

NANOSTRUKTURIERTE SIS-SOLARZELLEN

NANOSTRUCTURED SIS SOLAR CELLS

Die Photovoltaikbranche steht vor der großen Herausforderung, ihr Nischendasein im deutschen und europäischen Energiemix zu verlassen und einen bedeutenden Anteil des zukünftigen Energiebedarfs bereitzustellen. Um die hohen nationalen und internationalen Ziele zu erreichen, wird derzeit intensiv an innovativen Herstellungstechnologien und optimierten Prozessen geforscht.

Einen vielversprechenden Ansatz für eine schnelle und einfache Herstellung von Solarzellen bietet der so genannte Semiconductor–Insulator–Semiconductor (SIS) Aufbau. Dabei wird ein dünner Isolator auf dotiertes Silizium aufgebracht und anschließend mit einem transparenten leitfähigen Oxid (TCO), wie z. B. Indiumzinnoxid (ITO) oder Aluminium-dotiertem Zinkoxid (AZO), überschichtet. Bei geeigneter Wahl der Siliziumdotierung und optimierter Prozessführung führen die unterschiedlichen Elektronenaustrittsarbeiten der Materialien zur Invertierung und letztendlich zur Erzeugung eines pn-Übergangs im Silizium. Aufgrund der geringen Absorption im sichtbaren bzw. nahen infraroten Spektralbereich und der hohen Leitfähigkeit der TCOs bilden diese ein transparentes Fenster für die einfallende solare Strahlung und können gleichzeitig als Frontelektrode eingesetzt werden.

The photovoltaic industry faces the challenge of departing from its niche existence in the German and European energy market to provide a significant part of future energy demands. Currently, research is concentrated on innovative fabrication technologies and optimized processes to achieve the high national and international goals.

A promising approach for rapid and simple fabrication of solar cells is the so-called semiconductor – insulator – semiconductor (SIS) system. Here, a thin insulator is coated on doped silicon, followed by the deposition of a transparent conductive oxide (TCO), e.g. indium tin oxide (ITO) or aluminum doped zinc oxide (AZO). With the appropriate choice of the silicon doping and optimized process conditions, the different work functions of the materials lead to the inversion and the formation of a p-n junction within the subsurface of the silicon surface. Due to the low absorption in the visible and near infrared spectral range and the high conductivity of the TCOs, these act as a transparent window for the incident solar irradiance and can be used as front electrode at the same time.

1 REM-Aufnahmen einer strukturierten Siliziumgrenzfläche.

1 SEM-micrographs of a structured silicon surface.

Da die TCOs einen Brechungsindex im Bereich von 2 haben, eignet sich diese Materialklasse zur Entspiegelung von Silizium. Aufgrund von Interferenzeffekten ist dies jedoch nur beim Erfüllen der Phasenbedingung, d. h. bei bestimmten Wellenlängen, gewährleistet. Da mehrschichtige Interferenzsysteme aus hoch- und niedrigbrechenden Materialien erhöhte Herstellungskosten verursachen und eine starke Winkelabhängigkeit implizieren, müssen möglichst breitbandige, winkelunabhängige und vor allem kostengünstige Alternativen erforscht werden. Eine bekannte Lösung für die Erzeugung von breitbandigen Entspiegelungen ist der Einsatz von nanostrukturierten Grenzflächen. Ein mögliches Verfahren zur Strukturierung von Silizium ist das induktiv gekoppelte Plasmaätzen. Bei diesem reaktiven Ätzprozess bewirkt ein Gemisch aus Sauerstoff und Schwefelhexafluorid SF_6 die stochastische Strukturierung der Oberfläche, wobei die Strukturgeometrie durch die Prozessparameter variiert werden kann. In Abb. 1 sind typische rasterelektronenmikroskopische Aufnahmen von strukturierten Siliziumgrenzflächen dargestellt. Je nach vorliegender Strukturgeometrie kann die Fresnelreflexion der entstandenen Grenzfläche in einem breiten Spektralbereich auf unter ein Prozent gesenkt werden, siehe Abb. 2. Die dadurch erzeugten Grenzflächen werden nun mit dem SIS-System überschichtet und erlauben damit die Realisierung eines innovativen Zellkonzepts /1/. Sowohl der Plasmaätz- als auch der Sputterprozess werden auf skalierbaren und industrietauglichen Anlagen durchgeführt.

Abbildung 3 zeigt die Strom-Spannungs-Kennlinie einer unstrukturierten und einer strukturierten SIS-Solarzelle unter AM1,5G Beleuchtung mit 1000 W/m^2 . Das aufgebrachte SIS-System wurde mittels gepulstem DC Magnetronsputtern realisiert, wobei als TCO Indiumzinnoxid (ITO) mit einer Schichtdicke von ca. 550 nm abgeschieden wurde.

As a result of a refractive index in the range of 2, the transparent conductive oxides are suitable as antireflection coating for silicon. Due to interference effects, the AR properties can only be achieved if the phase condition is fulfilled, i.e. at special wavelengths. Because of increasing fabrication costs and strong angle dependency in the use of multilayer stacks of high and low refractive index materials, other broadband, angle-independent and above all cost-effective alternatives have to be investigated. One known solution for the generation of broadband antireflection surfaces is the use of nanostructured surfaces. A possible technique for the structuring of silicon is etching by an inductive coupled plasma (ICP). During this reactive etching process a mixture of oxygen and sulfur hexafluoride SF_6 leads to the stochastic structuring of the surface, whereas the structure geometry can be varied by the process conditions. Figure 1 shows typical SEM-micrographs of structured silicon surfaces. Depending on the structure geometry, the Fresnel reflection of the realized surface can be decreased below one percent in a broadband spectral range, see Fig. 2. After the etching process, the generated surface is covered by the SIS system to create an innovative cell concept /1/. Both the plasma etching as well as the sputtering process are executed on industry-standard machines.

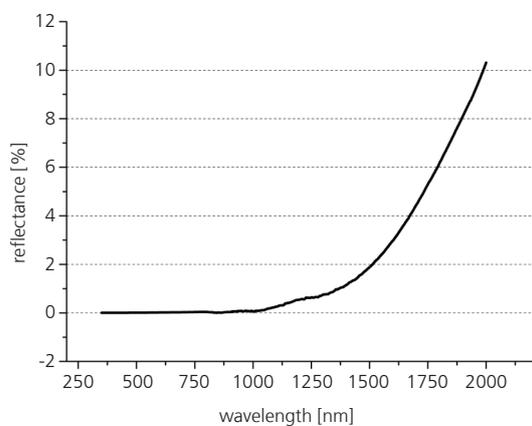
The current-voltage characteristic under 1000 W/m^2 AM1.5G spectra of a structured and unstructured SIS device is shown in Fig. 3. The SIS system was deposited by pulsed DC magnetron sputtering, whereas ITO with a thickness of approximately 550 nm was used as transparent conductive oxide. Due to the structuring of the silicon surface and the light trapping of the incident irradiance, the nanostructured solar cell exhibits with 24.05 mA/cm^2 a higher short circuit current compared to the unstructured device with 20.22 mA/cm^2 .

Infolge der Strukturierung und der effektiven Einkopplung der einfallenden Strahlung liefert die nanostrukturierte Zelle einen höheren Kurzschlussstrom als die unstrukturierte Vergleichszelle: 24,05 mA/cm² bzw. 20,22 mA/cm². In Folge der guten Leitfähigkeit der dünnen ITO-Schichten liegt der Füllfaktor der Zellen bei 0,65 für das strukturierte und 0,71 für das unstrukturierte Bauelement. Aufgrund der geringen Sperrspannung von 420 mV bei der strukturierten Zelle bzw. 460 mV bei der unstrukturierten Zelle liegt der Wirkungsgrad der 0,8 cm² und 1 cm² großen Laborzelle bei 6,6 % bzw. 6,9 %.

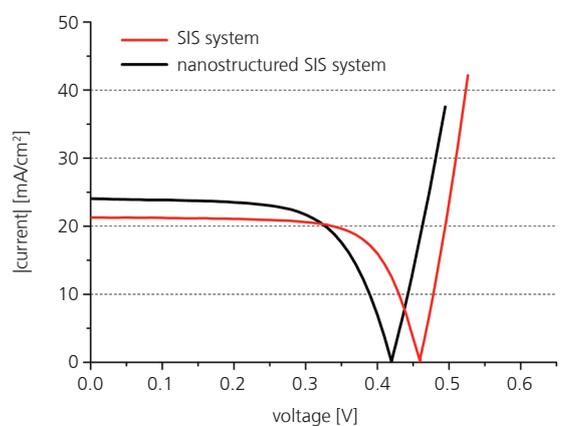
Ziel der aktuellen Forschung ist es, die Eigenschaften dieses neuen und innovativen Zellkonzepts weiterhin zu verbessern und das Potential bezüglich der einfachen Massenfertigung von Solarzellen zu evaluieren.

Because of the high conductivity, the fill factor reaches 0.65 for the structured and 0.71 for the unstructured solar cell. As a result of the low open circuit voltage of 420 mV for the 0.8 cm² structured and 460 mV for the 1 cm² unstructured solar cell, the efficiency is in the range of 6.6 % and 6.9 %, respectively.

The further improvement of the electrical properties and the potential analysis of the simple mass production process of the innovative solar cell concept is the goal of the current research.



2 *Fresnelreflexion der strukturierten Siliziumgrenzfläche. / Fresnel reflectance of a structured silicon surface.*



3 *Strom-Spannungs-Kennlinie einer strukturierten und unstrukturierten SIS-Solarzelle. / Current-voltage characteristic of a structured and unstructured SIS device.*

Unser Dank gilt dem BMBF für die finanzielle Unterstützung dieser Arbeiten im Rahmen des Forschungsprojekts PHIOBE (FKZ 13N9669).

We would like to thank the BMBF for financial support of this work within the project PHIOBE (FKZ 13N9669).

Literatur/References

/1/ DE102007024478A1 (2007).

AUTHORS

Kevin Füchsel^{1,2}

Ulrike Schulz¹

Norbert Kaiser¹

Thomas Käsebier²

Ernst-Bernhard Kley²

Andreas Tünnermann^{1,2}

¹ *Fraunhofer IOF*

² *Institut für Angewandte Physik,
Friedrich-Schiller-Universität Jena*

CONTACT

Kevin Füchsel

Phone +49 3641 807-273

kevin.fuechsel@iof.fraunhofer.de