

透明導電膜に関する調査研究

高橋 幸嗣^{*1)}

Research about the Transparence Conductive Film

TAKAHASHI Koji^{*1)}

透明導電膜には、酸化インジウムスズ (Indium Tin Oxide) をはじめとする透明性と低抵抗という二つの性質を併せ持つ薄膜が用いられている。本研究では、酸化インジウムスズ膜の電気的および光学的特性をはじめとする基礎的な物性について調査した。マグネトロンスパッタ法を用いて 30mm 角のガラス基板上に酸化インジウムスズ膜を成膜し、混合ガス導入量やスパッタバイアス電圧といった種々の成膜条件について検討した結果、シート抵抗値 24 Ω/□、紫外可視光線透過率 78 % の測定結果を得た。また、電気的特性と光学的特性のバランスを評価する性能指数については 57 の値を示し、商業利用で最低限必要な指数 35 を超える結果を得ることが出来た。

1. 緒言

透明導電膜には、酸化インジウムスズ (Indium Tin Oxide : 以下、ITO と記す。) をはじめとする透明性と低抵抗という二つの性質を併せ持つ薄膜が用いられている。

この ITO 膜はスマートフォンのタッチパネルに搭載されている透明電極をはじめとした製品に幅広く利用されており、当センターにおいても、今後の技術動向を見据えた企業支援に対応できるよう、マグネトロンスパッタ法により成膜した ITO 膜の電気的および光学的特性をはじめとする基礎的な物性について調査した。

2. 実験方法

2.1 成膜条件

ITO 膜の成膜には、アンバランスドマグネトロンスパッタリング成膜装置 (㈱神戸製鋼所製 UBMS203 型) を用いた。成膜条件のうち表 1 に示した条件を固定し、表 2 および表 3 に示す混合ガスの導入量条件およびスパッタバイアス電圧条件を変化させてガラス基板上に ITO 膜を成膜した。基板にはアセトンで超音波洗浄した 30 mm 角、厚さ 2 mm のソーダ石灰ガラス板を用いた。

表 1 固定した成膜条件

| | |
|--------|--------|
| 成膜時間 | 30 min |
| スパッタ電力 | 0.1 kW |
| ガス圧力 | 1.0 Pa |
| 基板温度 | 350 °C |

表 2 混合ガスの導入量を変化させた成膜条件

| | |
|---|------------------------|
| 混合ガス導入量 : mL/min ※Ar (95%) + O ₂ (5%) | 0・5・10・15・ 25・50・75 |
| スパッタバイアス電圧 | 1000 V |

表 3 スパッタバイアス電圧を変化させた成膜条件

| | |
|---|------------------------|
| スパッタバイアス電圧 : V | 0・100・250・ 500・1000 |
| 混合ガス導入量 : mL/min ※Ar (95%) + O ₂ (5%) | 15 |

2.2 電気的特性

低抵抗測定装置 (三菱化学アナリテック製ロレスタ GP 型) を用いて、種々の条件で成膜した ITO 膜のシート抵抗を測定した。また、ホール効果測定装置 (㈱東陽テクニカ製 ResiTest8308 型) を用いて、ITO 膜のシート電子密度および電子移動度を測定した。

2.3 光学的特性

紫外可視分光光度計 (㈱日本分光製 V-650 型) を用いて、種々の条件で成膜した ITO 膜の紫外可視光領域における透過率を測定した。

2.4 性能指数

種々の条件で成膜した ITO 膜の電気的および光学的特性のバランス評価を行うために、式 1 に示す性能指数 (FOM) を用いた⁽¹⁾。

$$\text{FOM} = -\alpha(\sqrt{1-\beta}+1)/\beta \quad (1)$$

ただし、 $\alpha=Z_0/2R_S$ 、 $\beta=(T-1)/T$

^{*1)}機械・計測・エネルギーグループ

Z_0 ：真空状態の特性インピーダンス (376.7 Ω)
 R_s ：シート抵抗値 (Ω/\square)
 T ：波長 550 nm での可視光線透過率(%) を 100 で除算

3. 結果および考察

3.1 シート抵抗の測定結果

表 2 に示す条件で成膜した ITO 膜の混合ガス導入量とシート抵抗との関係を図 1 に示す。シート抵抗値は、混合ガス導入量を 15 mL/min とした場合に最も低くなり、51 Ω/\square を示した。これは、ITO 膜を成膜する際、酸素欠損が生じる状況を混合ガスの導入により抑制して化学量論組成に近づき、ITO 膜の結晶性が向上したためである⁽²⁾ と考えられる。今後その要因を詳細に把握するためには、ITO 膜中の酸素量を定量する必要がある。

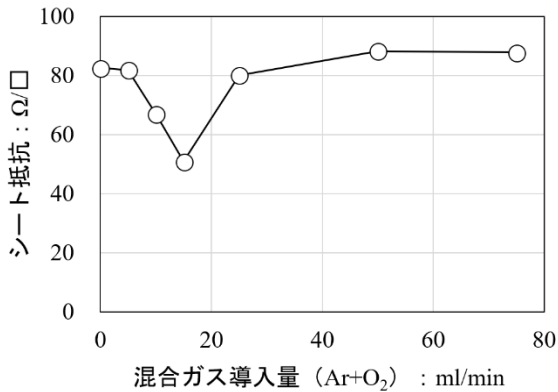


図 1 混合ガス導入量を変化させた際のシート抵抗

混合ガス導入量を 15 mL/min に固定して表 3 に示す条件で成膜した ITO 膜のスパッタバイアス電圧とシート抵抗との関係を図 2 に示す。スパッタバイアス電圧 250 V において、最も低いシート抵抗値 24 Ω/\square を示している。図 1 および図 2 の結果から、所定の混合ガス導入量およびスパッタバイアス電圧に設定することによって、混合ガスを導入せずスパッタバイアス電圧 1000 V の条件で成膜した ITO 膜のシート抵抗値 83 Ω/\square の約 1/3 のシート抵抗値 24 Ω/\square にまで低減させることができた。

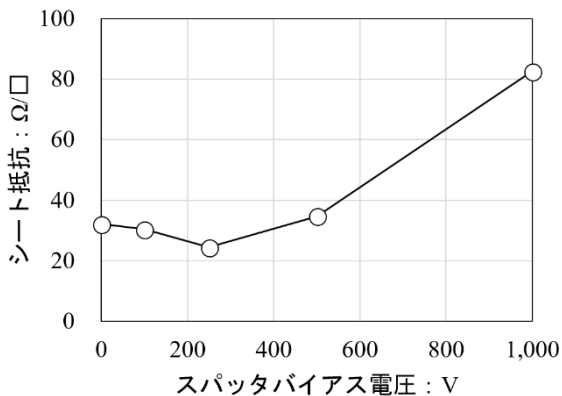


図 2 スパッタバイアス電圧を変化させた際のシート抵抗

3.2 電子密度および電子移動度の測定結果

スパッタバイアス電圧 250 V において最もシート抵抗値が低下した理由について検討するために、シート電子密度および電子移動度を測定した。その結果を図 3 に示す。一般的に電子密度と電子移動度は相反する関係にある⁽³⁾。スパッタバイアス電圧を 250 V とした場合、電子密度の上昇に対し電子移動度の低減が抑制されている。電子移動度の低減が抑制された結果、シート抵抗が低下したと考えられる。

一般的にスパッタバイアス電圧を下げるとガラス基板への ITO 粒子の衝突力を弱めることができるため、ITO 膜の表面平滑性を向上することができる⁽⁴⁾。本研究においても、ITO 膜の表面平滑性の向上が電子移動度の大幅な低減を抑制している可能性がある。

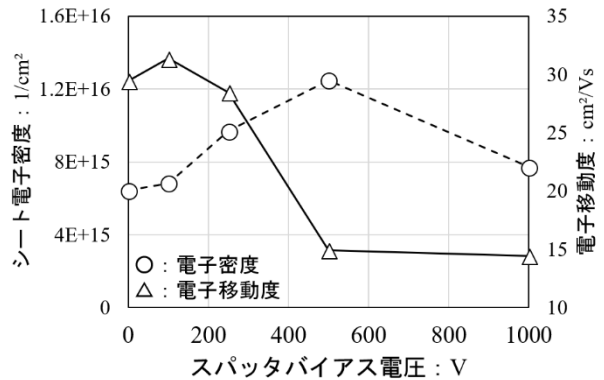


図 3 スパッタバイアス電圧を変化させた際の電子密度および電子移動度

3.3 透過率の測定結果

種々の条件で成膜した ITO 膜のうち、代表的な ITO 膜の紫外可視光領域における透過率の測定結果を図 4 に示す。

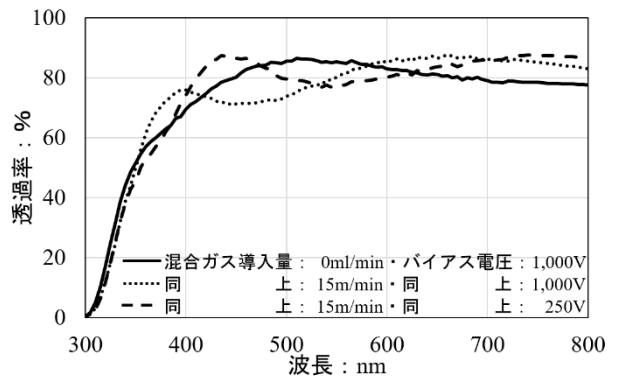


図 4 代表的な ITO 膜の透過率

波長 550 nm における透過率に着目すると、混合ガスを導入せずスパッタバイアス電圧 1000 V の条件で成膜した ITO 膜の透過率は 85 % であるのに対し、最もシート抵抗が低下した成膜条件では透過率は 78 % であり、透過率が 7 % 低下する結果となった。混合ガスを導入すると ITO 膜

の膜厚が増加することから、ITO 膜の膜厚の増加が透過率の低下を引き起こしていると考えられる。なお、紫外光線領域における透過率の低下は、ガラス基板による吸収が原因である。

3.4 性能指数の比較

シート抵抗値および可視光線透過率の値を式 1 に代入して性能指数を算出した。その結果を図 5 に示す。混合ガス導入量を 15 mL/min とし、スパッタバイアス電圧 250V で成膜した ITO 膜の性能指数は 57 となり、商業利用で最低限必要な指数 35 を超える結果を得ることが出来た。

本研究では 30 mm 角のガラス基板による評価としたが、今後は基板を大型化した際でも性能指数を維持できるかどうかについて検証を加えていく必要がある。また、ガス圧力や成膜温度などの因子と特性値との関係についても今後検討が必要である。

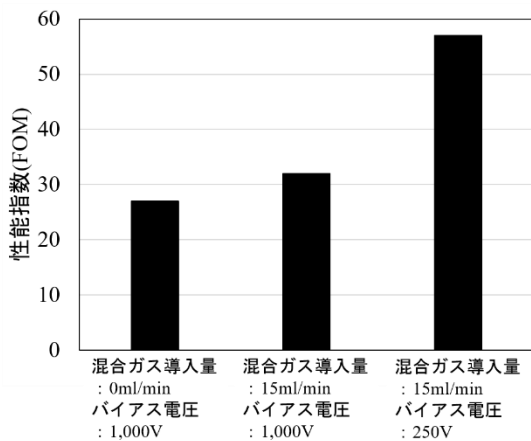


図 5 性能指数の比較

4. 結言

マグネトロンスパッタ法を用いてガラス基板上に種々の

条件で成膜した ITO 膜の電気的および光学的特性に関する基礎的な調査研究を実施した。その主な結果は、次のとおりである。

- (1) 混合ガス導入量を 15 mL/min とし、スパッタバイアス電圧を 250V とした場合、ITO 膜のシート抵抗値は最も低くなり、24 Ω/□を示した。
- (2) 混合ガスを導入せずスパッタバイアス電圧 1000 V で成膜した ITO 膜の波長 550 nm における可視光線透過率は 85 %であるのに対し、最もシート抵抗が低い値を示した成膜条件では可視光透過率は 78 %となった。
- (3) シート抵抗値 24 Ω/□、透過率 78 %を示した ITO 膜に対して性能指数を求めた結果、性能指数 57 と最も良い指数を得ることができた。今後は、基板の大型化による性能指数の維持検証やガス圧力等の成膜因子の影響についても検討する必要がある。

本研究で使用した低抵抗測定装置、紫外可視分光光度計は、公益財団法人 JKA の「機械工業振興補助事業」により導入、設置した。また、アンバランスドマグネトロンスパッタリング成膜装置は、独立行政法人科学技術振興機構の「地域産学官共同研究拠点整備事業」により導入、設置した。



参考文献

- 1) Kehan Yu and Junhong Chen, “グラフェン 透明導電性電極”, フレキシブルおよびプリンタブルエレクトロニクス材料 p.7
- 2) 日本学術振興会 透明酸化物光・電子材料第 166 委員会, “透明導電膜の技術 改訂 3 版”, p.288
- 3) 大谷寿幸・草野英二, “高周波プラズマ支援スパッタリング法によるインジウムスズ酸化物(ITO)薄膜の構造および物性制御”
- 4) 小島啓安, “現場のスパッタリング薄膜 Q&A 第 2 版”, p.339