

# Alternative Fensterstruktur für Chalkopyrit-Dünnschicht- solarzellen

A. Grimm  
alexander.grimm@hmi.de

R. Klenk  
I. Laueremann  
M. Bär  
M.Ch. Lux-Steiner  
HMI

T. P. Niesen  
S. Visbeck  
Shell Solar GmbH

Der klassische Aufbau einer Chalkopyrit-Dünnschichtsolarzelle besteht neben dem auf einem Substrat aufgebracht Rückkontakt aus einem p-leitenden Absorber und einer n-leitenden Fensterschicht. Für hocheffiziente Bauteile ist zwischen Absorber und Fenster eine weitere zusätzliche Schicht, der so genannte Puffer, notwendig. Üblicherweise ist das eine CdS-Schicht, welche in einem chemischen Bad abgeschieden wird. Nachteile dieser Schicht sind die geringe Transparenz im kurzwelligen Bereich, die Verwendung des Schwermetalls Cadmium und die nasschemische Depositionstechnik, welche die ansonsten trockene „in-line“ Solarzellenpräparation unterbricht. Als eine vielversprechende Alternative zu CdS gilt (Zn,Mg)O [1,2].

Unsere vorangegangenen Arbeiten [3,4] haben gezeigt, dass durch die Modifikation der Doppelschicht-Fensterstruktur (ZnO/n+-ZnO) auf die Pufferschicht prinzipiell verzichtet werden kann. Ersetzt man das undotierte ZnO durch eine (Zn,Mg)O-Schicht, resultiert dies in Solarzellen, die auch ohne Pufferschicht hinsichtlich ihres Wirkungsgrades mit den Standardsolarzellen konkurrieren können. Die verwendeten (Zn,Mg)O-Schichten wurden durch Magnetronspütern im RF-Modus abgeschieden und die Sputterparameter hinsichtlich der Präparation von Solarzellen optimiert. Eingesetzt wurden ZnO/MgO-Mischtargets mit verschiedenen Anteilen von MgO (15 at %, 20 at % und 30 at %, Herstellerangaben).

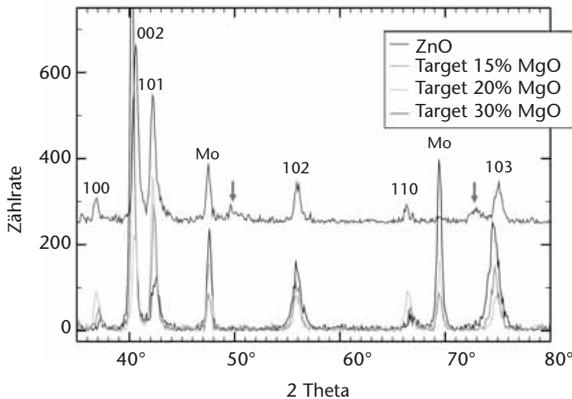


Abbildung 1

Im streifendem Einfall gemessenes  $\text{Co } K_{\alpha}$ -Röntgendiffraktogramm (Einfallswinkel  $1^{\circ}$ ) von ZnO sowie  $(\text{Zn}_{1-x}\text{Mg}_x)\text{O}$  mit  $x = 0, 15; 0,20; 0,30$

Aus den Ergebnissen unserer Untersuchungen an Chalkopyrit-Dünnschichtsolarzellen mit der alternativen  $(\text{Zn},\text{Mg})\text{O}/n\text{-ZnO}$ -Fensterstruktur geht hervor, dass neben der Zusammensetzung und dem Zustand (Kontamination) der Absorberoberfläche auch die Sputterparameter, bei der die  $(\text{Zn},\text{Mg})\text{O}$ -Schichten abgeschieden werden, von wesentlicher Bedeutung für die Eigenschaften resultierender Bauteile sind. Weniger kritisch scheint der Anteil von MgO in einem ZnO/MgO-Mischtarget zu sein. Vergleichende Untersuchungen zeigen für die MgO-Anteile von 15 at%, 20 at% und 30 at% ähnliche Ergebnisse im Schichtaufbau und in den Solarzellenparametern. Berücksichtigt werden muss jedoch, dass der Anteil von MgO in der abgeschiedenen Schicht in der Regel über dem Anteil im Target liegt. Die Folge ist, dass bei steigendem MgO-Anteil die  $(\text{Zn},\text{Mg})\text{O}$ -Schicht nicht mehr einphasig ist (Abb. 1). Hinsichtlich der Reproduzierbarkeit der Abscheidung bzw. der Stabilität des Depositionsprozesses wurde festgestellt, dass sich die Targetoberfläche mit der Zeit zunehmend verändert. Im Detail muss dieses Verhalten und die Auswirkung auf die Funktionalität der Solarzelle noch genauer untersucht werden.

Erste Ergebnisse bzgl. des Einflusses einer gezielten Zugabe von  $O_2$  bzw.  $H_2$  zum Ar-Sputtergas auf die deponierten (Zn,Mg)O-Schichten und die resultierenden Solarzellen zeigen für  $O_2$  eine deutliche Verschlechterung des Wirkungsgrades, während für  $H_2$  eine signifikante Verbesserung eintrat.

Durch die kontinuierliche Optimierung des RF-Sputterprozesses und das gezielte Einpassen der (Zn,Mg)O-Schicht in die neue Fensterstruktur konnten bereits  $Cu(In,Ga)(S,Se)_2$ -Solarzellen mit Wirkungsgraden von bis zu 13.1 % realisiert werden (Referenz mit CdS-Puffer: 14.3 %). Weiterhin ist es uns auch gelungen, Dünnschichtsolarzellen auf der Basis von  $CuInS_2$  mit Wirkungsgraden von 6.3 % zu präparieren (Referenz: 9.3 %). Die Zellflächen betragen  $0,5 \text{ cm}^2$ .

## Literatur

- [1] T. Minemoto, T. Negami, S. Nishiwaki, H. Takakura, Y. Hamakawa, *Thin Solid Films* 372 (2000) 173.
- [2] T. Minemoto, H. Takakura, Y. Hamakawa, Y. Hashimoto, S. Nishiwaki, T. Negami, *Proc. 16th European Photovoltaic Solar Energy Conf., Glasgow, UK, 1-5 May 2000*, H. Scheer, B. McNelis, W. Palz, H. A. Ossenbrink, P. Helm (Eds.), James & James Glasgow (2000) 686.
- [3] R. Klenk, T. Glatzel, A. Grimm, C.-H. Fischer, M. Kirsch, I. Lauer mann, J. Reichardt, H. Steigert, Th. P. Niesen, S. Visbeck, in: *Photovoltaik - Neue Horizonte*, G. Stadermann (Herausgeber), ForschungsVerbund Sonnenenergie (2004) 94.

- [4] Th. Glatzel, H. Steigert, R. Klenk, M.Ch. Lux-Steiner, Technical Digest 14th International Photovoltaic Science and Engineering Conference (PVSEC-14) Bangkok, Thailand, 26.01.2004 - 30.01.2004, p. 707-708, Solar Energy Materials and Solar Cells, in press.