

Die Stabilität von ZnO bei beschleunigter Alterung

Solarmodule auf der Basis von Chalkopyrithalbleitern zeichnen sich aus durch hohen Wirkungsgrad und gute Stabilität. Lichtinduzierte Degradation wird nicht beobachtet. Die Stabilität zeigt sich sowohl bei Langzeitmessungen im Freien als auch in Laborversuchen bei erhöhter Temperatur (dry heat, 85 °C) [1]. Verkapselte Module bestehen auch den Test der künstlichen Alterung bei erhöhter Temperatur und Luftfeuchtigkeit (Damp Heat Test, 85 % Feuchte bei 85 °C) und können gemäß EN/IEC 61646 zertifiziert werden. Bei unverkapselten Modulen beobachtet man dagegen unter diesen Bedingungen eine signifikante Degradation. Ein besseres Verständnis der Degradationsmechanismen könnte dazu beitragen, die Anforderungen an die Verkapselung zu reduzieren. Das bedeutet einen Kostenvorteil bei Standard-Modulen und ist günstig für alternative Anwendungen (z. B. flexible Module ohne Deckglas).

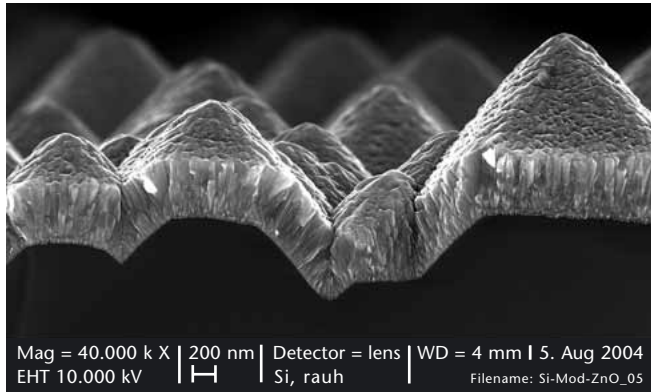
Die Degradation unverkapselter Module lässt sich im Wesentlichen auf die Zunahme des Flächenwiderstandes der ZnO-Schicht zurückführen [2]. Diese führt zu einem höheren Serienwiderstand und damit zu einer Abnahme des Füllfaktors. Die Degradation des ZnO/Molybdän-Kontakts, der für die serielle Verschaltung innerhalb des Moduls (monolithische Integration) benötigt wird, kann eine weitere Ursache für einen höheren Serienwiderstand sein, ist aber nach unseren Messungen ein weniger signifikantes Problem.

Der Mechanismus, der zu einer Abnahme der Leitfähigkeit des ZnO führt, wird im Einzelnen nicht verstanden.

R. Klenk
klenk@hmi.de

M. Linke
H. Angermann
C. Kelch
M. Kirsch
J. Klaer
Ch. Köble
HMI

Abbildung 1
 Polykristalline ZnO-
 Dünnschicht auf
 einer texturgeätzten
 Siliziumscheibe
 (Rasterelektronen-
 mikroskop-Aufnahme).
 Die Mikrostruktur des
 ZnO ist dem Bereich
 gestört, in dem eine
 Pyramide an die näch-
 ste grenzt.



Wir beobachten, dass ZnO-Schichten auf Glas auch im Damp-Heat-Test annähernd stabil sind. Das unterschiedliche Verhalten auf Glas bzw. auf der Solarzelle könnte auf die Diffusion aus den unteren Schichten der Solarzelle in die ZnO-Schicht zurückzuführen sein. Andererseits unterscheidet sich die Mikrostruktur des ZnO auf der rauen Solarzelle deutlich von der auf dem glatten Glassubstrat. Insbesondere scheinen Korngrenzen der Absorberschicht zu Bereichen zu führen, in denen das Wachstum der wesentlich feinkörnigeren ZnO-Schicht gestört ist. Beim Ätzen in verdünnter Salzsäure werden diese Bereiche bevorzugt angegriffen.

Zur besseren Unterscheidung chemischer und struktureller Effekte wurden ZnO-Schichten auf glatte und raue (texturgeätzte) Siliziumscheiben (*Abb. 1*) abgeschieden und die Leitfähigkeit in Abhängigkeit von der Dauer des Damp-Heat-Tests gemessen. Das Ergebnis (*Abb. 2*) zeigt eindeutig den Einfluss der Substratraugigkeit. Nach Hall-Effekt-Messungen nimmt die Beweglichkeit stärker ab als die Dichte der freien Ladungsträger. Messungen der optischen Reflexion (Plasmakante) deuten ebenfalls darauf hin, dass sich die

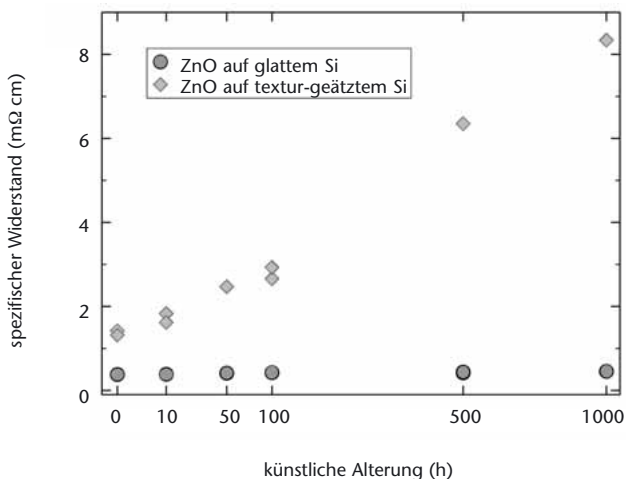


Abbildung 2
Leitfähigkeit von ZnO-
Dünnschichten auf
glattem und rauem
Siliziumsubstrat in
Abhängigkeit von der
Alterungszeit in feuch-
ter Hitze

Ladungsträgerdichte nur wenig verändert und dass außerdem diese geringe Änderung unabhängig vom Substrat ist. Wir schließen daraus, dass die Störung des ZnO-Wachstums nicht nur den Angriff der Feuchtigkeit begünstigt, sondern auch direkt an der Verschlechterung des Stromtransports beteiligt ist. Andererseits sollte die Ausbildung einer Barriere zu einer thermischen Aktivierung der Leitfähigkeit führen, die im Experiment nicht beobachtet wurde.

Zusammenfassend illustrieren die beschriebenen Messungen, dass die Mikrostruktur der ZnO-Schicht die Feuchtstabilität stark beeinflusst. Diese Mikrostruktur wird maßgeblich durch das Substrat bedingt. Zum anderen haben die innerhalb des TCO-Vernetzungsprojekts durchgeführten Experimente gezeigt, dass die Stabilität durch geeignete Depositionsparameter optimiert werden kann [3]. Zukünftige Arbeiten sollten sich deshalb grundlegend mit dem Wachstum des ZnO im Zusammenspiel von Substrat und Abscheidung befassen. Der Transportmechanismus in degradierten Schichten muss zum besseren Verständnis

weiter untersucht werden. Wir hoffen, dass insbesondere die Sondenmikroskopie [4] dazu beitragen kann, die elektronischen Eigenschaften der gestörten Bereiche besser zu charakterisieren.

Literatur

- [1] R. Scheer, R. Klenk, J. Klaer, I. Luck, *Solar Energy* 77 (2004) 777.
- [2] J. Klaer, R. Scheer, R. Klenk, A. Boden, Ch. Köble, *Proc. 19th European Photovoltaic Solar Energy Conf.*, Paris, France, 7-11 June 2004, W. Hoffman, J.-L. Bal, H. Ossenbrink, W. Palz, P. Helm (Eds.), WIP-Munich and ETA-Florence (2004) 1847.
- [3] R. Menner, M. Powalla, in diesem Band.
- [4] S. Sadewasser, Th. Glatzel, S. Schuler, S. Nishiwaki, R. Kaigawa, M.Ch. Lux-Steiner, *Thin Solid Films* 431 - 432 (2003) 257.