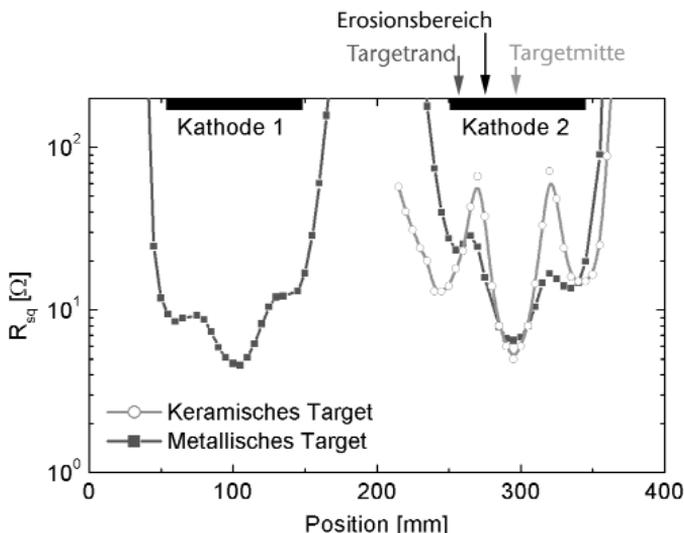


Plasmaanalyse der Sputterdeposition von ZnO: Al-Schichten für CIGS-Solarmodule

D. Herrmann,
 M. Oertel,
 R. Menner,
 M. Powalla
 ZSW
 dirk.herrmann@zsw-bw.de

Al-dotierte ZnO-Schichten werden heute standardmäßig als transparenter, leitfähiger Frontkontakt (TCO) in CIGS (Cu(In,Ga)Se₂) Solarmodulen eingesetzt. Bisher werden diese ZnO-Filme mittels DC bzw. RF Sputtern von keramischen Targets (ZnO:Al₂O₃) hergestellt. Ein großes Kostenreduktionspotenzial wird der reaktiven Abscheidung von ZnO:Al ausgehend von metallischen Al-dotierten Zn-Targets zugesprochen. In den vergangenen Jahren hat die reaktive ZnO:Al-Deposition die Aufmerksamkeit vieler Forschungsgruppen auf sich gezogen (z.B. 1, 2). Viele der Untersuchungen wurden allerdings bei erhöhten Substrat-

Abbildung 2
 Statische Abdrücke des ZnO:Al-Schichtwiderstandes in Abhängigkeit von der Position senkrecht zur Targetachse. Offene Kreise: DC Sputtern vom keramischen Target. Geschlossene Quadrate: Reaktives DC/DC Sputtern vom metallischen Target



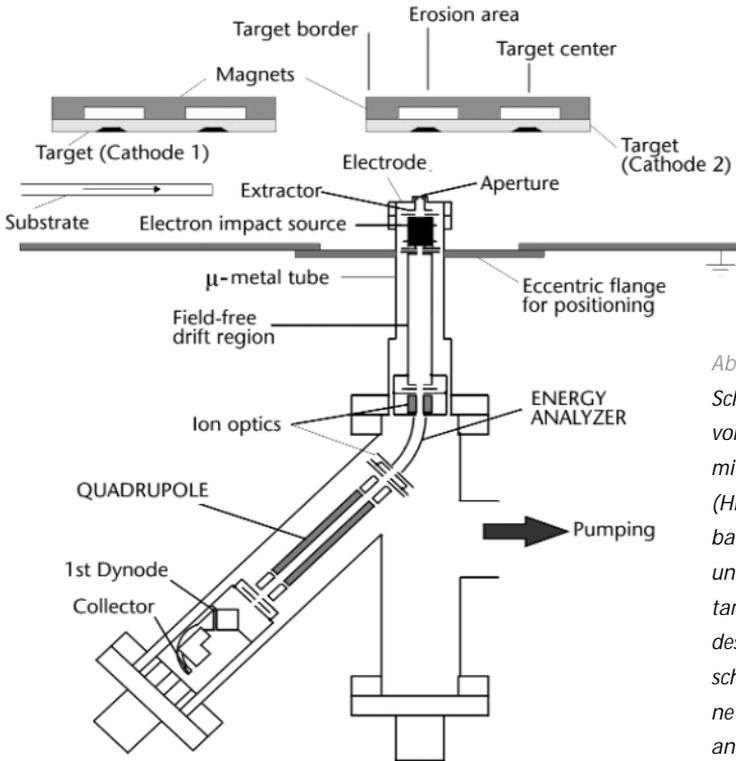
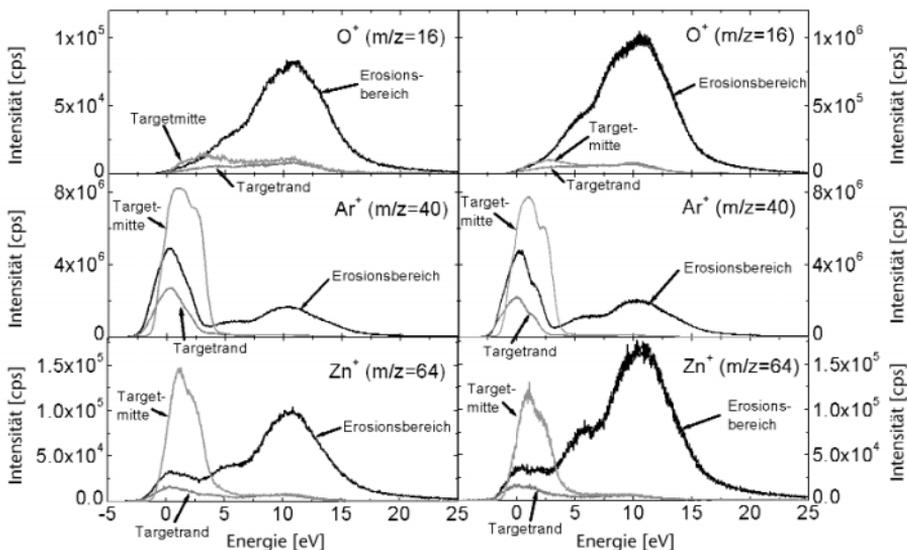


Abbildung 1
 Schematische Darstellung von Massenspektrometer mit Energieanalysator (Hiden EQP300) eingebaut in die Sputteranlage unterhalb des Sputtertargets 2. Durch Drehung des exzentrischen Flansches können verschiedene Sputterpositionen analysiert werden.
 Sputterparameter: vgl. Abstract von R. Menner¹ (Session III)

temperaturen (bis 400 °C) durchgeführt, die für den CIGS-Heterokontakt nicht tolerierbar sind.

Das ZSW hat zusammen mit industriellen Partnern die mit der großflächigen und CIGS-spezifischen Herstellung von gesputterten ZnO:Al-Schichten einhergehenden Probleme analysiert. Dabei wurde klar, dass bei der Verwendung keramischer Targets die Materialeigenschaften (insbesondere der spezifische Widerstand) stark von der Substratposition unterhalb des Targets abhängen (Abb. 2).



DC Sputtern vom keramischen Target.

Reaktives DC/DC Sputtern vom metallischen Target.

Abbildung 3

Ionenenergieverteilungen (IED) für O^+ ($m/z=16$), Ar^+ ($m/z=40$) und Zn^+ ($m/z=64$).

Die laterale Variation der Schichteigenschaften

(vgl. Abb. 2) ist im Wesentlichen auf den unterschiedlichen Beschuss mit hochenergetischen Teilchen zurückzuführen.

Mit Hilfe eines Plasmaprozessmonitors (EQP300 von HIDEN ANALYTICAL, Abb. 1) und einer Langmuir-Sonde (Smart-Probe von Scientific Systems) wurden die Plasmaeigenschaften orts aufgelöst gemessen. Dies offenbarte, dass die variierenden Schichteigenschaften mit dem unterschiedlichen Beschuss des Substrats mit hochenergetischen Teilchen korreliert werden können (Abb. 3).

Analoge Messungen wurden für die reaktive Sputterabscheidung vom metallischen Target eingesetzt. Dabei wurde klar, dass eine direkte Übertragbarkeit der gewonnenen Erkenntnisse nur bedingt gegeben ist. So zeigte z. B. der statische Abdruck wesentlich geringere Variationen (insbesondere für den spez. Widerstand) als im Fall des keramischen Sputterprozesses (Abb. 2). Eine direkte Korrelation mit Ver-

änderungen im Teilchenbeschluss des Substrats konnte nicht gefunden werden (*Abb. 3*). Allerdings war es möglich, weitere Unterschiede zwischen den beiden Sputterarten zu identifizieren. So war für die reaktive Abscheidung von ZnO:Al-Schichten mit vergleichbarer Schichtqualität vom metallischen Target ein mehr als 10 mal größeres Angebot an kationischem Sauerstoff notwendig im Vergleich zum keramischen Target (keine Abb.).

Auch die Morphologie offenbarte klare Unterschiede: Während bei der reaktiven Sputterdeposition vom metallischen Target die morphologischen Unterschiede innerhalb einer Schicht gering waren, zeigten ZnO:Al-Schichten vom keramischen Target eine feinkristalline Struktur unter der Targetmitte und dem Targetrand, aber einen grobkristallinen Bereich unter dem Erosionsbereich des Targets (keine Abb.). Dies deutet auf Unterschiede im Schichtwachstum zwischen beiden Sputterarten hin, welche die Unterschiede in der Variation der Schichteigenschaften (*Abb. 2*) erklären können.

¹ Menner R., May C., Strümpfel J., Oertel M., Powalla M., Sprecher B.: Comparison of DC and MF Sputtered TCO Films from Metallic Zn:Al Alloy Targets, 17th European Photovoltaic Solar Energy Conference, München, 2001, 1047

² Szyszka B.: Transparente und leitfähige Oxidschichten, Vakuum in Forschung und Praxis, Nr. 1, 2001, 38-45