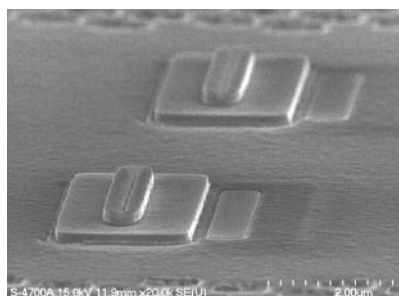


## Si-Transistor mit 350 GHz

IBM hat den derzeit schnellsten Silizium-basierten Transistor entwickelt.<sup>1)</sup> Er soll eine Schaltgeschwindigkeit von bis zu 350 GHz erreichen. Das entspricht in etwa der dreifachen Leistung eines Transistors in einem heute kommerziell erhältlichen PC. Im Vergleich zu anderen bisher vorgestellte Silizium-basierten Hochleistungstransistoren ist er bis zu 65 % schneller.

Die Geschwindigkeit eines Transistors wird in erster Linie durch die Zeitspanne bestimmt, die die Elektronen benötigen, um durch ihn hindurchzufließen. Diese Durchgangszeit wiederum hängt von zwei Faktoren ab: einerseits von der Größe der Strukturen, andererseits aber auch vom Material. Beides hat IBM optimiert, um den Geschwindigkeitsrekord zu brechen. Beim Material setzen die Entwickler auf Silizium-Germanium, das sich besonders für Chips eignet, auf denen logische Schaltkreise und



**IBM hat den schnellsten Silizium-basierten Transistor entwickelt. Er hat eine Schaltgeschwindigkeit von 350 GHz. Solche hier in der Draufsicht zu sehenden SiGe-Transistoren sollen schon in zwei Jahren in Chips für den Kommunikationsbereich zum Einsatz kommen. (Quelle: IBM)**

Komponenten zur drahtlosen Kommunikation kombiniert werden sollen. Als Transistor-Design verwenden die IBM-Forscher den so genannten Bipolar-Transistor. Bei diesem fließen die Elektronen nicht wie beim üblichen CMOS-Transistor horizontal durch den Transistor, sondern vertikal, also senkrecht zur Chipoberfläche. Dies hat den Vorteil, dass sich die Strecke im Transistor allein durch eine Reduzierung der Strukturhöhe verkürzen lässt. Und das geht einfacher als bei den flächigen Transistoren, deren minimale Strukturgrößen lithographisch begrenzt sind. Als weiteres Ergebnis der Optimierung hat der neue Transistor auch einen besonders geringen Energieverbrauch.

IBM erwartet, dass dieser neue Transistortyp sich schon in rund zwei Jahren für Chips im Kommunikationsbereich einsetzen lässt. In den ersten kommerziellen Produkten soll er dann mit einer Taktrate von mehr als 150 GHz arbeiten. Weitere Details will IBM auf dem *International Electron Devices Meeting* Anfang Dezember in San Francisco präsentieren.<sup>2)</sup>

## Silizium-basierte LED bricht Rekord

Der Halbleiter Silizium ist das Material der Wahl für viele elektronische Bauteile. Doch für optische Anwendungen, z. B. für Licht emittierende Dioden (LEDs), war es wegen seiner unpassenden Bandlücke bislang nicht oder nur sehr schlecht geeignet. Forscher der Firma STMicroelectronics (ST) haben jetzt die Lichtemissionseffizienz einer Silizium-basierten LED um den Faktor hundert verbessert, sodass dieser Wert nun mit herkömmlichen LED-Halbleitermaterialien wie Gallium-Arsenid (GaAs) vergleichbar ist.<sup>3)</sup> Das neue Material lässt es erstmals zu, optische und elektronische Elemente gleichzeitig auf ein und demselben Silizium-Chip zu platzieren.

Durch geschicktes Einbetten von Silizium-Nanokristallen in ein Siliziumdioxid-Substrat und durch gezieltes Dotieren mit Selten-Erd-Metallen wie Erbium und Cer haben die Forscher erreicht, dass eine LED aus diesem Material mit einer Wellenlänge von 1540 nm eine Effizienz von 10 % erreicht. Bisher hatten selbst aufwändige Silizium-basierte LEDs üblicherweise nur Effizienzen von 0,01–0,1 %. Den bisherigen Rekord – mit einer Effizienz von 1 % – hielten Wissenschaftler der University of New South Wales, die diesen Wert letztes Jahr mit Techniken aus der Solarzellenentwicklung erreicht haben.

Die eingebetteten Nanokristalle, die einen Durchmesser von 1–2 nm besitzen, werden durch eine Laser-induzierte Pyrolyse aus Silanen hergestellt, d. h. durch Zersetzung von Siliziumverbindungen bei hohen Temperaturen unter Sauerstoffausschluss. Durch Rekombination von Elektron-Loch-Paaren in diesen Nanokristallen werden die Selten-Erd-Ionen angeregt und können so Photonen emittieren. Dabei hängt

die Wellenlänge des ausgesendeten Lichts von der Wahl der Seltenen Erden ab, mit denen die Matrix dotiert wurde. Der Aufbau solcher LED-Strukturen ist problemlos in die heute üblichen Prozessabläufe einzubinden.

Das jetzt mögliche Kombinieren von optischen und elektronischen Komponenten auf einem Chip lässt es z. B. zu, neue Leistungsregler zu bauen, bei denen der Kontroll-Schaltkreis elektrisch vom leistungsschaltenden Transistorschaltkreis getrennt ist. Externe Bauteile wie Relais, Trafos oder diskrete Optokoppler werden somit überflüssig. ST hat sich inzwischen eine Chipstruktur aus zwei durch isolierendes Siliziumoxid voneinander getrennten Schaltkreisen patentieren lassen, die durch integrierte LEDs und Detektoren optisch miteinander kommunizieren können. Erste Prototypen z. B. zur Steuerung von Motoren oder zur Stromversorgung werden derzeit entwickelt. Langfristig will ST die neue Technologie auch in der Glasfaser-Kommunikation einsetzen, z. B. zur optischen Übermittlung von Zeitsignalen innerhalb eines Chips, der optische Datenübertragungssysteme kontrolliert.

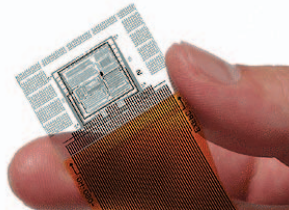
## Computer auf Glas?

Der Traum vom Computer, der praktisch direkt auf das Display aufgebracht wird, scheint wahr werden zu können – allerdings nicht gleich morgen. Der Firma Sharp ist es jetzt zusammen mit dem Semiconductor Energy Laboratory (SEL) gelungen, einen Mikroprozessor direkt auf ein Glassubstrat aufzubringen.<sup>4)</sup> Möglich macht dies eine seit 1998 von beiden Firmen entwickelte so genannte *Continuous-Grain-Silicon*-Technologie (CGS).

Mithilfe dieser Technologie lassen sich digitale logische Schaltungen, z. B. die LCD-Treiberelektronik oder Signal-verarbeitende Schaltkreise, aus polykristallinem Silizium herstellen und direkt auf das Glassubstrat eines Flüssigkristalldisplays (LCDs) aufbringen. An den Korngrenzen der Siliziumkristalle sorgt die CGS-Technologie für kontinuierliche Übergänge auf atomarer Ebene. Dadurch können Elektronen rund 600-mal schneller durch den Halbleiter fließen als durch herkömmliches amorphes Si-

luzium und rund drei mal schneller als durch normales polykristallines Silizium bei tiefen Temperaturen.

Bei dem kürzlich aufgedruckten Mikroprozessor handelt es sich um einen Z80-Prozessor, wie er seit 1976 für 8-bit-PCs hergestellt wurde. Er enthält gerade einmal 13000 Transistoren. Ein moderner Penti-



**Forschern von Sharp und des Semiconductor Energy Laboratory in Japan ist es gelungen, einen 8-bit-Prozessor (Z80), wie er Ende der 70er Jahre entwickelt wurde, auf ein Glassubstrat zu drucken. Bis jedoch eine moderne CPU z. B. auf das Glassubstrat eines Flüssigkristalldisplays gedruckt werden kann, wird es wohl noch etwas dauern. (Quelle: Sharp)**

um-4-Prozessor besteht dagegen aus rund 55 Millionen Transistoren. Die Leistung der CGS-Technologie ist also von der heutigen Silizium-Technologie, die ja auf einkristallinen Si-Wafern basiert, noch weit entfernt. Dennoch will Sharp schon in drei bis vier Jahren rund 2,4 Milliarden US-Dollar mit CGS-Produkten umsetzen.

## Blaue Laser leben länger

Die nächste DVD-Generation benötigt blaue Laserdioden. Verglichen mit den bisher verwendeten roten Laserdioden erlaubt die kürzere Wellenlänge, feinere Strukturen und damit höhere Datendichten auszulernen. Bisher verkauft nur die japanische Firma Nichia blaue Laserdioden mit einer Lebensdauer von rund 10000 Stunden. Ein deutsches Forschungskonsortium ist derzeit auf bestem Wege, Ähnliches zu erreichen: Im letzten Jahr stellte es Europas erste blaue Laserdiode vor – allerdings nur mit einer kontinuierlichen Betriebsdauer von rund zwei Minuten.<sup>5)</sup> Danach zerstörte sich das Bauteil durch thermische Aufheizung. Innerhalb eines Jahres gelang es dem Konsortium jedoch, die Betriebsdauer auf 143 Stunden zu erhöhen.<sup>6)</sup> Die beteiligten Partner – Osram Opto Semiconductors, das Fraunhofer Institut für Angewandte Festkörperphysik sowie die Universitäten Braunschweig, Re-

gensburg, Stuttgart und Ulm – sind daher zuversichtlich, ihre GaN-basierte blaue Laserdiode bald bis zur kommerziellen Anwendung weiterentwickelt zu haben.

Verantwortlich für die längere Lebensdauer ist die bessere Qualität der einkristallinen Gallium-Nitrid-Schichten (GaN). Statt wie bisher auf Saphir-Substrate bringen die Forscher diese inzwischen mithilfe der metallorganischen Gasphasenepitaxie auf Silizium-Karbid-Substrate (SiC) auf. Das hat gleich zwei Vorteile: Erstens passt die Gitterkonstante dieses Substrats besser zu der von GaN und zweitens hat SiC eine höhere Wärmeleitfähigkeit als Saphir. Dadurch kann die Wärme besser abgeführt werden und eine Überhitzung der Diode wird verhindert. Zusätzlich ließ sich die Betriebsspannung durch neue Kontaktverfahren von 16 V auf 8 V halbieren. Auch die Chip-Technologie wurde optimiert und speziell auf das Materialsystem angepasst. Eine laterale optische Wellenführung und äußerst glatte Laserspiegel erlauben es, den Betriebsstrom auf 96 mA zu verringern. Die optische Ausgangsleistung liegt derzeit bei 1 mW.

Die Forscher sind überzeugt, dass in der Epitaxie, Chiptechnologie und Montage noch Potenzial vorhanden ist, um Betriebsstrom und -spannung weiter zu reduzieren. Darüber hinaus muss die Zahl der Defekte noch reduziert werden, die aus dem unterschiedlichen Abstand der Kristallgitteratome von SiC-Substrat und den Schichten der Laserstruktur resultieren. Bis Juli 2004 soll dann der erste blaue Laser-Prototyp mit der gewünschten Betriebsdauer entwickelt sein. Etwa ein Jahr später rechnen die beteiligten Partner mit einem marktfähigen Produkt. Hauptsächlich optische Speichermedien wie DVD oder Minidisk, aber auch Beamer oder Laser-TV werden davon profitieren. Auch in Druckern können blaue Laser bisherige Lichtquellen ersetzen und für höhere Auflösung sorgen.

HOLGER KOCK

1) [www.ibm.com/chips](http://www.ibm.com/chips)

2) [www.his.com/~iedm](http://www.his.com/~iedm)

3) <http://eu.st.com>

4) <http://sharp-world.com>

5) Phys. Bl., Oktober 2001, S. 14

6) [www.osram-os.de](http://www.osram-os.de)