

## Chips von der Rolle

Einfache Elektronik-Schaltungen könnten sich zukünftig über Druckverfahren sehr viel günstiger herstellen lassen als mit aufwändigen, lithographischen Methoden. Doch für die schnelle Massenfertigung müssen die Druckprozesse optimal an die verwendeten Materialien,



Die geschickte Kombination gängiger Druckverfahren ermöglicht eine günstige Massenfertigung einfacher elektronischer Schaltungen. (Foto: pmTUC, TU Chemnitz)

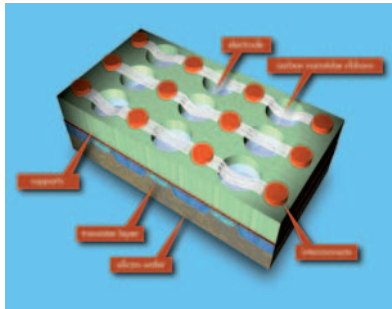
seien es Leiter, Halbleiter oder Isolatoren, angepasst werden. Dies gelang nun Forschern vom Institut für Print- und Medientechnik der TU Chemnitz (pmTUC) und vom Chemiekonzern BASF. Sie beschichteten eine bis zu 15 Zentimeter breite Trägerfolie aus Polyethylen (PET) in vier Schritten mit elektronischen Schaltkreisen. Bei der Herstellung von so genannten Ringoszillatoren aus insgesamt 14 Transistoren erreichten sie pro Schicht eine mittlere Druckgeschwindigkeit von knapp einem Meter pro Sekunde.

Das Team um den Chemnitzer Forscher Arved Hübler griff dabei gleich auf drei verschiedene Massendruckverfahren zurück. Zunächst legten sie im Offsetdruck die Grundlage mit einer Schicht für die Source- und Drain-Komponenten (Dicke: 1 Mikrometer) aus dem leitfähigen Kunststoff Polyethylenedioxythiophen (PEDOT). Darauf folgte die 200 bis 300 Nanometer dünne Halbleiterlage aus einem Polythiophen (F8T2), für die sie ein Tiefdruckverfahren nutzten. Darüber druckten sie eine Isolatorschicht auf der Basis eines mit Barium-Titanat dotierten Polymers ( $\sim 7 \mu\text{m}$ ) mit einer Hochdrucktechnik mit flexiblen Druckformen (Flexodruck). Den Abschluss bildete wieder eine PEDOT-Schicht im Offset-Verfahren, in der die Gates der Transistoren liegen.

Zwischen jedem der vier Druckprozesse müssen die einzelnen Schichten für etwa eine Sekunde trocknen. Dabei verflüchtigen sich die jeweiligen Lösungsmittel auf wässriger oder organischer Basis. Bisher lassen sich mit diesem kombinierten Druckprozess Strukturen von rund 100 Mikrometern Größe herstellen. Für konkrete Anwendungen, etwa für die Herstellung von Funkchips (RFID) oder gar von gedruckten Displays, ist dies allerdings noch zu grob. Aber in weiteren Entwicklungsschritten wollen Hübler und Kollegen die Strukturen auf bis zu fünf Mikrometer schrumpfen lassen. Mit einer industriellen Massenfertigung von günstigen Chips, so Hübner, auf der Basis von leitfähigen Polymeren sei bis zum Ende dieses Jahrzehnts zu rechnen.

## Nichtflüchtiger Nanospeicher

Speicherkarten können sich heutzutage bis zu acht Gigabyte digitale Daten dauerhaft merken. In naher Zukunft sollen magnetische Chips (magnetic random access memory, MRAM) die Arbeitsspeicher in Computern revolutionieren und einen längeren Boot-Prozess erübrigen. Amerikanische Wissenschaftler der Firma Nantero setzen dagegen auf Transistoren aus Mikrometer langen Kohlenstoff-Nanoröhrchen (nanotube random access memory,



Transistoren auf Basis von Nanoröhrchen lassen sich prinzipiell als Computer-Arbeitsspeicher nutzen. (Quelle: Nantero)

NRAM). Mit einem 13 Zentimeter großen NRAM-Prototyp konnten sie bereits rund 1,2 Gigabyte speichern. Zusammen mit Partnern aus der Chipindustrie wollen die Nantero-Forscher schon im Sommer 2006 erste Produktmuster solcher Chips auf der Basis von Nanoröhrchen vorstellen.

Für ihren Speicherchip positionierten die Wissenschaftler ganze Bündel aus einwandigen, leitenden und halbleitenden Nanoröhrchen über winzige, etwa 18 Nanometer

tiefe Lochbohrungen in einem Siliziumsubstrat (Abb.). Ohne angelegte Spannung überbrücken sie diese Aushöhlung und beeinflussen den elektrischen Widerstand zwischen zwei Kontakten unterhalb des Loches von einigen Gigaohm nicht. Durchfließt dagegen elektrischer Strom bei einer Spannung von wenigen Volt die Röhrchen, werden die Bündel aus Nanoröhrchen von der unteren Kontaktschicht angezogen und berühren diese. Der Widerstand zwischen den Kontakten schrumpft schlagartig auf wenige Kiloohm. Dieser Unterschied in der Leitfähigkeit ist für jedes Schaltmodul messbar und steht für die digitalen Basiswerte „0“ und „1“.

Einmal anzogen werden die Nanoröhrchen über van der Waals-Kräfte festgehalten, sodass die digitalen Werte auch ohne weitere Stromzufuhr erhalten bleiben. Damit ist die Grundlage für einen nichtflüchtigen Datenspeicher gelegt. Erst durch einen erneuten entgegengesetzten Spannungspuls lösen sich die Röhrchen wieder und der elektrische Widerstand steigt an. Nach Aussage von Nantero-Mitgründer Greg Schmergel erreichen die NRAM-Speicher Taktraten im Gigahertz-Bereich und sind damit ähnlich schnell wie heute verwendete SRAM- oder DRAM-Module (static bzw. dynamic RAM). Der Grund dafür liege in den geringen Strecken, entlang denen sich die Nanoröhrchen verformen müssten. Um NRAM-Chips in Großserie fertigen zu können, gelte es nun, das Herstellungsverfahren, das auf Photolithographie- und Spin-Coating-Prozessen beruhe, zu optimieren.

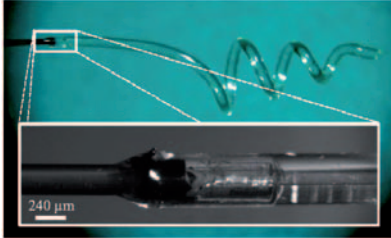
## Korkenzieher für Thrombosen

Wandert ein Blutgerinnsel zum Hirn, kann es zu einem Schlaganfall kommen. Diese Thromben behandelt man derzeit meist mit Blut verdünnenden Mitteln. Amerikanische Wissenschaftler wollen dies nun auch mit einem winzigen Korkenzieher aus Kunststoff erreichen.<sup>1)</sup> Sie verwendeten dafür ein gerades Plastikstäbchen aus einem sogenannten Formgedächtnis-Polymer, das sich binnen Sekunden in eine Spiralstruktur verwandelt, wenn man es mit einem Diodenlaser bestrahlt. So könnten sich prinzipiell auch größere Blutgerinnsel umklammern und rasch beseitigen lassen, berichten Ward Small und seine Kollegen vom amerikanischen

1) Ward Small IV et al., Optics Express 13, 8204 (2005)

Lawrence Livermore National Laboratory (LLNL).

Für seinen Strukturwechsel benötigt der Kunststoff auf Polyurethan-Basis etwa drei Sekunden. Über diesen Zeitraum wird das zehn Millimeter lange Stäbchen mit einem kontinuierlichen Lichtstrahl eines Infrarotlasers (810 nm Wellenlänge, 5 Watt) aufgeheizt.



Dieses Röhrchen aus einem Formgedächtnis-Material (Inset: Verbindung zwischen Röhrchen und Glasfaser) verformt sich bei Laserbestrahlung zu einem winzigen Korkenzieher. (Quelle: Ward Small et al.)

In das Polymer lagerten die Forscher einen Platin-Farbstoff (Epolin) ein, um die Lichtabsorption und damit den Heizeffekt zu verstärken. Bei einer Temperatur von knapp 60 Grad Celsius geht das gerade Stäbchen in eine Spirale mit drei Millimeter Durchmesser über. Der Grund liegt in einer Neuausrichtung der vernetzten Molekülbindungen. Die umgebende Bluttemperatur soll dabei um zwölf Grad ansteigen. Diesen Zustand könne ein Mensch etwa 15 Minuten aushalten, ohne dass bleibende Schäden auftreten.

Für ihre Laborversuche setzten die Forscher ein zehn Millimeter langes Polymer-Stäbchen an das Ende einer dünnen Glasfaser auf. Durch diese kann das Laserlicht auch in einem Blutgefäß zu dem Kunststoff gelangen. Small und Kollegen planen nun erste Tierversuche, um künstlich erzeugte Thromben aus den Blutbahnen herauszuziehen. Bei Erfolg könnten ein bis zwei Jahre später klinische Studien bei Patienten folgen.

## Wandelbare Etiketten

Preisgünstige Etiketten können auf Knopfdruck ihre Beschriftung ändern. Das zeigten Siemens-Forscher aus Nürnberg und Erlangen anhand eines fünf mal fünf Zentimeter großen Prototyps auf der Frankfurter Messe Plastics Electronics. Herzstück dieser einen halben Millimeter dicken elektronischen Folien bilden elektrochrome Materialien. Diese ändern ihre Farbe, wenn durch eine

angelegte Spannung die Ladungsträger im Material verschoben werden.

Das Team um Axel Gerlt konzentriert sich derzeit auf Anzeigeflächen, deren elektrochrome Substanzen einen Farbwechsel zwischen Blau und Weiß zeigen. Doch auch Rot und Grün seien möglich. Der Kontrast des Prototyps ist dabei vergleichbar mit bedrucktem Zeitungspapier. Zum Schalten der Bildpunkte legten die Forscher eine Spannung von 1,5 Volt an. Die Zeit für einen Bildwechsel liegt dabei allerdings über einer Zehntel Sekunde. Für das Abspielen von Filmsequenzen ist das noch zu langsam. Nach einem Schaltprozess bleiben die Bildpunkte für rund eine Stunde sichtbar. Danach müssen sie mit einem erneuten Spannungspuls aufgefrischt werden. Auch wenn das gezeigte Modell noch eine recht grobe Auflösung zeigt, halten die Entwickler in Kürze 80 Bildpunkte pro Zoll (80 dpi) für möglich.



Prototyp eines schaltbaren und flexiblen Etiketts (Foto: Siemens)

Der Prototyp muss noch über eine externe Stromquelle versorgt werden. In Zukunft könnten sich aber Kondensatoren oder flexible Solarzellen zusammen mit den elektrochromen Substanzen auf ein Trägermaterial aufdrucken lassen. Eine Energieversorgung wäre aber auch über Induktion denkbar – analog zu Techniken wie sie für kleine Funketiketten (RFID-Chips) existieren.

Über die verwendeten biegsamen und leitfähigen Polymere hüllen sich die Siemens-Entwickler derzeit noch in Schweigen. Doch als leitfähige Unterlage kommen Materialien wie Polythiophen oder Polyphenylenvinyl in Frage. Überzeugende elektrochromatische Eigenschaften zeigen Polyaniline und ihre Derivate. Auch wenn theoretisch hochauflösende Bildschirme für zukünftige *ebooks* mit dieser Displayfolie denkbar sind, setzt Gerlt eher auf die günstige Herstellung, um schnell schaltbare Etiketten für den Logistikmarkt fertigen zu können.

JAN OLIVER LÖFKEN