

Halbleiterherstellung. In großem Maßstab läuft die Produktion und Qualitätskontrolle der Halbleiter bei Infineon.



Verlässliche ARBEIT der Halbleiter

Je kleiner Halbleiterbauteile wie Chips und Prozessoren werden, umso wichtiger ist auch die Forschung an ihren Schwachstellen. In der MIKROELEKTRONIK setzt man stark auf Simulation der Abläufe mit neuem Material.

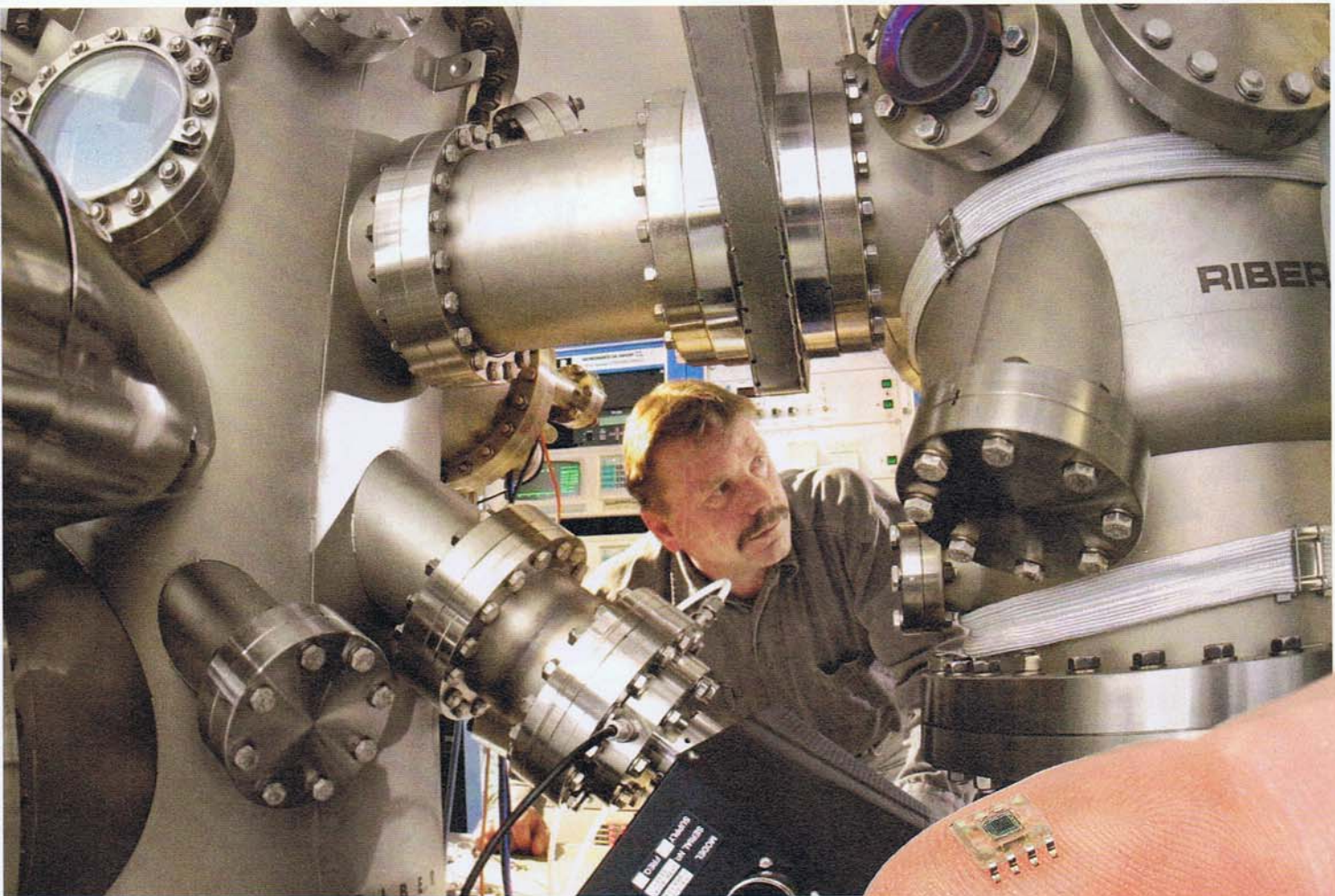
TEXT: REINHARD KLEINDL

Auch wenn er hin und wieder nicht das tut, was er tun soll: Der Computer ist dennoch ein technologisches Musterbeispiel an Zuverlässigkeit. Die Fehler, die wir aus dem täglichen Gebrauch kennen, stammen meist von der Software oder von stärker mechaniklastigen Komponenten wie Festplatten. Die Halbleiterbauteile, Chips und Prozessoren, scheinen dagegen ewig zu leben. Dass das auch für die nächste Generation von Computern so bleibt, dafür sorgen Arbeitsgruppen von der Uni Wien und der TU Wien. Durch die Miniaturisierung haben die Forscher mit völlig neuen Herausforderungen zu kämpfen. Die Gruppe „Micromaterials“ der Universität Wien beschäftigt sich mit der Qualität von elektrischen Verbindungen in der Mikroelektronik. Damit sind vor allem Kontaktstellen zwischen unterschiedlichen Metallen und Halbleitern gemeint, etwa Lötstellen. Zwar geht der Trend dahin, immer mehr Funktionen in ei-

nen einzelnen Chip zu integrieren – die Verbindung des Chips mit anderen Komponenten passiert aber nach wie vor über Drähte aus Aluminium, Kupfer oder Gold, die verbunden werden müssen.

„Diese Verbindungen, sogenannte Bondstellen, sind Schwachstellen. Das Problem ist die unterschiedliche Wärmeausdehnung der Materialien“, erklärt Golta Khatibi von der Forschungsgruppe. Beim Einschalten fließt Strom und die Bauteile erwärmen sich; danach kühlen sie wieder ab. Das erzeugt thermomechanische Spannungen an den Verbindungsstellen, die das Material ermüden. Irgendwann lösen sich etwa gebondete Drähte – man spricht von „Abhebern“.

Heiß und kalt. Bisherige Tests versuchten, dieses Szenario realistisch nachzustellen. Die Bauteile wurden also mehrmals aufgeheizt und wieder abgekühlt. Das braucht Zeit, was vor allem bei Komponenten problematisch ist, die hohen Sicherheits-



Für kleinste Bestandteile benötigt man große Geräte: Per Bedampfung werden Isolationsschichten aufgetragen.

Bisher konnten 400 Mikrometer kleine Bauteile getestet werden. Bald wird das für 20 µm kleine Bauteile möglich sein.

standards genügen müssen und bei denen eine bis zu 30-jährige Haltbarkeit garantiert werden muss. Khatibi, Brigitte Weiss und Viktor Gröger haben ein mechanisches Prüfsystem entwickelt, das sehr viel

Die neue Prüf- methode si- muliert **20.000** **Schaltzyklen** pro Sekunde.

schneller funktioniert und daher auf großes Interesse aus der Industrie gestoßen ist. Es verkürzt die Prüfdauer um mehr als das Tausendfache im Vergleich zu bisherigen Standardprüfmethoden. Sie erzeugen direkt mechanische Spannung an der Verbindungsstelle und können damit 20.000 Ein- und Ausschaltzyklen in der Sekunde si-

mulieren. Die Forscher arbeiten dabei eng mit verschiedenen Unternehmen zusammen, darunter Siemens und Infineon. Sie erhielten 2009 den Dr.-Wolfgang-Houska-Preis für innovative Zusammenarbeit zwischen Wirtschaft und Wissenschaft in Österreich. Nun konnte ein K-Projekt im Rahmen des Comet-Programms an Land gezogen werden. Es heißt „micromat“ und ist mit 1,28 Millionen Euro dotiert.

Grundlagen und Anwendung.

„Im Rahmen des K-Projekts wollen wir auch kleinere Bauteile testen, bis zu 20 Mikrometer, im Gegensatz zu 400 wie bisher“, so Khatibi. Die Forscher wollen also ihre Messmethode weiterentwickeln, damit die Methode auf breiter Basis einsetzbar wird und bestehende, teure und zeitaufwendige Verfahren ersetzen kann. Daneben soll aber auch in die materialwissenschaftliche Grundlagenforschung wie das Erforschen von Grenzflächen investiert werden. Khatibis Gruppe beschäftigt sich also

sowohl mit stark anwendungsorientierten Entwicklungen als auch mit den Grundlagen der Materialwissenschaft. „Ohne Grundlagenforschung geht es nicht“, stellt Khatibi fest, auch im Hinblick auf gewisse Ideen zu einer Verschiebung der Mittel in Richtung angewandte Forschung. Immer mehr Bereiche des täglichen Lebens werden mit elektronischen „Helfern“ ausgestattet. Besondere Relevanz bekommen solche Fragen der Verlässlichkeit von Elektronikkomponenten derzeit etwa in der Automobilindustrie.

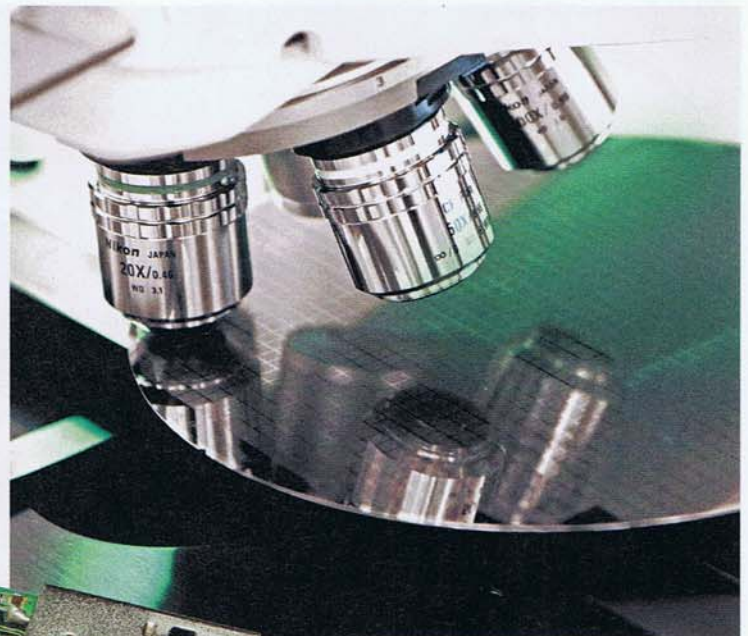
Fahrerassistenz. Neben ABS kommen immer mehr neue Fahrerassistenzsysteme zum Einsatz, um die Sicherheit zu erhöhen (etwa erwartete 25 bis 35 Prozent Verringerung der Unfallzahlen mit schwerem Personenschaden bei Pkw durch ESP). Derzeit sind diese Systeme teilautonom – der Fahrer behält die Kontrolle. Ein Argument dafür ist die Frage nach der Verlässlichkeit dieser Systeme. >>

TRANSISTOREN

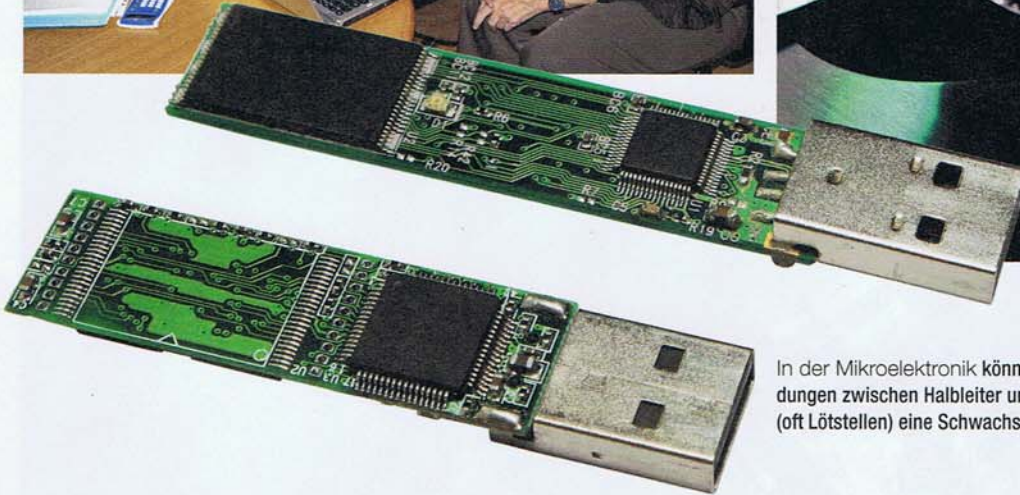
MINIATUREN. Transistoren sind Bestandteil elektronischer Schaltungen, die – ohne selbst Bewegung auszuführen – Signale verstärken oder schalten. In der Computertechnik boomten seit den 1960ern Transistoren als Grundlage der Prozessoren, die dann nicht mehr die Größe eines Wandschranks einnahmen, sondern eine rasante Miniaturisierung erfuhren: Transistoren im Mikrometerbereich ermöglichten Mikroprozessoren.

1971 bestand ein Intel 4004-Prozessor noch aus 2300 Transistoren. 2009 beinhaltet ein Grafikprozessor von ATI 2,154 Millionen Transistoren. Heute sind Transistoren mit 45 Nanometer 2000-mal dünner als ein Haar. Halbleiter für Transistoren stehen – für weitere Verkleinerungen – im Fokus der Forschung.

Schneller, kleiner. Frühere Generationen konnten Computer in Zimmergröße, heute nutzt jeder Notebooks und kleinere Geräte.



Grundplatte. Das waffelartige Substrat der Halbleiter in Mikrochips (Wafer) wird im Labor geprüft.



In der Mikroelektronik können Verbindungen zwischen Halbleiter und Metallen (oft Lötstellen) eine Schwachstelle sein.

KOMPETENZZENTREN

DAS COMET-PROGRAMM, das vom Infrastruktur- und Wirtschaftsministerium gemeinsam getragen wird, ist nun vollzählig: Nachdem fünf große K2-Zentren und 16 K1-Zentren eingerichtet wurden, wurde nun 15 neue K-Projekte – die kleinsten Projekte im neuen Kompetenzzentrenprogramm – genehmigt. Damit steigt die Zahl der K-Projekte auf insgesamt 25.

SEIT 2006. Comet („Competence Centers for Excellent Technologies“) ist der Nachfolger der früheren Programme K-plus, K_ind und K_net. 37 der 46 Kompetenzzentren, die sich im letzten Jahrzehnt gebildet haben, werden nun in neuer Form weitergeführt, teilweise in anderer Konstellation. Zusätzlich haben sich neue Konsortien gebildet. Comet wurde 2006 ins Leben gerufen und von der Forschungsförderungsgesellschaft (FFG) abgewickelt. Vom Bund kommen rund 500 Millionen Förderungen, noch einmal so viel zahlen die Bundesländer und die beteiligten Unternehmen.

» Im Christian-Doppler-Labor für Zuverlässigkeitsprobleme in der Mikroelektronik an der TU Wien beschäftigt man sich vor allem mit den neuen Herausforderungen, die sich durch fortschreitende Miniaturisierung bei Computerchips ergeben.

Nanotransistoren. Aktuell liegt das Limit der besten Prozessoren, die im Handel erhältlich sind, bei 45 Nanometer für die Länge der Transistoren. Zum Vergleich: Ein menschliches Haar ist etwa 2000-mal dicker. Diesen Bereich hat man technologisch gut im Griff. Werden die Strukturen noch kleiner, dann werden die Probleme aber komplexer. Nebeneffekte nehmen überhand. Diese sind zwar bekannt, sie waren bisher aber unbedeutend klein.

Etwa jener der „Elektromigration“. Bei gewöhnlichen Kabeln hinterlässt der Fluss der Elektronen beim elektrischen Strom keine Spuren, außer eine Erwärmung. In Wirklichkeit werden aber von Zeit zu Zeit einzelne Ionen des Metallgitters mitgerissen. Das ist seit über 100 Jahren bekannt. Bei sehr kleinen Leiterbahnen hat der Effekt gravierende Folgen: Der Leiter wird langsam abgetragen und früher oder später bricht der Kontakt ab. Ebenso problematisch ist die „Stressmigration“. Hier sind me-

chanische Spannungen für eine Veränderung des Materials verantwortlich.

Einer der wichtigsten Effekte in diesem Zusammenhang ist die sogenannte „Negative Bias Temperature Instability“ in Transistoren, die zum Teil durch erhöhte Temperatur ver-

Einsatz der Schrödinger-Gleichung oder der Wigner-Gleichung. Auch ohne Quantencomputer gewinnt die Quantenwelt so an Relevanz für die Entwicklung von neuen Computern.

Die Simulation der Quanteneffekte ist aufwendig. Erst die rasante Entwicklung der Rechenleistung moderner Computer erlaubt es, auch solche Effekte zu betrachten. Das neue CD-Labor wurde Ende 2009 bewilligt, Partner aus der Industrie sind die Halbleiterhersteller Infineon Österreich und Austriamicrosystems.

Zufallsentdeckung. Für die nächste Stufe der Miniaturisierung wird es neue Materialien brauchen: Halbleiter kommen langsam, aber sicher an ihre Grenzen. Die nächste Evolutionsstufe könnten winzige Röhren aus Kohlenstoff sein, zwischen einem und 50 Nanometer dick. Diese Multitalente wurden erst 1991 durch Zufall entdeckt und lassen sich nicht nur als Leitungen, sondern auch wie ein Transistor nutzen. Außerdem könnten sie als Speichermedium dienen. Verschiedene Herstellungsverfahren sind inzwischen ausgereift. Um die mikroskopischen Röhren zu Prozessoren und Speicherchips zu verarbeiten, wird aber noch einiges an Forschung nötig sein. ■

Simulationen werden durch Miniaturisierung immer aufwendiger.

ursacht wird und die Arbeitsweise des Transistors beeinträchtigt. Dieser Effekt widersetzt sich auch nach vierzig Jahren Forschung den Bemühungen der Wissenschaftler und lässt sich bisher nicht mit ausreichender Genauigkeit simulieren.

Nicht nur die Verschleißeffekte werden komplizierter, auch ihre Simulation wird durch Miniaturisierung aufwendiger. So kommen kommerzielle Simulationswerkzeuge an ihre Grenzen. Quanteneffekte werden relevant und verlangen den