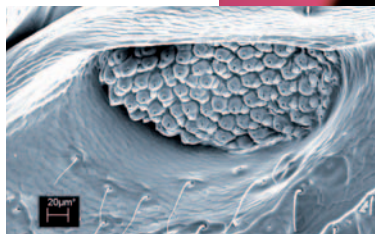
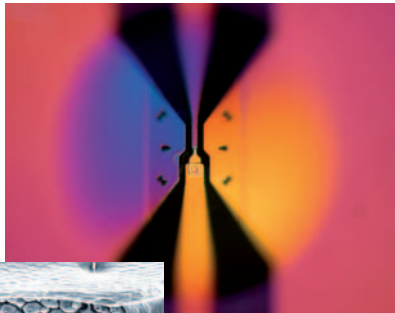


Brandwarnung nach Käferart

Der Schwarze Kiefernprachtkäfer (*Melanophila acuminata*) hat einen Sinn für Waldbrände. Nicht um davor zu fliehen, sondern um in der verkohlten Rinde seine Eier abzulegen, während die meisten anderen Insekten frische Brandflächen meiden. Der Kiefernprachtkäfer kann Waldbrände noch aus 80 Kilometern Entfernung aufspüren. Möglich machen dies etwa 70 winzige,



Elektrodenstruktur des Infrarotsensors nach Vorbild des wärmeempfindlichen Organs des Kiefernprachtkäfers. (Fotos: caesar, Uni Bonn)

mit Wasser gefüllte Kammern unter seinem Panzer. Die sich bei Wärme ausdehnende Flüssigkeit reizt mechanosensitive Nervenzellen, und dienen so als hoch empfindlicher Wärmesensor. Deren Empfindlichkeit wurde in Verhaltensexperimenten auf etwa $60 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ abgeschätzt.

Nach diesem biologischen Vorbild haben nun Forscher des Bonner Forschungszentrums caesar in Zusammenarbeit mit Zoologen der Universität Bonn einen bionischen Infrarotfühler entwickelt, dessen mechanosensitives Messprinzip deutlich günstigere, empfindliche Infrarotdetektoren für Feuermelder und Wärmekameras ermöglichen soll.

Die caesar-Forscher stellten dazu mit lithografischen Methoden einen winzigen Hohlraum in einem dünnen Siliziumwafer her. An seiner Unterseite befindet sich ein für Infrarotstrahlung transparentes Fenster. Statt auf mechanosensitive Nervenzellen wie beim Käfer greifen die Entwickler um Markus Löhndorf auf eine drei Mikrometer dünne Membran zurück. Mit einem Ionenstrahl bohrten sie in diese einen winzigen Kanal mit 500 Nanometer Durchmesser, der sich durch ein darüber angeordnetes Elek-

trodenpaar fortsetzt. Wie in einer Kapillare dehnt sich bei Wärmezufuhr die Flüssigkeit in diesem Hohlraum aus. Sobald der Meniskus der Flüssigkeit zwischen die Elektroden gelangt, ändern sich der elektrische Widerstand und die Kapazität. Volumenänderungen der Flüssigkeit um nur $0,0001 \mu\text{m}^3$ äußern sich in messbaren Kapazitätsschwankungen von wenigen Picofarad. Die nur $2 \cdot 10^{-4}$ Kubikmillimeter kleine und mit einer ionischen Flüssigkeit gefüllte Kammer soll Messgenauigkeiten im Millikelvin-Bereich ermöglichen. Der Messbereich könnte mit verschiedenen, ionischen Flüssigkeiten an den jeweiligen Bedarf angepasst werden.

Noch handelt es sich bei diesem mikrofluidischen Wärmesensor lediglich um eine Machbarkeitsstudie. Doch die caesar-Forscher sind optimistisch, aus ihrem funktionierenden Prototyp in zwei bis drei Jahren erste Produkte zu entwickeln, wie z. B. ein Wärmesensor als Brandmelder oder auch eine hochauflösende Wärmekamera aus den mikrofluidischen IR-Sensoren.

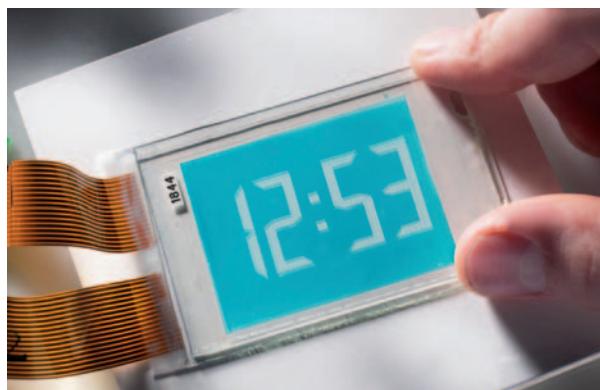
Displays aus Wasser und Öl

Stromsparend und kontrastreich lassen sich mit elektronischem Papier mittlerweile Texte und stehende Bilder anzeigen. Nach erfolgreichen Laborversuchen entwickelt nun der Elektronikkonzern Philips mit seiner Tochterfirma Liqavista erste Prototypen für neuartige farbige Anzeigen bei Digitaluhren und elektronischen Taschenrechnern. In diesen Displays wird jeder einzelne Bildpunkt durch winzige, mit Wasser und eingefärbten Ölen gefüllte Zellen dargestellt.

Diesen Displays liegt die mithilfe einer elektrischen Spannung geregelte Benetzung einer wasserabstoßenden Oberfläche (*electrowetting*) zugrunde. Dazu wird in 25×25

Mikrometer kleinen und 50 Mikrometer dicken Zellen eine weiße Lage aus einem stark hydrophoben, amorphen Fluoropolymer mit einem dünnen Ölfilm sowie einer Wasserschicht bedeckt. Eine leitfähige, transparente Lage aus Indiumzinnoxid schließt das System ab. In dem Grundzustand erscheint die Zelle als schwarzer oder farbiger Bildpunkt, je nach den Farbstoffen, die in der öligen Phase verteilt sind. Wird nun jedoch eine Spannung von -15 bis -20 Volt angelegt, so ist die anfangs hydrophobe Schicht nicht länger wasserabstoßend, sodass die Ölschicht von dem darüber liegenden Wasser verdrängt wird. Die Folge: Der Betrachter sieht keinen Farbpunkt mehr, sondern die weiße Oberfläche des Fluoropolymers. Das Schwerfeld der Erde beeinflusst die Pixel nicht, da die Oberflächenspannungen mit etwa 1000-fach größeren Kräften wirken als die Erdanziehung.

In ersten schwarz-weißen (mit schwarzem Öl) und farbig-monochromen (mit gefärbten Öl) Prototypen setzten die Philips-Forscher bis zu 14000 dieser mit lithografischen Prozessen hergestellten Öl-Wasser-Zellen auf ein regelbares Transistorareal. Mit einer Diagonalen von etwa zweieinhalb Zentimetern erreichen diese Anzeigen eine Auflösung von knapp 170 Pixel pro Zoll. Der Kontrast von 15:1 (ohne jede Hintergrundbeleuchtung) ist vergleichbar mit dem von bedrucktem Zeitungspapier. Diese Anzeige benötigt etwa zehnmal weniger Strom als ein herkömmliches Flüssigkristalldisplay und lässt sich innerhalb von wenigen Millisekunden schalten. Damit sind videotaugliche Schaltfrequenzen von über 100 Hertz möglich. Für vollfarbige Displays kann vor jedem einzelnen Pixel der Schwarz-Weiß-Variante ein steuerbarer RGB-Filter gesetzt werden.



Bei diesem Display-Prototyp entsteht die Farbwirkung durch winzige, mit Wasser und eingefärbten Ölen gefüllte Zellen. (Foto: Philips)

1) Jun Xu et al., International Journal of Heat and Mass Transfer 49, 1658 (2006)



Kühlender Nanoteppich

Heute halten surrende Lüfter und erste Kreisläufe mit Flüssigkeiten schnell getaktete Computerchips kühl. Für eine effiziente Abführung der Wärme von der Chipoberfläche wird der thermische Kontakt über so genannte Wärmeleitpasten aus Silikonöl und Aluminiumoxid, oder auch mit Aluminium-, Kupfer- und Silberanteilen gewährleistet. Da die Wärmedichten auf den Chipoberflächen bereits heute bei 35 W/cm^2 liegen und in den nächsten Jahren weiter bis auf 200 W/cm^2 ansteigen werden, sind jedoch neue Materialien nötig. Forschern des Cooling Technologies Research Center an der Purdue University gelang es nun, den thermischen Kontakt mittels filigraner Teppiche aus Kohlenstoffröhrchen um ein Vielfaches zu steigern.¹⁾

Das Team um Timothy Fisher ließ dazu eine ganze Wiese der winzigen Hohlkörper mit thermischem Kontakt zu einer Siliziumoberfläche wachsen. Diese haften allerdings nicht direkt auf dem Halbleiter, sondern auf einer insgesamt 46 Nanometer dünnen Schicht aus Titan, Aluminium und Nickel. Gerade Nickelpartikel haben sich als katalytische Zuchtkeime für das Wachstum der mehrwandigen Nanoröhrchen aus einer heißen Ethylen-Atmosphäre heraus bewährt (*chemical vapour deposition*, CVD). Trotz dieser Metalllagen führen die Hohlkörper die Wärme eines aufgeheizten Siliziumwafers effizient ab. Während Testmessungen mit handelsüblichen Wärmeleitpasten einen Temperaturanstieg von 15 Grad ergaben, erwärmte sich ein mit dem Teppich bestückter Wafer lediglich um 5 Grad. Dafür verantwortlich ist die ausgesprochen gute Wärmeleitfähigkeit von Kohlenstoff. Nach diesen Ergebnissen mit einfachen Siliziumwafern ohne jeden Schaltkreis stehen nun Versuche mit schnell getakteten Computerchips aus.

Ergänzend zu diesem Projekt arbeitet die gleiche Forschungsgruppe an der Optimierung einer Flüssigkeitskühlung für Computerchips: Dabei fließt Wasser durch ein Netzwerk winziger Kanäle mit Durchmessern von etwa 100 Mikrometern. Statt mit einer normalen Mikropumpe wird der Kreislauf jedoch mit Hunderten von Elektroden entlang der Kanäle und zusätzlichen Piezoelementen an den Enden aufrecht erhalten.

Holographisch konzentrieren

Solarstrom ist heute noch deutlich teurer als Elektrizität aus Kohle oder Kernkraft. Höhere Wirkungsgrade und geringere Produktionskosten für die Photovoltaik-Module können zu einer höheren Wirtschaftlichkeit führen. Neben Dünnschichtzellen sollen gebündelte Sonnenstrahlen den Silizium-Verbrauch pro Watt installierter Leistung senken. Während die Firma Concentrix Solar in Freiburg auf Fresnel-Linsen setzt, die das Sonnenlicht 500-fach konzentrieren, will das US-Unternehmen Prism Solar Technologies holographische Schichten für eine frequenzabhängige Änderung der Strahlenwege nutzen. Damit sollen Einsparungen für Solarmodule um bis zu 75 Prozent gegenüber traditioneller Solartechnik möglich werden, da – bei gleicher Effizienz – nicht mehr die komplette Fläche eines Solarmoduls mit Siliziumzellen bestückt werden braucht.

In einem Prototyp von Prism Solar sind die Solarzellen in mehreren Reihen angebracht. Davor befindet sich eine sieben Mikrometer dünne Folie aus dem Kunststoff Tefzel, die wie ein Sandwich von zwei Glasplatten umfasst wird. Während das direkt einfallende Sonnenlicht die Solarzelle ungeschwächt erreicht, befinden sich in der Kunststoffschicht in den Bereichen, unter denen keine Solarzelle liegt, holographische Strukturen. Diese bündeln oder streuen Sonnenstrahlen je nach der Frequenz. Nur die Wellenlängen des Lichts, bei denen der Wirkungsgrad des Solarmoduls am größten ist, sollen dadurch fokussiert zur Stromerzeugung genutzt werden. Andere Anteile des Sonnenspektrums erreichen die Module dagegen nicht, damit sie nicht erhitzt werden. Eine aufwändige Kühlung wie bei der Konzentratorzelle fiele damit weg.

Mit diesem Filtereffekt glauben die Entwickler einen Nachteil der Hologramme gegenüber Linsensystemen auszugleichen. Denn sie erreichen nur eine etwa zehnfache Lichtbündelung im Vergleich zu der bis zu tausendfachen Konzentration des Sonnenlichts mit Linsen. Prism Technologies schätzt, Solarmodule ohne zusätzliches Kühlsystem für 1,50 Dollar pro Watt schon in wenigen Jahren herstellen zu können, das entspricht etwa dem Preisziel für ein Watt installierter Leistung mit Linsensystemen.

JAN OLIVER LÖFKEN