

■ Photovoltaik für die Fassade

Per Siebdruck lassen sich großflächige Farbstoffsolarmodule inklusive elektrischer Verschaltung herstellen.

Solarmodule sollen in der Zukunft nicht nur auf Dächern, sondern auch an Hausfassaden Sonnenlicht in Strom umwandeln. Eine mögliche Technologie, die inzwischen dem Labormaßstab entwachsen ist, sind Farbstoffsolarmodule. Sie beruhen auf dem Prinzip der Grät-



Fraunhofer ISE
Farbstoffsolarzellen sollen sich künftig in Hausfassaden integrieren lassen.

zel-Zelle, bei der kein Halbleitermaterial, sondern ein organischer Farbstoff Licht absorbiert und elektrochemisch in Strom wandelt. Für einen Sprung vom Labor in die raue Wirklichkeit sind vor allem der dauerhafte Schutz des Elektrolyten vor Umwelteinflüssen wichtig sowie eine wirtschaftliche Herstellungsweise der Module.

Wissenschaftler des Fraunhofer-Instituts für Solare Energiesysteme (ISE) in Freiburg haben nun ein industriell taugliches Verfahren entwickelt, mit dem sich große Modulflächen mit einem Glaslot per Siebdruck versiegeln lassen. Den Forschern gelang es dabei außerdem, die elektrische Verschaltung der Zellen untereinander aufzudrucken – bislang mussten die Zellen aufwändig nachträglich verdrahtet werden.

Bei dem 60 × 100 cm großen Prototypen standen fertigungstechnische Aspekte im Vordergrund, nicht die Optimierung des Wirkungsgrads. Allerdings haben die ISE-Wissenschaftler im Rahmen eines anderen Projekts mit demselben Siebdruckverfahren Module mit 10 × 10 cm Größe hergestellt,

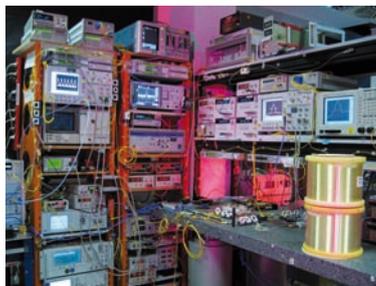
deren Wirkungsgrad von sieben Prozent vergleichbar ist mit den konkurrierenden Dünnschicht-solarzellen.

■ Flotte Lichtblitze

Mit 10,2 Terabit pro Sekunde stellen Forscher einen Weltrekord in der seriellen optischen Datenübertragung auf.

Optische Glasfasernetze bilden die Basis der Daten- und Nachrichtenübertragung. Da der Verkehr in den Telekommunikationsnetzen derzeit jährlich um 50 Prozent steigt, bauen die Betreiber die Kapazitäten weiter aus. Um die Netze möglichst effizient zu nutzen, versuchen die Entwickler, die zu übertragenden Informationen immer dichter zu packen. Wissenschaftler des Fraunhofer Heinrich-Hertz-Instituts in Berlin und der TU Dänemark in Kopenhagen haben nun einen Weltrekord bei der seriellen Datenübertragung aufgestellt: die Übermittlung von 10,2 Terabit pro Sekunde über eine 29 Kilometer lange Glasfaserstrecke. Kommerzielle Systeme erreichen derzeit 40 Gbit/s.

Zwei Dinge waren für den Erfolg ausschlaggebend: ein Zeitmultiplexing mit kürzeren Laserpulsen bei höherer Repetitionsrate und eine gleichzeitige Modulation der Amplitude und der optischen Phase der Lichtwellen. Die Forscher verwendeten das OTDM (Optical Time Division Multiplexing), um Datensignale mit Pulswiederholraten von bis zu 1,28 THz zu erzeugen. Dabei ordnen sie 128 optische 10-GHz-Signale wie in einem



Fraunhofer HHI
In diesem Labor stellten Forscher einen Weltrekord in der optischen Datenübertragung auf, dank optischem Zeitmultiplexing und einer Modulation von Amplitude und optischer Phase.

Reißverschluss hintereinander an, ohne dass diese sich gegenseitig überlappen. Konkret erfordert diese Herangehensweise Pulse von 300 Femtosekunden Dauer. Da es solche fs-Laser nicht auf dem Markt gibt, komprimieren die Forscher die Pulse eines ps-Lasers mit einem nichtlinearen optischen Verfahren.

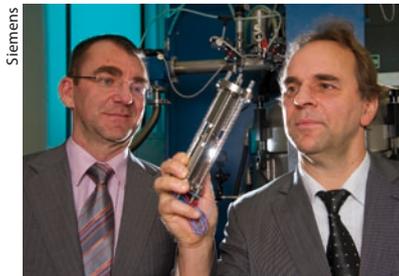
Die hohe Qualität dieser stark komprimierten Pulse ermöglicht es den Wissenschaftlern, eine 16-QAM-Modulation aufzuprägen. Dieses Standardverfahren im Mobilfunk wird bislang in der optischen Übertragungstechnik nicht kommerziell eingesetzt und erlaubt es, vier Bit auf einmal zu transportieren, statt einem Bit bei der reinen Amplitudenmodulation. Während aber im Mobilfunk der erforderliche kohärente Empfänger nur für eine Trägerfrequenz von einigen GHz funktionieren muss, erreicht die optische Trägerfrequenz etwa 190 THz. Die Phasen von Datensignal und Empfänger müssen aber gekoppelt bleiben, weshalb es bis vor wenigen Jahren sehr kompliziert war, einen solchen Empfänger zu verwirklichen. Inzwischen ist die digitale (elektrische) Signalverarbeitung so weit fortgeschritten, dass sich entsprechende Phasenfehler auch nachträglich kompensieren lassen.

■ Vibrationen zu Strom

Ein Energieernter wandelt mechanische Schwingungen unterschiedlicher Frequenz und Amplitude in elektrische Leistung um.

Die Vision vom Internet der Dinge, in dem viele Sensoren ihre Messdaten an zentrale Systeme liefern, hat ein Problem: Verteilte Sensoren müssen energieautark arbeiten, weil ihre Wartung zu aufwändig wäre. Eine viel versprechende Lösung dieses Problems sind Energieernter, die man heute etwa bereits bei netz- und batterielessen Lichtschaltern findet. Ein Energieernter wandelt beispielsweise mechanische Energie aus seiner Umgebung in elektrische Energie um. Verschiedene physikalische Prinzipien lassen sich dafür

1) N. Orfet et al., PNAS 108, 4743 (2011)



Siemens

Der piezoelektrische Energieernter nutzt Aktoren, wie sie für Dieseleinspritzventile Verwendung finden.

nutzen, allen gemeinsam ist, dass sie nur sehr geringe Leistungen von von einigen wenigen bis einigen hundert Mikrowatt erreichen. Wissenschaftler von Siemens haben nun einen Energieernter mit einer Leistung von mehreren zehn Milliwatt entwickelt.

Sie nutzen dafür kommerziell erhältliche Mehrschichtstapel aus Piezoelementen, wie sie vor allem bei Dieseleinspritzventilen Verwendung finden. Der Ernter besteht aus zwei solchen Aktoren, zwischen denen eine Masse so aufgehängt ist, dass Vibrationen sie senkrecht zur Achse Aktor-Masse-Aktor zum Schwingen anregen können. Die Kraft ist allerdings nicht linear zur Auslenkung, sondern zu deren dritter Potenz. Das System wird also umso steifer, je höher die Auslenkung ist, was wiederum die Dehnung – und damit eine Überbeanspruchung – der Aktoren begrenzt. Mathematisch gesehen handelt es sich bei dem System um einen Duffing-Oszillator.

Aufgrund der Nichtlinearität weist der Ernter eine auslenkungsabhängige Eigenfrequenz auf, wodurch er relativ breitbandig auf Vibrationen anspricht. Der Demonstrator kann Beschleunigungsamplituden von 1 g mit Frequenzen zwischen 25 und 50 Hertz wandeln. Das ist deutlich mehr, als viele bisherige Entwicklungen mit piezoelektrischen Energieerntern schaffen, die kaum über einige Hertz Bandbreite hinauskommen. Für die Siemens-Entwicklung wären Anwendungen in der Containerlogistik oder im industriellen Umfeld denkbar – Wechselstrommotoren erzeugen mechanische Schwingungen mit einer Frequenz um 50 Hertz.

■ Ziehen und integrieren

Beim Ziehen von Glasfasern lassen sich Dioden gleich mit integrieren.

Glasfasern spielen in der heutigen Technik eine wichtige Rolle. Ihre Anwendungen reichen von der optischen Datenübertragung über die Medizintechnik bis zur Lasermaterialbearbeitung. Wie in allen Technologiebereichen besteht auch bei Glasfasern der Wunsch, ihre Funktionalität und Integration immer weiter zu verbessern. Seit einigen Jahren erforschen Wissenschaftler daher, wie sich elektro-optische Bauelemente in Fasern integrieren lassen. Ein Team um Yoel Fink vom Massachusetts Institute of Technology (MIT) in Cambridge hat nun ein Verfahren entwickelt, um elektronische Bauelemente bereits beim Ziehen der Glasfaser zu integrieren.¹⁾ In ihren Experimenten konnten die Forscher so Dioden aus Zinkselenid direkt in die Faser einbauen.

Viele Halbleitermaterialien sind bei den typischen Temperaturen des Faserziehens noch nicht geschmolzen. Deshalb haben die MIT-Wissenschaftler einen Trick angewandt und den Schmelzpunkt von Zink bzw. Selen durch eine Zugabe von Zinn bzw. Schwefel gesenkt. Dann konstruierten sie eine Vorform aus Zinn-Zink-Drähten, steckten sie in eine Hülle aus amorphem Polymer und beschichteten sie mit einer dünnen Lage Selenulfid. Den durch Erhitzen verschmolzenen Rohling zogen sie dann in Fasern. Durch das Ziehen näherten sich Zink- und Selenabschnitte einander so stark an, dass sie chemisch miteinander reagierten. Sie kristallisierten in kleine Stücke des Halbleiters Zinkselenid. Die Zinndrähte dienten dabei als elektrische Kontakte der resultierenden Dioden.

Da durch das Ziehen einer Faser große Strukturen sich stark verkleinern lassen, hoffen die MIT-Forscher, dass sie künftig in einer Vorform relativ komplexe Schaltkreise anlegen können, um dann in der Glasfaser Schaltkreise mit Nanometerdimensionen zu erzeugen.

Michael Vogel