

Prozesstechnologien für die großflächige Abscheidung von ITO-Schichten bei niedrigen Temperaturen

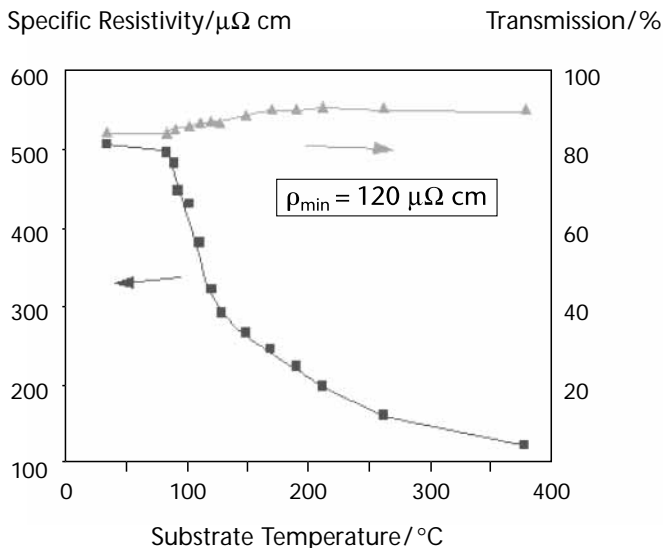
1. Einleitung

Für die Beschichtung von organischen Materialien oder Substraten mit ITO sind spezielle Sputterprozesse notwendig. Organische Materialien sind im Vergleich zu Glas oder Silizium im allgemeinen thermisch oder mechanisch nur gering belastbar, sie zeichnen sich überdies durch die Neigung zu starkem Ausgasen im Vakuum aus und weisen große thermische Ausdehnungskoeffizienten auf. ITO dagegen dehnt sich bei Erwärmung wesentlich geringer aus. Weiterhin sind Widerstand und Transmission stark temperaturabhängig (s. Abb. 1). Aus diesem Grund wird bei der Herstellung von ITO-Schichten in der Regel eine hohe Substrattemperatur gewählt.

Aus diesen konträren Eigenschaften von Film und Substrat resultieren mehrere Probleme beim Beschichten von organischen Substraten, wie großer Filmstress, dadurch resultierend das Entstehen von Rissen im Film sowie die Verschlechterung der Filmeigenschaften durch Ausgasen der organischen Materialien und somit Kontamination. Um diesen Problemen entgegenzuwirken, müssen die Abscheideparameter, insbesondere die Substrattemperatur exakt kontrolliert werden. Bei Applied Films wurden mehrere Prozessführungen entwickelt, die ein Beschichten von organischen Materialien mit hochwertigen transparenten und leitfähigen ITO-Schichten ermöglichen. Diese Prozessführungen sollen im Folgenden kurz vorgestellt werden.

M. Bender,
A. Klöppel,
U. Hoffmann
Applied Films GmbH & Co.
KG, Siemensstr. 100,
63755 Alzenau
Mbender@
eu.appliedfilms.com

Abbildung 1
Spezifischer Widerstand
und Transmission von
ITO-Schichten auf Glas in
Abhängigkeit von der
Substrattemperatur wäh-
rend der Beschichtung.



2.1 Seedlayer

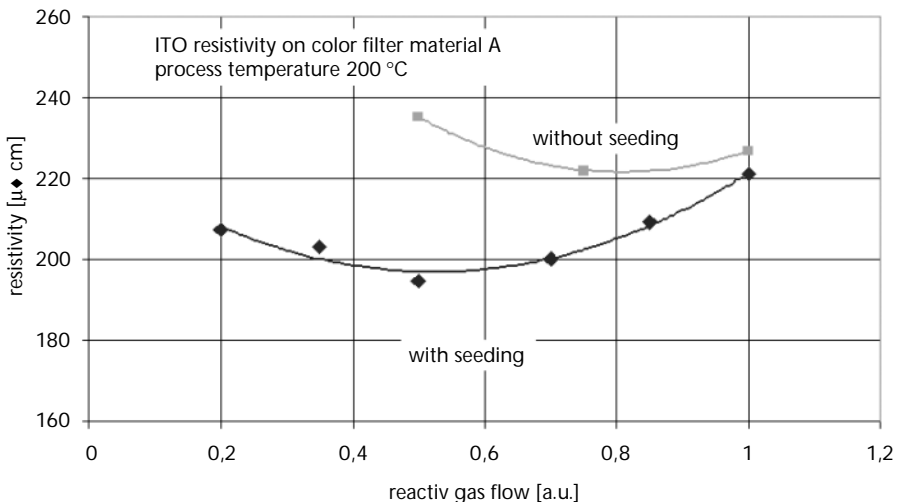
Bei der Seedlayer Prozessführung wird eine ITO-Schicht in zwei Schritten nacheinander abgeschieden. Zunächst wird eine dünne Schicht (ca. 30 nm) bei niedrigen Substrattemperaturn (maximal 100 °C) deponiert, anschließend wird das Substrat weiter aufgeheizt und der zweite Teil des ITO-Films gesputtert. Durch die zweistufige Prozessführung wird zum einen das organische Substrat geschützt, zum anderen wird durch das Abscheiden eines Seedlayers auf dem organischen Substrat bei niedrigen Temperaturen das Ausgasen der Organik signifikant reduziert. Dies führt wiederum zu besseren ITO-Schichteigenschaften, wie in *Abb. 2* zu sehen ist. Im Vergleich zur einstufigen Beschichtung bei 200 °C auf dem gleichen Substrat, bei der ein spezifischer Widerstand von ca. 220 $\mu\Omega$ cm erreicht wird, erhält man mit der Seedlayer-Beschichtung spezifische Widerstände von unter 200 $\mu\Omega$ cm.

Der Nachteil der Seedlayer-Beschichtung ist, dass zur Erreichung niedriger Widerstandswerte dennoch hohe maximale Substrattemperaturen nötig sind. Daher ist diese Prozessführung nur für organische Materialien mit hohen Glasübergangstemperaturen bzw. Schmelzpunkten anwendbar.

2.2 HF-überlagertes DC-Sputtern

Im Gegensatz zu reinen DC-Sputtern kann eine Sputterkathode auch gleichzeitig mit HF-Leistung und DC-Leistung angeregt werden. Dabei wird durch die zusätzliche HF-Anregung die Plasmaanregung vom Katodenfall ins Entladungsvolumen verlagert, die Plasmadichte erhöht und somit die Plasmaimpedanz und die Entladespannung verringert. Weiterhin wird eine Raumladungszone vor dem Substrat aufgebaut, die zu einem erhöhten Strom positiv geladener Ionen auf das Substrat und mithin auf den aufwachsenden Film führt (s. Abb. 3).

Abbildung 2
Spezifische ITO-Schichtwiderstände bei der Colorfilterbeschichtung mit und ohne Seedlayer.



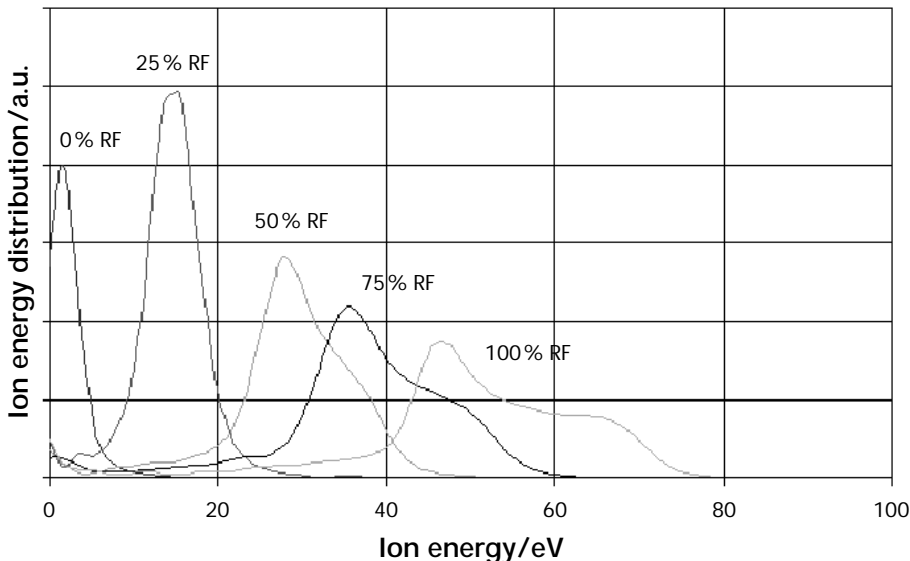


Abbildung 3
Energieverteilung
von auf dem
Substrat auftreff-
enden Ionen beim
HF/DC-Sputtern.

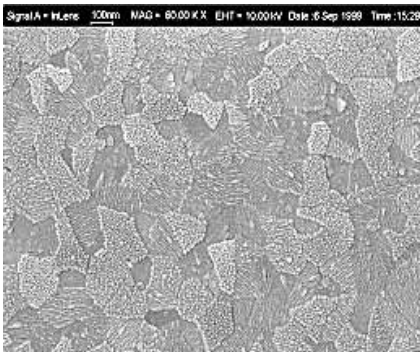
Durch diesen Ionenstrom wird die Kristallinität des aufwachsenden Films und damit auch die elektrische Leitfähigkeit maßgeblich beeinflusst, wie Abb. 4 zeigt. Dadurch ist es möglich, auch bei niedrigen Substrattemperaturen hochwertige ITO-Schichten abzuschleifen. Ein Nachteil des Verfahrens ist die Verringerung der Sputterrate, die linear mit zunehmender HF-Beimischung abnimmt, sowie ein erhöhtes Risiko von unkontrollierten Arcentladungen. Bei reinem HF-Sputtern wird etwa die halbe Sputterrate des reinen DC-Sputterprozesses erreicht, falls die Gesamtleistung an der Kathode gleich bleibt. In der Realität werden gute Schichtqualitäten jedoch bereits bei geringen HF-Beimischungen von 25 % – 33 % erreicht, so dass der Ratenverlust nur theoretisch von Nachteil ist.

2.3 ITO-Metall-ITO (IMI) Dreischichtsysteme

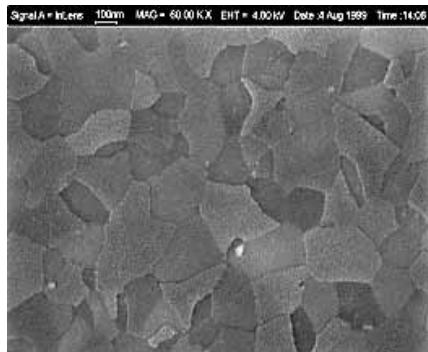
Eine interessante Alternative zu reinen ITO-Schichten ist das Ausweichen auf die in der Architekturglasbeschichtung üblichen Oxid-Metall-Oxid-Schichtsysteme. Wird als Oxid ITO gewählt, so weist das gesamte Schichtpaket auch senkrecht zum Substrat eine hohe Leitfähigkeit auf. Solche Schichtsysteme lassen sich mit guten Eigenschaften bereits bei Raumtemperatur, d. h. ohne zusätzliche Substratheizung, herstellen.

Abbildung 4
Kornstruktur HF/DC-gesputterter ITO-Schichten in Abhängigkeit von der HF-Beimischung (Substrattemperatur: 200°C).

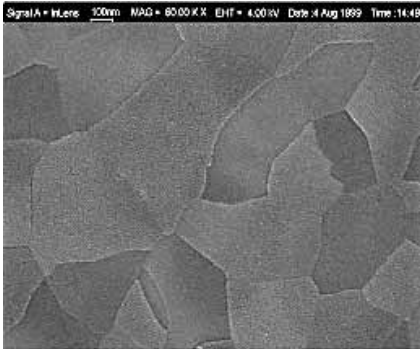
DC



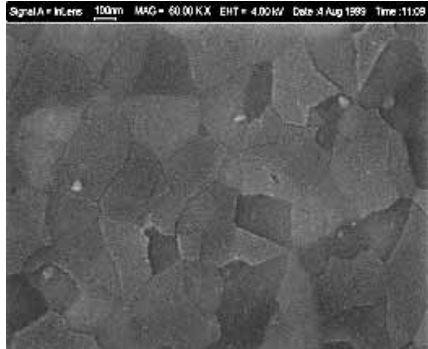
33 % RF



66 % RF



RF



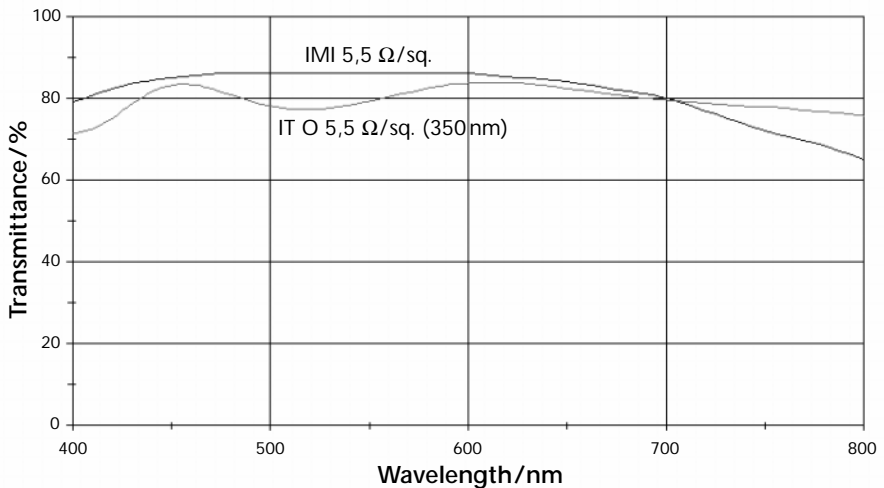


Abbildung 5
Transmission im visuellen Spektralbereich von ITO sowie ITO-Metall-ITO mit 3,5 Ω/sq.

Die Leitfähigkeit lässt sich durch Variation der Metallschichtdicke in weiten Bereichen variieren, für die optische Transmission werden dann die Oxid-Schichtdicken optimiert. Einen Vergleich zwischen einer reinen ITO-Schicht und einem ITO-Metall-ITO-Schichtsystem mit einem Flächenwiderstand von jeweils 5,5Ω/sq. zeigt *Abb. 5*.

Diese Abbildung illustriert auch einen weiteren Vorteil des Dreischichtsystems gegenüber der ITO-Einzelschicht: Die Gesamtschichtdicke und damit der Materialverbrauch – insbesondere von ITO – ist signifikant niedriger. Nachteil der Verwendung von 3-Schichtsystemen ist die schlechte Strukturierbarkeit durch photolithographische Methoden aufgrund von Schwierigkeiten beim Ätzen (unterschiedliche Ätzraten von Metallen und Oxiden).

3. Zusammenfassung

Zur Beschichtung von organischen Materialien wurden verschiedene Prozessführungen vorgestellt. Vor- und Nachteile der Verfahren wurden herausgearbeitet. Transparente, leitfähige Schichten mit niedrigen Widerständen und hoher Transmission lassen sich damit bei Temperaturen bis maximal 200°C auf organischen Substraten oder Materialien abscheiden.