

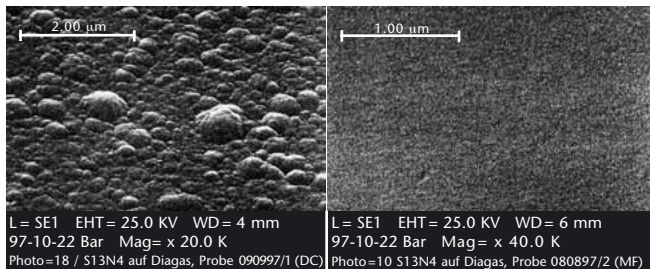
Abscheidung von TCO-Schichten mittels DC-Pulssputtern mit HF-Überlagerung

M. Ruske
 mruske@
 eu.appliedfilms.com

M. Bender
 A. Klöppel
 M. Stowell
 Applied Films

Bei der Abscheidung dielektrischer Schichten mittels Kathodenzerstäubung (Sputtern) kommt es im Fall einer reinen DC-Entladung zu Instabilitäten (Arcing), da sich bestimmte Targetbereiche aufladen. Dies war die ursprüngliche Motivation für die Entwicklung des Pulssputterns bzw. des Mittel-frequenz(MF)-Sputterns. Hierbei werden Oberflächenladungen durch Anlegen eines positiven Pulses auf die Kathode periodisch neutralisiert. Oftmals konnte gezeigt werden, dass die Pulsanregung des Plasmas die Eigenschaften der abgeschiedenen Schichten beeinflusst. Typisch sind höhere Dichten und glattere Oberflächen, anhand eines repräsentativen Beispiels einer Si_3N_4 -Schicht in *Abb. 1* gezeigt.

Abbildung 1
 REM-Aufnahme der Oberfläche einer Si_3N_4 -Schicht, abgeschieden mittels DC-Sputtern (links) sowie MF-Sputtern , 40 kHz (rechts)



Ursache für die z. T. stark unterschiedlichen Schichteigenschaften ist vermutlich ein stärkerer Teilchenbeschuss des Substrats während des Schichtwachstums im Fall des Puls- und MF-Sputterns. Im Fall der reaktiven Abscheidung von $\text{ZnO}:\text{Al}$ konnten höhere Ionenströme und -energien für die AC (alternating current) -Entladung nachgewiesen werden [1].

Zur Erklärung höherer Ionenenergien im Fall von Puls- oder AC-Anregungen muss das Plasmapotenzial betrachtet werden. Das Plasmapotenzial ist aufgrund der hohen Elektronenmobilität das positivste Potenzial im System. Durch periodisches Anlegen eines positiven Pulses an die Kathode wird auch das gesamte Plasmapotenzial auf einen darüber liegenden Wert angehoben. Dadurch können hohe Potentialdifferenzen zwischen dem Plasma und einem Substrat entstehen, so dass es zu einem hochenergetischen Ionenbombardement desselben kommen kann.

Nicht immer ist der Einfluss eines Teilchenbeschusses auf das Substrat erwünscht. In [2] wurden für höhere Pulsfrequenzen höhere Teilchenenergien bis 500 eV abgeschätzt; parallel konnte nach einer anfänglichen Abnahme der Oberflächenrauigkeit der abgeschiedenen Schicht eine Zunahme derselben ab einer bestimmten Anregungsfrequenz nachgewiesen werden. Zu hohe Ionenenergien verhindern das Aufwachsen glatter Schichten.

Außer (positiv geladener) Ionenströme ist das Substrat auch vom Target reflektierter Neutralteilchen sowie negativ geladener Sauerstoff-Ionen hoher Energie ausgesetzt, deren

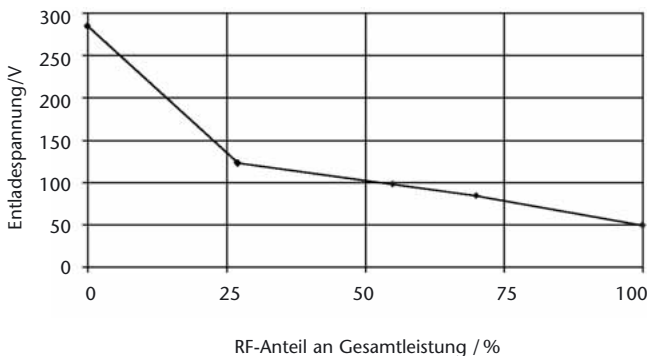


Abbildung 2

Entladespannung als Funktion des prozentualen Anteils der eingespeisten HF-Leistung an der Gesamtleistung (1 kW); Druck: 0.2 Pa; Target: ITO

Energie von der Entladespannung bzw. der Potenzialdifferenz im Kathodenfall bestimmt wird. Maßnahmen, die zu einer Reduzierung der Entladespannung führen, reduzieren die Energie dieser Teilchenspezies. Die Spannung kann durch Erhöhung des Drucks, durch stärkere Magnete in der Magnetronkathode, oder durch ein Überlagern der DC-Spannung mit Hochfrequenz (HF, 13.56 MHz) reduziert werden. In *Abb. 2* ist der Einfluss des prozentualen Anteils der HF-Leistung auf die Entladespannung gezeigt. Im gezeigten Beispiel gelang es, bei einer Substrattemperatur von 200 °C den spezifischen Widerstand der auf Glas abgeschiedenen ITO-Schichten von 350 $\mu\Omega\text{cm}$ (reine DC-Entladung) auf ca. 150 $\mu\Omega\text{cm}$ (50 % HF-Anteil) abzusenken.

Parallel zur Reduzierung des Kathodenpotenzials und der damit zusammenhängenden Energie reflektierter Neutralteilchen sowie negativer Sauerstoff-Ionen konnten für HF-überlagerte DC-Entladungen positiv geladene Ionen im moderaten Energiebereich (bis ca. 50 eV) nachgewiesen werden [3]. Dort wird auch der positive Einfluss der HF-Überlagerung auf die Kristallinität der abgeschiedenen ITO-Schichten gezeigt.

Die Vorteile der HF-Überlagerung einer DC-Entladung sind:

- Niedrige Entladespannung - keine hochenergetischen Neutralteilchen und Sauerstoff-Ionen
- Wirtschaftliche Beschichtungsraten durch DC-Anteil
- Ionenbombardement des Substrats; moderater Energiebereich
- Verbesserte elektrische Schichteigenschaften insbesondere bei niedrigen Temperaturen

Hiervon ausgehend kann man eine weitere Verbesserung der spezifischen Widerstände von ITO-Schichten erreichen, indem man die Vorteile einer HF-überlagerten DC-Entladung und des Pulssputterns kombiniert. Anstatt eine reine DC-Entladung mit HF zu überlagern, tut man dies mit einer gepulsten DC-Entladung. Im Oszillogramm von *Abb. 3* erkennt man oben die Signalform von gepulster DC (hier ca. 40 kHz) mit HF-Überlagerung (13.56 MHz); darunter ist der reine Puls-DC-Anteil an der Kathode gezeigt, der über einen Tiefpass ausgekoppelt wurde.

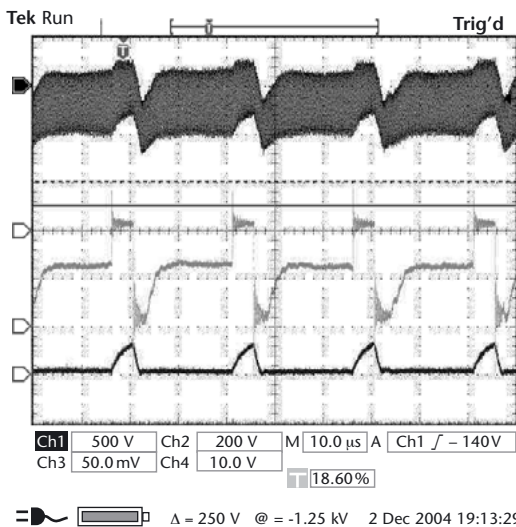
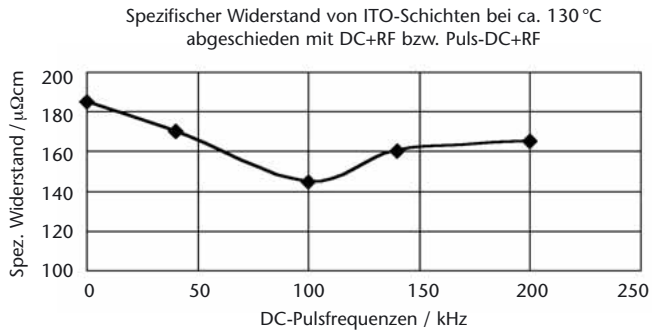


Abbildung 3
Oszillogramm einer Puls-DC-Entladung mit HF-Überlagerung (Signal 1 - oben), sowie des ausgekoppelten Puls-DC-Anteils (Signal 2 - Mitte)

Ähnlich wie bei einer reinen Puls-DC-Entladung können über die Pulsfrequenz und -form Ionenenergien beeinflusst werden. Der Einfluss der Pulsfrequenz bei einer HF-überlagerten Puls-DC-Entladung auf den spezifischen Widerstand von ITO-Schichten ist in *Abb. 4* gezeigt. Bei Frequenzen bis

ca. 100 kHz erkennt man eine Verbesserung des Widerstands, wahrscheinlich durch erhöhten Ionenbeschuss des Substrats verursacht. Doch ähnlich wie in [2] gezeigt, scheint es auch hier ein Optimum für das Schichtwachstum zu geben, oberhalb dessen die Ionenenergien zu hoch werden und wieder eine Erhöhung des Schichtwiderstands eintritt.

Abbildung 4
Spezifischer Widerstand von ITO-Schichten in Abhängigkeit der Pulsfrequenz bei einer HF-überlagerten Puls-DC-Entladung bei 130 °C Substrattemperatur



Zusätzlich zu den Vorteilen einer HF-überlagerten DC-Entladung bietet das HF-Überlagern einer Puls-DC-Entladung die zusätzliche Möglichkeit, Ionenenergien über die Pulsparameter zu steuern. Hierdurch erreicht man niedrigste ITO-Schichtwiderstände auch bei niedrigen Substrattemperaturen. Dies ist besonders bei der Beschichtung von temperaturempfindlichen Materialien entscheidend.

Literatur

- [1] S. Jäger, B. Szyszka, J. Szczyrbowski, G. Bräuer:
Surface and Coating Technology 98 (1998) 1304-1314.
- [2] Bäcker et al.: Vacuum Technology & Coating,
Nov. 2003.
- [3] M. Bender, A. Klöppel, U. Hoffmann:
Tagungsband FVS TCO-Workshop II, 2002.