

# 透明導電膜形成用スパッタリングターゲットの開発

—ITO ターゲットのスパッタリング特性に関する検討—

小 川 展 弘  
吉 村 了 治  
毛 利 隆  
岩 元 哲 志  
馬 場 洋 宣  
天 満 覚

## Studys on Sputtering Characteristics of ITO Target

Nobuhiro OGAWA  
Ryoji YOSHIMURA  
Takashi MORI  
Testushi IWAMOTO  
Hironori BABA  
Satoru TENMA

Thin films of indium tin oxide (ITO) have been well known as the excellent transparent electrical conductors. We have evaluated a new ITO target of higher density by using DC and RF magnetron sputtering, which enables us to supply ITO films of high conductivity and transparency.

In the present paper we describe the effect of target density on the sputtering characteristics. With an increase of target density, the reduction of target surface is depressed and the conductivity and IR sheltering efficiency of films are improved.

### 1. 緒 言

近年液晶, EL 等の薄型ディスプレイ, 太陽電池の透明電極, さらには窓ガラスへの熱線遮蔽コーティングとして透明導電膜の需要が急増している。このような透明導電膜は金属膜と酸化物膜とに大別されるが, 現在は酸化物系の透明導電膜が主流となっている。

工業的に用いられている酸化物系の透明導電膜には  $\text{In}_2\text{O}_3:\text{Sn}$  (ITO),  $\text{SnO}_2:\text{Sb}$  (TAO) 等があるが, 特に ITO は導電性及び透明性に優れているため現在最も広く用いられている。一方開発段階のものとしては  $\text{ZnO}:\text{Al}$  (ZAO),  $\text{Cd}_2\text{SnO}_4$  (CTO) 等の研究が進んでいる<sup>1)</sup>。

このような透明導電膜の製造方法にはスパッタリング法, 真空蒸着法, CVD 法, スプレー熱分解法等があるが<sup>2)</sup>, 特に良質な膜が要求される分野ではスパッタリング法が用いられている。ITO 透明導電膜の場合, スパッタリングには合金ターゲットを用いる方法と酸化物焼結体ターゲットを用いる2法があるが, 最近では膜性能, 膜の均一性及び成膜操作の簡便性に有利な酸化物焼結体ターゲットを用いる方法が主流となっている。

従来の ITO 透明導電膜の性能としては, 導電性は比抵抗で  $2.0 \times 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$  程度, 透明性は可視光透過率で80%以上であったが, 今後は特に導電性の向上が要求されるとされており,  $1.5 \times 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$  以下が必要と

なると予想される。これまでも実験室レベルでは  $1.0 \times 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$  の報告もあるが<sup>3),4)</sup>、工業的な量産レベルでは現状  $1.8 \times 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$  が限界であると考えられる。

ITO 透明導電膜の市場は、1989年の国内において50～100億前後と言われており、それに対応して ITO 焼結体ターゲットの市場は約20億円程度と見積もられる。またその最大の用途は液晶用の透明電極であると考えられる。液晶の市場は今後さらに成長することが予想されており、また海外の最も大きな市場と考えられる米国の成膜メーカーが、合金ターゲットから酸化物焼結体ターゲットへ転換を図っていることにより、今後 ITO 焼結体ターゲットの市場はさらに高い成長が期待されている。

従来透明導電膜の性能は主に製造運転条件に左右されると考えられていたが、我々はターゲットを最適化することにより、より低抵抗な透明導電膜が形成できるかどうかを検討してきた。そして今回透明導電膜の低抵抗化には ITO 焼結体ターゲットの高密度化が特に有効であることを見出した。従来の ITO 焼結体ターゲットは理

論密度の70%前後の低密度であり、このようなターゲットではスパッタリングによってターゲットが経時変化し、特に表面が極度に還元されることによって膜の導電性が低下するという問題が生じていた。我々の検討では高密度化した ITO 焼結体ターゲットではそのような問題がなく、低抵抗な透明導電膜が得られることが明らかとなった。

今回このような ITO 焼結体ターゲットを商品化し、その特性に関して評価したので報告する。

## 2. 実験方法

### (1) ITO 焼結体ターゲットの調製

今回評価した ITO 焼結体ターゲットは、酸化インジウムに酸化錫を10重量% (17モル%) 添加した混合粉末を加圧成型し、空气中 1400°C で焼結することによって調製した。

高密度化が可能な原料粉末については、別に粉末の検討として報告する予定である。

Table 1

No.	Target Density (%)	Sputtering System	Input Power (W/cm <sup>2</sup> )	Gas	Pressure (Torr)	$d_{T-S}$ (mm)	Substrate Temperature (°C)	Related Fig. No.
(1)	67	DC magnetron	4	Ar	$5 \times 10^{-3}$	85	250	Fig. 1, 6, 9, 10,
				O <sub>2</sub>	—			
(2)	77	DC magnetron	4	Ar	$5 \times 10^{-3}$	85	250	Fig. 1, 6, 9,
				O <sub>2</sub>	—			
(3)	85	DC magnetron	4	Ar	$5 \times 10^{-3}$	85	250	Fig. 1, 6, 9,
				O <sub>2</sub>	—			
(4)	90	DC magnetron	4	Ar	$5 \times 10^{-3}$	85	250	Fig. 1, 6, 9,10,
				O <sub>2</sub>	—			
(5)	85	RF magnetron	1	Ar	$4 \times 10^{-3}$	40	250	Fig. 5, 7,
				O <sub>2</sub>	—			
(6)	85	RF magnetron	1	Ar	$4 \times 10^{-3}$	40	250	Fig. 5, 7, 11,
				O <sub>2</sub>	$3 \times 10^{-5}$			
(7)	85	RF magnetron	1	Ar	$4 \times 10^{-3}$	40	250	Fig. 5, 7,
				O <sub>2</sub>	$5 \times 10^{-5}$			
(8)	85	RF magnetron	1	Ar	$4 \times 10^{-3}$	40	250	Fig. 5, 7,
				O <sub>2</sub>	$7 \times 10^{-5}$			
(9)	67	RF magnetron	1	Ar	$4 \times 10^{-3}$	40	250	Fig. 5, 8,
				O <sub>2</sub>	—			
(10)	67	RF magnetron	1	Ar	$4 \times 10^{-3}$	40	250	Fig. 5, 8, 11,
				O <sub>2</sub>	$3 \times 10^{-5}$			
(11)	67	RF magnetron	1	Ar	$4 \times 10^{-3}$	40	250	Fig. 5, 8,
				O <sub>2</sub>	$5 \times 10^{-5}$			
(12)	67	RF magnetron	1	Ar	$4 \times 10^{-3}$	40	250	Fig. 5, 8,
				O <sub>2</sub>	$7 \times 10^{-5}$			
(13)	85, 67	DC magnetron	<1	Ar	$1.5 \sim 4.5 \times 10^{-3}$	25	—	Fig. 18, 19

〔2〕 ITO 焼結体ターゲットの基礎物性評価

以下本文中に用いた調製したターゲットの密度は、焼結体の重量を焼結体の見掛けの体積（焼結体内部の空孔を含む）で除することによる“見掛けの密度”を用いた。焼結体抵抗は四探針法、熱伝導率はレーザーフラッシュ法、抗折力は万能試験器を用いて測定した。

〔3〕 スパッタリング成膜実験

ITO 透明導電膜の成膜は高周波 (RF) 及び直流 (DC) マグネトロンスパッタリングによって行った。スパッタリング条件は Table 1 にまとめて示した。

〔4〕 透明導電膜の物性評価

透明導電膜の表面抵抗は四探針法によって測定し、表面あらさ計によって求めた膜厚から比抵抗換算を行った。さらに Van der Pauw 法により透明導電膜の電子密度及びホール移動度を求めた。一方膜の光学的特性(光透過率)は分光光度計を用いて測定した。

3. 結果と考察

〔1〕 ITO 焼結体ターゲットの基礎物性

Fig. 1 に ITO 焼結体ターゲットの密度とターゲットの導電性 (比抵抗), 熱伝導率及び抗折力の関係を示した。ターゲットを高密度とすることにより全ての特性に向上が見られた。焼結体抵抗の低下はスパッタリングにおける放電の安定に寄与し, ターゲットの温度上昇が抑制される。また熱伝導性が上がることにより, ターゲットの冷却効率も向上する。さらに抵抗力の増加から機械

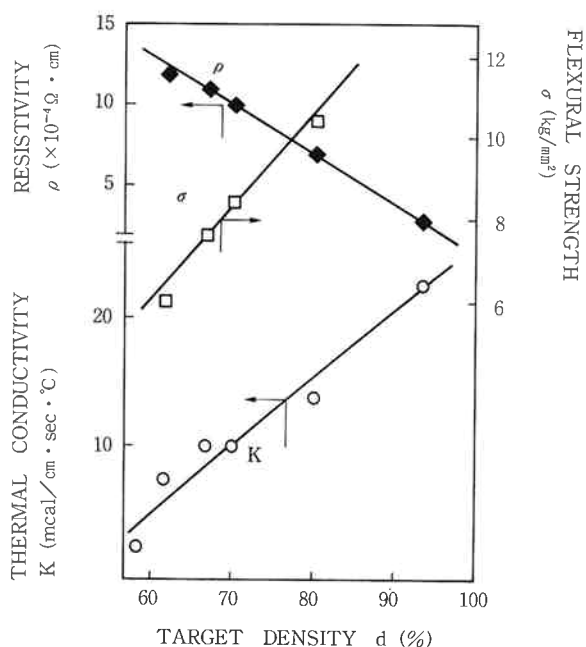


Fig. 1 Basic Characteristics of ITO Targets with Several Densities.

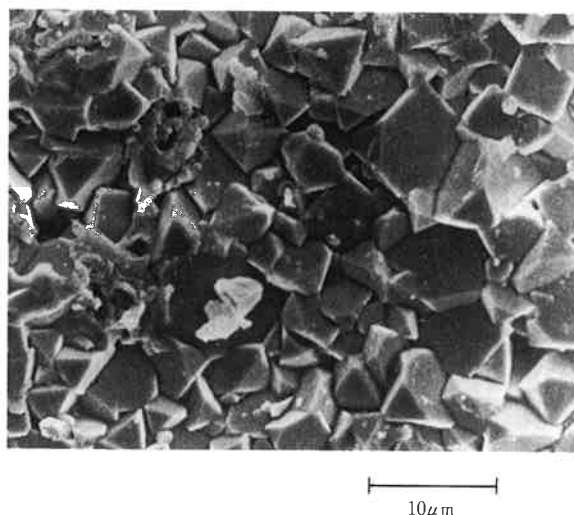


Fig. 2 SEM Image of ITO Target with 90% in Theoretical Density.

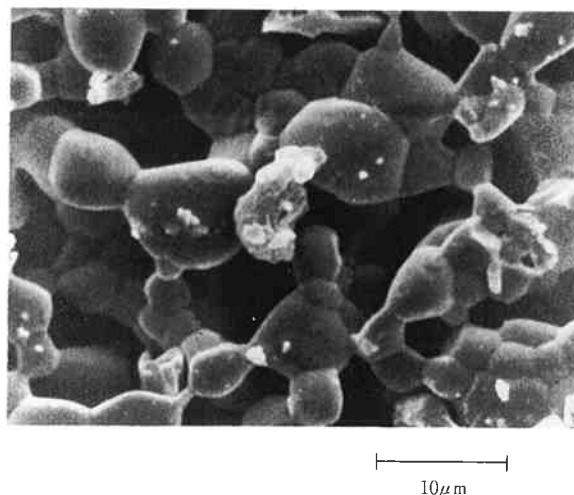


Fig. 3 SEM Image of ITO Target with 67% in Theoretical Density.

衝撃又は熱衝撃によるターゲットの割れ又はバックングプレートからの剥離抑制が期待できる。

これらの特性が向上する主な要因としては焼結体内部の空孔が減少することが考えられる。Fig. 2, 3 に焼結密度67%と90%の ITO 焼結体の電子顕微鏡写真を示した。

〔2〕 スパッタリング条件と膜の電気的特性

Fig. 4 に Table 1 の(1)~(4)の条件で成膜した透明導電膜の比抵抗とターゲットの焼結密度の関係を示した。ターゲットの焼結密度と得られる膜の比抵抗には直線関係があり, 高密度なターゲットから低抵抗な膜が得られた。

次にスパッタリング雰囲気に酸素ガスを添加した場合

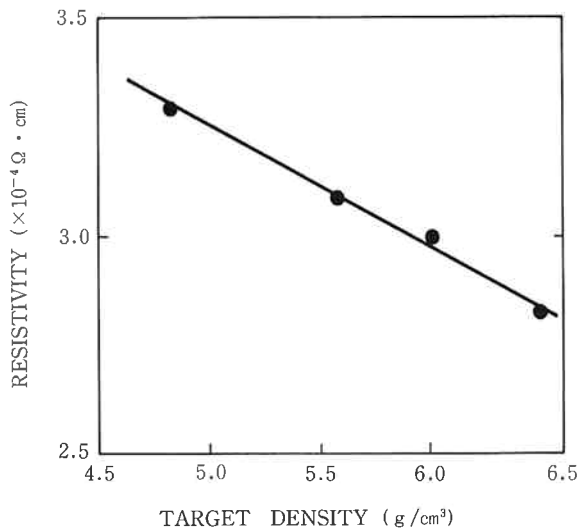


Fig. 4 Relationship between Target Densities and Resistivity of Films.

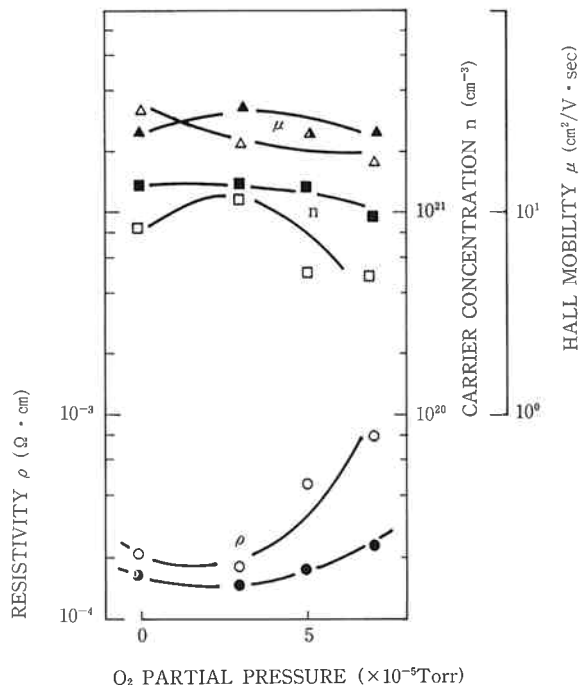


Fig. 5 Oxygen Partial Pressure Dependence of  $\rho$ ,  $n$  and  $\mu$  for ITO Films by using ITO Targets with 85% (●, ■, ▲) and 67% (○, □, △) in Theoretical Densities.

の結果を Fig. 5 に示した (成膜条件(5)~(12))。通常 ITO 焼結体ターゲットを用いたスパッタリングでは、アルゴンガスに若干の酸素を添加した雰囲気ですパッタリングするのが一般的であるが、この場合も常に高密度ターゲットから得られる膜の方が低抵抗であった。いずれのターゲットも酸素分圧が  $3 \times 10^{-5}$  Torr (約 1 vol%) の時に最も低抵抗となり、高密度ターゲットでは  $1.48 \times 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$ 、低密度ターゲットでは  $1.78 \times$

$10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$  の比抵抗の膜が得られた。さらに低密度ターゲットでは酸素分圧が大きくなると膜抵抗が著しく上昇するのに対し、高密度ターゲットでは酸素分圧の増加に対する抵抗の変化が小さく、より広い範囲で低抵抗な膜が得られる傾向が見られた。キャリア密度、ホール移動度の変化も高密度ターゲットを用いた場合に小さく、高密度ターゲットは最適成膜条件範囲が広い、即ち操作性に優れたターゲットであった。

### (3) 透明導電膜の光学的特性

Fig. 6 に Table 1 の条件 ((1)~(4)) で成膜した透明導電膜の可視光透過率 (550 nm) とターゲットの焼結密度の関係を示した。特にその差を明確とするために厚い膜 (5000 Å) で比較した。酸素を添加しないアルゴン雰囲気での成膜で、なおかつ膜が厚いことにより光透過率は全体的に不十分であるが、明らかにターゲットが高密度になるほど透明性に優れた膜が得られ、低密度なターゲットでは黒く着色した膜しか得られなかった。高密度なターゲットから透明性に優れた膜が得られる傾向があることは以前にも報告されているが<sup>5)</sup>、それはホットプレスによって調製したターゲットを用いたものであった。ホットプレスによるターゲットは高密度であるが還元されており、我々の評価では黒く着色した透明性の悪い膜しか得られていない (図中●点)。今回我々が評価した各種密度のターゲットは全て大気中焼成品であり、ホットプレス品のように極度に還元されたものとは性質が異なると考えている。

次に Fig. 7, 8 には焼結密度67%と85%のターゲット

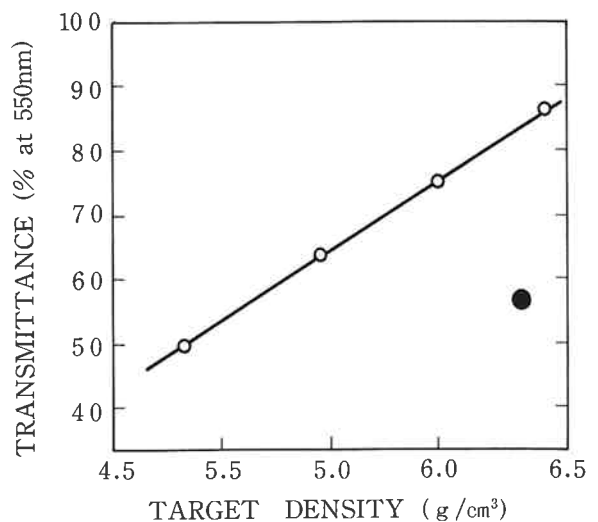


Fig. 6 Relationship between Target Densities and Transmittance of Films.  
(● HOT PRESS TARGET)

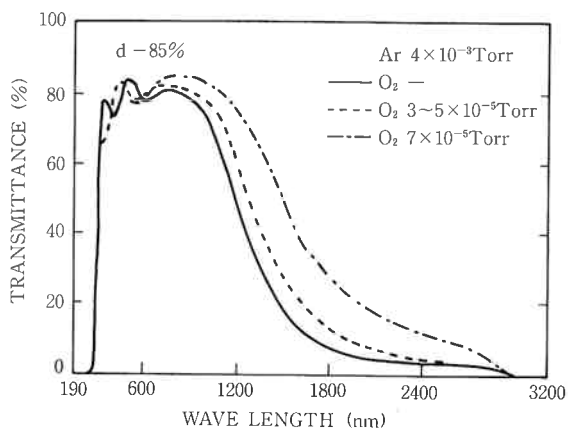


Fig. 7 Transmittance of ITO Films by using ITO Target with 85% in Density for some Conditions.

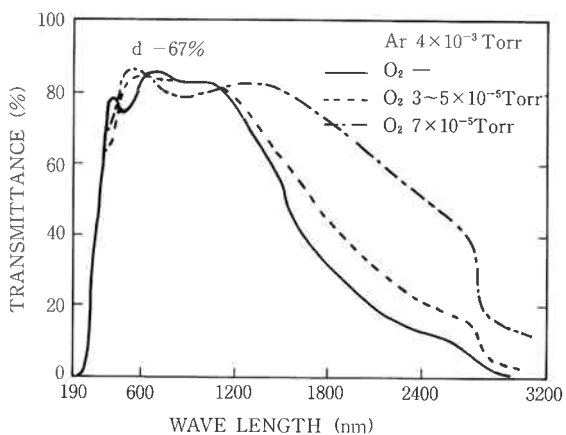


Fig. 8 Transmittance of ITO Films by using ITO Target with 67% in Density for some Conditions.

を用い、実用に近い膜厚 (2000 Å) で、なおかつ酸素添加雰囲気中で成膜した場合の透明導電膜の光透過率を示した (成膜条件(5)~(12))。ITO 透明導電膜には可視光透過率が高く、赤外光透過率が低いことが要求されるが、今回可視光の透過率はガラス基板を含めて全て80%以上であり、いずれのターゲットを用いた膜も可視光の透明性は十分であった。一方近赤外領域の熱線遮蔽効果では明らかに高密度ターゲットから得られた透明導電膜の方が優れていた。このような赤外遮蔽は自由電子のプラズマ振動によるカット・オフ効果によるものであるが<sup>6)</sup>、高密度ターゲットによって調製した透明導電膜は前述したように電子密度が高く、赤外遮蔽効果が高いことは容易に類推できる。またいずれのターゲットを用いた場合も成膜雰囲気への酸素添加量の増加とともに赤外遮蔽効果は低下したが、高密度ターゲットを用いた場合、酸素を

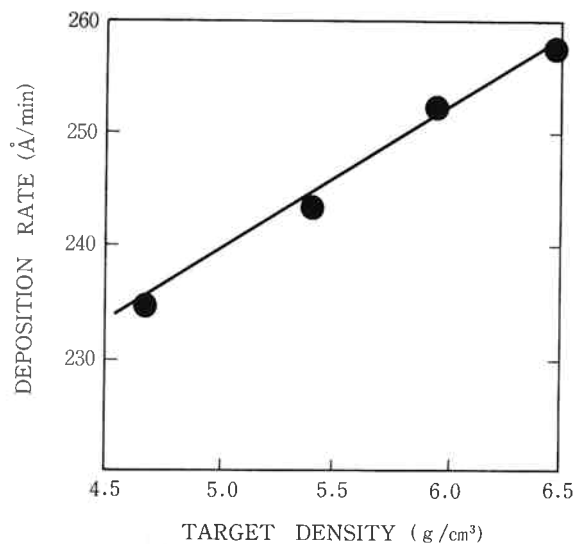


Fig. 9 Relationship between Target Densities and Deposition Rate.

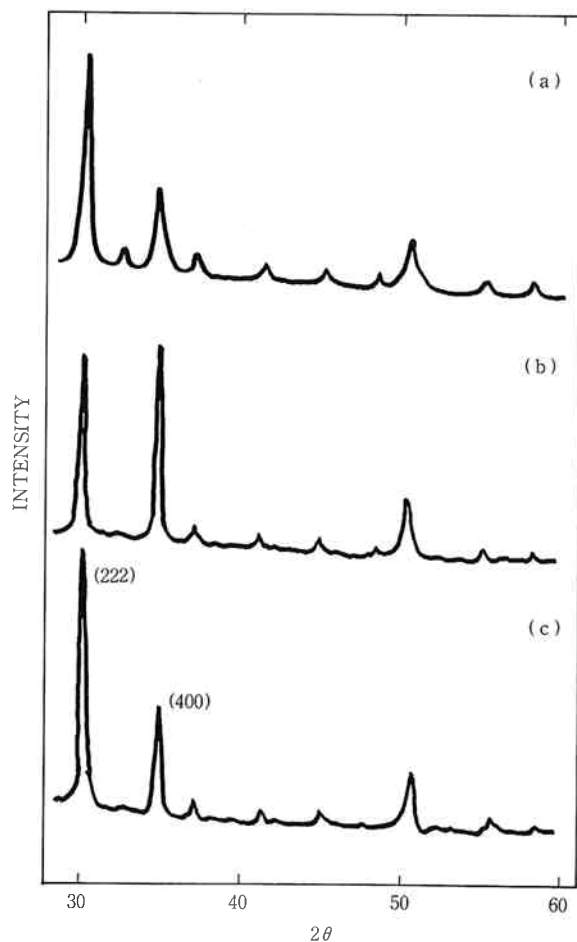


Fig. 10 XRD Patterns for ITO Target and Films.  
 (a) ITO Target  
 (b) ITO Film from High Dense Target ( $d=85\%$ )  
 (c) ITO Film from Low Dense Target ( $d=67\%$ )

かなり過剰に添加した場合でも低密度ターゲットによる膜よりも常に赤外遮蔽効果に優れていた。

#### 〔4〕 成膜速度

Fig. 9 にターゲットの密度と成膜速度の関係を示した(成膜条件(1)~(4))。ターゲット密度が高くなることにより成膜速度は直線的に向上した。スパッタリング法は成膜速度が遅く、必ずしも生産性が高いプロセスではないため、少しでも成膜の速いターゲットが望ましい。工業的な ITO の成膜速度は 1000~2000 Å/min であるが、今回の評価はターゲット-基板間距離 ( $d_{T-S}$ ) の大きい小型実験装置による評価であるため全体的に成膜速度は小さくなっている。しかし相対的に高密度ターゲットの方が成膜が速く、高密度ターゲットを用いることにより成膜速度の向上は可能であると判断できる。

#### 〔5〕 透明導電膜の結晶性

Fig. 10 に ITO 焼結体及び得られた透明導電膜の X 線回折パターンを示した(成膜条件(1), (4))。いずれのターゲットを用いた透明導電膜も高温基板 (250°C) 上に成膜しているため結晶性であったが、焼結体と膜とでは X 線回折パターンがかなり異なっていた。

ITO の焼結体あるいは粉末では (222)/(400) 比が常に約 3/1 であるが、透明導電膜では (222)/(400) 比は一定とはならなかった。特に高密度なターゲットから得られた低抵抗な膜では明らかに (400) 配向性が大きく、導電性と (400) 配向性には相関があると考えられた。

#### 〔6〕 透明導電膜の機械的特性

ラビングテスト(耐磨耗性評価)及びスコッチテープテスト(密着性評価)によって透明導電膜の機械的特性を評価した(Fig. 11)。評価には Table 1 の条件(6), (10)の膜を用いた。プラスチック製の消しゴムで 1 kg の負荷をかけたラビングテストではいずれのターゲットから得られた膜も 1000 回の摩擦の後に抵抗の上昇は見られず、耐磨耗性は十分であった。

さらに厳しい磨耗条件として、砂消しゴムを用いて同一の評価を行ったところ高密度ターゲットから得られた膜は 10 回程度の摩擦までは抵抗上昇しなかったが、それ以上では徐々に抵抗が上昇し、低密度ターゲットから得られた膜では 10 回の摩擦で抵抗が上昇した。一方スコッチテープテストによる密着性試験ではいずれの膜も剥離せず、密着性は十分であると考えられた。

膜の耐磨耗性、密着性は主に成膜条件に依存するが、今回試験した膜はいずれも高温基板上の成膜であり、両特性に優れていると考えられた。しかし砂消しゴムを用いたラビングテストの結果より、特に高い耐磨耗性が要求される場合にはやはり高密度ターゲットを用いた方が有利であることが示唆された。

#### 〔7〕 ITO 焼結体ターゲット表面の還元

先に述べたように従来の低密度な ITO 焼結体ターゲットはスパッタリングによって極度に還元され、還元物が膜の導電性を低下させるという問題を有していた。

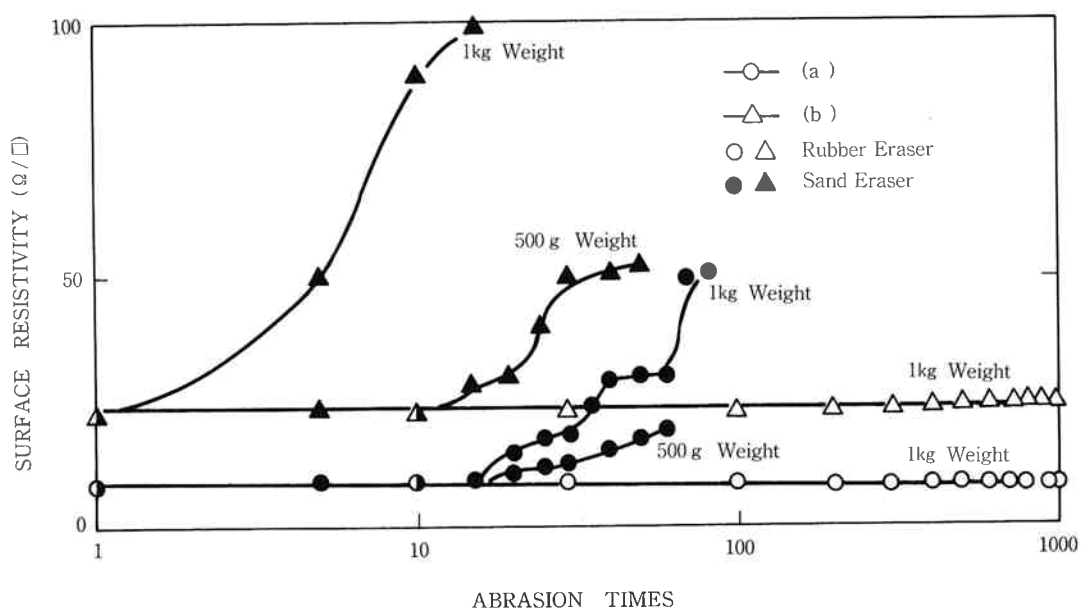


Fig. 11 Variety of Surface Resistivity of ITO Films for some Abrasing conditions.

(a) ITO Films from High Dense Target ( $d=85\%$ )

(b) ITO Films from Low Dense Target ( $d=67\%$ )

般に酸化物ターゲットにおける還元は軽元素である酸素が選択的にスパッタリングされるためと考えられており<sup>7)</sup>, ITO 焼結体の場合生成する還元物は導電性の低い低級酸化物 ( $\text{In}_2\text{O}_3$ ) であると言われている<sup>8)</sup>。しかし今回の評価では低密度 ITO 焼結体の表面に生成した黒色物はまだ十分に導電性を有しており, 還元程度の小さい不完全酸化物 ( $\text{In}_2\text{O}_{3-\delta}$ ) であると推定された。これは今回の評価が長時間運転でないことにより, 還元の程度が比較的小さかったためと予想される。いずれにしても酸化物をターゲットとして用いた場合, 得られる膜はターゲットよりも酸素含有量が低下するため, 還元された低密度ターゲットから得られる膜ではさらに酸素が低下し, 導電性の低い低級酸化物に近づいていることが予想される。ちなみに低密度なターゲットでは使用初期段階においては非常に優れた膜が得られることが知られており, これは低密度ターゲットではごく初期段階においては表面酸素含有量が多いことに起因すると考えられる。しかしこのような状態は長く持続できない。

一方高密度ターゲットはスパッタリングによる還元は比較的少ないが, 全く還元されていないわけではなく多少は還元されていると考えられる (Fig. 12, 13)。

また90%近い密度の ITO 焼結体は深緑色から青みがかった黒色を呈しており, 一見して還元されていることが予想される (Fig. 14, 15)。しかしこのような高密度焼結体からも低抵抗でなおかつ透明性に優れた透明導電膜が得られることから, 膜の特性を低下させるのは単なるターゲットの還元ではなく, 低密度なターゲットのスパッタリングにおけるターゲット表面の“加速的な”還

元にあると考えられる。

#### 〔8〕 ターゲットの放電特性

Fig. 16 に純アルゴン雰囲気, ガス圧力 0.6 Pa, ター



Fig. 13 ITO Target with 67% in Theoretical Density after Sputtering.  
Total Sputtering Time: 60 min

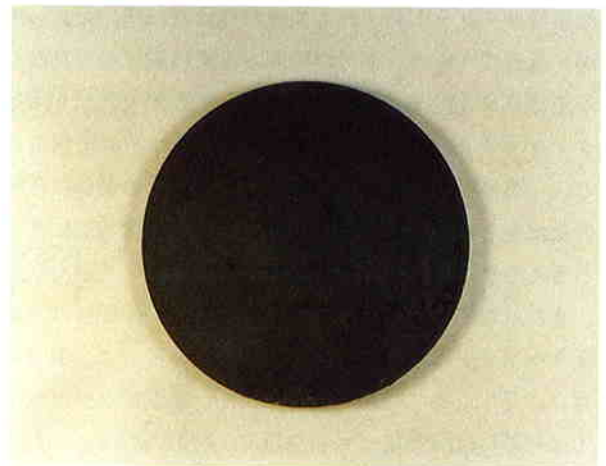


Fig. 14 ITO Target with 90% in Theoretical Density.



Fig. 12 ITO Target with 85% in Theoretical Density after Sputtering.  
Total Sputtering Time: 240 min



Fig. 15 ITO Target with 67% in Theoretical Density.

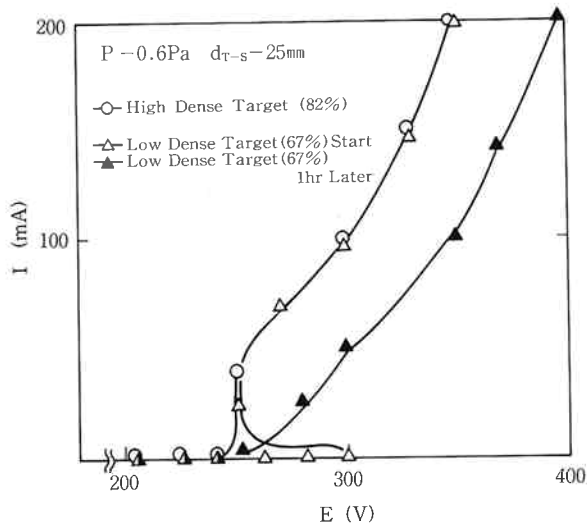


Fig. 16 I-E Curves for Sputtering of ITO Targets.

ゲット基板間距離 ( $d_{T-S}$ ) が 25 mm におけるグロー放電特性を示した。放電初期においては高密度ターゲット、低密度ターゲットいずれも放電特性はほぼ同一であったが、低密度ターゲットでは時間とともに電流が流れ難くなる傾向が見られた。これから低密度ターゲットではターゲットの表面が経時変化していることが予想できる。一方高密度ターゲットでは電圧-電流の関係に経時変化は見られず、ターゲット表面が常に平衡状態にあると考えられる。

また放電が不安定な低圧 (0.2~0.3 Pa) 領域では高密度ターゲットは最初から放電しにくく、アーク (異常放電) が発生しやすい傾向があったが、低密度ターゲットでは初期には容易にグロー放電し、時間がたつにつれてアーク放電しやすくなる傾向が見られた。Fig. 17 には  $d_{T-S}$  が 25 mm におけるガス圧力とグロー放電開始電圧の関係を示した。高密度ターゲットでは最初から 0.28 Pa 以下では放電しないか、あるいはアーク放電となった。一方低密度ターゲットでは、初期には 0.25 Pa からグロー放電が可能であったが、1時間後にはグロー放電可能なガス圧領域が 0.28 Pa まで上昇し、なおかつ放電開始電圧が 700 V にまで上昇した。いずれの場合も一度放電が開始した後は、300 V 程度で安定したグロー放電が維持できた。

このような低密度ターゲットの放電特性変化はターゲットの表面状態が刻々と変化していることを示していると考えられる。Fig. 2, 3 に示したように高密度ターゲットは表面が緻密であるため、比較的単純なスパッタリング機構が予想され、スパッタリングによる還元もある

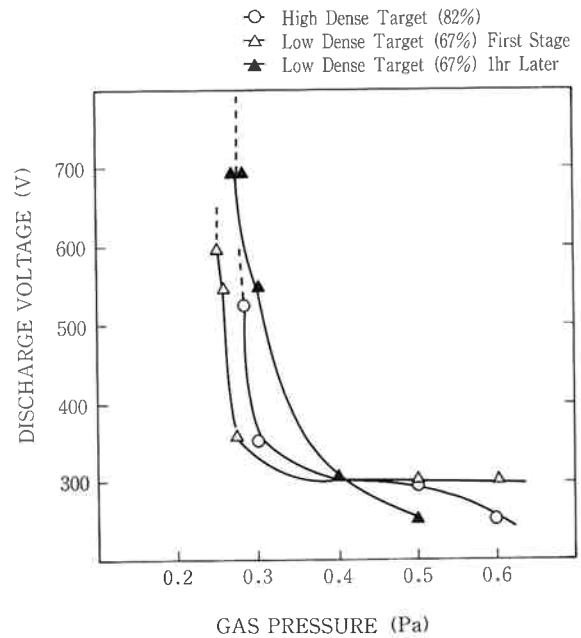


Fig. 17 Correlation between Ar Pressure and Discharge Voltage for ITO targets.

程度で飽和すると考えられるが、低密度なターゲットは多孔質であるため、スパッタリングが複雑なメカニズムで進行し、本来起こるべき以上に還元が“加速”されていることが予想される。Fig. 18 にスパッタリングメカニズムの違いを模式的に示したが、まだ仮説の段階であり未だ立証には至っていない。

#### 4. ま と め

今回検討した高密度 ITO ターゲットの特徴をまとめると以下の様になる。

- 1) ターゲット自身が高導電性、高熱伝導性、高抗折力を有する。
- 2) 低抵抗な膜が得られる。  
( $1.5 \times 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$  以下)
- 3) 低抵抗な膜の得られる成膜条件の範囲が広い。
- 4) 成膜速度が速い。
- 5) (400) 配向性の大きい膜が得られる。
- 6) 耐磨耗性に優れた膜が得られる。
- 7) 透明性に優れた膜が得られる。
- 8) 赤外線反射特性が良い膜が得られる。
- 9) ターゲット特性の経時変化がない。(放電、還元)

#### 5. 今後の展望

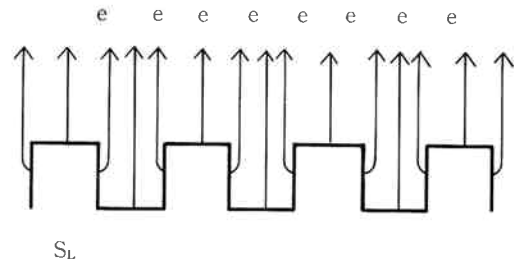
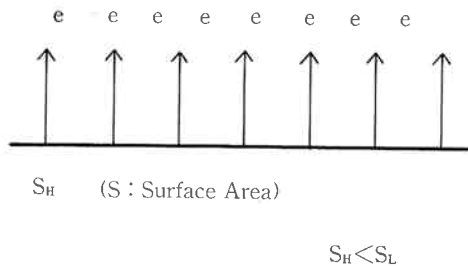
今回透明導電膜の成膜条件としては低抵抗で高透明な結晶性膜の得られる高温基板への成膜特性を中心に評価してきたが、今後はより厳しい条件 (低温) で低抵抗な



HIGH DENSE TARGET

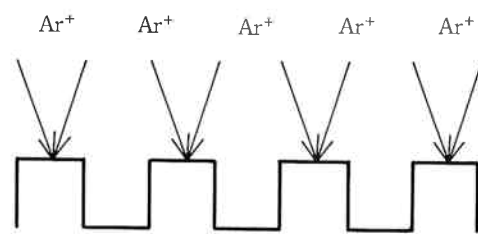
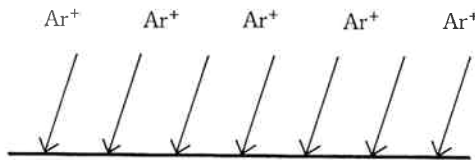
LOW DENSE (POROUS) TARGET

①DISCHARGE

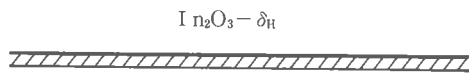


$P(\text{High Dense}) < P(\text{Low Dense})$  ( $P$ : Probability of Discharge)

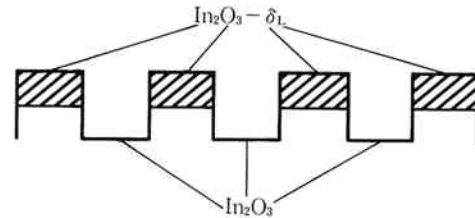
②SPUTTERING



③HOMOGENEOUS CONDITION



③HETEROGENEOUS CONDITION



$\delta_H < \delta_L$

Fig. 18 Schematic Diagrams for Discharge and Sputtering for High Dense and Low Dense (Porous) Targets.

透明導電膜を形成することが要求されると考えられる。例えば液晶ディスプレイのカラー化に伴い、ITO 透明導電膜は熱に弱い有機機能材料と多層で形成することが必要となって来ており、結晶化しにくい低温基板上に低抵抗な透明導電膜を作成することが要求され始めている<sup>11)</sup>。また従来の低抵抗化競争も今後さらに激化することが予想され、ITO への第三成分の添加による低抵抗化の試み<sup>12)</sup> なども見逃せない。さらに今回は評価していないが、透明導電膜は用途によってはエッチング特性等の膜の化学特性が重要であり、今後これらの評価も必要となって来るであろう。

軽薄短小の時代となり薄膜電極用の透明導電膜の需要はまだ増加していくことが期待できるが、我々ター

ゲットメーカーへの成膜メーカーからの要求も益々厳しくなってくるのが予想される。

6. 謝 辞

本研究を進めるにあたり終始適切な御助言をいただいた金沢工大デバイス研究室の南内 嗣教授に心から感謝致します。

文 献

- 1) 田畑三郎; “透明導電フィルムの製造と応用”, CMC (1986)
- 2) 鈴木巧一, 水橋 衛; “機能材料”, 9月号, p. 5 (1984)

- 3) S. Ray et al; *J. Appl. Phys.*, 54(6), 3497 (1983)  
 4) P. Nath, R. F. Bunshah; *Thin Solid Films*, 69, 63 (1980)  
 5) D. B. Fraser, H. D. Cook; *J. Electrochem. Soc.*, 119, No. 10, 1368 (1972)  
 6) 大畑 豊, 吉田貞史; “応用物理”, 46(1), 43 (1977)  
 7) 志水隆一, 山村泰道, 松波紀明, 森田健治, 西道雅博, 伊藤憲昭; “応用物理”, 50(5), 470 (1981)  
 8) 石橋 暁, 樋口 靖; “ULVAC TECHNICAL JOURNAL”, No. 31, 9 (1989)  
 9) 田村英雄, 米山 宏; “電気化学”, 48(6), 335 (1980)  
 10) “フラットパネル・ディスプレイ1990”, 日経BP社電子グループ編 (1989)  
 11) 特開昭63-178414



著 者

氏名 小川 展 弘  
 Nobuhiro OGAWA  
 入社 昭和60年4月1日  
 所属 研究本部  
 化学研究所  
 第一研究室  
 副主任研究員



著 者

氏名 吉村了治  
 Ryôji YOSHIMURA  
 入社 昭和62年4月1日  
 所属 研究本部  
 化学研究所  
 第一研究室



著 者

氏名 毛利 隆  
 Takashi MORI  
 入社 昭和46年4月1日  
 所属 研究本部  
 化学研究所  
 第一研究室  
 室長



著 者

氏名 岩元 哲志  
 Tetsushi IWAMOTO  
 入社 昭和59年4月2日  
 所属 金属事業部  
 山形工場  
 開発室  
 主事



著 者

氏名 馬場 洋宣  
 Hironori BABA  
 入社 昭和60年4月1日  
 所属 金属事業部  
 山形工場  
 開発室



著 者

氏名 天満 覚  
 Satoru TENMA  
 入社 昭和39年4月1日  
 所属 金属事業部  
 山形工場  
 開発室  
 室長