

Die CdSe-Dünnschichtsolarzelle

Ein Bericht aus dem Battelle-Institut von Dieter Bonnet

Solarzellen, die billiger und möglichst auch effektiver sind als die heute verfügbaren, werden vielerorts auf der Welt entwickelt. Für Dünnschichtzellen kommen vorerst nicht allzu viele Materialien in Frage. Am Frankfurter Battelle-Institut wird das Halbleitermaterial Kadmiumselenid (CdSe) als besonders interessant angesehen. Über den gegenwärtigen Entwicklungsstand einer CdSe-Dünnschichtsolarzelle wird nachfolgend berichtet.

Die Entwicklung von Solarzellen zur Umwandlung von Sonnenenergie in die hochwertige Elektrizität stellt an Physiker und Ingenieure hohe Anforderungen, die nur mit denen zur Entwicklung der Kernenergie vergleichbar sind. Zur Energieumwandlung mit hohem Wirkungsgrad müssen großflächige Halbleiterdioden aus sehr reinem Halbleitermaterial hergestellt werden. Grundlegende physikalische Gesichtspunkte lassen nur relativ wenige Materialien



Bild 1. Demonstrationmuster einer CdSe-Dünnschichtsolarzelle

geeignet erscheinen. Von besonderem Interesse ist die Entwicklung materialsparender Dünnschichtsolarzellen, was die Auswahl weiter einschränkt. Heute gibt es nur etwa sechs Materialien, die hierfür untersucht worden sind. Einer der besonders interessanten Halbleiter ist Kadmiumselenid (CdSe), das von Wissenschaftlern bei Battelle 1977 zum ersten Mal vorgeschlagen wurde.

Erste, orientierende Forschungsarbeiten haben die Vorstellungen bestätigt: Bis 1983 wurden in Versuchen Wirkungsgrade von etwa 7 % erzielt, die der „magischen“ Grenze von 10 % schon nahekommen. Obwohl für CdSe theoretisch Wirkungsgrade um 20 % oder mehr errechnet werden können, ist nicht zu erwarten, daß mit technisch kostengünstig produzierbaren Systemen solche Werte erreichbar sind. Ähnliches gilt auch für die anderen „Konkurrenten“, wie die polykristalline Siliziumzelle, die amorphe Siliziumzelle und andere polykristalline Dünnschichtzellen, zum Beispiel aus CdTe oder CuInSe₂. Da trotzdem für viele Anwendungen aus Systemgründen (Flächenbedarf je

Watt, Modulkonstruktion) Zellen mit Wirkungsgraden von 15 % oder mehr sehr erstrebenswert sind, hat sich das Interesse der Möglichkeit zugewandt, Zellen „hintereinanderschalten“, wie die Schichten eines Farbfilms: Die untere Zelle nutzt das von der oberen Zelle nicht umgewandelte Licht aus. CdSe ist aufgrund seiner hohen Energielücke für infrarotes Licht mit Wellenlängen über 720 nm aus dem breiten Sonnenspektrum durchsichtig. Ein Partner, wie die CuInSe₂-Zelle ist für dieses Licht besonders empfindlich und kann so die CdSe-Zelle ergänzen.

Die Entwicklung einer solchen „Tandemzelle“ erfordert erhebliche Anstrengungen, da beide Partner bis zu ihrer wirtschaftlich vertretbaren Leistungsfähigkeit, d.h. Wirkungsgrad, zunächst getrennt entwickelt werden müssen. Dies ist aus physikalischen Gründen für die obere Zelle, in unserem Falle die CdSe-Zelle, besonders aufwendig. Hier zeigen sich nämlich eine Reihe spezifischer Probleme, sowohl bei Dotierung und Kontaktierung als auch bei der Erzeugung der Diodenkonfiguration. Für das CdSe wurden bereits eine Reihe von Problemen gelöst. Die weiteren Anstrengungen, die zur Zeit mit verstärktem Aufwand unternommen werden, sind deshalb besonders lohnend, weil es bisher nur zwei aussichtsreiche Materialien für die „blauempfindliche“ Zelle des Tandemsystems gibt, nämlich CdSe und amorphes Silizium. Für den „rotempfindlichen“ Part stehen mehrere Kandidaten bereit. Sowohl die kristalline Siliziumzelle als auch die CuInSe₂-Dünnschichtzelle haben bereits Wirkungsgrade von über 10 % erreicht.

Als Diodenkonfiguration für die CdSe-Zelle hat sich in den bisherigen Arbeiten die MIS-Struktur als günstig erwiesen: Der Halbleiterschicht (S) des CdSe wird an der freien Oberfläche durch Aufbringen einer sehr dünnen Isolatorschicht (I) des verwandten ZnSe sowie einer durch eine Antireflexschicht lichtdurchlässig gemachten dünnen Metallschicht (M) das für den photovoltaischen Effekt nötige innere Feld eingepreßt. Bild 2 zeigt anschaulich den Schichtaufbau der Zelle.

Diese Schichten mit einer unteren Kontaktschicht werden auf Glasscheiben, den billigsten technischen Substraten, durch Vakuumdampfprozesse abgeschieden. Der Materialbedarf der sehr dünnen CdSe-Schicht liegt bei 10 g je Quadratmeter. Zusammen mit dem bewährten und kostengünstigen Abscheideverfahren kann eine sehr preisgünstige Zelle entwickelt werden: Bei einem Wirkungsgrad von 10 % wurden für

eine Pilotproduktion von 50 000 Quadratmetern im Jahr unter Einbeziehung der Kosten für Anlagen, Personal und Material Zellkosten von 1,50 DM/Watt für das fertige Modul errechnet. Im Tandembetrieb mit einer zweiten Zelle gestaltet sich die Berechnung noch günstiger.

Die Hauptaufgabe der weiteren Entwicklung wird zunächst in der Erhöhung der Leerlaufspannung der Zellen bestehen. Während bis heute nur ein Wert von 0,6 bis 0,7 V erreicht wurde (Bild 3), wird das Potential der Zelle im Betrieb

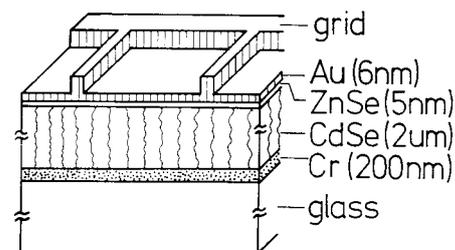


Bild 2. Schichtaufbau einer CdSe-Dünnschichtsolarzelle

als photoelektrochemische Zelle demonstriert, bei der die M-Schicht durch einen geeigneten Elektrolyten ersetzt ist. Hierbei wurden an polykristallinen Schichten Leerlaufspannungen von über 1 V und ein Wirkungsgrad von fast 10 % (Bild 4a), an einkristallinen Zellen ein Wirkungsgrad von etwa 14 % gemessen (Bild 4b). Diese Werte demonstrieren deutlich das hohe Potential der CdSe-Dünnschichtzelle. Zukünftige Module werden aus etwa 50 x 50 cm großen monolytisch hergestellten, intern bereits verschalteten Zell-Arrays bestehen und können ihrer Anwendung entsprechend modifiziert werden.

Die Arbeiten sind durch Förderung in die deutschen und europäischen Ener-

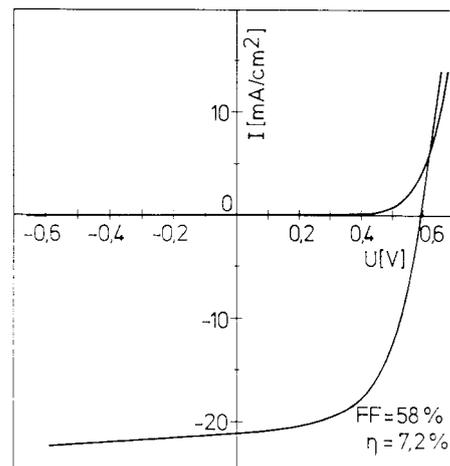


Bild 3. I-V-Kurve einer CdSe_{0,95}Te_{0,05} mit einer aktiven Fläche von 0,6 cm²

Dr. Dieter Bonnet ist Mitarbeiter am Battelle-Institut e.V., Postfach 900 160, 6000 Frankfurt/Main 90.

gieforschungsprogramme eingebettet und werden in Kooperation mit anderen Entwicklungsgruppen, z.B. im Hinblick auf die Tandemzelle mit der Universität Stuttgart, durchgeführt.

Zu dem hier behandelten Thema ist im Dezember 1986 vom Bundesministerium für Forschung und Technologie ein Forschungsbericht mit dem Titel „Entwicklung einer CdSe-Dünnschichtszolarzelle“ erschienen. Verfasser sind Dr. Hilmar Richter und Dr. Edmund Rickus vom Battelle-Institut e.V., Frankfurt/Main. Die Schrift kann unter der Nummer T 86-091 zum Preis von DM 21,- (plus MwSt.) bezogen werden vom Fachinformationszentrum Energie – Physik – Mathematik GmbH Karlsruhe, 7514 Eggenstein-Leopoldshafen 2.

Die dem Bericht vorangestellte Zusammenfassung hat den folgenden Wortlaut:

Untersuchungen und Optimierungen der CdSe-Dünnschichtszolarzelle resultierten in einem photovoltaischen AM1-Wirkungsgrad mit Spitzenwerten über 7 % auf einer aktiven Fläche von 0,6 cm² (mit halbem AM1-Licht wurden 7,4 % gemessen). Dies wurde hauptsächlich erreicht durch eine Steigerung der Kurzschlußstromdichte auf Werte von ca. 80 % des theoretischen Maximums. Weitere Erhöhungen sind erzielbar mit Zellen auf der Basis des ternären Halbleiters CdSe_xTe_{1-x}.

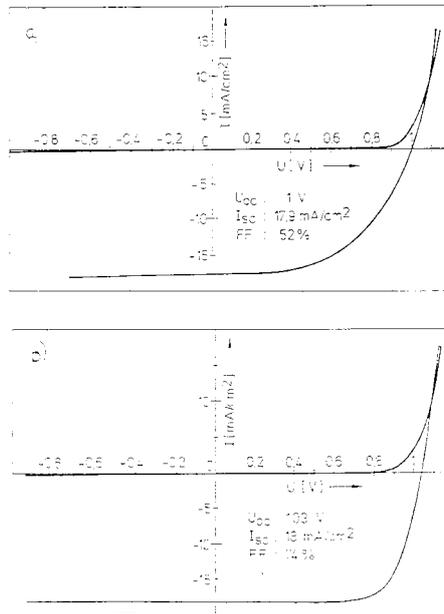


Bild 4a. Photoelektrochemische Zellen auf der Basis von polykristallinen CdSe-Schichten mit einem Wirkungsgrad von $\eta = 9,8 \%$; 4b. auf der Basis von CdSe-Einkristallen: $\eta = 13,8 \%$

Die I-Schicht wirkt dominierend im Hinblick auf den Füllfaktor und die Leerlaufspannung unserer MIS-Zellen. Wird anstelle der konventionellen Isolatoren der Halbleiter ZnSe mit einer Energie-

lücke von 2,7 eV als I-Schicht in den MIS-Strukturen verwendet, sind dickere I-Filme möglich, so daß der Abscheidungsprozess weniger kritisch ist. Desweiteren wird eine Beeinflussung der durch den I-Film erzeugten zusätzlichen Potentialbarriere durch eine geeignete Dotierung möglich. Das Eindiffundieren von Cu in die ZnSe-Schicht erhöht vor allem den Füllfaktor unserer Zellen.

Die Leerlaufspannung hängt dagegen hauptsächlich vom Frontkontaktmaterial ab, läßt sich aber durch UV-Bestrahlung steigern. Untersuchungen an elektrochemischen Zellen, die Leerlaufspannungen von 1 V ergeben, reflektieren das bisher noch nicht vollständig ausgeschöpfte Potential der CdSe-Zelle. Neuere Versuche zur Vergrößerung der Zellfläche zeigen keine prinzipiellen Probleme. Die Reduktion des elektrischen Widerstandes des Chromrückkontaktes wird die Aufgabe weiterer Arbeiten sein.

Nach Untersuchungen zur Stabilität und Abschätzungen der Produktionskosten erweist sich die CdSe-Dünnschichtszolarzelle als eine effektive und kostengünstige Solarzelle mit bedeutendem terrestrischen Anwendungspotential. Die oben beschriebenen Ergebnisse, die sich im Vergleich zu anderen Solarzellentwicklungen mit relativ geringem Aufwand erzielen ließen, geben Anlaß zu der Erwartung, daß das gesteckte Ziel erreicht wird.

Einsatz der Photovoltaik veranschaulicht

Ausstellung der IHK für München und Oberbayern

Die Industrie- und Handelskammer für München und Oberbayern hat den Versuch unternommen, vor allem auch den Kammermitgliedern den heute bereits möglichen Einsatz der Photovoltaik nahezubringen. Vom 11. Februar bis 24. April konnte in ihren Räumen die Ausstellung „Photovoltaik – Strom aus Licht“ besichtigt werden, die im wesentlichen von der Fraunhofer-Gesellschaft aufgebaut worden war. Deren Präsident Prof. Dr. Max Syrbe betonte bei der Eröffnung der Ausstellung, daß in den letzten Jahrzehnten wissenschaftliche und technische Fortschritte, gestützt auf ein Jahrzehnt Anwendungserfahrung in der Raumfahrt, den „Technologie-Druck“ wesentlich erhöht hätten. Dieser entstehe aus den Möglichkeiten, die die Halbleitertechnologie eröffne.

Im einzelnen nannte er in diesem Zusammenhang: bessere langzeitstabilere und billigere Materialien vor allem auf der Basis von Silizium, höhere Wirkungsgrade, anwendungsspezifisch optimierte Systeme und eine verbesserte Fertigungstechnik. Dem steht nach Syrbe ein „Bedarssog“ gegenüber, für den er drei Ursachen sieht:

1. Suche nach umweltschonenden, regenerativen Energiequellen.
2. Suche nach dezentralen, leitungsunabhängigen Energiequellen.
3. Suche nach Energiequellen für por-

table, „intelligente“, das heißt mit Signalverarbeitung ausgerüstete und automatisch arbeitende Geräte und Apparate.

Die Preise je Watt photovoltaisch erzeugter Energie werden nach Syrbe von etwa 78 DM im Jahre 1980 exponentiell weiter auf rund 7 DM im Jahre 1990 fal-



Diese Hütte diente nur als Ausstellungsraum in der Ausstellung; zu sehen sind Solarzellenmodule und zahlreiche Kleingeräte, die mit photovoltaisch erzeugtem Strom versorgt werden können.