OTTI-Forum Dünnschicht-Photovoltaik in Kloster Banz

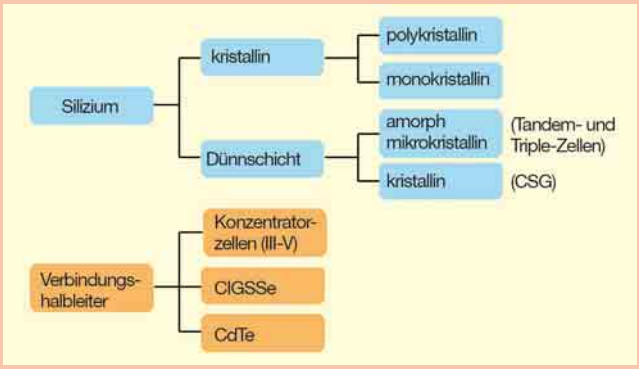
Dünnschicht bedrängt Wafer

Der Wunsch, Solarmodule material-, energie- und kosteneffizient zu produzieren, lässt sich am ehesten mit Dünnschichttechnologien realisieren. Diesen Eindruck vermittelten Vorträge von Referenten aus der Materialwissenschaft und Produktionstechnik auf einer Veranstaltung des Ostbayerischen Technologie-Transfer-Instituts in Bad Staffelstein.

Nischendasein beendet

Das vierte OTTI-Anwenderforum „Dünnschicht-Photovoltaik", das im Bildungszentrum Kloster Banz (Bad Staffelstein) stattfand, zählte fast 300 Teilnehmer. Das ist ein beachtenswerter Anstieg von 64 % gegenüber dem Vorjahr. Gewachsen ist aber nicht nur das Bedürfnis nach Informationen über Dünnschichtmodule, gewachsen ist auch deren Marktanteil. Er lag 2007 bei 9,2 % gegenüber 7,8 % im Vorjahr, wie der Bundesverband der Solarwirtschaft (BSW-Solar) in einer aktuellen Statistik ausweist.

Nach einem großen Erfolg sah die Entwicklung von Dünnschichtmodulen lange Zeit nicht aus. Trotz der vielen Vorteile, die die oft nur wenige Millimeter dicken Module mit sich bringen, kamen Forscher und Hersteller zunächst nur langsam voran. Dabei ist die Technologie nicht neu: Die Firma Nukem, eine Vorgängerin der heutigen Schott Solar GmbH, entwickelte bereits 1979 ihr erstes Dünnschichtmodul. Die erste Kleinseriefertigung mit einer Kapazität von 3 MW startete 1990 in Putzbrunn bei München. Andere Unternehmen zogen nach, sodass Dünnschichtmodule aus amorphem Silizium in 1990er Jahren einen Marktanteil von über 10 % hatten. Sogar CIS- und CdTe-Module wurden schon in kleinen Mengen produziert (Siemens, BP, Matsushita). Weil sich aber zunächst mono- und polykristalline Module durchsetzten (Bild ❶), sank der Anteil der Dünnschichtmodule bald wieder auf 7 % und weniger. Einen erneuten Aufschwung verzeichneten sie dann, als vor etwa zwei Jahren der Konkurrenztechnologie das Silizium ausging und der Markt nur noch unter größten Mühen mit Siliziumsolarzellen bedient werden konnte. Jetzt war die Chance plötzlich da, das Nischendasein zu beenden, zumal in der neuen Situation auch genügend Risikokapital zur Verfügung stand.



❶ In der Photovoltaik hauptsächlich verwendete Materialklassen

Weitere werden zur Zeit noch erforscht oder sind in der Entwicklung, wie zum Beispiel Solarzellen, die das Sonnenlicht mit Hilfe eines Farbstoffes in Energie umwandeln oder Zellen aus organischen Halbleitern, die sich besonders gut für kurzlebige Produkte eignen.

Zur Erläuterung: Verbindungshalbleiter sind chemische Verbindungen zwischen Elementen der III. und V. Hauptgruppe des Periodensystems der Elemente (PSE) wie z. B. Galliumarsenid (GaAs), Galliumphosphid (GaP), Indiumphosphid (InP) oder Indiumantimonid (InSb). Konzentratorzellen sind zur Zeit noch in der Entwicklung. Sie lassen einen hohen Wirkungsgrad erwarten.

Die Schwierigkeiten einer schnelleren Markteinführung lagen jedoch nicht nur im Schwächeln der Konkurrenz oder im fehlendem Geld begründet, wie Dr. *Michael Powalla* vom Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoffforschung Baden-Württemberg (ZSW) auf der Tagung im Kloster Banz erläuterte [1]. Man habe zunächst lernen müssen, die Halbleiter in ausreichender Qualität und Produktivität herzustellen. Dabei habe man aber nicht wie die Produzenten herkömmlicher Siliziumsolarzellen auf die Kenntnisse und Erfahrungen der Mikroelektronik zugreifen und kleine Solarzellen herstellen können, so *Powalla* weiter, sondern gleich „Makroelektronik" betreiben müssen – ein völlig neuer Ansatz, der die Entwicklung neuer Maschinen und die Erforschung materialwissenschaftlicher Grundlagen erforderte. Heute gebe es Ausrüsterfirmen, die vor allem für die a-Si/µc-Si-Technik schlüsselfertige Fabriken verkauften.

Wie geht es nun weiter? Welche Technologien haben langfristig das größte Potential? Dazu Dr. *Powalla:* „Folgende drei Technologieklassen haben den Schritt zur Kommerzialisierung bereits hinter sich, sind also auf dem Markt präsent:

- die amorphe/mikrokristalline Siliziumtechnik (a-Si/µc-Si), die in der Produktionstechnik am weitesten fortgeschritten ist
- die Kupfer-Indium-Selenid-Technik (CIS), die die höchsten Modulwirkungsgrade vorzeigen kann
- die CdTe-Technik, die die Kostenführerschaft übernommen hat."

Gemeinsame Vorteile

Im Verlauf des Tagungsprogramms hob Dr. *Powalla* zunächst die gemeinsamen Vorteile der drei bisher favorisierten Technologien hervor. Den meisten Nutzen ziehen alle drei aus der Tatsache, dass die photoelektrisch aktiven Schichten extrem dünn sind und sich großflächig herstellen lassen – und zwar mit Verfahren, die bereits seit vielen Jahren in der Display- und Architekturglasbeschichtung angewendet werden. Die Produktionseinheiten haben mindestens Quadratmetermaßstab, sind also um zwei Größenordnungen größer als die Fläche eines Siliziumwafers. Allerdings sind die Schichten so dünn, dass sie keine selbsttragenden Eigenschaften haben und auf ein Substrat – in vielen Fällen eine Trägerplatte aus Glas – aufgebracht werden müssen. Es kommen aber auch flexible Folien aus Kunststoffen oder Metall zum Einsatz, was langfristig eine kostengünstige Rolle-zu-Rolle-Beschichtung ermöglicht. Ein ganz wichtiger Vorteil ist die Möglichkeit, die Solarzellen schon während des Fertigungsprozesses zu Modulen zu verschalten („monolithische Verschaltung"). Damit ist die Technologie kosteneffizienter zu automatisieren und variabler in der Produktgestaltung.

Weitere Vorteile zugunsten von Dünnschichtmodulen sind die günstigen Werte des Temperaturkoeffizienten und das effiziente Schwachlichtverhalten. Der gute Temperaturkoeffizient von a-Si- oder CdTe-Modulen zeigt sich darin, dass die Abnahme der MPP-Leistung in Folge steigender Modultemperatur lediglich etwa 0,2 % pro Grad Celsius beträgt. Bei Modulen aus kristallinem Silizium (und auch beim Dünnschichtmodul mit CIS-Halbleiter) liegt dieser Wert bei etwa 0,45 %/°C. Der Vorteil für die Dünnschichtmodule relativiert sich allerdings dann, wenn die Solaranlage eine gute Hinterlüftung hat wie beispielsweise bei Freiflächenanlagen. Doch nicht nur der Temperaturkoeffizient, sondern auch das Schwachlichtverhalten spricht für Dünnschichtmodule. Diese arbeiten nämlich auch dann noch effektiv, wenn schwächeres und diffuses Licht einfällt. So ist zum Beispiel den Angaben der Fa. Antec Solar zu entnehmen, dass der Wirkungsgrad bei einer Sonneneinstrahlung von nur 30 % noch um 14 % über dem STC-Wert liegt, während Siliziummodule unter den selben Bedingungen den STC-Wert bereits um 2 % unterschritten haben. Der Vorteil des guten Schwachlichtverhaltens liegt darin begründet, dass Dünnschichtmaterialien das kurz- und



Immer mehr E-Mails. Noch größere Datenmengen. Unsere Software läuft stabil.

Um wettbewerbsfähig zu bleiben, brauchen Sie modernste Kommunikationslösungen. T-Home bietet Ihnen maßgeschneiderte Softwarelösungen, die auch in Zukunft zu Ihren individuellen Anforderungen passen. Für noch mehr Nähe zu Ihren Kunden und erfolgreiche Geschäfte.

Individuelle Beratung und zuverlässiger Service unter der kostenlosen Geschäftskundenhotline **0800 33 01682** und im Internet: **www.t-home.de/software-mieten**

T Home

mittelwellige sichtbare Licht besser absorbieren als kristallines Silizium [2].

Dünnschichtmodule aus Silizium

Solarzellen aus mikrokristallinem (µc-Si) oder amorphem Silizium (a-Si) und Tandemzellen (a-Si plus µc-Si) profitieren sowohl von den Materialvorteilen des Siliziums als auch von den Fertigungsvorteilen der Dünnschichttechnik. Wie groß der Unterschied zwischen einer kristallinen Siliziumsolarzelle und einer Dünnschichtsolarzelle aus amorphem Silizium ist, demonstrierte Prof. Dr. *Bernd Rech* vom Hahn-Meitner-Institut Berlin in seinem Vortrag [3] mit folgenden Zahlen: Die Dicke der photoelektrisch wirksamen Halbleiterschicht beträgt heute bei Verwendung von Silizium aus der Wafertechnik 200 bis 300 µm, während sie bei der Dünnschichtversion nur 0,3 bis 2 µm misst. Stellt man neben dieser immensen Materialeinsparung zusätzlich die großen Siliziumverluste in Rechnung, die beim Zersägen eines Wafers entstehen, wird der kaum zu überschätzende Vorteil der Dünnschichttechnologie hinsichtlich des Materialverbrauchs sichtbar. Für die Herstellung bedeutet das zum Beispiel, dass für die Erstellung von Modulen mit einer Nennleistung von 1 MW nur 0,2 t Halbleitermaterial benötigt werden (Angabe: Schott Solar). Das sind 50 % weniger als in der Wafertechnik. Doch nicht nur der Material-, sondern auch der Energieverbrauch ist bei der Produktion von a-Si-Dünnschichtmodulen mit Abscheidetemperaturen von 200 bis 600 °C geringer als bei kristallinen Solarzellen, die Verarbeitungstemperaturen von bis zu 1500 °C benötigen. Dünnschichtmodule aus amorphem Silizium haben leider aber auch einen nicht unbedeutenden Nachteil, der bei der Planung und bei Ertragberechnungen unbedingt berücksichtigt werden muss: Sie verlieren in den ersten etwa 1000 Betriebsstunden bis zu 20 % ihrer Effizienz (Degradation).

Die Erträge von a-Si-Dünnschichtabsorbern lassen sich durch die Stapelung einer amorphen und einer mikrokristallinen Siliziumschicht noch merklich verbessern. Die bei einem solchen Schichtaufbau entstehenden so genannten Tandemzellen (Bild ❷) werden als „mikromorph“ bezeichnet (Kunstwort aus mikrokristallin und amorph). Sie können ein größeres Spektrum des Sonnenlichts nutzen, wenn jede Schicht für eine andere Wellenlänge optimiert wird. Nennenswerte Verluste durch Degradation sind nicht zu erwarten. Tandemzellen werden in der Regel mit dem PECVD-Verfahren (Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition) durch Zerlegung von Silan (SiH_4) und Wasserstoff hergestellt. Dieser Prozess läuft bei relativ niedrigen Temperaturen von etwa 200 °C ab, sodass kostengünstige Substratmaterialien wie Glas, aber auch Metall- und Kunststofffolien eingesetzt werden können.

a-Si-Dünnschichtmodule rentieren sich besonders bei großen Flächen. Sie können in Größe und Design auf individuelle Kundenwünsche zugeschnitten werden und finden insbesondere in Fenster-, Dach- und Fassadenverglasungen Verwendung. Der Trend geht von üblichen 1,1 m · 1,4 m großen Substraten zu Produktionseinheiten von 2,6 m · 2,2 m. Das vergrößerte Angebot von schlüsselfertigen Produktionsanlagen durch Ausrüsterfirmen hat vor allem in Deutschland, aber auch in Asien, einen Investitionsboom ausgelöst. Mit a-Si- und Tandemmodulen (a-Si/µc-Si) lassen sich zur Zeit Wirkungsgrade von 6 bis maximal 8 % erreichen. Bis zum Jahre 2010 sollen diese Werte auf etwa 10 % steigen. Die Produktionskapazität lag Ende 2007 bei etwa 500 MW_P.

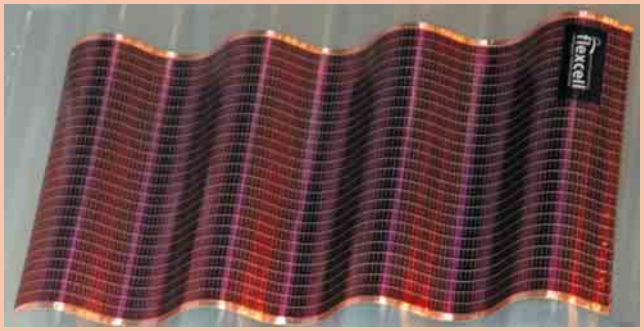
Einer steigenden Beliebtheit erfreuen sich semitransparente Module. Geeignete Flächen sind Treppenhäuser von Verwaltungsgebäuden, Glasdächer von Schulaulen oder Dächer und Wände privater Wintergärten (Bild ❸). Zwar sind vertikale Flächen nicht ideal zur Sonne ausgerichtet, aber dieser Nachteil wird durch die Übernahme zusätzlicher Fas-



❷ Solarmodul mit Tandemstruktur aus einer amorphen und einer mikrokristallinen Siliziumschicht mit einem stabilisierten Modulwirkungsgrad von bis zu 8,5 % Foto: Sharp



❸ Teiltransparente Dünnschichtmodule schweben über der Pausenhalle der Grundschule München-Trudering
Foto: Schott Solar



❹ Hauchdünne hochflexible PV-Folien aus amorphem Silizium von Flexcell (VHF Technologies SA, Schweiz)
Foto: *H. Buers*

Vorteile von Dünnschichttechnologien

- Geringer Material- und Energieeinsatz; die zur Herstellung benötigte Energie wird bereits nach 1 bis 3 Jahren erwirtschaftet.
- Großflächig automatisierte Herstellungsverfahren; die Produktionsgrößen liegen über 1 m^2, der Trend geht zu Modulen mit Kantenlängen von 2,6 m · 2,2 m.
- Integrierte Verschaltung; zeitaufwendige externe Verdrahtungsvorgänge können entfallen.
- Hohe Produktionstiefe in der Fertigung, verbunden mit wenigen Produktionsschritten.
- Fertigung ermöglicht attraktive Produkte, die sich auch zur Farb- und Lichtgestaltung nutzen lassen; zudem sind semitransparente Module möglich.
- Alle Module lassen sich leicht in die Gebäudehaut einbinden.
- Besserer Temperaturkoeffizient, besseres Schwachlichtverhalten und geringere Empfindlichkeit gegen Verschattung bringen wirtschaftliche Vorteile gegenüber mono- oder polykristallinen Modulen.

E20001-F6340-P450

Innovationen, die begeistern

Elektroinstallation für jede Anwendung



Elektroinstallation

Als einer der weltweit führenden Anbieter verbessern und erweitern wir laufend unser breites Angebot an Produkten und Systemen für die Elektroinstallationstechnik und Gebäudeinfrastruktur – um die Energieeffizienz weiter zu steigern, die Montage noch komfortabler zu machen und die Sicherheit zu erhöhen. Dazu gehören Innovationen bei ALPHA Installationsverteilern und Reihenklemmen, BETA Niederspannungs-Schutzschalttechnik, GAMMA Gebäudesystemtechnik sowie bei DELTA Schaltern und Steckdosen.

www.siemens.de/installationstechnik

Answers for infrastructure.

SIEMENS

sadenfunktionen ausgeglichen. Verstärkt auf den Markt drängen auch flexible Silizium-Dünnschichtmodule. Marktführer in diesem Bereich ist zur Zeit die Fa. Unisolar (USA) mit ihrer „Triple Cells"-Technologie, als Newcomer zu nennen wäre die Fuji Electric aus Japan. Erfolgversprechende Entwicklungen sind aber auch in Europa zu beobachten, so bei der Fa. Flexcell in der Schweiz, die hauchdünne hochflexible PV-Folien aus amorphem Silizium entwickelt und produziert (Bild ❹). Sie stützt sich dabei auf die patentierte Very-High-Frequency (VHF)-Plasmatechnologie. Auch Dünnschichtmodule mit kristallinem Silizium haben Erfolgsaussichten. Dazu zählen die CSG-Module (CSG=Crystalline Silicon on Glass) der Firma CSG Solar, die Prof. *Rech* vorstellte. Die 94 m^2 großen Module aus 20 Solarzellen haben einen Wirkungsgrad von 10,4 %, laut Hersteller der höchste Wert aller marktgängigen Dünnschichtmodule. Für die nächsten Jahre wird eine Steigerung auf 12 bis 13 % prognostiziert. Die Schätzung erhöht sich für Tandemzellen auf 16 bis 17 % und für Triplezellen sogar auf 18 bis 19 %.

Dünnschichtmodule mit Kadmium-Tellurid

Kadmium-Tellurid (CdTe) ist ein p-leitender Halbleiter und als Absorber von Sonnenstrahlung spektral sehr gut geeignet. Sein extrem hohes Absorptionsvermögen erlaubt sehr dünne Schichten von wenigen Mikrometern. Die Herstellung von CdTe-Solarmodulen (Bild ❺) beginnt damit, dass auf ein Trägerglas eine transparente TCO-Leitschicht (TCO für Transparent Conductive Oxide) als Vorderseitenkontakt aufgebracht wird. Sie besteht meistens aus Indium-Zinnoxid (ITO). Hierauf folgt eine möglichst dünne n-leitende Kadmium-Sulfid-Fensterschicht, dann die p-leitende CdTe-Absorberschicht und zum Schluss die Kontaktschicht. Der Wirkungsgrad der Module erreicht zur Zeit etwa 10 %, für das Jahr 2010 werden 12 % prognostiziert. Die Fertigungskapazität beträgt etwa 175 MW_P (Stand: Ende 2007) [1].

Neben der Möglichkeit zur vollautomatischen Massenproduktion und dem geringen Materialverbrauch habe die CdTe-Dünnschichttechnik den großen Vorteil, dass sich die Halbleiterschichten Kadmium-Sulfid und Kadmium-Tellurid in einem einfachen und robusten Aufdampfungsverfahren herstellen ließen, betonte Dr. *Dieter Bonnet* vom Solarpact e.V. in seinem Vortrag aus Sicht der Materialwissenschaft und der Produktionstechnik [4].

Zum Thema Material stellte Dr. *Bonnet* zunächst die Rohstoffe dar: Kadmium ist ein Koppelprodukt der Zinkproduktion: Die gewonnene Menge ist abhängig von der Menge des produzierten Zinks. Tellur kommt in Form von Telluriten in der Natur zusammen mit verschiedenen Metallen vor. Die gemeinsame Rohstoffbasis sind Kupferkiese, deren Tellurgehalt im Mittel 30 bis 50 g/t beträgt, jedoch auch erheblich höher oder niedriger sein kann. Aus diesen beiden Elementen lässt sich durch thermische Reaktion bei etwa 800 °C unter einer Schutzgasatmosphäre Kadmium-Tellurid herstellen. Für die Anwendung in Solarmodulen werden die Elemente in hochreiner Form benötigt (99,999 %).

Mit Nachdruck betonte *Bonnet* die fundamentale Rolle der Produktion: „Je höher die Produktionskapazität, desto niedriger die spezifischen Kosten, ausgedrückt in Euro pro installiertem Watt." Die Herstellung der 60 · 120 cm^2 großen CdTe-Module mit 120 verschalteten Einzelzellen erfolgt in neun Einzelschritten. Vereinfacht gesagt werden – wie bei a-Si- und CIS-Modulen auch – stufenweise zwei Kontakt- sowie eine oder mehrere Halbleiterschichten (in diesem Fall aus CdTe und CdS) auf ein geeignetes Trägermaterial aufgebracht. Halbleiter- und Kontaktschichten werden dann mit Lasern in 120 Einzelstreifen (Solarzellen) unterteilt und seriell miteinander verschaltet.

Jetzt
alle zwei Monate
neu:
ep Photovoltaik
aktuell





❺ **CdTe-Module**
Fotos: First Solar (li.)
Antec Solar (re.)

Nach *Bonnets* Worten dauert es bei der Anlage der Firma Antec Solar rund zwei Stunden, um Fensterglasplatten in CdTe-Dünnschichtmodule zu verwandeln. Etwa alle zwei Minuten wird ein fertiges Modul ausgegeben.

Spricht man über CdTe-Module, kommt regelmäßig die Frage nach dem Gesundheitsrisiko beim Umgang mit Kadmium. So auch im Vortrag von Dr. *Bonnet*. Er räumte ein, dass zwar Gesundheitsrisiken auftreten können, wenn das metallische Kadmium über Lunge, Magen oder Haut in den menschlichen Körper gelange. Bei der Herstellung von CdTe-Modulen werde das Kadmium aber nicht als Metall, sondern als Verbindung mit Tellur eingesetzt („Kadmium-Tellur ist kein Kadmium!"). Die feste Bindung zwischen den beiden Elementen könne nur durch Aufheizen mit Temperaturen von über 1000 °C oder durch Lösen in sehr starken Säuren aufgebrochen werden.

Dr. *Bonnet* verwies zudem auf die Ergebnisse zahlreicher experimenteller und theoretischer Studien. Insbesondere sei die oft gestellte Frage nach den Emissionen toxischer Materialien bei Feuer oder durch Auslaugen im Boden voll zufriedenstellend beantwortet worden. Grundsätzlich aber müssten CdTe-Module nach ihrer Außerdienststellung entweder kontrolliert gelagert oder aufgearbeitet werden.

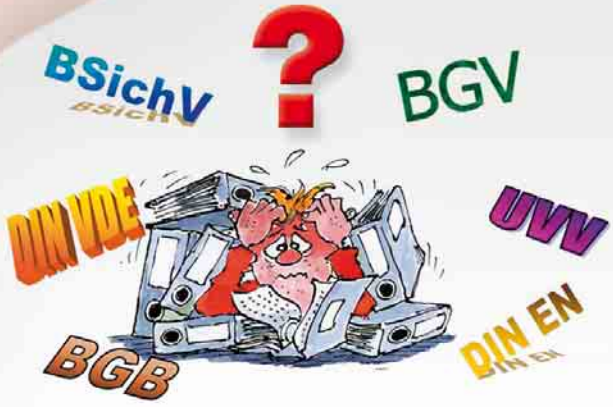
Dünnschichtmodule aus Kupfer-Indium-Selenid (CIS)

Die Produktionskapazität bei CIS-Modulen lag 2007 bei 100 MW_P, produziert wurde allerdings bedeutend weniger, nämlich unter 20 MW_P. Trotzdem herrscht großer Optimismus in dieser Sparte, wie Dr. *Powalla* in seinem Vortrag über die Kupfer-Indium-Selenid-Technologie berichtete [5]. Woher diese Zuversicht? Es gibt mehrere Gründe. Zum einen erzielen CIS-Module unter allen Dünnschichttechnologien derzeit die höchsten Wirkungsgrade: In Pilotanlagen wurden bisher 13 und im Labor mehr als 19 % erreicht. In der Massenproduktion erwartet man rund 14 % im Jahre 2010. Die Halbleiterschicht ist in der Regel nur bis maximal 4 µm dick. Der reduzierte Material- und Energieverbrauch macht Energierücklaufzeiten von weniger als einem Jahr möglich. Und was sich auf der Kostenseite besonders vorteilhaft auswirkt: In der Produktion kann man auf Beschichtungsverfahren zurückgreifen, die sich schon seit vielen Jahren in der Architekturverglasung bewährt haben.

Die verwendeten Halbleiter, die zur I-III-VI_2-Familie gehören, zeichnen sich vor allem durch hohe Lichtabsorption aus. Man hofft, mit ihnen in Zukunft Multi-Tandemzellen mit theoretischen Wirkungsgraden von über 30 % entwickeln zu können. Aus dieser Materialfamilie sind bisher nur die $CuInS_2$- und die $Cu(In,Ga)Se_2$-Systeme (CIS- und CIGS-Syste-

AUFTRAG kommt!

Aber welches Regelwerk ist hierfür zuständig?
Und wie ist es anzuwenden?





Die Beantwortung dieser und weiterer Fragen ist Ihr Tagesgeschäft.

Vergeuden Sie nicht wertvolle Zeit mit vielleicht ergebnisloser Suche! Nutzen Sie epPLUS!

- *Das zuständige Regelwerk finden Sie mit dem Normen-Informationsdienst, 6.000 Regelwerke im Überblick.*
- *Aussagen zur Anwendung der Regelwerke in der Praxis liefert Ihnen das Gesamtarchiv des ELEKTROPRAKTIKER mit mehr als 3.000 Fachbeiträgen bzw. Antworten auf Leseranfragen.*

epPLUS jetzt anmelden und 4 Wochen gratis testen!

Ja, ich möchte epPLUS 4 Wochen gratis testen!

☒ Ja, ich möchte epPLUS 4 Wochen gratis testen

☐ als ep-Abonnent mit der der Kd.Nr: KUNDEN-NR.: (siehe Adressaufkleber oder letzte Warenrechnung)

☐ als „Neueinsteiger“ inklusive einer ep-Gratis-Ausgabe.

Teile ich Ihnen innerhalb der 4 Wochen nichts Gegenteiliges mit, möchte ich das epPLUS-Paket inklusive ELEKTROPRAKTIKER auch 2008 zum Preis von nur 108,- EUR weiternutzen. (Für Abonnenten 2,85 EUR monatlich.)

Firma/Name, Vorname

Branche

z. Hd. Position

Telefon Telefax

E-Mail

Straße/Nr. Postfach

Land/PLZ – Ort

✗ Datum ✗ Unterschrift

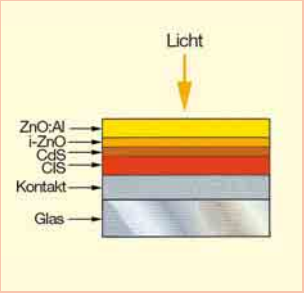
Vertrauensgarantie: Diesen Auftrag kann ich innerhalb von 14 Tagen beim Leserservice der HUSS-MEDIEN GmbH, 10400 Berlin, schriftlich widerrufen (rechtzeitiges Absenden genügt).

Antwort

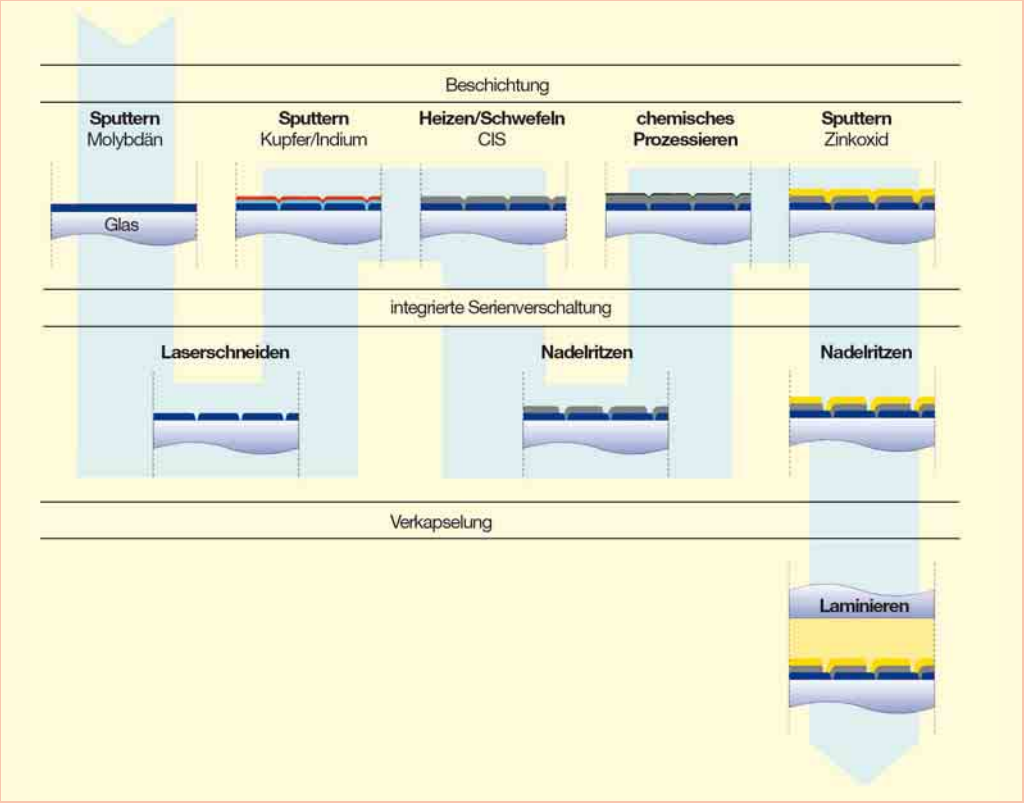
Elektropraktiker-Leserservice
HUSS-MEDIEN GmbH
10400 Berlin

A 806

Fax 030 42151-232
oder im Fensterumschlag einsenden



❻ Aufbau einer CIS-Solarzelle der Fa. Sulfurcell
Als Substrat dient Fensterglas, auf das als Rückelektrode eine 1 bis 5 µm dünne Molybdän-Schicht aufgesputtert wird. Der folgende p-leitende CIS-Absorber ist etwa 2–3 µm dick. Es folgen ein Puffer aus Kadmium-Sulfid und der transparente n-leitende Frontkontakt aus aluminiumdotiertem Zinkoxid. Die CIS-Zellenstrukturen anderer Hersteller haben einen ähnlichen Aufbau. Würth Solar, Avancis, Global Solar und einige andere verwenden statt des von Sulfurcell bevorzugten CIS-Halbleiters eine CIGS-Absorberschicht von ebenfalls 2 bis 3 µm Dicke.



❼ Beschichtung, Verschaltung und Verkapselung eines CIS-Moduls Quelle: Sulfurcell

me) von kommerziellem Interesse. Sie sind durch Eigendotierung p-leitend und werden mit einem n-leitenden Fenstermaterial aus Kadmium-Sulfid (CdS) und aluminiumdotiertem Zinkoxid (ZnO:Al) zu einer großflächigen Fotodiode verarbeitet. Als Rückkontakt dient eine dünne Schicht aus Molybdän, die auf Fensterglas oder Folie aufgebracht ist (Bilder ❻ und ❼).

Im Mittelpunkt der Forschung und Entwicklung stehe zur Zeit die Anlagentechnik, betonte Dr. *Powalla.* Halbleiter auf Quadratmeter-Substratgröße unter Produktionsrandbedingungen herzustellen, sei eine Herausforderung. Während bei der Si-Wafertechnik der eigentliche Halbleiter auf etwa 0,01 m^2 Fläche hergestellt werde, müssten die Prozesse bei der CIS-Produktion auf etwa 1 m^2 homogen funktionieren. Die wichtigsten Optimierungsparameter neben der eigentlichen Schichtqualität seien die Produktionsausbeute und der Anlagennutzungsgrad. *Powalla* weiter: „Auf Grund der relativ hohen Investitionskosten ist der Durchsatz ein zentraler Punkt. Bei uns am ZSW werden spezielle Durchlaufprozesse für den CIS-Halbleiter auf 1,2 m Beschichtungsbreite entwickelt. Dabei beruhen die zentralen Komponenten wie Verdampferquellen, Regelung und Steuerung sowie Substratheizung und Transport im Wesentlichen auf eigenen Entwicklungen."

Der Stand der Produktion von CIS-Modulen ist momentan noch unterschiedlich: Viele Unternehmen befinden sich mit ihren Projekten erst im Entwicklungs- oder Pilotstadium. Firmen wie Avancis, Johanna Solar und Solibro in Deutschland sind einen Schritt weiter und stehen in den Startlöchern („Ramp-Up-Phase"). Einzig Würth Solar konnte in den Jahren 2006 bis 2007 eine nennenswerte Anzahl Module herstellen. Die „CISfab" in Schwäbisch Hall hatte im Oktober 2006 mit einer Produktionsanlage für 15 MW_P begonnen und die Kapazität bis 2008 auf 30 MW_P erweitert.

Und wie geht es weiter? Dr. *Powalla* sieht in der CIS-Abscheidung und vor allem für die Probleme an der Grenzfläche zwischen dem CIS-Absorber und dem Frontkontakt noch erheblichen Forschungs- und Verbesserungsbedarf. Eine große Herausforderung stelle außerdem immer noch die monolithische Verschaltung bei den flexiblen Modulen dar. Das ZSW habe aber bereits die Machbarkeit nachgewiesen und dabei Wirkungsgrade von über 7 % erreicht. Zu den Wirkungsgraden generell sei zu sagen, dass mit der jetzigen Technologie 15 % im industriell produzierten Modul möglich sein müssten. Langfristig sollten die Tandemzellen sogar auf 25 % kommen. Dafür seien aber noch umfangreiche Forschungs- und Entwicklungsarbeiten erforderlich.

Fazit: Die CIS-Produktionstechnik hat eine gewisse Reife erlangt. In naher Zukunft werden erstmals fünf Großproduktionen aufgebaut werden. Viele Neuentwicklungen in Europa und USA versuchen das enorme Kostenreduktionspotential der Technologie auszuschöpfen. Die Produkte haben sich im Feld bewährt und lassen sich hervorragend in Gebäude integrieren. Langfristig betrachtet, müssen das Produktionsvolumen größer und die Prozesstechnik noch professioneller werden. Weitere wissenschaftliche Forschung vorausgesetzt, kann das Materialsystem vom Wirkungsgrad betrachtet mit polykristallinem Silizium konkurrieren.

Literatur

[1] *Powalla, M.:* Einführung in die Dünnschichtphotovoltaik. In: Viertes Anwenderforum Dünnschicht-Photovoltaik des Ostbayerischen Technologie-Transfer-Instituts (OTTI), Bad Staffelstein, Februar 2008.
[2] DGS, Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie, Landesverband Berlin Brandenburg e. V. (Hrsg.): Leitfaden Photovoltaische Anlagen. Berlin 2005.
[3] *Rech, B.:* Dünnschichtsilizium. In: Viertes Anwenderforum Dünnschicht-Photovoltaik des Ostbayerischen Technologie-Transfer-Instituts (OTTI), Bad Staffelstein, Februar 2008.
[4] *Bonnet, D.:* Kadmium-Tellurid-(CdTe)-Dünnschichtsolarzellen. In: Viertes Anwenderforum Dünnschicht-Photovoltaik des Ostbayerischen Technologie-Transfer-Instituts (OTTI), Bad Staffelstein, Februar 2008.
[5] *Powalla, M.:* Kupfer-Indium-Diselenid-Technologie. In: Viertes Anwenderforum Dünnschicht-Photovoltaik des Ostbayerischen Technologie-Transfer-Instituts (OTTI), Bad Staffelstein, Februar 2008.

H. Buers