

## Die Sonne bleibt draußen

Wenn es im Sommer im Büro unerträglich heiß wird und Lichtreflexe das Arbeiten am Bildschirm erschweren, kann ein transparenter Sonnenschutz am Fenster Abhilfe schaffen. Zu diesem Zweck hat das Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE in Freiburg nun beschichtete Scheiben vorgestellt, die sich bei Bestrahlung automatisch einfärben und im Dunkeln wieder transparent werden.



**Photochromes**  
Glas färbt sich stark ein, wenn es intensivem Sonnenlicht ausgesetzt wird. (Quelle: ISE)

Solche photochromen Gläser gibt es bereits seit längerem für Brillen. Im Gegensatz zu diesen herkömmlichen Materialien weist die Neuentwicklung auch bei höheren Temperaturen einen hohen Farbkontrast auf: Unter Beleuchtung mit Sonnenlicht von  $1000 \text{ W/m}^2$  geht die Transmission im sichtbaren Spektralbereich innerhalb von 15 Minuten von 60 % auf 4 % zurück.

Dem photochromen Fenster liegt ein Mehrschichtsystem zugrunde aus einer katalytischen Platinschicht sowie je einer nanoporösen  $\text{WO}_3$ - und  $\text{TiO}_2$ -Schicht, die auf das Glassubstrat aufgebracht sind. Die Poren enthalten einen Elektrolyten mit positiven Lithium-Ionen und negativen Iod-Ionen. Auf dem Titandioxid befinden sich Farbstoffmoleküle, die vom einfallenden Licht angeregt werden und dadurch Elektronen über das  $\text{TiO}_2$  in das Wolframoxid injizieren. Gleichzeitig lagern sich die Lithium-Ionen an das  $\text{WO}_3$  und die Iod-Ionen geben Elektronen an die Farbstoffmoleküle ab. Durch diese Prozesse färbt sich das Wolframoxid blau ein. Im Dunkeln führen Rekombinationsreaktionen, beschleunigt durch den Platin-Katalysator, zur Entfärbung.

Eine vergleichbare Einfärbung lässt sich auch mit elektrochromen Fenstersystemen erreichen, die jedoch eine externe Spannungsversorgung und damit transparente Elektroden erfordern. Das photochrome System ist daher in der Herstellung wesentlich einfacher und damit auch billiger.

## Terahertz-Wellen für mehr Sicherheit

Röntgengeräte und Metalldetektoren bilden heute die Sicherheitshürden beim Check-In am Flughafen. Terahertz-Sensoren könnten diese Kontrollen künftig weiter verbessern. Waffen und Plastiksprengstoffe lassen sich mit THz-Wellen im Spektralbereich zwischen Infrarot- und Radiowellen durch mehrere Textilagen ohne gesundheitliche Gefahren für den Passagier aufspüren. Dazu plant die britische Firma ThruVision – eine Ausgründung des renommierten Rutherford Appleton Laboratory in Didcot – noch dieses Jahr einen Praxistest ihres Prototyps für eine THz-Kamera.

Bisher verfügten nur einige Fernerkundungssatelliten über Kameras für elektromagnetische Wellen zwischen 0,1 und 30 THz. Wesentlich langwelliger als Röntgenstrahlung reicht die Energie von



**Die vom menschlichen Körper ausgehende Terahertz-Strahlung durchdringt die Kleidung und lässt sich für Sicherheitschecks detektieren.** (Quelle: ThruVision)

THz-Wellen nicht zur Ionisation von Molekülen aus. Diese Wellen werden vor allem von Wassermolekülen, Metallen, Keramiken und Kunststoffen absorbiert, können Kleidungsschichten dagegen mühelos durchdringen. Genau diese Eigenschaft nutzen die ThruVision-Entwickler. Technisch basiert der „T-SCAN“-Prototyp auf Halbleiter-Sensoren, vergleichbar mit optischen CCD-Chips für sichtbares Licht. Für ausreichend scharfe Falschfarben-Aufnahmen reicht sogar die Intensität der Strahlen aus, die der menschliche Körper selbst in diesem langwelligigen Spektralbereich aussendet. Mit Reaktionszeiten des Detektors unterhalb einer Sekunde und Reichweiten bis

zu zwei Metern sind auch effektive Screening-Module denkbar, bei denen Passagieren quasi im Vorbeigehen unter die Kleidung geschaut wird. Falls die anstehenden Versuche erfolgreich verlaufen, könnten marktfähige Produkte in wenigen Jahren möglich sein. Die Anschaffungskosten sollen dabei im Bereich herkömmlicher Röntgenapparate für den Flughafeneinsatz liegen.

Im Rahmen des EU-Projektes TeraSec setzen europäische Forscher auf aktive Durchleuchtungssysteme. Durch die höhere Intensität im Vergleich zur Eigenstrahlung des Körpers lassen sich hiermit Reichweiten von bis zu 20 Metern erreichen. Eine genauere Analyse der reflektierten Strahlen eignet sich auch zur Identifizierung gefährlicher Substanzen, da jedes Material – ob Plastiksprengstoff, TNT oder Anthrax-Sporen – jeweils charakteristische THz-Frequenzen absorbiert. Schließlich könnten THz-Wellen auch zur schnellen und zuverlässigen Hautkrebsdiagnose genutzt werden, da Tumorgewebe verglichen mit gesunden Hautpartien eine typische Absorption zeigt.

Primär zur Untersuchung von Halbleiterschichtstrukturen haben Physiker am Forschungszentrum Rossendorf kürzlich eine THz-Quelle entwickelt, die Schwachstellen bisheriger Ansätze umgeht.<sup>1)</sup> Die Quelle besteht aus einem speziell strukturierten GaAs-Wafer, der mit ultrakurzen Pulsen eines Ti:Saphir-Lasers bestrahlt wird. Dadurch werden im Halbleiter Elektronen generiert, die zwischen zwei fingerförmig ineinandergreifenden Elektroden beschleunigt werden und dabei THz-Strahlung emittieren. Da das elektrische Feld von Zwischenraum zu Zwischenraum (Abstand der Finger:  $5 \mu\text{m}$ ) die Richtung wechselt und somit die Strahlung destruktiv interferieren würde, deckt eine Maske jeden zweiten Finger ab. Die Rückseite der etwa  $1 \text{ cm}^2$  großen Struktur emittiert dann kohärente THz-Strahlung zwischen 0,5 und 3 THz.

## Akku laden in einer Minute

Der Prototyp einer neuen Lithium-Ionen-Batterie lässt sich 60-mal schneller aufladen als heute im Handel verfügbare Modelle. In nur einer Minute Ladezeit erreicht der kleine „Super-Charge“-Akku bereits 80 Prozent seiner Speicherkapazität von derzeit 600 Milliamperestunden

1) A. Dreyhaupt et al., Appl. Phys. Lett. **86**, 121114 (2005)

2) B. Lamprucht et al., phys. stat. sol. (a) **202**, R50 (2005)

(mAh). Japanische Entwickler vom Konzern Toshiba ersetzten dazu das bisher verwendete Anoden-Material aus Kohlenstoff durch nanostrukturiertes Lithiumkobaltoxid.

Als einen Grund für diese deutlich verbesserten Ladeigenschaften geben die Toshiba-Forscher die vergrößerte, aktive Oberfläche der Anode an. Während derzeitige Akku-Anoden aus Kohlenstoff rund  $3 \text{ m}^2/\text{g}$  aufweisen, gelang es, diese für den Transport der Lithium-Ionen wichtige Größe durch einige hundert Nanometer große Nanoteilchen zu vervielfachen. Zudem verhinderten die Wissenschaftler durch eine organische Elektrolytflüssigkeit, deren Zusammensetzung sie geheim halten, den ungenutzten Abfluss von Ladungsträgern. Mit nanokleinen Spinell-Kristallen aus Lithiumtitanat gelang es erst vor wenigen Wochen der US-Firma Altair Nanomaterials in Reno, die Mobilität der Lithium-Ionen zu steigern. Damit erreichten sie eine aktive Oberfläche von rund  $100 \text{ m}^2/\text{g}$  und ebenfalls Ladezeiten von wenigen Minuten.

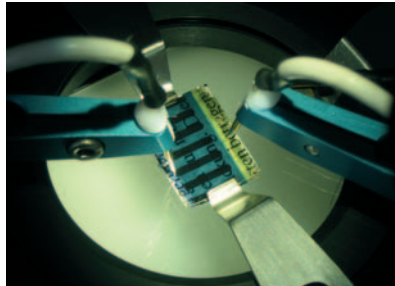
Im Toshiba-Labor wurde das kleine Akku-Modul ( $62 \text{ mm} \times 35 \text{ mm} \times 3,8 \text{ mm}$ ) auch einem Belastungstest mit 1000 Ladezyklen unterworfen. Die Speicherkapazität fiel bei Raumtemperatur lediglich um ein Prozent, bei  $45^\circ \text{C}$  dagegen um fünf Prozent. Selbst bei tiefen Temperaturen von  $-40^\circ \text{C}$  hielten sich diese Verluste mit 20 Prozent noch in Grenzen. Herkömmliche Lithium-Ionen-Akkus büßen bereits bei  $-25^\circ \text{C}$  vergleichbare Ladekapazität ein.

## Photodioden auf Zeitungspapier

Organische Halbleiter sind die idealen Materialien, um flexible Schaltkreise auf Textilien oder rollbare Unterlagen zu bannen. Österreiche Physiker vom Joanneum Forschungszentrum in Weiz suchten sich nun mit einem Schnipsel der Wochenzeitung „Die Zeit“ ein technisch sehr anspruchsvolles Trägermaterial aus. Geschickt kapselten sie das grobe und chemisch wie mechanisch wenig stabile Papier in Nanometer dünne, durchsichtige Kunststoffschichten. Dadurch gelang es ihnen, Unebenheiten aus bis zu 50 Mikrometer großen Zellulose-Fasern ausreichend gut auszugleichen. So eingepackt brachten sie erfolgreich Photodioden aus or-

ganischen Halbleitermaterialien auf dieses ungewöhnliche Substrat.<sup>2)</sup>

Die erste Hülle formten die Forscher um Bernhard Lamprecht aus dem Kunststoff Parylen C, der aus der Dampfphase rundum auf den Papierschnipsel abgeschieden wurde. Für eine bessere mechanische Stabilität dient eine zweite Schicht aus ORMOCER, einem auf Silikate basierenden anorganisch-organischen Hybrid-Polymer. Nachdem diese Behandlung die Unebenheiten auf rund drei Nanometer reduziert



Auf gewöhnlichem Zeitungspapier ist diese organische Solarzelle aufgebracht (Quelle: Joanneum)

hat, folgten darauf die elektronisch relevanten Schichten: eine 55 nm dünne Goldelektrode, zwei organische Halbleiterlagen (Kupfer-Phthalocyanin Cu-Pc, PTCBI, je 40 nm) und eine 25 nm dünne Silberelektrode zuoberst. Das gesamte Modul behielt dabei sowohl seine Flexibilität als auch seine Transparenz im sichtbaren Wellenlängenbereich.

Fällt Licht einer Wellenlänge zwischen 500 und 700 nm ein, so entstehen an der Grenzschicht zwischen den beiden organischen Halbleitern Elektronen-Loch-Paare. Die negativen Ladungsträger wandern danach zur oberen Silberelektrode, die Löcher zur unteren Goldschicht. Bestrahlt mit einer Halogen-Lampe ( $17 \text{ mW}/\text{cm}^2$ ) zeigte das Modul eine für eine Photodiode typische Strom-Spannungs-Charakteristik. (Gleichrichtungs-Verhältnis:  $10^4$  bei  $\pm 1$  Volt). Für einen Einsatz als hochflexible Solarzelle liegt der Wirkungsgrad mit rund einem Prozent allerdings noch zu niedrig. Auch wenn sich dieser Wert durch weitere Verfeinerungen durchaus steigern ließe, ging es Lamprecht und Kollegen vor allem um das Grundprinzip der Beschichtung rauer Oberflächen. Neben Photodioden können so auch weitere elektronische Schaltkreise aus organischen Halbleitern auf scheinbar ungeeigneten Trägermaterialien deponiert werden.

JAN OLIVER LÖFKEN