

# 透明導電膜の反射防止膜への応用

The Design of a Multi-layer Anti-Reflection Coating Incorporating a Transparent Electroconductive Film

中野 智史\*  
Nakano, Satoshi

徳弘 節夫\*  
Tokuhira, Setsuo

中村 新吾\*  
Nakamura, Shingo

山本 幸司\*\*  
Yamamoto, Koji

We have developed a multilayer anti-reflection coating on a plastic lens that incorporates a transparent electroconductive film of indium tin oxide deposited by ion plating. This thin anti-reflection coating is designed for low reflectance and high transmittance, while its transparent electroconductive film, with a resistance of only 50  $\Omega$ /cm<sup>2</sup>, successfully provides electromagnetic shielding.

## 1 はじめに

近年電磁波ノイズの様々な影響に対する関心が高まっている。電磁波ノイズの発生や侵入を防ぐためには電子回路を金属の箱で覆ってしまう方法がベストであるが、計測器などの表示部や内部を見る必要がある場合には透明な部分が必要である。透明導電膜は液晶ディスプレイの配線に用いられているように優れた透明性と良好な導電性を有し、レンズなどの光学系にも適用可能である。今回の開発は、この透明導電膜としてITO (Indium Tin Oxide) 膜を用いて

- (1) 電磁波遮蔽性能として90%カット (電界成分)
- (2) 反射率 1.5%以下  
(メガネレンズのマルチコートと同等)

- (3) 透過率 95%以上

という導電性を有する反射防止 (Electroconductive Antireflection ; EAR) 膜をプラスチックレンズで実現することを目標とした。ITO 膜は基板温度が高いほどより透明に近く低抵抗のものが得られやすい性質を持っており、通常基板温度を 200℃以上にして作製される。しかし今回はプラスチックレンズが対象なので、熱による面変形などの弊害を防ぐためには 100℃ くらいに基板温度を押さえることが必要である。低い基板温度でいかに低抵抗と高透過率を実現するかがこの開発課題の大きなポイントである。

## 2 ITO 膜の基本設定と成膜検討

ITO 膜の表面抵抗値 ( $R_s$ ) が低いほど電磁波遮蔽の効果が大きい。事前の調査から、今回の遮蔽レベルを達成するには 50  $\Omega$ /cm<sup>2</sup>以下の  $R_s$  が必要であることがわかった。次に膜厚を反射防止膜の設計を行い試算した。その基本構造は Fig.1 のような3層構造である。ITO 膜は可視域で屈折率  $n=2.1\sim 2.2$  であるのでこれを基本構造の高屈折率層 (H) に用いる。ITO 層の厚さは  $R_s$  のこ

とを考えると厚い程良いが、反射防止膜の一部としても機能しなくてはならないこと、ITO 膜は可視域で吸収を持っていることからむやみには厚くできず、結果としてほぼ膜厚  $d=100\sim 110\text{nm}$  の範囲に決定した。

ITO 膜の吸収量を少なくするには膜の酸化度を上げればよいがあまり酸化度をあげてしまうと  $R_s$  が増加してしまう。基板加熱の効果がほとんど期待できないので、ITO 膜の材料組成や作成中のプラズマ雰囲気をも最適化し、高透過率と低  $R_s$  を両立させることにした。通常 ITO 膜はスパッタ法を用いて作られるが基板温度の上昇防止やレンズへの膜厚均一性を考慮し、今回はイオンプレーティングを用いて成膜を行うことにした (Fig. 2)。蒸発材料としてスパッタターゲット用に作成された ITO 材料を中心に、組成、性状が異なった数種

	屈折率	膜厚
L:低屈折率層	1.47	$\lambda/4$
H:高屈折率層	2.1~2.2	$\lambda/2$
M:中屈折率層	1.65~1.7	$\lambda/4$
基板	1.58	

Fig. 1 Anti-reflection coating

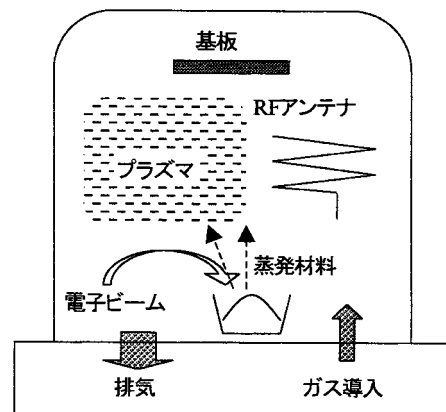


Fig. 2 Ion plating scheme

\* オプトテクノロジーカンパニー 光学開発センター  
\*\* 株式会社甲府コニカ

類を準備し、投入する RF 電源や反応ガス圧を変化させながらサンプルを作製した。その結果、ITO 膜の組成で Sn 含有量が 5% ~ 10% 程度のものが最も低抵抗 ( $R_s < 50 \Omega / \text{cm}^2$ ) で、かつ膜の吸収量も非常に少ないものとなることがわかった (Fig. 3)。

#### 4 反射防止膜の設計と試作

この ITO 膜の屈折率は  $n=2.12$  ( $\lambda=520\text{nm}$ ) であり、この値を元に反射防止膜を再設計した。Fig. 1 の 3 層構造のうち実際には「M」の設計値 (屈折率) に使える膜物質がなく、これを 2 つの物質 ( $\text{ZrTiO}_2$  と  $\text{SiO}_2$ ) の 3 層等価膜で補う構成とし合計 5 層で設計を行った (Table 2)。

サンプル試作はポリカーボネートの平板の上に ITO 層はイオンプレーティング法で、他の層は真空蒸着で成膜した。出来上がったサンプルを評価したところ  $R_s$ 、透過率、反射率はほぼ目標をクリアしていたが、高温高湿下での耐久性チェック時に膜はがれの表面欠陥が発生してしまった。原因としては作製した反射防止膜が強い圧縮応力を持つためと推定された。膜の応力は蒸発した原子・分子が基板に付着し凝縮してできていく過程で発生し、それが成膜後も残留応力として膜の内部に残る。物質によって応力の強さや方向は異なるので、設計の段階で互いに応力をうち消すような物質を選択しておき、さらに成膜の条件を変えて層構成全体で応力を弱める工夫を行うが、この作製したサンプルは予想以上に ITO 膜の応力が強く、他の膜では十分に応力を緩和しきれないため表面欠陥が発生したと推定された。そこで ITO 膜の作製条件を振って応力緩和を試みたが効果が小さいので、ITO 膜より基板側に応力緩和層をもうけることにした。この層は光学的な意味を持たない (すなわち反射防止性能に影響を与えない) 厚みと配置を与え応力を緩和できる構造を持つ膜とした。この EAR 膜を片面に、さらに反対側の面に従来のカメラ用マルチコートをコートし、サンプルとして評価した。基板の吸収と ITO 膜が少し吸収を持っているため透過率が 450nm 以下の波長で低下しているが (Fig. 4)、実用には全く差し支えないレベルである。また、反射率、遮蔽率も目標をクリアし、耐久性にも優れたもののできあがった。

#### 5 まとめ

ITO 膜をイオンプレーティングによりプラスチックレンズ上に 100 の基板温度で成膜する条件を見つけた。またその ITO 膜を反射防止膜の一部として取り込むことにより、低反射・高透過率で電磁波遮蔽効果を有する反射防止膜をプラスチックレンズ上に作製する技術を開発することができた。

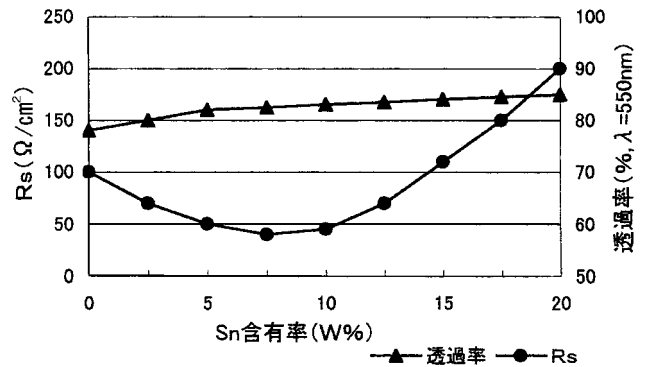


Fig. 3 Sheet resistance and transmittance vs. Sn weight% in indium tin oxide film

Table 1 Design of electroconductive anti-reflection coating

材料	屈折率	膜厚(nm)
$\text{SiO}_2$	1.47	85
ITO	2.12	105
$\text{SiO}_2$	1.47	10
$\text{ZrTiO}_2$	2.05	24
$\text{SiO}_2$	1.47	25
ポリカーボネート	1.58	—

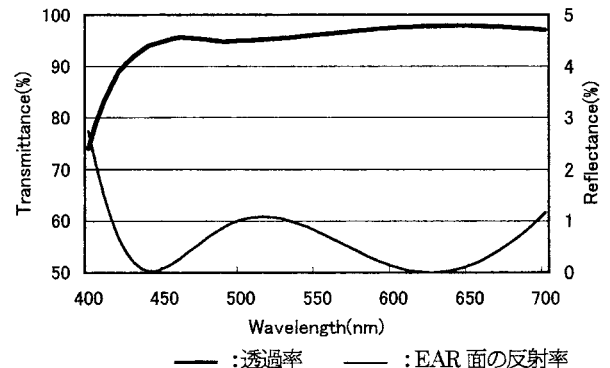


Fig. 4 Transmittance and reflectance of sample

Table 2 Characteristics of electroconductive anti-reflection coating

特性	結果	備考
電磁波遮蔽率	25dB	電界成分 (30MHz)
膜の付着力	剥れなし	100mesh テープテスト
耐擦傷性	異常なし	スチールワールテスト
耐久性	高温高湿	異常なし
試験	高温乾燥	異常なし
		60°C90%RH、1week
		70°Cdry、1week