

■ Alternatives E-Paper

Ein elektrofluidisches Display kommt ohne ständige Energiezufuhr aus und erreicht die gleiche Reflektivität wie weißes Papier.

Die Vision, dass Informationen rein digital auf dafür geeigneten Displays dargestellt werden und so Papier als Träger ersetzen, beflügelt die Fantasie in vielen Branchen. Elektronische Tinte, wie sie etwa E-Book-Lesegeräte verwenden, oder Flüssigkristallbildschirme haben jedoch spezifische Nachteile.

positionieren lassen. Gelangen die Pigmente in die obere Ölschicht, entstehen so Pixel mit Graustufen zwischen Weiß und Schwarz.

Bislang sind diese Pixel noch 450 µm mal 150 µm groß, aber laut den Forschern lassen sie sich problemlos um einen Faktor drei verkleinern. Auch Viskositäten und Grenzflächenspannungen der Flüssigkeit sind noch nicht optimiert. Dies zusammen mit kleineren Pixeln sollte Schaltzeiten von 20 ms ermöglichen – schnell genug für die Wiedergabe von Videos. Gleichzeitig fällt die Helligkeit dieses Display-Typs deutlich höher aus als die von marktüblichen E-Book-Lesegeräten.

elektronenarmen TNT-Moleküle übertragen. Dadurch ändert sich die Ladungsverteilung auf der Oberfläche der Nanodrähte und damit deren Leitfähigkeit – als Spannungssignal ist das innerhalb von Minuten messbar.

Der Sensor der Forscher durchlief etwa hundert Mess/Waschzyklen im Zeitraum von einer guten Woche, Empfindlichkeit und Reproduzierbarkeit blieben dabei recht konstant. Um das Signal-zu-Rausch-Verhältnis zu verbessern, bauen die Wissenschaftler ihren Sensorchip aus fast 200 Nanodraht-FETs, die simultan messen können. Die Nachweisempfindlichkeit für TNT erreichte so Werte von bis zu 0,1 Parts per Trillion.

Nun wollen die Chemiker ihren Sensor weiterentwickeln, um mit unterschiedlich funktionalisierten Untereinheiten der Nanodraht-FETs zeitgleich verschiedene Nitro-Sprengstoffe nachweisen zu können.

■ Elektrochemischer Spürhund

Aus funktionalisierten Nanodraht-Transistoren lassen sich empfindliche Sprengstoffsensoren bauen.

Im vergangenen Jahrzehnt ist das Interesse am Nachweis kleinster Sprengstoffmengen sprunghaft gestiegen. Vor allem die Sorge um Terroranschläge war dabei die treibende Kraft, aber z. B. auch die Überprüfung von ehemaligen Militärgeländen. Sprengstoffe wie Trinitrotoluol (TNT) sind nur gering flüchtig und lassen sich daher schwer in Spuren nachweisen. Dafür sind sperrige Geräte, eine langwierige Präparation der Proben und Fachpersonal erforderlich. Das dauert und ist unflexibel. Chemiker der israelischen Universität Tel Aviv haben nun einen Sensor entwickelt, der diese Nachteile nicht hat.²⁾

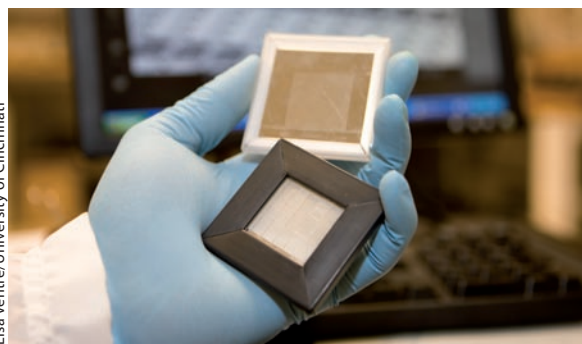
Sie verwenden Feldeffekttransistoren (FETs), bei denen Source und Drain mit Silizium-Nanodrähten verbunden sind. Diese Drähte beschichten sie mit der Monolage eines Silans, das sie mit Aminogruppen funktionalisiert haben. TNT-Moleküle binden an diese Aminogruppen als „Charge-Transfer-Komplexe“, bei denen der Komplex durch die Wechselwirkung eines Elektronen-Donators mit einem -Akzeptor entsteht: Die Elektronen der elektronenreichen Aminogruppen werden auf die

■ Schaltkreise mit Durchblick

Forscher stellen kostengünstige transparente Transistoren her.

Die Zukunft der Elektronik ist reich an Visionen. Eine davon, die im Lauf des vergangenen Jahrzehnts konkretisiert wurde, sind transparente Schaltkreise. Mit ihnen lassen sich z. B. Head-up-Displays auf Windschutzscheiben, Aktivmatrix-Displays auf Fenstern oder Möbel mit integrierter, aber unsichtbarer Elektronik verwirklichen. Die Ausgangsmaterialien für solche Anwendungen müssen eine weite Bandlücke besitzen, und ihre Ladungsträgerkonzentrationen sollten sich gut mittels Elektroden kontrollieren lassen. Das prominenteste Beispiel für ein transparentes, metallisch leitfähiges Kontaktmaterial in heutigen elektronischen Anwendungen – etwa in Displays, Solarzellen oder berührungsempfindlichen Bildschirmen – ist Indiumzinnoxid.

Forscher, die bislang durchsichtige Feldeffekttransistoren (FETs) entwickelt haben, konzentrierten sich meistens auf Metall-Isolator-



Lisa Ventre/University of Cincinnati

Die Machbarkeitsstudien mit elektrofluidischen Displays sind einige Quadratzentimeter groß.

So benötigen LC-Displays viel Energie, weil sie permanent von hinten durchleuchtet werden müssen. Elektronische Tinte wiederum braucht zwar relativ wenig Energie, ist aber nur bedingt für Videos und Farbbilder geeignet. Im Rennen um eine Technologie, welche die Vorteile beider Ansätze vereint, haben Wissenschaftler der University of Cincinnati im US-Bundesstaat Ohio und die Start-up-Firma Gamma Dynamics nun eine Machbarkeitsstudie mit elektrofluidischen Displays vorgelegt.¹⁾

Diese Displays benötigen nicht permanent Energie: Das Umgebungslicht fällt durch eine Frontscheibe und eine transparente Elektrode und durchläuft dann eine dünne Ölschicht, bevor es auf eine reflektierende Elektrode trifft. Die Reflektivität erreicht in mehreren Monaten dauernden Tests Werte von über 70 Prozent, fast wie bei weißem Papier. Unter der reflektierenden Elektrode befindet sich eine weitere Ölschicht, die über schmale Kanäle mit der oberen Schicht verbunden ist. In dem Öl schwimmen Pigmente, die sich über die Ansteuerung der Elektroden in der oberen oder der unteren Ölschicht

1) Shu Yang et al., Appl. Phys. Lett. **97**, 143501 (2010)

2) Yoni Engel et al., Angew. Chem. **122**, 6982 (2010)

3) Heiko Frenzel et al., Adv. Mater. AOP 27, September 2010 (DOI: 10.1002/adma.201001375)

Halbleiter-FETs (MISFETs), die auf Zinkoxid oder verwandten halbleitenden Oxiden beruhen. Allerdings erfordern MISFETs relativ hohe Betriebsspannungen wegen des starken Spannungsabfalls über dem Isolator. Zudem sind ihre Schaltgeschwindigkeiten durch die Ladungsträgerstreuung an der Grenzschicht zwischen Isolator und Halbleiter nicht so hoch, was sich in einer geringen Verstärkung bemerkbar macht. Einer Arbeitsgruppe um Marius Grundmann von der Universität Leipzig ist es nun gelungen, diese Nachteile zu vermeiden.³⁾

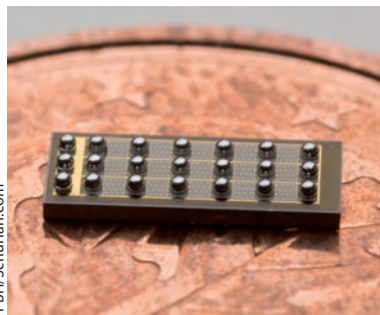
Die Physiker verzichteten auf die isolierende Schicht und haben MESFETs (Metall-Halbleiter-FETs) auf der Basis eines transparenten gleichrichtenden Kontakts entwickelt und umfassend charakterisiert. Ihre Herstellung ist großflächig möglich, wobei sie weniger komplex ist und kostengünstiger ausfällt als die von MISFETs. Die Betriebsspannung der vorgestellten MESFETs liegt zwischen einem und drei Volt, die Verstärkung erreicht Werte von bis zu 200. Ein Patent für die Technologie ist bereits erteilt.

■ Weltraumharte Transistoren

Die Galliumnitrid-Technologie erweist sich als Alternative zur Siliziumtechnik in der Leistungselektronik von Satelliten.

Extreme Temperaturen, Teilchen mit hohen Energien und Vibrationen setzen den elektronischen Bauteilen von Satelliten ziemlich zu. Für Weltraumanwendungen in der Leistungselektronik müssen Transistoren aber nicht nur auf diese extremen Bedingungen ausgelegt sein, sondern gleichzeitig auch noch kompakt und leicht. Bislang beruht weltraumtaugliche Leistungselektronik auf der Siliziumtechnologie, bei der aber viel Aufwand nötig ist, damit sie unter den extremen Bedingungen reibungslos funktioniert.

Die Galliumnitrid-Technologie bietet da wegen ihrer großen Materialbandlücke und ihrer guten Wär-



Diese weltraumtauglichen GaN-Transistoren des FBH sind noch nicht optimal angeordnet, eine achteckige Struktur ist für die Wärmeabfuhr besser als das „Schachbrettmuster“.

meleitfähigkeit eine interessante Alternative. Wissenschaftler des Ferdinand-Braun-Instituts, Leibniz-Institut für Höchstfrequenztechnik, (FBH) in Berlin haben nun im Auftrag eines Industriekunden solche GaN-Transistoren für Schaltnetzteile entwickelt, die den von den Solarzellen gelieferten Strom für verschiedene Verbraucher auf dem Satelliten bereitstellen.

Die GaN-Prototypen sind in der Flip-Chip-Technologie montiert. Dabei sitzen auf der Vorderseite der Transistoren Kontaktierhügel, die „Bumps“. Sie stellen die mechanische Verbindung zu einer keramischen Leiterplatte her und führen auch die entstehende Wärme ab. Um Temperaturdifferenzen durch eine inhomogene Wärmeabfuhr möglichst zu vermeiden – mehrere zehn Kelvin sind da keine Seltenheit –, haben die FBH-Wissenschaftler die Anordnung der Transistorzellen zu den Bumps optimiert: Sie sind in einer achteckigen Struktur um die Bumps gruppiert, wodurch sich der Temperaturgradient selbst bei maximaler Leistungsdichte auf wenige Kelvin verringern ließ.

Die bislang entwickelten Prototypen sind für Pulsströme von 25 und 50 A spezifiziert, nun entwickeln die Wissenschaftler Transistoren für 150 A. Alle Prototypen sind dank einer p-dotierten Deckschicht selbstsperrend, der Drain-Strom ist also null, wenn der Transistor nicht angesteuert wird – eine weitere Eigenschaft, die den Sicherheitsanforderungen bei Weltraumeinsätzen Rechnung trägt.

Michael Vogel