

# Nanostrukturen für Solarzellen

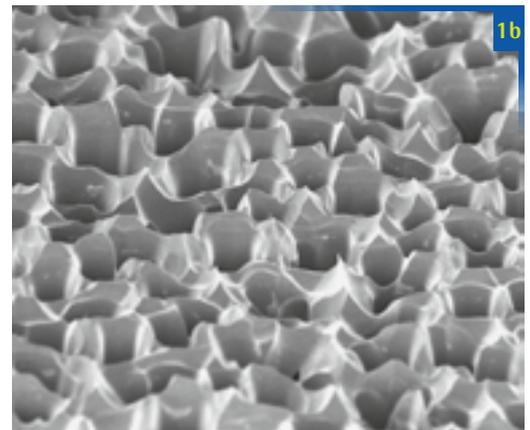
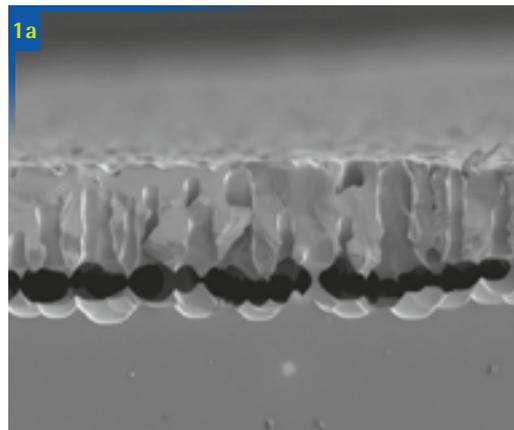
## KLEINE STRUKTUREN MIT GROSSER WIRKUNG

Solarzellen müssen möglichst viel Sonnenlicht absorbieren, um möglichst viel elektrischen Strom zu liefern.

Um die Absorption zu verbessern, werden Nanostrukturen erforscht. Die Hoffnung

besteht, dass Solarzellen mit Nanostrukturen viel dünner gemacht werden können als heute üblich, und dass sie trotzdem fast denselben Strom erzeugen werden.

Eine Gruppe aus sechs Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern des Instituts für Festkörperphysik und des Instituts für Solarenergieforschung Hameln erläutern, wie an solch einer kostengünstigen solaren Stromerzeugung geforscht wird.



Eine Möglichkeit, kleine Strukturen für bessere Lichtabsorption zu nutzen, ist in Abbildung 1 gezeigt: Das Silizium wird porös gemacht und ähnelt einem Schwamm mit ganz kleinen, aber ganz vielen Löchern.

Warum sind diese vielen Löcher für die Lichtabsorption besser? Stellen wir uns Licht als Welle vor. Sichtbares Licht hat eine Wellenlänge von etwa 500 Nanometern. Wenn in dieses Licht ein Objekt gehalten wird, das wesentlich größer ist als die Wellenlänge, wirft dieses Objekt einen einigermaßen scharf umrandeten Schatten. Wird das Objekt jedoch so klein wie die Wellenlänge gemacht, oder kleiner, wird das Licht am Rand des Objekts von seiner geraden Bahn abgelenkt. Dieses Phänomen wird Beugung genannt und ist uns aus dem Alltag ganz vertraut: Wenn wir in unserem Zuhause »Schatz, wo bist du?«

rufen, dann werden wir gehört. Die Schallwellen werden reflektiert und beugen sich durch unsere Räume, denn die Schallwellen haben eine Wellenlänge im Meterbereich, also etwa in derselben Strukturgröße wie unsere Zimmer. Ähnliches geschieht mit dem Licht in solchen Solarzellen. Doch dazu benötigen wir Strukturen, die ähnlich klein sind wie die Wellenlänge des sichtbaren Lichtes. Wie groß war sie auch wieder? 500 Nanometer, also etwa ein Hundertstel eines Haares.

Diese Strukturen werden erzeugt, indem man die Solarzellen in ein Säurebad gibt. Wird dabei auch noch elektrischer Strom durch das Material geführt, werden diese kleinen Löcher geätzt. Dieses Verfahren nennt sich elektrochemisches Ätzen und ist viel billiger, als wenn man diese Löcher mechanisch oder mit dem Laser bohren würde.

Man bedenke, dass Solarzellen in großen Flächen hergestellt werden müssen. Nur billige Herstellungsverfahren haben dabei eine Chance, in der Produktion je Anwendung zu finden. Solarzellen wurden in den vergangenen Jahren erheblich billiger, zu einem großen Teil deshalb, weil mit physikalischem Verständnis spezifische Herstellungsverfahren neu entwickelt worden sind.

Wie werden nun die Solarzellen hergestellt? Typische, heute verkaufte Solarzellen werden aus dünnen Siliziumscheiben hergestellt, die Wafer genannt werden. Das Silizium muss hochrein sein, das heißt nur jedes milliardste Atom darf ein Metallatom sein, welches von Verunreinigungen stammt. Derart reines Silizium ist teuer und trägt über ein Drittel zu den Gesamtkosten der Solarzellen bei.

Diese Kosten möchte man mit Nanostrukturen reduzieren. Man beachte in Abbildung 1, dass in den tieferen Bereichen die Löcher so ausgedehnt sind, dass die obere löchrige Schicht abgetrennt werden kann. Aus dieser abgetrennten Schicht soll in laufenden Forschungsprojekten eine Solarzelle gefertigt werden. Das Ziel ist, dies mit ähnlichen Produktionsmaschinen zu tun wie bei der Herstellung gängiger Waferzellen. Die abgetrennte, löchrige Silizium-Schicht ist aber zehnmal dünner als heutige Solarzellen, etwa halb so dünn wie ein Haar. Auf Grund der vielen kleinen Löcher wird das Licht stark gebeugt und gestreut, so dass eine vergleichbare optische Absorption erreicht werden kann wie mit heutigen Zellen. Das Verfahren mit den kleinen Löchern wurde kürzlich am Institut für Solarenergieforschung in Hameln (ISFH) erstmals demonstriert. Aus einer herkömmlichen Siliziumscheibe lassen sich damit zehn Solarzellen statt nur einer herstellen.

Ähnliche dünne Zellen haben im Forschungs- und Entwicklungsstadium schon bis zu 18 Prozent Wirkungsgrad erreicht, also höher als von den Zellen, die man üblicherweise kauft. Solche Zellen sind nur deshalb noch nicht käuflich erhältlich, weil die Herstellungsverfahren im Labor für die Massenfertigung nicht tauglich sind. Es benötigt viel Kreativität, technologische Kenntnisse und Forschungsmittel, um im Labor demonstrierte Effekte für die Produktion technisch in den Griff zu bekommen, und um dafür schließlich geeignete Produktionsmaschinen im großen

Maßstab zu entwickeln. Trotz des beachtlichen Wirkungsgrades der heutigen Zellen müssen die Produktionsmethoden sehr billig sein (etwa 30 Cent pro Zelle). Heutzutage werden die Solarzellen im Sekunden-takt produziert, und eine Fabrik stellt folglich viele Zehntausend Zellen pro Tag her.

Nur für Spezialanwendungen, wie zum Beispiel für Satelliten im Weltraum, dürfen die Zellen wesentlich teurer sein. Das ISFH entwickelt deshalb zudem auch poröses Galliumarsenid (GaAs) als Solarzellenmaterial im Rahmen eines Auftrages der Europäischen Weltraumorganisation ESA. Dieses Halbleitermaterial absorbiert das Sonnenlicht so

stark, dass die Solarzellen ultradünn sein können (nur einen Mikrometer). Das ist sehr attraktiv, denn die Solarzellen für den Weltraum sollen möglichst leicht sein, um Kosten beim Abheben zu sparen.

Aber man kann es auch ganz anders machen. Ein spannender neuer Ansatz ist zum Beispiel folgende Herstellungsmethode, die am Institut für Festkörperphysik erforscht wird. Statt dünne Siliziumschichten vom Wafer abzuzüchten, kann man auch ganz dünne Siliziumdrähte auf einer geeigneten Unterlage rasenähnlich aufwachsen. Ein solcher Siliziumrasen ist in Abbildung 2 gezeigt. Wie geht das? Studentinnen und Stu-

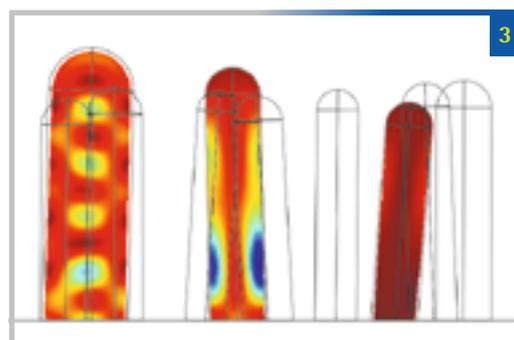
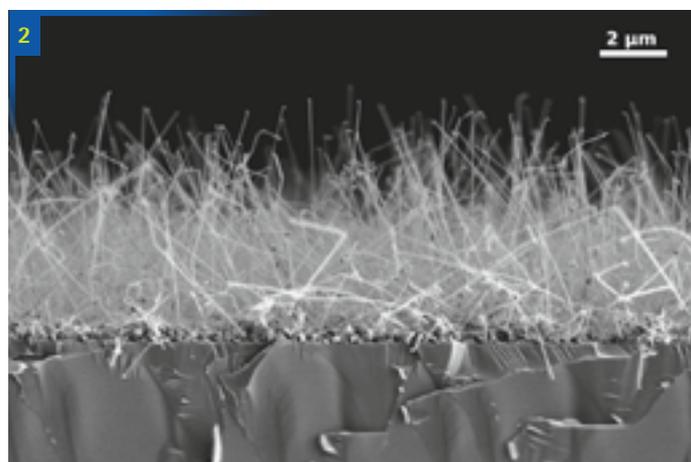


Abbildung 1  
Links: In Silizium werden sehr kleine Löcher geätzt, so dass sich eine durchlöchernte Schicht abheben lässt, aus der dann eine Solarzelle hergestellt werden kann. Rechts: Die vielen Löcher erhöhen die Absorption von Sonnenlicht erheblich, weshalb solche Solarzellen nur etwa halb so dick wie ein Haar sein müssen.

Abbildung 2  
Silizium lässt sich wie ein Rasen auf geeigneten Unterlagen wachsen. Es wird erforscht, wie man damit Solarzellen herstellen kann. Quelle: Frank Steinbach, Institut für Physikalische Chemie und Elektrochemie, Leibniz Universität Hannover

denten am Institut für Festkörperphysik dampfen eine dünne Metallschicht auf. Wenn sie die Probe erhitzen, wird das Metall schon bei mehre-

Abbildung 3  
Mittels Computersimulation wird die Lichtabsorption im Siliziumrasen nachgebildet, um Möglichkeiten aufzuzeigen, verschiedene optische Effekte in neuen Solarzellen auszunutzen.

ren Hundert Grad Celsius zu kleinen Kügelchen koagulieren. Nun kommt die Probe in eine Kammer mit einer Silan-Atmosphäre. Die Siliziumatome im Silangas kristallisieren unterhalb dieser Kügelchen. Es entstehen Drähte, und sie

heben während ihres Wachstums die Kügelchen empor. Für die Lichtabsorption machen sich diese Drähte mit ihren Kügelchen verschiedene Effekte zunutze. Computersimulationen, wie sie in Abbildung 3 zu sehen sind, zeigen,

dass sich in diese Strukturen spezielle elektromagnetische Schwingungsmoden anregen lassen, ähnlich wie auf einer Trommel. Mittels numerischen Lösens der Maxwellgleichungen können die optische Absorption der neuen Strukturen vorhergesagt und so die technologische Entwicklung beschleunigt werden.

Die Zeit drängt, denn eine schnelle Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen ist erforderlich, um katastrophale Folgen für das Klima zu vermeiden oder wenigstens zu reduzieren. Eine kostengünstige und emissionsarme solare Stromerzeugung kann einen wichtigen Beitrag hierzu leisten. In Deutschland kommen circa 40 Prozent der CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der Stromerzeugung.

### Die Autoren

#### Dr. Pietro P. Altermatt

leitet seit sechs Jahren eine Arbeitsgruppe am Institut für Festkörperphysik, wo Modelle für die Simulation von Silizium-Solarzellen entwickelt werden. Mit Simulationen werden die optischen und elektrischen Eigenschaften von bestehenden Solarzellen analysiert, Vorhersagen für Verbesserungen gemacht, sowie mögliche Potenziale von neuen Technologien abgeschätzt. Kontakt: [altermatt@solar.uni-hannover.de](mailto:altermatt@solar.uni-hannover.de)

#### Dipl.-Phys. Marco Ernst

promoviert seit 2009 am Institut für Solarenergieforschung Hameln (ISFH) zu dem Thema »Makroporöses Silicium als Absorber für Dünnschicht Solarzellen«. Kontakt: [ernst@isfh.de](mailto:ernst@isfh.de)

#### Dr. Enrique Garralaga

arbeitet seit 2006 am Institut für Solarenergieforschung Hameln (ISFH), wo er die Arbeitsgruppe Si-Dünnschichtforschung leitet. Er untersucht die Herstellung von ultradünnen Halbleiterschichten und ihre Anwendung als dünne Solarzellen. Kontakt: [garralaga@isfh.de](mailto:garralaga@isfh.de)

#### Dipl.-Phys. Lisa Kühnemund

ist seit 2009 Doktorandin in der Abteilung ATMOS des Instituts für Festkörperphysik an der Leibniz Universität Hannover. Sie beschäftigt sich mit dem Wachstum und der Charakterisierung von Si-Nanorods. Kontakt: [kuehнемund@fkp.uni-hannover.de](mailto:kuehнемund@fkp.uni-hannover.de)

#### PD Christoph Tegenkamp

ist Privatdozent für Physik am Institut für Festkörperphysik. Seine Arbeitsgebiete umfassen Oberflächenphysik, Molekulare Elektronik, Transport und Anregungen in metallischen Nanostrukturen sowie Graphen. Kontakt: [tegenkamp@fkp.uni-hannover.de](mailto:tegenkamp@fkp.uni-hannover.de)

#### Prof. Rolf Brendel

leitet seit sechs Jahren die Abteilung Solarenergie am Institut für Festkörperphysik der Leibniz Universität Hannover und das niedersächsische Institut für Solarenergieforschung in Hameln (ISFH). Der Schwerpunkt seiner Forschungsarbeit ist die Photovoltaik mit kristallinem Silizium. Kontakt: [brendel@isfh.de](mailto:brendel@isfh.de)