



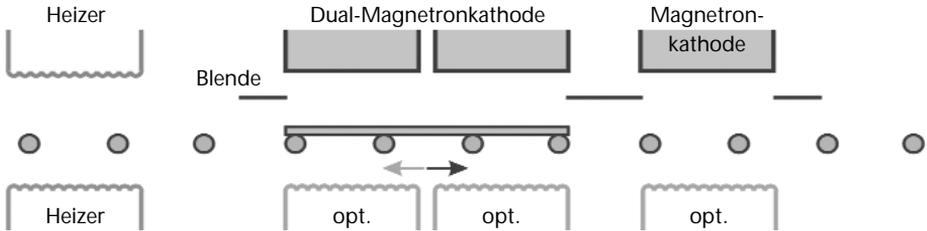
Charakterisierung und Stabilitätsverhalten von DC gesputterten ZnO:Al₂O₃-Schichten für Dünnschichtsolarzellen

Richard Menner,
Mike Oertel,
Dimitrios Hariskos und
Michael Powalla
ZSW
menner@zsw-bw.de

Aluminium-dotiertes Zinkoxid (ZAO) wird seit Jahren erfolgreich als transparent leitfähiger Kontakt (TCO) für Solarmodule auf Basis von Cu(In,Ga)Se₂ (CIGS) eingesetzt. Vorteile gegenüber Indium-Zinnoxid (ITO) sind insbesondere hinsichtlich der Anpassung an das CIGS und durch die deutlich niedrigeren Materialkosten zu sehen. Aufgrund seiner guten Texturierbarkeit wird ZAO auch bei a-Si-Modulen eingesetzt.

Für die industrielle Fertigung kommen nur großflächige Sputterverfahren mit DC- oder MF-Anregung zum Einsatz. Am ZSW werden die ZAO-Schichten hauptsächlich mittels DC-Zerstäubung im teil- und vollreaktiven Modus von keramischen ZnO:Al₂O₃- bzw. metallischen Zn:Al-Targets abgeschieden. Die Entwicklung und Optimierung erfolgt in einer Durchlaufsputteranlage mit PK500-Katoden mit 30 cm-Beschichtungsbreite. Zur Regelung des metallischen Reaktivprozesses wird ein Plasmaemissionsmonitor (PEM®) eingesetzt.

Die Untersuchungen erstreckten sich für den teilreaktiven Prozess vom keramischen Target über einen weiten Sputterdruckbereich, bei unterschiedlichen Sauerstoffkonzentrationen und Substrattemperaturen. Schichten von 0,3 und 1 µm Dicke wurden mittels elektrischer (Widerstand, Hall), optischer (Transmission, Reflexion) und struktureller



Methoden (HREM, XRD) charakterisiert. Beste Schichteigenschaften ergeben sich für einen mittleren Sputterdruck von einigen Zehntel Pascal.

Bei der reaktiven Zerstäubung metallischer Targets werden vergleichbare Schichtqualitäten erreicht. Unterschiede zwischen Schichtabscheidung vom keramischen und metallischem Target wurden insbesondere auch mittels statischer Abdrücke auf feststehendes Substrat untersucht, die ortsaufgelöst charakterisiert wurden.

Für den langjährigen Einsatz im Außenbereich ist für die TCOs für Solarzellen eine gute Stabilität gegenüber Feuchte und Hitzeeinflüssen erforderlich. Die ZAO-Schichten werden daher in trockener und feuchter Luft Hitzeprüfungen unterworfen, die über einige Tage zu deutlichen Widerstandserhöhungen führen können. Ergebnisse von ZAO-Stabilitätstests werden präsentiert und hinsichtlich des Einflusses des Substrates, Glas oder CIGS-Modulstruktur, diskutiert.

Abbildung 1
 Schematische Darstellung der Beschichtungsmöglichkeiten in der ZSW-Durchlaufspalteranlage. Heizung der Paletten erfolgt von oben und unten in der Schleusenkammer (links) und optional in der Beschichtungssektion. Die PK500-Katoden können paarweise im Dualmagnetron-Modus betrieben werden.

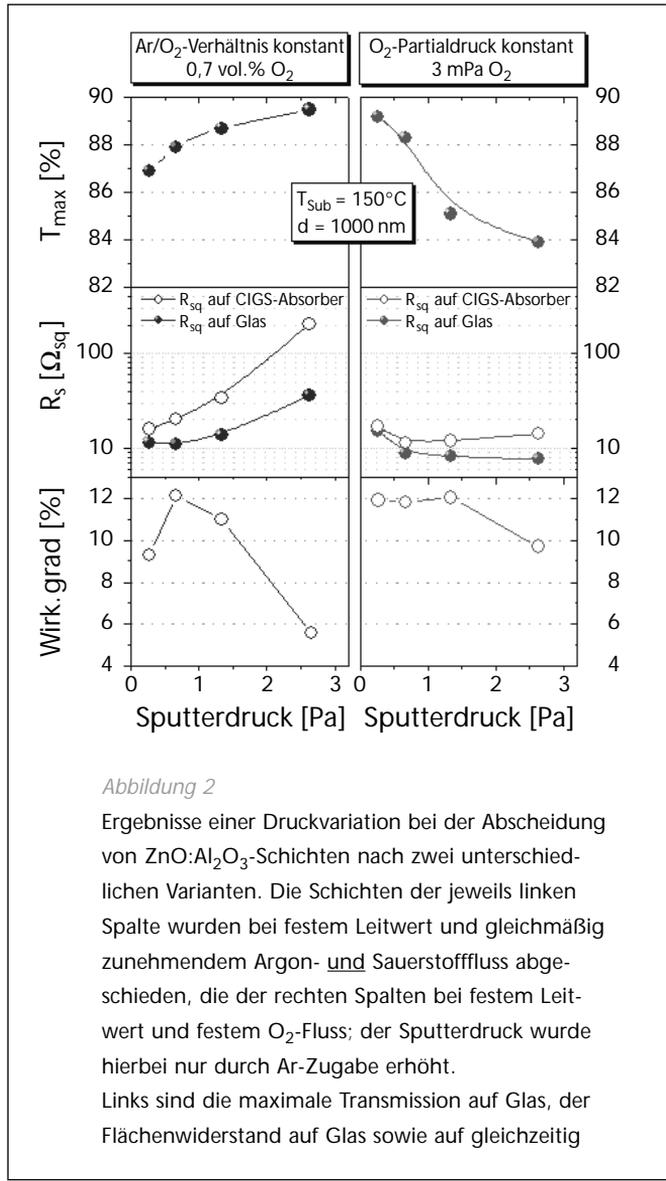
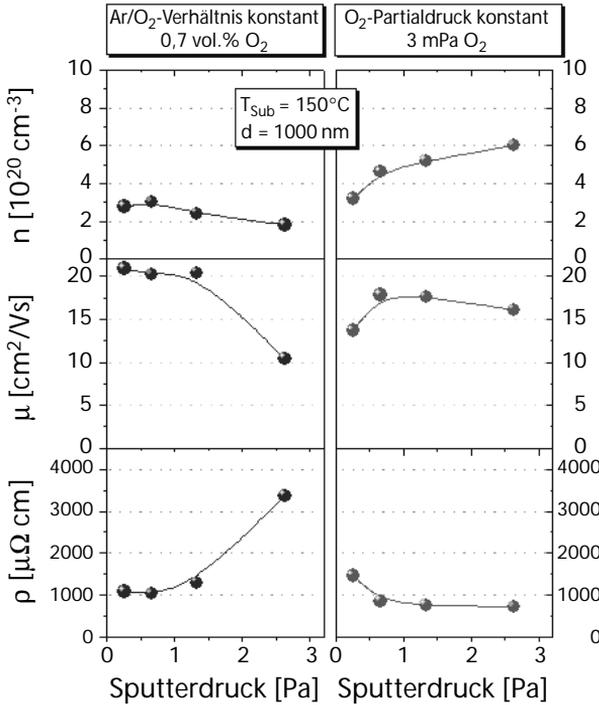


Abbildung 2

Ergebnisse einer Druckvariation bei der Abscheidung von $\text{ZnO:Al}_2\text{O}_3$ -Schichten nach zwei unterschiedlichen Varianten. Die Schichten der jeweils linken Spalte wurden bei festem Leitwert und gleichmäßig zunehmendem Argon- und Sauerstofffluss abgeschieden, die der rechten Spalten bei festem Leitwert und festem O_2 -Fluss; der Sputterdruck wurde hierbei nur durch Ar-Zugabe erhöht. Links sind die maximale Transmission auf Glas, der Flächenwiderstand auf Glas sowie auf gleichzeitig

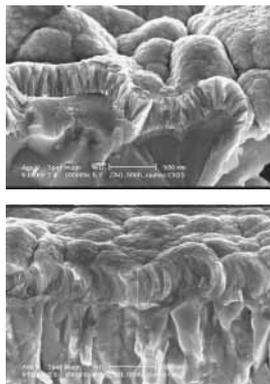
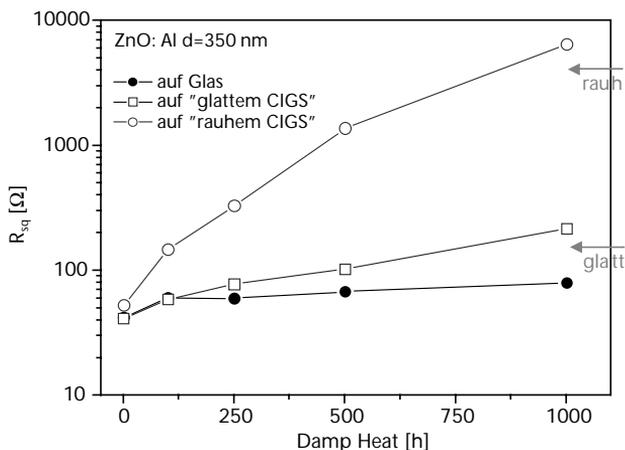


beschichteten CIGS-Testmodulen und der Wirkungsgrad dieser Testmodule dargestellt. Die rechte Bildhälfte zeigt (von unten nach oben) die Abhängigkeit der elektrischen Kenngrößen wie spezifischer Widerstand, Beweglichkeit und Ladungsträgerdichte vom Sputterdruck. Diese Daten wurden mittels Hallmessungen an den ZAO-Schichten auf Glassubstrat bestimmt. Es zeigt sich ein gänzlich unterschiedliches Verhalten mit dem Sputterdruck, verursacht durch die unterschiedlich hohen O₂-Partialdrücke.

Tabelle 1

Zusammenstellung der wichtigsten Parameter der ZSW-Durchlauf-sputteranlage

Leybold PK500	488 mm x 88 mm (430 cm ²)
ZnO:Al ₂ O ₃	~2wt. %, >3N Reinheit, hohe Dichte
Zn:Al	~2wt. %, >3N5 Reinheit
Target-Substrat	45 mm (40 .. 55 mm)
Anregung	DC: <5 kW, d.h. <12 W/cm ² sehr gute Arc-Unterdrückung
Arbeitsdruck	0,25 .. 2,7 Pa
T _{sub}	RT bis 150 °C (.. 400 °C)
dynamischer Modus	<0,2 m/min



ZAO
CIGS

Abbildung 3

Untersuchung des Stabilitätsverhaltens von ZAO auf unterschiedlich rauhen CIGS-Testsubstraten im Damp-Heat-Test (1000 h bei 85 °C und 85 % rel. Feuchte).

Die ZAO-Flächenwiderstände wurden auf den Testmodulen gemessen. Rauere Absorberoberflächen (oberes REM-Bild) führen aufgrund von Spalten innerhalb der ZAO-Schicht zu deutlich stärkerer Leitfähigkeitsdegradation.