

CdTe Dünnschichtsolarmodule auf dem Weg zur Produktion

Dr. D. Bonnet
 ANTEC Solar GmbH
 Industriestr. 2 - 4
 D-65779 Kelkheim
 ante-solar@t-online.de

Einleitung

In Hinblick auf die kostengünstige Nutzung der Solarenergie haben Dünnschichtsolarzellen grundlegende Vorteile durch geringen Materialverbrauch, integrierte Moduldefinition und Massenproduktion. Sie können ein Kostenlimit von 0,6 EURO pro Watt bereits bei einer Kapazität von 60 Megawatt pro Jahr erreichen. Aufgrund der hohen Leistungen von Kadmiumtellurid Dünnschichtsolarzellen die durch schnelle und unempfindliche Prozesse hergestellt sind, zeigt die Technologie ein großes Potential für die industrielle Produktion. ANTEC Solar hat für Kadmiumtellurid das robuste Verfahren der close-spaced-sublimation (CSS) als Abscheidungsprozess gewählt, um eine Massenproduktion aufzunehmen. Diese Entscheidung basierte auf aussichtsreichen Resultaten eigener Arbeiten seit 1991 und auf der Analyse vergangener industrieller Bemühungen auf diesem Gebiet.

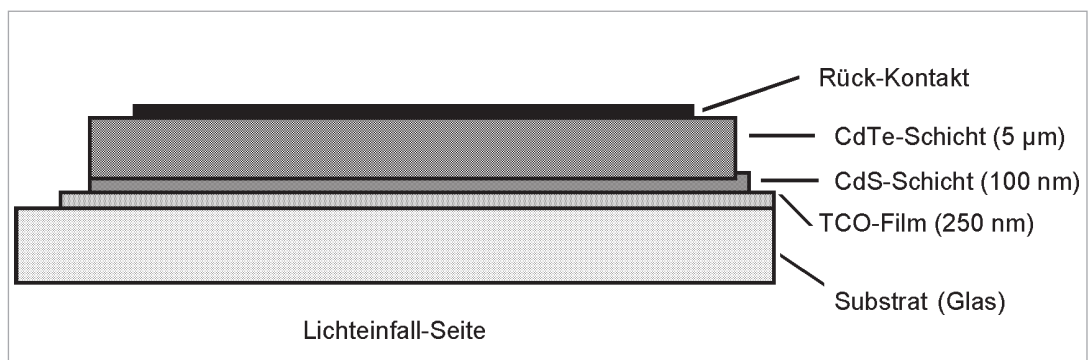
Die CdTe Dünnschichtsolarzellen und Module

Aufgrund seiner elementaren physikalisch-chemischen Eigenschaften stellt CdTe ein optimales Material für den Einsatz in Dünnschichtsolarzellen dar. CdTe hat eine Energielücke von 1,45 eV und ist deshalb als Absorber der Sonnenstrahlung spektral sehr gut angepaßt. Seine

Energielücke ist "direkt", was zu einer extrem hohen Lichtabsorption führt, so dass die verwendeten Schichten nur wenige Mikrometer dick sein müssen, um 90% der möglichen Absorption zu realisieren. Aufgrund der Materialdaten können in CdTe Dünnschichtzellen Stromdichten von 27 mA/cm² und Leerlaufspannungen von fast 0,9 V erwartet werden, sowie ein Wirkungsgrad von 18,5% bei zukünftigem Einsatz einer ausgereiften Technologie (Sites und Liu, 1995). Mittelfristig werden 8 bis 10% als realistisches Produktionsziel für die heutige Technik angenommen.

Da es schwierig ist, p-n Dioden in Cadmiumtellurid (CdTe) zu erzeugen und solche Dioden darüber hinaus eine erhebliche Oberflächenrekombination zeigen würden, wurde bereits 1971 die heute übliche Zellkonfiguration in Form einer p-n Heterodiode gefunden, in der der notwendige p-n Übergang die Form einer Doppelschicht p-CdTe/n-CdS hat (Bonnet und Rabenhorst, 1972). CdS wirkt hierbei als "Fenster", da es vom sichtbaren Licht nur einen kleinen Teil im blauen Spektralbereich absorbiert und den Rest zum aktiven CdTe durchläßt. Dort werden dann die Ladungsträger erzeugt; die im Feld des p-n Übergangs getrennt werden und zu einer Photospannung führen. Die Zelle hat den in *Abb. 1* wiedergegebenen Aufbau: Auf einer Glasscheibe wird zunächst eine transparente leitende Schicht aufgebracht, die von der n-leitenden CdS-Schicht gefolgt

Abbildung 1
 Aufbau der CdTe Dünnschichtsolarzelle aus ihren Teilschichten



wird, die so dünn wie möglich (ca. 100 nm) ist. Auf sie wiederum wird die aktive CdTe Schicht mit einer Dicke von einigen Mikrometern (1 µm = 1/1000 mm) aufgebracht, die von einem Stromabnahme Kontakt gefolgt wird.

Die wichtigen Halbleiterschichten CdS und CdTe werden mit einem Sublimationsverfahren hergestellt, das schnell, einfach und robust ist, sowie geringe Anforderungen an das verwendete Vakuum stellt. Es wird Close Spaced Sublimation (CSS) genannt. Das Ausgangsmaterial, CdTe Granulat einer Reinheit von 99,999%, wird hierbei aus einem auf ca. 700°C geheizten Graphittiegel auf die darüber hinweggleitenden Glassubstrate übersublimiert, die sich auf einer Temperatur von 500°C befinden, was eine gute Kristallqualität der Schichten garantiert. CdTe wächst hierbei ohne weitere aktive Dotierprozesse p-leitend auf, CdS n-leitend. Ein spezieller thermischer Aktivierungsprozeß verbessert die elektronische Anpassung des CdS an das CdTe.

Dünnschichtsolarmodule eignen sich besonders gut zur Herstellung von integrierten Modulen, in denen ca. 100 streifenförmige Einzelzellen durch drei Sätze von Trennschnitten auf der Glasplatte definiert und in Serie verbunden werden. Diese Trennschnitte lassen sich zwanglos in den Produktionsprozeß integrieren.

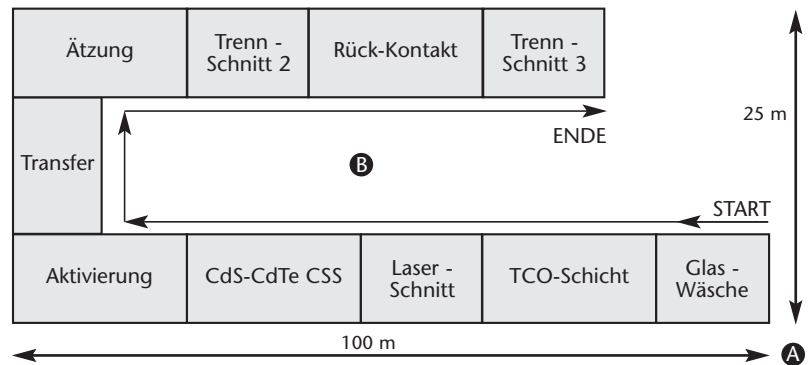
Die Grundlage der Produktion

Seit 1993 wird bei ANTEC der Abscheideprozeß auf Basis der CSS entwickelt. Nachdem aussichtsreiche Ergebnisse im Labor erreicht worden waren, wurde ANTEC Solar GmbH zusammen mit dem Industriepartner Balke-Dürr gegründet. ANTEC solar hat anschließend die Finanzierung der Produktionsanlage in Thüringen sichergestellt.

Der Produktionsprozeß

Der Produktionsprozeß für die 60 x 120 cm² großen integrierten Module mit 120 verschalteten Einzelzellen umfaßt neun Einzelschritte, die von der hermetischen Versiegelung durch Glas/Glas Lamination gefolgt werden:

- A Glasreinigung
- B Abscheidung des transparenten Kontaktfilms durch Kathodenzerstäubung
- C Trennung der TCO Schicht in Streifen durch Laserablation
- D Abscheidung von CdS und CdTe durch CSS
- E Aktivierung (Temperung der CdS/CdTe Doppelschicht in Chlor-haltiger Atmosphäre)
- F Chemische Ätzung zur Vorbereitung des Rückkontaktes
- G Zweiter Satz von Trennschnitten durch die Halbleiterschichten
- H Abscheidung des Rückkontaktes durch Kathodenzerstäubung
- I Dritter Satz von Trennschnitten durch die Halbleiter- und Kontaktschichten



Die Anlagen für diese Prozeßsequenz sind in einer Linie zum vollautomatischen Transport der Glasscheiben durch die Einzelprozeßstationen in einer 30 x 100 m² großen Halle aufgebaut und fugenlos verbunden. Das Layout wird in Abb. 2 dargestellt. Nach einem zweistündigen Durchlauf werden aus den eingegebenen Glasplatten Dünnschichtmodule. Etwa alle zwei Minuten wird ein Modul fertiggestellt. In der zweiten ähnlich großen Halle B werden die Module nach einem Funktionstest mit Metallbändern kontaktiert, durch Auflamination gleich großer Glasplatten hermetisch versiegelt, mit Kontaktboxen versehen und bezüglich ihrer photovoltaischen Daten vermessen.

Abbildung 2
Lay-Out der
Abscheidelinie in
Halle A

Der Aufbau der Produktionsanlage ist beendet. Die 160 m lange Abscheidelinie wird zur Zeit eingefahren. Die volle Produktion soll im Jahr 2001 aufgenommen werden.



Abbildung 3 →
Die Produktionslinie
A für CdTe
Dünnschichtmodule

Abbildung 6 (rechts)
Das 60 x 120 cm²
große CTS Modul

Die Abb. 3 und 4 zeigen die Produktionslinie insgesamt und ein Detail der Aufheizstrecke zur CSS-Abscheidung. Abb. 5 zeigt eine Ansicht aus der Laminierungsstrecke in Halle B. Abb. 6 zeigt ein fertiges CTS Modul.



Abbildung 4
Detail der
Produktionslinie:
Links der Auslauf der
Laserstrukturierung,
Mitte die Aufheiz-
strecke für die CSS
Prozeßeinheit

Literatur

Bonnet, D., Rabenhorst, H. (1972), New Results on the Development of a Thin Film p-CdTe-n-CdS Heterojunction Solar Cell, Conf. Record of the 9th Photovoltaic Specialists Conf., 129 - 131

Sites, J.R., Lui, X., (1995), Performance Comparison Between Polycrystalline Thin-film and Single-crystal Solar Cells, Progress in Photovoltaics, 3, 307 - 314



Abbildung 5
Die Laminierstrecke.
Rechts der Einlauf,
Wäsche der Deck-
gläser