

# Flexible, polykristalline Solarzellen durch Versprühen von Cyclopentasilan und höheren Silanen auf Glasfaser- bzw. Kohlefasergewebe und -vliese

315 ZN

Flexible Solarzellen bieten vielfältige Einsatzmöglichkeiten. Sie können auf Autodächern, Sonnenschirmen, automatisch ausfahrbaren Rollos oder Jalousien aufgeklebt werden, auch auf Textilien lassen sie sich aufbringen. Polykristalline Dünnschicht solarzellen können auf Glasscheiben, als Displaytechnologie für 3D-Fernseher und auch für Elektronikbauelemente eingesetzt werden.

Dazu wurden in diesem Projekt zunächst die thermischen Eigenschaften und Handhabung von Cyclopentasilan (CPS) untersucht. Im Anschluss daran wurden Polysilane durch Polymerisation von niederen Silanen hergestellt und ein Verfahren entwickelt, das die Abscheidung von elementarem Silizium durch Spincoating und Hochdrucksprayverfahren auf verschiedenen Substraten ermöglicht. Zum Schluss wurde ein Demonstrator mit polykristallinen Solarzellen gebaut.

Die Untersuchungen zum thermischen Verhalten und der Handhabung von CPS zeigten, dass reines CPS bei 300 K mit einer Grenzkonzentration von 10ppm O<sub>2</sub> gerade noch sicher gehandhabt werden kann und sich die Sauerstoffempfindlichkeit mit steigender Verdünnung des CPS mit Toluol verringert. Es ist jedoch aus Sicherheitsgründen zu empfehlen, grundsätzlich mit CPS bzw. dessen Lösungen unter Ausschluss von Sauerstoff zu arbeiten. Weiterhin wurde festgestellt, dass das CPS in reiner oder gelöster Form beim Erhitzen instabil ist und sich in feste Teilchen zersetzt.

Die Synthese von Polysilanen kann durch UV-Bestrahlung von CPS in Toluol initiiert werden. Unter diesen Bedingungen findet auch eine erfolgreiche Copolymerisation des CPS mit Trisilan statt. Dies wurde durch NMR-Spektroskopie verifiziert. Dabei steigt Polymerisationsgeschwindigkeit mit der Konzentration der CPS-Lösung. Wird bei der Bestrahlung mit kürzeren Wellenlängen gearbeitet, führt dies zu einer schnelleren Reaktion.

Die Toluol-Lösungen mit dem Polysilan wurden durch Rotationsbeschichtung auf verschiedene Substrate aufgebracht. Dabei zeigte sich, dass Polysilan viel besser auf Glas als auf Graphit haftet. Durch Tempern lässt sich das Polysilan in Silicium umwandeln. Die Bildung der Siliziumschichten wurde mittels XPS-Spektroskopie nachgewiesen. Die Dicke der Si-Dünnschicht steigt mit Erhöhung der Polysilan-Konzentration. Um eine kontinuierliche Schicht im Mikrometerbereich aufzubauen, muss eine minimale Silankonzentration von 5% eingesetzt werden. Gleichzeitig nimmt die Ausbeute an Polysilan mit der Bestrahlungszeit zu. Die Oxidationsbeständigkeit der Si-Schichten kann durch längere thermische Nachbehandlung verbessert werden. Verschiedene Textilträger können durch Sprühen von Polysilan-Lösungen mit Silizium beschichtet werden. Allerdings war es nicht möglich, kontinuierliche Si-Schichten auf den Substraten aufzubauen. Lediglich einzelne Fasern waren beschichtet.

Deshalb wurde ein Hochdrucksprühsystem basierend auf der Common-Rail-Technologie entwickelt und damit reines CPS sowie CPS-Toluol-Lösungen versprüht. Beim Versprühen von reinem CPS mit Commonrail-Piezo-Injektor konnten homogene glatte Si-Schichten hergestellt werden. Bei der CPS-Toluol-Lösung verdampft das Toluol beim Auftreffen auf die Heizplatte. Das zurückbleibende Silizium zieht sich zusammen und bildet Schuppen aus. Deshalb wurden die weiteren Arbeiten mit reinem CPS durchgeführt. Das Versprühen erfolgte bei einer Substrattemperatur von 400 bis 600°C unter Vakuum. Die abgeschiedenen Schichten auf Kohlefasergewebe und Quarzglas wurden mittels Lichtmikroskopie, REM, EDX sowie Röntgendiffraktometrie untersucht. Sie zeigen polykristalline Strukturen sowie eine Fotoleitfähigkeit. Da die aus reinem CPS abgeschiedenen Si-Schichten eine polykristalline Struktur aufweisen, dient diese auch zugleich als Keimschicht. Die p-Dotierung wurde mittels sekundärer Ionenstrahlabscheidung aus einem p-Si-Target realisiert. Durch Zumischung von Phosphin (PH<sub>3</sub>) während des Sprüh- und Annealing-Prozesses konnte die Si-Schicht n-dotiert werden.

Zum Abschluss konnten zwei funktionierende Solarzellendemonstratoren auf Quarzglas und Kohlefasergewebe aus CPS hergestellt und deren elektrische Eigenschaften analysiert werden.

Bearbeitet wurde das Forschungsthema vom 04/09 bis 03/12 am **DWI an der RWTH Aachen** e.V. (Pauwelstraße 8, 52056 Aachen, Tel.: 0241/8023398) unter der Leitung von Dr. Xiaomih Zhu (Leiter der Forschungsstelle Prof. Dr. M. Möller), dem **Institut für Ionenstrahl- und Vakuumverfahrenstechnik an der Hochschule für Technik e.V., Esslingen** (Fritz-Müller-Straße 137, 73730 Esslingen, Tel. 0711/758746-13) unter der Leitung von Hristo Hadjiev (Leiter der Forschungsstelle Dr. M. Mayr) und der **Fraunhofer-Gesellschaft e.V., Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie ICT** (Joseph-von-Fraunhofer-Straße 7, 76327 Pfinztal-Berghausen, Tel.: 0721/4640-138) unter der Leitung von Dr. N. Eisenreich (Leiter der Forschungsstelle Prof. Dr. P. Elsner).

--> [TIB](#)

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Energie

Das IGF-Vorhaben Nr. 315 ZN der Forschungsvereinigung DECHEMA, Gesellschaft für Chemische Technik und Biotechnologie e.V., Theodor-Heuss-Allee 25, 60486 Frankfurt am Main wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages