

Sputtern von aluminium dotierten Zinkoxid -Schichten mit dem Rotatable-Magnetron

Einleitung

M. Dimer
dimer.martin@
vonardenne.biz

A. Köhler
J. Strümpfel
VON ARDENNE
Anlagentechnik GmbH

Transparentes und leitfähiges ZnO:Al (ZAO) wird als Elektrodenschicht in Dünnschichtsolarzellen auf der Basis von amorphen Silizium oder Cu(In,Ga)Se₂ (CIS) eingesetzt. In der Produktion hat sich das Sputtern von ZnO:Al von planaren Magnetrons, ausgestattet mit keramischen Targets, durchgesetzt. Dieser Prozess zeichnet sich durch eine einfache Prozessführung und eine sehr gute Langzeitstabilität aus. Die Targetkosten sind jedoch relativ hoch und bestimmen, in Verbindung mit den erforderlichen relativ dicken ZnO:Al-Schichten (ca. 1 µm), wesentlich die Materialkosten der Solarzellen.

Die Herstellkosten können durch die Verwendung von metallischen Targets, durch eine längere Standzeit der Magnetrons und der Targets (Materialvorrat) und eine höhere Targetausnutzung gesenkt werden. Das reaktive Sputtern von metallischen Targets verlangt eine schnelle Regelungstechnik und ein optimiertes Gaseinlasssystem für Sauerstoff, um den erforderlichen Arbeitspunkt im instabilen Übergangsbereich, zwischen dem metallischen und oxidischen Mode, festzuhalten. Zur schnellen Messung des Sauerstoffpartialdrucks wird das Plasma Emission Monitoring (PEM®) oder die Lambda-Sonde eingesetzt.

Die höhere Targetausnutzung und die höhere Standzeit der Prozesse kann durch die Rotatable-Magnetron-Technik (C-MAG) realisiert werden. Die einfache Prozessführung ist

auch mit keramischen ZnO:Al-Rohrtargets möglich, die bis vor kurzem noch nicht auf dem Markt erhältlich waren. In dieser Arbeit werden erste Ergebnisse zum Sputtern von leitfähigen und transparenten ZnO:Al-Schichten von keramischen Rohrtargets vorgestellt und mit Schichten, die reaktiv vom metallischen Rohr gesputtert wurden, verglichen.

Reaktives Sputtern von ZnO:Al vom metallischen Rohrtarget

Mit einem Doppel-Rotatable-Magnetron wurden unter Mittelfrequenzanregung ZnO:Al-Schichten vom metallischen ZnAl-Target (2at % Al) auf Glas abgeschieden [1]. Zur Prozessregelung wurde das PEM[®] eingesetzt. Die Substrattemperatur betrug ca. 190 °C. Ziel war es, Schichten mit einer hohen Transmission und einem geringen spezifischen Widerstand herzustellen und herauszuarbeiten, ob die beiden verschiedenen Anregungsarten des Plasmas, Mittelfrequenz oder DC-DC, zu unterschiedlichen Schichteigenschaften führen würden. Die Schichtdicke lag zwischen 600 und 870 nm.

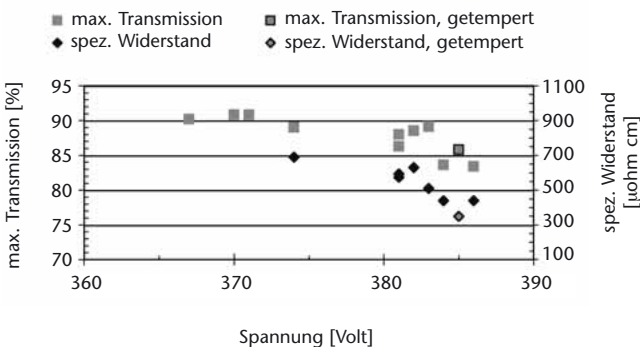
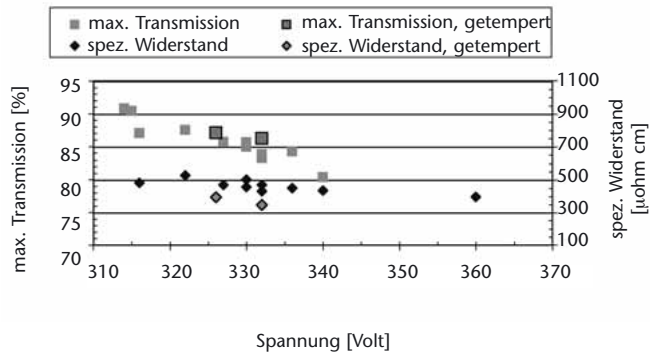


Abbildung 1
MF-gesputterte
Schichten mit dem
Doppel-Rotatable-
Magnetron

Abb. 1 zeigt, dass unter MF-Anregung Schichten mit spezifischen Widerständen unter $500 \mu\text{Ohmcm}$ bei einer maximalen Transmission von mehr als 85 % herstellbar sind. Man erkennt, dass sich solche Schichteigenschaften nur in einem relativ schmalen Prozessfenster von kleiner 10 V (Brennspannung) einstellen. Außerdem führt eine nachträgliche Wärmebehandlung (20 min, max. 270°C) in einem Ofen zu einer weiteren Reduzierung des spezifischen Widerstandes auf $350 \mu\text{Ohmcm}$. Unter DC-DC-Anregung (Abb. 2) sind ZnO:Al-Schichten mit ähnlichen Schichteigenschaften abscheidbar.

Abbildung 2
DC-DC-gesputterte
Schichten mit dem
Doppel-Rotatable-
Magnetron



Ein breiteres Prozessfenster im Vergleich zur MF-Anregung ist nicht erkennbar. Das Prozessfenster liegt auch hier in einem Brennspannungsbereich zwischen 7 und 10V. Das sich die Schichten auch in ihrer Struktur sehr ähneln, zeigen die REM-Aufnahmen in Abb. 3 und die beiden XRD-Aufnahmen in Abb. 4.

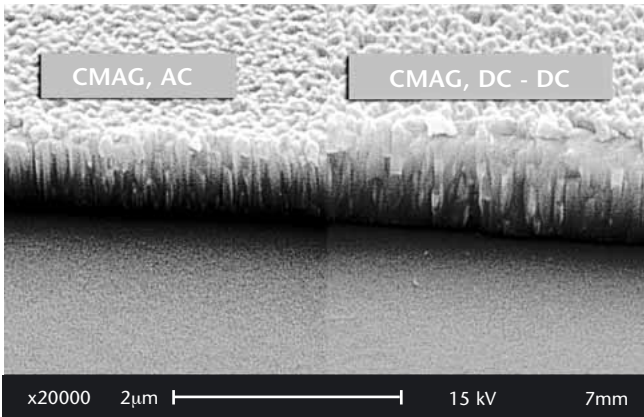


Abbildung 3
REM-Aufnahmen von
Bruchkanten, MF- und
DC-DC-gesputtertes
ZnO:Al

Unter beiden Anregungsarten bilden sich ZnO:Al-Schichten mit einer vergleichbaren stengelartigen Struktur und der bekannten (002)-Textur des hexagonalen Wurzits. Die Anregungsart der Glimmentladung, Mittelfrequenz oder DC-DC, hat damit keinen oder nur einen sehr geringen Einfluss auf die Eigenschaften und die Struktur der Schichten.

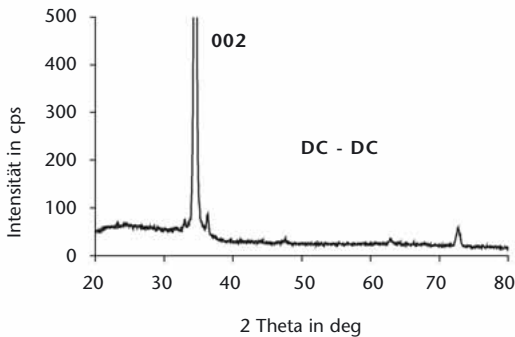
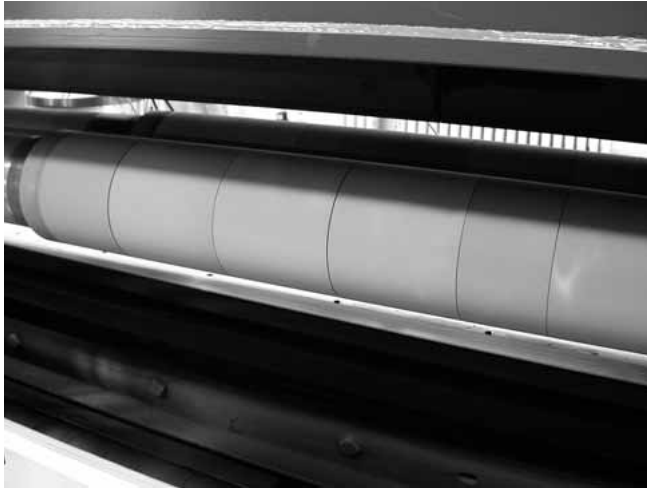


Abbildung 4
XRD-Aufnahmen, links
MF-gesputtertes, rechts
DC-DC-gesputtertes
ZnO:Al

Abbildung 5
Rotatable-Magnetron
mit keramischen
ZnO:Al-Rohrtarget



Sputtern von ZnO:Al vom keramischen Rohrtarget *Abb. 5* zeigt ein keramisches Rohrtarget nach dem Sputtern. Es besteht aus mehreren keramischen Rohrhülsen, die auf dem Trägerrohr befestigt sind. Auf dem Rohrtargetende ist ein bräunlicher Belag erkennbar, der durch Redeposition entstanden ist. Bemerkenswert ist, dass die übrige Fläche des Targets, im Gegensatz zu planaren Targets, keinen Belag aufweist und damit keine abplatzenden Schichten entstehen können, die zu einer Partikelbelastung des Substrates führen würden.

Entscheidend für die Qualität des Rohrtargets ist neben der Materialqualität des ZnO:Al₂O₃ die thermische Ankopplung der keramischen Rohrhülsen auf dem Trägerrohr. Es wurde daher langsam die Targetleistung erhöht und, ohne die Leistungsgrenzen auszuschöpfen, bei einer dynamischen Rate von 75 nm m/min die Schichteigenschaften maximale Transmission und spezifischer Widerstand optimiert. Gesputtert wurde von einer Rohrkathode unter DC-Anregung

bei einer Substrattemperatur von ca. 190 °C. Die Dicke der abgeschiedenen Schichten betrug ca. 750 nm. Die maximale Transmission und der spezifische Widerstand in Abhängigkeit vom Sauerstofffluss ist in *Abb. 6* dargestellt.

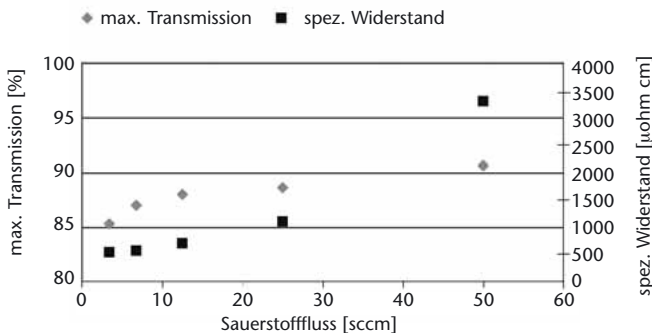


Abbildung 6

Sputtern vom keramischen Rohrtarget, maximale Transmission und spezifischer Widerstand

Sowohl die maximale Transmission als auch der spezifische Widerstand steigen erwartungsgemäß mit zunehmenden Sauerstofffluss. Die Abbildung zeigt, dass Schichten mit einem spezifischen Widerstand von 560 μOhmcm und einer maximalen Transmission von 87% abgeschieden werden können. Damit schließen die Eigenschaften der vom keramischen Target gesputterten Schichten an die Eigenschaften der reaktiv vom metallischen Target gesputterten Schichten an. Weitere Untersuchungen werden zeigen, ob die spezifischen Widerstände von 400...500 μOhmcm , die beim reaktiven Sputtern oder Sputtern vom planaren keramischen Target erzielt werden, auch bei hohen Leistungen erreichbar sein werden.

Danksagung

E. Mirring und B. Kober sei gedankt für die Durchführung der Experimente und Herrn Dr. O. Zywitzki (FhG-FEP, Dresden) für die Durchführung der REM-Messungen. Weiterhin möchten wir uns beim BMBF für die finanzielle Unterstützung bedanken (NMT/03X2503A/B).

Literatur

- [1] F. Milde, M. Dimer, J. Fiukowski, J. Strümpfel; 47st Annual Technical Conference, Proceedings, SVC, 2004.