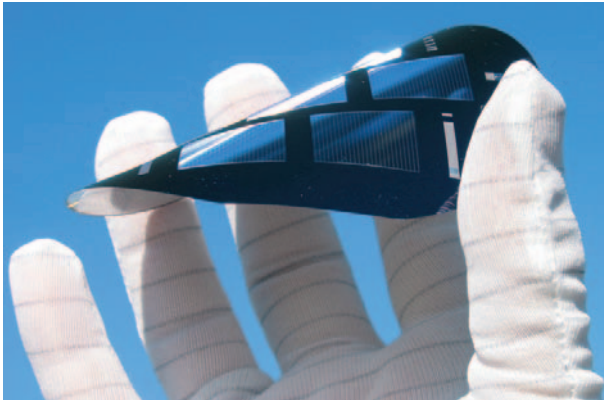


Papierdünne Solarzelle spart Materialkosten

Hauchdünne Schichten aus Silizium rücken Sonnenstrom näher an die Wirtschaftlichkeit. Freiburger Wissenschaftler vom Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme (ISE) präsentierten auf diesem Entwicklungsweg einen neuen papierflachen Prototyp. Mit einer Dicke von nur 37 Mikrometern ist die Solarzelle



Hauchdünn sind Prototypen einer Solarzelle, die am Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme in Freiburg entwickelt wurden. (Foto: ISE)

nur rund ein Zehntel so dick wie industriell gefertigte Photovoltaik-Module (0,3 mm). Dabei ist der Wirkungsgrad mit 20,2 Prozent ausgesprochen hoch.

Neben der geringen, Silizium sparenden Dicke ihrer Solarzelle sind die Forscher besonders auf den eleganten und bereits patentierten Fertigungsprozess stolz. So ersetzen sie die bisher weit verbreiteten Lithographie-Verfahren zur elektrischen Kontaktierung der Solarzelle durch einen Laserprozess. Für diese sogenannten „Laser fired contacts“ (LSF) wird eine leitende Aluminiumschicht direkt auf die passivierte Rückseite der Zelle aufgedampft. Danach feuert der Laser an einzelnen Stellen durch diese Leichtmetallschicht, um einen Weg für elektrische Kontakte zu öffnen. Dieser Prozess ist kostengünstig, materialschonend und äußerst schnell: er dauert nur etwa eine Sekunde pro Solarzelle. Zudem funktioniert er unabhängig von Scheibendicke und -dotierung. Dadurch sei er sehr gut für eine industrielle Massenfertigung solcher Dünnschicht-Solarzellen der „2. Generation“ geeignet.

Heute liegen die Produktionskosten für ein Watt Leistung eines Solarkraftwerks bei rund fünf Euro. Mit der Dünnschichttechnologie und wirtschaftlicheren Produktionsverfahren hoffen Solarforscher weltweit, diesen Wert in den kommenden drei bis fünf Jahren deutlich senken zu können. Steht diese

2. Generation von Solarzellen quasi schon in den Startlöchern, sprießen bereits Ideen für die Solarzelle der fernerer Zukunft. Spezielle Absorber-Materialien, neue, exotischere Halbleiterverbindungen und ein mehrschichtiger Aufbau zu Tandem- oder Stapelzellen könnten sowohl den Wirkungsgrad weiter auf über 35 Prozent erhöhen als auch die Kraftwerkskosten für Solarstrom senken. Das Ziel liegt bei rund einem bis zwei Euro pro Watt, um am Strommarkt mit konventionellen Kraftwerken konkurrieren zu können.¹⁾

Quantenkryptographie erlangt Marktreife

Jeder Code lässt sich – früher oder später – knacken. Diese Grundregel, die bisher den Wettlauf zwischen Verschlüsselungsexperten und Codeknackern bestimmt, könnte bald überholt sein. Denn erste Codier-Geräte, die die als absolut sicher geltenden Prinzipien der Quantenkryptographie nutzen, haben Marktreife erreicht. So bietet die US-Firma MagiQ-Technologies mit dem Navajo Secure Gateway ein Verschlüsselungssystem für 50000 Dollar an, das über Entfernungen von bis zu 120 Kilometern



Mit Quantenphysik statt Magie funktioniert das abhörsichere Verschlüsselungssystem der Firma MagiQ-Technologies. (Foto: MagiQ)

und mithilfe von konventionellen Glasfasern ein abhörsicheres *Virtual Private Network* aufbaut. Es arbeitet mit den klassischen Wellenlängen, die zur Datenübertragung weltweit genutzt werden und lässt sich mit Datenraten von bis zu einem Gigabit pro Sekunde einsetzen.

Das System kombiniert ein Quantensystem zur Übertragung des Schlüssels (*Quantum Key Distribution*) mit einem konventionellen Kryptographie-System zur Übertragung der eigentlichen Botschaft. Der Schlüssel wird mithilfe von einzelnen Photonen und ihrer Polarisation peu-à-peu übertragen – ein langsamer Prozess. Versucht

aber ein Spion, den Quantenkanal abzuhören, d. h. die Polarisation der Photonen während der Übertragung auszulesen, so verändert er damit zwangsläufig den Quantenzustand der Photonen. Vergleicht der Empfänger dann die Schlüssel, die er über den Quantenkanal bzw. den konventionellen Datenkanal erhalten hat, so stimmen die beiden bei einem Abhörversuch nicht mehr überein und der Schlüssel wird für die Übertragung der Botschaft verworfen.

Parallel entwickelt die Schweizer Firma ID Quantique, ein Spin-Off der Universität Genf, ein vergleichbares Verschlüsselungssystem, mit dem bereits ein Code sicher zwischen Genf und Lausanne ausgetauscht wurde. Zusammen mit der Verschlüsselungsfirma WiSeKey baut ID Quantique derzeit die weltweit erste Infrastruktur zur Übermittlung quantenkryptographisch gesicherter Daten auf. Als mögliche Kunden sehen sie Banken, Versicherungen sowie Behörden, die auf den sicheren Austausch sensibler Daten angewiesen sind.²⁾

Einweg-Chips von der Rolle

Gedruckt, nicht geätzt: Diese Produktionsweise öffnet den Weg hin zu billigen Einweg-Chips aus Kunststoff. Mit einem Ausstoß von rund 8000 Transistoren pro Sekunde ist Wissenschaftlern des Instituts für Print- und Medientechnik an der TU Chemnitz ein wesentlicher Schritt zur Massenproduktion geglückt. Allerdings lassen sich diese auf eine flexible Plastik-Rolle gedruckten organischen Feldefekt-Transistoren (OFET) bisher noch nicht massenhaft zu logischen Schaltungen verknüpfen.

Ähnlich wie beim klassischen Zeitungsdruck tragen die Forscher um Arved Hübler nacheinander vier Schichten auf eine rund 100 Mikrometer dünne Trägerfolie aus Polyethylen auf. Als Kunststoff-halbleiter nutzen sie Thiophene, als Leiter Polyaniline und als Isolator verschiedene Kunststoffe wie zum Beispiel Polyethylen. Innerhalb dieser rund zehn Mikrometer dünnen Transistor-Lagen konnten sie Strukturen mit einer Auflösung von etwa 50 Mikrometer erzeugen. In kommenden Experimenten wollen sie diesen Wert auf rund zehn Mikrometer reduzieren.

Je nach Beschaffenheit disper-

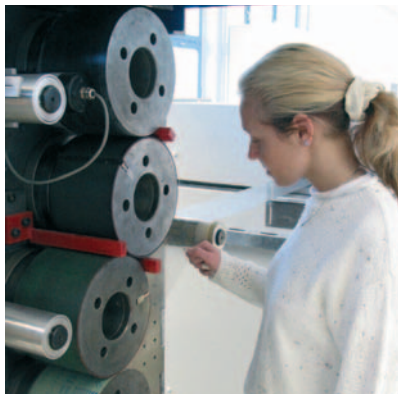
1) Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme, Freiburg, www.ise.fraunhofer.de

2) MagiQ: www.magiqtch.com; ID Quantique: www.idquantique.com

3) www.pm.tu-chemnitz.html oder www.tu-chemnitz.de/mb/PrintMedienTech/FORSCHUNG/PROJEKTE/projekt2/pep_main.html

4) T. J. Yen et al., Appl. Phys. Lett., 83, 4056 (2003), SmartFuelCell www.smartfuelcell.de/

gierten sie die Schichtsubstanzen in Wasser oder organischen Lösungsmitteln wie Chloroform oder Toluol. Die Viskositäten dieser „Druckfarben“ rangieren dabei zwischen denen von Wasser und Honig. Nach dem Druckprozess, der bei Raumtemperatur durchgeführt wird, schließt sich eine Trocknungsphase an, um die Lösungsmittel zu verflüchtigen. Jeder Transistor nimmt danach eine Fläche von fünf mal fünf Mikrometer ein.



Die Polymertransistoren werden mit einer Rollendruckmaschine auf eine Trägerfolie gedruckt (Foto: M. Steinebach, TU Chemnitz)

An die Leistungsfähigkeit von lithographisch hergestellten Silizium-Chips reichen diese flexiblen Plastik-Schaltkreise natürlich bei weitem nicht heran. Vielmehr müssen nun die einzelnen Transistoren zu logischen Schaltungen wie bei integrierten Schaltkreisen (IC) verknüpft werden. Komplexe, gedruckte Prozessoren könnten dann in Zukunft folgen. Doch für die denkbaren Anwendungen wie „intelligente“ Preisschilder, die drahtlos ausgelesen werden, oder fälschungssichere Produkt-Label sind auch keine großen Rechenleistungen nötig. Verlockend sind dagegen die geringen Produktionskosten dieser Einweg-Schaltkreise, die bei unter einem Cent pro Einheit liegen können. Interessant könnten diese biegsamen Module auch für die Schaltflächen von Flachbildschirmen werden, insbesondere im Hinblick auf eine Kombination mit Organischen Leuchtdioden (OLED).³⁾

Mikro-Brennstoffzelle mit hoher Leistungsdichte

Nutzer von Laptops und PDAs träumen von einer mobilen Stromquelle, die nicht nach wenigen Stunden versiegt. Wichtige Hoffnungsträger

dafür sind kleine, sichere und leistungsstarke Brennstoffzellen, die bereits bei Temperaturen zwischen 20 und 60 Grad Celsius nennenswerte Stromflüsse erzeugen. Dieses Ziel erreichte nun ein Prototyp, den amerikanische Wissenschaftler der University of California und der Pennsylvania State University konstruierten, mit einer Leistungsdichte von 47 Milliwatt pro Quadratzentimeter – ein Spitzenwert für mikrostrukturierte Brennstoffzellen.

In dem gut einen Zentimeter kleinen Modul leiten die Forscher eine wässrige Methanol-Lösung durch filigrane Mikrokanäle. Diese Leitungen mit Durchmessern von bis zu 750 Mikrometern wurden in einen Siliziumträger graviert und bilden die Grundlage für eine Bipolar-Platte zum nötigen Austausch der Ladungsträger. Dabei wandern Protonen aus der Methanol-Lösung durch eine Membran zur Kathode und reagieren mit dem Sauerstoff der Luft zu Wasser. Die freiwerdenden Elektronen fließen parallel durch einen externen Stromkreis. Bei Raumtemperatur konnten die Forscher eine Leistungsdichte von 14,3 Milliwatt pro Quadratzentimeter messen, die mit steigender Betriebswärme auf knapp 50 Milliwatt anstieg.

Ein großer Vorteil dieser Mikrokanal-Zelle liegt in dem Verzicht auf bewegliche Teile wie eine empfindliche Pump-Mechanik, um den Methanolfluss zu gewährleisten. Die durch die Wärme auftretenden Konvektionsströme reichen für einen kontinuierlichen Flüssigkeitstransport durch die Mikrokanäle aus. Ein zuverlässiger Betrieb der Brennstoffzelle war bisher mit einer 1-molaren Methanollösung möglich. Doch erste Versuche mit Konzentrationen von bis zu acht Mol zeigen, dass sich die Protonenzufuhr und damit die Leitungsdichte weiter steigern lässt.

Bisher verlaufen die Mikrokanäle schlangenförmig in einer Ebene, aber die Wissenschaftler planen nun eine dreidimensionale Struktur, um auf geringem Raum höhere Stromausbeuten zu erzielen. In Deutschland entwickelt die Münchener Firma SmartFuelCell ähnliche Brennstoffzellen, die ebenfalls mit Methanol versorgt werden. Neben Prototypen für Laptops und Fernsehkameras stellten sie erst kürzlich ein erstes, allerdings deutlich größeres Produkt für die Stromversorgung in Wohnmobilen vor.⁴⁾

JAN OLIVER LÖFKEN