Fraunhofer

HINTERGRUNDINFORMATION

Strom aus Licht

Photovoltaik, die Technologie, um Strom aus Licht zu gewinnen, ist ausgereift, aber noch lange nicht ausgereizt. Fraunhofer-Forscher entwickeln die Solarzellen der Zukunft.

Sie ist ein wichtiges Standbein nicht nur der deutschen Energiewende: die Photovoltaik. Ende 2013 waren weltweit Solarzellen mit einer Spitzenleistung von 139 Gigawatt installiert – Tendenz steigend. Die Photovoltaik ist eine Technologie mit langem Anlauf: Den photoelektrischen Effekt, die Umwandlung von Licht in Strom, hatte der französische Physiker Alexandre Becquerel schon 1839 entdeckt. Doch es dauerte bis in die 1950er Jahre, bis die ersten Silizium-Solarzellen auf den Markt kamen – zunächst mit bescheidenen Wirkungsgraden von vier Prozent. 1958 startete der erste Satellit, der seine Energie aus Solarzellen bezog. In der Folge war die Raumfahrt die treibende Kraft. Mit der Ölkrise in den 1970er Jahren wurde die Sonnenenergie auch zunehmend für die Stromversorgung von Gebäuden interessant.

Der Löwenanteil der installierten Photovoltaiksysteme – rund 90 Prozent – entfällt nach wie vor auf die kristalline Silizium-Technik, wobei die multikristallinen Solarmodule gut die Hälfte des Markts ausmachen. Multikristallines Silizium wird in Blöcken kristallisiert und besteht aus vielen Kristallen. Zellen aus monokristallinem Silizium – das durch Ziehen eines Kristalls aus einer Siliziumschmelze hergestellt wird – kommen auf 40 Prozent. Andere Ausführungen wie die Dünnschicht-Technologie teilen sich den Rest des Markts. Silizium-Solarzellen sind günstig und zuverlässig.

Das Halbleitermaterial Silizium kann theoretisch 29 Prozent des Sonnenlichts in elektrische Energie umwandeln. Der derzeitige Wirkungsgrad-Weltrekord im Laborversuch mit einer multikristallinen Zelle liegt bei 20,4 Prozent, aufgestellt vor zehn Jahren am Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE in Freiburg. Industriell machbar sind ungefähr 26 Prozent. Große Sprünge beim Wirkungsgrad sind nicht mehr möglich, trotzdem kämpfen die Wissenschaftler am ISE um jedes Zehntelprozent. Mehr Energieausbeute bedeutet, dass sich Investitionen in Solarmodule schneller lohnen und diese billigem Kohle- und Atomstrom noch mehr Konkurrenz machen können.

Mehr Licht einfangen

Das Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE in Freiburg ist das größte europäische Solarforschungsinstitut und verfügt über mehr als 30 Jahre Erfahrung in der Photovoltaik- und anderen Solartechnologien. Die Silizium-Technologie hat noch viel

Redaktion
Beate Koch | Fraunhofer-Gesellschaft, München | Kommunikation | Telefon +49 89 1205-1333 | presse@zv.fraunhofer.de

Potenzial. Es gibt mehrere Möglichkeiten, um an der Schraube Wirkungsgrad zu drehen.

Eine ist die Oberflächenbeschaffenheit. Ein Solarmodul, das spiegelt, verschleudert Licht, das in die Zelle fallen und dort Strom produzieren sollte. Deshalb strukturieren die Hersteller die Oberseite ihrer Solarzellen mit einem feinen Muster, welches das Sonnenlicht einfängt, aber nicht mehr herauslässt. »Das Licht bekommt eine zweite Chance«, beschreibt es Benedikt Bläsi, am ISE Experte für Mikrostrukturierung von Solarzellen. Für monokristalline Zellen ist das bereits heute sehr effektiv. Für multikristalline Zellen entwickeln die ISE-Forscher derzeit ein Verfahren, das winzige bienenwabenartige Strukturen auf die Solarzelle prägt. Ein Stempel aus Silikon überträgt ätzfesten Lack auf die Zelle, anschließend werden die freien Stellen weggeätzt, zurück bleibt das Muster. Das steigert die Lichtausbeute um sieben Prozent und den Wirkungsgrad um über einen Prozentpunkt. Die Stempel sind so groß wie das Standardzellenformat mit 15,6 Zentimetern Kantenlänge, aber auch 1,2 Meter große Dünnschichtzellen lassen sich damit bearbeiten.

Eine Alternative erarbeiteten Wissenschaftler am Fraunhofer-Center für Silizium-Photovoltaik CSP in Halle. Sie bringen mit einem Plasmaätzverfahren Nano-Poren auf Siliziumwafer auf. Die Vertiefungen sind etwa so groß wie die Wellenlänge des Lichts, was die Reflektion des Lichts fast vollständig verhindert. Die Forscher sprechen von einem Mottenaugen-Effekt, denn auch die Augen dieser Insekten sammeln Licht über kleine Poren. »Silizium wird noch zehn Jahre dominieren«, ist Stefan Glunz überzeugt. Der ISE-Forscher leitet den Bereich Solarzellen-Entwicklung und -Charakterisierung und hat für seine herausragenden Arbeiten den Becquerel-Preis der Europäischen Photovoltaikkonferenz erhalten.

Licht bündeln

Ein weiterer Ansatz, der am ISE verfolgt wird, ist die Konzentrator-Photovoltaik. Das sind Solarzellen »mit Brille«. Linsen bündeln das Sonnenlicht bis zu 500-fach. So schnellt der Wirkungsgrad auf über 40 Prozent, wenn Mehrfachsolarzellen eingesetzt werden. Vielversprechend ist diese Technologie, weil die Hersteller teures Halbleitermaterial einsparen können, da das Licht auf einen sehr kleinen Brennpunkt konzentriert wird. Solche Solarzellen werden heute bereits in Kraftwerken eingesetzt. In sonnenreichen Gegenden nahe dem Äquator sind sie eine echte Alternative zur Stromgewinnung aus Kohle oder Öl. Führendes Unternehmen ist Soitec Solar, das 2005 unter dem Namen Concentrix Solar als Spin-Off des ISE ausgegründet wurde und 2009 vom französischen Halbleiterunternehmen Soitec übernommen wurde.

So hohe Wirkungsgrade sind nur mit Tandem- oder Mehrfachzellen möglich. Solche Zellen bestehen aus zwei, manchmal auch drei oder mehr Schichten mit unterschiedlichem Halbleitermaterial, die unterschiedliche Anteile des Lichts in Strom umwandeln.

Herkömmliche Silizium-Solarzellen nutzen nur einen bestimmten Anteil des Sonnenlichtspektrums, für blaues Licht sind sie nahezu blind. Eine zweite Schicht mit einem anderen Halbleiter und anderen elektrischen Eigenschaften nutzt genau dieses blaue Licht effizienter, in der Summe steigt der Wirkungsgrad deutlich. Auch diese Mehrfachzellen wurden ursprünglich für die Raumfahrt entwickelt, wo es beim Start auf jedes Gramm ankommt und folglich höchste Effizienz notwendig ist. »Das ISE hat diese Technologie wieder auf die Erde geholt«, sagt Andreas Bett, der die Konzentrator-Technologie und III-V-Halbleiter erforscht.

III-V-Halbleiter sind Kombinationen aus Elementen der dritten und fünften Hauptgruppe des Periodensystems. Beliebt ist Gallium-Arsenid, aber auch andere Verbindungen aus Gallium, Indium, Arsen und Phosphor sind möglich. Ziel ist, die Eigenschaften des Halbleiters so zu gestalten, dass das Material eine bestimmte Lichtfarbe besonders gut in Strom umwandeln kann. Stapelt man mehrere unterschiedliche Schichten übereinander, beutet die Zelle die Lichtenergie fast vollständig aus. Theoretisch sind Wirkungsgrade bis 86 Prozent drin. Derzeit hält das ISE gemeinsam mit seinem Industriepartner Soitec mit 46 Prozent den Weltrekord beim Wirkungsgrad für Mehrfach-Solarzellen. Jetzt versuchen die ISE-Forscher die 50-Prozent-Hürde zu nehmen. »Dafür haben wir jede Menge Ideen«, sagt Andreas Bett.

Eine Herausforderung für die Wissenschaftler ist die elektrische Verschaltung. Bei den Mehrfach-Zellen müssen die einzelnen Zellen elektrisch verbunden werden. Sie wie üblich mit metallischen Leitern zu verbinden, ist nicht möglich, da die Leiter optisch transparent sein müssen. Deshalb wurden Tunneldioden entwickelt und in die Mehrfachzellen integriert, sie leiten den Strom ebenso gut wie metallische Werkstoffe. Auch die Oberflächenstrukturierung ist ein Thema, denn noch mehr als bei herkömmlichen Silizium-Zellen gilt es, möglichst das gesamte Licht in die Zelle zu lotsen. In der Entwicklung sind auch zweistufige Linsen. Die erste Linse fokussiert das Sonnenlicht, eine zweite Linse fängt Streulicht ein.

Perowskit – das Mineral ist der neue Shootingstar

Ein wichtiges Forschungsziel ist es, die Kosten der Mehrfach-Solarzellen aus III-V-Materialien zu drücken. Da das derzeit eingesetzte Germanium-Substrat teuer ist, wollen die ISE-Forscher zurück zu den Wurzeln und setzen auf das gute und günstige Silizium. In künftigen Tandem-Zellen soll zumindest die unterste Schicht wieder aus Silizium bestehen. Die Frage ist, welches Material man darauf stapelt. Einen III-V-Halbleiter? Das ist technisch nicht ganz einfach, aber möglich.

Oder das Mineral Perowskit – der Shooting-Star in der Branche. Perowskit hat eine Kristallstruktur mit Halbleitereigenschaften, die sich zum Beispiel aus einem Metall- und einem organischen Salz zusammensetzen lässt. Kombiniert man diese Perowskite mit

einer dünnen Schicht aus Titandioxid, das auch in Sonnencreme steckt, kann man die durch das Sonnenlicht angeregten Elektronen aus dem Perowskit abziehen und einem äußeren Stromkreis verfügbar machen. Perowskite können viel Licht schlucken, eine nur einen halben Mikrometer dünne Schicht aus Perowskit-Kristallen absorbiert genauso viel Licht wie eine konventionelle 180 Mikrometer dicke Siliziumsolarzelle. Damit liessen sich die Materialkosten und der energetische Aufwand bei der Herstellung von Photovoltaikmodulen weiter verringern.

Innerhalb weniger Jahre ist der Wirkungsgrad von Perowskit-Solarzellen von wenigen Prozent auf nunmehr 20 Prozent gestiegen, mehr erscheint möglich. Derzeit arbeiten weltweit viele Forscher im Labormaßstab an Solarzellen aus Perowskit. Zuerst müssen die Forscher aber die Funktionsweise dieser Zellen besser verstehen. Zurzeit enthalten die Zellen mit den höchsten Wirkungsgraden eine nicht zu vernachlässigende Menge Blei und Schwermetall. Bleifreie Perowskit-Zellen sind deshalb ein aktuelles und wichtiges Forschungsfeld. Hierzu gibt es erste Fortschritte zum Beispiel durch Austauschen des Bleisalzes mit zweiwertigem Zinnsalz aber auch andere weniger giftige Metalle sind in der Diskussion. Bei der zukünftigen Entwicklung von langzeitstabilen Perowskitsolarzellen kann hierzu von den Erfahrungen des ISE mit der Versiegelung von Farbstoffsolarmodulen profitiert werden. Fernziel sei es insbesondere, Perowskitmaterialien auch mit Silizium zu höchsteffizienten Tandem-Zellen zu kombinieren, sagt Stefan Glunz. »Doch es wird noch mindestens fünf bis zehn Jahre dauern, bis das eine industriell verwertbare Technologie wird.«

www.ise.fraunhofer.de

Die **Fraunhofer-Gesellschaft** ist die führende Organisation für angewandte Forschung in Europa. Unter ihrem Dach arbeiten 67 Institute und Forschungseinrichtungen an Standorten in ganz Deutschland. Mehr als 23 000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter bearbeiten das jährliche Forschungsvolumen von zwei Milliarden Euro. Davon erwirtschaftet die Fraunhofer-Gesellschaft über 70 Prozent aus Aufträgen der Industrie und öffentlich finanzierten Forschungsprojekten. Die internationale Zusammenarbeit wird durch Niederlassungen in Europa, in den USA und in Asien gefördert.

Weitere Ansprechpartnerin
Karin Schneider | Telefon +49 761 4588-5147 | karin.schneider@ise.fraunhofer.de | Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE, Freiburg | www.ise.fraunhofer.de