

Neue Werkstoffe für die Miniaturisierung der Transistoren ab 2005

Europäisches Forscherkonsortium INVEST gegründet

Das hochgesteckte Ziel von INVEST* ist es, neue Materialien zu entwickeln, die von zentraler Bedeutung für den technologischen Fortschritt bei der Herstellung von Mikrochips sind. Dadurch sollen fundamentale technologische Schranken für die weitere Miniaturisierung von Halbleiterbauelementen und damit für das weitere Wachstum der Halbleiterindustrie beseitigt werden.

Die Ergebnisse der Forschungsarbeiten sollen die Wettbewerbsfähigkeit der europäischen Halbleiterindustrie erhöhen und ihre starke Position im Bereich von integrierten Halbleiterbauelementen festigen. Am INVEST Konsortium sind unter anderem die Technische Universität Clausthal und das Max Planck Institut Halle beteiligt.

Ein Transistor kann mit einem einfachen Ventil oder Schalter verglichen werden, bei dem mit Hilfe einer angelegten Spannung der Strom ein- und ausgeschaltet werden kann. Dabei erzeugt die Spannung auf beiden Seiten einer isolierenden Schicht Ladungsträger, welche für das Fließen des Stromes benötigt werden. Durch die Miniaturisierung wird die Prozessorgeschwindigkeit weiter erhöht und der Stromverbrauch herabgesetzt. Gleichzeitig können die Bauteile erheblich kostengünstiger hergestellt werden. Die Größe und die Leistungsmerkmale eines Transistors in einem Halbleiterbauelement hängen ganz wesentlich von der sehr dünnen elektrisch isolierenden Schicht im Transistor ab. Seit etwa drei Jahrzehnten werden diese Schichten aus Siliziumdioxid erzeugt und bilden damit die Grundlage von integrierten Schaltkreisen auf Siliziumbasis.

Im Zuge der Miniaturisierung von Transistoren muß auch die Isolierschicht (Gatteroxid) immer dünner werden. Ist die Schicht zu dick, wird keine ausreichende Anzahl von Ladungsträgern bereitgestellt und nach dem Einschalten des Transistors fließt kein ausreichend starker Strom.

Jedoch verliert die Schicht bei einer Dicke von nur wenigen Atomlagen ihre isolierenden Eigenschaften, so daß Leckströme wiederum ein präzises Schalten des Transistors verhindern. Die Probleme, welche mit dem herkömmlichen Werkstoff auftreten, können voraussichtlich mit neuen Materialien, die eine höhere Dielektrizitätskonstante aufweisen, gelöst werden. Sie erlauben die Verwendung dickerer Gatteroxide, und erzeugen dennoch genügend Ladungsträger beim Einschalten des Transistors. In einem dielektrischen Material baut sich durch den Einfluß eines elektrischen Feldes eine Ladung auf, aber es fließt kein Strom hindurch.

Im Mittelpunkt der Anstrengungen des Projekts INVEST steht daher die Einführung neuer Gatteroxide mit einer relativ hohen Dielektrizitätskonstanten „k“ (höher als 20). Solche Transistoren sollen trotz eines relativ dicken Gatteroxids (3-10nm) die Leistungsmerkmale von Bauelementen aufweisen, wie sie auf der Basis von Siliziumdioxid nur mit ultradünnen Schichten im Bereich von 2nm erzielt werden könnten. Die Fachwelt ist der einhelligen Meinung, daß damit die weitere Miniaturisierung von Transistoren von einer lateralen Ausdehnung von gegenwärtig 130nm in den Bereich von 50-100nm vorangetrieben werden kann.

Die ersten Resultate von Experten des INVEST Konsortiums sind vielversprechend. Um neue Materialien in einen hochentwickelten und hochoptimierten Herstellungsprozess zu integrieren, sind allerdings noch eine Vielzahl größerer Herausforderungen zu bewältigen.

Das INVEST Projekt wird sich mit den Materialeigenschaften auseinandersetzen, der Qualität der Grenzflächen zur Isolierschicht, den notwendigen Eigenschaften der Ausrüstung für die Herstellung, den Leistungsmerkmalen und der Lebensdauer der Transistoren, sowie der Integration und der Verträglichkeit mit der heutzutage dominierenden CMOS Herstellungstechnologie.

Um komplexe Metalloxide als Gatteroxide di-

rekt auf Silizium aufzuwachsen, setzt INVEST auf die Molekularstrahlepitaxie (MBE), mit der Materialien gewissermaßen Atom für Atom aufgebaut werden können. In dem Projekt ist darüber hinaus geplant, einen solchen Prozessschritt für neue Gatteroxide in die 8-inch Wafertechnologie einzuführen.

Traditionell wird MBE zur Herstellung von sogenannten III-V Halbleitern wie zum Beispiel Galliumarsenid eingesetzt. Das Team von INVEST hofft, MBE in die weitverbreiteten Herstellungsprozesse von Halbleiterbauelementen auf Siliziumbasis einzufügen. Nach dem Plan von INVEST sollen die geeigneten Materialien innerhalb von zwei Jahren identifiziert sein. Nach Ablauf des Projekts in drei Jahren hofft man, die wesentlichen Erfahrungen über die neuen Gatteroxide gesammelt zu haben, welche für die weitere Miniaturisierung nach 2005 notwendig sind. Es wird erwartet, daß die Resultate die Vorreiterrolle von Europa im Bereich MBE-Geräte für Metalloxide stärken und zu einer Kommerzialisierung von neuen Herstellungsgeräten für Oxidfilme führen.

Die TU Clausthal beteiligt sich mit Simulationen des Materialwachstums und dessen Eigenschaften am Projekt INVEST. In der Abteilung von Prof. Blöchl am Institut für Theoretische Physik werden deshalb die Bindungsverhältnisse und die Atomstruktur auf der Basis grundlegender Theorien berechnet.

Weitere Informationen:

Professor Dr. rer. nat. Peter E. Blöchl

Institut für Theoretische Physik

Technische Universität Clausthal

Leibnizstr. 10

38678 Clausthal Zellerfeld

TEL: +49-(5323)-72-2021

FAX: +49-(5323)-72-3116

Email: Peter.Bloechl@tu-clausthal.de

WWW: <http://www.pt.tu-clausthal.de/atp/> ■

* Die englische Abkürzung INVEST (Integration of very high-k dielectrics with silicon CMOS technology) steht für „Integration dielektrischer Materialien mit einer hohen Dielektrizitätskonstante in die Silizium CMOS-Technologie“. Das Projekt wird gefördert durch das fünfte Rahmenprogramm der Europäischen Kommission zur Informationsgesellschaft und wurde im Juli 2001 begonnen. Mitglieder des Forscherkonsortiums sind das IBM Forschungslabor Zürich, Schweiz, die Philips AG, vertreten mit ihrer Forschungseinrichtung in Leuven, Belgien, zwei Ultrahochvakuumkomponentenhersteller (RIBER S.A., Frankreich, und Oxford Applied Research Ltd., Großbritannien), ein unabhängiges Forschungszentrum, das sich auf die Entwicklung mikroelektronischer Prozesslinien spezialisiert hat (Interuniversitair Micro-Elektronica Centrum, Belgien), sowie vier akademischen Forschungseinrichtungen auf dem Gebiet der Material- und Ingenieurwissenschaften, das Nationale Forschungszentrum „Demokritos“, Griechenland, das Max-Planck Institut für Mikrostrukturphysik in Halle an der Saale, das Nationale Institut für Festkörperphysik, Italien, und das Institut für Theoretische Physik der Technischen Universität Clausthal. ■