

## **Zur Entwicklung von organisch-anorganischen Wasserdampfdiffusionssperrschichten für Dünnschichtsolarzellen auf Glas**

N. Niegisch, M. Mennig, H. Schmidt  
Institut für Neue Materialien gem. GmbH

### **Einleitung und Zielsetzung**

Auf dem Weg zu einer breiteren Nutzung der Solarenergie ist es notwendig, die Herstellungskosten weiter zu senken. Hierbei sind das kristalline Silizium, das teure Herstellungsverfahren und das hohe Gewicht besonders kostenintensiv, und die Forschung sucht auf diesen Gebieten verstärkt nach Alternativen.

Dünnschichtsolarzellen besitzen gegenüber den vergleichsweise massiven Silizium-Solarzellen wegen des wesentlich geringeren Materialbedarfs und der niedrigeren Herstellungskosten, vor allem im Zusammenhang mit nasschemischen Beschichtungsverfahren ein interessantes Kostenreduktionspotential. Dabei spielen auch Preis und Gewicht des verwendeten Deckglases zur Verkapselung der Solarzelle eine wichtige Rolle. Nach den Anforderungen der Industrie darf die Solarzelle nach 1000 h Lagerung bei 85 °C und 85 % rel. Luftfeuchtigkeit keinen Leistungsabfall zeigen, und eine Beschichtung, die das Deckglas ersetzen soll, muss für die CIGS-Solarzelle gleichzeitig transparent und UV-stabil sein, da hier die Glasvorderseite ersetzt werden soll. Polymerlacke und Polymerfolien sind aufgrund ihrer zu hohen Wasserdampfpermeabilität als Glasersatz ungeeignet [1-4], während aus der Gasphase applizierte Schichtsysteme, wie PVD-, CVD- und Plasmapolymersationsschichten, bei Raumtemperatur gute Barriereigenschaften zeigen, die jedoch nicht direkt auf die hohen Testanforderungen der Solarindustrie übertragen werden können [1, 5, 6]. Bekannte glasartige Sol-Gel-Beschichtungen bieten aufgrund ihrer sehr geringen Schichtdicke in Verbindung mit meist unvollständiger Verdichtung bei niedrigen Temperaturen ebenfalls keinen ausreichenden Schutz [7]. Ziel war es daher, eine Schutzschicht zu entwickeln, die eine kostengünstige Alternative zur teuren und schweren Glasverkapselung darstellt.

### **Lösungsansatz und Experimentelles**

Der Ansatz zur Lösung des Problems liegt in der Kombination der hohen Barriereigenschaften anorganischer Materialien mit der guten Verarbeitbarkeit und vielseitigen Nutzbarkeit organischer Materialien, verbunden mit einer thermodynamisch stabilen Anbindbarkeit silanbasierter Ausgangsstoffe an die Substratoberfläche.

Dazu wurden Silane mit weitervernetzbaaren organischen Restgruppen auf Epoxyalkylat- und Aminoalkylat-Basis vorhydrolysiert und zu einem Beschichtungsol weiterverarbeitet. Zur Erhöhung der Schichtdicke und des anorganischen Anteils der Matrix wurden Böhmit- und  $\text{SiO}_2$ -Nanopartikel in das  $\text{SiO}_2$ -Netzwerk der Silane eingebunden. Als organische Vernetzungsmoleküle wurden Bisphenol-A und verschiedene aliphatische Bis-epoxide verwendet. Zur weiteren Verminderung der Wasserdampfpermeation wurden plättchenförmige Teilchen (Glimmer, Glas-Flakes) eingesetzt. Die Vorbehandlung der Substratoberfläche erfolgte durch Beschichtung mit in Alkoholen verdünnten, unhydrolysierten Silanen oder durch Flammenvorbehandlung mit Pyrosil<sup>®</sup> (SurA). Diese Sole wurden auf Solarzellen auf Basis von Kupferindiumdiselenid (Oberseite) und Cadmiumtellurit (Rückseite) mit Standardbeschichtungsverfahren (Tauchen, Schleudern, Rakeln) appliziert. Die experimentelle Charakterisierung der Schichten erfolgte durch mechanische Profilometrie, REM, UV/vis-Spektroskopie und optische Mikroskopie. Die Permeationsmessungen wurden mit einem Wasserdampfpermeationsmessgerät der Fa. MOCON (PERMATRAN-W 3/31) bei 25 °C und 100 % rel. Luftfeuchtigkeit durchgeführt. Dazu wurden die Schichten auf Folien bekannter Wasserdampfdurchlässigkeit (PC, PET) aufgetragen und als Paket im Permatran-W vermessen. Die künstliche Alterung der Schichten wurde in einem Klimaschrank bei 85 °C und 85 % Luftfeuchtigkeit für 1000 h durchgeführt sowie in einem SUN-Tester (CPS+, Fa. Atlas, Xenon-Lampe mit 700 W / m<sup>2</sup>).

## Ergebnisse

Einige Komponenten der Dünnschichtsolarzellen wie Absorber und die transparente Deckelektrode sind sehr empfindlich gegen aus der Umgebung eindringenden Wasserdampf. Wichtigstes Kriterium für die Deckschicht ist die Fähigkeit, Wasserdampf aus der Umgebung vom Solarzellenmaterial fernzuhalten. In einem ersten Schritt wurden organisch-anorganische Nanokompositbeschichtungen auf der Basis von Epoxyalkylat- und Aminoalkylat-vernetzbaaren Silanen sowie SiO<sub>2</sub>-Nanopartikeln für die Verkapselung von Solarzellen auf Basis von Kupferindiumdiselenid (Oberseite) und Cadmiumtellurit (Rückseite) entwickelt. In Tab. 1 sind die Wasserdampfpermeabilitäten von Nanokompositschichten im Vergleich zu organischen Materialien dargestellt.

Tab. 1: Wasserdampfpermeabilitäten von Nanokompositschichten im Vergleich zu organischen Materialien

Materialien	Wasserdampfpermeabilität / mg·mm·m <sup>-2</sup> ·d <sup>-1</sup>
NANOMERE <sup>®</sup>	20
NANOMERE <sup>®</sup> (30 wt. % Glas flakes)	10
Parylene	20...400
Kommerzielle Lacke	100...200
PP	60...100
PET	200...240
PMMA	1000
PC	1900

Die Wasserdampfpermeabilität der in Tab. 1 dargestellten Schichten auf Polycarbonat wurde bei 25 °C und 100 % Luftfeuchte zu 20 mg·mm·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup> bestimmt und liegt damit deutlich unter der kommerzieller Polymerlacke (100...200 mg·mm·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>) und anderer organischer Materialien. Die Schichten sind vollständig transparent, farblos und UV-stabil (7 d bei 760 W / m<sup>2</sup>). Unter den von der Industrie vorgegebenen Testbedingungen zeigten die mit diesen Schichten verkapselten Solarzellen allerdings noch einen deutlichen Leistungsabfall im Klimatest. In einem zweiten Schritt wurden daher plättchenförmige anorganische

Partikel verwendet, die, wenn sie sich dachziegelartig übereinander anordnen, die Diffusionswege für die Wassermoleküle verlängern und so die Diffusionsgeschwindigkeit herabsetzen. Durch Einbau von 30 % Massenanteilen Glasflakes von ca. 50 µm Durchmesser und 2 µm Dicke in das Beschichtungsmaterial konnte die Wasserdampfermeabilität auf  $10 \text{ mg}\cdot\text{mm}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$  verringert werden. Dies unterbietet den Wert von  $20\text{...}400 \text{ mg}\cdot\text{mm}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$  für die aus der Mikroelektronik bekannten Parylene, für deren großflächige kostengünstige Abscheidung es derzeit aber noch keine technische Lösung gibt. Wesentliches Kriterium für Außenanwendung ist die Langzeitbeständigkeit, die mit dem damp-heat-Test (85 °C, 85 % Luftfeuchtigkeit, 1000 h) überprüft wird. NANOMER<sup>®</sup>-beschichtete CIS-Solarzellen erreichten mit einer plasmapolymerisierten SiO<sub>2</sub>-Überbeschichtung 40 % der Ausgangsleistung nach 1000 h damp-heat-Test, was der Schutzwirkung der EVA/Glasverkapselung entspricht. CdTe-Solarzellen erzielten nach 200 h damp-heat-Test noch ihre volle Leistungsfähigkeit, während alternative Verkapselungen mit Parylenen, Plasmapolymerisationsschichten, kommerziellen Polymeren, usw. bereits nach 24 h zum Kurzschluss der Zelle führten.

#### **Ausblick**

Künftige Arbeiten sollen auf eine Verbesserung des Einbaus der Glasflakes mit höherer Konzentration bei verbesserter Lichttransmission durch Brechzahlanpassung der Matrix zielen. Außerdem sollen Mehrfachbeschichtungen untersucht werden, um die Langzeitbeständigkeit im damp-heat-Test zu erhöhen.

#### **Literatur**

- [1] THIN FILM SOLAR MODULE ENCAPSULATION PROCESSES FOR LARGE AREA MANUFACTURING, Contract JOR3-CT97-0140, Publishable Report, 1998
- [2] Plasmapolymerisation für Membranen und Folien, VDI-Seminar „Plasmapolymerisation“, München 1998
- [3] Coating, 8, 274 (1994)
- [4] Degradation of acrylic coated Zinc oxide thin films, oral session at EUROCORR 99, Aachen, 1999
- [5] Kautschuk, Gummi, Kunststoffe, 6/49, 452 (1996)
- [6] Pol. Eng. Sci., 35/23, 1878 (1995)
- [7] Sur. Coat. Tech., 111, 72 (1999)