

Bestimmung der Dichte und des Verunreinigungsgehaltes von ZnO:Al-Schichten mittels elastischer Vorwärtsstreuung (ERD)

W. Bohne, K. Ellmer,
O. Kluth¹, S. Lindner,
R. Menner², K. Orgassa³,
J. Röhrich, E. Strub
HMI, Abt. Solare Energetik,
Abt. Struktur u. Dynamik,
ellmer@hmi.de

¹ Forschungszentrum Jülich,
(IPV)

² ZSW

³ Universität Stuttgart,
Institut für Physikalische
Elektronik

Die Dichte dünner Schichten weicht in der Regel von der Dichte des entsprechenden Volumenmaterials ab [1]. Der Zusammenhang zwischen der Dichte und der Morphologie von Metallschichten und den Abscheidebedingungen beim Magnetronspütern wurde bereits vor 25 Jahren von Thornton beschrieben [2]. Für Verbindungen wie ZnO oder andere TCO-Schichten wurde die Abhängigkeit der Dichte von den Sputterbedingungen bisher nur wenig untersucht. In der vorliegenden Arbeit wird die Methode der elastischen Vorwärtsstreuung (ERD – Elastic Recoil Detection) [3] mit einer Dickenmessung kombiniert, um die Dichte von verschiedenen hergestellten ZnO:Al-Schichten zu bestimmen. Die ionometrische Methode der elastischen Vorwärtsstreuung erlaubt, ebenso wie die Rutherford-Rückstremethode (RBS), die standardfreie Bestimmung der Atomzahlflächendichte dünner Schichten. Zusätzlich erhält man mittels ERD mit hoher Nachweisempfindlichkeit ($> 10^{-5}$) auch die Konzentrationen von Verunreinigungen, wie z. B. H, C, N und Ar. Durch Kombination mit einer absoluten Dickenmessung (Profilometer) lässt sich aus beiden Messungen eine dicken-gemittelte Dichte der ZnO:Al-Schichten berechnen.

Die ZnO:Al-Schichten wurden auf Si-Scheiben (p-leitend, $10 \Omega\text{cm}$) von keramischen Targets mittels RF- oder DC-Plasmaanregung abgeschieden. Variiert wurden neben der Anregungsart die Schichtdicke und insbesondere der

Abscheidedruck (0.2–6.5 Pa). Die ERD-Messungen erfolgten mit 230 MeV Xe-Ionen, die unter einem Winkel von 30° auf die Schichtoberfläche treffen. Die vorwärtsgestreuten Schichtatome werden unter einem Streuwinkel von 60° hinsichtlich Geschwindigkeit und Energie analysiert.

Die gemessenen mittleren Dichten der ZnO:Al-Schichten zeigen die Tendenz mit höherem Sputterdruck abzunehmen. Das ist auf die reduzierte Teilchenenergie durch Thermalisierung im Sputtergas Argon zurückzuführen, die eine geringere Oberflächenbeweglichkeit der Adatome zur Folge hat. Die Abnahme der Dichte liegt im Bereich von 10–20%, verglichen mit der Dichte von einkristallinem ZnO. Der Fehler der Dichtebestimmung ist relativ hoch (5 %).

Der Argongehalt der Schichten nimmt ebenfalls mit zunehmendem Sputterdruck ab, was erklärt werden kann durch die abnehmenden Teilchenenergien, insbesondere von reflektierten Ar-Atomen vom ZnO:Al-Target. Der absolute Ar-Gehalt der Schichten liegt im Bereich von 0,1 bis 1,5 At %. Hierbei fällt auf, dass in einer der Beschichtungsanlagen die RF-Anregung zu deutlich höherem Ar-Einbau (Faktor 3) bei niedrigem Sputterdruck führt. Möglicherweise spielt die Sputterquellenkonstruktion eine Rolle für die maximal auftretenden Teilchenenergien.

Auffällig ist ein relativ hoher Anteil von Wasserstoff bis zu 2,5 At % in Schichten, die bei gedrosselter Sauggeschwindigkeit des Pumpsystems hergestellt wurden. Mit zunehmendem Sputterdruck steigt der H-Gehalt drastisch an, was sich auch in den stark erhöhten spezifischen Widerständen dieser Schichten bemerkbar macht, wobei hierzu sicher auch die Morphologie der Schichten, d.h. die geringere Dichte, beiträgt. Der Kohlenstoffgehalt dieser Schichten



(<0,15 At %) zeigt den gleichen Trend wie der H-Gehalt. Der deutlich erhöhte H-Einbau in die Schichten ist offensichtlich bedingt durch den hohen Restgasdruck (hier insbesondere von H₂O und von Kohlenwasserstoffen) in der Beschichtungskammer, wenn die Sauggeschwindigkeit reduziert wird. Die mittels ERD gemessenen Schichtkontaminationen und die Dichten werden mit dem spezifischen Widerstand und der Ätzrate der ZnO:Al-Schichten korreliert.

- [1] J.E. Mahan, *Physical Vapor Deposition of Thin Films*, Wiley, New York, 2000.
- [2] J.A. Thornton, in R. A. Huggins, R. H. Bube, R.W. Roberts (Ed.), *Annual Review of Material Science*, Annual Rev. Inc., Palo Alto, 1977, p. 239.
- [3] W. Bohne, J. Röhrich, G. Röschert, *Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. B* 136-138 (1998) 633.