

Forschungs-Hochburg: Was ein wenig wie Garagenforschung aussieht, ist in Wirklichkeit Teil des Dünnschicht-Forschungslabors am Elektronen-Synchrotron Bessy. Nicht zuletzt dank dieses Materialanalyse-Zentrums zählt Berlin zu den führenden Forschungsstätten für Dünnschicht.

Eine Prise Solarstoff gefällig?



Obwohl der Marktanteil der Dünnschichtzellen sinkt, fließt immer noch viel Geld in ihre Erforschung. Nicht ohne Grund: Neue Konzepte versprechen niedrigere Kosten als bei den gängigen Siliziumzellen. Außerdem profitieren auch andere Technikfelder vom Fortschritt bei den dünnen Schichten.

Was kann man im Kraftwerksbereich gewöhnlich schon groß mit einem Kilo Kupfer anfangen? Die Menge reicht gerade einmal für ein halbes Absorberblech eines Solarthermie-Kollektors. Oder für ein kleines Stück Kabel in einem Windrad. Für den Generator und die Leitungen einer einzigen Offshore-Turbine werden heute im Schnitt 30 Tonnen Kupfer benötigt.

Bei der Dünnschicht-Photovoltaik (PV) ist das hingegen anders: Die Technik kommt mit viel weniger Material aus. „Mit einem Kilogramm Kupfer, Indium und Gallium lassen sich etwa 50 Quadratmeter Fläche beschichten und rund sechs Kilowatt Solarleistung herstellen“, erklärt Christoph Adelhelm, Projektmanager des österreichischen Werkstoffanbieters Plansee. Anders gesagt: Ein Metallbarren von der Größe einer Zigarrenschachtel genügt, um ausreichend PV-Zellen für ein großes Hausdach zu fertigen.

Für die effiziente Materialausbeute sorgt ein spezielles Beschichtungsverfahren, die so genannte Sputterdeposition: Gasteilchen hauen die Partikel aus dem entsprechenden Metallblock heraus, die sich dann hauchdünn auf einem Träger – Glas oder Folie – niederschlagen. In industriell hergestellten CIS-Zellen, die Abkürzung steht für halbleitende Verbindungen aus Kupfer, Indium, Gallium und Selen, wandelt diese maximal zwei Mikrometer dicke Schicht mittlerweile im Schnitt zehn bis zwölf Prozent des Sonnenlichts in Strom um.

Es ist vor allem die Tatsache, dass nur wenige Atomlagen Absorbermaterial wirkungsvoll saubere Elektrizität erzeugen können, die Solarforscher und Firmen schon seit den frühen 70er Jahren an die Dünnschicht fesselt. Dabei arbeiten sie nicht nur mit CIS. Der US-Hersteller First Solar zum Beispiel feierte zuletzt mit dem CdTe abgekürzten Cadmium-Tellurid große Markterfolge, andere Produzenten verwenden Dünnschichtsilizium, das sie als einfache amorphe Schicht oder mit einer weiteren Schicht aus mikrokristallinem Silizium als mikromorphe Doppellage auf ein Substrat auftragen. Außerdem gibt es verschiedene Beschichtungsmethoden, von

denen die thermische Verdampfung neben der Sputterdeposition die verbreitetste ist. Hierbei wird das Ausgangsmaterial durch eine elektrische Heizung solange erhitzt, bis ein Materialdampf entsteht, der auf dem Substrat zu einer Schicht kondensiert. Die Verdampfung läuft wie das Sputtern in geschützter Atmosphäre im Vakuum ab, um den Halbleiter nicht mit schädlichen Fremdkörpern zu verunreinigen.

Einfacher als Silizium

Aber gleich, welcher Absorber und Prozess gewählt wird – das Produkt sind photoaktive Schichten, die dünner sind als ein menschliches Haar. „Das Spannende an der Dünnschicht sind ihr geringer Materialbedarf und die niedrigen Produktionskosten. Außerdem können die Module dank ihrer Flexibilität und ihres geringen



In fünf bis zehn Jahren wollen wir Kesterit-Zellen herstellen, die günstiger sind als Siliziumzellen.“

Jaroslav Romanyuk, Empa

Gewichts leicht transportiert und überall eingesetzt werden“, sagt Solarforscher Klaus Lips vom Helmholtz-Zentrum Berlin. Was die Dünnschicht-Wissenschaftler zusätzlich motiviert: Ihre Forschungsergebnisse – neue Materialien oder bessere Beschichtungsprozesse – können nicht nur in der PV, sondern auch in anderen Bereichen wie der Elektronik oder der Optik Verwendung finden. Dünne Schichten schützen und veredeln Oberflächen, isolieren Produkte gegen Hitze und Kälte, leiten und regeln Strom und unterstützen nicht zuletzt die Speicherung von Energie oder Informationen.

Siliziumzellen, die marktbeherrschende PV-Technik, erscheinen im Vergleich zur Dünnschicht fast schon antiquiert. Zwar arbeiten sie effizienter als ihre filigranen Konkurrenten – Siliziumzellen nutzen heute durchschnittlich 15 bis 17 Prozent des einfallenden Lichts für die Stromproduk-

tion aus. Mit rund 180 Mikrometern sind sie aber auch fast hundertfach dicker und damit deutlich materialintensiver. „Die Siliziumscheiben werden aus multi- oder monokristallinen Siliziumblöcken gesägt. Diese Produktionsweise lässt kaum dünnere Wafer zu“, erklärt Lips. Umständlich ist auch die Herstellung der Blöcke. Ein monokristalliner Kristallbarren, Ingot genannt, wird aus einer langsam erstarrenden Schmelze gezogen. Das dauert bei einem typischen Durchmesser von 15 bis 20 Zentimetern und einem Gewicht von bis zu 60 Kilogramm etwa anderthalb Tage. Zum Vergleich: Das Sputtern von Kupfer, Gallium und Indium mit anschließender Kristallisation der Schicht in Selenatmosphäre ist eine Sache von Minuten.

Für den endgültigen Durchbruch ihrer Technik müsste die Industrie nun nur noch beim Wirkungsgrad nachlegen. Im Labor glänzt die Dünnschicht vor allem dank der guten Vorarbeit von US-Forschern bereits mit Topwerten. So

entwarf die New Yorker Elektrofirma RCA 1975 die erste amorphe Siliziumzelle und erreichte damit bereits acht Jahre später sechs Prozent Wirkungsgrad. United Solar griff die Technik auf und trieb die Effizienz mit so genannten amorphen Dreifachstapelzellen auf 16,3 Prozent.

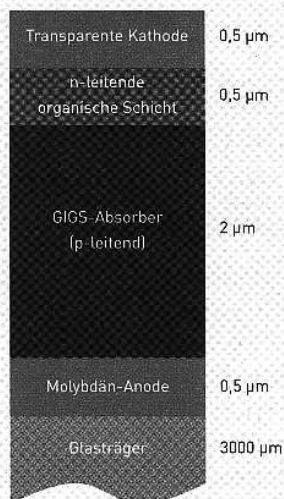
Die beiden anderen Dünnschichtbereiche dominierte das National Renewable Energy Laboratory (NREL) der USA. Über viele Jahre hinweg steigerte es den Wirkungsgrad von CdTe-Zellen auf rekordverdächtige 16,7 Prozent, ehe ihm im vorigen Jahr CdTe-Marktführer First Solar den Spitzenplatz im Effizienzwettbewerb abnahm: Das Unternehmen vermeldete im August 2011 17,3 Prozent Wirkungsgrad. Beim CIS wiederum steigerte das NREL den Laborwirkungsgrad innerhalb einer Dekade von zwölf auf 19,9 Prozent. Erst 2010 übertrumpfte das Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung ▶



Hoffnungsträger Kesterit

Eine Zink-Zinn-Kombination soll bei Dünnschicht-Solarzellen die teuren Metalle Indium und Gallium ersetzen.

Herkömmlicher Zellaufbau



Neuer Zellaufbau



Kostensparnisse sollen in der Dünnschichtphotovoltaik vor allem durch einen geringeren Materialverbrauch erzielt werden. Im Fokus steht dabei die effizienteste Dünnschicht, die CIS-Technik. Ein Ansatz ist, den indiumhaltigen CIS-Absorber durch einen günstigeren Kesteritabsorber (CZTS) aus Zink und Zinn zu ersetzen und diesen möglichst dünn aufzutragen. Außerdem wollen die Forscher auf die cadmiumhaltige Pufferschicht zwischen Halbleiter und Kathode verzichten und dafür ein Zinkoxid-Fenster ersetzen, das Licht durchlässt und zugleich die Ladungsträger effizient einsammelt. Langfristig soll diese Schicht ebenso wie der Kesteritabsorber in Form von winzigen Partikeln wie Tinte gedruckt werden. Gelingt das, wandelt sich die Dünnschicht von einer Mikro- zur Nanotechnologie. Ist der CIS-Absorber heute zwei Mikrometer, also 0,002 Millimeter dick, werden künftig noch einmal bis zu drei Nullen hinter dem Komma hinzukommen.

Quelle: Helmholtz-Zentrum, eigene Darstellung

(ZSW) Baden-Württemberg die Amerikaner mit 20,3 Prozent Effizienz bei einer CIS-Zelle.

Doch so kurz vor dem Ziel scheint den Dünnschichtfirmen die Kraft für wirkungsgradsteigernde Innovationen auszugehen. Statt die Fassaden und das Freiland zu erobern, ist der Marktanteil der schlanken Stromgeneratoren laut der Bostoner Marktforschungsfirma GTM Research seit 2009 um die Hälfte gesunken, auf zehn Prozent. Hauptgrund für diesen Rückgang ist der massive Preisverfall bei den Siliziummodulen. Übereifrige chinesische Hersteller haben dafür zu viele und zu große Fabriken gebaut. Um ihre Linien am Laufen zu halten, verkaufen sie ihre Produkte nun teilweise unter Fertigungskosten. Daher hat sich der Durchschnittspreis für Siliziummodule aus China nach Erhebungen des Berliner Marktforschers Sologico in den letzten anderthalb Jahren auf 66 Eurocent pro Watt halbiert. Der aus dem geringen Materialverbrauch resultierende Kostenvorteil der Dünnschichtmodule ist so in kurzer Zeit dahingeschmolzen – alle drei Dünnschichten sind laut Sologico mit rund 60 Cent pro Watt nur noch unwesentlich günstiger. Dass Investoren bei nahezu identischen Preisen lieber die effizienteren Siliziumanlagen bauen, ist nachvollziehbar.

Vom Mikro- zum Nanoformat

Dennoch bleibt der Glaube an die Dünnschicht groß. „Wir denken, dass die Dünnschicht wieder an Bedeutung gewinnt, denn anders als die kristalline Technik hat sie noch viel Optimierungspotenzial“, sagt Helmholtz-Forscher Lips. Das sehen die Experten beim Bund offenbar genauso und fördern die Dünnschicht im Rahmen der „Innovationsallianz Photovoltaik“ weiter kräftig. Trotz ihres geringen Marktanteils hat ein Drittel aller Projekte der Allianz die Dünnschicht im Fokus (neue energie 12/2011). So fließen allein 6,5 Millionen Euro in das Projekt „CIGSfab“, in dessen Rahmen Anlagenbauer Manz schlüsselfertige Fertigungslinien entwickelt.

Auch die EU pumpt frisches Geld in die Dünnschichtforschung. Sie hat soeben bis 2015 zehn Millionen Euro für das Projekt „Scalenano“ bewilligt, an dem sich 13 europäische Forschungsgruppen beteiligen. ▶

Ehrgeiziges Ziel ist die Entwicklung völlig neuer Zellen. Für schnelle Kostensenkungen wollen die Wissenschaftler alternative, vakuumfreie Prozesse entwickeln, bei denen Nanopartikel ähnlich wie Tinte gedruckt werden. Druckverfahren sind günstiger als das Sputtern oder das Aufdampfen von Halbleitern, da sie höhere Geschwindigkeiten und Durchsätze ermöglichen und keine Energie für das Zerstäuben und Verdampfen benötigen. Zudem will die Kooperative neue Absorber, so genannte Kesterite, erproben. Sie zählen wie die für CIS-Zellen eingesetzten Chalkopyrite (Kupfererze) zur Mineralgruppe der Sulfide und Sulfosalze und haben daher ähnliche Eigenschaften. Doch bestehen sie nicht aus dem seltenen und teuren Indium, sondern aus billigerem Zink und Zinn.

”

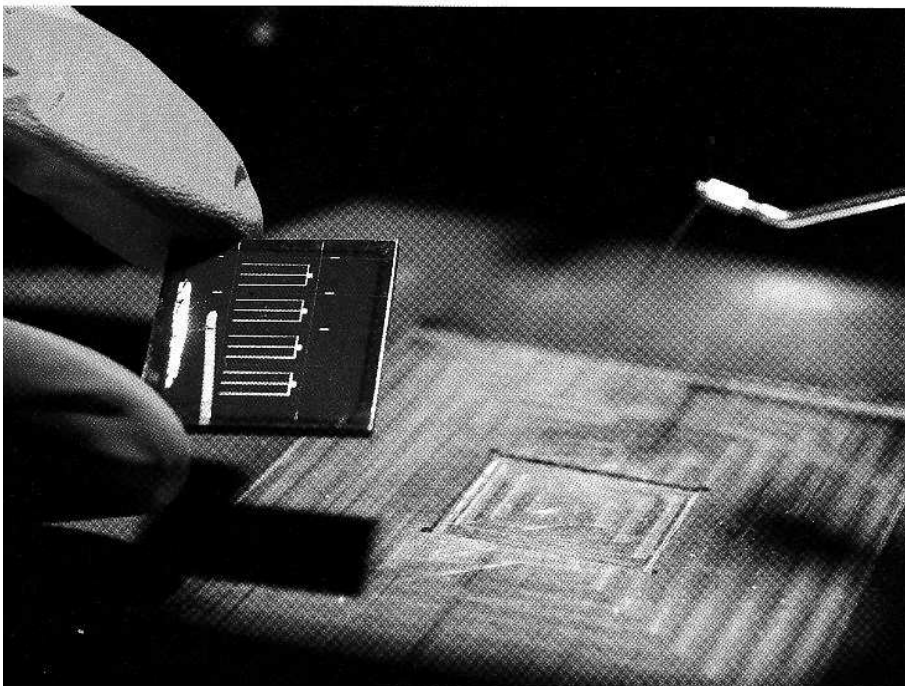
Das Spannende an der Dünnschicht sind die niedrigen Produktionskosten.“

Klaus Lips, Helmholtz-Zentrum Berlin

schichtzellen als elektrische Frontkontakte dienen. „In fünf bis zehn Jahren wollen wir Kesterit-Zellen aus nanostrukturierten Ausgangsstoffen mit 15 bis 20 Prozent Effizienz herstellen, die günstiger sind als Siliziumzellen“, sagt Empa-Solarforscher Jaroslav Romanyuk. Der jüngste Erfolg des US-Konzerns IBM macht Mut. Der Kon-

zern stellte im Juni in einer Rolle-zu-Rolle-Beschichtungsanlage die erste Kesterit-Zelle mit 9,6 Prozent Wirkungsgrad her. Ihre Forschungsergebnisse will die Empa später auch für andere Bereiche wie Batterien oder intelligente Fenster zur Verfügung stellen. In Fensterscheiben könnten TCO-Nanoteilchen zum Beispiel dafür sorgen, dass Infrarotwärme zur Kühlung im Sommer reflektiert oder im Winter gesammelt wird, so Romanyuk.

Auch das Helmholtz-Zentrum Berlin beteiligt sich an der Suche nach der Dünnschichtzelle der Zukunft. Im Rahmen von Scalenano entwickelt es neue analytische Methoden zur Charakterisierung der Zellen während des Herstellungsprozesses. Mit den Erkenntnissen wollen die Wissenschaftler die Absorberqualität verbessern sowie Ausbeute und Durchsatz bei der Produktion steigern. Möglich wird die präzise Analyse von Schichten durch das neue, 19 Millionen Euro teure Röntgen-Strahlrohr Emil



Neuer Hoffnungsträger: Kupfer-Zink-Zinnsulfid ist ein Kesterit und soll einmal die seltenen und teuren Chalkopyrite in der kupferbasierten Dünnschicht ersetzen. Erste Laborzellen erreichen Wirkungsgrade von 9,6 Prozent.

(Energy Materials in-situ Laboratory Berlin), das 2013 an den Elektronenbeschleuniger Bessy II in Berlin angeschlossen werden soll. „Mit Emil können wir den Schichten quasi beim Wachsen zusehen und genau beobachten, welche Prozesse an der Oberfläche ablaufen“, sagt Lips.

Die neue Röntgentechnik will das Helmholtz-Zentrum auch für die Entwicklung katalytisch aktiver Beschichtungen nutzen. Bei der Katalyse werden chemische Reaktionen eingeleitet oder beschleunigt, indem bestimmte Stoffe in den Reaktionsprozess eingreifen, ohne dabei selbst verbraucht zu werden, so genannte Katalysatoren. Mit ihrer Hilfe lassen sich multifunktionale Dünnschichtzellen bauen, die ihren Strom an der Oberfläche direkt in speicherbaren Wasserstoff umwandeln. Dieser kann dann im Erdgasnetz gelagert oder als Sprit für Brennstoffzellenautos genutzt werden. Das klingt so, als komme die große Zeit der Dünnschicht erst noch. ◀