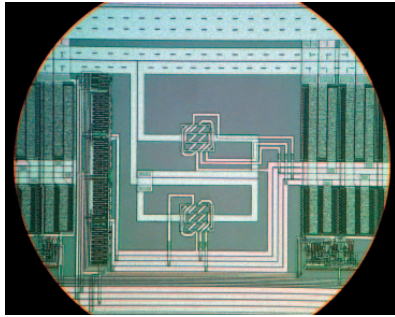


Magnetfeldsensoren für die Großserie

Magnetfeldsensoren eignen sich für berührungslose Mess- und Überwachungssysteme aller Art – z. B. von Rädern, Wellen, Robotern oder Maschinen. Denn immer wenn magnetische Materialien ihre Position im Raum ändern, deformieren sie in ihrer Nähe das Erdmagnetfeld, und das ist mit Magnetfeldsensoren messbar. Problematisch war bisher jedoch die Herstellung solcher Sen-



Winzige Magnetfeldsensoren lassen sich inzwischen in Großserie produzieren. Unter dem Lichtmikroskop sind die Hall-Elemente, mit denen das Magnetfeld gemessen wird, als Rechteckstrukturen auszumachen (Bildfelddurchmesser: 0,6 mm). (Foto: Fraunhofer IIS)

soren in der Großserie. Das Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen (IIS) entwickelte vor kurzem einen preiswerten Sensortyp, der sich dank Standard-CMOS-Technologie in großen Stückzahlen produzieren lässt.¹⁾

Der Chip kann Magnetfeldänderungen zwar nur auf ein Mikrottesla genau messen. Doch da er dies in allen Raumrichtungen macht und die Feldstärke des Erdmagnetfelds bei etwa 40–60 μT liegt, reicht das für viele Anwendungen aus. Herzstück des neuen Chip-Sensors ist ein Hall-Element (siehe Abb.). Ein Steuerstrom, der durch diese winzige Magnetfeldsonde fließt, bewirkt eine zur magnetischen Flussdichte des Feldes proportionale Spannung, die so genannte Hall-Spannung.

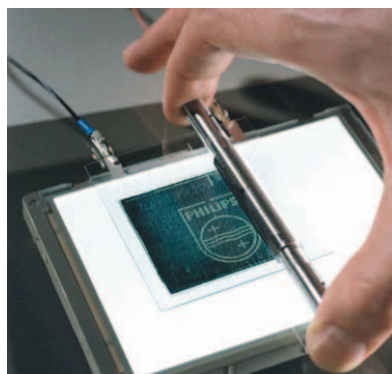
Der neue Magnetfeldsensor-Chip ist nicht nur preiswert herzustellen, sondern er kann die gemessenen Signale auch gleich digital weiterverarbeiten. Gegenüber rein analogen Sensoren hat dies Vorteile: Die Messung ist kaum temperaturanfällig, und der Messbereich erstreckt sich von wenigen Mikrottesla bis zu einigen Tesla – wie sie in Kernspintomografen auftreten. Und da Funktionen zur Fehlererkennung und Selbstüberwachung direkt auf dem Chip untergebracht sind, ent-

fällt die störanfällige analoge Übertragung der Daten zum Computer. Die Fraunhofer-Wissenschaftler hoffen nun auf Interesse aus der Industrie. Die Sensoren könnten beispielsweise in Joysticks integriert werden, um berührungslos und verschleißfrei die Auslenkung des Joysticks zu detektieren.

LC-Displays der Zukunft

Flüssigkristall-Bildschirme (LC-Displays) findet man bei vielen elektrischen Geräten – vom Handy bis zur Waschmaschine. Flexible oder faltbare Anzeigen sucht man jedoch vergebens. Starre Schichten mit Dünnschicht-Transistoren (TFT) und starre Glassubstrate verhindern dies bislang. Kein Wunder also, dass die Industrie intensiv daran forscht, mit flexiblen LC-Displays neue Märkte zu erschließen. In der Vergangenheit hatten Philips-Entwickler beispielsweise auf flexible Polymertransistorschichten gesetzt, diese mussten jedoch weiterhin auf Glas aufgebracht werden.²⁾ Jetzt haben Forscher von Philips und der TU Eindhoven eine neue Technik entwickelt, mit der sich dünne LC-Displays preiswert auf viele verschiedene Trägermaterialien aufbringen lassen.³⁾

Üblicherweise werden LC-Displays als Sandwich zwischen zwei Glassubstraten hergestellt. Bei der neuen Technik bauen die Forscher das Display aus einer einzigen Schicht auf, die sich auf vielen verschiedenen Oberflächen aufbringen lässt. Durch eine zweistufige Polymerisation stellen sie 500×500 μm^2 große und 10 μm tiefe Zellen her, die mit Flüssigkristallen gefüllt sind.



Flüssigkristall-Displays sind bislang weder biegsam noch faltbar. Das soll sich bald ändern. Philips kann beispielsweise mithilfe eines zweistufigen Polymerisationsverfahrens Schichten herstellen, die aus 500×500 μm^2 großen Zellen aufgebaut sind und sich leicht auf unterschiedliche Untergründe „aufmalen“ lassen. (Foto: Philips)

Zuerst bringen sie in einer Art Malverfahren eine Mischung aus Flüssigkristallen, polymerbildenden Monomeren und UV-absorbierendem Farbstoff auf, um dann in einer ersten Maskenbelichtung die 100 μm breiten Zellwände herzustellen. In einer daran anschließenden zweiten Belichtung bei einer anderen Wellenlänge versiegeln die Forscher die gesamte Zellen-Oberfläche mit einer 10 μm dicken Deckschicht. Das Ergebnis sind einzelne Zellen mit schaltbaren Flüssigkristallen. Der Vorteil solcher Schichten ist, dass sie sich sehr unkompliziert aufbringen lassen. Wie unempfindlich sie jedoch z. B. gegenüber Luft und Feuchtigkeit sind und in welcher Größe sie sich bauen lassen, muss noch erforscht werden.

Das Verfahren von Philips muss allerdings nicht der einzige gangbare Weg zu flexiblen LC-Displays sein. Toshiba beispielsweise verfolgt einen anderen: Deren Forscher haben ein extrem dünnes biegsames Glas-Substrat entwickelt, auf dem sie die TFT-Schicht auftragen. Auf diese Weise haben sie schon 8,4 Zoll große und nur 0,4 mm dünne flexible Farb-LC-Displays mit einer Auflösung von 800×600 Pixel hergestellt. Derzeit arbeitet man bei Toshiba daran, das Display in großen Stückzahlen zu produzieren, damit ab 2004 z. B. Fernseher mit gebogener Oberfläche marktreif sind.

Kalte Glühbirne?

Glühbirnen sind nicht sehr effizient. Nur rund 5 % der elektrischen Energie wandeln sie in Licht. Ein von den Sandia Labs und der Iowa State University entwickelter photonischer Wolframkristall könnte jedoch – als Glühwendel eingesetzt – die Lichtausbeute einer Glühbirne auf über 60 % steigern.⁴⁾

Die charakteristische Eigenschaft photonischer Kristalle ist ihre Bandlücke für elektromagnetische Strahlung. Der kürzlich vorgestellte photonische Wolframkristall hat beispielsweise eine relativ große Bandlücke zwischen 8 und 20 μm . Infrarote Strahlung mit dieser Wellenlänge kann sich daher im Kristall nicht ausbreiten. Die Folge sind interessante Materialeigenschaften. Erhitzt sich beispielsweise der photonische Wolframkristall auf über 1500 $^{\circ}\text{C}$, so fällt ein Großteil der dabei auftretenden Wärmestrahlung in den Bereich der Bandlücke. Dies führt überraschender Weise dazu,

1) www.iis.fhg.de

2) Physik Journal, Februar 2002, S. 14

3) Nature 417, 55 (2002)

4) Nature 417, 52 (2002)

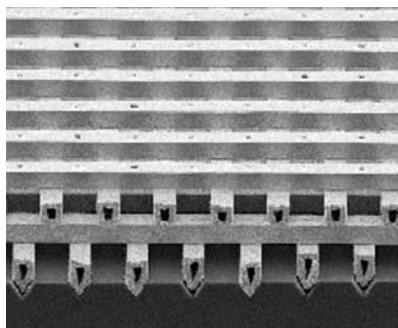
5) Appl. Phys. Lett. 80, 3817 (2002)

6) siehe Phys. Bl., April 1998, S. 531 und Phys. Bl., April 2000, S. 53

7) www.infineon.com/news/press/206_101d.htm

dass die Infrarotstrahlung in sichtbares Licht umgewandelt und emittiert wird. Ein möglicher Grund für diesen bisher unverstandenen Effekt könnte ein besonders starkes Absorptionsband in der Nähe der Bandlücke sein, das als Kanal zur Lichtemission fungieren könnte. Doch warum gibt es trotz der zu erwartenden Effizienzsteigerung noch keine Glühbirnen mit photonischen Wolframkristall-Wendeln?

Das Problem ist die aufwändige Herstellung. Für einen photonischen Wolframkristall fertigen die Forscher zunächst Polysilizium/ SiO_2 -Strukturen, aus denen sie das Silizium an bestimmten Stellen herausätzen und die zurückbleibenden Löcher über ein CVD-Verfahren (*chemical vapour deposition*) mit Wolfram auffüllen – für einen Massenartikel ist dies leider noch viel zu kompliziert.



Ein photonischer Wolframkristall besteht aus $1,2\ \mu\text{m}$ breiten Wolfram-Stäben, die in Schichten angeordnet übereinander gestapelt sind. Als Wendel in einer Glühbirne eingesetzt, könnte dieses Material einmal die Lichtausbeute auf über 60 % steigern. (Foto: Sandia)

Nanoröhrchen statt Silizium

Chiphersteller sind ständig auf der Jagd nach höheren Leistungen. Meist verbessern sie ihre Chips, indem sie die Strukturen darauf verkleinern. Doch spätestens in einigen Jahrzehnten wird die Miniaturisierungsgrenze bei Silizium erreicht sein. Neue Ansätze sind gefragt. Forscher bei IBM haben jetzt einen Feldeffekt-Transistor (FET) aus Kohlenstoff-Nanoröhrchen (Carbon-Nanotubes, CNTs) vorgestellt, dessen Struktur etwa 500-mal kleiner ist als die der heutigen Si-FETs.⁵⁾

CNTs sind im Vergleich zu Graphit, Diamant und den vor rund zehn Jahren erstmals hergestellten Fullerenen (wie z. B. C_{60}) eine erst seit kurzem bekannte Kohlenstoffform.⁶⁾ Die Röhrchen haben einen Durchmesser von 0,4–100 nm und

können bis zu 1 mm lang werden. Das Schwierige beim Bau eines CNT-Transistors ist nicht die Produktion von halbleitenden CNTs an sich, sondern vielmehr die Tatsache, dass zusammen mit den halbleitenden immer auch metallische Röhrchen entstehen. IBM-Forschern gelang es nun, die störenden metallischen Röhrchen selektiv durch Überspannung zu zerstören, indem sie die halbleitenden Röhrchen kurzfristig isolieren. Um aus diesen dann einen FET zu bauen, kontaktieren sie die beiden Enden eines CNTs und isolieren es von der Gate-Elektrode mit einer etwa 15 nm dünnen SiO_2 -Schicht. Die Wanddicke der Röhrchen bestimmt dabei die elektrischen Daten des Transistors. Den ersten Prototyp hoffen die Forscher in zwei bis drei Jahre bauen zu können. Mit den ersten kommerziellen Produkten rechnet IBM erst in 10–15 Jahren.

Ein weiteres noch offenes Problem ist das gezielte Aufwachsen von CNTs auf Silizium-Wafern. Üblicherweise werden CNTs durch Laserverdampfung oder Lichtbogenentladung hergestellt – Prozeduren, die mit der heutigen Halbleitertechnik nur schwer vereinbar sind. Forscher von Infineon haben daher das in der Mikroelektronik weit verbreitete Verfahren der *chemical vapour deposition* (CVD) so modifiziert, dass sie damit CNTs in wenigen Minuten auf 6-Zoll-Wafern definiert aufwachsen lassen können.⁷⁾ Infineon will mit diesem Verfahren einmal Kupfer-Leiterbahnen auf Chips durch CNTs ersetzen. Denn in rund 10 Jahren müssen Leiterbahnen wahrscheinlich Stromdichten von $3,3 \times 10^6\ \text{A}/\text{cm}^2$ tragen können, was mit Kupfer nicht mehr möglich ist.

CNTs lassen dagegen Stromdichten von bis zu $10^{10}\ \text{A}/\text{cm}^2$ zu. In ihnen werden Elektronen nahezu stoßfrei transportiert, da die Abmessungen der leitenden Bereiche in den Röhrchen kleiner sind als die freie Weglänge der Ladungsträger. Das Ohmsche Gesetz gilt demnach nicht, und der elektrische Widerstand hängt nicht von der Länge ab. Er beträgt rund $6,5\ \text{k}\Omega$ pro Röhrchen. Ein weiterer Pluspunkt ist die enorm hohe Wärmeleitfähigkeit des Materials. Die Aussichten sind viel versprechend.

HOLGER KOCK