

Roll-to-roll-Abscheideverfahren von TCO-Schichten für Solarzellen und andere Anwendungen

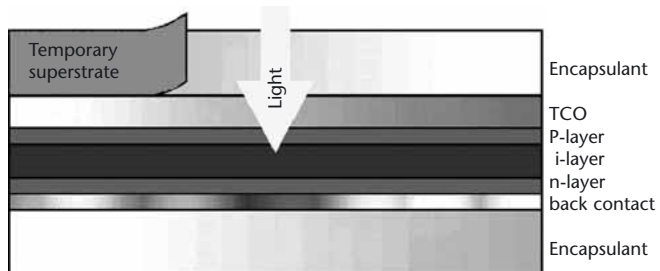
R. Schlatmann
 rutger.schlatmann@akzonobelchemicals.com

B. Stannowski
 Akzo Nobel Chemicals
 Research & Technology
 Center

Im Helianthos-Projekt wird ein Produktionsverfahren entwickelt, um die kWh-Kosten von Solaranlagen zu senken. In diesem Prozess werden flexible Dünnschicht-Silizium-Solarmodule in einem kontinuierlichen Roll-to-Roll-Verfahren gefertigt, wodurch die Modul-Produktionskosten reduziert werden. Des Weiteren sind diese Rollen geeignet, um z. B. in fertige Bauelemente (etwa Dachelemente) integriert zu werden, um die Installationskosten senken zu können. Beides zusammen ermöglicht niedrige kWh-Kosten, wobei der Wirkungsgrad der Module nicht so hoch sein muss wie der von heutigen kristallinen Si-Modulen.

Für die Fertigung von Helianthos-Modulen wird eine Aluminium-Trägerfolie verwendet, auf der die Dünnschicht Si-Solarzelle in der gleichen p-i-n-Prozessfolge abgeschieden wird wie im Standardverfahren auf Glas. Nach dem Laminieren auf Kunststoffolie wird das Aluminiumsubstrat nasschemisch entfernt.

Abbildung 1
 Der Helianthos-Prozess, schematisch



Im Rahmen des Helianthos-Projekts wird bei Akzo Nobel in Arnheim (Niederlande) eine Pilot-Fertigungslinie für Silizium-Dünnschicht-Solarmodule aufgebaut. In dieser Anlage werden regelmäßig pin-a-Si-Module mit Anfangswirkungsgraden von über 7% (Aperturfläche) gefertigt. Der mittlere Wirkungsgrad über eine 30 m lange Rolle ist $7.2 \pm 0.4\%$.

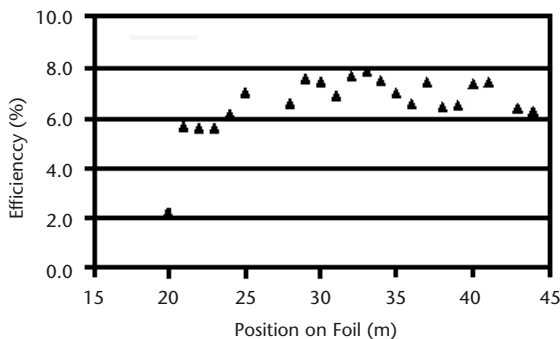


Abbildung 2
Verteilung von Modul-
wirkungsgraden in
der Roll-to-Roll-
Pilotfertigung

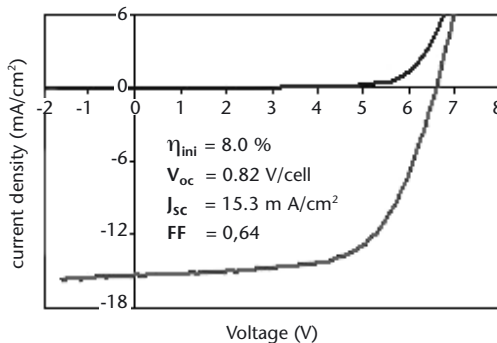
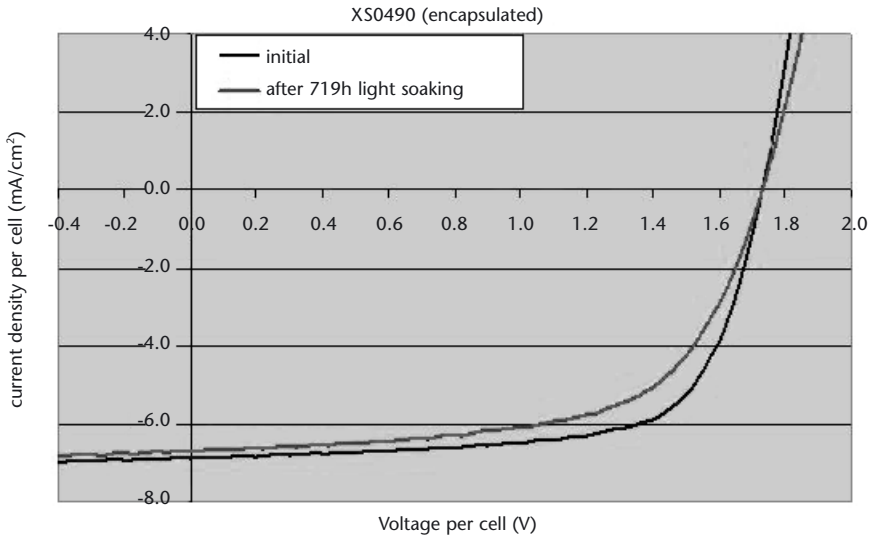


Abbildung 3
J/V-Kennlinie des besten
a-Si-pin-Moduls aus
der Roll-to-Roll-
Pilotfertigung

Module im Labormaßstab von $(10 \times 10) \text{ cm}^2$ bestehend aus einer Fensterschicht von fluordotiertem, transparentem Zinnoxid ($\text{SnO}_2:\text{F}$), a-Si (in Form einer Einfachzelle pin oder einer Tandem pinpin), sowie einem reflektierenden Rückkontakt erreichen einen stabilisierten Wirkungsgrad nach 1.000 Stunden Lichtalterung von bis zu 7%.



XS0490	V_{oc} (V)	FF	J_{sc} (mA/cm ²)	η (%)
initial	1.73	0.70	6.9	8.2
719hLS	1.73	0.70	6.7	7.2

Abbildung 4
*JV-Kennlinie eines
aSi/aSi-Tandem-
Kleinmoduls*

Im Folgenden werden wir vor allem auf den APCVD-Prozess (Atmospheric Pressure Chemical Vapor Deposition) für die Abscheidung des SnO₂:F näher eingehen. Für diesen Prozess ist eine sehr gute Kontrolle der Beschichtungshomogenität eine wichtige Voraussetzung, um die sehr hohen Abscheideraten (50-100 nm/s) tatsächlich in der Produktion wirtschaftlich ausnützen zu können. In unserer heutigen Pilotlinie haben wir schon seit einigen Jahren eine hervorragende Prozesskontrolle erreicht, das sich in der Beschichtungshomogenität sowohl über die Folienbreite als auch über die Folienlänge zeigt:

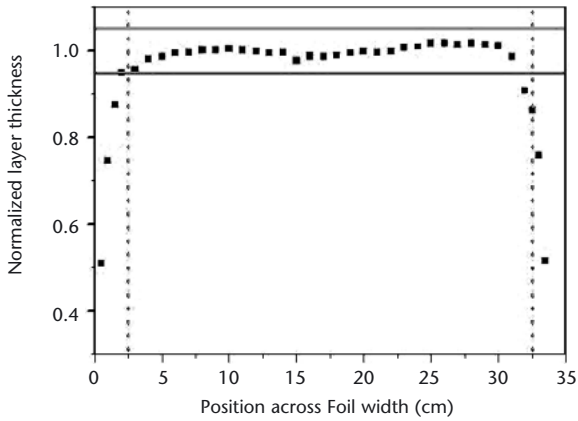


Abbildung 5
Beschichtungs-
homogenität über
die Folienbreite

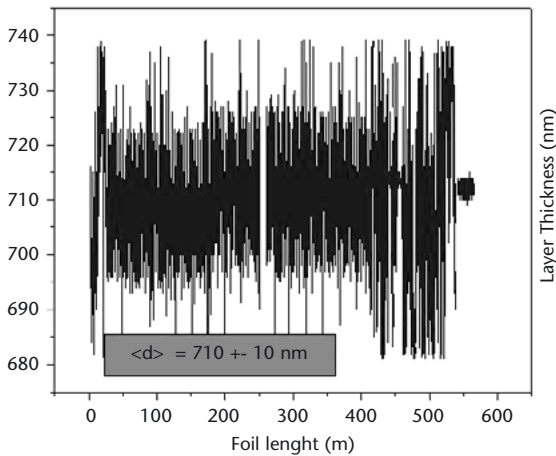


Abbildung 6
Beschichtungs-
homogenität über
die Folienlänge

Wie vorher schon oft gezeigt, lassen sich die opto-elektronischen Eigenschaften mit Hilfe der HF-Dotierung verhältnismäßig einfach einstellen. Die Rauigkeit und

Abbildung 7
Abhängigkeit der
Leitfähigkeit von dem
HF-Fluss

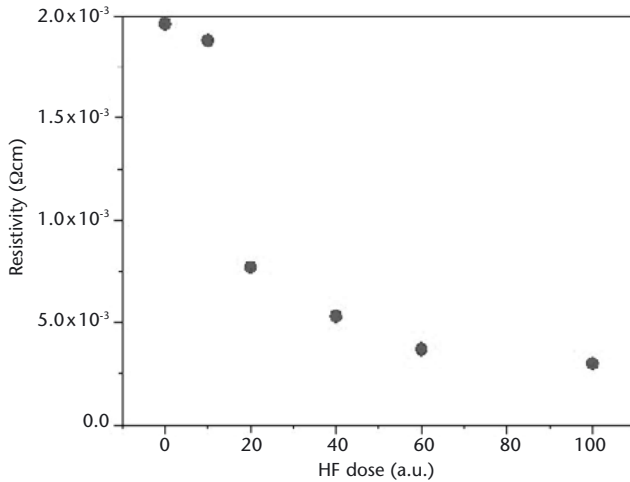
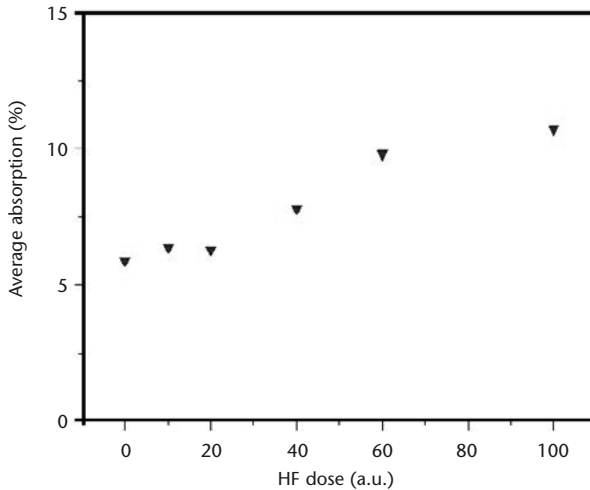
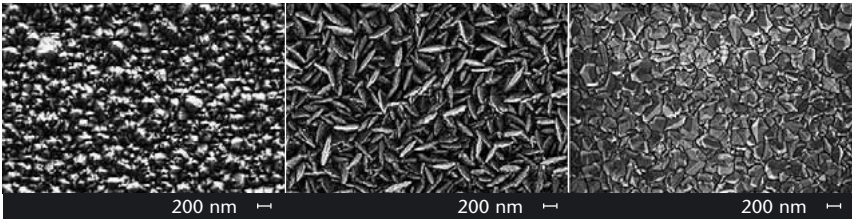


Abbildung 8
Optische Absorption,
gemittelt über den
Spektralbereich von
400 - 800 nm, in
Abhängigkeit von
dem HF-Fluss



Oberflächenmorphologie der SnO₂:F-Schichten hängt von einem komplizierten Zusammenspiel vieler Prozessparameter ab. Wie in *Abb. 9* gezeigt, sind wir trotzdem in der Lage, ziemlich weit auseinanderliegende Oberflächenmorphologien einzustellen.



Obwohl sich der genaue Zustand der TCO-Oberflächenrauigkeit mit Hilfe optischer Lichtstreuungsmethoden oder dem AFM genau bestimmen lässt, ist es sehr schwierig, eine Vorhersage auf den Wirkungsgrad einer Solarzelle zu machen. Wir haben deshalb unsere Solarzellen mit einer Standard-Solarzelle (TCO $\text{SnO}_2\text{:F}$), Asahi U, verglichen. Für eine aSi-aSi-Tandemsolarzelle sieht die EQE (externe Quanteneffizienz) sehr ähnlich aus. Unser TCO erzeugt etwa 5 % weniger Strom.

Abbildung 9
SEM-Bilder unterschiedlicher TCO-Oberflächen. Die mittlere Abbildung zeigt unser heutiges Standard-TCO.

Abbildung 10
Vergleich der EQE einer aSi-aSi-Tandemsolarzelle von Akzo Nobel und Asahi U TCO

