



Mikroelektronik: Immer kleiner, immer effizienter

Elektronische Geräte werden nicht von selbst immer kleiner. Dahinter steht intensive Forschungsarbeit, auch von insgesamt acht CD-Labors am Institut für Mikroelektronik der TU Wien.

Seit 1989 das erste CD-Labor am heutigen Institut für Mikroelektronik startete gab es massive Entwicklungen: Heute existieren mikroelektronische Bauteile vom kleinsten, hochsensitiven Sensor in der Medizintechnik bis zum Wechselrichter von Photovoltaik-Anlagen, der sehr hohen Spannungen standhalten muss. Bisher acht CD-Labors am Institut für Mikroelektronik trugen zu dieser Entwicklung bei.

Die Eroberung der dritten Dimension

Damals wie heute waren es Transistoren, die aus dem angelegten Strom logische „Nullen“ und „Einsen“ machen, als Basis für Bits und Bytes. Frühe elektronische Schaltungen kann man sich wie Dörfer vorstellen: Transistoren als Häuser, verbunden durch Straßen, sprich Leitungen, die nicht überlastet werden („durchbrennen“) dürfen. Mit der Zeit eroberte die Mikroelektronik die dritte Dimension: Hochhäuser und U-Bahnen wurden integriert, aus Dörfern wurden Großstädte wie Manhattan oder Tokio.

Wie aber werden all diese Transistoren optimal gebaut, angeordnet, verdrahtet und geschaltet? Das 1989 gestartete CD-Labor für Integrierte Bauelemente arbeitete bereits damals an computerbasierten mathematischen Modellen und an Modellierungssoftware für mit Phosphor, Bor oder Arsen angereichertes (dotiertes) Silizium. Dessen Verhalten, wenn Spannung angelegt wird, wurde mit einem Computerprogramm (damals FORTRAN) abgebildet. Die so entwickelten Softwareprogramme erwiesen sich als sehr erfolgreich, und 2008 wurde ein Spin-off von Mitarbeitern des Instituts gegründet: Global TCAD Solutions, das heute über 40 Mitarbeiter*innen und Büros in Taiwan und Indien hat und nun wieder Partner eines CD-Labors ist.

Die CD-Labors

1989–2002: CD-Labor für Integrierte Bauelemente 1 und 2 (Siegfried Selberherr)

2003–2009: CD-Labor für Technologie-CAD in der Mikroelektronik (Tibor Grasser)

2010–2016: CD-Labor für Zuverlässigkeitsprobleme in der Mikroelektronik (Hajdin Ceric)

2015–2022: CD-Labor für Hochleistungs TCAD (Josef Weinbub)

2018–2025: CD-Labor für Nichtflüchtige magnetisch-resistive Speicher und Logik (Viktor Sverdlov)

2019–2025: CD-Labor für Einzeldefektspektroskopie in Halbleiterbauelementen (Michael Waltl)

2022–2029: CD-Labor für Multi-Scale-Prozessmodellierung von Halbleiter-Bauelementen und -Sensoren (Lado Filipovic)

Die Unternehmenspartner

ams-OSRAM AG, Global TCAD Solutions GmbH, Infineon Technologies Austria AG, Österreichische Industrieholding AG, Silvaco Group, Inc.

Drei Fragen an ...



Univ.-Prof. DI Dr.
Tibor Grasser
Leiter des Instituts für
Mikroelektronik, TU Wien

Was bedeuten CD-Labors für das Institut für Mikroelektronik?

Das CD-Labor für Integrierte Bauelemente von Prof. Selberherr, das bis 2002 lief, leistete einen entscheidenden Beitrag zur Entwicklung des Instituts. Mit jedem neuen CD-Labor konnte ein neuer Themenbereich für das Institut erschlossen werden, das ermöglicht effiziente Kommunikation und einen breiten Gesamtüberblick. Mit ihrer langen Laufzeit bilden die CD-Labors ein stabiles Rückgrat für diese Entwicklung.

Was sind die Vorteile in der Zusammenarbeit mit Unternehmen?

Die Zusammenarbeit mit Unternehmen hat sich für unser Institut als sehr fruchtbar erwiesen: Als Grundlagenwissenschaftler*innen bearbeiten wir Fragen, auf die es bisher noch keine Antworten gibt. Für die Identifikation dieser Fragen sind unsere langfristig planenden Unternehmenspartner von großer Bedeutung, ebenso für die Prüfung unserer Ergebnisse in der Praxis.

Was schätzen Sie besonders am Fördermodell der CD-Labors?

Die große Zahl der CD-Labors an unserem Institut spricht wohl eine deutliche Sprache: CD-Labors bieten Sicherheit und Planbarkeit bei gleichzeitiger Flexibilität und wissenschaftlichem Freiraum. Das Evaluierungsverfahren stellt wissenschaftliche Exzellenz sicher, CD-Labors sind daher auch ein Beweis für die Qualität unserer wissenschaftlichen Arbeit.

In der Folge wurden die Simulationswerkzeuge um immer neue Fragestellungen erweitert: Leistungsbaulemente, Verdrahtungen, Speicher, Sensoren – und das für eine immer größer werdende Anzahl an verwendeten Materialien.

Die Kombination bringt's

Die chemischen Bindungen der Atome in elektronischen Bauteilen lassen sich quantenmechanisch mittels der Schrödingergleichung beschreiben. Aber selbst dünnste Schichten enthalten noch viele tausend Atome – für so große Systeme lässt diese Gleichung sich nicht mehr lösen.

Man verwendet daher einen Multiskalenansatz: Für einige wenige Atome lassen sich deren Bewegungen noch berechnen. Für die nächsthöhere Ebene abstrahiert man diese Berechnungen und zieht auch Messergebnisse hinzu. So arbeitet man sich von Ebene zu Ebene vor, bis man schließlich ein ganzes Bauteil bis hin zu komplexen Schaltungen simulieren kann.

Diese Kombination aus Rechnen und Messen hat sich als sehr erfolgreich herausgestellt, um das Verhalten von Bauelementen (Leistungsfähigkeit, Zuverlässigkeit, Alterung) mit ausreichender Näherung zu beschreiben.

Ohne Messen kein Modellieren

Andere CD-Labors arbeiten an den Grundlagen für sehr leistungsfähige und schnelle elektronische Messgeräte. Diese sind wichtig, um zufällig auftretende Einzeldefekte in der atomaren Struktur lokalisieren zu können: Ist ein Atom an der falschen Stelle oder „verläuft“ sich ein Elektron, führt das zu reduziertem Stromfluss bei derselben Spannung. Mit stark verfeinerten Volt- und Amperemetern können einzelne Elektronen beobachtet und Daten mit theoretischen Vorhersagen verglichen werden, wodurch diese Defekte erkannt und lokalisiert werden können.

Der Weg in die Zukunft

Die großen Trends der Mikroelektronik – Miniaturisierung, Differenzierung für verschiedene Anwendungen und Nutzung verschiedenster Elemente – werden auch künftig Thema der Forschung bleiben, und als Methoden werden KI und Machine Learning immer wichtiger.

Drängende neue Herausforderungen betreffen die Nachhaltigkeit in der Produktion (Wasser, Energie, Umweltgifte) und die Kreislauffähigkeit, die derzeit noch oft an der Vielzahl an verbauten Elementen scheitert. Es gab beträchtliche Fortschritte, die aber durch das immense Produktionswachstum eingeholt wurden. Die Forschung stellt sich auch dieser Herausforderung.

Mehrwert für die Wissenschaft

Die Weiterentwicklung elektronischer Bauteile braucht drei Standbeine: Sehr genaue Messung der Vorgänge in Bauteilen, statistische Analyse vieler solcher Messungen und Berechnungen aufgrund der physikalischen und quantenmechanischen Eigenschaften der verwendeten Materialien. Das Institut für Mikroelektronik ist weltweit eines der wenigen in dem alle drei Wissensgebiete angesiedelt sind. Der so gewonnene Gesamtüberblick des Problems vermindert etwa das Risiko, dass die Modellierung auf Basis von Messfehlern gemacht wird. Mit jedem neuen CD-Labor erschloss das Institut einen neuen Themenbereich, die gute Integration innerhalb eines Instituts führt zur vollen Stärke.

Mehrwert für die Unternehmen

Für die Unternehmenspartner geht es insbesondere darum, die zeit- und kostenintensive Entwicklung neuer elektronischer Bauteile durch vorherige Modellierung deutlich abzukürzen bzw. die Software für solche Modellierungen zu verbessern. Konkret geht es etwa um neuartige Algorithmen, zum Beispiel durch ein neues Verständnis der Grenzflächenphysik zwischen zwei Materialien sowie um deren Adaption an neue Technologien wie z. B. magnetisch-resistive Speicher oder physikalische Ätz- und Abscheidemodelle. Bessere Produkte steigern die Wettbewerbsfähigkeit, außerdem bringen CD-Labors Sichtbarkeit in der Wissenschaftsgemeinde.