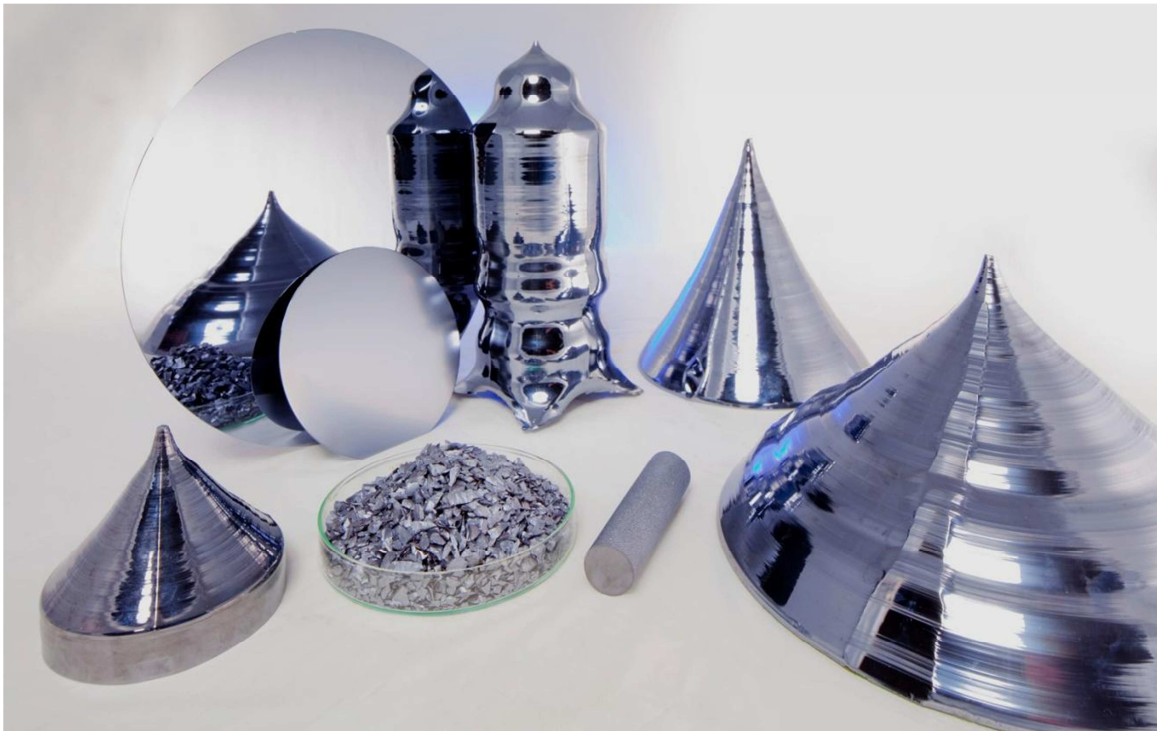


HÖCHSTDOTIERTE SILICIUMKRISTALLE FÜR SPARSAME NETZTEILE UND EFFIZIENTE MOTORSTEUERUNGEN

Start des Projekts PowerOnSi



Energiesparen ist einer der wichtigsten Hebel, um eine bezahlbare Energiewende zu ermöglichen. Durch intelligente Leistungselektronik kann der Energieverbrauch von Netzteilen oder Elektromotoren erheblich gesenkt werden. Dafür werden Siliciumkristalle mit einem sehr geringen elektrischen Widerstand benötigt, um die elektrischen Schaltverluste in den Leistungsbau-elementen zu minimieren. Gemeinsam mit der Freiburger Siltronic AG erforscht das Fraunhofer Technologiezentrum Halbleitermaterialien THM in Freiberg im Projekt PowerOnSi die wissenschaftlich-technischen Grundlagen der kostengünstigen Herstellung von Siliciumkristallen mit extrem geringem elektrischem Widerstand. PowerOnSi wird vom Sächsischen Ministerium für Wissenschaft und Kunst gefördert, das Projekt begann am 1. Oktober 2012.

Das **Bild** zeigt Anfangsstücke von Siliciumkristallen mit unterschiedlichen Kristalldurchmessern, fertige Wafer sowie Ausgangsmaterial für die Siliciumkristallherstellung. Foto: IISB / Kurt Fuchs

Weitere Informationen finden Sie auf **Seite 2**.

HÖCHSTDOTIERTE SILICIUM-KRISTALLE – PowerOnSi

Bei der Erzeugung, Übertragung und Wandlung elektrischer Leistungen dominiert die auf dem Halbleitermaterial Silicium basierende Leistungselektronik. Speziell für Anwendungen bei niedriger bis mittlerer Leistung und mittleren bis höheren Frequenzen, beispielsweise in Schaltnetzteilen, Robotern, Autoelektronik oder zur Ansteuerung von Motoren, kommen sogenannte PowerMOS-Bauelemente zum Einsatz. Um die Widerstandsverluste von vertikalen leistungselektronischen Bauelementstrukturen in Durchlassrichtung zu minimieren, werden insbesondere n-Typ-Siliciumkristalle mit einem sehr geringen elektrischen Widerstand von 5,0 mΩcm bis hin zu 1,0 mΩcm benötigt.

Die Siliciumkristalle werden nach dem Czochralski-Verfahren durch Ziehen aus der Siliciumschmelze hergestellt. Den niedrigen elektrischen Widerstand im einkristallinen n-Typ-Silicium erreicht man dabei durch eine gezielte Zugabe von Arsen oder Phosphor als Dotierstoff. Die hohen Mengen an benötigtem Dotierstoff können jedoch beim Herstellungsprozess kristallwachstumsinduzierte Störungen verursachen, wie z.B. Versetzungen im Kristall. Die Kristallfehler führen zum Verlust der einkristallinen Struktur des Siliciums und vermindern die Kristallausbeute. Für die beobachteten Störungen existieren zwar verschiedene Erklärungsansätze, jedoch sind weder die genauen Ursachen bekannt, noch gibt es etablierte, verfahrenstechnische Lösungsansätze für die Herstellung größerer Kristalldurchmesser.

Wissenschaftliches Verständnis der Prozesse ist für die Optimierung der Herstellung unerlässlich

An diesem Punkt setzen die Experten des Fraunhofer THM und der Siltronic AG an. Sie untersuchen systematisch die Grundlagen der kristallwachstumsinduzierten Störungen beim Ziehen von hochdotierten Siliciumkristallen und bestimmen die prozesstechnisch relevanten Parameter. Nur auf Basis einer soliden wissenschaftlichen Kenntnis der Grenzen des einkristallinen Wachstums von hochdotiertem Silicium können entsprechende kristallzüchterische Maßnahmen entwickelt und erprobt werden, um das untere Widerstandslimit bei großen Kristalldurchmessern abzusenken und die Kristallausbeute zu steigern.

Entwicklung von maßgeschneiderter Messtechnik

Eine weitere Schwierigkeit, die die Forscher überwinden müssen, ist die Suche nach geeigneten Analysemethoden für die hochdotierten Materialien. „Während bei niedrigen Dotierungen seit Jahrzehnten verschiedenste Messverfahren etabliert sind, um die unterschiedlichen

physikalisch-chemischen Eigenschaften des Siliciums umfassend zu bestimmen, funktionieren diese aus physikalischen Gründen meist nicht bei höchstdotiertem Material“, erklärt Dr. Jochen Friedrich, Sprecher des Fraunhofer THM und Leiter der Abteilung Kristallzüchtung des IISB. „Deshalb werden wir auch neue Messverfahren erproben und genau untersuchen, ob sich damit die relevanten Eigenschaften von hochdotiertem Material bestimmen lassen“, so Dr. Jochen Friedrich.

„Dieses Projekt ist für Siltronic aus zwei Gründen interessant“, sagt Dr. Andreas Mühe, Leiter Operations Deutschland, Siltronic AG und Werkleiter des Standortes Freiberg. „Erstens ist Siltronic ein führender Hersteller von Siliciumwafern für Leistungselektronik und zweitens ist Siltronic tief in der Region Freiberg verwurzelt. Daher freuen wir uns ganz besonders, unseren Anteil zum Gelingen dieses spannenden Forschungsvorhabens beizutragen.“

Zwei Jahre haben die Forscher von Fraunhofer THM und Siltronic jetzt Zeit, um wissenschaftlich-technische Lösungen zu erarbeiten, damit die Herstellung von Siliciumkristallen mit sehr geringem elektrischem Widerstand für PowerMOS-Anwendungen wirtschaftlicher wird. Nicht zuletzt dadurch wird die Position des Industrie- und Forschungsstandortes Freiberg als Zentrum der deutschen Halbleitermaterialerstellung weiter gestärkt.

www.thm.fraunhofer.de

START DES EU-PROJEKTS SUPERTHEME

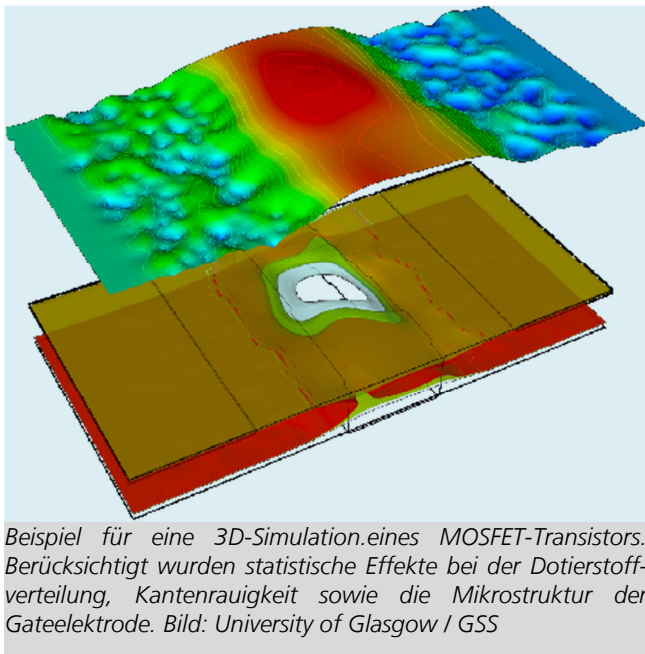
Simulationen zur Minimierung des Einflusses von Prozess-Schwankungen

Prozess-, Bauelemente- und Schaltungssimulatoren sind etablierte Werkzeuge für die Reduktion von Kosten und Zeiten bei der Entwicklung von neuen Technologien und Bauelementen für die Mikroelektronik. Die *International Technology Roadmap for Semiconductors (ITRS)* schätzt die Kostensparnis durch den Einsatz von Simulationen auf etwa 40 %. Schwankungen im Herstellungsprozess werden zunehmend kritisch für die Fabrikation von fortschrittlichen Bauelementen und Schaltungen. Im Rahmen des europäischen Projekts SUPERTHEME werden daher Simulatoren für die Untersuchung des Einflusses dieser Schwankungen entwickelt und angewendet. Mit den Simulationsmodulen soll der Halbleiterindustrie ein effektives Werkzeug an die Hand gegeben werden, um

die Beeinträchtigung der Bauelemente und Schaltungen durch Schwankungen zu minimieren.

Prozessbedingte Variationen, z.B. in der CMOS-Technologie, haben sowohl systematische als auch statistisch bedingte Ursachen. Diese können durch die verwendeten Fertigungsgeräte bedingt sein oder aus prinzipiellen physikalischen Gegebenheiten – wie dem atomaren Aufbau von Materie – resultieren. Die Resultate verschiedener Schwankungen beeinflussen sich gegenseitig und wirken sich auf die elektrischen, thermischen und mechanischen Eigenschaften der Bauelemente und Schaltungen aus. Die Kontrolle der Schwankungen stellt eine große Herausforderung bei der weiteren Miniaturisierung von Bauelementen dar und steht damit in direktem Zusammenhang mit dem wirtschaftlichen Erfolg der Halbleiterindustrie.

Experimentell lassen sich die durch Schwankungen hervorgerufenen Effekte nur unzureichend untersuchen, sodass die Unterstützung durch Simulationen von entscheidender Bedeutung ist. Mittels Simulationen ist es möglich, die komplette Fertigungskette abzubilden und die „am Computer“ hergestellten Bauelemente und Schaltungen hinsichtlich Ihrer Tauglichkeit zu studieren.



Beispiel für eine 3D-Simulation eines MOSFET-Transistors. Berücksichtigt wurden statistische Effekte bei der Dotierstoffverteilung, Kantenrauigkeit sowie die Mikrostruktur der Gateelektrode. Bild: University of Glasgow / GSS

Die Partner von SUPERTHEME widmen sich der Problematik, indem sie daran arbeiten, die kritischsten gegenwärtig noch vorhandenen Hürden im Bereich der Simulation von Schwankungen zu überwinden. Als solide Grundlage dienen dabei die einschlägigen Vorarbeiten der Partner, die mit kommerziellen Simulationsprogrammen kombiniert werden sollen. Des Weiteren werden erforderliche neue Simulationsmodule implementiert werden. Im Rahmen des Projekts ist die Demonstration der entwickelten Programme sowohl für höchstintegrierte Bauelemente und Schaltungen als auch für

Analog-Schaltungen mit größeren Strukturdimensionen vorgesehen.

Das Konsortium besteht aus führenden europäischen Forschungseinrichtungen und Firmen mit komplementärer Expertise: Fraunhofer IISB (Koordinator), Fraunhofer IIS/EAS, ams AG (Österreich), Gold Standard Simulations (Großbritannien), University of Glasgow (Großbritannien), Technische Universität Wien (Österreich), ASML Netherlands B.V. (Niederlande), Excico France (Frankreich), HQ-Dielectrics GmbH (Deutschland), IBS (Frankreich).

Am 2. Oktober 2012 war der Koordinator IISB Gastgeber des Kickoff-Meetings in Erlangen. Das Projekt läuft über drei Jahre und wird von der Europäischen Union im 7. Rahmenprogramm gefördert.

SUPERTHEME

www.supertHEME.eu



NANOTOPOGRAPHIE-ANALYSE VON SILICIUMWAFERN

Seit 2006 koordiniert die Abteilung Halbleiterfertigungsgeräte und -methoden des IISB *Semiconductor Equipment Assessment (SEA)*-Projekte. Im Projekt *Semiconductor Equipment Assessment Leveraging Innovation (SEAL)* arbeiten 32 Firmen und Forschungseinrichtungen an 17 Evaluierungsvorhaben. Das Projekt wird im 7. Rahmenprogramm von der Europäischen Union gefördert. Im SEAL-Unterprojekt WISDoMP wurde erfolgreich ein Mess-System der Firma FRT beim Anwender Siltronic aufgebaut, getestet und optimiert.

Grundlegendes Ziel der SEA-Projekte ist die Evaluierung von europäischen Leading-Edge-Halbleiterfertigungs- und Messgeräten in aktiver Zusammenarbeit von Geräteherstellern, Geräteanwendern und Forschungsinstituten. Europäische Gerätehersteller haben damit die Möglichkeit, die Entwicklungsphase vom innovativen Prototyp bis zum fertigungstauglichen Gerät unter Einbeziehung der späteren Nutzer zu beschleunigen.

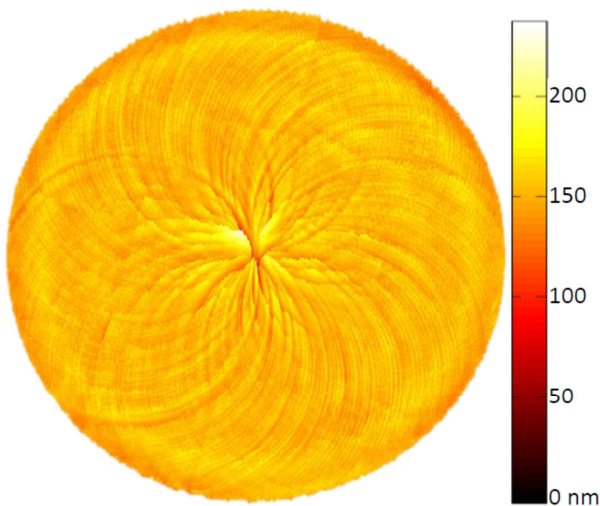
Ein Beispiel für erfolgreiche Evaluierung ist das SEAL-Unterprojekt WISDoMP (White-light interferometer system for the development of 300 mm wafer mechanical processes on the nanometer scale). In WISDoMP wurde ein Mess-System der Firma FRT beim Anwender Siltronic aufgebaut, getestet und optimiert. Herzstück dieses Mess-Systems ist ein Weißlichtinterferometer mit einem Sichtfeld von ca. 85 x 85 mm². Das System ist in

der Lage, berührungslos die Topographie rauer Oberflächen zu erfassen und wird für die Charakterisierung der Nanotopographie im frühen Stadium der Substratherstellung verwendet.

Nanotopographie als Qualitätskriterium

Für die Halbleiterherstellung sind Substrate mit hoher Oberflächenqualität ausschlaggebend für die Qualität der späteren Produkte. Ein wichtiges Qualitätskriterium ist die Ebenheit der Substratoberfläche im räumlichen Wellenlängenbereich zwischen 0,2 mm und 20 nm – die Nanotopographie. Gemäß Stand der Technik wird die Nanotopographie am Ende der Substratherstellung vermessen und charakterisiert. Vorteil des FRT-Mess-Systems ist die Möglichkeit, die Nanotopographie im frühen Stadium der Substratherstellung charakterisieren zu können und somit frühzeitig Aussagen über die Qualität der Silicium-Wafer zu erhalten und den Einfluss einzelner Prozess-Schritte auf die Oberflächenqualität beurteilen zu können.

Ziel des Evaluierungsvorhabens war es, Nanotopographie-Analysen auf rauen 300-mm-Silicium-Wafern zu ermöglichen. Dafür werden 16 Einzelmessungen zusammengesetzt, um die vollflächige Topographie eines 300-mm-Silicium-Wafers zu erhalten. Eine besondere Herausforderung ist das Zusammenfügen der Einzelbilder zur vollflächigen Topographiekarte eines 300-mm-Wafers. Die Wissenschaftler des IISB entwickelten hierfür einen Algorithmus, der aus den Einzelbildern eine komplette Topographiekarte erstellt.



Oberflächen-Nanotopographie eines geschliffenen 300-mm-Wafers

Dieses SEAL-Evaluierungsvorhaben kann damit als voller Erfolg verbucht werden: Die Messaufgabe konnte gelöst und die Anwendbarkeit des Mess-Systems beim Kunden gezeigt werden. Das mittelständische Unternehmen FRT profitiert davon, dass sein Produkt hinsichtlich der Kun-

denspezifikationen optimiert werden konnte und bereits ein erstes Gerät im Einsatz ist.

www.seal-project.eu



Dr. Christian Reimann (im Bild links bei seiner Dankesrede anlässlich der Preisverleihung), Gruppenleiter für Schmelzzüchtung in der Abteilung Kristallzüchtung des IISB wurde am 10. Oktober 2012 mit dem Ulrich-Gösele-Young-Scientist-Award ausgezeichnet.

Die während der internationalen Konferenz „Crystalline Silicon for Solar Cells“ in Aix-les-Bains in Frankreich vor 200 Kristallzüchtungsexperten verliehene Auszeichnung würdigt Reimanns herausragende Beiträge zur Steigerung der Materialqualität von multikristallinen Siliciumkristallen. Multikristalline Siliciumkristalle bester Qualität ermöglichen die kostengünstige Herstellung hocheffizienter Solarzellen.

Der Ulrich-Gösele-Young-Scientist-Award wird seit 2011 an junge Wissenschaftler verliehen und ist nach Prof. Dr. Ulrich Gösele benannt, der auch nach seinem Tod als einer der weltweit renommiertesten Wissenschaftler auf dem Gebiet der Halbleiterphysik und -technik gilt.

WEITERE INFORMATIONEN

Fraunhofer IISB

Schottkystraße 10, 91058 Erlangen
www.iisb.fraunhofer.de, Tel. 09131 761-0

Förderkreis für die Mikroelektronik e.V.

Kontakt: IHK Nürnberg für Mittelfranken, Dipl.-Inf. Knut Harmsen
Tel. 0911 1335-0, harmsen@nuernberg.ihk.de
www.foerderkreis-mikroelektronik.de

Impressum

Herausgeber: Fraunhofer IISB, Schottkystraße 10, 91058 Erlangen
Redaktion: Dr. Eberhard Bär, eberhard.baer@iisb.fraunhofer.de