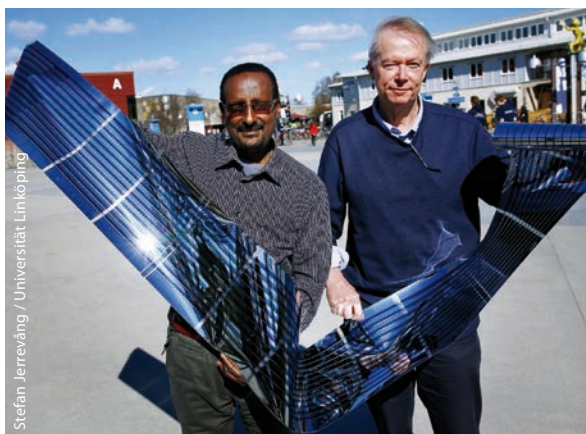


■ Fullerenfreie Photovoltaik

Polymersolarzellen erreichen knapp elf Prozent Wirkungsgrad.

Polymersolarzellen haben ein erhebliches Potenzial für großflächige, flexible Module. Da sie sich in einem Druckverfahren herstellen lassen, ist ihre Fertigung relativ preiswert. Bis zur Marktreife auf breiter Front geht es bei diesem Zelltyp aber noch darum, seinen Wirkungsgrad und seine Haltbarkeit deutlich zu steigern.



Polymersolarzellen lassen sich im Rolle-zu-Rolle-Verfahren drucken.

In vielen Polymersolarzellen mit Heteroübergang dienen Fullerene dazu, die Ladungsträger voneinander zu trennen. Allerdings sind sie unter Sonneneinstrahlung instabil und neigen bei hohen Temperaturen dazu, große Kristalle zu bilden. Dadurch ist der Wirkungsgrad von fullerenbasierten Polymersolarzellen bislang hinter den Erwartungen zurückgeblieben. Nun ist es Forschern der Chinesischen Akademie der Wissenschaften in Beijing und der schwedischen Universität Linköping gemeinsam gelungen, eine fullerenfreie Polymersolarzelle zu entwickeln, die in zertifizierten Messungen knapp elf Prozent Wirkungsgrad erreicht hat.¹⁾

Die Zellen haben damit den höchsten Wert, der bislang für eine fullerenfreie Polymersolarzelle veröffentlicht wurde, sowie den höchsten bekannten Wert für eine beliebige Polymersolarzelle mit einer Fläche von einem Quadratzentimeter. Die Wissenschaftler nutzen für ihr Labormuster ein konjugiertes Polymer in Verbindung mit einem kleinen Molekül, deren

Absorptionsspektren zueinander komplementär sind. So können mehr Elektron-Loch-Paare entstehen. Getestet haben die Forscher ihre Zelltechnologie an hundert Zellen aus fünf verschiedenen Fertigungsläufen.

■ Alternative Altersdatierung

Statt mit Massenspektrometern lassen sich ¹⁴C-Konzentrationen auch durch optische Spektroskopie bestimmen.

Die Radiokohlenstoffdatierung hat sich in den vergangenen Jahrzehnten zu einem verlässlichen Verfahren entwickelt, um das Alter abgestorbener biologischer Proben zu bestimmen. Die Methode basiert darauf, dass in Organismen, in denen der Stoffwechsel zum Erliegen gekommen ist, das radioaktive ¹⁴C gemäß dem Zerfallsgesetz abnimmt, während sein Anteil in lebenden Organismen durch die kontinuierliche Aufnahme aus der Umwelt unverändert bleibt.

Solche hochpräzisen Messungen sind eine Domäne der Massenspektrometrie. Leider gibt es weltweit nur eine überschaubare Zahl an Laboren, die dies mit hoher Genauigkeit leisten können. Verschiedene Forschergruppen arbeiten daher an alternativen Verfahren für die Radiokohlenstoffdatierung. Dazu gehören kompaktere Massenspektrometer, deren Genauigkeiten bislang allerdings nicht sehr hoch sind, und kompakte optische Spektroskope. Wissenschaftler des italienischen Instituto Nazionale di Ottica in Florenz haben nun ein Labormuster vorgestellt, das die Konzentration des Radiokohlenstoffdioxids auf wenige Teile pro Billion (parts per quadrillion ppq; 1 zu 10⁻¹⁵) bestimmen kann.²⁾ Das liegt für die Altersbestimmung in derselben Größenordnung wie die ¹⁴C/¹²C-Sensitivität der besten Massenspektrometer.

Die jetzige Entwicklung der Wissenschaftler beruht auf einer Machbarkeitsstudie, die sie in den Jahren 2011/12 vorgestellt hatten. Seither verbesserten sie das vorhan-

dene Gerät weiter. Entscheidend waren eine kryogenfreie Kühlung auf 170 K mit einem Sterling-Motor, bessere Quantenkaskadenlaser und Laserresonatoren mit deutlich höherer Reflektivität. Die Wissenschaftler messen die Kohlenstoffkonzentration mittels der sog. Cavity-Ring-down-Spektroskopie. Dabei wird mit Hilfe eines eingekoppelten Laserstrahls der zeitliche Verlauf der Absorption in einer Kavität gemessen, in der sich das Probengas befindet.

■ Laser als Einmalprodukt

Gedruckte Laserkavitäten sind so billig herstellbar, dass sie nicht sonderlich haltbar sein müssen.

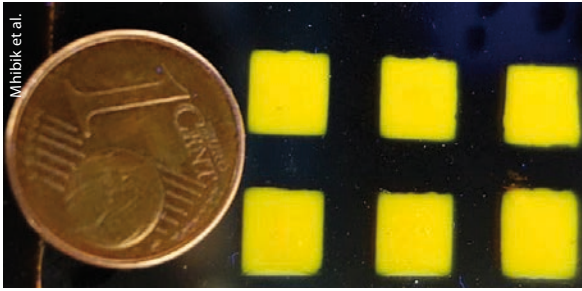
Laser existieren inzwischen in unzähligen Varianten hinsichtlich Bau- und Strahlformen, Leistungsklassen und Wellenlängen. Selbst Festkörperlaser aus organischen Materialien gibt es, auch wenn es um ihre Haltbarkeit noch nicht so gut bestellt ist. Wissenschaftler der Universität Paris, der École Nationale Supérieure des Mines de Saint-Étienne sowie der ungarischen Firma Semilab haben nun aus dieser Not eine Tugend gemacht: Sie konnten die Herstellungskosten für eine organische Laserkavität so weit senken, dass man sie nach Gebrauch einfach wegwirft.³⁾

Die Forscher stellen die Kavitäten mit einem Tintenstrahldrucker her und verwenden eine kommerziell erhältliche Tinte mit hoher Transmission, die sie mit ebenfalls kommerziell erhältlichen Farbstoffen mischen. Die Kavitäten drucken sie dann nebeneinander als 50 mm² große Flächen auf Glas. Tropfengröße und Abstand der Tinte haben sie experimentell optimiert. Sie erreichen eine sehr niedrige Oberflächenrauigkeit von 1,5 nm, sodass Streuverluste gering sind. Indem sie verschiedene Farbstoffe auswählten, demonstrierten sie bei einer Pumpwellenlänge von 532 nm bisher Laserwellenlängen zwischen 570 und 670 nm. Da die Transmission der Tinte aber zwischen 400 und 800 nm hoch ist,

1) W. Zhao et al., Adv. Mater., doi:10.1002/adma.201600281 (2016)

2) I. Galli et al., Optica 4, 385 (2016)

3) O. Mhibik et al., J. Appl. Phys., doi:10.1063/1.4946826



Solche Träger mit Laserkavitäten platzieren die Forscher in ihrem standardisierten Resonator.

erlauben es andere Pumpwellenlängen, Laseraktivität im gesamten sichtbaren Bereich zu erzeugen.

Die Kavitäten sind in einem Raster auf einem transparenten Träger angebracht und stehen zwischen zwei dielektrischen Spiegeln. Zwischen den Kavitäten und dem auskoppelnden Spiegel befindet sich zudem ein Fabry-Pérot-Etalon. Die Ausgangswellenlänge lässt sich grob durch die Wahl der Kavität mit dem gewünschten Farbstoff und feiner mit dem Etalon einstellen. Der Strahl ist beugungsbegrenzt. In der Grundmode haben die Forscher Ausgangsenergien von rund $30 \mu\text{J}$ bei einer Konversionseffizienz von gut 30 Prozent erreicht.

■ Mehr Speicher im Elektroauto

Superkondensatoren auf Basis von Graphen und ionischen Flüssigkeiten leben länger als Akkus.

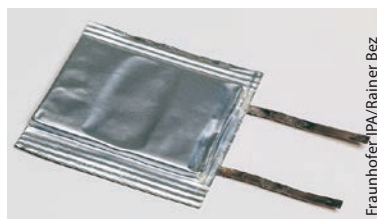
Die Lithium-Ionen-Technologie wird in den nächsten Jahren der Energiespeicher der Wahl für elektrisch betriebene Fahrzeuge sein. Bekanntlich wird die Reichweite der Elektroautos durch die (Teil-)Rückgewinnung der Energie beim Bremsen verlängert. Die Lastspitzen dieser Rekuperation beanspruchen die Akkus jedoch stark und verkürzen deren Lebensdauer. Die Ursache dafür liegt in der Art der Energiespeicherung: Sie geschieht elektrochemisch und benötigt Zeit.

Superkondensatoren dagegen haben dieses Problem nicht. Sie speichern die Energie elektrostatisch in der sich ausbildenden Doppelschicht. Diese Energie lässt sich ohne Nachteile rasch speichern und rasch wieder abrufen. Lastspitzen reduzieren also nicht die Lebensdauer.

Die Elektroden kommerziell erhältlicher Superkondensatoren sind mit Aktivkohle beschichtet. Forscher des Fraunhofer-Instituts für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA) in Stuttgart haben nun Superkondensatoren entwickelt, welche die große aktive Oberfläche von Graphen ausnutzen. Bei den Elektroden dient ein Nickelschaum als Träger, auf den eine Dispersion aus Graphen, Aktivkohle und speziellen Additiven mit einem Rolle-zu-Rolle-Verfahren aufgebracht wird. Der Elektrolyt beruht auf kommerziell erhältlichen ionischen Flüssigkeiten, welche die Wissenschaftler mit Lösungsmitteln an den gewünschten Temperaturbereich angepasst haben.

Das vorliegende Funktionsmuster besteht aus fünf in Reihe geschalteten Zellenstapeln, die jeweils aus fünf parallel geschalteten Zellen mit Betriebsspannungen von 2,5 Volt bestehen. Die Arbeitsspannung des Moduls beträgt somit 12,5 Volt. Das Funktionsmuster erreicht eine höhere Energiedichte als vergleichbare kommerzielle Produkte und eine ähnliche Leistungsdichte wie diese. Nach weiteren Tests auf Modulebene wollen die IPA-Forscher das Funktionsmuster mit einem Akkusystem verschalten, um deren Zusammenspiel zu untersuchen.

Michael Vogel



Die Zellen des Stuttgarter Superkondensators nutzen die große aktive Oberfläche von Graphen aus.