

Fokussierte Ionen- und Elektronenstrahlen stellen ein universelles Werkzeug für die flexible Herstellung von Nanostrukturen dar. Ähnlich wie sich der Laser für die Bearbeitung von Mikrostrukturen, speziell Prototypen, als sehr universelles Werkzeug herausgestellt hat, lassen sich

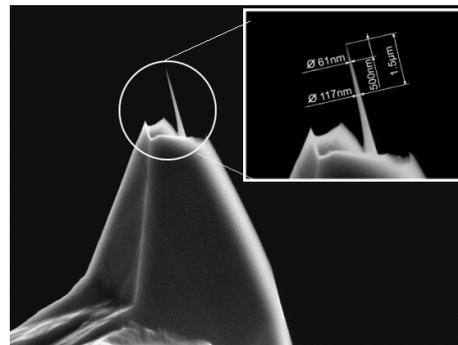


Fig. 1: Mittels fokussierter Ionenstrahlen modifizierte Rastersonde, optimiert für die Charakterisierung schmaler Strukturen mit hohem Aspektverhältnis; Modification of scanning probes by focused ion beam processing. Optimized shape for the characterization of narrow, high aspect ratio structures.

mittels Ionen- und Elektronenstrahlen in der Nanotechnologie komplexe Strukturen bis in den Größenbereich von einigen Nanometern realisieren, ohne auf aufwendige Herstellungsprozesse zurückgreifen zu müssen.

Ansprechpartner

Christoph Lehrer
Telefon: +49 (0) 9131 761-146
christoph.lehrer@iisb.fraunhofer.de

Ion- and Electron Beams - Universal Tools for Nanotechnology

Nanotechnology comprises the production, investigation, and application of structures with critical dimensions and production tolerances from only some 10 nm to atomic dimensions. Invest and operation of lithographic equipment used for the production of nano-sized structures involve high costs and are only cost-effective in large-scale production. For this reason, alternative techniques characterized by reduced costs and increased flexibility concerning fast modification of the processed structures are used for production in the field of research and development. One of these techniques, suitable for small quantities and based on the application of focused ion and electron beams, is used and improved at the IISB along with conventional lithographic methods for structuring. Beam diameters of only a few nanometers enable the fabrication of structures with minimum feature size by material removal and deposition of different materials.

Material processing by focused ion and electron beams is versatily applicable and is employed in different fields. Main areas of application are the modification and repair of integrated circuits by cutting existing lines and rewiring them, the preparation of transparent samples with a thickness lower than 100 nm for transmission electron microscopy (TEM), cross-section analysis, repair of masks for optical lithography, and increasingly nano structuring in general. The advantages compared to structuring by lithography are the increased flexibility and the scarcely limited area of application. Structuring is done in a direct writing mode by digitally scanning the focused ion beam over the sample surface. In this way, three-dimensional structures can be produced and modified quickly, without the manufacturing of masks necessary for optical lithography. This also applies to the processing of structures with

distinct topography which cannot be structured by conventional lithography techniques. One example is the processing of scanning probes used for the sampling of material and surface properties up to the sub-nanometer range. In cooperation with NanoWorld AG, a manufacturer of scanning probes, silicon sensors are processed at IISB by focused particle beams and their shape is optimized with respect to their particular application. Sensors with especially high aspect ratio and geometry additionally adapted to the specific measurement set-up (fig. 1) increase the accuracy of the characterization of a surface with pronounced topography. Material processing with focused electron and ion beams also allow the manufacturing of miniature electron sources and their integration into a scanning probe with flattened tip. The diameter of the gate opening processed by focused ion beam milling is 1 : m. Height and diameter of the emitter produced by electron beam-induced deposition is 1 : m and approx. 90 nm, respectively (fig. 2).

Focused ion and electron beams are a universal tool for a flexible manufacturing of nano structures. Similar to the laser which turned out to be a universal tool for the manufacturing of micro structures, especially of prototypes, focused particle beams allow the realization of complex structures with dimensions of some nanometers without falling back to extensive manufacturing processes.

Contact

Christoph Lehrer
Phone: +49 (0) 9131 761-146
christoph.lehrer@iisb.fraunhofer.de

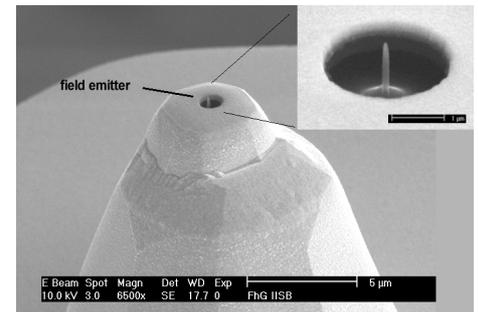


Fig. 2: Integration einer miniaturisierten Elektronenquelle in die Spitze einer Rastersonde mittels fokussierter Elektronen- und Ionenstrahlen; Integration of a miniature electron source into the tip of a scanning probe by the use of focused electron and ion beams.

Entwicklung eines fertigungstauglichen Hochtemperaturofens für die SiC- Technologie

Die Reduzierung des weltweiten Energieverbrauchs ist eine der bedeutendsten Herausforderungen unserer Zeit. Ein Weg dies zu erreichen ist die effektive Nutzung von Ressourcen. Die Reduzierung der Verlustleistung bei der Umwandlung von elektrischer Energie trägt hierzu deutlich bei. Leistungsbau-elemente gefertigt auf Materialien mit großer Bandlücke, wie Siliciumkarbid (SiC), haben das Potential, materialabhängige Grenzen heutiger auf Silicium basierender Leistungsbau-elemente zu überwinden. Aufgrund seiner hervorragenden physikalischen Eigenschaften ist Siliciumkarbid ein vielversprechendes Material für einige wichtige Leistungs-, Hochfrequenz- und Hochtemperaturbauelemente. Damit aber die herausragenden Eigenschaften von SiC zur Geltung kommen können, ist es von entscheidender Bedeutung, SiC selektiv dotieren zu können. Das Einbringen der Dotierstoffe Bor und Aluminium als Akzeptor oder Stickstoff und Phosphor als Donator ist ähnlich zu der Siliciumtechnologie. Eine deutliche Hürde bei der Entwicklung von Bauelementen, wie z. B. der Schottkydiode oder des JFET (junction field effect transistor) auf Siliciumkarbid, ist die Aktivierung der Dotieratome, vor allem der Akzeptoren. Um eine ausreichende Aktivierung und Beweglichkeit zu erreichen, sind Temperaturen von 1700°C und teilweise höher nötig. Bei diesen Temperaturen tritt aber eine Aufrauung der Oberfläche bzw. eine Stufenbildung an der Oberfläche auf. Deutlich verminderte Beweglichkeiten in der Inversionsschicht und erhöhte Widerstände sind die Konsequenz einer rauhen Oberfläche. Ein weiteres Problem bei sehr hohen Temperaturen ist die Kontamination der SiC-Scheiben aus der Ofenumgebung. An Laborequipment wurde bereits gezeigt, daß diese Probleme bei geeigneter Prozeßführung und geeigneter Wahl der Materialien für den Ofen klein gehalten werden können.

Im Rahmen eines von der Bayerischen Forschungsstiftung geförderten Projekts wurde gemeinsam mit den Firmen Centrotherm und Infineon erfolgreich ein vertikales Ofensystem für Temperaturen bis 1700°C, basierend auf einem neuen Heizungskonzept, für das Material SiC entwickelt (siehe Fig.1). In diesem System erfolgt die Heizung durch Graphitheizer (3 Zonen), die in einer inerten Atmosphäre betrieben werden. Das System (siehe Fig. 2) besteht aus folgenden Komponenten:

1. Edelstahlmantel
2. Graphitfaser-Isolation
3. Graphitheizer (Randzonen)
4. Graphitheizer (Hauptzone)
5. Prozeßrohr
6. thermische Isolation Niedertemperaturbereich
7. thermische Isolation Hochtemperaturbereich
8. Prozeßboot 2", 3" oder 100mm
9. Rohrverschluß
10. Anschlüsse für Heizung, Injektor und Thermoelement

Die ersten Versuche zeigten bereits hervorragende physikalische und elektrische Eigenschaften der in diesem Ofen ausgeheilten SiC-Bauelemente. So konnte durch geeignete Prozeßführung die Aufrauung der Oberfläche auf Werte von 10 nm und geringer reduziert werden. Leitfähigkeitsuntersuchungen ergaben einen spezifischen Widerstandswert von ca. 20 kS/r für eine Aluminium-Dotierung von $5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$, ein Wert, der nur von speziellen Laborequipment erreicht wird. Ebenso erfüllen die Fluß- und Sperrkennlinien von ersten pn-Dioden auf SiC, ausgeheilt mit dem vertikalen Ofensystem, alle Erwartungen. Somit steht am IISB ein für Temperaturen bis 1700°C fertigungstaugliches Ausheilssystem für die Siliciumkarbidtechnologie, das mit einer Kapazität von bis zu 50 Scheiben und Durchmessern von 2" bis 100mm einzigartig auf der Welt ist, zur Verfügung.



Fig. 1: Vertikales Hochtemperaturofensystem; Vertical high-temperature furnace system.

Dieses System ergänzt in idealer Weise weitere Hochtemperatursysteme für SiC am IISB, wie die Epitaxie und das Lampenausheilen.

Ansprechpartner

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

Development of a High Temperature Furnace for Device Production in SiC Technology

Today, the reduction of the worldwide consumption of energy is one of the major challenges. The efficient use of resources is an important way to meet this goal. Especially the reduction of power dissipation during transformation of electrical energy is an obvious contribution. Power devices manufactured on materials with a wide band gap like silicon carbide (SiC) have the potential to overcome material-related limits of today's power devices based on silicon. Due to its excellent physical properties, silicon carbide is a very promising material for some important power, high-frequency, and high-temperature devices. The capability of selective doping of SiC is of utmost importance to access the outstanding performance of SiC. The introduction of the doping elements boron and aluminum as acceptors or nitrogen and phosphorus as donors is similar to the silicon technology. However, a clear obstacle for the development of devices such as e.g. Schottky diodes or JFET (junction field effect transistor), is the activation of doping elements, especially of acceptors. Temperatures of 1700°C and higher are necessary to reach satisfactory high activation and mobility. With these temperatures, a roughening or step bunching of the surface occurs. Significantly reduced mobility and increased resistance in the inversion layer are the consequences of a rough surface. A further issue at elevated temperatures is the contamination of the SiC wafers from the surrounding materials. However, equipment on laboratory scale has demonstrated that these problems can be significantly reduced by adjusting the processing and by selecting adequate materials for the system.

Within the framework of a project funded by the Bayerische Forschungsförderung, a vertical furnace system for annealing of SiC for temperatures of up

to 1700°C, based on a novel heating concept, was successfully developed together with the companies Centrotherm and Infineon. This system is heated by a graphite heater (3 zones) operated in inert atmosphere. The system consists of the following components:

1. stainless steel liner to allow inert ambient
2. graphite fiber isolation
3. graphite heater (edge zone)
4. graphite heater (main zone)
5. process tube
6. thermal insulation for low-temperature zone
7. thermal insulation for high-temperature zone
8. boats for 2", 3" or 100 mm
9. tube seal
10. connections for heater, injector, and thermocouple

First experiments show excellent physical and electrical properties of SiC devices annealed in this furnace. By adjusting the processing, the roughness of the surface of SiC wafers has been reduced to values of approximately 10 nm and lower. Sheet resistance measurements reveal a specific resistance of approximately 20 kS/r for an aluminum doping concentration of $5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$. This is a value obtained by equipment on laboratory scale only. Furthermore, the diode characteristics for forward and reverse biasing of the first pn-diodes on SiC meet all expectations. Thus, an heating system on production scale for the annealing of SiC at temperatures up to 1700°C with a capacity of 50 wafers of 2", 3", and 100 mm diameter, which is unique all over the world, is now available at IISB. This system completes in a perfect manner further high-temperature systems for SiC at IISB, like epitaxy and lamp annealing.

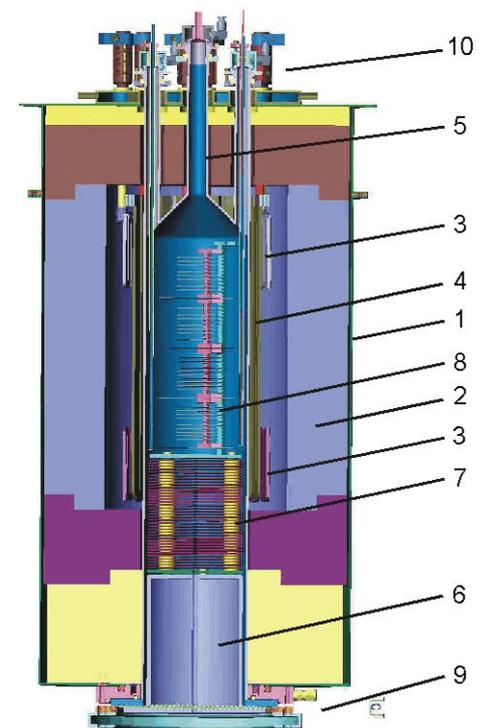


Fig. 2: Querschnitt der Heizeinheit des Hochtemperatur-Ausheilsystems; Cross section of the heating unit of the high-temperature annealing system.

Contact

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

Schwerpunkte, Trends und Potentiale der Abteilung Kristallzüchtung

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

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

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

Im Jahr 2003 wurden die FuE-Arbeiten der Abteilung Kristallzüchtung des Fraunhofer Instituts IISB mit mehreren nationalen Preisen prämiert. Den Forschungspreis der Deutschen Gesellschaft für Kristallzüchtung und Kristallwachstum erhielt Herr Dr. Birkmann für seine hervorragenden Leistungen zum

Thema "Züchtung und Charakterisierung von versetzungsarmen Silicium-dotierten Galliumarsenid-Substratkristallen". Dr. Jung, Herr Hainke und Herr Jurma wurden für ihre hervorragenden, in Teamwork erbrachten Leistungen bei der "Entwicklung und Kommerzialisierung des Softwareprogramms CrysVU zur Optimierung von Kristallzüchtungsprozessen für die Mikroelektronik" mit dem Georg-Waeber Innovationspreis des Förderkreises Mikroelektronik e.V. ausgezeichnet. Im Rahmen des "Fests der Forschung" der Fraunhofer-Gesellschaft wurde am 22.10.2003 in Duisburg der Wissenschaftspreis des "Stifterverbandes für die Deutsche Wissenschaft" an Dr. Ardelean, Dr. Friedrich, Herrn Gräbner, Herrn Molchanov und Prof. Müller verliehen. Der Preis wurde an die beteiligten Wissenschaftler für ihre erfolgreiche Züchtung hochreiner Kalziumfluoridkristalle, die in der Halbleiterindustrie als Linsenmaterial bei der Herstellung von Mikrochips zum Einsatz kommen, vergeben.

Diese wissenschaftlichen Erfolge sind auch ein Grund dafür, daß in den traditionellen Arbeitsgebieten der Abteilung die Kooperationen mit den Industriepartnern trotz der angespannten Konjunkturlage fortgesetzt werden konnten.

In 2003 wurden auch die Grundlagen geschaffen, daß die neuen Arbeitsgebiete der Abteilung weiter ausgebaut werden können. Im Bereich der Lösungszüchtung von GaN-Kristallen bei moderaten Drücken konnte reproduzierbar optisch klares GaN mit Abmessungen von bis zu 12x12 mm² und einer Dicke von bis 100 : m hergestellt werden. Im Bereich Low-Cost-Silicium für Photovoltaikanwendungen wurde mit der Firma RWE Schott Solar ein neues Forschungsvorhaben initiiert, in dem der Kohlenstofftransport beim Ziehen von dünnwandigen Silicium-Oktagons untersucht wird. In der numerischen

Simulation ist das IISB die erste Institution, die neue Verfahren aus dem Bereich des Softcomputings wie zum Beispiel genetische Algorithmen einsetzt, um Kristallzüchtungsanlagen und Prozesse automatisch zu optimieren. Dies ist eine der Voraussetzungen, damit auch künftig die Software der Abteilung Kristallzüchtung von den Kristallzüchtungsfirmen eingesetzt wird.

Die Abteilung Kristallzüchtung pflegt Kooperationen mit der Industrie in Deutschland aber auch im Ausland. Die Industriepartner waren im vergangenen Jahr in alphabetischer Reihenfolge: Crystal Growing Systems, EADS, Freiburger Compound Materials, Komatsu, LG Siltron, Linn High Therm, MA/COM, MEMC, Photonicmaterials, Schott Lithotec, Shell Solar, Shinetsu, Sumco, Riedhammer, RWE Schott Solar, Alzenau, VB-TEC, Umicore, Wacker Siltronic, Wafer Technology.

Ansprechpartner

Dr. Jochen Friedrich
Telefon: +49 (0) 9131/761-344
jochen.friedrich@iisb.fraunhofer.de

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

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

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

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

In the year 2003 the R&D activities of department crystal growth of Fraunhofer IISB were decorated with several national awards. The research award of the German Association for Crystal Growth (DGKK) was granted to Dr. Birkmann for his outstanding achievements in the field of "growth and characterization of Silicon doped GaAs substrate crystals with extremely low dislocation densities". Dr. Jung, Mr.

Hainke and Mr. Jurma received the Georg-Waeber Innovation Award from the "Förderkreis Mikroelektronik" for their outstanding contributions in the field of "development and commercialization of the software program CrysVUn for the optimization of crystal growth processes in microelectronics". During the Festival of Research of the Fraunhofer Society held on October 22 2003 in Duisburg the German science foundation award of the Stifterverband was granted to Dr. Ardelean, Dr. Friedrich, Mr. Gräbner, Mr. Molchanov and Prof. Müller. The price was awarded to the researchers for their successful growth of highly perfect Calciumfluoride crystals to be used in semiconductor technology as lens material for producing chips.

These scientific achievements are also one reason that the department could continue its industrial collaborations in its traditional fields despite of the economic contractions of the global market.

In addition, the basis was made in 2003 so that the new research areas could be extended further. In the field of solution growth of GaN-crystals at moderate pressures optical transparent GaN was grown reproducibly with dimensions of up to 12x12mm² and a thickness of up to 100: m. In the area of low cost silicon for photovoltaic applications a new R&D project was initiated with the company RWE Schott Solar. In this project the carbon transport will be investigated during the pulling of Silicon octagons with thin wall thickness. In the field of numerical simulation the IISB is the first institution which utilizes new methods from the field of soft-computing like the genetic algorithms in order to optimize automatically crystal growth equipment and processes. This is one of the prerequisites, that the software products of the department will be used by the crystal growth companies

in the future.

The department maintains national but also international co-operations to industry. The industrial partners are currently (in alphabetical order): Crystal Growing Systems, EADS, Freiburger Compound Materials, Komatsu, LG Siltron, Linn High Therm, MA/COM, MEMC, Photonicmaterials, Schott Lithotec, Shell Solar, Shinetsu, Sumco, Riedhammer, RWE Schott Solar, Alzenau, VB-TEC, Umicore, Wacker Siltronic, Wafer Technology.

Contact

Dr. Jochen Friedrich
Phone: +49 (0) 9131/761-344
jochen.friedrich@iisb.fraunhofer.de

Softcomputing in der Kristallzuchtung

Die Herstellung massiver Halbleiterkristalle aus der Schmelze erfordert die Einstellung streng definierter Temperaturfelder in der Schmelze und im wachsenden Kristall. An diese Temperaturfelder werden zum Teil einander widersprechende Anforderungen gestellt. Eine optimale Kontrolle des Temperaturfeldes ist nur möglich, wenn der Prozeß, d.h. die zeitabhängige Einstellung von Heizleistungen, und der Aufbau der Anlage aufeinander abgestimmt sind.

Die numerische Simulation ist bereits seit Jahren ein Standard bei der Entwicklung neuer Anlagen und Prozesse. Üblicherweise wird dabei ein auf der Erfahrung beruhendes Modell einer Anlage erstellt, mit dessen Hilfe dann durch manuelle Variation von Parametern ein geeigneter Züchtungsprozeß entwickelt wird. Eine Automatisierung dieses zeit- und arbeitsaufwendigen Entwicklungsprozesses erfordert eine Parametrisierung von Teilaspekten des Anlagen-Aufbaues sowie der Prozeßführung. Die Anzahl der zur Beschreibung notwendigen Parameter wird dabei schnell so groß, daß eine vollständige Abrasterung des durch diese Parameter aufgespannten Suchraumes unmöglich wird. Deshalb wird der Einsatz von Optimierungsverfahren unumgänglich. Da es i. A. keine kontinuierlichen Übergänge zwischen möglichen Prozessen und dazu passenden Anlagen gibt, ist dieser Suchraum stark nicht-linear und für den Einsatz klassischer Optimierungsalgorithmen, welche auf der Basis der Auswertung von Ableitungen arbeiten, ungeeignet.

Eine Alternative bieten die sogenannten Soft-Computing-Ansätze. Unter diesem Begriff werden Verfahren wie unscharfe Logik, neuronale Netze und wahrscheinlichkeitstheoretische Argumentationen, wie z.B. die genetischen Algorithmen, zusammengefaßt. Gemeinsam ist diesen Ansätzen ein gewisser Ver-

zicht auf Vollständigkeit und Exaktheit. Jedoch ermöglichen sie die Behandlung komplexer, u. U. anders nicht zu behandelnder Probleme.

Als erstes Beispiel wurde in der Abteilung Kristallzuchtung des Fraunhofer IISB die Anwendbarkeit genetischer Algorithmen in Verbindung mit dem thermischen Simulations-Tool CrysVUn erprobt.

Im Falle genetischer Algorithmen werden gegebene Parametersätze in Form von Bit-Strings, genannt Individuen, codiert. Eine Menge dieser Bit-Strings bildet eine Population. Die Fitness eines jeden Individuums wird anhand der Fitnessfunktion ausgewertet. Im vorliegenden Fall bedeutet dies die Durchführung einer thermischen Simulation mit den im Individuum enthaltenen Parametern. Individuen innerhalb einer Population treten dann, analog zum biologischen Vorbild, in Wettbewerb miteinander. Nach Auswertung einer Generation werden verschiedene Rekombinations- und Mutations-Operatoren angewendet und eine neue Generation gebildet.

Die Anwendbarkeit genetischer Algorithmen konnte für zwei industriell relevante Kristallzuchtungsverfahren demonstriert werden: Die Züchtung von GaAs nach dem Vertikalen Gradient Freeze-Verfahren (VGF), sowie die Züchtung von Silicium nach dem Czochralski-Verfahren.

Im Falle der Züchtung von GaAs-Kristallen wurde zunächst die Verteilung von Isolationsmaterialien in einer Modellanlage zusammen mit den Einstellungen von 6 Heizelementen optimiert. Optimiert wurden insgesamt 28 freie Parameter. Die zu optimierende Funktion wurde aus 13 unterschiedlichen Anforderungen zusammengestellt.

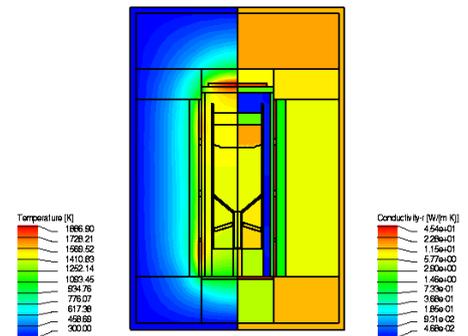


Fig. 1: Optimierung der Materialverteilung und der thermischen Prozeßführung für eine Modellanlage zur VGF-Züchtung von GaAs-Kristallen mit Hilfe der genetischen Algorithmen und CrysVUn. Links: Ausgangsgeometrie, Spannung im Kristall 2,8 MPa ; rechts: optimierte Materialverteilung, Spannung im Kristall 0,7 MPa; Optimization of material distribution and of the thermal process for a model furnace for the growth of GaAs crystals, using genetic algorithms and CrysVUn. Left: Initial geometry, max. thermal stress 2.8 MPa. Right: Optimized distribution, max. stress 0.7 MPa.

Gegenwärtig wird in einer Kooperation mit Crystal Growing Systems mithilfe der genetischen Algorithmen und CrysVUn ein Innenaufbau für eine neue industrielle VGF-Anlage zur Züchtung von GaAs-Kristallen mit 6" Durchmesser entwickelt.

Als ein zweiter Testfall wurde die Geometrie der Hitzeschilde sowie die Position des Seitenheizers in einer Silicium-Czochralski-Anlage auf einen möglichst hohen axialen Temperaturgradienten im wachsenden Kristall hin optimiert. Es konnte auch für dieses Beispiel gezeigt werden, daß bei Einsatz eines PC-Clusters innerhalb einiger Tage gute Ergebnisse gefunden werden können. Im Vergleich dazu benötigen derartige Optimierungen durch Versuch und Irrtum erfahrungsgemäß mehrere Wochen.

Ansprechpartner

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

Softcomputing in Crystal Growth

The growth of massive semiconductor crystals from the melt requires the control of strictly defined temperature fields in the melt and in the growing crystal. Partially conflicting demands are made on these temperature fields. An optimal control of the temperature field is only possible if the process, i.e. the time-dependent settings of heater powers and the design of the furnace are adapted to each other. For several years now, numerical simulation is a standard tool for the development of new equipment and processes. Typically, an empirically based model of a furnace is built which is then used to develop a suitable growth process by manual variation of parameters. An automatization of this time-consuming and expensive development process requires a parameterization both of parts of the equipment and of the process itself. However, the number of necessary parameters grows rapidly, making a complete screening of the search space spanned by these parameters impossible. Therefore, the application of optimization methods becomes inevitable. As typically there are no smooth transitions from different processes to matching furnaces, this search space is strongly non-linear and not very well suited for classical optimization algorithms based e.g. on the search of the steepest descend.

Soft-computing approaches can be considered to be an alternative. The term "soft computing" comprises methods like fuzzy logic, neural computing, probabilistic reasoning and evolutionary computing. While abandoning to a certain degree proofs of completeness and exactness, these approaches make it feasible to treat complex problems that otherwise are impossible to solve. As a first example, the applicability of genetic algorithms in conjunction with the thermal modeling tool CrysVUn was tested.

Genetic algorithms encode given sets of parameters into bit strings, so-called

individuals. A group of these individuals forms a population. The "fitness" of each individual is evaluated by means of the "fitness-function". In the present case, this means the conduction of a thermal simulation using the parameters given by each individual. Following the biological paradigm, individuals within a population compete with each other. After evaluation of each generation, different recombination and mutation operators are applied and a new generation is built.

The applicability of genetic algorithms could be shown for two industrially relevant crystal growth processes: The growth of GaAs using the vertical gradient freeze (VGF) process, and the growth of silicon by means of the Czochralski method. For the case of GaAs growth, the distribution of insulating materials inside a model furnace was optimized together with the settings for 6 heating elements. 28 free parameters were subject to optimization, the fitness function was composed from 13 partially conflicting demands.

Currently, in a cooperation with Crystal Growing Systems, the inner assembly for a industrial new VGF furnace for the growth of 6" GaAs is being developed.

As a second test case, the geometry of heat shields as well as the position of the side heater inside a Czochralski furnace for the growth of silicon was optimized. Also for this example it could be shown that, using a PC cluster, good results can be obtained within some days. Compared to this, our experience shows that such optimizations, manually varying parameters by trial and error, normally take several weeks.

Contact

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

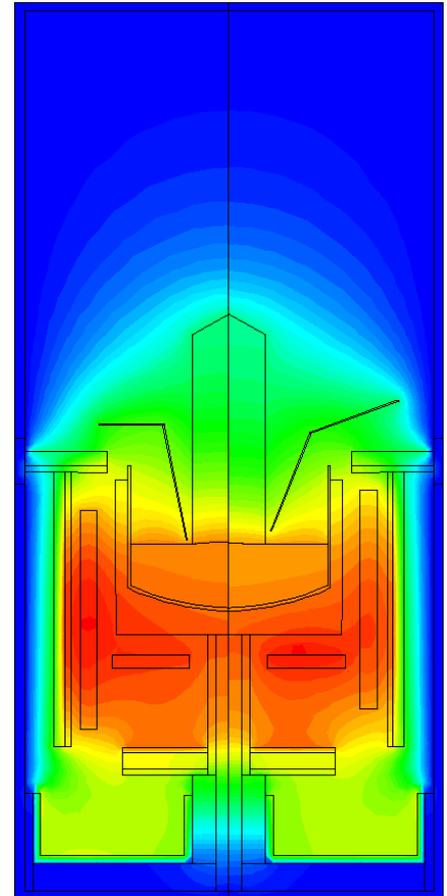


Fig. 2: Optimierung der Hitzeschilde in einer Silicium-Czochralski-Anlage: links Ausgangskonfiguration, rechts optimiertes Ergebnis; Optimization of heat shield configuration in a Si-Czochralski furnace: left: initial geometry, right: optimized geometry

Low-Cost Siliciummaterial für die Photovoltaik

Eine der großen Aufgaben in der Photovoltaik ist es, die Produktionskosten bei vergleichbarem oder höherem Wirkungsgrad zu reduzieren. Mit diesem Ziel forscht die Abteilung Kristallzuchtung des Fraunhofer IISB an mehreren aussichtsreichen Industrieprozessen.

Eine dieser kostengünstigen Techniken zur Herstellung von Siliciummaterial für die Photovoltaik stellt das Bänderziehverfahren nach der EFG-Methode (Edge Defined Film Fed Growth) dar. Bei diesem Prozeß wird die Kristallform durch einen Kapillarspalt definiert, welcher von einem Schmelzreservoir gespeist wird. Der multikristalline Kristallkörper wird dann nach oben aus der Anlage herausgezogen.

Das EFG-Verfahren, das beim Industriepartner RWE Schott Solar eingesetzt wird, liefert achteckige Röhren (Fig. 1) von einigen hundert μm Wandstärke und 5 - 7m Länge. Diese Röhren werden mittels Laserschneidegeräten in Wafer vereinzelt. Der Vorteil des EFG-Verfahrens ist in erster Linie der geringe Schnittverlust beim Herstellen der Wafer.

Aus verfahrenstechnischen Gründen werden beim EFG-Verfahren für Photovoltaik-Silicium normalerweise Tiegel und Formgeber aus Graphit eingesetzt. Graphit zeigt ein günstiges Benetzungsverhalten mit der Siliciumschmelze. Dies ist für die Kontrolle des Meniskus und damit der Kristallgeometrie erforderlich. Weiterhin ist die Fertigung der paßgenauen Teile mit Graphitwerkstoffen einfacher und damit billiger als mit Bauteilen aus beispielsweise Quarzglas, das zusätzlich bei Prozeßtemperatur bereits seine mechanische Festigkeit verliert.

Jedoch reagiert der Graphitwerkstoff mit der Schmelze, so daß sich diese mit Kohlenstoff anreichert. Wird die Löslich-

keitsgrenze überschritten, so kann es lokal zur Bildung von SiC-Kristallen kommen. Diese kritische Konzentration ist temperaturabhängig. Deshalb können sich in den kälteren Teilen der Anlage Ausscheidungen bilden, während in den heißen Bereichen der Graphit sich weiterhin auflöst. Ferner findet sich eine erhöhte Kohlenstoffkonzentration im Kristallmaterial wieder. Bestimmt werden diese Vorgänge durch den Stofftransport zwischen den heißen und kalten Regionen und der Korrosionsbeständigkeit der Graphitwerkstoffe gegenüber der Siliciumschmelze.

Zum Kohlenstofftransport beim Silicium-EFG-Verfahren gibt es bislang nur wenige Erkenntnisse. Es liegen einige ältere, experimentelle Untersuchungen vor, in denen das Reaktionsverhalten zwischen Silicium und verschiedenen Graphitwerkstoffen phänomenologisch bestimmt wurde. Ferner existieren qualitative Beschreibungen der SiC-Ausscheidung sowie Ansätze zur Simulation des Kohlenstofftransports im Formgebungsbereich. Jedoch wurden noch keine quantitativen Untersuchungen des Kohlenstofftransports in derartigen nicht-isothermen Siliciumschmelzen durchgeführt.

Deshalb wurde am IISB eine FuE-Anlage (Fig. 2) aufgebaut, die es mit geringem Aufwand ermöglicht, grundlegende Experimente zum Auflösungsverhalten von Graphitwerkstoffen in Siliciumschmelzen durchzuführen.

Diese experimentellen Untersuchungen dienen dazu, ein quantitatives Modell für den Kohlenstofftransport beim Ziehen von Siliciumröhren nach dem EFG-Verfahren zu entwickeln. Zu diesem Zweck wurde in das am IISB entwickelte Softwarepaket CrysVUn ein Modell zur Beschreibung des diffusiven und konvektiven Kohlenstofftransports eingebaut. Dabei wird für die Beschreibung des Kohlenstoffeintrags in die Schmelze



Fig. 1: EFG Produktion bei RWE Schott Solar; EFG production facility at RWE Schott Solar.

eine Flußrandbedingung verwendet, in die die Auflösungsgeschwindigkeit des Graphitwerkstoffs eingeht. Die Arbeiten im Rahmen des Kooperationsprojektes mit RWE Schott Solar zielen auf die Auswahl optimaler Tiegelmateriale bei optimierten Randbedingungen ab.

Ansprechpartner

Dr. Jochen Friedrich
Telefon: +49 (0) 9131/761-344
jochen.friedrich@iisb.fraunhofer.de

Low-Cost Silicon for Photovoltaic Applications

One of the major challenges in solar cell industry is the reduction of production costs while maintaining or increasing the cell efficiency. The Crystal Growth laboratory is involved in the research of several industrial processes having this goal in mind.

One of these methods for the production of photovoltaic silicon is the ribbon technology using the EFG (Edge Defined Film Fed Growth) process. In this technique, the shape of the crystal is defined by a capillary supplied with silicon by a melt pool. The multicrystalline crystal is pulled vertically out of the top of the vessel.

The EFG method utilized at the industrial partner RWE Schott Solar results in octagonal silicon tubes (fig. 1) with a wall thickness of some hundred microns and a length of 5 to 7 meters. These tubes are cut into wafers by a laser cutting tool. The striking feature of this process is the low material loss due to cutting.

Due to technology-specific reasons, graphite crucibles and dies are usually used in this EFG process for photovoltaic silicon. Graphite has a beneficial wetting behavior with liquid silicon. This is mandatory for a precise control of the meniscus and therefore of the crystal shape. Furthermore, graphite parts for the crucible and the die can be manufactured much easier with close tolerance especially compared to SiO_2 glass. The latter loses considerably mechanical strength at process temperature.

However, graphite reacts with liquid silicon which leads to an enrichment with carbon of the silicon melt. If the carbon concentration exceeds the solubility limit of carbon in liquid silicon, SiC crystals may form locally. The critical concentration is a function of the temperature. Thus, SiC crystals mainly grow

in the colder regions while in the hot parts the graphite dissolves. In addition, an enhanced carbon concentration can be found in the crystal.

This process is governed mainly by two factors: The efficiency of the carbon transport through the melt from hot to cold areas and the resistance of the used graphite against the silicon melt.

Up to now only a few results exist concerning the carbon transport during the silicon EFG process. In some former experiments, the reaction behavior between silicon and different graphite materials was phenomenologically analyzed. In addition, a qualitative description of the SiC precipitates as well as first approaches for the simulation of the carbon transport in the vicinity of the die exists. However, no quantitative analysis of the carbon transport in non-isothermal silicon melts has been carried out.

Therefore, a R&D facility was installed at the Crystal Growth laboratory, which allows to easily perform fundamental experiments on the dissolution behavior of graphite materials in liquid silicon.

These experimental investigations are used to obtain a quantitative model for the carbon transport during the growth of silicon octagons by the EFG method. For this purpose, a model for the description of the diffusive-convective carbon transport was implemented in the software CrysVUn. Thus, the carbon dissolution is modeled by a flux-boundary condition, which contains the dissolution rate of the graphite material. The R&D activities within this project with RWE Schott Solar are focused on a selection of optimized crucible materials and optimized boundary conditions.



Fig. 2: Modellaufbau zur Bestimmung des Reaktionsverhaltens zwischen Silicium und Graphitwerkstoffen;
R&D facility for the analysis of the reaction behavior between silicon and graphite materials.

Contact

Dr. Jochen Friedrich
Phone: +49 (0) 9131/761-344
jochen.friedrich@iisb.fraunhofer.de

Einfluß von Sauerstoff auf die optischen Eigenschaften von CaF_2 -Kristallen für die Mikrolithographie

Einleitung

Calciumfluorid (CaF_2) ist als Linsenmaterial für die Photolithographiegeneration bei Wellenlängen von 193 nm und 157 nm vorgesehen. Voraussetzung für diese Anwendung sind eine hohe Transmission und eine hohe Strahlungsbeständigkeit. Hochreines CaF_2 besitzt hervorragende Transmissionseigenschaften im gesamten Spektralbereich zwischen UV und IR. Selektive Absorptionsbanden werden in CaF_2 nur durch Verunreinigungen im Kristall verursacht. Eine häufig auftretende Verunreinigung in CaF_2 ist Sauerstoff. In der Literatur wird berichtet, daß Sauerstoff die Transmission im UV-Bereich und die Strahlungsfestigkeit von CaF_2 deutlich reduziert. Trotz enormer Wichtigkeit für Mikrolithographie ist der Einfluß von Sauerstoff auf die optischen Eigenschaften von CaF_2 -Kristallen bis heute nicht ausreichend untersucht.

Experiment

Der Einfluß des Sauerstoffs auf die optischen Eigenschaften von CaF_2 wurde in speziellen Kristallzüchtungsexperimenten systematisch untersucht. Der experimentelle Aufbau ist in Fig. 1 schematisch dargestellt. Im Experiment wurde ein spezielles, am IISB entwickeltes Gasversorgungssystem eingesetzt, das eine vom Autoklav unabhängige Gasversorgung des Tiegels ermöglicht. Im Züchtungsexperiment wurde Sauerstoff über ein Zuleitungsrohr direkt in den Tiegel eingeleitet. Die Einlaßrate wurde über den Mass-Flow-Controller gesteuert, wobei der Druck im Tiegel mittels einer Druckmeßbröhre während des Prozesses kontrolliert wurde. Damit wurde Sauerstoff direkt an die CaF_2 -Schmelzoberfläche herangeführt und während des Kristallwachstums die Konzentration in der Züchtungsatmosphäre und damit im Kristall in einem breiten Be-

reich kontrolliert variiert.

Ergebnisse

Nach der Züchtung wurden Sauerstoffkonzentration und optische Eigenschaften vom gezüchteten Kristall quantitativ bestimmt. Anhand von diesen Daten konnte ein quantitativer Zusammenhang zwischen Sauerstoffkonzentration und optischen Eigenschaften von CaF_2 -Kristallen hergestellt werden.

Die Sauerstoffkonzentration im CaF_2 -Kristall wurde mittels ERD (Elastic Recoil Detection) quantitativ bestimmt, sie variiert zwischen 5 ppm und 150 ppm. Die Untersuchungen der optischen Eigenschaften haben ergeben, daß Sauerstoff einen Absorptionsanstieg im UV-Bereich mit einem Absorptionsmaximum bei 197 nm verursacht. Dabei besteht ein linearer Zusammenhang zwischen der Sauerstoffkonzentration im Kristall und dem Absorptionskoeffizienten bei 197 nm (siehe Fig. 2). Der aus der Steigung ermittelte spezifische Absorptionskoeffizient erlaubt nun eine quantitative Bestimmung der Sauerstoffkonzentration in CaF_2 aus dem Absorptionskoeffizienten. Dabei können die aufwendigen und teuren Konzentrationsmessungen durch einfache Absorptionsmessungen ersetzt werden.

Darüber hinaus wurde der Einfluß des Sauerstoffs auf die Strahlungsbeständigkeit des Kristalls für Röntgenstrahlung und für den F_2 -Laser (157 nm) untersucht. Die Röntgenstrahlung führt zur Bildung von neuen Absorptionsbanden im sichtbaren Spektralbereich mit Hauptmaximum bei 375 nm. Die durch Röntgenstrahlung im CaF_2 induzierte Absorption nimmt mit steigendem Sauerstoffgehalt zu.

Die Tatsache, daß Röntgenstrahlung in sauerstoffhaltigen CaF_2 -Kristallen Absorptionsbanden im sichtbaren Spek-

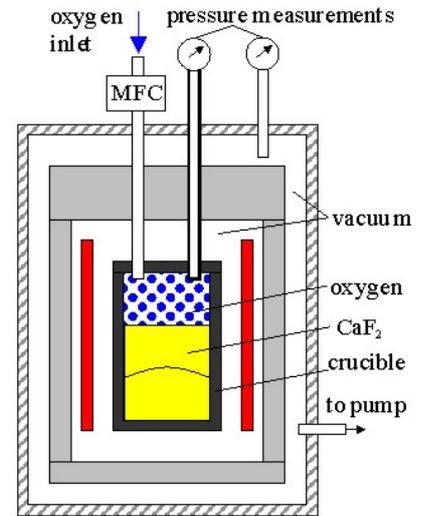


Fig. 1: Experimenteller Aufbau für die Züchtung eines sauerstoffdotierten CaF_2 -Kristalls; Experimental set-up for growth of an oxygen-doped CaF_2 crystal.

tralbereich induziert, kann für einfache Qualitätskontrollen ausgenutzt werden. Die Sauerstoffverunreinigungen können nach der Röntgenbestrahlung mit bloßem Auge festgestellt werden.

Ansprechpartner

Alexander Molchanov
Telefon: +49 (0) 9131 761-225
alexander.molchanov
@iisb.fraunhofer.de

Influence of Oxygen on the Optical Properties of CaF₂ Crystals for Microlithography

Introduction

Single crystalline calcium fluoride (CaF₂) is designated as a lens material for photolithography at wavelengths of 193 nm and 157 nm. The prerequisites for this application are high transmission and high resistance with respect to radiation damage under high-intensity laser irradiation. Pure CaF₂ has excellent transmission properties without absorption bands over a wide wavelength range from UV to IR. Selective absorption bands exist in CaF₂ only if the crystal contains impurities. Oxygen is considered to be a major impurity in CaF₂. It is reported in literature that oxygen in CaF₂ leads to the formation of color centers which strongly reduce the radiation hardness. But so far no quantitative relationship between the oxygen concentration in the crystal and its optical properties has been reported.

Experimental

The influence of oxygen on the optical properties of CaF₂ was investigated by a special crystal growth experiment. The experiment was carried out in a special Bridgman-type growth facility at the IISB. The experimental set-up is schematically shown in fig. 1. A special gas supply system was used to introduce oxygen directly into the crucible with CaF₂ during crystal growth. The flow rate of oxygen was controlled by a mass-flow controller. The concentration of oxygen in the growth atmosphere and thus in the crystal was varied over a wide range during growth.

Results

After growth, the oxygen concentration in the CaF₂ crystal was determined quantitatively by a special characterization technique called ERD (Elastic Recoil

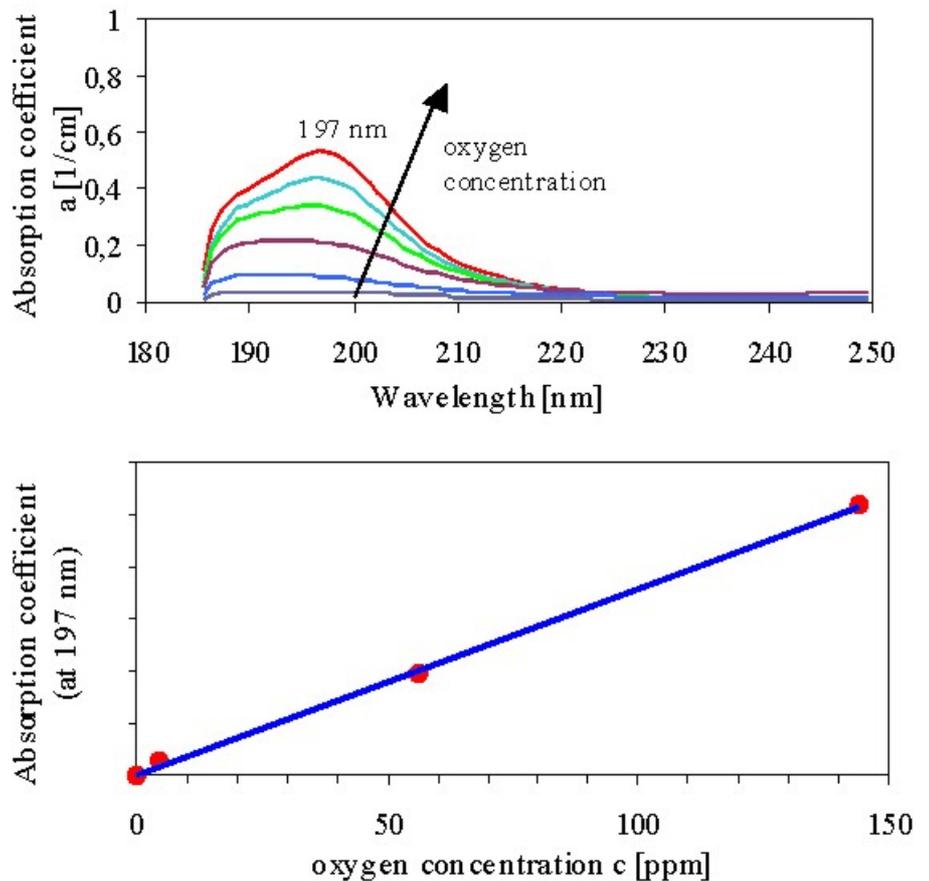


Fig. 2: Einfluß der Sauerstoffkonzentration auf den Absorptionskoeffizienten von CaF₂-Kristallen; Influence of oxygen concentration on absorption coefficient of CaF₂ crystals.

Detection). Concentrations between 5 ppm and 150 ppm were detected.

Investigations of the optical properties of this CaF₂ crystal revealed that the oxygen causes an increase of absorption in the UV range with an absorption maximum at 197 nm. The relation between the oxygen concentration in the crystal and the absorption coefficient at 197 nm was found to be linear (fig. 2). This calibration relation can now be used for quantitative determination of the oxygen concentration in CaF₂ crystals by absorption measurements.

Furthermore, the influence of oxygen on the radiation hardness to X-ray and to excimer F₂ laser (157 nm) irradiation was examined. X-ray irradiation of CaF₂ containing oxygen induces absorption

bands in visible range with the main maximum at 375 nm. X-ray induced absorption in CaF₂ increases with increasing oxygen concentration.

Contact

Alexander Molchanov
Phone: +49 (0) 9131 761-225
alexander.molchanov
@iisb.fraunhofer.de

Das virtuelle Material Science Laboratory auf der Internationalen Raumstation

Die Forschung in einer annähernd schwerelosen Umgebung hat eine lange Tradition auf dem Gebiet der Werkstoffwissenschaften. Die fehlende Gravitation schafft definierte Bedingungen für die während der Erstarrung auftretenden Wärme- und Stofftransportprozesse. Dies ermöglicht es, theoretische Modelle zu validieren und grundlegende Beziehungen zwischen den Prozeßbedingungen und den daraus resultierenden Materialeigenschaften zu entwickeln.

Das geplante Material Science Laboratory (MSL) auf der Internationalen Raumstation ISS soll den langfristigen Zugang zu einer schwerelosen Umgebung für die nächsten 10 bis 15 Jahre ermöglichen. Das MSL besteht aus einer Prozeßkammer sowie Ofeneinsätzen (FIs) und speziellen Kartuschen (SCAs) für die jeweiligen Experimente (siehe Fig. 1).

Bis jetzt sind zwei europäische Anlagen geplant. In beiden Ofenanlagen (LGF und SQF) erfolgt die gerichtete Erstarrung durch eine Relativbewegung des Ofens zur Kartusche. Die Ofeneinsätze können während des Flugs (on-orbit) ausgetauscht werden. Zusätzlich ist es möglich, komplett neue Ofeneinsätze zu entwickeln und einzusetzen. Vorgesehen sind derzeit Experimente mit einer Vielzahl unterschiedlicher Materialsysteme, u.a. mit AlSiMg, CdTe und CuSn.

Im Rahmen des MSL User Support Programms wurde das Kristalllabor von der ESA beauftragt, ein "virtuelles" MSL zu entwickeln. Dieses basiert auf der Software CrysVUn, welche in den letzten Jahren am IISB entwickelt wurde. CrysVUn ist speziell für die globale Simulation von Wärme- und Stofftransportprozessen in Hochtemperaturanlagen mit komplexer axialsymmetrischer oder 2D-Geometrie ausgelegt worden.

Das virtuelle MSL soll für thermische Simulationen von Erstarrungs- und Kristallzuchtprozessen verwendet werden, um z.B.

- die Kartuschenentwicklung dabei zu unterstützen, die thermischen Eigenschaften des Kartusche-Probe-Systems an die jeweiligen wissenschaftlichen Anforderungen anzupassen.
- bei der Vorbereitung und Ausführung sowohl der On-Flight-Experimente als auch der Referenzexperimente am Boden mitzuwirken. Das Ziel ist hierbei, die Prozeßparameter, wie z.B. den zeitlichen Verlauf der Heizertemperaturen oder der Verschiebungsgeschwindigkeit der Anlage, zu optimieren.
- durch Bereitstellung detaillierter Informationen über das Temperaturfeld in der Kartuschen-Proben-Einheit sowohl für die On-Flight-Experimente als auch für die Referenzversuche am Boden die jeweiligen Forschergruppen bei der Analyse der Experimente zu unterstützen (siehe Fig. 2).

Um all diese Anforderungen zu erfüllen, wurde CrysVUn im vergangenen Jahr um einige neue Eigenschaften erweitert. So bietet es nun eine komfortable Materialdatenbank, sowie die Möglichkeit, SCA- und FI-Modelle zu verbinden. Derzeit wird an der Validierung der thermischen Modelle unter Verwendung experimenteller Daten gearbeitet. Dabei wird der kürzlich entwickelte genetische Algorithmus (GA) verwendet, um gezielt die Parameter einiger kritischer Materialeigenschaften zu variieren. Ein spezielles Problem ist hierbei, die effektive Wärmeleitfähigkeit der Hitzeschilde in den Ofeneinsätzen zu ermitteln.

Es ist zu erwarten, das CrysVUn sowohl am IISB als auch bei den anderen europäischen Forschungsgruppen zur Unterstützung der Experimente auf der ISS im

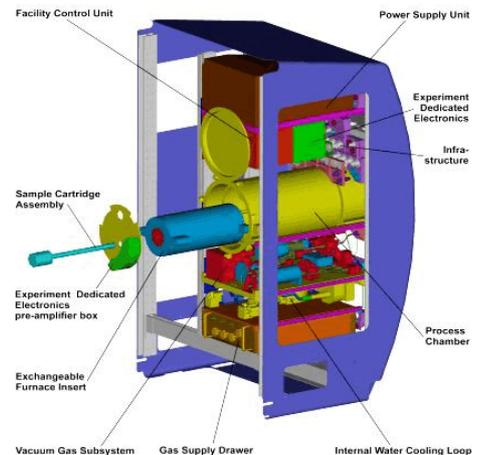


Fig. 1: Schematische Darstellung des MSL (Quelle: ESA). Der Ofeneinsatz und die Kartusche-Probe-Einheiten können während des Fluges (on-orbit) ausgewechselt werden. Die Simulation dieser Teile mit der Software CrysVUn hilft, das thermische Design dieser Einsätze zu optimieren; Schematic of the Material Science Laboratory (source: ESA). The furnace insert and sample-cartridge assemblies are exchangeable during on-orbit processing. Numerical modeling of these parts with the software package CrysVUn helps to define proper thermal set-ups and optimal process conditions.

Bereich der Werkstoffwissenschaften intensiv verwendet wird. Dennoch werden die europäischen Forscher auch andere Möglichkeiten für Mikrogravitationsversuche suchen müssen, da das MSL in naher Zukunft nicht zur Verfügung stehen wird. So wird CrysVUn derzeit bereits angewandt, um ein Experiment auf einer TEXUS-Mission zu simulieren. Dies ist ein Teil des europäischen Forschungsprogramms MICAST, an dem das IISB ebenfalls beteiligt ist. Das Ziel dieses Projekts ist es, den Einfluß elektromagnetischer Felder auf die Strömung und die daraus resultierende Mikrostrukturbildung in AlSi-Legierungen zu untersuchen.

Ansprechpartner

Marc Hainke
Telefon: +49 (0) 9131 761-264
marc.hainke@iisb.fraunhofer.de

The Virtual Material Science Laboratory on Board of the International Space Station

Experimental research in a microgravity environment has a long tradition in the field of material science. The absence of gravity helps to create defined conditions for the occurring heat and mass transfer during solidification processes. This allows to validate theoretical models and to develop fundamental relations between solidification conditions and the resulting material properties.

The planned Material Science Laboratory (MSL) on board of the International Space Station (ISS) shall allow the long-term access to a microgravity environment during the next 10 -15 years. MSL primarily consists of a process chamber accommodating furnace inserts and individual experiment cartridges (see fig. 1). So far, the Low Gradient Furnace (LGF) and the Solidification and Quenching Furnace (SQF) are planned to be the first European furnace inserts in the MSL. Both, LGF and SQF are Bridgman-type furnaces, in which the cartridge containing the sample is moving relatively to the furnace insert during the experiments. A fundamental feature of MSL is its capability for on-orbit exchange of furnace inserts. Thus, the facility supports various materials-processing techniques with different thermal profiles.

Within the framework of the Material Science Laboratory User Support Program ESA has commissioned the Crystal Growth laboratory to develop a "virtual" material science laboratory, based on the CrysVUn software, which was developed at IISB during the last years.

The virtual material science laboratory shall be used for thermal simulations of solidification and crystal growth experiments in order to support, e.g.

- the cartridge development, in such a way that a proper thermal set-up of the sample cartridge system can be identified, which fits the dedi-

- cated scientific requirements.
- the preparation and execution of flight experiments as well as the ground-based reference experiments. The goal is to define and to optimize the process parameters, e.g. temporal evolution of heater temperatures or the translation velocity of the furnace.
- the experimentalists by providing detailed information about the thermal field inside the sample-cartridge assembly during the flight experiments as well as during the reference experiments on ground (see fig. 2).

To meet all these requirements, we extended CrysVUn during the last year by several new features like a comfortable material data base and the possibility to join SCA and FI models. Currently, we are validating the developed thermal models with experimental measurements of the temperature distribution inside the furnaces. Thus, we apply the recently developed genetic algorithms (GA) for the systematic parameter variation of some critical material properties. One particular difficulty is the identification of the effective thermal conductivity of the heat shields used in the furnace inserts.

It can be expected that CrysVUn will be used extensively by IISB and other European research groups for the support of experiments in the field of material science on board of the ISS. Nevertheless, as the MSL will not be available in the near future, the European researchers have to utilize alternative flight opportunities like sounding rocket missions. As an example, CrysVUn is currently applied to support and analyze an experiment within the framework of a TEXUS mission. This is part of the European research program MICAST in which IISB is involved.

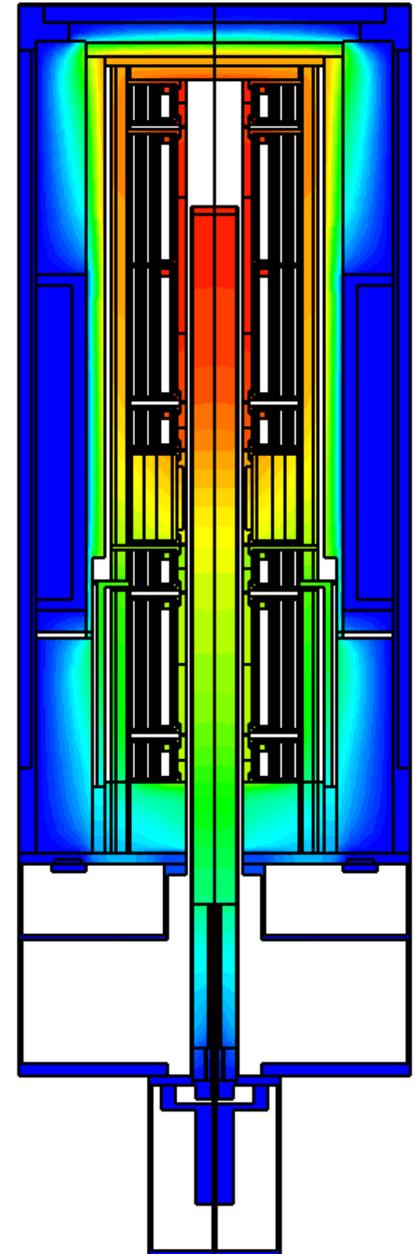


Fig. 2: Durchführung eines Erstarrungsexperiments im virtuellen MSL. Die Analyse mit CrysVUn liefert u.a. detaillierte Informationen über das Temperaturfeld in der Anlage; Performance of a solidification experiment in the virtual material science laboratory. The thermal analysis with CrysVUn provides detailed information on the temperature field inside the furnace insert and the sample-cartridge assembly.

Contact

Marc Hainke
Phone: +49 (0) 9131 761-264
marc.hainke@iisb.fraunhofer.de

Entwicklung von Prozessen zur Herstellung von GaN-Substratkristallen

International setzen sich die kommerziellen und wissenschaftlichen Erfolge bei den Halbleitern der Gruppe III-Nitride weiter fort. So fanden erste nitridbasierte Laserdioden Eingang in kommerzielle Produkte und auch im Bereich der Hochtemperatur- und Hochfrequenzelektronik konnten erhebliche Fortschritte z.B. im Bereich der Durchbruchspannung und den Gateleckströmen erzielt werden.

Allerdings geschieht die Herstellung der Bauelemente noch immer heteroepitaktisch mit allen damit verbundenen Problemen. Ein GaN-Einkristall von relevanten Abmessungen ist nach wie vor nicht in Sicht. Allerdings wurden bei den sogenannten Quasisubstraten (mittels Hydride-Vapor-Phase-Epitaxie hergestellte freitragende Schichten) große Fortschritte erzielt. Dennoch liegen die Versetzungsdichten mit bisher bestenfalls 10^6 cm^{-2} deutlich höher als bei den klassischen III/V-Halbleitern.

Am IISB wird im Rahmen eines BMBF-Projektes (FKz. 01BM158) an der Kristallzüchtung von GaN geforscht. Im Mittelpunkt des Interesses steht dabei ein Verfahren, bei dem die Kristalle aus einer Gallium-haltigen Schmelzlösung abgeschieden werden. Der Stickstoffeintrag geschieht über die Gasphase.

Die Projektarbeiten machten im abgelaufenen Jahr große Fortschritte. So wurden Prototypanlagen für die GaN-Kristallzüchtung entwickelt und in Betrieb genommen. In diesen Anlagen konnten GaN-Kristalle durch homogene Keimbildung in der Lösung (siehe Fig. 1) hergestellt werden. Auch ist es gelungen, GaN nach Keimvorgabe durch heterogene Keimbildung wachsen zu lassen.

Durch Optimierung der Prozeßparameter konnten strukturelle Defekte, die in Form von sogenannten Pits an der

Oberfläche auf den ersten Proben vorhanden waren, deutlich reduziert werden. Im Rasterelektronenmikroskop sind jetzt keine strukturellen Defekte mehr auf der Oberfläche erkennbar.

Darüber hinaus wurden verschiedene nicht destruktive Verfahren wie Raman-spektroskopie, optische Absorption sowie Kathodo- und Photolumineszenz (PL) zur Charakterisierung eingesetzt.

Die Ramanspektren (Fig. 2a) zeigen die für GaN charakteristischen Peaks und lassen den Schluß auf eine vorliegende Ladungsträgerkonzentration in der Größenordnung von 10^{19} cm^{-3} zu. Eine genauere Quantifizierung mittels elektrischer Messungen wird in Kürze folgen. Fig. 2b zeigt zudem ein Photolumineszenz-Spektrum einer mit dem o.g. Verfahren hergestellten GaN-Probe zwischen 1,8 und 3,6 eV. Das Spektrum ist typisch für hochdotiertes n-leitendes GaN. Zu erkennen sind eine bandlückennahe Lumineszenz zwischen 2,9 und 3,4 eV sowie ein gelber Lumineszenzpeak zwischen 1,8 und 2,6 eV.

2004 werden die Arbeiten zur Lösungszüchtung weiter intensiviert. Ziel ist es, mit einer umfassenden elektrischen und strukturellen Charakterisierung der Kristalle die Kristallqualität mit den Wachstumsbedingungen zu korrelieren und daraus Maßnahmen zur weiteren Prozeßverbesserung abzuleiten.

Ein großes Problem bei der Züchtung von Nitridkristallen resultiert aus der Tatsache, daß gegenwärtig die Löslichkeit von Stickstoff in den Schmelzlösungen bei Prozeßbedingungen nicht quantitativ bekannt ist. Diese soll daher am IISB mittels Thermogravimetrie (TG) bestimmt werden. Dabei ist es gelungen, das Thermogravimetriesystem der Firma Netzsch soweit zu optimieren, daß die Spezifikationen des Geräteherstellers übertroffen wurden und nun die Genauigkeit zur Bestimmung der Lös-

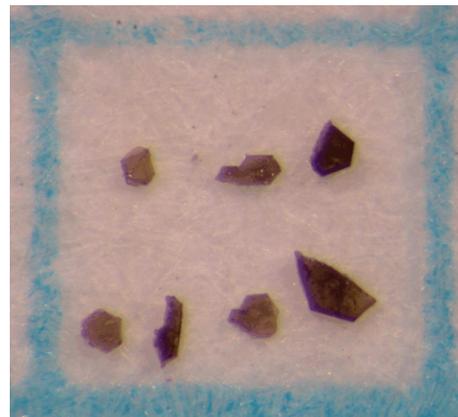


Fig. 1: GaN-Kristalle gezüchtet aus der Lösung; GaN crystals grown from flux.

lichkeiten ausreichen sollte. Erste quantitative Resultate werden für 2004 erwartet.

Neben der Züchtung von GaN aus Schmelzlösungen wurde in Kooperation mit der Technischen Chemie der Universität Erlangen-Nürnberg begonnen, FuE-Arbeiten zur Kristallisation von GaN aus überkritischem NH_3 durchzuführen. Ein ähnliches Verfahren wird industriell bereits seit Jahrzehnten erfolgreich eingesetzt, um Quarzkristalle für technische Anwendungen aus überkritischem Wasser herzustellen.

Ansprechpartner

Dr. Bernhard Birkmann
Telefon: +49 (0) 9131 761-136
bernhard.birkmann@iisb.fraunhofer.de

Development of Growth Processes for GaN Substrates

Both the commercial and the scientific success achieved internationally in the field of semiconductors belonging to the group III-nitrides has been continued. First, nitride-based laser diodes have been incorporated into commercial products and also in the fields of high-temperature and high-frequency electronics major progress has been made e.g. concerning breakdown voltage and gate leakage currents.

Despite all progress, the devices are still grown by heteroepitaxy which causes a number of problems. A GaN single crystal of relevant dimensions is still not in sight. Nevertheless, there is a large progress concerning the so-called quasi-substrates (freestanding layers grown by hydride vapor phase epitaxy). In the best case, the dislocation densities are as low as 10^6 cm^{-2} , which is still significantly higher than in the case of the classical III/V semiconductors.

At IISB, research is done on the crystal growth of GaN within the framework of a BMBF-funded project (FKz. 01BM158). The main point of interest is a technique which allows the growth of GaN crystals from a metallic flux. The nitrogen is supplied by the vapor phase.

The project work advanced very much during the last year. Prototype facilities for the crystal growth of GaN have been developed and were put into operation. In these set-ups, GaN crystals were grown in the flux by homogeneous nucleation. In addition, it was also possible to grow GaN by heterogeneous nucleation using a seed.

By optimization of the process parameters we succeeded to almost completely suppress the occurrence of structural defects in form of pits on the crystal surface. At present, there are no defects of this type visible by means of the scanning electron microscope.

Apart from the crystal growth, various non-destructive methods like Raman spectroscopy, optical absorption and cathodo- and photoluminescence (PL) have been used to characterize the crystals.

The Raman spectra (fig. 2a) show the characteristic peaks of GaN and allow to estimate the charge carrier concentration to be in the order of 10^{19} cm^{-3} . A more precise quantification by means of electrical measurements will follow.

A photoluminescence spectrum between 1.8 and 3.6 eV of a sample grown by the method described above is shown in fig. 2b. The spectrum is typical for highly-doped n-type GaN. It shows a luminescence close to the band gap between 2.9 and 3.4 eV and a yellow luminescence peak between 1.8 and 2.6 eV.

In 2004, the work on the solution growth of GaN will be intensified. It is aimed to correlate crystal quality and growth conditions by applying comprehensive electrical and structural characterization. This will help to further improve the process conditions.

One of the main problems concerning the growth of nitride crystals is the fact that the nitrogen solubility is unknown under the conditions of the applied process. Therefore, it is planned to determine the nitrogen solubility by using thermogravimetry (TG).

Meanwhile, we succeeded to optimize the thermogravimetry system of the company Netzsch so far that the specifications of the manufacturer are exceeded and that the accuracy should be sufficient for determining of the solubilities. First quantitative results are expected for 2004.

Besides the growth of GaN from metallic fluxes, we started to perform R&D

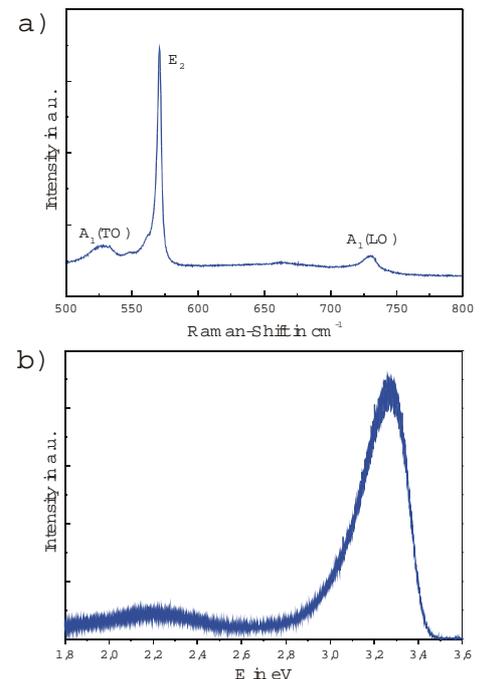


Fig. 2a: Raman-Spektrum von Lösung gezüchteten GaN;

Raman spectrum of flux-grown GaN.

Fig. 2b: Photolumineszenzspektrum von Lösung gezüchteten GaN;

PL spectrum of flux-grown GaN.

work on the crystallization of GaN from supercritical NH_3 in cooperation with the Technical Chemistry of the University Erlangen Nuremberg. A similar method is successfully used in industry since decades for the growth of quartz crystals for technical applications from supercritical water.

Contact

Dr. Bernhard Birkmann
Phone: +49 (0) 9131 761-136
bernhard.birkmann@iisb.fraunhofer.de

Leistungselektronische Systeme

Schwerpunkte, Trends und Potentiale der Abteilung Leistungselektronische Systeme

Ziel der Abteilung ist die Etablierung als eines der europaweit führenden Kompetenzzentren für leistungselektronische Systemlösungen.

Wir entwickeln innovative Schaltungs- und Systemkonzepte für die Stromversorgung- und Antriebstechnik und demonstrieren diese anhand von Prototypen. Die fachlichen Schwerpunkte der Abteilung sind in Fig. 1 zusammengestellt.

Die positive Entwicklung des Geschäftsfelds »Leistungselektronik & Mechatronik« konnte im Jahr 2003 fortgesetzt werden. Besonders erfreulich entwickelte sich der Bereich Kfz-Leistungselektronik. Dessen inzwischen branchenweit anerkannte Kompetenz im Bereich der mechatronischen Integration leistungselektronischer Systeme mündete in eine Reihe von Kooperationen mit führenden europäischen Automobilherstellern und Kfz-Zulieferern.

Die erfolgreiche Markteinführung von hybrid angetriebenen Kraftfahrzeugen durch japanische Hersteller hat die Branche weltweit unter Zugzwang in Richtung neuer verbrauchs- und emissionsarmer Antriebstechnologien gebracht. Die Schlüsselsysteme dazu, wie Hochleistungs-Umrichter motoren und Spannungswandler hoher Leistung, sind Kernarbeitsgebiete der Abteilung.

In Kooperation mit DaimlerChrysler konnte 2003 die vermutlich weltweit erste elektrische Maschine mit einer Wellenleistung von 45 kW und einem vollständig mechatronisch integrierten Frequenzumrichter realisiert werden.

Im Arbeitsgebiet "Power Processing" erfolgte neben der Entwicklung von Integrationslösungen für höchste Lei-

stungsdichten der Einstieg in die Entwicklung von Hochleistungs-Spannungswandlern, wie sie für Brennstoffzellenfahrzeuge und für den Betrieb von hochkapazitiven Kondensatoren (UltraCaps) als hochzyklenfeste Energiespeicher (Akku-Ersatz) benötigt werden. Hier konnten noch 2003 erste Prototypen für Tests in Fahrzeugen ausgeliefert werden.

Die erfolgreichen Kfz-Aktivitäten werden zu einem Kompetenzzentrum für "Kraftfahrzeug-Leistungselektronik" ausgebaut. Ein entsprechendes Konzeptpapier stieß beim Freistaat Bayern und der Stadt Nürnberg auf große Unterstützung. Für 2004 ist die Einrichtung dieses Kompetenzzentrums als Außenstelle des IISB am energietechnologischen Zentrum (etz) in Nürnberg geplant.

Das zusammen mit Partnern aus den Firmen Infineon und Semikron mitinitiierte »European Center for Power Electronics« (ECPE) wurde am 17. April 2003 in Form eines Vereins und einer GmbH gegründet. Derzeit sind 12 Großunternehmen der Leistungselektronik aus 5 europäischen Ländern Mitglied im Verein. Am 1. Oktober nahm die Geschäftsstelle am etz in Nürnberg ihre Arbeit auf. Ein Ziel des ECPE ist die Förderung von Vorfeldforschungsprojekten, die an ausgewählten Forschungseinrichtungen durchgeführt werden.

Unser Ziel ist es, das Kompetenzzentrum für Kfz-Leistungselektronik des IISB in Nürnberg zu einem leistungsfähigen Kooperationspartner des ECPE zu entwickeln. Erste gemeinsame Projekte sind bereits gestartet.

Messeauftritte auf der PCIM und der SPS/IPC/Drives in Nürnberg sowie im Rahmen des BKM-Gemeinschaftsstands auf der Hannover-Messe waren ebenso Höhepunkte der Marketingaktivitäten der Abteilung wie die "Lange Nacht der Wissenschaften".

Im Bereich der Weiterbildung wurde eine Seminarreihe gestartet, die sich mit eintägigen Intensivkursen zu ausgewählten Themen der Leistungselektronik an Entwickler aus diesem Bereich wendet. Mit durchschnittlich mehr als 35 Teilnehmern wurden unsere Erwartungen an die Resonanz dieser Seminare weit übertroffen.

Die in den letzten Jahren schwierige Situation bei der Gewinnung wissenschaftlicher Mitarbeiter hat sich in der zweiten Jahreshälfte 2003 überraschenderweise etwas entspannt, so daß der personelle Aufbau wie geplant realisiert werden konnte.

Ansprechpartner

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

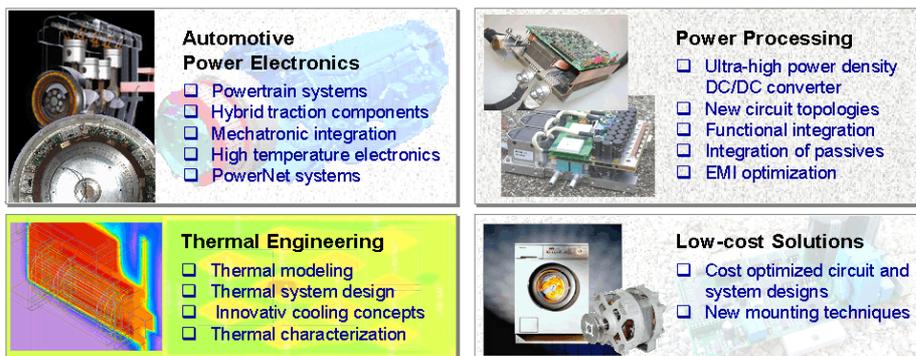


Fig. 1: Arbeitsschwerpunkte der Abteilung Leistungselektronische Systeme ; R&D Focal areas of the power electronics systems department.

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

The mission of the power electronics systems department is the establishment as one of Europe's leading centers of competence for power electronic system solutions.

We develop innovative power electronic system concepts for power conversion and drives and prove them by demonstrators. The R&D core topics of the department are shown in fig. 1.

The successful development of the department and with it of the IISB business field »power electronics & mechatronics« could be continued in the year 2003. Particularly pleasant was the success of the automotive power electronics activities. The competence of our group in the field of mechatronic integration of power electronic systems is respected in industry and has led to a number of cooperations with leading European automobile manufacturers and automotive suppliers.

The successful market introduction of hybrid cars by Japanese manufacturers has exerted some pressure on the automotive industry worldwide towards the development of new powertrain technologies for lower fuel consumption and less emissions. The key systems for it are mechatronically integrated high-power inverter drives and high-power DC/DC converters - both R&D core topics of the department.

In cooperation with DaimlerChrysler, the - according to our knowledge - first electrical motor worldwide with a completely mechatronically integrated inverter could be realized in 2003. The inverter drive provides a shaft power of 45 kW up to a coolant inlet temperature of 105°C.

In the R&D field "Power Processing", we work on new technologies for ultra-high power density converters. In this context, the development of high-power DC/DC converters for automotive has been started. These converters are necessary e.g. for fuel cell vehicles or for the operation of ultra-capacitors as a battery replacement with very high cycle lifetime. First prototypes for application tests in vehicles could be delivered to our customer in 2003.

The very promising automotive activities shall be extended to a "Competence Center for Automotive Power Electronics". A corresponding rough paper has found great interest and support by the State of Bavaria and the city of Nuremberg. The set-up of this competence center as a branch of the IISB at the energy technological center (etz) in Nuremberg is planned for 2004.

The »European Center for Power Electronics« (ECPE), which we initiated together with partners from Infineon and Semikron, was founded as an association and a German GmbH on April 17th, 2003. Currently, 12 large power electronics companies from five European countries are members of the organization. The ECPE office started its work at the etz in Nuremberg on October 1st. ECPE aims at the support of basic research projects, which shall be carried out at selected research facilities.

It is one of our main goals to develop the competence center for automotive power electronics in Nuremberg as a powerful cooperation partner of the ECPE. First common projects have already been started.

Presentations of the department at the PCIM and SPS/IPC/Drives trade fairs and the participation on the BKM booth at the »Hannover Messe« have been highlights of the marketing activities in 2003 as well as the »Long Night of Sci-

ence«.

A series of seminars which directly address engineers in the research and product development with one-day intensive courses was started. Each seminar deals with a selected topic out of the large field of power electronics. With an average of more than 35 participants, the resonance on these seminars surpassed our expectations by far.

The difficult situation within the last years concerning the recruiting of scientific personnel has unexpectedly relaxed a little bit in the second half of 2003, so that the personnel resources could be increased as planned.

Contact

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

Mechatronisch integrierter Umrichter-motor für hybrid angetriebene Kraftfahrzeuge

Einleitung

Die Kombination von Elektromaschine und Fahrtriebsstrang wird in der Kfz-Branche hinsichtlich Kraftstoffeinsparung und elektrischer Momentenunterstützung bei Anfahr- wie Beschleunigungsvorgängen verfolgt.

Ist ein solches System installiert, steht (fast) nebenbei Anlaß- und Lichtmaschinenfunktion mit bereit. Prototypen und erste Serienfahrzeuge (Toyota Prius,...) sind heute im Einsatz. Der elektrische Teil des Antriebsstranges ist dabei noch separat aufgeteilt in Energiespeicher, Zuleitung, Umrichter, Filter und Elektromotor.

Herausforderung

Ziel eines serientauglichen Kfz-Antriebes muß schon aus Kosten- und Raumgründen die Integration dieser Komponenten auf das vom Antriebsstrang zur Verfügung gestellte Volumen sein. Dort herrschen Umgebungstemperaturen bis 140°C und bei einer Einbringung zwischen Verbrennungsmotor und Getriebe stellt auch die Vibrationsbelastung eine hohe Anforderung dar. Die EMV-Emission nach außen muß den einschlägigen Vorschriften entsprechen. Das Innere des Getriebetunnels ist mit Ölnebel und metallischem Abrieb eine für elektronische Baugruppen zunächst ungeeignete Umgebung.

Unser Beitrag

Für den Industriepartner DaimlerChrysler wurde am IISB ein Umrichter entwickelt und mehrere Prototypen einsatzbereit aufgebaut. Die Struktur ist ringförmig (Fig. 1) und wird im System zwischen Blechpaket und Wickelkopf der E-Maschine eingebracht. Die Flüssigkeitskühlung erfolgt über den Kühl-

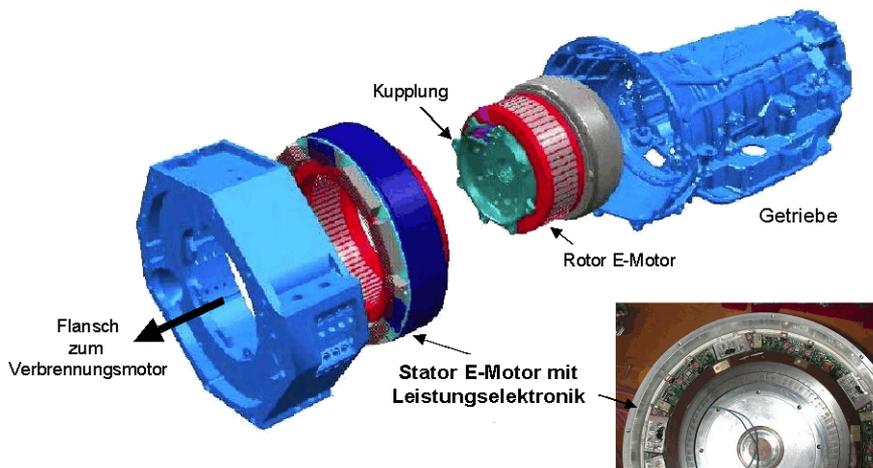


Fig. 1: Montage des Umrichter-motors als P2-Hybrid im Antriebsstrang eines PKW; Location of the inverter motor in the power train of a vehicle.

kreislauf des Fahrzeugs. Die Kühlmitteltemperatur beträgt bis zu 105°C . Dieser dreiphasige Wechselrichter ist ausgelegt auf 50 kW Wellenabtriebsleistung. (ca. 90 kVA Umrichterleistung). Jedes ringsegmentförmige Phasenmodul ist in der Lage 250 A_{eff} momentenbildenden Strom zu liefern.

Die zur Kühlung der Halbleiter nötige Struktur wurde mit FE-3D-Simulation optimiert. Der zusätzliche Wärmeeintrag der bis zu 250°C heißen Wickelkopf-Phasenanschlüsse wird an einer Wärmefalle im Modul abgeführt, so daß für die sich elektromechanisch anschließende Stromerfassung Sensoren mit automobil üblichem Temperaturbereich eingesetzt werden konnten.

Die potentialgetrennte Schnittstelle jedes der drei intelligenten Halbbrückenmodule stellt für die übergeordnete Regelung wichtige Informationen wie Modultemperatur, Höhe der Zwischenkreisspannung und Phasenstrom zur Verfügung. Die PWM-Signale eines Mikrocontrollers werden in jedem Modul auf Plausibilität bzgl. Verriegelung, Totzeit, Kurzimpulsunterdrückung geprüft und gelangen danach über Treiberstufen an die Gates der IGBTs. Für jeden Schalter ist eine Kurzschlußüberwa-

chung integriert.

Die gesamte Elektronik ist auf den AC-Phasenabgang laminiert. Sie ist nicht nur für die hohen Umgebungstemperaturen ausgelegt, sondern auch extrem störsicher. Im Betrieb koppeln bis zu 10 kV/ sec dU/dt flächig in die Leiterplatte. Die Kommutierungszellen sind nur wenige Millimeter entfernt.

Am IISB werden heute weitere Umrichtersysteme für den Fahrtriebsstrang für mehrere Automobilhersteller entwickelt. Dabei stehen zukunftsweisende Technologien zu verbesserter Fertigbarkeit und Lebensdauerbetrachtungen im Vordergrund. Die Tendenz geht zu größeren Leistungen bei noch kompakterer Bauweise.

Ansprechpartner

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

Mechatronically Integrated Inverter Motor for Hybrid Powered Car Applications

Introduction

The combination of electric motor and combustion engine is engaged by most automotive car manufacturers because of fuel reduction and torque assistance while accelerating or braking a vehicle.

Once such a system is installed, it can easily be used as a starter and as generator for battery charging. Prototypes as well as first production-line vehicles (e.g. Toyota Prius,...) are available. But the electric part is separately mounted and divided into energy storage device, power cables, inverter, filter and electric motor.

Challenge

Due to the costs, the target for a mass production of a hybrid-powered car must be the integration of these components into the available volume between combustion engine and gear. The ambient temperatures reach 140°C and in addition at this place there is high vibration stress. The EMI emission from the electric drive to the ambient has to meet the relevant statutory requirements. As the interior of the gear case is flooded by oil mist and rubbed off metallic parts, it is a non-suitable ambient for electronic components at the first glance.

Our contribution

For our industrial partner Daimler-Chrysler, the IISB developed an inverter and several prototypes were built up. It has a ring-shaped structure (fig. 1) and is located in between of the stator and the end windings of the electrical motor. The required fluid cooling is attached to the main vehicle cooling system. The cooling fluid temperature reaches 105°C . The three-phase inverter

is designed for 50 kW effective shaft output (about 90 kVA inverter power). Each tubing phase leg segment is able to supply 250A_{eff} torque forming current.

The geometry of the cooling structure for the semiconductors was optimized by use of finite element analysis tools. The additional heat impact from the motor winding ends showing a temperature of up to 250°C has to be trapped by a thermal sleeve. Only due to this current, sensors with standard automotive temperature range could be used to measure phase leg current in this section.

The isolated interface of each of the three intelligent half-bridge modules provides important sensor signals for a microcontroller to allow proper control of the system. Information as temperature of the module, DC link voltage level and phase current is available. The PWM input signals are checked and shaped in terms of dead time, interlock and short-pulse suppression before they reach the IGBT gates. A short-circuit protection is integrated for every switch.

The complete driver and sensor electronic is laminated onto the AC phase leg. It is not only designed for high ambient temperatures, but also for noisy ambient. Under operating condition, up to 10 kV/ sec are coupled into the area of the PCB. The commutation cells are only a few millimeters away and the circuit has to withstand up to 2.2 kA/ sec .

Today, at the IISB new drive inverters for hybrid applications are developed for several automotive customers. Future trends for easier industrialized production and life-cycle gain are focused. The horizon will be extended to more power installed in less volume.

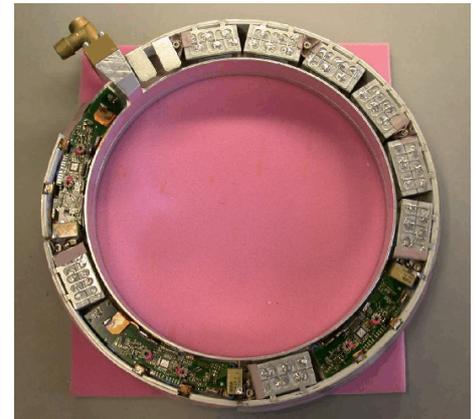


Fig. 2: Ringförmiger Umrichter 90 kVA Leistung; Ring-shaped inverter with 90 kVA inverter power.

Contact

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

Hochintegrierte Leistungswandler für die Autos von Morgen

Eine große Herausforderung für die Leistungselektronik ist die Reduzierung der CO₂-Emissionen als eine der wichtigsten globalen Umweltaufgaben. In diesem Zusammenhang kommt der Verkehrstechnik und hier speziell der Entwicklung besonders emissionsarmer Kraftfahrzeuge, sogenannter »Ultra-Low Emission Vehicles« (ULEV) eine zentrale Bedeutung zu. Unabhängig davon, ob derartige Fahrzeuge in Zukunft über Brennstoffzellen oder mittels weiter optimierter Verbrennungsmotoren und unter Einsatz erneuerbarer Brennstoffe angetrieben werden - Leistungselektronik spielt bei allen ULEV-Antriebskonzepten eine entscheidende Rolle.

Die Basiskomponenten bilden dabei leistungsstarke, mechatronisch in den Antriebsstrang integrierte Umrichter motoren und hocheffiziente Spannungswandler. Letztere werden benötigt, um beispielsweise hochkapazitive Doppelschichtkondensatoren (Ultra-Caps) als leistungsfähige Energiespeicher nutzen zu können, Energie zwischen unterschiedlichen Kfz-Bordnetzebenen auszutauschen oder um eine in ihrer Spannung »weiche« Brennstoffzelle mit einem spannungstabilen Bordnetz zu koppeln (Fig. 1).

Obwohl die Grundprinzipien derartiger leistungselektronischer Systeme bekannt sind, machen die extremen Anforderungen der Kraftfahrzeugtechnik bezüglich Kosten, Betriebstemperaturbereich, Zuverlässigkeit, Gewicht und Bauvolumen noch gewaltige Entwicklungsanstrengungen auf dem Weg zu marktreifen Systemen erforderlich. Ziel der Arbeiten am IISB sind innovative Konzepte für DC/DC-Wandler höchster Leistungsdichte und deren Umsetzung in Prototypen.

Mit den steigenden Anforderungen an die Leistungsdichte stößt die konventionelle Elektronik an eine Reihe von Gren-

zen. So ist es bei den extremen Belastungen in Hochleistungswandlern unverzichtbar, neben den Leistungshalbleitern auch die passiven Komponenten in das thermische Management des Gesamtsystems mit einzubeziehen. Da die meisten der heute verfügbaren passiven Bauelemente aber nicht für eine effektive Entwärmung ausgelegt sind, sind hier neue Lösungen gefragt. Das gleiche gilt im Hinblick auf die unterschiedlichsten Bauformen heutiger Bauelemente, durch die sehr viel Totvolumen in den Schaltungen entsteht.

Aus diesem Grund nimmt die Entwicklung von Aufbautechniken, die hohe Integrationsgrade und eine optimale Entwärmung der Bauelemente erlauben, einen breiten Raum ein. Daneben kommt der Schaltungstechnik eine zentrale Bedeutung zu. So können durch geeignete Techniken, wie z.B. mehrphasige Wandler, die Anforderungen an die passiven Bauelemente und deren Bauvolumen drastisch reduziert werden (»Silicon instead of Passives«).

Fig. 2 zeigt links einen nach den beschriebenen Grundsätzen entwickelten Prototypen eines bidirektionalen DC/DC-Wandlers mit einer Ausgangsleistung von 2 kW. Bei einer Grundfläche in der Größe einer Postkarte ist der

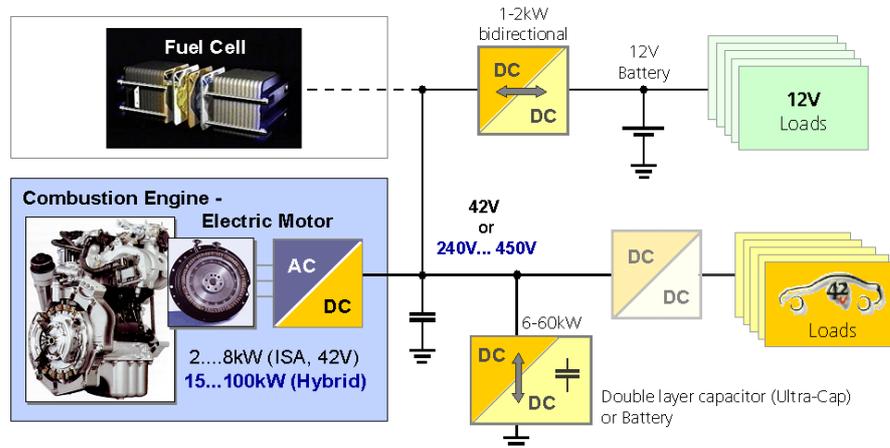


Fig. 1: DC/DC-Wandler und Umrichter - Schlüsselkomponenten in den Autos von Morgen; DC/DC converter and drive inverter - key components in future cars.

Wandler in der Lage - an Stelle der heutigen Lichtmaschine - das gesamte 12 V-Bordnetz eines Kraftfahrzeugs aus einer 42 V-Spannungsquelle zu versorgen. Aufgrund der Fähigkeit zum bidirektionalen Betrieb ist eine Starthilfe auch durch konventionelle Fahrzeuge möglich. Die Auslegung des Systems auf eine Kühlmitteltemperatur von 105°C erlaubt direkt eine mechatronische Integration in Kraftfahrzeugkomponenten.

Der im rechten Teil von Fig. 2 dargestellte Hochleistungs-DC/DC-Wandler (35/60 kW) wurde am IISB speziell für den Einsatz in Brennstoffzellenfahrzeugen entwickelt. Dazu ist ein spezielles Regelverfahren implementiert, mit dem der Wandler die Brennstoffzellenspannung durch Energietransfer von und zu einer Batterie oder einem Ultra-Cap stabilisiert, und auf diese Weise das zentrale Energiemanagement im Fahrzeug realisiert.

Ansprechpartner

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

High-Power Density DC/DC Converter for Future Cars

A great challenge for power electronics is the reduction of CO₂ emissions as one of the most important global environmental protection tasks. The development of ultra-low emission vehicles (ULEV) is a main issue in this context. Independently of whether these future vehicles use hydrogen fuel cells or further optimized combustion engines in a hybrid configuration together with an electric machine - power electronics will play a decisive role for all ULEVs.

The power electronic key systems are inverter drives in a power range of 10 to 100 kW, which must be mechatronically integrated in the power train, and highly efficient DC/DC converters. The latter ones are needed e.g. for the operation of an ultra-capacitor bank as a powerful energy storage medium, for the energy exchange between different voltage levels in the power net, or for the coupling of a soft-voltage fuel cell to a constant voltage d.c. link (fig. 1).

Despite of the fact that the basic principles of such power electronic systems are already known, the tough requirements of automotive applications with respect to costs, operational temperature range, reliability, weight and volume still require considerable R&D efforts on the way to marketable products.

Several R&D projects at the IISB aim at innovative concepts for high-power density DC/DC converters and at proving these concepts by demonstrators.

With the increasing requirements on power density, conventional electronic designs hit a number of limits. An absolute prerequisite for achieving ultra-high power densities e.g. is that beside the active components also the passive ones are included in the thermal management of a converter. Since most of the currently available passive components

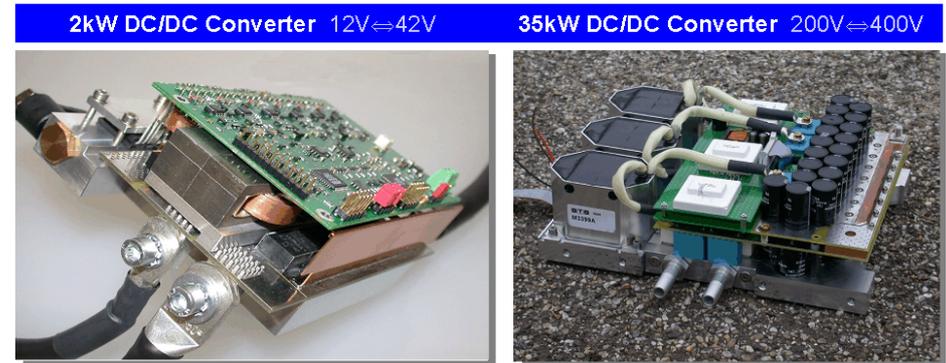


Fig. 2: DC/DC-Wandler für Kfz-Anwendungen - entwickelt am IISB; DC/DC converter for automotive applications developed at the IISB.

are not optimized with respect to an effective cooling, new device concepts are in demand. The same is valid with respect to the many different package geometries, which result in very large dead volumes and basically limit the achievable power density.

Passive components generally consist of materials with a poor thermal conductivity like polymers (capacitors) or ferrites. An effective cooling requires large heat conducting areas and short heat paths. Therefore, this will inevitably lead to layer-type structures. For this reason the development of new construction techniques which provide both a high integration density and an optimized cooling is in the focus of our work. The same is valid with respect to new circuit topologies.

By the application of polyphase converter techniques e.g. the required number of passive components as well as their size can be dramatically reduced (»Silicon instead of Passives«). Fig. 2 shows on the left hand side one of the first prototypes of a bidirectional DC/DC converter which applies some of these principles. With a base in the size of a postcard, this converter is able to supply the conventional 12 V power net of a car out of a 42 V net, and thus replaces the 12 V alternator. Due to the ability for a bidirectional operation, starting aid by conventional cars would

be possible. The system is designed for a coolant temperature of up to 105°C which allows a direct mechatronic integration in car components.

The right hand picture in fig. 2 shows a high-power DC/DC converter (35 kW/ 60 kW) which has been developed at the IISB especially for applications in hydrogen fuel cell cars. A special control algorithm is implemented that stabilizes the fuel cell dc bus voltage by energy transfer from and to an electrical storage medium like a ultra capacitor or a battery. Thus, the converter realizes the basic energy management in a fuel cell car. Communication to the vehicle is possible via a CAN bus interface.

Contact

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

Multifunktionale Integration auf Leiterplattebene

Für die Realisierung leistungselektronischer Schaltungen stehen heute eine ganze Reihe von Aufbautechnologien zur Verfügung:

- Hybride auf keramischen Substraten
- DCB/DAB-Technologie (Direct Cu/Al Bonded Keramiksubstrate)
- Leadframe-Technologie (mit umspritztem Gehäuse)
- IMS (Insulated Metal)-Substrate
- Leiterplatten (Printed Circuit Board (PCB))-Technologie.

Das Basismaterial für Leiterplatten ist üblicherweise ein mit Epoxidharz laminiertes Glasfasergewebe (z.B. FR-4). Obwohl dieses Material eine nur geringe spezifische Wärmeleitfähigkeit besitzt, gewinnt die Leiterplattentechnologie für leistungselektronische Anwendungen im unteren und mittleren Leistungsbereich zunehmend an Bedeutung. Dem Entwickler bietet sich hier eine Technologie mit hoher Innovationsrate und extrem hohem Fertigungsvolumen, die im Hinblick auf Integrationsdichte, Flexibilität und Flächenkosten die konkurrierenden Technologien weit in den Schatten stellt.

In vielen leistungselektronischen Schaltungen erreicht die Integrationsdichte im Bereich der Steuer- und Regelelektronik (C, PLDs etc.) heute ein Maß, das den Einsatz von mehrlagigen Leiterplatten erforderlich macht. Integriert man auch die leistungselektronischen Schaltungsteile auf dieselbe Leiterplatte, so erspart dies nicht nur teure und fehleranfällige Verbindungselemente, sondern ermöglicht auch neue Wege in Richtung einer multifunktionalen Integration.

So ist es beispielsweise durch eine geschickte Anordnung von blinden und vergrabenen Durchkontaktierungen möglich, die elektrische Isolation der Leistungshalbleiter vom Kühlkörper in den Leiterplattenaufbau hinein zu verla-

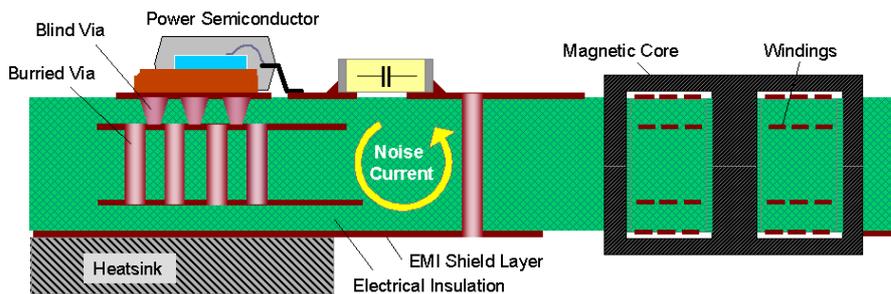


Fig. 1: Multifunktionale Integration auf Leiterplattebene; Multifunctional integration on printed circuit board (PCB) level.

gern. Ein breites Spektrum an standardmäßig verfügbaren Basismaterial- (Prepreg-)dicken erlaubt dabei eine sehr flexible Optimierung des Leiterplattenaufbaus im Hinblick auf Spannungsfestigkeit und thermischen Widerstand. Auch hohe Anforderungen an die Isolationsgüte lassen sich mit mehrschichtigen Strukturen einfach und kostengünstig realisieren.

Mit einer in die Leiterplatte verlagerten elektrischen Isolation wird es möglich, Schirmlagen einzuführen, was die Entstörung einer Schaltung wesentlich vereinfacht.

Durch das Aufkleben der Leiterplatte auf eine Wärmesenke lassen sich Stromdichten in den Leiterbahnen von bis zu 60 A/mm² realisieren, so daß bereits mit den standardmäßig verfügbaren Kupferstärken von 75 : µm bzw. 105 : µm Ströme von einigen hundert Ampere beherrschbar werden.

Weitere Argumente für den Einsatz der Multilayer-Leiterplattentechnologie in der Leistungselektronik sind:

- SMT-kompatibler Montageprozeß für die Leistungshalbleiter (keine Schrauben, Federclips, Isolierscheiben usw.)
- Sehr hohe Komponentendichte durch mehrlagige Verdrahtung
- Integrierbare Wicklungen für planare Übertrager und Drosseln
- Wegfall von Verbindungen zwi-

schigen Signal- und Leistungselektronik.

Bei einem Schaltungsdesign, das diese Möglichkeiten konsequent nutzt, machen sich die Mehrkosten einer Multilayer-Leiterplatte sehr schnell durch Einsparungen an anderen Stellen im System bezahlt.

Fig. 2 zeigt die Leistungsstufe eines netzspannungsgespeisten Umrichters für einen Asynchronmotor mit 750 W Leistung. Der Aufbau des Boards entspricht dem Fig. 1, mit einer Isolationsschicht bestehend aus drei 62 : µm-Prepregs. Die Teilentladungsaussetzspannung dieses Aufbaus liegt bei über 1000 V. Bei einer Gesamtverlustleistung der IGBT-Brücke von 25 W unter Nennlast (950 VA) liegt die Chiptemperatur nur rund 35 K über der Kühlkörpertemperatur.

Dies zeigt, daß sich auch in Leiterplattentechnologie Wärmewiderstände erreichen lassen, die diese Aufbautechnik für Umrichter bis zu einigen Kilowatt Ausgangsleistung zu einer sehr attraktiven Alternative machen.

Ansprechpartner

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

Multifunctional Integration on Printed Circuit Board Level

Basically, there are many different techniques available today for the integration of discrete power semiconductors, passive components, sensors and control electronics. The most important ones are:

- hybrid integration on ceramic substrates
- DCB/DAB technique (direct Cu/Al bonded ceramic substrates)
- leadframe technique (with molded package)
- IMS (insulated metal substrates, metal core boards)
- printed circuit board (PCB).

Even though the printed circuit board approach is based on the worst heat-conducting substrate material, this technique opens up the great potential of a modern, innovative technology with a very high production volume. This technology exceeds the competitive techniques with respect to integration density, flexibility and costs per substrate area. The base material typically is an epoxy laminated cotton paper or woven fiberglass.

In most power electronic systems, the integration density in the signal and control electronics has reached a level (C, FPGA, etc.) that requires multilayer boards. The integration of the power electronics circuits on the same board does not only cause the cancellation of expensive and failure-susceptible interconnection elements but also allows new ways towards a multifunctional integration.

A basic task in power electronics is the development of low-cost mounting technologies providing an electrical insulation of the power devices from the heatsink, a very good thermal coupling to the heatsink and a high reliability.

By using blind and buried via technology as shown in fig. 1, it is possible to shift the electrical insulation into a

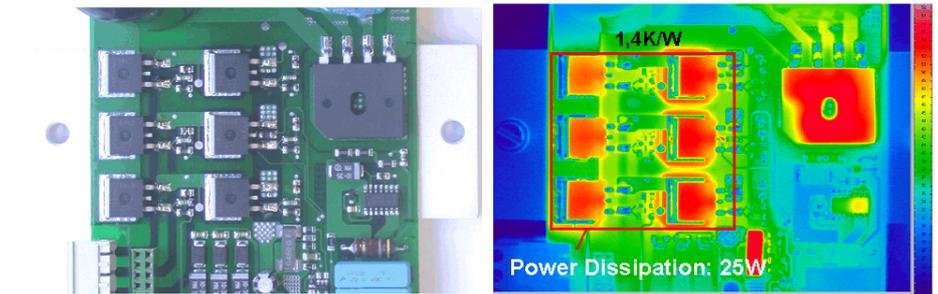


Fig. 2: Thermographie eines Umrichters mit SMD-montierten IGBT unter Nennlast (950 VA); Thermal image of a drive inverter with SMT-mounted IGBT at nominal load (950 VA).

multilayer PCB. A wide spectrum of default prepreg thicknesses allows an individual optimization of the board structure with respect to dielectric strength and thermal conductivity. Even high standards concerning the insulation quality and safety can be met with multiple-ply prepreps. The board-internal insulation allows the insertion of EMI shielding layers. Thus, the noise current loops can be closed within the board and no common mode noise is coupled into the heatsink anymore, making EMI filtering considerably easier. Current densities in the copper traces of up to 60 A/mm² are possible as a result of the effective cooling when the board is glued on a heatsink. In conjunction with a 75 : m, 105 : m or thicker copper layer, currents of several hundred amps can be controlled in PCB technology this way. This results in significant benefits of a multilayer PCB integration of power electronics:

- SMT-compatible assembly process (no screws, spring-clips, insulating bushings, etc.)
- integrable heat path with electrical insulation from heatsink
- integrable EMI shields and low-noise ground planes
- very high package density due to multilayer routing
- integrable windings for planar magnetics
- cancellation of interconnects between power and signal electronics.

Taking all these facts into account, the additional costs for a multilayer board are balanced quite soon by system cost savings.

Fig. 2 shows the power stage of a line-fed drive inverter for an induction motor with 750 W output power. The board is realized in a four-layer structure according to Fig. 1, with the insulating prepreg layer made of three plies of 62 : m. The partial discharge extinction voltage of this structure is higher than 1000 V between d.c. link and heatsink.

With a total power dissipation of the inverter bridge of 25 W under nominal load (950 VA), the IGBT junction temperature rises only 35K above heatsink temperature. This low thermal resistance makes this PCB integration technique attractive for any kind of power electronics in the power range of up to several kilowatts.

Contact

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

Ereignisse

DGKK-Forschungspreis an Wissenschaftler der Abteilung Kristallzucht

Für seine Arbeiten zu defektarmen GaAs-Kristallen wurde Dr. Bernhard Birkmann, Mitarbeiter der Abteilung Kristallzucht des IISB, mit dem Forschungspreis der Deutschen Gesellschaft für Kristallwachstum und Kristallzuchtung e.V. (DGKK) ausgezeichnet.

Herr Birkmann erhält die Auszeichnung für seine hervorragenden Leistungen zum Thema "Züchtung und Charakterisierung von versetzungsarmen Silicium-dotierten Galliumarsenid-Substratkristallen". Halbleitereinkristalle aus Galliumarsenid mit hoher struktureller Perfektion werden als Basismaterial für die Herstellung von Hochleistungslaserdioden benötigt, die innovative Präzisionsverfahren in der Materialbearbeitung ermöglichen.

Dem Preisträger ist es gelungen, mit Hilfe umfangreicher Vorversuche und Modellierungen einen verbesserten Prozeß zur Herstellung von Galliumarsenid-Kristallen nach dem Vertikalen Gradient Freeze (VGF)-Verfahren mit einem Durchmesser von 3" zu entwickeln.



Defektarmer Galliumarsenid-Einkristall, der am Erlanger Kristall-Labor mit einer verbesserten VGF-Technologie hergestellt wurde; Low dislocation density gallium arsenide single crystal grown at the Crystal Growth Laboratory in Erlangen by improved VGF technology.

Dabei wirkte sich vor allem die Verbesserung der Wärmeübertragung durch eine Neugestaltung der Tiegelstütze positiv auf den Züchtungsablauf im Konusbereich aus. Hierdurch gelang es auch, das Problem der starken Facettierung mit all seinen Nachteilen effizient zu lösen.

Herr Birkmann führte die genannten Untersuchungen am Erlanger Kristall-Labor unter Leitung von Prof. Dr. Georg Müller im Rahmen des BMBF Verbundprojektes "novalas" durch.

Der Forschungspreis der DGKK wird für herausragende wissenschaftliche Leistungen von Nachwuchswissenschaftlern ausgeschrieben und ist mit 2500 Euro dotiert. Bei der Beurteilung durch die Jury wird insbesondere der erzielte Erkenntnisfortschritt im Bereich der Kristallzuchtung und des Kristallwachstums berücksichtigt.

Erlanger Kristall-Labor erhält den mit 50.000 Euro dotierten Wissenschaftspreis des Stifterverbandes für die Deutsche Wissenschaft

Im Rahmen des "Fests der Forschung" der Fraunhofer-Gesellschaft wurde am 22. Oktober 2003 in Duisburg der mit 50.000 Euro dotierte Wissenschaftspreis des "Stifterverbandes für die Deutsche Wissenschaft" an Mitarbeiter des Fraunhofer IISB und der Firma SCHOTT Lithotec verliehen.

Der Preis wurde vom Vorsitzenden des Stifterverbandes, Dr. Oetker, vor etwa 1000 Teilnehmern an die beteiligten Wissenschaftler für ihre erfolgreiche Züchtung hochreiner Calciumfluoridkristalle, die in der Halbleiterindustrie zur Herstellung von Mikrochips zum Einsatz kommen, vergeben. Unter den Ehrengästen war auch Bundeskanzler Gerhard Schröder.

Etwa alle zwei Jahre verdoppelt sich die Anzahl der Transistoren auf einem Mikrochip und damit seine Leistung. Um dies auf gleicher Fläche zu realisieren, müssen die Strukturen und Abstände der Chipelemente immer kleiner werden. Ein wesentliches Problem dabei ist das Licht, denn die Strukturen werden durch Belichtung auf Wafer übertragen. Mit jeder Chipgeneration wird kurzwelligeres Licht benötigt, denn je kurzwelliger die Strahlung ist, desto feinere Strukturen sind möglich.

Beim Sprung auf Wellenlängen unter 100 Nanometer wird ein spezieller Laser als Lichtquelle genutzt. Seine energiereiche Strahlung lassen herkömmliche Glaslinsen aber schlecht oder nicht mehr hindurch. Die in diesem Wellenlängenbereich sehr guten optischen Eigenschaften von Calciumfluorid (mineralogisch Flußspat) sind hingegen schon lange bekannt. Auf Anregung seines Industriepartners SCHOTT Lithotec nahm sich Prof. Georg Müller, Abteilungsleiter für Kristallzuchtung am IISB, die Natur zum Vorbild. Doch hier sind nur kleinere Kristalle von mittlerer Reinheit zu finden - für technische Anwendungen ungeeignet. Inzwischen züchten die beiden Partner größere und perfektere Kristalle synthetisch.

"Für die Kristallzuchtung braucht man vor allem viel Wissen und viel Zeit", betont Müller. "Ein großer Teil der Zeit vergeht neben der langwierigen Versuchsvorbereitung dadurch, daß das Kristallwachstum sehr langsam ablaufen muß." Nur wenn der Übergang von geschmolzenem Material in die feste kristalline Phase allmählich und spannungsfrei erfolgt, erhält der Kristall die benötigte hohe Perfektion. Viel Zeit für aufwendige Versuchsreihen ist jedoch nicht vorhanden, denn auch Teams aus Japan und den USA suchen nach dem perfekten Kristall. Deshalb setzen die Forscher Computersimulationen ein, um die beste Rezeptur zu finden. Ihnen ge-

Events

Research Award of DGKK for Scientist of the Department Crystal Growth

Dr.-Ing. Bernhard Birkmann, employee of the department Crystal Growth of Fraunhofer IISB was awarded with the research prize of the German Association of Crystal Growth DGKK (Deutsche Gesellschaft für Kristallwachstum und Kristallzüchtung e.V.). Low-defect gallium arsenide crystals of Erlangen's Crystal Growth Laboratory allow the application of high-power laser diodes for new technologies in materials processing.

Mr. Birkmann received the award for his outstanding contributions to the topic "Growth and Characterization of Silicon-doped Gallium Arsenide Crystals with Low Dislocation Densities". Semiconducting gallium arsenide single crystals with high structural perfection are needed as substrates for the manufacturing of high-power laser diodes, which allow innovative technologies in materials processing.

By a detailed and systematic analysis Mr. Birkmann identified the origins of the deleterious crystal defects, which are generated during the growth of the gallium arsenide crystals from the melt by the so-called Vertical Gradient Freeze technique (VGF). Based on this knowledge, he significantly improved the heat transport during the growth process by using a combination of experimental investigations and numerical simulations. This procedure allows the growth of crystals with an outstanding quality which can be seen as an international top achievement on industrial as well as on academic scale.

Mr. Birkmann carried out his investigations at Erlangen's Crystal Growth Lab-

oratory under supervision of Prof. Dr. Georg Müller within the framework of the BMBF project "novalas".

The research award of the DGKK is awarded for outstanding scientific contributions of young scientists and includes a prize money of 2500 Euro. The jury puts its main emphasis during the evaluation on the know-how and success in the field of crystal growth.

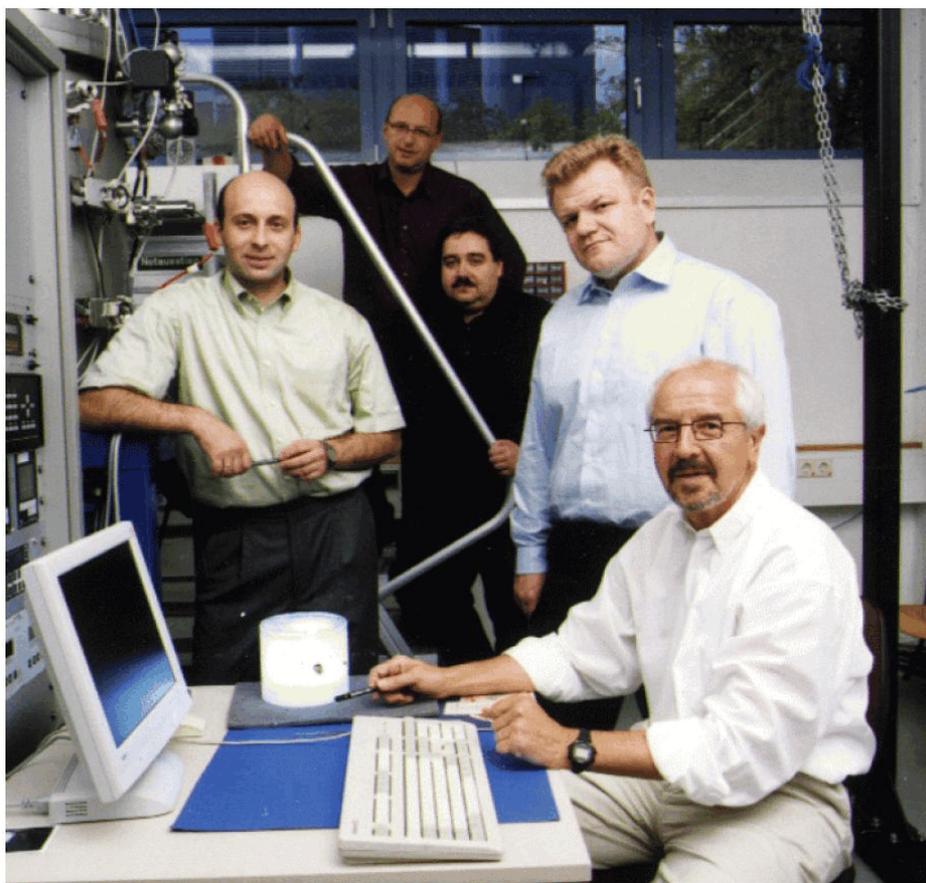
Erlangen Crystal Growth Laboratory receives the Science Award of 50,000 Euro of the "Stifterverband" for Science in Germany

Within the framework of the "Fest der Forschung" (Festival of Science) of the Fraunhofer Society on October 22nd, 2003 in Duisburg, the Science Award

(Stifterverbandspreis) was presented to employees of the Fraunhofer IISB and SCHOTT Lithotec.

The award was presented to the scientists by the chairman of the Stifterverband, Dr. Oetker, for their know-how and success in the field of "Growth of Ultra-Clean Calcium Fluoride Crystals" used in semiconductor industry for the production of microchips. Among the about 1,000 participants, the German Chancellor Gerhard Schröder was also present as a guest of honor.

To keep pace with the ever-increasing demand for more powerful chips, the number of transistors packed onto them doubles nearly every two years. To accomplish this on the same surface



Die Preisträger (hier ohne ihre Kollegen von Schott) versammeln sich um einen Kristallzylinder. Von links: Alexander Molchanov, Dr. Jochen Friedrich, Oliver Gräbner, Gheorghe Ardelean und Prof. Georg Müller;

The laureates (without the colleagues of Schott) around a crystal cylinder. From left to right: Alexander Molchanov, Dr. Jochen Friedrich, Oliver Gräbner, Gheorghe Ardelean, and Prof. Georg Müller.

lingt es damit, die über 70 Parameter wie Druck, Temperatur und Form des wachsenden Kristalls aufeinander abzustimmen - noch bevor sie im Labor real gezüchtet werden.

Für ihre Leistungen erhielten Gheorghe Ardelean, Dr. Jochen Friedrich, Oliver Gräbner, Alexander Molchanov und Prof. Georg Müller vom Fraunhofer IISB und das Team um Dr. Lutz Parthier, Leiter für Forschung, Entwicklung und Technologie der Produktgruppe Crystals bei SCHOTT Lithotec, den Wissenschaftspreis des Stifterverbandes. Das Unternehmen liefert bereits erste Linsen aus Calciumfluorid an Anlagenbauer aus. So erobert es sich einen Marktvorsprung als weltweiter Zulieferer der Chipindustrie.

Perfekte Kristalle für die Mikroelektronik - Waeber-Innovationspreis für die Entwicklung der Simulationssoftware CrysVUn

Marc Hainke, Dr. Thomas Jung, Flaviu Jurma-Rotariu, Dr. Matthias Kurz, Dr. Michael Metzger und Artur Pusztai wurden für ihre Arbeiten mit dem "Georg-Waeber-Innovationspreis 2002" ausgezeichnet.

Der vom Förderkreis für die Mikroelektronik e.V. ausgeschriebene Preis wurde im Rahmen des "27. Tages der Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik der Universität Erlangen-Nürnberg" am 11. Juli 2003 vom Vorsitzenden des Förderkreises, Dr. Dietrich Ernst, überreicht.

Hainke, Jung und Jurma-Rotariu sind Mitarbeiter der Abteilung Kristallzüchtung des IISB, Kurz, Metzger und Pusztai sind ehemalige Mitarbeiter des Kristall-Labors am Institut für Werkstoffwissenschaften der Universität Erlangen-Nürnberg. Ausgezeichnet wurden sie für ihre gemeinsame Arbeit "Entwicklung und Kommerzialisierung des



Die Preisträger und der Vorsitzende des Förderkreises bei der Preisverleihung. Von links nach rechts: Dr. Matthias Kurz, Dr. Michael Metzger, Flaviu Jurma-Rotariu, Marc Hainke, Dr. Thomas Jung, Artur Pusztai, Dr. Dietrich Ernst.

The laureates and the chairman of the Förderkreis Mikroelektronik during the awards show. From left to right: Dr. Matthias Kurz, Dr. Michael Metzger, Flaviu Jurma-Rotariu, Marc Hainke, Dr. Thomas Jung, Artur Pusztai, Dr. Dietrich Ernst.

(photo: Kurt Fuchs)

Simulationsprogramms CrysVUn zur Optimierung von Kristallzüchtungsprozessen für die Mikroelektronik".

In der Mikroelektronik spielen Halbleiter-Einkristalle eine Schlüsselrolle. Beginnend mit den aus dem Einkristall geschnittenen Halbleiterscheiben werden in einer Vielzahl von Prozeßschritten die aus elektronischen Bauelementen bestehenden integrierten Schaltungen hergestellt, wie sie in Computern und anderen Anwendungsbereichen wie z.B. Mobiltelefonen, Fernsehgeräten oder Autos zum Einsatz kommen. Einkristalle dienen nicht nur als Basiswerkstoff für die Herstellung der integrierten Schaltungen, sondern auch für andere Komponenten, die in der Halbleitertechnologie eingesetzt werden, wie z.B. Kalziumfluorid-Einkristalle als Linsenmaterial für die Lithographie. Für die Herstellung dieser Kristalle ("Kristallzüchtung") ist der Einsatz der numerischen Prozeß-Simulation mittlerweile zu einem unverzichtbaren Hilfsmittel gewor-

den, um bei der Prozeß- und Anlagenentwicklung Zeit und Kosten einzusparen.

Dem Preisträger-Team ist es gelungen, mit CrysVUn innerhalb von wenigen Jahren ein völlig neues Softwareprogramm zu entwickeln, das sich neben seiner Leistungsfähigkeit vor allem auch durch eine hohe Benutzerfreundlichkeit auszeichnet. Mit der Software können beispielsweise CAD-Konstruktionszeichnungen automatisch eingelesen und der komplexe Aufbau einer Kristallzüchtungsanlage erfaßt werden.

Der Innovationspreis Mikroelektronik wird jährlich für herausragende wissenschaftliche Leistungen ausgeschrieben und ist mit 3000 Euro dotiert. Bei der Beurteilung durch die Jury wird insbesondere der Erkenntnisfortschritt für die Mikroelektronik berücksichtigt und Wert auf die praktische Verwertung durch die gewerbliche Wirtschaft gelegt.

area, the chip structures and their spacing must be smaller and smaller. This is why light becomes a critical issue. Each subsequent chip generation demands shorter wavelengths of the light. And the shorter the wavelength of the UV radiation - meanwhile commonly used for this process - the finer are the feasible structures.

Making the leap to structures of less than 100 nanometers requires a special laser. Conventional glass lenses are not transparent enough to properly refract this powerful beam. However, scientists have known for some time that calcium fluoride (the mineral fluorite) has optical properties that work very well in this spectral range. At the suggestion of colleagues at SCHOTT Lithotec, Professor Georg Müller, head of the Crystal Growth Laboratory at the Fraunhofer Institute for Integrated Systems and Device Technology IISB, took nature's example. But nature provides only small crystals of fairish quality, unsuitable for technical applications. But due to their cooperation, both partners are now able to grow synthetical crystals - larger and much more perfect.

"Most of all, crystal growing requires knowledge and lots of patience," emphasizes Müller. "It's a long and protracted process, because on top of the tedious set-up, the crystals must be cultivated slowly." High-perfection crystals can be grown only when the cooling phase from molten liquid to solid occurs gradually and free of thermal stress. However, it cannot be afforded to spend much time on an elaborate series of tests since teams from Japan and the United States are also searching for the perfect crystal. The researchers of the project are therefore using computer simulation to find the best physical recipe. Thus, the team has managed to determine and optimize the interaction of more than 70 parameters - pressure, temperature and shape of the growing

crystals for instance - before they are actually grown in the lab.

For their work, Müller and his team, together with the team of SCHOTT Lithotec AG, led by Dr. Lutz Parthier, head of research, development and technology for crystal products, received the Science Award of the Stifterverband. The company is now delivering the first fluorite lens products to equipment manufacturers, advancing to be one of the world's leading suppliers to the chip industry.

Perfect Crystals for Microelectronics - Waeber Innovation Award for the Development of the Simulation Software CrysVUn

Marc Hainke, Dr. Thomas Jung, Flaviu Jurma-Rotariu, Dr. Matthias Kurz, Dr. Michael Metzger and Artur Pusztai were awarded the "Georg-Waeber-Innovationspreis 2002" for their work.

The award announced by the Förderkreis für die Mikroelektronik e.V. (Society of Microelectronics) was presented within the framework of the "27th Day of Electrical Engineering, Electronics and Information Engineering at the University of Erlangen-Nuremberg" on July 11th, 2003 by the chairman of the Förderkreis, Dr. Dietrich Ernst.

The employees of the department Crystal Growth of the IISB, Hainke, Jung and Jurma-Rotariu, as well as the former employees of the Crystal Laboratory at the Institute of Materials Science at the University of Erlangen-Nuremberg, Kurz, Metzger und Pusztai were honored for their teamwork on the "Development and Commercialization of the Simulation Program CrysVUn for the Optimization of Crystal Growth Processes in Microelectronics Technology".

In the field of microelectronics, semiconductor single crystals play an impor-

tant role. Starting with the wafers cut from the semiconductor single crystal, the integrated circuits - consisting of electronic devices - are produced in a number of process steps. These chips are used in computers and other fields of application, for example in mobile phones, TV sets or cars. Single crystals not only serve as substrates for the manufacturing of integrated circuits, but also for other components used in semiconductor technology, e.g. single crystalline calcium fluoride (CaF₂) as material for lenses in photo lithography. Meanwhile, the application of numerical process simulation has become an essential tool for process and equipment development to save time and costs.

Within a few years, the laureate team has developed a completely new, very powerful and extremely user-friendly software tool called CrysVUn. The software enables for example to automatically import CAD construction drawings and thus to conceive the complex design of a crystal growth equipment. With CrysVUn Fraunhofer IISB has gained a worldwide leading position as supplier of software for the modeling of crystal growth processes.

The Innovation Award for Microelectronics for outstanding scientific contributions is announced annually and is awarded with 3000 Euro. The jury puts special emphasis on progress and know-how for microelectronics as well as direct application in industry.

"Long Night of Science" - Response Exceeds all Expectations

The "Long Night of Science" on October 25th, 2003 in the area Nuremberg-Fuerth-Erlangen met an outstanding public interest. At the Fraunhofer IISB, too, visitors lined up to get an impression of the fascinating world of semiconductor technology and its applica-

Resonanz auf "Lange Nacht der Wissenschaften" übertraf alle Erwartungen

Die "Lange Nacht der Wissenschaften" am 25. Oktober 2003 in der Region Nürnberg-Fürth-Erlangen traf auf ein überwältigendes Interesse. Auch am IISB drängten sich die Besucher, denen Einblicke in die faszinierende Welt der Halbleitertechnik und deren Anwendungen geboten wurden.

"Nur keine falsche Bescheidenheit. 'Wir sorgen dafür, daß die deutsche Wirtschaft Weltspitze bleibt', erklärt Oliver Gräbner den schwer beeindruckten Besuchern im Erlanger Fraunhofer IISB. Im Foyer des ersten Stocks beschreibt der junge Physiker mit einfachen Worten die Verdienste seines Hauses bei der Verfeinerung der Züchtung riesiger Siliciumkristalle, des wichtigsten Rohstoffs der Chip-Produktion. Für einen kurzen, stolzen Moment hat man tatsächlich das Gefühl, das nach einem Herrn Czochralski benannte Verfahren wenigstens grob kapiert zu haben. Eigentlich hat sich die Lange Nacht der Wissenschaften da schon rentiert."

So beginnt der Leitartikel in den Nürnberger Nachrichten vom 27. Oktober 2003, der anlässlich der Langen Nacht der Wissenschaften erschienen ist. Rund 12.000 Interessierte sind am 25. Oktober 2003 ausgeschwärmt, um in der Langen Nacht der Wissenschaften einen Blick in 80 Forschungsstellen der Region Nürnberg-Fürth-Erlangen zu werfen.

Geboten wurde ein breites Spektrum von Kristallzucht über Halbleitertechnologie bis hin zu Leistungselektronik. Rund 700 Besucher fanden dabei zwischen 19:00 und 1:00 Uhr den Weg zum Fraunhofer IISB. Dicht umlagert war die Ausstellung zur Kristallzucht, die im Foyer des IISB aufgebaut war. Dort standen die Wissenschaftler des IISB und der Universität Erlangen-

Nürnberg bereit, um Besucher jeden Alters durch die Kunst und Wissenschaft der Kristallzüchtung zu faszinieren. Mit Schautafeln, Exponaten und Filmen wurde dem wissbegierigen Publikum erklärt, was Kristalle sind, wozu man sie braucht und wie man sie züchtet. Nach einer Stärkung in der Fraunhofer-Cafeteria bestaunten dann die Besucher bei Führungen durch die Reiräume, wie Halbleiterchips hergestellt werden. Anschließend ließen sie sich noch von leistungselektronischen Zaubertricks verzaubern. Dabei war selbst zur Geisterstunde der Waeber-Saal im IISB noch so überfüllt, daß einige Besucher stehen mußten. An praktischen Beispielen konnten sich alle Interessierten über Möglichkeiten zur Einsparung elektrischer Energie im Haushalt und über das Aufspüren von Gefahrenquellen mittels Thermographie informieren.

Im Vorfeld zu diesem Event wußte niemand so recht, welche Resonanz uns die Lange Nacht der Wissenschaften bescheren und ob der Erfolg den Aufwand zur Vorbereitung rechtfertigen würde. Diese Bedenken sind aber mit dem riesigen Besucheransturm mehr als ausgeräumt worden. Auch wenn dem einen oder anderen nach vier Stunden ununterbrochenen Redens die Stimme weggeblieben ist, tat es spürbar gut, das Faszinosum unserer Arbeit einem derartig breiten Publikum präsentieren zu können. Wir werden daher mit Sicherheit dabei sein, wenn es wieder gilt, Begeisterung für Forschung und Technik im Rahmen einer solchen Veranstaltung zu vermitteln.

tions.

"No false modesty! 'We make sure that the German industry remains on top of the world', Oliver Graebner states to the quite impressed visitors at Fraunhofer IISB in Erlangen. In the foyer on the first floor, the young physicist describes the merits of his institute by refining the growth of huge silicon crystals, the most important raw material in chip production. In fact, for a short moment one has the impression of having roughly understood the method called after its inventor Czochralski. For that, the Long Night of Science has already paid off."

This was the beginning of the leading article of the Nürnberger Nachrichten of October 27th, 2003 reporting on the Long Night of Science. About 12,000 interested people were strolling around on October 25th, 2003, glancing at the 80 research locations in the area Nuremberg-Fuerth-Erlangen during the Long Night of Science.

IISB offered a wide range of interesting topics: from Crystal Growth over Semiconductor Technology to Power Electronics. About 700 visitors found their way to the Fraunhofer IISB between 7 pm and 1 am. Quite crowded was the exhibition of Crystal Growth, which was built up in the foyer of the IISB. Scientists of the IISB and the University of Erlangen-Nuremberg were prepared to fascinate visitors of all ages by art and science of crystal growth. Presentation boards, exhibits and films served to answer all questions about crystals, what they are, what they are for, and how to grow them. After a break in the Fraunhofer Cafeteria, the visitors could have a look at the manufacturing of semiconductor crystals in a guided clean-room tour. Afterwards, conjuring tricks from the field of power electronics enchanted the visitors. Even at midnight, the Waeber hall was so overcrowded



Impressionen von der Langen Nacht der Wissenschaften 2003;
Impressions of the Long Night of Science 2003.

that some visitors could not get a seat. A number of practical applications showed the visitors ways of saving electric power at home, and detecting sources of danger by means of thermography.

In the preliminary stage of this event, nobody really knew how good the response to the Long Night of Science was going to be, and whether the success would justify the high effort of preparatory work. In fact, these doubts could easily be wiped away by the enormous run on the exhibitions. Even though some colleagues lost their voice after 4 hours of talking without a break, it was quite satisfying to have the chance to present the fascinating aspects of our work to the broad public. Certainly, we will participate when it's up to presenting the fascination of research and technology to the public again by such an event.

Förderkreis für die Mikroelektronik e.V.

Vor 20 Jahren erkannten die Gründer des gemeinnützigen "Förderkreises für die Mikroelektronik e.V." die Auswirkung und Rolle der Mikroelektronik auf allen technischen Gebieten und in fast allen Lebensbereichen, die als Schlüsseltechnologie und Innovationsmotor über die Wirtschaftskraft, die Arbeitsplätze und den Wohlstand einer High-Tech-produzierenden Nation wie Deutschland entscheidet und somit für einen Wirtschaftsstandort eine essentielle Bedeutung hat. So wurde 1983 der „Förderkreis für die Mikroelektronik e.V.“ aus der Taufe gehoben mit dem Ziel, die Mikroelektronik im und für den nordbayerischen Raum zu fördern. Dies wurde durch großzügige Spenden der Wirtschaft, umfangreiche Fördermittel der Bayerischen Staatsregierung, die permanente Unterstützung der IHK Nürnberg für Mittelfranken sowie erhebliche Investitionen der Fraunhofer-Gesellschaft ermöglicht und hat in der Neugründung von Lehrstühlen der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg und Instituten der Fraunhofer-Gesellschaft (u.a. des IISB) mit hochmoderner Ausstattung resultiert.

Neben den Mitgliedern aus der Wirtschaft setzen sich die akademischen Partner des Förderkreises aus den beiden Erlanger Fraunhofer-Instituten IIS und IISB sowie von Seiten der Universität Erlangen-Nürnberg aus den Lehrstühlen für Technische Elektronik, für Rechnergestützten Schaltungsentwurf, für Informationstechnik mit Schwerpunkt Kommunikationselektronik sowie dem Lehrstuhl für Elektronische Bauelemente zusammen, den mit Prof. H. Ryssel der Leiter des IISB innehat.

Die umfangreichen Aktivitäten des Förderkreises umfassen:

- Förderung der Zusammenarbeit zwischen Forschung, Entwicklung und Nutzung durch die Wirtschaft
- Unterstützung technisch-wissenschaftlicher Veranstaltungen und Präsentationen
- Vergabe von Preisen und Stipendien

Gerade durch den letzten Punkt verwirklicht der Förderkreis seine Zielsetzung, Forschung, Entwicklung, Lehre und Technologietransfer zusammen mit seinen Partnern zu fördern. So wurde 1996 der "Innovationspreis Mikroelektronik" gestiftet, der seitdem jährlich verliehen wird und mit 3000 Euro dotiert ist. Kriterien bei der Vergabe des Preises sind vor allem ein herausragender Erkenntnisfortschritt auf dem Gebiet der Mikroelektronik, aber auch dessen Umsetzung in Form einer praktischen Nutzung durch die gewerbliche Wirtschaft. Neben einer Auszeichnung für besondere Leistungen auf dem Gebiet der Mikroelektronik soll dieser Preis auch einen Ansporn für innovatives Engagement und die Stärkung des Wirtschaftsstandortes Deutschland, der für seine Behauptung auf dem Weltmarkt auf Höchsttechnologie angewiesen ist, darstellen. Auch das IISB konnte mit Dr. Thomas Falter (1996, mit Fa. GeMeTec), Dr. Lothar Frey (1999, mit Fa. Nanosensors GmbH), Dr. Andreas Erdmann (2000, mit Fa. Sigma-C GmbH) und Marc Hainke, Dr. Thomas Jung, Flaviu Jurma-Rotariu, Dr. Matthias Kurz, Dr. Michael Metzger und Artur Pusztai (2002, siehe weiteren Bericht) Preisträger stellen.

Ebenso hat der Förderkreis die Bedeutung der Zukunftssicherung in der technischen Ausbildung erkannt. In diesem Zusammenhang wurde im Jahr 2000 ein mit 500 Euro dotierter Jugendpreis ins Leben gerufen, um das Interesse und Engagement unserer Jugend als zukünftiger Gestalter des technischen Fortschritts zu fördern. Der Jugendpreis, der ebenfalls jährlich in ganz

Bayern an ca. 300 Schulen ausgeschrieben wird, findet äußerst reges Interesse.

Ein weiteres Instrument der Förderung durch den Förderkreis stellt ein Promotionsstipendium dar, mit dem besonders qualifizierte wissenschaftliche Nachwuchskräfte, die an einem der Mikroelektronik-Lehrstühle der Universität Erlangen-Nürnberg ihre Promotion durchführen, über einen Zeitraum von zwei Jahren mit 720 Euro pro Monat unterstützt werden können. Mit Frau Noemi Banos (Abteilung Kristallzüchtung) hat das IISB seit August 2002 eine Empfängerin dieses Stipendiums in seinen Reihen.

Zudem unterstützt der Förderkreis den Aufenthalt von Gastwissenschaftlern und Diplomanden an den genannten Fraunhofer-Instituten und Mikroelektronik-Lehrstühlen.

Eine Unterstützung dieser Aktivitäten und Förderziele ist am besten durch eine Mitgliedschaft im Förderkreis umzusetzen. Einzelheiten hierzu und ausführliche Informationen über die Tätigkeiten des Förderkreises sind über untenstehende Kontaktadresse oder auch über das IISB zu erhalten.

Für das IISB war der "Förderkreis für die Mikroelektronik e.V." auch im Jahre 2003 wieder ein guter und verlässlicher regionaler Partner.

Förderkreis für die Mikroelektronik e.V.
Vorstandsvorsitzender:
Dr. sc. techn. h.c. Dietrich Ernst
Geschäftsstelle:
IHK Nürnberg für Mittelfranken

Ansprechpartner

Knut Harmsen
Geschäftsführer des Förderkreises
Tel. 09 11/13 35-3 20
harmsen@nuernberg.ihk.de

Förderkreis für die Mikroelektronik e.V.

20 years ago, the founders of the non-profit "Förderkreis für die Mikroelektronik e.V." (development association for microelectronics) recognized the influence and importance of microelectronics in all technical fields and almost all aspects of daily life, with microelectronics as a key technology and innovation motor being decisive for the economic power, jobs, and wealth of a high-tech producing nation like Germany and thus having an essential meaning for a business location. Therefore, the "Förderkreis für die Mikroelektronik e.V." was launched in 1983 with the goal of promoting microelectronics in and for the region of northern Bavaria. This was made possible by generous donations from industry, large subsidies from the Bavarian government, the permanent support by the "IHK Nürnberg für Mittelfranken" (the local CCI), as well as by enormous investments by the Fraunhofer-Gesellschaft, and resulted in the start-up of chairs of the Friedrich-Alexander University of Erlangen-Nuremberg and institutes of the Fraunhofer-Gesellschaft (among them the IISB) with ultra-modern equipment.

Besides the industrial members, academic partners of the Förderkreis are the two Fraunhofer institutes IIS and IISB in Erlangen, and of the University of Erlangen-Nuremberg the chairs of Electronics, Computer-Aided Circuit Design, Information Technology with Focus on Communication Electronics, as well as the Chair of Electron Devices, which is held by the head of the IISB, Prof. H. Ryssel.

The large activities of the Förderkreis include:

- Promotion of the cooperation between research, development and utilization by industry
- Support of technical and scientific events and presentations
- Granting of awards and grants

Especially by the last item, the Förderkreis realizes its goal of promoting research, development, teaching and technology transfer together with its partners. So, in 1996 an innovation award for microelectronics was founded, which is annually granted and endowed with 3000 €. Criterion for the jury is mainly an outstanding progress in the field of microelectronics, but also its transfer by a practical utilization by industry. Besides a decoration for special achievements in the field of microelectronics, this award also represents a stimulation for innovative activities and the strengthening of the business location Germany, which for competing in the world market depends on ultra-high technology. Also the IISB could already provide laureates with Dr. Thomas Falter (1996, together with GeMeTec), Dr. Lothar Frey (1999, together with Nanosensors GmbH), Dr. Andreas Erdmann (2000, together with Sigma-C GmbH), and Marc Hainke, Dr. Thomas Jung, Flaviu Jurma-Rotariu, Dr. Matthias Kurz, Dr. Michael Metzger as well as Artur Pusztai (2002, see separate report).

Furthermore, the Förderkreis has recognized the importance of the protection of the future of technical education. In this context, in 2000 a youth award endowed with 500 € was created in order to support the interests and activities of young people as the future creators of our technical progress. The youth award, which is annually announced in about 300 schools in Bavaria, induces a brisk interest.

Another instrument of promotion by the Förderkreis is a PhD grant, by which especially qualified young PhD students

who work on their thesis at one of the microelectronics chairs of the University of Erlangen-Nuremberg, can be supported with 720 € per month over a period of two years. With Ms. Noemi Banos (crystal growth department), the IISB has a beneficiary of this grant among its staff since August 2002.

Moreover, the Förderkreis supports the stays of guest scientists and graduates at the listed Fraunhofer institutes and microelectronics chairs.

A support of these activities and promotion goals can be achieved best by a membership in the Förderkreis. Details on this and extended information on the activities of the Förderkreis can be obtained from the contact address below or also from the IISB.

For the IISB, the "Förderkreis für die Mikroelektronik" again was a good and reliable regional partner.

Förderkreis für die Mikroelektronik e.V.
Chief Executive Officer
Dr. sc. techn. h.c. Dietrich Ernst
Office:
IHK Nürnberg für Mittelfranken

Contact

Knut Harmsen
Managing Director of the "Förderkreis"
Tel. 09 11/13 35-3 20
harmsen@nuernberg.ihk.de

**Gastwissenschaftler
Guest Scientists**

Barsony, Prof., Istvan
10.02. - 14.02.2003
Ungarn / Hungary
*Ionenstrahltechnik
Ion Beam Processing*

Fried, Miklos
24.02. - 28.02.2003
15.10. - 22.10.2003
Ungarn / Hungary
*Mikroelektronik und Ellipsometrie
Microelectronics and Ellipsometry*

Gyulai, Prof., Jozsef
19.11. - 23.11.2003
Ungarn / Hungary
*Ionenstrahltechnik
Ion Beam Processing*

Iuga, Maria
01.01.03 - 31.01.03
Rumänien / Romania
*Entwicklung und Anwendung von
CrysVUn
Development and Application of
CrysVUn*

Juhasz, Gyorgy
24.02. - 28.02.2003
Ungarn / Hungary
*Divergente Ellipsometrie
Divergent Ellipsometry*

Lucacs, Istvan
04.08. - 15.08.2003
24.11. - 05.12.2003
*Forschung für optische Komponenten
und Wafergeometrie-Messungen,
Veröffentlichung für die AEC/APC
Konferenz
Research on Optical Components, Wa-
fer Geometry Measurements, Paper
Submission for AEC/APC Conference*

Petrik, Dr., Peter
15.01. - 02.02.2003
24.02. - 28.02.2003

13.10. - 30.10.2003
Ungarn / Hungary
*Spektralellipsometrische Messungen an
dünnen ferroelektrischen Schichten
Spectroscopic Ellipsometry on Ferro-
electric Thin Layers*

Polgar, Olivier
24.02. - 28.02.2003
Ungarn / Hungary
*Ellipsometrie / Softwareherstellung
Ellipsometry / Production of Software*

Riesz, Dr., Ferenc
01.12. - 03.12.2003
Ungarn / Hungary
*Anwendung von Makyoh Topographie
für Nanotopographie-Studien von Halb-
leiteroberflächen
Application of Makyoh Topography for
Nanotopography Studies of Semicon-
ductor Surfaces*

Salcianu, Carmen
01.10. - 31.12.03
Rumänien / Romania
*Numerische Simulation von GaN-
Wachstum
Numerical Simulation of GaN Growth*

Sonda, Dr., Paul
01.10. - 31.12.03
USA
*Kopplung von CrsVUn and CAT3D
Coupling of CrsVUn and CAT3D*

Takai, Prof., Mikio
27.08. - 29.08.2003
Japan
*Nachbearbeitung von Vakuum-Feld-
emittern und Bearbeitung von
Speicherbauelementen mittels
fokussierten Ionenstrahlen
Postprocessing of Vacuum Field Emit-
ters and Processing of Memory Devices
by Means of Focused Ion Beams*

Vizman, Dr., Daniel
Rumänien / Romania
02.02.-06.02.2003
29.03.- 06.04.2003

03.05.-11.05.2003
29.11.-05.12.2003
*Entwicklung und Anwendung des
Hochleistungs-Computer-Codes
STHAMAS3D
Development and Application of the
High Performance Computer Code
STHAMAS3D*

Windl, Prof., Wolfgang
22.07. - 13.08.2003
Ohio, USA
*Diffusion von Stickstoff in Silicium
Diffusion of Nitrogen in Silicon*

Patenterteilungen Patents

Schnupp, R., Thomas, J.:
*Aktorbauglied für einen
Mikrozerstäuber und Verfahren zu
seiner Herstellung*
Patentblatt 123 (2003), Nr. 09, ISSN
0031-2894, erteilt am 22.01.2003

Schnupp, R., Thomas, J.:
*Aktorbauglied für einen
Mikrozerstäuber und Verfahren zu
seiner Herstellung*
US-Patent erteilt am 25.03.2003

Burte, E., Hoerner, A.:
*Siliciumkarbidbeschichtung auf einem
Substrat und Verfahren zur Herstellung
einer Siliciumkarbidbeschichtung auf
einem Substrat*
Patentblatt 123 (2003), Nr. 19, ISSN
0031-2894, erteilt am 08.05.2003

Lukács, I., Makai, J., Riesz, F., Szentpali,
B., Pfitzner, L.:
*Apparatus and Measurement Procedure
for the Fast, Quantitative, Non-Contact
Topographic Investigation of Semicon-
ductor Wafers and Other Mirror-Like
Surfaces*
Internationales Patent erteilt am 17. 04.
2003
IPN WO 03/031955 A1

Freitag, H., Koepke, M., Persico, G.,
Appel, E., März, M.:
Weitbereichsumrichter
eingereicht am 29. 01. 2003

Feustel, H. - P., März, M., Schimanek,
E.:
Wicklungskontaktierung
eingereicht am 29. 01. 2003

Hettwer, A.:
*Rechenverfahren zur Berechnung von
Beugungseffekten bei Sub-Wellenlän-
gen-Gittern*
eingereicht am 04.01.2003

Baumüller, A., März, M.:
Digitale Stromregelung
eingereicht am 04.01.2003

Mitarbeit in Fachgremien, Fachverbänden und Komitees Participation in Committees

Bauer, A.
- ITG Informationstechnische
Gesellschaft im VDE, Fachbereich 8
Mikroelektronik, Fachausschuß 8.1
Festkörpertechnologie, Fachgruppe:
Heißprozesse

Erdmann, A.:
- Mitglied des Progammkomitees der
SPIE Konferenz 2003

Frey, L.
- Mitglied in der
Informationstechnischen Gesellschaft
(ITG): Fachbereich 5.6.2 Qualität und
Zuverlässigkeit - Analysestrategien
- Leiter der GMM Fachgruppe 6.2.6.
„Inspektion und Analytik“

Frickinger, J.
- Leader of the „SEMI International
Environmental Contamination Con-
trol Task Force“
- Mitglied der „GMM-Nutzergruppe
Inspektion & Analytik“

Friedrich, J.
- Member of the Editorial Office of the
Newsletter „Mitteilungsblatt der
DGKK“

Lorenz, J.
- Member of the MEDEA+ Scientific
Sub-Committee on Manufacturing
Science
- Member of the Technical Committee
of the „2003 International Confer-
ence on Simulation of Semiconductor
Processes and Devices“ (SISPAD
2003), Boston, MA, USA, 3. - 5. Sep-
tember 2003
- Member of the Program Committee
of the „33rd European Solid-State
Device Research Conference“
(ESSDERC' 03): Sub-Committee „Pro-
cess and Device Simulation“, Estoril,

- Portugal, 16. - 18. September 2003
- Member of the Electrochemical Society
 - Member of the Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)
 - Chairman of the Modeling and Simulation International Working Group (ITWG) of the ITRS (International Technology Roadmap for Semiconductors)
- März, M.
- Mitglied des wissenschaftlich-technischen Komitees der CIPS (Conference on Integrated Power Systems)
 - Mitglied im Initiatoren- und Planungskreis des Europäischen Zentrums für Leistungselektronik (ECPE)
- Müller, G.
- 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)
 - Vorsitzender der Kommission für Studienangelegenheiten des Instituts für Werkstoffwissenschaften der Universität Erlangen-Nürnberg
- Öchsner, R.
- SEMI European Equipment Automation Committee
 - SEMI Task Force: Equipment Productivity Metrics Task Force
 - SEMI Task Force: Cluster Tool RAM Task Force
 - SEMI Task Force: Process Control Systems (PCS)
 - SEMI Task Force: Data Quality
 - GMM-Fachausschuß 6.1 „Produktion und Fertigungsgeräte“, Themenleiter „Qualitätsmanagement“ und „Umwelt- und Ressourcenschonende Produktion“
 - Mitglied der Factory Integration Working Group (FITWG) der ITRS
- (International Technology Roadmap for Semiconductors)
- Advisory Committee EDUCA ONLINE Berlin, Conference on Technology Supported Training and Learning
 - EuSIC Network
- Pfitzner, L.
- Honorarprofessor an der Universität Erlangen-Nürnberg, Fachbereich Elektrotechnik
 - Mitglied im Programmkomitee der Internationalen Fachtagung IEEE „International Symposium on Semiconductor Manufacturing“ ISSM
 - Session Chairman bei der Fachtagung 2003 IEEE „International Symposium on Semiconductor Manufacturing Conference“, Oktober 2003, San José, CA, USA
 - 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“
 - Leiter der SEMI Task Force „Environmental Contamination Control“
 - Co-Chair der SEMI Task-Force „E14 Revision“
 - Co-Chair des Standardisierungskomitees „Equipment Automation Standards Committee“ der SEMI
 - Mitglied im „Global Committee“ der SEMI
 - Mitglied der „Yield Enhancement Working Group“ (ITWG) der ITRS (International Technology Roadmap for Semiconductors)
- Roeder, G.
- Leiter der SEMI Integrated Measurement Task Force Europe
- Koordinator der Arbeitsgruppe Abscheidung und Ätzen im GMM Fachausschuß 1.2: „Verfahren“
 - Koordinator der EuSIC Network User Group „Integrated Metrology“
- Ryssel, H.
- International Committee of the Conference „Ion Implantation Technology“ (IIT)
The conference takes place biannually alternatingly in Europe, the USA, and East Asia.
 - International Committee of the Conference „Surface Modification of Metals by Ion Beams“ (SM²IB)
The conference takes place biannually alternatingly in Europe, the USA, and East Asia
 - Scientific Program Committee of the Conference „European Solid State Device Research Conference“ (ESSDERC)
The conference takes place in another European country every year.
 - Mitglied der „Informationstechnischen Gesellschaft“ (ITG): Leiter des Fachausschusses 8.1 „Festkörpertechnologie“
 - Mitglied der „VDE/VDI-Gesellschaft für Mikroelektronik, Mikro- und Feinwerktechnik“, Leiter des Fachbereichs 1, „Mikro- und Nanoelektronik-Herstellung“, Leiter der Fachgruppe 1.2.2 „Ionenimplantation“
 - Mitglied des Beirats der Bayerischen Kooperationsinitiative Elektronik/Mikrotechnologie (Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Verkehr und Technologie)
 - Member of the Electrochemical Society
 - Member of the Material Research Society
 - Mitglied der „Böhmischen Physikalischen Gesellschaft“
 - Fellow 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“ Taylor & Francis Ltd., Abingdon, U.K.
- Mitglied der Studienkommission Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik
- Mitglied des Fachbereichsrats der Technischen Fakultät
- Mitglied der Studienkommission Maschinenbau der Universität Erlangen-Nürnberg
- Mitglied der Studienkommission Mechatronik der Universität Erlangen-Nürnberg
- Member of the European SEMI Award Committee
- Member of the International Scientific Advisory Committee of the Conference „Computational Methods in Electrical Engineering and Electromagnetics“ (ELECTROCOMP)
The conference takes place in a different European country every two years.

Schellenberger, M.

- Koordinator der EuSIC User Group „Software“
- Co-Chair der europäischen SEMI PCS-Taskforce

Schmidt, C.

- SEMI Task Force: Integrated Metrology (Layer Thickness Group)

Schneider, C.

- Mitglied des Wissenschaftlich-Technischen Rates der Fraunhofer-Gesellschaft
- SEMI Equipment Automation Committee
- Member of the SEMI Standardization Task Force „Integrated Measurement“
- Member of the Board of Directors of the Integrated Measurement Association (IMA)
- Steering Committee of the European

AEC/APC (Advanced Equipment/Process Control) Conference, Grenoble 2003

- Head of the Program Committee of the European AEC/APC Conference, Grenoble 2003
- Member of the Factory Integration Working Group (FITWG) of the 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“
- Leitung EuSIC-Netzwerk
- Chairman of the International Conference on Spectroscopic Ellipsometry ICSE-3, Vienna 2003
- Chairman of the Standards Session of the ICSE Conference, Vienna 2003

Konferenzen und Workshops Conferences and Workshops

Kolloquium zur Halbleitertechnologie und Meßtechnik
IISB, Erlangen
fortlaufend im Winter- und Sommersemester

Seminar über *Thermisches Management in der Leistungselektronik*
IISB, Erlangen, 9. Januar 2003

1st Public Workshop of the IST Project FRENDETECH
IISB, Erlangen, 11. Februar 2003

2nd Public Workshop of the IST Project MAGIC_FEAT
IISB, Erlangen, 12. Februar 2003

Preparation Workshop for the 6th EC Framework Programme - APC Network
IISB, Erlangen, 12. Februar 2003

Vorbereitungsworkshop des APC-Projektconsortiums
IISB, Erlangen, 13. Februar 2003

Nutzertreffen der GMM-Fachgruppe *Inspektion & Analytik*
IISB, Erlangen, 21. Februar 2003

Short Course at SPIE: *Microlithography Mask Topography Effects in Reticle Enhancement Technologies*
Santa Clara, CA, USA
24. Februar bis 4. März 2003

Preparation Workshop for the 6th EC Framework Programme - APC Network
IISB, Erlangen, 25. Februar 2003

2nd Public Workshop of the IST Project FECLAM
IISB, Erlangen, 26. Februar 2003

EuSIC Workshop on Current Standardization Activities

Fraunhofer IPA, Stuttgart
28. Februar 2003

1st Public Workshop of the IST Project
MULSIC
IISB, Erlangen, 19. März 2003

2nd French German Crystal Growth
Meeting
Nancy, Frankreich, 10. - 13. März 2003

BMBF-Workshop *Massivkristallzüchtung
von Galliumnitrid und Aluminiumnitrid*
IISB, Erlangen, 24. März 2003

Mitveranstalter der 4th *European Ad-
vanced Equipment Control/Advanced
Process Control (AEC/APC) Conference*
Grenoble, Frankreich
26. - 28. März 2003

*Data Analysis, a Theoretical and Practi-
cal Approach*
Tutorial at the 4th European AEC/APC
Conference 2003
Grenoble, Frankreich, 26. März 2003

Arbeitskreis *Herstellung und
Charakterisierung von massiven GaAs-,
InP- und SiC-Kristallen* der DGKK
IISB, Erlangen, 2. - 3. April 2003

Exkursion des Leistungskurses
Mathematik des
Emil-von-Behring-Gymnasiums,

Spardorf
IISB, Erlangen, 14. Mai 2003

14. Nutzertreffen RTP
Texas Instruments, Freising
15. Mai 2003

European Workshop on *Thermal Model-
ing of MSL Furnace Inserts and Sample
Cartridge Assemblies* ESTEC/ESA,
Noordwijk, Niederlande, 21. Mai 2003

Joint Meeting of the EuSIC User Group
Integrated Metrology and the EuSIC
User Group *Software*
IISB, Erlangen
21. Mai 2003

Vorbereitungsworkshop des APC-
Projektkonsortiums
IISB, Erlangen, 22. Mai 2003

DFG-Rundgespräch Siliciumcarbid
Paderborn, 16. - 17. Juli 2003

Joint Meeting of the EuSIC User Group
Integrated Metrology and the User
Group *Software*
IISB, Erlangen, 30. Juli 2003

1st IISB Lithography Simulation Work-
shop
Hersbruck, 19. - 21. September 2003

IISB Jahrestagung 2003 *Ionenstrahlen in*



Präsentation des europäischen Verbundprojekts
E-LIMM auf der SEMICON Europe 2003;
Presentation of the european joint project E-
LIMM at SEMICON Europe 2003.

der Siliciumtechnologie
IISB, Erlangen, 24. Oktober 2003

Die lange Nacht der Wissenschaften für
die Region Nürnberg
IISB, Erlangen, 25. Oktober 2003

4th International Workshop on Model-
ing in Crystal Growth
Fukuoka, Japan, 4. - 7. November 2003

GMM Arbeitsgruppe *Abscheidung und
Ätzen, Fachausschuß 1.2 Verfahren,
Workshop 2003 Trends in Plasma Etch-
ing Technology*
IISB, Erlangen, 26. November 2003

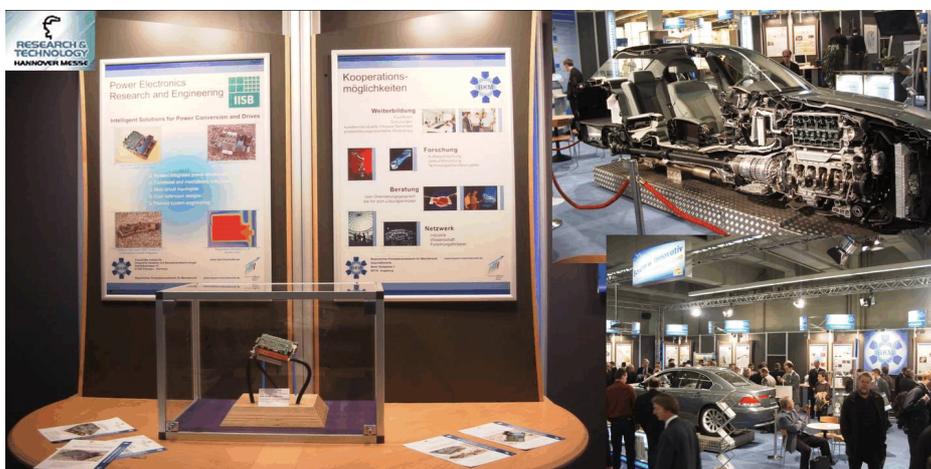
15. Nutzertreffen RTP
IISB, Erlangen, 27. November 2003

Nutzertreffen der GMM-Fachgruppe
Inspektion & Analytik
ELMOS, Dortmund, 4. Dezember 2003

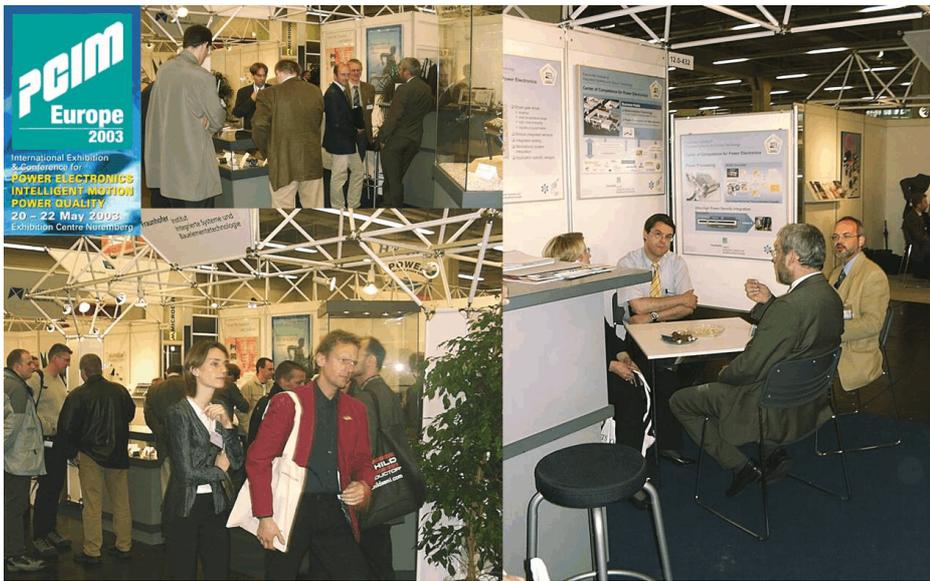
Messebeteiligungen Fairs and Exhibitions

electronicIndia 2003, Productronic
Showcase
Bangalore, Indien, 21. - 24. Januar
2003

Semicon Europa 2003
München, 1. - 3. April 2003



Impressionen von der Hannover Messe 2003 ;
Impressions of the Hannover Messe 2003.



Impressionen von der PCIM Europe 2003 ;
 Impressions of the PCIM Europe 2003.

Hannover Messe HMI2003
 Hannover, 7. - 12. April 2003

electronicChina 2003
 Shanghai, China, 12. - 14. März 2003

4th European Advanced Equipment
 Control/Advanced Process Control
 (AEC/APC) Conference
 Grenoble, Frankreich
 26. - 28. März 2003

Sensor & Test 2003
 Nürnberg, 13. - 15. Mai 2003

PCIM Europe 2003, Internationale
 Fachmesse und Konferenz für
 Leistungselektronik, intelligente
 Antriebstechnik und Power Quality
 Nürnberg, 20. - 22. Mai 2003

SPS/IPC/DRIVES
 Nürnberg, 25. - 27. November 2003



Impressionen von der SPS/IPC/DRIVES 2003 ;
 Impressions of the SPS/IPC/DRIVES 2003.

Benesch, Norbert

Entwicklung eines integrierbaren optischen Meßsystems zur Kontrolle der Linienbreiten periodischer sub-Mikrometerstrukturen

Die vorliegende Arbeit beschreibt die Entwicklung eines kostengünstigen und integrierbaren Meßgeräts zur Kontrolle der Abmessungen von periodischen sub-Mikrometerstrukturen. Als Anwendungsbereich wird die Produktion von Speicherbausteinen betrachtet, wobei Linienbreitenmessungen direkt in DRAM-Zellenfeldern durchgeführt werden.

Ausgangspunkt ist die anhand von Cost-of-Ownership-Berechnungen bestätigte Erkenntnis, daß bereits sehr geringe Ausbeute- oder Durchsatzsteigerungen den Einsatz zusätzlicher Meßtechnik für die strukturierenden Fertigungsprozesse Lithographie und Ätzen rechtfertigen. Ein in Produktionsgeräte integriertes Meßsystem kann Strukturgrößen während oder unmittelbar nach einem Herstellungsschritt kontrollieren, so daß Geräte- oder Prozeßfehler sofort erkannt werden und eine Produktion weiterer defekter Scheiben vermieden wird. Die bislang für die Linienbreitenkontrolle eingesetzte, hohe Kosten verursachende Elektronenmikroskopie kann dadurch reduziert bzw. ergänzt werden.

Grundlage des hier entwickelten Meßprinzips ist die Nutzung der optischen Beugung an periodischen Gitterstrukturen. Die Intensitäten von Beugungsordnungen werden dabei als Funktion des Meßstrahl-Azimutwinkels gemessen und sind charakteristisch für die Oberflächen- und Materialeigenschaften der Probe. Eine Berechnung der Beugungseffekte an sub-Mikrometerstrukturen erfordert für den Einzelfall die numerische Lösung des zugehörigen Maxwell-

schen Randwertproblems. Aufgrund des damit verbundenen Rechenaufwands ist die Messung von Strukturbreiten mit Hilfe der optischen Beugung bisher auf linienförmige Gitter beschränkt.

Um auch bei komplizierten Gitterstrukturen - wie DRAM-Zellenfeldern mit Periodizitäten in zwei Raumrichtungen - auf Probeneigenschaften schließen zu können, wird hier ein neuer Ansatz realisiert: Mit Hilfe von Referenzmeßgeräten werden zunächst die Gittereigenschaften einer Menge von variierenden Proben ermittelt. Zusammen mit den ebenfalls gemessenen Beugungssignaturen der Gitterstrukturen werden die Daten zum Training adaptiver neuronaler Netzwerke verwendet. Diese ermöglichen anschließend eine schnelle Erkennung fehlerhafter Bauelemente- und eine Schätzung von Gitter- oder Prozeßparametern.

Ein Test dieses Konzepts erfolgte in einer realen Produktionsumgebung. Hierzu wurde eine Meßanordnung für eine winkelabhängige, monochromatische Beugungsmessung aufgebaut, die sich aufgrund ihres geringen Platzbedarfs und ihrer kostengünstigen Komponenten für eine Integration in Fertigungsgeräte eignet. Das Meßgerät wurde so konstruiert, daß es auf FOUP-Beladestationen von Halbleiterfertigungsgeräten für 300-mm-Scheiben aufgesetzt werden kann. Die Funktionsfähigkeit des beschriebenen Verfahrens zur Linienbreitenkontrolle konnte mit verschiedenen Lithographiesequenzen sowohl anhand systematisch variiertes DRAM-Strukturen als auch bei zufällig auftretenden Prozeßvariationen bestätigt werden.

Benesch, Norbert

Development of an Integratable Optical Metrology System for Linewidth Control of Periodical Submicron Structures

This thesis describes the development of a cost-efficient and integratable metrology tool for controlling the linewidths of periodical submicron patterns. The semiconductor manufacturing of memory chips is considered as the field of application. Linewidth measurements for critical dimension control are performed directly within DRAM cell arrays.

At the beginning it is verified by using the cost-of-ownership model, that even very small improvements of yield or throughput justify the application of additional metrology for the patterning processes lithography and etching. A measurement system being integrated in such a manufacturing tool can be used to control linewidths during or directly after a process step. Equipment or process failures are detected immediately and a production of additional defect wafers or lots is avoided. Thereby, the very expensive electron microscopy being used for linewidth control until now can be reduced or can be supplemented.

Optical diffraction at periodical grating patterns is the basis of the measurement principle which is examined in this work. The intensities of occurring diffraction orders are recorded as a function of the azimuth angle of the measurement beam. Parameter values of the grating shape and the grating materials can be concluded from these intensity functions. A calculation of the optical diffraction effects at such submicron patterns requires an individual numerical solution of the corresponding Maxwell boundary problem.

So far, due to the computational cost of such simulations the linewidth metrology based on optical diffraction has been limited to simple line-and-space gratings.

In this work a neural network approach is realized in order to determine the properties of more complicated patterns like cell arrays of DRAMs with periods in two dimensions of space: At first, the interesting grating properties of a number of varying samples are measured with the help of an available reference metrology tool. In connection with the measured diffraction signatures of these sample patterns, this data is used to train adaptive neural networks. Afterwards, the networks enable a fast detection of defective integrated circuits and an estimation of grating parameters or process parameters.

This concept was examined in a real production environment. A metrology tool was built for angle-dependent, monochromatic diffraction measurements. Due to its small size and its low-price components, the measurement unit is suited for an integration into manufacturing systems. The metrology tool was designed to be put on FOUP docking stations of production systems for 300-mm wafers. The performance of the described procedure for linewidth control was verified both by investigating DRAM patterns with systematic variations and with random process variations taken from different lithography sequences.

Publikationen Publications

Herausgegebene Bücher / Buchbeiträge

Edited Books / Contributions to Books

Benesch, N.:

Entwicklung eines integrierbaren optischen Meßsystems zur Kontrolle der Linienbreiten periodischer sub-Mikrometerstrukturen

Erlanger Berichte Mikroelektronik, Band 6/2003, Hrsg. H. Ryszel, Shaker Verlag, Aachen 2003

Publikationen Publications

Bär, E., Lorenz, J., Ryszel, H.:

Three-Dimensional Simulation of Superconformal Copper Deposition Based on the Curvature-Enhanced Accelerator Coverage Mechanism

Copper Interconnects, New Contact Metallurgies/Structures, and Low-k Interlevel Dielectrics II, Eds.: G.S. Mathad, H.S. Rathore, C. Reidsema-Simpson, K. Kondo, V. Bakshi, The Electrochemical Society, Proceedings 2003-10, 21, 2003

Bauer, A.J., Rambach, M., Frey, L., Weiss, R., Rupp, R., Friedrichs, P., Schörner, R., Peters, D.:

Surface Properties and Electrical Characteristics of Rapid Thermal Annealed 4H-SiC

Material Science Forum, 433 - 436, 609, 2003

Berberich, S.E., Bauer, A.J., Frey, L., Ryszel, H.:

Trench Sidewall Doping for Lateral Power Devices

Proceedings of the 33rd European Solid-State Device Research Conference ESSDERC 2003, September 16 - 18, Estoril, Portugal, Eds.: J. Franca, P. Freitas, 397, 2003

Berwian, P., Weimar, A., Müller, G.:

In Situ Resistivity Measurements of Precursor Reactions in the Cu-In-Ga System

Thin Solid Films, 431/432, 41, 2003

Burenkov, A., Lorenz, J.:

Corner Effect in Double and Triple Gate FinFETs

Proceedings of the 33rd European Solid-State Device Research Conference ESSDERC 2003, September 16 - 18, Estoril, Portugal, Eds.: J. Franca, P. Freitas, 135, 2003

Burenkov, A., Gund, C., Lorenz, J.:

Figures of Merit for CMOS Switching

Speed

Electrical Engineering and Electromagnetics VI, Eds.: C.A. Brebbia, D. Poljak, Witpress Southampton, UK, 179, 2003

Burenkov, A., Lorenz, J.:

On the Role of Corner Effect in FinFETs

4th European Workshop on Ultimate Integration of Silicon, ULIS 2003, Udine, Italy, Proceedings, 31, 2003

Czarny, O., Droll, P., El Ganaoui, M., Fischer, B., Hainke, M., Kadinski, L., Kaufmann, P., Krastev, K., Mesic, E., Metzger, M., Raspo, I., Serre, E., Bontoux, P., Durst, F., Müller, G., Schäfer, M.:

High Performance Computer Codes and their Application to Optimize Crystal Growth Processes III

Numerical Flow Simulation III, CNRS-DFG Collaborative Research Programme Results 2000-2002, 49, Ed.: E. H. Hirschel, Berlin, 2003

Dagner, J., Hainke, M., Friedrich, J., Müller, G.:

Effects of Time-Dependent Magnetic Fields on Directional Solidification of AlSi7 Alloys

4th International Conference on Electromagnetic Processing of Materials EPM 2003 A2 3.6, 2003

Deák, P., Gali, Á., Pichler, P., Ryszel, H.:

Quantum Mechanical Studies of Boron Clustering in Silicon

High Performance Computing in Science and Engineering 2003, Hrsg.: E. Krause, W. Jäger, M. Resch, 381, 2003

Dirnecker, T., Bauer, A.J., Beyer, A., Frey, L., Henke, D., Ruf, A., Ryszel, H.:

Influence of Antenna Shape and Resist Patterns on Charging Damage During Ion Implantation

IEEE Proceedings of the 14th International Conference on Ion Implantation Technology, IIT 2002, Taos, New Mexico, USA, 291, 2003

- Erdmann, A., Farkas, R., Fühner, T., Tollkühn, B., Kókai, G.:
Mask and Source Optimization for Lithographic Imaging Systems
Proceedings of SPIE Conference 2003, 5182, 88, 2003
- Erdmann, A., Kalus, C.K., Schmöller, T., Klyonova, Y., Sato, T., Endo, A., Shibata, T., Kobayashi, Y.:
Rigorous Simulation of Exposure over Nonplanar Wafers
Proceedings of SPIE Conference 2003 „Optical Microlithography XVI“, 5040, 101, 2003
- Erdmann, A., Kalus, C.K., Schmöller, T., Wolter, A.:
Efficient Simulation of Light Diffraction from 3-Dimensional EUV Masks Using Field Decomposition Techniques
Proceedings of SPIE Conference 2003 „Emerging Lithographic Technologies VII“, 5037, 482, 2003
- Evanschitzky, P., Erdmann, A., Besacier, M., Schiavone, P.:
Simulation of Extreme Ultraviolet Masks with Defective Multilayers
Proceedings of SPIE Conference 2003, 5130, 1035, 2003
- Frey, L., Lehrer, C., Ryssel, H.:
Nanoscale Effects in Focused Ion Beam Processing
Applied Physics A 76, 1017, 2003
- Frey, L., Lehrer, C.:
Materialbearbeitung mittels fokussierter Ionenstrahlen zur TEM-Probenpräparation und Nanostrukturierung
Materialography 40, 4, 2003
- Frickinger, J., Nutsch, A., Pfitzner, L., Ryssel, H., Zielonka, G.:
Wafer Reclaim in Semiconductor Manufacturing
VDMA Productronics, 7th Edition, 23, 2003
- Friedrich, J., Dagner, J., Hainke, M., Müller, G.:
Numerical Modeling of Crystal Growth and Solidification Experiments Carried out under Microgravity Conditions
Crystalline Research Technology, 38, 726, 2003
- Hainke, M., Friedrich, J., Vizman, D., Müller, G.:
MHD Effects in Semiconductor Crystal Growth and Alloy Solidification
Proceedings of the International Colloquium on Modeling for Electromagnetic Processing, Eds.: B. Naacke, E. Baake, 73, 2003
- Hainke, M., Friedrich, J., Müller, G.:
MICAST - the Effect of Magnetically Controlled Fluid Flow on the Solidification of Technical Al-Alloys under Microgravity Conditions
Elgra News, 23, 103, 2003
- Hainke, M., Friedrich, J., Müller, G.:
Numerical Study of the Effects of Rotating Magnetic Fields during the VGF Growth of 3"GaAs Crystals
Magnetohydrodynamics, 39, 4, 515, 2003
- Häublein, V., Frey, L., Ryssel, H.:
ENCOTION - A New Simulation Tool for Energetic Contamination Analysis
IEEE Proceedings of the 14th International Conference on Ion Implantation Technology, IIT 2002, Taos, New Mexico, USA, 217, 2003
- Häublein, V., Walsler, H., Frey, L., Ryssel, H.:
Investigation of Lanthanum Contamination from a Lanthanated Tungsten Ion Source
IEEE Proceedings of the 14th International Conference on Ion Implantation Technology, IIT 2002, Taos, New Mexico, USA, 246, 2003
- Hettwer, A., Benesch, N., Schneider, C., Pfitzner, L., Ryssel, H.:
Phi-Scatterometry for Integrated Line-width and Process Control in DRAM Manufacturing
IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing, 15, 4, 470, 2003
- Jank, M., Frey, L., Bauer, A.J., Ryssel, H.:
Investigation of Implantation-Induced Defects in Thin Gate Oxides Using Low Field Tunnel Currents
Proceedings of the 14th International Conference on Ion Implantation Technology, IIT 2002, Taos, New Mexico, USA, 197, 2003
- Krause, M., Friedrich, J., Müller, G.:
Systematic Study of the Influence of the Czochralski Hot Zone Design on the Point Defect Distribution with Respect to a Perfect Crystal
Material Science in Semiconductor Processing, 5, 361, 2003
- Lemberger, M., Paskaleva, A., Zürcher, S., Bauer, A.J., Frey, L., Ryssel, H.:
Zirconium Silicate Films Obtained from Novel MOCVD Precursors
Journal of Non-Crystalline Solids, 322, 1 - 3, 147, 2003
- Lemberger, M., Paskaleva, A., Zürcher, S., Bauer, A.J., Frey, L., Ryssel, H.:
Electrical Characterization of Zirconium Silicate Films Obtained from Novel MOCVD Precursors
Microelectronics Reliability, 43, 1253, 2003
- Lenhart, O., Bär, E.:
Three-Dimensional Triangle-Based Simulation of Etching Processes and Applications
IEICE Transactions on Electronics, E86-C, 3, 427, 2003
- März, M.:
Hochintegrierte Leistungswandler für die Autos von morgen
Mechatronik News, ISSN 1618-2227, 2, 2003,
- März, M., Christoph, F., Egermeier, H.,

- Guserle, R., Mauermann, H., Hanisch, H., Hähle, M., Schedl, M.:
Cax-Werkzeuge zur Optimierung eines mechatronischen Leichtbauroboters
VDI-Z 3, 35, 2003
- Matiut, D., Erdmann, A., Tollkühn, B., Semmler, A.:
New Models for the Simulation of Post-Exposure Bake of Chemically Amplified Resists
Proceedings of SPIE Conference 2003, 5039, 1132, 2003
- Molchanov, A., Graebner, O., Wehrhan, G., Friedrich, J., Müller, G.:
Optimization of the Growth of CaF₂ Crystals by Model Experiments and Numerical Simulation
Journal of the Korean Crystal Growth and Technology, 13, 15, 2003
- Müller, G.:
Modeling of Crystal Growth from the Melt
Computational Modeling and Simulations of Materials, Eds.: P. Vincenzini, Lami, A., Techna Srl., 267, 2003
- Nikolaev, N., Erdmann, A.:
Rigorous Simulation of Alignment for Microlithography
Journal of Microlithography, Microfabrication and Microsystems, 2, 220, 2003
- Nutsch, A., Shimizu, H., Englmüller, A., Fabry, L.:
Evaluation of Aluminum Contamination on Large-Diameter Wafers in ULSI Fabrication
Conference Proceedings of the 2003 IEEE International Symposium on Semiconductor Manufacturing ISSM, 229, 2003
- Nutsch, A., Fritsche, M., Dudenhausen, H.-M., Pfitzner, L., Ryssel, H.:
Defect Inspection Method for Quality Control in a Reclaim Line
Proceedings of the 4th European AEC/APC Conference 2003, 119, 2003
- Öchsner, R., Pfeffer, M., Pfitzner, L., Binder, H., Müller, E., Vonderstrass, T.:
From Overall Equipment Efficiency (OEE) to Overall Fab Effectiveness (OFE)
Materials Science in Semiconductor Processing, 4-5, 333, 2003
- Öchsner, R., Pfeffer, M., Pfitzner, L., Binder, H., Müller, E., Vonderstrass, T.:
From Overall Equipment Efficiency (OEE) to Overall Fab Effectiveness (OFE)
European Materials Research Society, Symposia Proceedings „The 300 mm Silicon Era“: Material, Equipment, Technology, 138, 2003
- Paskaleva, A., Lemberger, M., Zürcher, S., Bauer, A.J., Frey, L., Ryssel, H.:
Electrical Characterization of Zirconium Silicate Films Obtained from Novel MOCVD Precursors
Proceedings of the 12th Workshop on Dielectrics in Microelectronics (WoDiM 2002), IMEP, Grenoble, Hrsg.: G. Ghi- baudo, E. Vincent, 53, 2003
- Paskaleva, A., Lemberger, M., Zürcher, S., Bauer, A.J., Frey, L., Ryssel, H.:
Electrical Characterization of Zirconium Silicate Films Obtained from Novel MOCVD Precursors
Microelectronics Reliability, 43, 8, 1253, 2003
- Petrik, P., Khanh, N.Q., Horvath, Z.E., Zolnai, P.Z., Barsony, I., Lohner, T., Fried, M., Guylai, J., Schmidt, C., Schneider, C., Ryssel, H.:
Non-Destructive Characterization of Strontium Bismuth Tantalate Films
Materials Science in Semiconductor Processing, 5, 141, 2003
- Pfitzner, L., Kücher, P.:
A Roadmap Towards Cost Efficient 300 mm Equipment
Materials Science in Semiconductor Processing, 4-5, 321, 2003
- Pichler, P.:
Merging Atomistic and Continuum Si- mulations of Silicon Technology - The Best from the Two Worlds
Proceedings of Nanotech 2003, San Francisco, USA, 2, 133, 2003
- Roeder, G., Öchsner, R., Schneider, C.:
IMA-Workshop Grenoble, France
IMA News, The Newsletter of the Integrated Measurement Association, 3, 1, 7, 2003
- Roeder, G., Spindler, O.:
Workshop „Fortschrittliche Prozeßkontrollverfahren für neue Prozesse und Materialien“ der VDE/VDI-GMM-Arbeitsgruppe Abscheidung und Ätzen
Mitgliederinformation der GMM VDE/VDI-Gesellschaft Mikroelektronik, Mikro- und Feinwerktechnik, Juli, 4, 2003
- Sambale, C., Schmöller, T., Erdmann, A., Evanschitzky, P., Kalus, C.:
Rigorous Simulation of Defective EUV Multilayer Masks
Proceedings of SPIE Conference 2003, 5256, 1239, 2003
- Savija, I., Culham, J.R., Yovanovich, M.M.:
Effective Thermophysical Properties of Thermal Interface Materials: Part I: Definitions and Models
Proceedings of InterPack 2003, 189, 2003
- Savija, I., Culham, J.R., Yovanovich, M.M.:
Effective Thermophysical Properties of Thermal Interface Materials: Part II Experiments and Data
Proceedings of InterPack 2003, 567, 2003
- Scalese, S., Italia, M., La Magna, A., Mannino, G., Privitera, V., Bersani, M., Giubertoni, D., Barozzi, M., Solmi, S., Pichler, P.:
Diffusion and Electrical Activation of Indium in Silicon
Journal of Applied Physics, 93, 12, 9773,

2003

Scalese, S., La Magna, A., Mannino, G., Privitera, V., Bersani, M., Giubertoni, D., Solmi, S., Pichler, P.:
Indium in Silicon: A Study on Diffusion and Electrical Activation
Materials Research Society Symposium Proceedings 765, CMOS Front-End Materials and Process Technology, Pittsburgh, PA, D6.13.1, 2003

Socoliuc, V., Vizman, D., Fischer, B., Friedrich, J., Müller, G.:
3D Numerical Simulation of Rayleigh-Benard Convection in an Electrically Conducting Melt Acted on by Traveling Magnetic Field
Magnetohydrodynamics, 39, 2, 187, 2003

Stiebel, D., Pichler, P.:
Transient-Diffusion Effects
Applied Physics, A76, 1041, 2003

Tollkühn, B., Fühner, T., Matiut, D., Erdmann, A., Kókai, G., Semmler, A.:
Will Darwin's Law Help us to Improve our Resist Models?
Proceedings of SPIE Conference 2003, 5039, 291, 2003

Weiss, R., Frey, L., Ryssel, H.:
Different Ion Implanted Edge Terminations for Schottky Diodes on SiC
Proceedings of the „14th International Conference on Ion Implantation Technology", IIT 2002, Taos, New Mexico, USA, 139, 2003

Windpassinger, R., Rosenkranz, N., Scherübl, T., Evanschitzky, P., Erdmann, A., Zibold, A.:
EUV Mask Simulation for AIMS
Proceedings of SPIE Conference 2003, 5256, 1249, 2003

Zeltner, S., Billmann, M., März, M., Schimanek, E.:
A Robust Digital PFC Control Method Suitable for Low Cost Microcontroller

Proceedings of the 3rd International Conference on Integrated Power Systems 2003, 47, 387

Zeltner, S., Billmann, M., März, M., Schimanek, E.:
A Compact IGBT Driver for High Temperature Applications
Proceedings of the 3rd International Conference on Integrated Power Systems 2003, 47, 211, 2003

Zürcher, S., Morstein, M., Lemberger, M., Bauer, A.J.:
Hafnium Titanium Silicate High-k Dielectric Films Deposited by MOCVD Using Novel Single Source Precursors
Proceedings of the Electrochemical Society, 8, 2003, Pennington, N.J., USA, Eds.: M.D. Allendorf, F. Maury, R. Teysandier, Chemical Vapor Deposition XVI and EUROCVI 14, 2, 863, 2003

Vorträge Presentations

Bär, E.:
Overview of the MULSIC Project
1st Public Workshop of the IST Project MULSIC
IISB, Erlangen, 19. März 2003

Bär, E., Kistler, S., Lenhart, O., Lorenz, J., Nguyen, H.:
Topography Process Simulation
2nd MULSIC Review Meeting
IISB, Erlangen, 20. März 2003

Bär, E., Lenhart, O., Lorenz, J., Nguyen, H., Frey, P.:
Results and Applications for Structure Generation and Surface Meshing
3rd MAGIC_FEAT Review Meeting
Crolles, Frankreich, 25. März 2003

Bär, E.:
Three-Dimensional Simulation of Superconformal Copper Deposition Based on the Curvature-Enhanced Accelerator Coverage Mechanism
Poster Presentation at the 204th Meeting of the Electrochemical Society, International Symposium on „Copper Interconnects, New Contact Metallurgies/Structures, and Low-k Inter-Level Dielectrics II"
Orlando, Florida, USA, 12. - 16. Oktober 2003

Bär, E.:
Overview of the MULSIC Project
2nd MULSIC Review Meeting
IISB, Erlangen, 20. März 2003

Bär, E., Lenhart, O., Lorenz, J., Nguyen, H., Frey, P.:
Applications of 3D Structure Generation and Surface Meshing Tools
2nd Public Workshop of the IST-Project MAGIC_FEAT
IISB, Erlangen, 12. Februar 2003

- Bauer, A.J.:
Neue Entwicklungen für die Technologie Integrierter Schaltungen und Leistungsbaulemente
Basistechnologie Mikroelektronik - Entwicklungspotentiale in der Mikroelektronik in der Region Nürnberg
IIS, Erlangen-Tennenlohe, 21. Mai 2003
- Bauer, A.J., Berberich, S., Rattmann, G.:
Integrierbarer Trench-Kondensator
32. Kolloquium über Halbleiter Leistungsbaulemente und ihre systemtechnische Anwendung
Freiburg, 28. Oktober 2003
- Berberich, S.:
Dielektrisch isolierte Smart Power Technologie
IISB Jahrestagung „Ionenstrahlen in der Siliciumtechnologie“
IISB, Erlangen, 24. Oktober 2003
- Berberich, S.:
Integrierbare Hochvoltleistungsbaulemente
Kolloquium über Halbleiter-Leistungsbaulemente und ihre systemtechnische Anwendung
Freiburg, 28. Oktober 2003
- Berberich, S., Bauer, A.J., Frey, L., Ryssel, H.:
Trench Sidewall Doping for Lateral Power Devices
33rd European Solid-State Device Research Conference (ESSDERC 2003)
Estoril, Portugal, 16.-18. September 2003
- Billmann, M.:
Thermische Meßtechnik im praktischen Einsatz
peak-Seminar „Thermisches Management in der Leistungselektronik“
IISB, Erlangen, 9. Januar 2003
- Billmann, M.:
Koaxial-Shunts
peak-Seminar „Stromsensorik in der Leistungselektronik“
IISB, Erlangen, 4. Dezember 2003
- Billmann, M.:
Ansteuerkonzepte für IGBTs und Leistungs-MOSFETS
Gemeinsames Kolloquium zur Halbleitertechnologie und Meßtechnik des LEB und des IISB
IISB, Erlangen, 27. Januar 2003
- Billmann, M., Zöllinger, H.:
Schaltnetzteilpraktikum
peak-Seminar „Kleinleistungs-Schaltnetzteile“
IISB, Erlangen, 25. Juni 2003
- Birkmann, B., Müller, G.:
Untersuchungen zu den Restversetzungen in Si-dotiertem VGF-GaAs
Arbeitskreis „Herstellung und Charakterisierung von massiven GaAs-, InP- und SiC-Kristallen“ der DGKK
Erlangen, 2. - 3. April 2003
- Burenkov, A.:
Why is Gate Wrap around not Dangerous for FinFETs
Presentation at Infineon
München, 9. Januar 2003
- Burenkov, A.:
Three-dimensional Simulation of Ion Implantation
Presentation at the Integrated Systems Engineering ISE Inc.,
San José, CA, USA, 16. Januar 2003
- Burenkov, A.:
Examples for 3D Problems and Results in Process and Device Simulation
2nd Public Workshop of the IST Project
MAGIC_FEAT
IISB, Erlangen, 12. Februar 2003
- Burenkov, A., Lorenz, J.:
On the Role of Corner Effects in FINFETs
4th European Workshop on Ultimate Integration of Silicon (ULIS)
Udine, Italien, 20.-21. März 2003
- Burenkov, A.:
Minimierung von Kurzkanaleffekten in CMOS
IISB Jahrestagung „Ionenstrahlen in der Siliciumtechnologie“
IISB, Erlangen, 24. Oktober 2003
- Burenkov, A., Lorenz, J.:
Corner Effect in Double and Triple Gate FinFETs
33rd European Solid-State Device Research Conference (ESSDERC 2003)
Estoril, Portugal, 16.-18. September 2003
- Dagner, J., Hainke, M., Friedrich, J., Müller, G.:
Sensitivity of the Modeling Results on the Thermodynamic Data in Modeling of SiC PVT Crystal Growth Processes
Poster Presentation, 2nd French German Crystal Growth Meeting
Nancy, Frankreich, 10.-13. März 2003
- Dagner, J., Hainke, M., Friedrich, J., Müller, G.:
Effects of Time-dependent Magnetic Fields on Directional Solidification of AlSi7 Alloys
EPM 2003, 4th International Conference on Electromagnetic Processing of Materials
Lyon, Frankreich, 14. - 17. Oktober 2003
- Erdmann, A.:
New Simulation Approaches for Present and Future Lithographic Process Technology
AMD, Sunnyvale, CA, USA, 28. Februar 2003
- Erdmann, A.:
Simulation von Mikrostrukturierungsprozessen
Vortrag im Siemens Forschungszentrum
Erlangen, Juni 2003
- Erdmann, A.:
New Simulation of Exposure Over Non-Planar Wafers
SIGMA-C User Meeting, München,

2. April 2003
- Erdmann, A., Kalus, C.K., Schmöller, T., Wolter, A.:
Efficient Simulation of Light Diffraction from 3-Dimensional EUV-Masks Using Field Decomposition Techniques
SPIE Symposium on Microlithography Santa Clara, CA, USA, 24. Februar - 4. März 2003
- Erdmann, A., Kalus, C.K., Schmöller, T., Klyonova, Y., Sato, T., Endo, A., Shibata, T., Kobayashi, Y.:
Rigorous Simulation of Exposure over Non-Planar Wafers
SPIE Symposium on Microlithography Santa Clara, CA, USA, 24. Februar - 4. März 2003
- Erdmann, A.:
Simulation of Semiconductor Microlithography
Technische Universität Prag
Prag, Tschechien, 24. - 25. November 2003
- Erdmann, A.:
Process Optimisation Using Lithography Simulation
Vortrag bei ICMNE
Moskau, Rußland, 6. - 10. Oktober 2003
- Erdmann, A., Farkas, R., Fühner, T., Tollkühn, B., Kókai, G.:
Mask and Source Optimization for Lithographic Imaging Systems
SPIE Annual Meeting
San Diego, CA, USA, 2. - 8. August 2003
- Erdmann, A., Fühner, T.:
Towards Automatic Mask and Source Optimisation for Optical Lithography
1st IISB Lithography Simulation Workshop
Hersbruck, 19. - 21. September 2003
- Erdmann, A.:
Lithography Simulation at Fraunhofer
- IISB
1st IISB Lithography Simulation Workshop
Hersbruck, 19. - 21. September 2003
- Evanschitzky, P., Erdmann, A., Besacier, M., Schiavone, P.:
Simulation of Extreme Ultraviolet Masks with Defective Multilayers
Photomask
Yokohama, Japan, 15. - 18. April 2003
- Evanschitzky, P., Erdmann, A.:
Image Modeling for Defect Free and Defective EUV Masks
1st IISB Lithography Simulation Workshop
Hersbruck, 19. - 21. September 2003
- Frey, L., Lehrer, C.:
Live-Vorführung einer Schaltungsmodifikation
IISB Jahrestagung „Ionenstrahlen in der Siliciumtechnologie“
IISB, Erlangen, 24. Oktober 2003
- Frickinger, J., Nutsch, A.:
Electrostatic Charging of FOUPs Materials Integrity Management Symposium 2003
Santa Clara, CA, USA, 3. - 4. Juni 2003
- Frickinger, J.:
New SEMI Document 3128A - Test Method for the Determination of Particulate Contamination from Minienvironments
EMI International Environmental Contamination Control Task Force Meeting
Tokio, Japan, 3. Dezember 2003
- Frickinger, J.:
Clean Manufacturing with 300 mm FOUPs
Shin-Etsu Polymer Technical Seminar - FOUP Technical Challenge at the Mass Production Phase in 300mm
Tokio, Japan, 4. Dezember 2003
- Frickinger, J.:
Cleaning Efficiency of FOUP Cleaners
- and Cleanability of FOUPs and FOSBs
SNEF, Montpellier, Frankreich, 3. Dezember 2003
- Fühner, T., Jung, T.:
Use of Genetic Algorithms for the Development and Optimization of Crystal Growth
4th International Workshop on Modeling in Crystal Growth
Fukuoka, Japan, 4. - 7. November 2003
- Gali, A., Deák, P., Pichler, P., Ryssel, H.:
Quantum Mechanical Studies of Boron Clustering in Silicon
6th Results and Review Workshop of the HLRS (Hochleistungsrechenzentrum Stuttgart)
Stuttgart, 6. Oktober 2003
- Hainke, M., Dagner, J., Friedrich, J., Müller, G.:
Simulation of Furnace Inserts and Sample-Cartridge Assemblies Using the Thermal Modeling Tool CrysVUn
17th European Thermal & ECLS Software Workshop, ESA/ESTEC
Noordwijk, Niederlande, 21. - 22. Oktober 2003
- Hainke, M., Friedrich, J., Müller, G.:
Numerical Study on the Influence of Forced Flows During Directional Solidification of AlSi Alloys und Microgravity Conditions
2nd French German Crystal Growth Meeting
Nancy, Frankreich, 10. - 13. März 2003
- Hainke, M., Dagner, J., Friedrich, J., Müller, G.:
Modeling of Alloy Solidification Processes with the Software Package CrysVUn
EUROMAT
Lausanne, Schweiz, 1. - 5. September 2003
- Hainke, M., Friedrich, J., Müller, G.:
MICAST - the Effect of Magnetically Controlled Fluid Flow on the Solidification of Technical Al-alloys

- 2003 Biannual Meeting and General Assembly
München, 2. - 4. April 2003
- Hainke, M., Friedrich, J., Vizman, D., Müller, G.:
MHD Effects in Semiconductor Crystal Growth and Alloy Solidification
International Scientific Colloquium on Modeling for Electromagnetic Processing
Hannover, 24. - 26. März 2003
- Häublein, V.:
Kontaminationsuntersuchungen
IISB-Jahrestagung „Ionenstrahlen in der Siliciumtechnologie“
IISB, Erlangen, 24. Oktober 2003
- Hettwer, A., Schneider, C.:
Effective Medium-Model for Fast Evaluation of Scatterometric Measurements on Gratings
1st European Scatterometry Workshop
Porquerolles Island, Frankreich, 23. April 2003
- Hofmann, A.:
Mechatronisch integrierbare Kleinumrichter
Mechatronik Kolloquium Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, 24. Juni 2003
- Hussy, S., Sun, G., Meißner, E., Birkmann, B., Friedrich, J., Müller, G.:
Erste Ergebnisse zur Niederdrucklösungszüchtung von Galliumnitrid
Arbeitskreis „Herstellung und Charakterisierung von massiven GaAs-, InP- und SiC-Kristallen“ der DGKK
Freiberg, 15. Oktober 2003
- Iuga, M., Hainke, M., Ardelean, G., Fischer, B., Friedrich, J., Müller, G.:
Study of the Influence of Traveling Magnetic Fields on Melt Convection
Poster Presentation, 2nd French German Crystal Growth Meeting
Nancy, Frankreich, 10. - 13. März 2003
- Jung, T., Fühner, T.:
Entwicklung und Optimierung eines VGF-Prozesses mit Hilfe genetischer Algorithmen
Arbeitskreis „Herstellung und Charakterisierung von massiven GaAs-, InP- und SiC-Kristallen“ der DGKK
Freiberg, 15. Oktober 2003
- Krause, O., Pichler, P., Ryssel, H.:
Modellierung und Simulation der Diffusion von Aluminium in Silicium
DFG Abschlußkolloquium „Halbleitersbauelemente hoher Leistung“
Aachen, 24. September 2003
- Lehrer, C.:
Nano-Strukturierung
IISB-Jahrestagung „Ionenstrahlen in der Siliciumtechnologie“
IISB, Erlangen, 24. Oktober 2003
- Lehrer, C.:
Integration of Field Emitters into Scanning Probe Microscopy Sensors Using Focused Ion and Electron Beams
16th International Vacuum Microelectronics Conference, IVCM 2003
Toyonaka, Osaka, Japan, 11. Juli 2003
- Lemberger, M.:
Electrical Characterization and Reliability Aspects of Zirconium Silicate Films Obtained from Novel MOCVD Precursors
Poster Presentation at the 13th Bi-Annual Conference „Insulating Films on Semiconductors“ (INFOS)
Barcelona, Spanien, 18. - 20. Juni 2003
- Lemberger, M.:
Elektrische Charakterisierung von Zirkonsilikatschichten abgeschieden mittels neuartiger metall-organischer Ausgangsstoffe
Klausurworkshop zum DFG-Schwerpunktprogramm 1119 „Anorganische Materialien durch Gasphasensynthese: Interdisziplinäre Ansätze zu Entwicklung, Verständnis und Kontrolle von CVD-Systemen“
Hammerkeln-Dingden, 5. - 7. Oktober 2003
- Lorenz, J.:
Overview of Related European Projects on TCAD Specifications and Research: UPPER+, FRENDETECH and MULSIC
2nd Public Workshop of the IST Project MAGIC_FEAT
IISB, Erlangen, 12. Februar 2003
- Lorenz, J.:
Overview of the MAGIC_FEAT Project
2nd Public Workshop of the IST Project MAGIC_FEAT
IISB, Erlangen, 12. Februar 2003
- Lorenz, J.:
Overview of MAGIC_FEAT Achievements vs. Plans and Perspectives for Exploitation
3rd Review Meeting of the IST Project MAGIC_FEAT
Crolles, Frankreich, 25. März 2003
- Lorenz, J.:
Overview of Related European Projects on TCAD Specifications and Research: UPPER+, FRENDETECH and MAGIC_FEAT
1st Public Workshop of the IST Project MULSIC
IISB, Erlangen, 19. März 2003
- Lorenz, J.:
Technologiesimulation – von Mathematik und Physik hin zur Anwendung
Exkursion des Leistungskurses 12 Mathematik des Emil-von-Behring Gymnasiums Spardorf
IISB, Erlangen, 14. Mai 2003
- Lorenz, J.:
Technologie-Simulation
GMM-Workshop „Grenzen der CMOS-Technik“
Infineon, München, 15. - 16. Mai 2003
- Lorenz, J.:
3D-Prozesssimulation und ihre Anwendung in der Mikro- und Nanoelektronik
Gemeinsames Kolloquium zur Halbleitertechnologie und Meßtechnik des LEB und des IISB
IISB, Erlangen, 19. Mai 2003

- Lorenz, J.:
UPPER+ Review Presentation
1st Review Meeting of the IST Project
UPPER+
Brüssel, Belgien, 6. Juni 2003
- Lorenz, J.:
Technology Simulation for the Nano-electronics Era
12th MEL-ARI/NID Workshop
Cork, Irland, 24. Juni 2003
- Lorenz, J.:
Modeling and Simulation
ITRS Summer Public Conference
San Francisco, CA, USA, 16. Juli 2003
- Lorenz, J., Burenkov, A.:
Devices - Physical and Electrical Optimization
ARTEMIS-NESTOR RIG Workshop on
Scaling CMOS beyond 65 nm: Silicon
Technology at a Crossroad?
Grenoble, Frankreich, 22. September
2003
- Lorenz, J.:
Modeling and Simulation
ITRS 2003 Fall Public Conference
Hsinchu, Taiwan, 2. Dezember 2003
- März, M.:
Thermisches Management
Seminar „Leistungshalbleiter und Lei-
stungs-ICs“
Haus der Technik, Essen 7. - 8. Juli 2003
- März, M.:
*Systemdesign und Systemintegration an
einem Beispiel für Hochfrequenzwandler*
- Seminar „Leistungshalbleiter und Lei-
stungs-ICs“
Haus der Technik, Essen 7. - 8. Juli 2003
- März, M.:
Nichtmagnetische Strommeßverfahren
peak-Seminar „Stromsensorik in der Lei-
stungselektronik“
IISB, Erlangen, 4. Dezember 2003
- März, M.:
*Thermal Management in High-Density
Power Converters*
ICIT 2003 Conference
Maribor, Kroatien, 10. - 12. Dezember
2003
- März, M.:
*Hybride Antriebskonzepte - eine Heraus-
forderung für die Leistungselektronik*
Tag der Elektrotechnik
Friedrich-Alexander-Universität Erlan-
gen-Nürnberg, 11. Juli 2003
- März, M.:
*Transiente elektrisch-thermische Simula-
tion in der Leistungselektronik*
Gemeinsames Kolloquium zur Halbleiter-
technologie und Meßtechnik des LEB
und des IISB
IISB, Erlangen, 30. Juni 2003
- März, M.:
Bauelemente
peak-Seminar „Kleinleistungs-Schalt-
netzteile“
IISB, Erlangen, 25. Juni 2003
- März, M.:
*Topologien für Kleinstleistungsschalt-
netzteile*
peak-Seminar „Kleinleistungs-Schalt-
netzteile“
IISB, Erlangen, 25. Juni 2003
- März, M.:
*Modellierung mit thermischen Ersatz-
netzwerken*
peak-Seminar „Thermisches Manage-
ment in der Leistungselektronik“
IISB, Erlangen, 9. Januar 2003
- März, M.:
Grundlagen des Wärmetransports
peak-Seminar „Thermisches Manage-
ment in der Leistungselektronik“
IISB, Erlangen, 9. Januar 2003
- Matiut, D., Erdmann, A., Tollkühn, B.,
Semmler, A.:
New Models for the Simulation of
*Post-Exposure Bake of Chemically Am-
plified Resists*
SPIE Symposium on Microlithography
Santa Clara, CA, USA, 24. Februar -
4. März 2003
- Meissner, E., Sun, G., Hussy, S., Birk-
mann, B., Friedrich, J., Müller, G.:
*Growth of GaN Crystals and Epilayers
from Solutions at Ambient Pressure*
21st Century COE Joint International
Workshop on Bulk Nitrides
Tokyo, Japan, 2. - 3. Juni 2003
- Meissner, E., Sun, G., Hussy, S., Birk-
mann, B., Friedrich, J., Müller, G.:
*Growth of GaN Crystals and Epilayers
from Solutions at Ambient Pressure*
Poster Presentation at the 5th Interna-
tional Conference on Nitride Semicon-
ductors
Nara, Japan, 25. - 30. Mai 2003
- Müller, G., Friedrich, J.:
*Challenges in Modeling of Bulk Crystal
Growth*
4th International Workshop on Modeling
in Crystal Growth
Fukuoka, Japan, 4. - 7. November 2003
- Müller, G.:
*Kristallzüchtung von Halbleitern und
optischen Kristallen*
DGM-Tagung 2003
IISB, Erlangen, 10. - 11. Juli 2003
- Müller, G.:
Kristalle, die unser Leben verändern
Evangelische Staatsakademie
Erlangen, 9. Dezember 2003
- Müller, G., Friedrich, J.:
*Kristallzüchtung von Halbleitern und
optischen Kristallen*
Beiratssitzung des Fraunhofer-Verbun-
des Mikroelektronik
IISB, Erlangen, 7. Oktober 2003
- Nutsch, A.:
*Dunkel- und Hellfeld Defektinspektion
mit dem SP1 TBI auf blanken Si-Wafern*

- GMM Nutzertreffen
IISB, Erlangen, 21. Februar 2003
- Nutsch, A., Frickinger, J., Pfitzner, L.:
PCM - Particulate Contamination from Minienvironment Task Force
Semi Standard Draft 3128, Semicon 2003
München, 2. April 2003
- Nutsch, A., Shimizu, H., Englmüller, A., Fabry, L.:
Evaluation of Aluminum Contamination on Large-Diameter Wafers in ULSI Fabrication
International Symposium on Semiconductor Manufacturing ISSM 2003
San José, USA, 9. September - 2. Oktober 2003
- Nutsch, A.:
Defect Inspection Method for Quality Control in a Reclaim Line
Poster Presentation at the 4th European AEC/APC Conference 2003
Grenoble, Frankreich, 26. - 28. März 2003
- Öchsner, R.:
Introduction of E-LIMM
Joint Workshop LIMA - E-LIMM
München, 18. Februar 2003
- Öchsner, R.:
Aktivitäten im Bereich Fertigungssteuerung und Produktivität
Besuch der Fa. EDAG
Fulda, 24. März 2003
- Öchsner, R.:
Introduction to ITRS and APC Activities
IMA Meeting
Genoble, France, 26. März 2003
- Öchsner, R.:
Vorschläge zur Kooperation
Treffen bei EDAG
Fulda, 12. Mai 2003
- Öchsner, R.:
Mangement and Project Overview
- 1st Review Meeting E-LIMM
Brüssel, 25. Juni 2003
- Öchsner, R.:
Introduction Dissemination and Use Plan
1st Review Meeting E-LIMM
Brüssel, 25. Juni 2003
- Öchsner, R.:
Technology Trends in Wafer Processing and Process Control
Brooks Day 2003
Jena, 16. - 17. September 2003
- Petersen, S.:
TEM-Probenpräparation
IISB-Jahrestagung „Ionenstrahlen in der Siliciumtechnologie“
IISB, Erlangen, 24. Oktober 2003
- Pfeffer, M.:
Diskrete Simulation von Cluster Tools mit Arena
Seminar "Elektronische Bauelemente" am Lehrstuhl für Technische Elektronik der TU München
TU, München, 14. Januar 2003
- Pfeffer, M.:
Diskrete Simulation von Cluster Tools mit Arena
Gemeinsames Kolloquium zur Halbleitertechnologie und Meßtechnik des LEB und des IISB
IISB, Erlangen, 16. Juni 2003
- Pfeffer, M.:
Overview Workpackage 4
1st Review Meeting E-LIMM
Brüssel, 25. Juni 2003
- Pfitzner, L., Bär, E., Frickinger, J., Nguyen, H., Nutsch, A.:
Poliervverfahren in der Halbleiterfertigung
Freiberger Siliciumtage
Freiberg, 19. - 20. Juni 2003
- Pichler, P.:
Front-End Models for Future Silicon Technology
ARTEMIS/NESTOR Workshop
- Grenoble, Frankreich, 22. September 2003
- Pichler, P.:
Segregation and Diffusion
Vortrag bei Infineon
München, 21. Juli 2003
- Pichler, P.:
Industrial Recommendations and Response of the Consortium
2nd Frenitech Review Meeting
Budapest, Ungarn, 14. März 2003
- Pichler, P.:
Response to Recommendations of the 1st Review
2nd Frenitech Review Meeting
Budapest, Ungarn, 14. März 2003
- Pichler, P.:
Herausforderung für ultraflache pn-Übergänge
IISB-Jahrestagung „Ionenstrahlen in der Siliciumtechnologie“
IISB, Erlangen, 24. Oktober 2003
- Pichler, P.:
Merging Atomistic and Continuum Simulations of Silicon Technology - The Best of the Two Worlds
Nanotech 2003 San Francisco, USA
24. Februar 2003
- Pichler, P.:
Overview of the FRENDETECH Project
1st Public Workshop of the IST-Project FRENDETECH
IISB, Erlangen, 11. Februar 2003
- Pichler, P.:
Summary
2nd Frenitech Review Meeting
Budapest, Ungarn, 14. März 2003
- Rambach, M., Weiß, R., Frey, L., Bauer, A.J., Ryssel, H.:
Investigation of Rapid Thermal Annealed pn Junctions in SiC
Poster Presentation at the International Conference on Silicon Carbide and Rela-

ted Materials (ICSCRM) 2003
Lyon, Frankreich, 7. Oktober 2003

Roeder, G.:
Develop the ITRS for Integrated Measurement in Plasma Etching
Presentation and Discussion at the IMA Working Meeting
4th European AEC/APC Conference Grenoble, Frankreich
26. - 28. März 2003

Roeder, G.:
Presentation of Current Work on Atomic Layer Deposition Preparation
Meeting for the 6th EC Framework Programme - INES Project
IISB, Erlangen, 19. März 2003

Roeder, G.:
IM - Integrated Measurement TF EU & NA
SEMI Standards Workshop on E-Diagnostics and E-Manufacturing Standards
München, 31. März 2003

Roeder, G.:
SEMI Integrated Measurement Task Force Europa - Layer Thickness Group: Status Report
Task Force Meeting, SEMI International Standards Program, SEMICON Europa
München, 2. April 2003

Roeder, G.:
SEMI 3624 - Ellipsometry Standardization in Semiconductor Industry
3rd International Conference on Spectroscopic Ellipsometry
Wien, Austria, 6. - 11. Juli 2003

Ryssel, H.:
Die Entwicklung der Mikroelektronik bis 2015 nach der ITRS (International Technology Roadmap for Semiconductors)
11. GMM/ITG Fachtagung: E.I.S - Workshop 2003
Kongreßzentrum, Erlangen, 31. März - 1. April 2003

Ryssel, H.:

Ionenimplantation in Halbleiter - 30 Jahre und kein Ende
IISB-Jahrestagung „Ionenstrahlen in der Siliciumtechnologie“
IISB, Erlangen, 24. Oktober 2003

Ryssel, H.:
Ion Implantation and Shallow Junction Formation
IMEC-Workshop „Silicon Processing for ULSI Circuit Fabrication“
Leuven, Belgien, 27. - 30. Oktober 2003

Ryssel, H.:
Die Rolle der Technologie: Leading Edge Silicon
Treffen des ZVEI-Präsidial-Arbeitskreises
Frankfurt, 30. Oktober 2003

Sahr, U., Scheswig, P., Härtwig, J., Müller, G.:
Versetzungen in VGF-InP
Arbeitskreis „Herstellung und Charakterisierung von massiven GaAs-, InP- und SiC-Kristallen“ der DGKK
Erlangen, 2. - 3. April 2003

Sambale, C., Schmöller, T., Erdmann, A., Evanschitzky, P., Kalus, C.:
Rigorous Simulation of Defective EUV Multilayer Masks
23rd Annual BACUS Symposium on Photomask Technology
Monterey, CA, USA, September 2003

Savija, I.:
Effective Thermophysical Properties of Thermal Interface Materials: Part I: Definitions and Models
InterPack 2003, Maui, Hawaii, 6. - 7. Juli 2003

Savija, I.:
Effective Thermophysical Properties of Thermal Interface Materials: Part II Experiments and Data
InterPack 2003, Maui, Hawaii, 6. - 7. Juli 2003

Schellenberger, M., Hettwer, A., Benesch, N.:

Künstliche Neuronale Netze für die Prozeßkontrolle in der Halbleiterfertigung
Gemeinsames Kolloquium zur Halbleitertechnologie und Meßtechnik des LEB und des IISB
IISB, Erlangen, 2. Juni 2003

Schellenberger, M., Roeder, G.:
Status Report and Activities of the EuSIC User Groups „Software“ and „Integrated Metrology“
Joint Meeting of the EuSIC User Group „Integrated Metrology“ and the User Group „Software“
IISB, Erlangen, 30. Juli 2003

Schellenberger, M., Schels, A.:
SEMI Process Control Systems Task force: Status Report
SEMI Europe Standards Autumn Event
Nijmegen, Niederlande, 30. Oktober 2003

Schellenberger, M.:
Introduction to EuSIC and its User Groups
EuSIC Workshop on Current Standardization Activities
Fraunhofer IPA, Stuttgart, 28. Februar 2003

Schellenberger, M., Hettwer, A., Benesch, N.:
Artificial Neural Networks for APC
Tutorial at the 4th European AEC/APC Conference
Grenoble, Frankreich, 26. März 2003

Scheswig, P., Hainke, M., Friedrich, J., Müller, G.:
Comparative Numerical Study of the Effects of Rotating and Traveling Magnetic Fields on the Interface Shape and Thermal Stress in the VGF-Growth of InP Crystals
4th International Workshop on Modeling in Crystal Growth
Fukuoka, Japan, 4. - 7. November 2003

Schimanek, E.:
Verlustberechnung in Umrichtern

peak-Seminar „Thermisches Management in der Leistungselektronik“
IISB, Erlangen, 9. Januar 2003

Schimanek, E.:
Chiptemperaturberechnung in Umrichtern
peak-Seminar „Thermisches Management in der Leistungselektronik“
IISB, Erlangen, 9. Januar 2003

Schmidt, C.:
FECLAM - Ferroelektrische CVD Schichten für Speicheranwendungen
Gemeinsames Kolloquium zur Halbleitertechnologie und Meßtechnik des LEB und des IISB
IISB, Erlangen, 17. November 2003

Schröder-Heber, A., Schmidt, C., Schneider, C.:
In-line Process Control by Integrated Surface Analysis
Poster Presentation at the AEC/APC Symposium XV
Colorado Springs, Colorado, USA, 13. - 18. September. 2003

Sun, G., Hussy, S., Meißner, E., Birkmann, B., Müller, G.:
Formation of GaN Blocking Layers by the Nitridation of Ga₂O₃ on the Surface of Ga Solutions
Poster Presentation, 2nd French German Crystal Growth Meeting
Nancy, Frankreich, 10. - 13. März 2003

Tollkühn, B., Fühner, T., Matiut, D., Erdmann, A., Kókai, G., Semmler, A.:
Will Darwin's Law Help us to Improve our Resist Models?
SPIE Symposium on Microlithography
Santa Clara, CA, USA, 24. Februar - 4. März 2003

Vizman, D., Eichler, S., Friedrich, J., Müller, G.:
3D Modeling of Melt Flow and Interface Shape in the Industrial Liquid-Encapsulated Czochralski Growth of GaAs

4th International Workshop on Modeling in Crystal Growth
Fukuoka, Japan, 4. - 7. November 2003

Vizman, D., Eichler, S., Friedrich, J., Müller, G.:
Numerical Simulation of Melt Flow During the Industrial LEC-growth of GaAs
Arbeitskreis „Herstellung und Charakterisierung von massiven GaAs-, InP- und SiC-Kristallen“ der DGKK
Erlangen, 2. - 3. April 2003

Weidner, M., Molchanov, A., Wehrhan, G., Friedrich, J., Müller, G.:
Dislocations in Calcium Fluoride Single Crystals
Poster Presentation, 2nd French German Crystal Growth Meeting
Nancy, Frankreich, 10. - 13. März 2003

Weiß, R.:
Untersuchung und Modellierung von Schottky-Dioden auf SiC
Gemeinsames Kolloquium zur Halbleitertechnologie und Meßtechnik des LEB und des IISB
IISB, Erlangen, 10. November 2003

Weiß, R., Frey, L., Ryssel, H.:
Modeling of the Influence of the Schottky Barrier Inhomogeneities on SiC Diode Characteristics
Poster Presentation at the International Conference on Silicon Carbide and Related Materials (ICSCRM) 2003
Lyon, Frankreich, 9. Oktober 2003

Zeltner, S.:
Lebensdauer und Zuverlässigkeit
peak-Seminar „Kleinleistungs-Schalt- netzteile“
IISB, Erlangen, 25. Juni 2003

■■■■■
Studienarbeiten
Theses

Ettinger, Andreas
Charakterisierung von Siliciumdioxid-Silicium-Grenzflächen mit Hilfe des ELYMAT-Messverfahrens
Betreuer: Rommel, M.

Hejny, Jörg
Aufbau und Inbetriebnahme eines Meßplatzes zur Charakterisierung von Feldemitter-Strukturen
Betreuer: Rommel, M. und Lehrer, C.

Mertas, Peter
Weiterentwicklung der Charakterisierung von Siliciumdioxiden mit Hilfe des Elymat-Verfahrens (Bachelor-Arbeit/Bachelor Thesis)
Betreuer: Rommel, M.

Weidner, M.
Untersuchung von Versetzungsstrukturen in CaF_2 -Einkristallen durch selektives Ätzen
Betreuer: Molchanov, A.

■■■■■
Diplomarbeiten
Diploma Theses

Hussy, S.
Experimentelle Untersuchungen zum Einfluß von Lösungsmittelzusätzen auf die Züchtung von GaN-Einkristallen
Betreuer: Meissner, E.

Iuga, Maria
Study on the Influence of Traveling Magnetic Fields on Melt Convection
Betreuer: Hainke, M.

Kübrich, Daniel
Entwicklung eines bidirektionalen 15 kW DC/DC-Wandlers
Betreuer: März, M.

Reidl, Christian
Untersuchung von Masseninterferenzen in der Ionenimplantation
Betreuer: Häublein, V.

Schletz, Andreas
Entwicklung eines bidirektionalen DC/DC-Wandlers
Betreuer: März, M.

Ullrich, Michael
Monte-Carlo-Simulation von Rückstreuung und Sputtering
Betreuer: Burenkov, A.

Wambou, Roger
Implementation of an Efficient Level Set Algorithm for the Simulation of Photoresist Profiles in Optical Lithography
Master-Arbeit/Master Thesis
Betreuer: Erdmann, A.

Zitzmann, Reiner
Entwicklung eines Meßsystems zur Erfassung von Widerstand, Dicke und Leitungstyp von Siliciumscheiben und Integration in eine Fertigungsumgebung
Betreuer: Schellenberger, M.

Kontakt und weitere Informationen
Contact and Further Information

Öffentlichkeitsarbeit
Public Relations

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

Applikations- und Dienstleistungs-
zentrum Mikrosystemtechnik
Application and Service Center for
Microsystems Technology

Sven Berberich
Phone: +49 (0) 9131 761-341
Fax: +49 (0) 9131 761-360
sven.berberich@iisb.fraunhofer.de

Technologiesimulation
Technology Simulation

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

Halbleiterfertigungsgeräte und
-methoden
Semiconductor Manufacturing
Equipment and Methods

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

Technologie
Technology

Dr. Lothar Frey
Phone: +49 (0) 9131 761-320
Fax: +49 (0) 9131 761-360
lothar.frey@iisb.fraunhofer.de

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

Kristallzüchtung
Crystal Growth

Prof. Georg Müller
Phone: +49 (0) 9131 852-7636
Fax: +49 (0) 9131 852-8495
georg.mueller@iisb.fraunhofer.de

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

Leistungselektronische Systeme
Power Electronic Systems

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