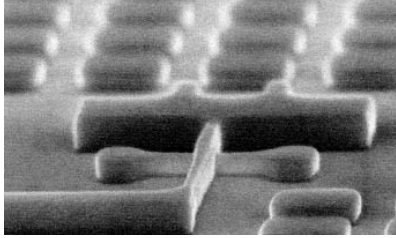


Tri-Gate-Transistoren für bessere Prozessoren?

Um die Rechenleistung von Prozessoren bei gleichbleibender Bauteilgröße zu verbessern, erhöhen Chiphersteller kontinuierlich die Zahl der Transistoren pro Fläche. Bei den seit 1960 üblichen flächigen



Intel-Forscher haben einen neuen dreidimensionalen Transistor-Typ vorgestellt. Der so genannte Tri-Gate-Transistor soll eine um 20 % bessere Performance aufweisen als flache Transistoren mit vergleichbarer Gatelänge. (Quelle: Intel)

Transistoren führt dies dazu, dass die planaren Strukturen immer feiner werden müssen. Heutige Chips haben Strukturbreiten von gerade mal 130 nm, und in Prototypen werden bereits 90-nm-Strukturen eingesetzt. Doch spätestens nach der übernächsten Strukturgrößengeneration von 65 nm werden beim planaren Transistortyp leistungsmindernde Kurzkanaleffekte zum Tragen kommen. Diese treten auf, wenn die Steuerelektrode (Gate) zu kurz wird und die Größenordnung der Source- und Drain-Gebiete erreicht.¹⁾ Viele Forschungslabors weltweit arbeiten daher an neuen Transistortypen, die kürzere Gate-längen ohne störende Leistungseinbußen zulassen. Eine möglicher Ansatz sind z. B. so genannte Double-Gate-Transistoren, wie sie bei IBM¹⁾ oder AMD entwickelt werden. Auf der International Conference on Solid State Devices and Materials in Japan haben Forscher der Firma Intel jetzt einen so genannten Tri-Gate-Transistor vorgestellt, der sich noch kleiner bauen und zudem dreidimensional stapeln lässt.^{2,3)}

Der Tri-Gate-Transistor nutzt eine dreidimensionale Struktur: Ein Quader dient als Gate-Elektrode. Dabei fließt der Strom nicht nur entlang der oberen Ebene, sondern auch entlang der beiden Seiten. Eine solche dreidimensionale Konstruktion weist im Sperrzustand niedrigere Leckströme und im leitenden Zustand geringere Durchlasswiderstände auf als ihre flächigen Verwandten. Durch den dreidimensionalen Aufbau und die drei Gate-Elektroden steht dem Strom beim Fluss durch den Transistor ein größeres Leitervolumen zur Verfügung, sodass bei vergleichbarer Gate-Länge sich um rund 20 % größere Steuerströme einstellen als bei den heute üblichen flächigen Transistoren. Das beschleunigt den Einschaltvorgang und erlaubt höhere

Taktfrequenzen. Ob solche Tri-Gate-Transistoren allerdings wirklich eines Tages die planare Bauformen ablösen werden, ist in diesem Entwicklungsstadium noch nicht vorherzusagen. Auch die herkömmliche Fertigungstechnik entwickelt sich kontinuierlich weiter.

Neuer Zufallszahlengenerator arbeitet optisch

Moderne Kryptographieverfahren, aber auch viele andere Computer-Anwendungen wie z. B. die Simulation von thermischen Fluktuation, benötigen Zufallszahlen. Diese müssen durch einen Zufallszahlengenerator (RNG, *random number generator*) erzeugt werden. In der Regel geschieht dies deterministisch aus einer in den Computer eingespeisten Anfangszahl – ein Verfahren das auch pseudo-RNG (pRNG) genannt wird. Doch so gut diese pRNGs inzwischen sind, gerade für die Kryptographie bleibt es weiterhin unbefriedigend, dass die erzeugte zufällige Zahlenreihe bei bekannter Anfangszahl reproduzierbar ist. Um dies zu vermeiden, haben Forscher der Kent State University, Ohio, nun einen optischen Zufallszahlengenerator vorgestellt, der chaotische Fluktuation in einem Flüssigkristall zur Erzeugung zufälliger Zahlenreihen ausnutzt.⁴⁾

Um „echte“ Zufallszahlen zu erzeugen, wurden bislang nicht vorhersagbare physikalische Prozesse verwendet, wie z. B. das Rauschen eines Widerstandes oder die Zeitspanne zwischen zwei radioaktiven Zerfällen. Das sind sehr sichere, aber auch relativ aufwändige RNGs. Der neue optische Zufallszahlengenerator ist dagegen vergleichsweise einfach aufgebaut und genauso sicher. Er nutzt aus, dass sich die Intensität eines Laserstrahl mithilfe eines turbulenten Flüssigkristalls chaotisch modulieren lässt.

Zu diesem Zweck wird eine 23,5 μm dünne Flüssigkristallschicht zwischen zwei durchsichtige $5 \times 5 \text{ mm}^2$ große Indium-Zinn-Oxid-Elektroden eingebettet, sodass sich durch unterschiedliche Spannungsamplituden bzw. -frequenzen im Kristall turbulente Strömungen erzeugen lassen. Da Flüssigkristalle doppelbrechend sind, also die Wechselwirkung mit Licht vom Winkel abhängt, den die Polarisationsrichtung des Lichts mit der Molekülachse bildet, wird die Trans-

mission eines auftreffenden Laserstrahls durch die chaotische Bewegung zufällig beeinflusst. Die transmittierte Intensität lässt sich dann durch einen Photodetektor messen und in eine Folge wirklich zufälliger Zufallszahlen umwandeln.

Ein Problem dieses optischen RNGs gegenüber pRNGs ist jedoch die Erzeugungsrate: Per Rechner lassen sich Zufallszahlen wesentlich schneller erzeugen. Daher ist es sinnvoll, den optischen RNG mit einem pRNG zu kombinieren: Der optische Zufallszahlengenerator könnte Zahlen erzeugen, die sich dann als Anfangszahlen für einen pRNG nutzen ließen. Da das zentrale Flüssigkristallelement einfacher herzustellen sei als das einer Digitalarmbanduhr für zwei Euro, glauben die Forscher, dass einer großtechnischen Herstellung optischer RNGs nichts im Wege steht.

Durchbruch bei molekularen Speichern?

Um die Speicherdichte zu erhöhen, wird in zahlreiche Forschungslabors versucht, Bits auf molekularer oder sogar atomarer Ebene zu speichern. Forscher von Hewlett-Packard (HP) haben nun mit einem molekularen Speicher die bisher höchste Speicherdichte eines elektronisch adressierbaren Bauteils realisiert.⁵⁾ Sie soll zehnmal größer sein als bei gängigen Silizium-Speichern. Dies haben HP-Forscher im September auf einem Symposium zum 175-jährigen Bestehen des Royal Institute of Technology in Stockholm mitgeteilt.⁶⁾ Der 64-Bit-Speicher arbeitet mit molekularen Schaltern und hat eine Fläche von rund einem Quadratmikrometer.

Die Entwickler stellen das Bauteil mithilfe einer Druckform her, die aus acht 40-nm-breiten parallelen Stegen besteht. Diese Struktur pressen sie in eine Polymerschicht, die auf einem Silizium-Wafer aufgebracht ist. Dadurch entstehen Gräben, die die Forscher mit Platin füllen, sodass sich acht Drähte ausbilden. Darüber wird eine Monolage aus elektronisch schaltbaren Molekülen aufgetragen und zum Schluss die Probe um 90 Grad gedreht, um senkrecht zu den bisherigen Platindrähten wieder acht Drähte auf die Molekülschicht aufzubringen (Abb. a). Das Ergebnis sind 64 Kreuzungspunkte der unteren und oberen Drähte. Ein Bit be-

1) Physik Journal, Februar 2002, S. 14

2) <http://ssdm.bcasj.or.jp/>

3) www.intel.com/pressroom/archive/releases/20020919tech.htm

4) J. T. Gleason, Appl. Phys. Lett. 81, 1949

5) www.hp.com/hpinfo/newsroom/press/09sep02a.htm

6) www.kth.se/alumni/hemkomstdagen/program/seminarium/nanomtrl.html

7) J. C. Johnson et al., Nature Materials 1, 106

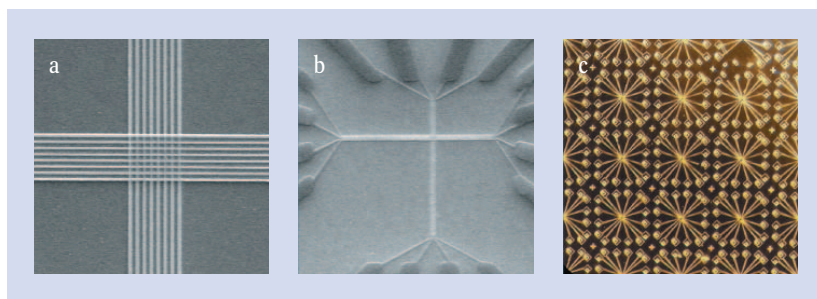
steht nun aus den rund 1000 Molekülen, die sich zwischen dem unterem und oberem Draht an der Kreuzungsstelle befinden. Um nun ein Bit zu schreiben, schicken die Forscher einen starken Spannungspuls über die kontaktierten Platindrähte. Dadurch wird der elektrische Widerstand an einem Kreuzungspunkt in der Molekülschicht um den Faktor 10 000 verändert (Abb. b). Auslesen lässt sich das Bit wieder durch eine relativ schwache Spannung, die den Widerstand des jeweiligen Speicherbits nicht verändert. Dieser molekulare Speicher ist wie die heute üblichen DRAMs (Dynamic Random Access Memory) wieder beschreibbar; die gespeicherte Information bleibt jedoch auch ohne Spannungsversorgung langfristig erhalten, so wie bei den bald auf dem Markt erscheinenden MRAMs (Magnetic Random Access Memory).

Speicherkapazität und Leistung dieses ersten Prototyps lassen sich,

im Mikroliter-Maßstab (*lab-on-a-chip*) oder für neuartige Datenspeicher mit extrem hoher Dichte. Forscher der University of California (Berkeley) und des Lawrence Berkeley National Laboratory haben nun zum ersten Mal beobachtet, dass 100-nm-dünne Galliumnitrid-Nanodrähte (GaN) Laserlicht emittieren können.⁷⁾

Der Halbleiter GaN ist wegen seiner großen Bandlücke das Material der Wahl für alle UV-Licht-emittierenden Leucht- bzw. Laserdioden. Die Emission aus Nanodraht-Strukturen war bislang jedoch noch nicht geglückt. Dank Fortschritten in der Mikrofabrikation wurden jetzt Emissionen sowohl aus GaN-Nanodrähten als auch aus dünnen GaN-Filmen beobachtet.

Um die Emission von Laserlicht anzuregen, wird der GaN-Nanodraht optisch mit Wellenlängen von 290–400 nm gepumpt. Dadurch wird ein Plasma aus Löchern und Elektronen erzeugt, die über die



Hewlett-Packard hat mit einem molekularen Speicher die bisher höchste Speicherdichte eines elektronisch adressierbaren Datenspeichers erreicht. ▶ a) Zwischen jeweils acht sich senkrecht kreuzenden 40-nm-dünnen Platindrähten befindet sich eine Monolage aus schaltbaren Molekülen. ▶ b) Der elektrische

Widerstand der Molekülschicht am Kreuzungspunkt zweier senkrecht zueinander verlaufenden Drähte lässt sich durch einen relativ starken Spannungspuls verändern. ▶ c) Insgesamt 625 solcher 64-Bit-Speicher wurden bereits in ein einziges Bauteil integriert. (Quelle: HP)

so HP, noch enorm steigern, indem molekular-schaltende Bauteile direkt in Silizium-Chips integriert werden. Eine Druckform für 625 miteinander verknüpfte 64-Bit-Speicher lässt sich derzeit in rund einem Tag herstellen; ein Abdruck davon dauert dann nur wenige Minuten. Neben den reinen Speichereigenschaften haben die Forscher auch schon gezeigt, dass sich molekulare Logik und molekularer Speicher in einen einzigen Schaltkreis integrieren lassen (Abb. c).

Erster GaN-Nanodraht-Laser

Für viele potenzielle Anwendungen wären winzige Laserlichtquellen interessant, z. B. für die Laboranalyse

Bandlücke rekombinieren können, sodass Photonen mit Wellenlängen zwischen 360 und 400 nm emittiert werden. Der Nanodraht selbst dient dabei als optischer Resonator. Die Enden des Drahtes fungieren als Spiegel und sorgen für die notwendige Rückkopplung.

Wenn die Anregungsenergie zunimmt, sehen die Forscher eine deutliche Rotverschiebung bei den emittierten Wellenlängen. Daher glauben sie, dass bei Zimmertemperatur hauptsächlich der Elektron-Loch-Plasma-Mechanismus für die Verstärkung verantwortlich ist. Ziel ist es nun, eine elektronisch gepumpte Version des Lasers zu entwickeln – eine echte Nanodraht-Laserdiode.

HOLGER KOCK