

■ Elastische Sache

Flexible piezoelektrische Sensorflächen ermöglichen die alternative Bedienung von Displays.

Flexible Displays gelten als ein wichtiger Trend bei Bildschirmstechnologien, weil sie völlig neue Nutzungsmöglichkeiten eröffnen. Statt Wischbewegungen könnte das zum Beispiel ein relativ natürliches Umblättern wie bei einem Buch sein. Ein Team europäischer

■ Effizient trotz dünnem Stapel

Eine Mehrfachsolarzelle aus einer organischen und zwei anorganischen Subzellen erreicht knapp 12 Prozent Wirkungsgrad.

Trotz der weiten Verbreitung von Solarzellen ist die Technologie längst nicht ausgereizt. Mittelfristig bedeutend dürften Ansätze wie Dünnschicht-Solarzellen und deren Kombination in Stapeln zu Mehrfachsolarzellen sein, weil sie neue Anwendungen ermöglichen und mit einem deutlich kleineren Material- und Energieaufwand als traditionelle Siliziumzellen herstellbar sind. Zudem entfallen die Einschränkungen bei den Trägermaterialien, und das Sonnenspektrum lässt sich besser ausnutzen. Verschiedene Forschergruppen haben Mehrfachsolarzellen auf anorganischer oder organischer Basis entwickelt. Wissenschaftler der Universität Potsdam und des Helmholtz-Zentrums Berlin haben das Labormuster einer hybriden Mehrfach-Dünnschichtzelle mit einem Wirkungsgrad von 11,7 Prozent vorgestellt.¹⁾

In Mehrfachzellen ist amorphes Silizium (a-Si:H) ein gängiges Material, vor allem in Verbindung mit mikrokristallinem Silizium ($\mu\text{c-Si:H}$). Weil letzteres wegen seiner geringen Absorption im Nahinfrarot jedoch als Schicht recht dick ausfallen muss, gibt es Versuche, die $\mu\text{c-Si:H}$ -Subzelle durch eine organische Subzelle mit geringer Bandlücke zu ersetzen. Sie ergänzt die große Bandlücke der a-Si:H-Subzelle recht gut. Die Wirkungsgrade für solche Hybrid-Tandemzellen sind jedoch vergleichbar mit denen von optimierten a-Si:H-Einschichtzellen. Ein Manko der Tandemzellen war die geringe Absorption um 600 nm, wo das Sonnenspektrum den höchsten Photonenstrom aufweist. Die Berlin-Potsdamer Forschergruppe kombinierte daher zwei a-Si:H-Subzellen mit einer spektral optimierten organischen Subzelle auf Basis eines Polymer-Fulleren-Gemisches. Durch die sehr viel höhere Absorption der organischen Materialien verglichen mit $\mu\text{c-Si:H}$

konnten sie die Schichtdicke des aktiven Stapels auf einen Mikrometer reduzieren.

Das Labormuster hat einen um rund vier Prozentpunkte höheren Wirkungsgrad als eine Ende 2014 vorgestellte Hybridzelle aus einer a-Si:H-Tandem- und einer organischen Subzelle. Der bislang erreichte Wirkungsgrad von rein organischen Mehrfachsolarzellen liegt bei 11 bis 12 Prozent.

■ 3D ohne Brille

Ein Element aus Laserdiode und MEMS-Spiegel dient als Pixel für ein autostereoskopisches 3D-Display.

Auch wenn die erste Euphorie über 3D-Displays im Consumermarkt abgeflaut ist, arbeiten Unternehmen und Forschungsinstitute weiter an der möglichst realistischen Wiedergabe räumlicher Bilder. Vor allem autostereoskopische Ansätze haben viel Potenzial. Dabei kann der Betrachter bei passendem Blickwinkel räumliche Bilder ohne 3D-Brille sehen: Optische Elemente auf der Bildschirmoberfläche sorgen zum Beispiel dafür, dass er mit jedem Auge unterschiedliche Ansichten einer Szene sieht, die er als räumliches Bild wahrnimmt. Die Kunst bei autostereoskopischen Displays besteht darin, den räumlichen Bildeindruck gleichzeitig für möglichst viele Betrachter und in einer möglichst großen Zone vor dem Display frei von Artefakten zu erzeugen.



Eine elektronisch aufgepeppt Folie fungiert als Eingabemedium.

Forscher hat kürzlich mithilfe eines Demonstrators gezeigt, wie sich durch Verformen und Bewegen einer elektronischen Folie ein solches Display bedienen lässt.

Im Projekt dient eine Kunststoffolie als Sensor, auf die Piezosensoren und Elektroden im Siebdruck aufgebracht wurden. Die Druckpaste der Piezosensoren besteht aus einem ferroelektrischen Polymer, ferroelektrischen Partikeln, um die Temperaturempfindlichkeit des Polymers aufgrund des pyroelektrischen Effekts zu kompensieren, sowie aus einem Lösungsmittel. Die gedruckte Sensorschicht ist nur etwa fünf Mikrometer dünn, sodass die Folie relativ transparent bleibt. Mit Hilfe eines Algorithmus lassen sich die charakteristischen Verformungen und Bewegungen der Folie in elektronische Signale umwandeln. Bislang klappt das nur in Verbindung mit einem starren Display. Ein etwa DIN-A5-großes flexibles Display, in das die Folie integriert wird, ist das Ziel des Projekts, an dem Joanneum Research in Graz, die Fachhochschule Oberösterreich, das Fraunhofer-Institut für Silicatforschung ISC in Würzburg, Microsoft Research und das aus Plastic Logic abgespaltete Unternehmen FlexEnable beteiligt sind.

1) S. Roland et al., Adv. Mater. 2015, doi:10.1002/adma.201404698

2) J. Reitterer et al., Opt. Express 22 27063 (2014)

+) Physik Journal, August/September 2011, S. 88



Ein Bildpunkt des autostereoskopischen Displays enthält Laserdiode und MEMS-Spiegel.

Hierfür gibt es verschiedene Ansätze.⁴⁾

Das österreichische Unternehmen TriLite Technologies verwendet Laserdioden, deren Licht mithilfe von MEMS-Spiegeln so rasch über einen vorgegebenen Raumwinkel gescannt werden, dass sich autostereoskopische Bilder gleichzeitig für eine größere Gruppe von Menschen erzeugen lassen, die sich typischerweise in einigen zehn Metern Entfernung vom Display befindet. An dem Projekt wirken auch Wissenschaftler der TU Wien mit. Eine mögliche Anwendung sind großflächige LED-basierte Werbeflächen, die bislang nur 2D-Bilder liefern.

Ein Element, das Laserdiode und MEMS-Spiegel enthält und nur etwa so groß ist wie ein Zuckerkwürfel, bildet einen Bildpunkt des TriLite-Displays. Über die dahinterliegende Elektronik lässt sich die Spiegelbewegung steuern, um die vorausgerechneten Ansichten in die jeweils passenden Raumrichtungen auszugeben. Bei einem Labormuster mit 5×3 monochromen Pixeln beträgt der Betrachtungswinkel ± 10 Grad.²⁾ Der demnächst fertig gestellte Vollfarb-Prototyp mit 12×9 Pixeln wird einen Betrachtungswinkel von ± 20 Grad haben und eine Leiterplatte randlos ausfüllen, sodass sich mehrere dieser Module nahtlos zu größeren Displays zusammensetzen lassen. Laut den Projektbeteiligten ist das 3D-Video signal so konzipiert, dass es eine große Anzahl von Modulen versorgen kann. Der Prototyp ist in der Lage, mehr als 1000 Betrachtungszonen darzustellen.

■ Alternative zu ITO

Mithilfe der Photometallisierung lassen sich transparente Silber-elektroden-Strukturen fertigen.

Indiumzinnoxid (ITO) ist der Quasistandard für transparente Elektrodenmaterialien in der Elektronik. Egal, ob Touchscreen, Flüssigkristall-Display oder Dünnschichtsolarzelle – ITO findet überall Verwendung. Das liegt vor allem an seiner hohen Transparenz im



Durch die Photometallisierung wird Silber eine Alternative zu Indiumzinnoxid.

sichtbaren Spektralbereich und seiner guten elektrischen Leitfähigkeit. Zudem lässt es sich mit etablierten lithografischen Verfahren verarbeiten und dazu relativ gut in Prozessketten integrieren. ITO hat aber auch Nachteile: Sein Einkaufspreis kann relativ stark schwanken, weil es nur wenige Rohstofflieferanten gibt. Zudem zeigt sich besonders bei großen Touchscreens deutlich, dass die elektrische Leitfähigkeit Grenzen setzt, wenn gleichzeitig eine hohe Transmission im sichtbaren Bereich erwünscht ist. Eine Alternative wären Silbergitter, die mit Linienbreiten von wenigen Mikrometern kaum sichtbar sind, aber dennoch eine deutlich höhere Leitfähigkeit besitzen. Forscher des Saarbrücker Leibniz-Instituts für Neue Materialien haben nun die Photometallisierung von strukturierten Silberbahnen entwickelt.

Die Wissenschaftler bringen dazu auf das zu beschichtende Polymer- oder Glassubstrat zunächst eine Schicht aus Titanoxid-Nanopartikeln – zum Beispiel durch Tauchen aus der Suspension – auf. Diese Schicht fungiert sozusagen als photoaktive Grundierung, auf der sich mittels UV-Licht metallisches Silber aus einer chemisch geeignet eingestellten Silbersalzlösung abscheiden lässt. Dass so die gewünschten Silberstrukturen entstehen, demonstrierten die Forscher mithilfe von Photomasken auf Substraten mit $10 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}$ Fläche. Zudem zeigten sie in einer Machbarkeitsstudie, dass mit der Photometallisierung auch das Laserschreiben von Leiterbahnen funktioniert. An einem dritten Verfahren arbeiten die Forscher noch: dem Prägen mit einem durchsichtigen Stempel, in dessen Rolle eine UV-Lichtquelle integriert ist.

Michael Vogel