

Die Miniaturisierung elektronischer Bauteile nähert sich den Grenzen des Machbaren. IBM Research verlässt darum die ausgetretenen Pfade und entwickelt Schaltelemente für zukünftige Prozessoren. Die neue Technologie basiert auf Drähten mit einem Durchmesser von wenigen Nanometern.

Von Zwergenhaar und Elektronen im Tunnel

Von Beat Glogger

Das Bild sieht aus wie die Nahaufnahme eines Dreitagebarts. Eine neben der anderen spriessen die Stoppeln aus der Oberfläche. „Stimmt“, sagt Heike Riel von IBM Research. „Tatsächlich sind diese ‚Haare‘ aus der Oberfläche gewachsen.“ Aber es wäre der Bart eines winzigen Zwergs. Denn die Aufnahme ist ein Blick in die Nanowelt. Gerade mal einen Mikrometer kurz und 50 Nanometer dünn sind diese „Zwergenhaare“. Aber sie könnten das Kernstück einer zukunftsweisenden Technologie sein. Einer Technologie, welche die Welt der Elektronik nachhaltig verändern wird, wenn es nach dem Willen der Forscherin geht, die bei IBM Research die Gruppe Nanoscale Electronics leitet.

Seit der Erfindung der elektronischen Schaltkreise vor 50 Jahren werden diese immer kleiner – und immer schneller, erklärt Heike Riel. Alle zwei Jahre verdoppelt sich die Anzahl der pro Chipfläche integrierten Transistoren. Ein Standardprozessor von der Grösse eines Fingernagels enthält heute über eine Milliarde dieser Grundbausteine. „Zwar lässt sich die Miniaturisierung weiter fortsetzen, doch die Betriebsspannung zum An- und Ausschalten der Transistoren bleibt mittlerweile nahezu unverändert bei einem Volt und

kann durch einfache Skalierung kaum mehr verringert werden“, sagt die Forscherin. Ein Mehr an Rechenleistung ist somit verbunden mit höherem Energieverbrauch und Kühlaufwand. Das ist jedoch nicht vertretbar. Darum benötigt die Miniaturisierung der Technologie neue Ideen.

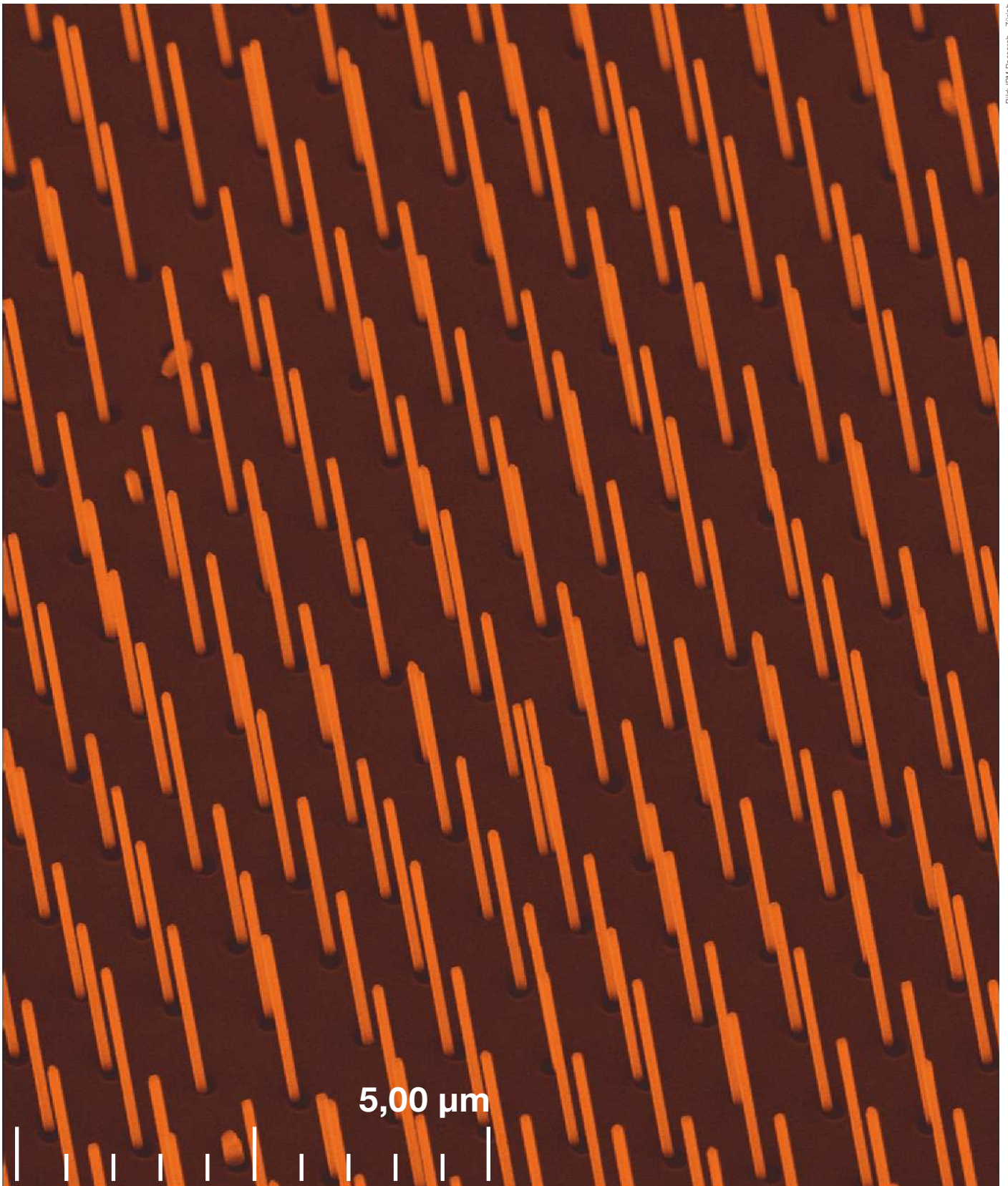
„Ein Problem sind die heutigen, planaren Transistoren“, sagt IBM Forscherin Riel. Im Prinzip funktioniert ein Transistor wie ein Wasserhahn: Er schaltet den Stromfluss ein oder aus. Und er besteht im Wesentlichen aus einem Kanal und drei Elektroden: Der Strom fliesst von einer Elektrode (Source) zur zweiten (Drain). Die dritte (Gate) regelt den Fluss – vergleichbar mit dem Schieber, der den Wasserstrahl öffnet und unterbricht. Dieses On und Off des Elektronenflusses entspricht der digitalen Null und Eins. Und dieses Ein- und Ausschalten braucht Energie.

Kleiner geht nicht

In einem Transistor der neusten Generation hat die Gate-Elektrode nur noch eine Länge von weniger als 30 Nanometern. Und die Dicke der isolierenden Schicht zwischen dem Kanal und der Gate-Elektrode liegt mittlerweile bei knapp einem

Nanometer. Das sind noch circa fünf Atome. „Die Dimensionen sind so klein geworden, dass die Gate-Elektrode den Transistor nicht mehr präzise kontrollieren kann“, erläutert Heike Riel. Darum fliessen auch bei geschlossenem Gate noch Leckströme. „Wie bei einem Wasserhahn, der tropft“, vergleicht die Physikerin. Das führt dazu, dass der Transistor selbst im ausgeschalteten Zustand Energie verbraucht. Er heizt sich unnötig auf und muss gekühlt werden. Darum haben sich Riel und ihre Gruppe zum Ziel gesetzt, einen völlig neuen Typ von Transistor zu entwickeln, der noch kleiner, noch schneller und erst noch energiesparender ist als alles, was es heute gibt.

„Das wollen wir mit zwei Strategien erreichen“, führt die Forscherin aus, die schon einmal in ihrer Karriere mit einer aufsehenerregenden Entwicklung für Schlagzeilen gesorgt hat. Erst 32 Jahre alt war sie, als sie zusammen mit ihren Kollegen im Jahr 2003 den bis dahin grössten Bildschirm präsentierte, mit 20 Zoll Bildhöhe, bestehend aus organischen Leuchtdioden (OLED) und getrieben von amorphen Siliziumtransistoren. Und prompt wurde sie dafür von der Schweizerischen Physikalischen Gesellschaft mit dem Preis für Angewandte →



5,00 μm

Das Rasterelektronenmikroskop zeigt auf, was für das menschliche Auge nicht mehr sichtbar ist: Nanodrähte, rund 1000-mal dünner als der Durchmesser eines menschlichen Haares. Heike Riel und ihre Forschungsgruppe bei IBM Research – Zürich entwickeln auf der Basis solcher Nanodrähte neuartige energieeffiziente Transistoren für die Computerprozessoren der Zukunft.

„Es ist, wie wenn ich einen Wasserstrahl von allen Seiten her zusammenschneure. Das unterbricht den Strahl effizienter im Vergleich zu einem Schieber, der nur auf einer Seite wirklich sauber schliesst. Der neue Hahn tropft nicht mehr.“

Heike Riel
IBM Research – Zürich

Physik ausgezeichnet. Der erste Trick, den die Forscher für ihre neuen Transistoren erdacht haben, besteht in einer völlig neuen Geometrie.

Neue Geometrie, neue Materialien

„Sie sehen aus wie Drähte“, sagt die Physikerin und zeigt auf das Bild mit den zwerghaften Bartstoppeln. Der Vorteil der Nanodrähte besteht darin, dass die Gate-Elektrode diese ringförmig umschliessen kann und sich so der Stromfluss im Draht optimal regeln lässt. „Es ist, wie wenn ich einen Wasserstrahl von allen Seiten her zusammenschneure. Das unterbricht den Strahl effizienter im Vergleich zu einem Schieber, der nur auf einer Seite wirklich sauber schliesst“, vergleicht sie. So sollen die Leckströme stark reduziert werden, sodass der Stromverbrauch im Standby-Modus nahezu gegen null sinkt. „Der neue Hahn tropft nicht mehr“, lächelt Heike Riel.

Aber solche Bauelemente sind nicht aus dem herkömmlichen Halbleitermaterial Silizium herzustellen. Riels neue Nanodrähte bestehen aus Indiumarsenid. Und deren Herstellung gleicht einem Wachstumsprozess: Atom für Atom wachsen sie aus der Gasphase auf einer Siliziumoberfläche zu besagten „Bartstoppeln“ heran.

In diesen Materialien bewegen sich die Elektronen schneller als in Silizium. Aber noch wichtiger ist der Umstand, dass an den kleinen Kontaktflächen zwischen den Materialien quantenmechanische Effekte auftreten können, die für einen Physikalien kaum nachzuvollziehen sind, für die Heike Riel aber einen anschaulichen Vergleich hat: „In einem normalen Halbleiter braucht es eine gewisse Aktivierungsenergie, um Elektronen von der Source in den Drain zu leiten. Es ist, als müssten sie einen Berg überwinden. Dank der quantenmechanischen Effekten in unseren neuen Materialien brauchen die Elektronen nicht über den Berg zu gehen, sondern können sozusagen durch einen Tunnel kriechen. Dadurch verbraucht der Transistor viel weniger Energie zum Ein- und Ausschalten.“ Seine Betriebsspannung beträgt nur noch 0,3 Volt – gegenüber 1 Volt bei jetzigen

Transistoren. Der Tunneleffekt, der dies möglich macht, hat den neuen Transistoren auch den Namen gegeben: Tunnel-Feldefekt-Transistoren, oder kurz TFET.

Noch steckt die Forschung an diesen TFET aus Nanodrähten in den Kinderschuhen und die theoretischen Vorhersagen müssen noch experimentell verifiziert werden. „Es sind noch viele Hürden zu überwinden“, führt die Forscherin aus. Doch sie ist zuversichtlich, dass ihre kleinen Bauteile in der Welt der Elektronik dereinst eine grosse Rolle spielen könnten – weil sie eine dringende nötige Reduktion des Energieverbrauchs bei gleichzeitiger Leistungssteigerung bedeuten.

Grosse Zukunft für winzige Drähte

Als Nächstes werden im neuen Nanotechnologie-Zentrum in Rüschlikon unterschiedliche Materialien und Kombinationen getestet und optimiert. Aber auch die grundlegenden physikalischen Eigenschaften dieser Nanodrähte müssen besser verstanden werden. „Es treten zum Teil quantenmechanische Effekte auf, die wir aus der makroskopischen Welt nicht kennen“, erklärt Heike Riel.

Für die Zukunft träumt sie von Chips, die zehnmal weniger Energie verbrauchen als die heutigen. Davon würden nicht nur die Rechenzentren profitieren, die heute grosse Energieverbraucher sind. Auch mobile Geräte wie Handys oder Sensoren würden möglich, deren Batterieladung wesentlich länger hält. Oder solche, die mit einer kleinen Solarzelle ausgerüstet unabhängige Energieselbstversorger wären.

Dieses Ziel will die preisgekrönte Physikerin, die ihre berufliche Laufbahn übrigens als Möbelschreinerin begonnen hat, bis Ende dieses Jahrzehnts erreichen. Skeptische Stimmen – wie es sie bei derartigen Prognosen in der Wissenschaft immer gibt – irritieren sie nicht. Denn ihre Erfahrung bei der Entwicklung des grössten OLED-Monitors hat sie gelehrt, dass man scheinbar Unmögliches manchmal möglich machen kann. Damals hiess es: „Das geht nicht.“ Die Forscher haben das Gegenteil bewiesen. —