

## ■ Biegsame Elektronik

**Gewöhnliche Siliziumchips lassen sich dehnen und krümmen, ohne dass ihre Funktion darunter leidet.**

Wären elektronische Bauteile biegsam, würden sie in Kleidern oder biomedizinischen Implantaten neue Einsatzmöglichkeiten eröffnen. Zwar besitzen manche organischen und anorganischen Halbleiter eine gewisse mechanische Flexibilität,

nicht notwendig ist. Zurück bleiben Schaltkreise in Form dünner Scheiben, die in einem Kunststoff stecken. Diese verbinden die Wissenschaftler chemisch mit einem Stück gedehnten Gummis, das sie anschließend in seine Ausgangsform zurückschnappen lassen. Die Schaltkreise bilden dadurch eine gewellte Schicht. Das nächste Ziel des Forscherteams ist ein Latexhandschuh für Chirurgen, der während der Operation u. a. den Sauerstoffgehalt des Blutes misst.

## ■ Bei der Speiseröhre gespickt

**Eine neue Miniaturpumpe verstopft nicht und befördert kleinste Flüssigkeitsmengen**

Pumpen, die kleine, kontinuierliche Flussraten liefern, sind für Medizintechnik und Mikrofertigung wichtig. Für Infusionen benötigt man z. B. Schlauchpumpen, bei denen Rollen die Flüssigkeit durch einen Schlauch pressen. Sie sind aber nicht so genau dosierbar und auf relativ große Pumpmengen ausgelegt. Mikropumpen, die aus einem Chip geätzt worden sind und mit Ventilen oder Membranen arbeiten, können dagegen kleine Flüssigkeitsmengen gut dosieren. Sie verstopfen aber leicht und lassen sich nur in einer Richtung betreiben.

Bei der peristaltischen Mikropumpe, die das Fraunhofer-Institut für Werkstoffmechanik (IWM) in Freiburg gemeinsam mit mehreren Firmen entwickelt hat, ist das anders. Das Konsortium nutzt als Pumpmechanismus ein Prinzip, das z. B. in der Speiseröhre zum Tragen kommt: Aufeinander

abgestimmte Kontraktionen der Muskulatur befördern Speisen in den Magen. Als „Muskeln“ dient bei der Mikropumpe ein Substrat aus kohlenstoffaserverstärktem Kunststoff (CFK), auf dem eine Blei-Zirkonat-Titanat-Folie (PZT) klebt. Die PZT-Folie zieht sich unter dem Einfluss einer äußeren Spannung zusammen. Da die Folie mit dem CFK verklebt ist, resultiert daraus eine Biegung. Jeweils zwei Plättchen des Verbundwerkstoffs kleben ober- und unterhalb eines Schlauchstücks, durch das die Flüssigkeit transportiert wird. Jedes Stellplättchen ähnelt einem Kamm.

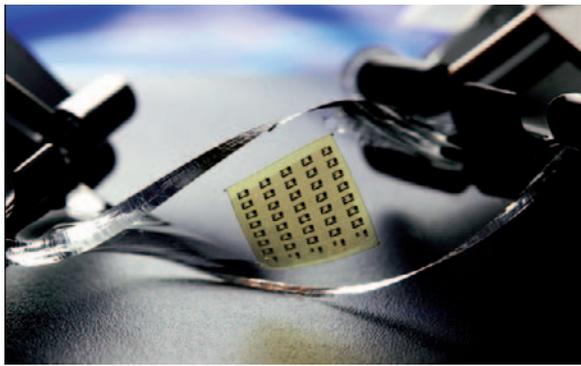
Beim Prototyp sind die PZT-Folien mit CFK-Substrat und Elektroden rund 0,5 mm dick. Durch eine modulierte äußere Spannung lassen sich die einzelnen „Zinken“ um bis zu 20 µm auslenken; kontinuierliche Flussraten bis herunter zu 0,1 µl pro Zyklus sind damit regelbar. Für einen Einsatz im menschlichen Körper darf die äußere Spannung maximal 60 V betragen. Keine triviale Anforderung an die PZT-Folien – Piezoelemente in Einspritzanlagen etwa arbeiten mit mehreren hundert Volt.

Zunächst haben die IWM-Forscher die peristaltische Pumpe vollständig am Rechner simuliert, erst dann bauten die Industriepartner den Prototyp für Funktionstests. Nun will das Konsortium das Pumpenkonzept auf verschiedene Anwendungen übertragen.

## ■ Künstliche Spinne

**Mit einem Spinnkanal-Nachbau lassen sich Seidenfäden erzeugen.**

Spinnennetze sind extrem dehnbar und reißfest. Das verdanken sie den Fäden, aus denen die Spinne sie gesponnen hat. Sie machen Spinnenseide für viele Anwendungen interessant. So eignen sich Spinnfäden z. B. zum Vernähen von Wunden, da das Immunsystem des Körpers die Fasern nicht abstößt. Am Horizont lockt auch die Vision einer Industrie, die Kunststofffasern durch Spinnenseide ersetzt. Eine industrielle Produktion natürlicher



Science

Trotz starker Verformung funktionieren präparierte Schaltkreise weiterhin.

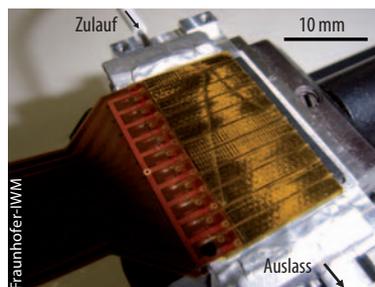
aber sie lassen sich nicht wirklich verdrillen oder dehnen. Einer Forschergruppe aus den USA, Südkorea und Singapur ist es unter Federführung von John Rogers von der University of Illinois gelungen, CMOS-Bauelemente so zu verpacken, dass sie sich fast beliebig verformen lassen.<sup>1)</sup> Die mechanisch empfindliche Siliziumelektronik schützen sie dabei durch eine Kunststoffschicht.

Die Forscher erzeugen dazu auf einem dünnen Polymerfilm Schaltkreise aus einem Siliziumwafer. Dabei müssen die funktionalen Schichten in der Sandwichstruktur in der Ebene liegen, in der die mechanische Dehnung null ist. In einer homogenen Substanz liegt diese Ebene genau in der Mitte. Durch die verschiedenen Materialeigenschaften der Schichten und deren unterschiedliche Dicken können die Wissenschaftler die Lage dieser Ebene passend einstellen. Liegt die Siliziumelektronik in dieser Ebene, lässt sich das System stark krümmen, ohne die Schaltkreise zu dehnen. Mit einer Dicke von 1,7 µm ist dieses System mehr als hundertmal dünner als konventionelle Chips.

Nun entfernen die Forscher die Basis der Siliziumschicht, die für die elektronischen Funktionen

1) D. Kim et al., Science 320, 507 (2008)

2) S. Rammensee et al., PNAS 105, 6590 (2008)



Kammförmige Stellelemente sorgen für den Durchfluss in einer peristaltischen Mikropumpe.

Spinnfäden scheitert allerdings daran, dass die Tiere sich gegenseitig kannibalisieren und die Zucht im industriellen Maßstab unmöglich machen. Deshalb suchen Wissenschaftler einen Weg, um künstliche Spinnfäden zu erzeugen.

Natürliche Fäden bestehen aus verschiedenen Proteinen, welche die Spinne in einer Drüse zusammenführt. Bestimmte Zellen geben Phosphate und Säuren hinzu, bis die Eiweißketten die richtige räumliche Struktur annehmen. Den entstehenden Faden zieht die Spinne mit ihren Beinen heraus und sorgt dadurch für die nötige Strömungsgeschwindigkeit.

Biophysiker der Arbeitsgruppe von Andreas Bausch an der TU München haben nun einen künstlichen Spinnkanal im Labor aufgebaut, um damit die genauen Bedingungen zu bestimmen, unter denen sich ein stabiler Seidenfaden bildet.<sup>2)</sup> Das Herzstück des Experiments ist eine dünne Plexiglasplatte mit drei Kanälen, von denen jeder etwa 100 µm breit ist. Durch den mittleren Kanal fließt die Proteinlösung, durch die beiden anderen eine Salzlösung mit niedrigerem pH-Wert. Wo die drei Kanäle sich vereinen, diffundiert das Salz in die Proteinlösung und löst über Wasserstoffbrückenbindungen die Aggregation der Proteine aus.

Ein stabiler Seidenfaden entsteht nur, wenn sich die Strömungsgeschwindigkeit in der Verengung drastisch erhöht. Im Münchner Experiment steigt sie um den Faktor 30 auf 160 mm/s.

## ■ Sichere Akkus

**Ein Polymerelektrolyt ersetzt die leicht entflammaren Lösungsmittel in Lithiumionen-Akkus.**

Lithium-Ionen-Akkus sind aus dem Alltag nicht mehr wegzudenken: Vom Handy über den Akkuschrauber bis zum Rasenmäher dienen sie als mobile Stromquellen. Sie haben eine hohe Energiedichte und erlauben Spannungen von bis zu 4 V. Allerdings bringt ihr Elektrolyt, der zu 30 bis 70 Prozent aus leicht

flüchtigen, organischen Lösungsmitteln besteht, ein Problem mit sich: Bei einem Defekt kommt es leicht zu Bränden.

Li-Polymer-Batterien gelten als interessante Nachfolgetechnik der Li-Ionen-Akkus, allerdings haben die dabei verwendeten Elektrolyte auf Polymerbasis nur geringe Leitfähigkeiten und mangelnde Stabilität. Wissenschaftler des Fraunhofer-Instituts für Silicatforschung (ISC) in Würzburg suchen daher zusammen mit Varta Microbattery und Forschungseinrichtungen aus



Ormocere als Elektrolyten verbessern Lithium-Polymer-Batterien.

Frankreich, Österreich und Spanien nach geeigneten Auswegen. Ein kürzlich vorgestellter Prototyp eines Li-Polymer-Akkus nutzt ein Ormocer als festen Elektrolyten. Dabei handelt es sich um eine Verbindung mit Silizium-Sauerstoff-Ketten, die ein anorganisches Gerüst bilden, an dem organische Seitenketten hängen. Diese Hybridpolymere kommen in so unterschiedlichen Anwendungen wie dem Korrosionsschutz, Dentalwerkstoffen oder der Photonik zum Einsatz.

Die Leitfähigkeit des benutzten Ormocers lässt sich über Moleküldesign, Kettenlänge und Vernetzungsgrad der Polymergruppen an die jeweiligen Anforderungen anpassen. Der Elektrolyt des Prototyps erreicht elektrische Leitfähigkeiten von einigen Millisiemens pro Zentimeter. Die erreichbaren Energiedichten sind mit heutigen Li-Ionen-Akkus vergleichbar, die Ladezeiten fallen wegen der beschränkten Leitfähigkeit jedoch deutlich länger aus. Um sie zu verbessern, kommt es neben einer höheren Leitfähigkeit auch auf das aufeinander abgestimmte Design von Elektroden und Elektrolyt an.

**Michael Vogel**