

Plastik-Transistoren für flexible Displays

Ein 100-Hertz-Display mit 256 Graustufen und 64×64 Bildpunkten auf $5 \times 5 \text{ cm}^2$ mutet in der heutigen Zeit eher altmodisch an. Wieso stellen aber Forscher von Philips, Eindhoven, jetzt solch ein Display als fortschrittlich dar?¹⁾ Das Geheimnis ist sein Potenzial: Dank flexibler Polymer-Transistoren eignet sich die eingesetzte Technik für biegsame Displays.

Eigentlich handelt es sich um einen klassischen TFT-Bildschirm (Thin-Film-Transistor). Jedoch wurden die starren Transistoren durch flexible Dünnschicht-Transistoren aus halbleitenden Polymeren (Polythiylenevinyl) ersetzt. In mehreren Schichten und mit leitenden Goldschichten kontaktiert, sind sie auf einem transparenten, starren Glasträger aufgebracht. Zwischen ihnen und einer durchsichtigen Indium-Zinn-Oxid-Schicht sind kontrastgebende Flüssigkristalle eingelagert, die sich durch die Transistoren pixelweise ansteuern lassen.

Für zukünftige Anwendungen wollen die Forscher statt dem bisher verwendeten starren Glas ein flexibles Trägermaterial verwenden. Gelingt dies, hätte man elektronisches Papier geschaffen, wie es zahlreiche Firmen, u. a. auch Ca-

1) Nature 414, 599 (2001)

2) Phys. Bl., Januar 2001, S. 20

3) Phys. Bl., Juni 2001, S. 19

4) siehe z. B. Phys. Bl., April 1999, S. 16

5) www.research.ibm.com

6) siehe z. B. Phys. Bl., Juni 2001, S. 18

7) Y.-K. Choi et al., IEEE IEDM Technical Digest, S. 919 (1999)

8) Phys. Bl., Februar 2001, S. 18

Forscher bei Philips haben ein Flüssigkristall-Display entwickelt, das mit organischen Transistoren arbeitet und 256 Graustufen anzeigen kann. Basierend auf dieser Technik könnten z. B. aufrollbare Displays entwickelt werden. (Quelle: Philips)



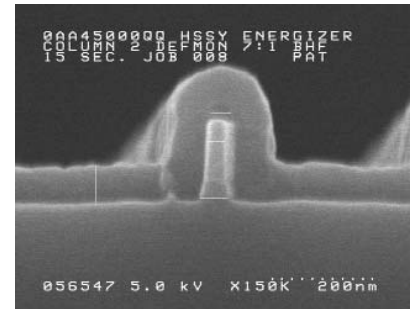
non²⁾ und E-Ink³⁾, durch regelbare Tonerpartikel bzw. mikrokapselte Tinte herzustellen versuchen. In diesem neuen Licht können die technischen Daten des Displays tatsächlich überraschen. Schon heute brauchen Kontrast und Blickwinkelgröße keine Vergleiche zu scheuen. Bis jedoch ein ausrollbarer Bildschirm in annehmbarer Größe für Laptop oder Handy zu kaufen sein wird, werden wohl noch einige altmodisch anmutende Prototypen zu entwickeln sein.

IBM setzt auf zweite Gate-Elektrode

Der Feldeffekttransistor (FET) ist das wichtigste Bauteil der Chip-industrie. Im Grunde ist er nichts anderes als eine inhomogene Verteilung von n- und p-dotierten Bereichen in einem Silizium-Substrat.⁴⁾ Durch die so genannte Gate-Spannung lässt sich der Widerstand zwischen den beiden Anschlüssen *Source* und *Drain* in einem weiten Bereich steuern. Prinzipiell gilt: Je kleiner die Gate-Länge des FET, desto schneller und damit interessanter ist er für die Anwendung. Um die weitere Miniaturisierung von FETs auch in 5–10 Jahren noch garantieren zu können, haben IBM-Forscher kürzlich einen alternativen FET-Typ vorgestellt, einen so genannten *Double-Gate-Transistor*.⁵⁾ Er könnte neue Impulse geben für die bald ausgereizte Miniaturisierung aktueller FETs.

Mit den heute üblichen Lithographieverfahren sind Gate-Längen von 130 nm möglich. Wenn man jedoch in einigen Jahren durch neue UV- bzw. Röntgenlichtverfahren⁶⁾ in neue Größenbereiche vorstoßen will, werden so genannte Kurzkanaleffekte zum Tragen kommen. Sie treten auf, wenn die Größe der *Source*- und *Drain*-Gebiete die Größenordnung der Kanallänge erreicht und damit die vertikale elektrische Feldstärke nicht mehr sehr viel größer ist als die horizontale Feldstärke. Die Potentialverteilung im Kanal und damit auch der *Drain*-Strom hängt dann nicht nur von Gate- und Substrat-Spannung, sondern auch von der *Drain*-Spannung ab. Dies kann z. B. dazu führen, dass die Schwellenspannung vom Arbeitspunkt beeinflusst wird oder dass das Bauteil nicht lange stabil bleibt.

Effekte wie diese lassen sich zwar durch niedrig dotierte Gebiete zwischen *Drain* und Kanal sowie zwischen *Source* und Kanal etwas verringern, doch um Gate-Längen von unter 100 nm zu erzielen, müssen die elektronischen Eigenschaften grundlegend geändert werden. IBM setzt zu diesem Zweck auf eine zweite Gate-Elektrode. Der Kanal zwischen *Source* und *Drain* wird dann von zwei Seiten aus gesteuert. Die bessere Abschirmung der *Drain*-Elektrode vom *Source*-Ende des Kanals minimiert störende Kurzkanaleffekte, sodass Gate-Längen von bis zu 7 nm möglich



Um die Leistung von Feldeffekt-Transistoren auch in Zukunft weiter erhöhen zu können, haben Forscher bei IBM einen winzigen Double-Gate-Transistor entwickelt, der sich in einigen Jahren für die Massenproduktion eignen könnte. Der Querschnitt zeigt das doppelte Gate, das über einer dünnen Silizium-Lamelle (dem Kanal) liegt. *Source* und *Drain* befinden sich jeweils symmetrisch platziert an der Vorder- und Rückseite des Kanals. (Quelle: IBM)

sein sollen. Ein Double-Gate-Transistor kann daher kleiner sein als heute übliche FETs, rund doppelt so schnell schalten und gleichzeitig einen etwa doppelt so hohen Strom kontrollieren.

Neben IBM forschen viele andere Institute am Double-Gate-FET. Schon Ende 1999 hatten Wissenschaftler aus Berkeley einen *Vertical-Double-Gate*-FET mit einer Gate-Länge von nur 18 nm herstellen können – allerdings in einem sehr komplizierten Verfahren.⁷⁾ Der IBM-Typ könnte in 5 bis 10 Jahren eine Massenproduktion möglich machen, die sich in heute übliche Prozesse integrieren lässt.

Winzige Kondensatoren für FeRAMs

Wiederbeschreibbare DRAMs (*Dynamic Random Access Memory*) sitzen als Arbeitsspeicher in praktisch jedem Rechner. Eine solche Speicherzelle wird üblicherweise durch einen Kondensator und einen Transistor repräsentiert. Vereinfacht gesagt speichert der Kondensator das Bit als Ladung, und mithilfe des Transistors lässt sich das Bit schreiben. Ein Nachteil des DRAMs ist jedoch, dass es ohne ständige Spannungsversorgung keine Daten speichern kann. FeRAMs (*Ferroelectric RAM*) dagegen könnten Daten in Form von polarisierten Dipolen über Jahre hinaus speichern, ohne dass der einmal geschriebene Zustand ständig dynamisch aufgefrischt werden müsste.⁸⁾

Ein wichtiger Punkt bei solchen Bauteilen ist die Speicherdichte. Sie

wird maßgeblich durch die Größe der ferroelektrischen Kondensatoren bestimmt, in denen jeweils ein Bit als Polarisierung gespeichert wird. Für den Einsatz im Massenprodukt müssen solche Strukturen jedoch nicht nur klein, sondern auch einfach und preiswert herzustellen sein. Forscher von Texas Instruments, Agilent Technologies und Advanced Technology Materials präsentierten vor kurzem nur $0,17 \mu\text{m}^2$ große Kondensatoren, in denen sich Polarisierungen zuverlässig speichern lassen.⁹⁾ Die Strukturen bestehen aus 90 nm dünnen $\text{Pb}(\text{Zr}, \text{Ti})\text{O}_3$ -Kondensatoren, die integriert in einen Standard-Chipprozess auf SiO_2 -Basismaterial aufgebracht werden. Schon bei geringen Spannungen von unter 1,8 V erreichen diese winzigen Strukturen ihre Sättigungs-Polarisation von über $25 \mu\text{C}/\text{cm}^2$.

Je nach verwendetem Material endeten die Versuche der vergangenen Jahre bei etwa $0,5\text{--}0,7 \mu\text{m}^2$ großen Strukturen – und waren damit für kommerzielle Anwendungen viel zu groß. Die jetzt entwickelten winzigen Kondensatoren könnten hingegen FeRAM-Bausteine mit sehr hoher Datendichte zulassen, die wegen ihrer Spannungs-unabhängigen Speicherung vor allem für mobile Geräte interessant sein werden. Ein konkreter Speicherbaustein ist aber noch nicht in Sicht.

Wasserstoff durch Sonnenlicht

Die Natur nutzt das sichtbare Spektrum der Sonne, um per Photosynthese aus Kohlendioxid und Wasser den für Pflanzen notwendigen Energieträger Zucker sowie Sauerstoff herzustellen. Die Reaktion ist inzwischen relativ gut untersucht.¹⁰⁾ Doch der Mensch kann sie bis heute noch nicht eins zu eins kopieren, um das riesige Energieumwandlungspotenzial der Sonne für sich ähnlich effizient zu nutzen. Vor kurzem allerdings ist es Wissenschaftlern gelungen, ein vielversprechendes Katalysatormaterial zu entwickeln, das das sichtbare Spektrum des Sonnenlichts bis zu einer Wellenlänge von 420 nm zur photokatalytischen Spaltung von Wasser in Sauer- und Wasserstoff ausnutzen kann.¹¹⁾

Schon seit einigen Jahren wird in vielen Gruppen versucht, Wasserstoff auf katalytischem Wege mithilfe

von Sonnenlicht zu gewinnen. Die bislang als Photokatalysator verwendeten Halbleiteroxidkristalle sind jedoch relativ instabil und nutzen nur den kleinen UV-Anteil des Lichts aus – also bloß etwa 4 % der einfallenden Sonnenenergie. Die Energie der einfallenden Photonen erzeugt im Photokatalysator freie Elektronen und Löcher, die an die Oberfläche des Kristalls wandern und dort ihre Energie an Wassermoleküle abgeben können, sodass diese in Wasser- und Sauerstoff aufbrechen. Die für die Spaltung notwendige Spannung von 1,23 V fordert eine große Bandlücke. Wegen ihr können Photokatalysatoren bisher nur energiereiche Photonen aus dem UV absorbieren.

Das National Institute of Advanced Industrial Science and Technology in Tsukuba, Japan, stellte kürzlich einen neuen Photokatalysator vor. Er ist ein ungewöhnlich stabiler nickelhaltiger Halbleiteroxidkristall ($\text{In}_{1-x}\text{Ni}_x\text{TaO}_4$, $x=0\text{--}0,2$), der die Absorption in den sichtbaren Bereich erweitert. Durch Dotierung mit Nickel ist es der japanischen Gruppe gelungen, die Energielücke der Halbleiterkristalle von 2,6 eV auf 2,3 eV zu verkleinern, sodass auch Photonen aus dem sichtbaren Spektrum freie Ladungsträger erzeugen können, die die Wassermoleküle aufspalten.

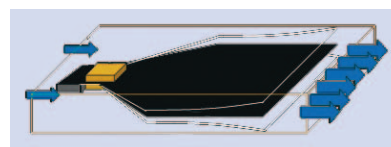
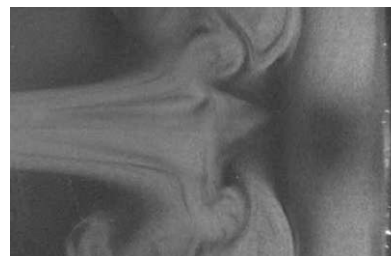
Der Wirkungsgrad des Systems liegt noch unter 1 %. Die Forscher sind jedoch zuversichtlich, durch poröseres Material eine größere Kontaktfläche zum Wasser zu erreichen und so den Wirkungsgrad zu verbessern. Gelingt dies in den nächsten Jahren, könnte der photokatalytisch freigesetzte Wasserstoff für die Energiewirtschaft einmal das sein, was für die Pflanze der Zucker ist – ein universeller Energieträger, durch Sonnenlicht erzeugt und einfach zu speichern.

Fächer zur Chipkühlung

Die zunehmende Packungsdichte in elektronischen Bauteilen führt dazu, dass integrierte Schaltkreise so heiß werden, dass sie gekühlt werden müssen – meist durch Kühlkörper, motorengetriebene Lüfter oder thermoelektrische Kühler¹²⁾. Doch all diese Varianten haben ihre Vor- und Nachteile: Die einen sind leise, kühlen aber schlecht, die anderen sind wirkungsvoll, doch laut und groß, und wieder andere benötigen

viel Energie. So ist es verständlich, dass die Industrie für neue Konzepte immer ein offenes Ohr hat. Forscher an der Purdue University, USA, entwickeln derzeit winzige piezoelektrische Lüfter, die ähnlich einem chinesischen Fächer Luft über ein Bauteil wedeln können.¹³⁾ Zu diesem Zweck wird eine Schaufel aus Metall oder Mylar auf einer kleinen Piezokeramik befestigt, die ihre Länge ändert, wenn die angelegte Spannung variiert wird. Dadurch wird die Schaufel in resonante Schwingungen versetzt, und der Luftstrom lässt sich zur Kühlung über elektronische Bauteile lenken.

Kleine und leichte piezoelektrische Lüfter wurden schon in den 70er Jahren entwickelt, doch diese waren sehr laut. Durch aufwändige Simulationen ließen sich die neuen Fächer so bauen, dass sie sehr leise und äußerst sparsam arbeiten: Sie benötigen nur 2 mW statt der 300 mW eines konventionellen Lüfters. Auf der Konferenz THERMES



Piezoelektrische Materialien (gelb) können Fächer aus Mylar oder Metall (schwarz) so zu Schwingungen anregen, dass ein kühlender Luftstrom entsteht. Solche Kühler könnten sich zur Chipkühlung eignen und passive Kühlelemente oder zu laute Lüfter ersetzen. (Quelle: Purdue University)

2002¹⁴⁾ berichteten die Forscher, wie sich die Effizienz solcher Lüfter durch empfindliche Änderungen der Frequenz bzw. der Dicken- und Längenverhältnisse von Schaufel zu Piezo erhöhen lässt.

Die neuen Lüfter werden nicht die herkömmlichen ersetzen können, dazu fehlt ihnen die Leistung. Doch passive Bauelemente wie Kühlrippen werden sicherlich Konkurrenz bekommen. Ein weiterer Vorteil: Ohne Magneten erzeugen die neuen Lüfter auch keine elektromagnetischen Störungen, die empfindliche Signale verrauschen könnten. Ein Ziel des Forschungskonsortiums der Purdue University – an dem auch Apple, Nokia und General Electric beteiligt sind – ist es, Fächer zu entwickeln, die nur $100 \mu\text{m}$ lang sind und sich direkt auf einem Chip platzieren lassen.

HOLGER KOCK

9) App. Phys. Lett 79, 4004 (2001)

10) Phys. Bl, Februar 2001, S. 49

11) Nature 414, 625 (2001)

12) Phys. Bl., Mai 2001, S. 14

13) <http://widget.ecn.purdue.edu/%7EECTRC/research/projects/piezoelectric/piezoelectric.htm>

14) www.engfnd.org/2atfin.html