

Bifaciale Dünnschicht-Solarzellen aus multikristallinem Silizium

Guobin Jia, Jonathan Plentz, Annett Gawlik, Gudrun Andrä*

Leibniz-Institut für Photonische Technologien (IPHT), Jena

* E-Mail: gudrun.andrae@leibniz-ipht.de

Abstract

In diesem Beitrag werden Dünnschicht-Solarzellen auf der Basis von laserkristallisiertem multikristallinem Silizium mit einem Schichtaufbau, der beidseitige Beleuchtung ermöglicht, vorgestellt. Mit diesem bifacialen Solarzellenaufbau soll die Energieausbeute im Vergleich zu einer monofacialen Anordnung um 20 % gesteigert werden.

1. Einleitung

Derzeit haben am Markt angebotene Dünnschicht-Solarzellen ausschließlich einen monofacialen Solarzellenaufbau. Die Erträge dieser Solarzellentypen können durch eine bifaciale Beleuchtung erhöht werden. Dafür ist es u.a. notwendig, die üblicherweise auf einer Seite vorhandene Metall-Elektroden- und Reflektor-Schicht durch eine transparente leitfähige Schicht zu ersetzen und dabei trotzdem die Transmissionsverluste, die besonders bei Dünnschichten auftreten, so gering wie möglich zu halten. Lösungswege sind optimierte Schichtdicken, die eine hohe Materialqualität voraussetzen, und strukturierte Oberflächen.

Die Erkenntnisse, die bei der Entwicklung der bifacialen Dünnschicht-Solarzellen auf Basis von multikristallinem Silizium gewonnen werden, können in Zukunft auch für Wafer-basierte Solarzellen, die zum Teil schon als bifaciale Module kommerzialisiert sind, von Nutzen sein. Hier gibt es starke Bestrebungen immer dünnere Wafer zu verwenden, um Material und Kosten zu reduzieren. Die bifacialen multikristallinen Silizium-Dünnschicht-Solarzellen, bei denen möglichst dicken Schichten angestrebt werden, zeigen hier die Effekte auf, die bei dünnen bifacialen Wafer-Solarzellen zum Tragen kommen.

2. Experimentelles

Dünnschicht-Solarzellen aus multikristallinem Silizium werden mittels Laserkristallisation hergestellt und werden seit Jahren am Leibniz-IPHT erforscht [1-4]. Der schematische Aufbau ist in Abbildung 1 dargestellt. Dazu wird auf einem Glas mit Barriere-Schicht zunächst 5-10 μm amorphes Silizium abgeschieden und nachträglich mit einem Dioden-Laser-Strahl (Wellenlänge 806 oder 980 nm, Strahldimension 30 x 0,1 mm^2), der mit einer Geschwindigkeit von einigen cm/s über die Schicht bewegt wird, über einen Schmelzprozess zu multikristallinem Silizium kristallisiert. Um daraus Solarzellen zu prozessieren, werden entsprechende Emittter (a-Si:H [5,6] oder PEDOT [7]) und an die Beleuchtung angepasste Kontakte präpariert.

In der Variante mit einseitiger Beleuchtung wird üblicherweise ein Metall als Rückkontakt und Reflektor ganzflächig aufgebracht. Für den bifacialen Aufbau (Abb. 1) wird ein transparenter Rückkontakt z.B. ein TCO bzw. eine neu entwickelte dünne Graphenschicht [8] ggf. mit einem Metallgrid verwendet. Die Kornstruktur der laserkristallisierten Absorberschicht ist ebenfalls in Abb. 1 gezeigt. Die Körner haben eine laterale Ausdehnung zwischen 0,1 und 10 μm , was einem Verhältnis Korngröße zu Schichtdicke von 100:1 entspricht, vergleichbar mit dem Verhältnis bei multikristallinen Wafer-Solarzellen, was perspektivisch vergleichbare Wirkungsgrade erwarten lässt.

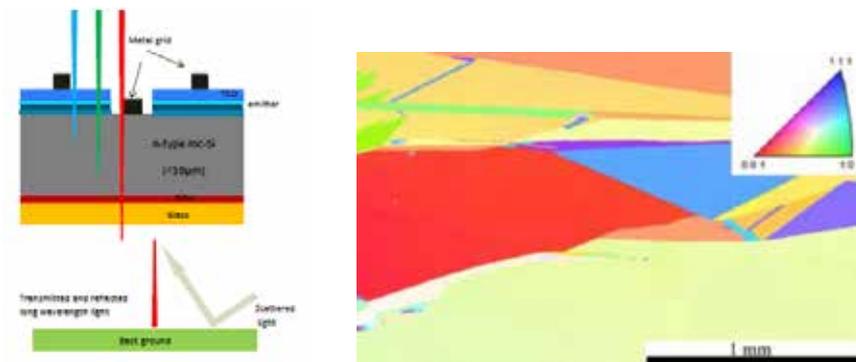


Abb. 1: Schema einer laserkristallisierten multikristallinen Silizium-Dünnschicht-Solarzelle mit bifacialer Beleuchtung (links) und Kristallstruktur des laserkristallisierten Absorbers (rechts)

3. Ergebnisse und Diskussion

Die Analyse der Schichtqualität der laserkristallisierten Schicht mittels Photolumineszenz [9] zeigt eine vernachlässigbare Defekt-Lumineszenz in den Kristallkörnern, vergleichbar mit Silizium-Wafermaterial, und eine Defekt-Lumineszenz an den Korngrenzen mit geringer Emissionsintensität. D.h. der mit optimierten Laserparametern hergestellte Absorber zeigt eine hohe elektronische Materialqualität. Nach Optimierung aller Materialkomponenten und Präparationsschritte des Solarzellen-Systems wurde eine effektive Ladungsträger-Lebensdauer von etwa 500 ns gemessen (Abb.2 [10]), was einer effektiven Ladungsträgerdiffusionslänge von etwa 20 µm entspricht.

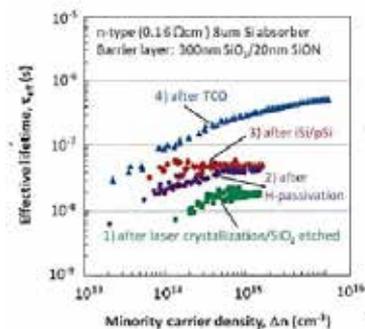


Abb. 2: Lebensdauermessungen an multikristallinen Silizium-Dünnschicht-Solarzellen nach den verschiedenen Präparationsschritten

Das zeigt, dass unter diesen Gesichtspunkten Absorber-Schichten mit einer Dicke von 10 µm für die angestrebten Solarzellen geeignet sind. Zur Minimierung der Transmissionsverluste wird die Oberfläche der Absorberschicht nach der Laserkristallisation strukturiert. Die angestrebten Streueffekte werden dabei sowohl mit nasschemisch präparierten Nanowire-Strukturen [5] als auch Pyramidenstrukturen mit Ätztiefen im µm-Bereich erreicht (Abb. 3, [11]). Wie zu sehen, liefern Nanowire-Strukturen mit Ätztiefen von 1µm und Pyramiden-Strukturen mit Ätztiefen von 2-3 µm vergleichbare Absorptionswerte.

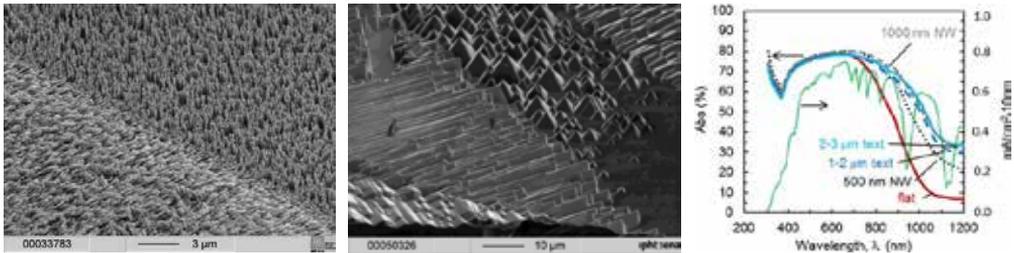


Abb. 3: Ätzstrukturen (rechts: Nanowires, Mitte: Pyramiden) in der Oberfläche einer 8 μm dicken Absorberschicht und ihr Einfluss auf die Schichtabsorption (rechts)

Für die Vergleichsmessungen zur Energieausbeute von monofacialen und bifacialen Dünnschicht-Solarzellen wurden Solarzellen präpariert, bei denen die Absorberoberfläche mit einer Nanowire-Struktur (Abb. 3) versehen und die Nanowires dann mit einer a-Si:H-Emitterschicht und einer TCO-Kontaktschicht ummantelt wurden.

Das Schema der Messanordnung und die Zusammenfassung der Ergebnisse zeigt Abb. 4 [6].

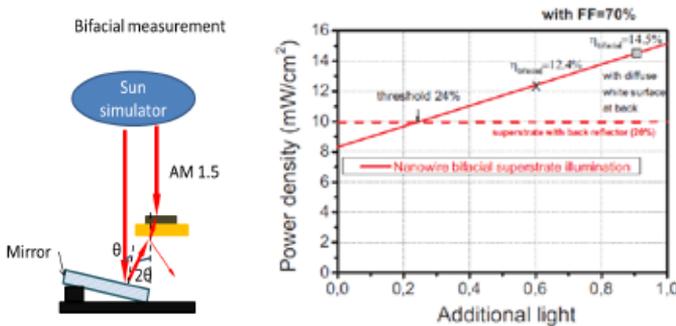


Abb. 4: Schema der Anordnung zur Messung der I-V-Kurven bei bifacialer Beleuchtung (links) und Darstellung der Abhängigkeit der Gesamteffizienz der Dünnschicht-Solarzelle von der zusätzlichen Rückseiten-Beleuchtung (rechts)

Unter monofacialen Bedingungen mit AM1.5G- Beleuchtung zeigen die Zellen mit üblichem Metall-Rückreflektor einen Wirkungsgrad von 10 %, ohne Reflektor wegen der höheren Transmission 8,2 %. Bei zusätzlicher Beleuchtung von der Rückseite mit 24 % der AM1.5G - Intensität sind die Transmissionsverluste wieder ausgeglichen. Bei weiterer Erhöhung der Intensität steigt die bifacial erreichte Effizienz über den Wert der monofacial erreichten Effizienz. 20 % mehr Effizienz wird bei einer zusätzlichen Beleuchtung von der Rückseite mit 60 % der AM1.5G-Intensität erreicht.

4. Zusammenfassung

In diesem Beitrag wurden Dünnschicht-Solarzellen aus multikristallinem Silizium vorgestellt, die zusätzlich für bifaciale Beleuchtung ausgelegt wurden. Im Vergleich zu einem monofacialen Solarzellenaufbau kann auch mit derartigen Dünnschicht-Solarzellen in der bifacialen Anordnung die Energieausbeute, wie für Wafer-Solarzellen angestrebt, um 20 % gesteigert werden.

5. Danksagung

Die vom Freistaat Thüringen geförderte Forschergruppe „Bi-PV“ (FKZ: 2015 FGR 0078) wurde durch Mittel der Europäischen Union im Rahmen des Europäischen Sozialfonds (ESF) kofinanziert.

6. Literaturverzeichnis

- [1] J. Plentz, G. Andrä, A. Gawlik, I. Höger, G. Jia, F. Falk, *Polycrystalline silicon thin-film solar cells prepared by layered laser crystallization with 540 mV open circuit voltage*, Thin Solid Films 562 (2014) 430-434
- [2] J. Plentz, T. Schmidt, A. Gawlik, J. Bergmann, G. Andrä, D. Hauschild, V. Lissotschenko, *Applicability of an economic diode laser emitting at 980 nm for preparation of polycrystalline silicon thin film solar cells on glass*, Physica Status Solidi A 214 (2017) 1600882
- [3] A. Gawlik, I. Höger, J. Bergmann, J. Plentz, T. Schmidt, F. Falk, G. Andrä, *Optimized emitter contacting on multicrystalline silicon thin film solar cells*, Physica Status Solidi RRL 9 (2015) 397-400
- [4] A. Gawlik, J. Plentz, I. Höger, G. Andrä, T. Schmidt, U. Brückner, F. Falk, *Multicrystalline silicon thin film solar cells on glass with epitaxially grown emitter prepared by a two-step laser crystallization process*, Physica Status Solidi A 212 (2015) 162-165
- [5] G. Jia, G. Andrä, A. Gawlik, S. Schönherr, J. Plentz, B. Eisenhawer, T. Pliewischkies, A. Dellith, F. Falk, *Nanotechnology enhanced solar cells prepared on laser-crystallized polycrystalline thin films (<10 μm)*, Solar Energy Materials and Solar Cells 126 (2014) 62-67
- [6] G. Jia, A. Gawlik, J. Plentz, G. Andrä, *Bifacial multicrystalline silicon thin film solar cells*, Solar Energy Materials and Solar Cells 167 (2017) 102-108
- [7] M. Junghanns, J. Plentz, G. Andrä, A. Gawlik, I. Höger, F. Falk, *PEDOT:PSS emitters on multicrystalline silicon thin-film absorbers for hybrid solar cells*, Applied Physics Letters 106 (2015) 083904
- [8] G. Jia, J. Plentz, R.A. Wahyuono, S. Yang, M. Lohe, J. Dellith, A. Dellith, G. Andrä, *Low-cost-large-area graphene layer deposition for transparent conducting electrodes in PV*, Proceedings of the 33rd EUPVSEC, Amsterdam (2017) 1CO.2.1
- [9] M. Vetter, A. Schwuchow, G. Andrä, *Photoluminescence at room temperature of liquid-phase crystallized silicon on glass*, AIP Advances 6, (2016) 125004
- [10] M. Vetter, A. Gawlik, J. Plentz, G. Andrä, *Analysis of carrier lifetime in liquid-phase-crystallized silicon on glass*, Proceedings of the 32nd EUPVSEC, München (2016) 3BO.6.6
- [11] M. Vetter, G. Jia, A. Sanei, A. Gawlik, J. Plentz, G. Andrä, *Evaluation of light trapping structures for liquid-phase crystallized silicon on glass (LPCSG)*, Physica Status Solidi A 214 (2017) 1600859