

(論文)

# 機能膜用UBMスパッタリング装置の開発

## Unbalanced Magnetron Sputtering for Functional Thin Films



黒川好徳\*  
Yoshinori Kurokawa



瀬川利規\*  
Toshiki Segawa



宮本隆志\*\*  
Takashi Miyamoto

Recently, the unbalanced magnetron (UBM) sputtering process has become one of the most popular processes in the hard wear resistant coating field. The UBM sputtering process was used for the deposition of ITO films in order to examine the effect of enhanced ion fluxes (an important feature of the UBM process) during film formation. The resulting ITO films had superior properties (especially at low substrate temperatures) compared with films created by conventional balanced magnetron. Resistivity levels as low as  $4 \times 10^{-6} \cdot \text{cm}$  were obtained at room temperature.

まえがき = スパッタリング法は、原理的に非常に多様な皮膜を形成可能であり、半導体・電子機能分野から装飾用まで広範囲の産業分野で応用されているコーティング法である。スパッタリング法のほとんどは、ターゲット裏側に配置した磁石による磁場を利用して、ターゲット前面に高密度プラズマを生成可能なマグネトロンスパッタ源が利用されている。

アンバランスドマグネトロン (UBM : Unbalanced Magnetron) スパッタリングは、従来のマグネトロンスパッタ源の磁場バランスを意図的に崩すことで、基板上的イオン照射量を増やし、コーティング皮膜の特性改善を目指した新しい技術である。1980年代後半からスパッタ源の開発<sup>1)~3)</sup>と、イオン照射による薄膜特性の改善、いわゆるイオンアシスト効果が盛んに検討されてきた。当社では既にこの技術を活用し、皮膜の緻密化による硬度改善と低摩擦係数を実現したダイヤモンドライクカーボン (DLC) を提供している。

一方で、成膜中のイオン照射は、単に硬度改善だけではなく、例えばITO(Indium Tin Oxide)のような機能膜に適用した場合にも皮膜特性に良い影響を与える可能性

ある。このような観点から UBM スパッタリング源を平板及びシート基板を対象とした装置に搭載し、ITO 成膜に適用した場合の UBM 成膜の特徴を報告する。

### 1. UBM スパッタリングの原理と特徴

マグネトロンスパッタリングに用いるスパッタ蒸発源の概念図を図1に示す。従来型のマグネトロンスパッタ源(左)では、外側磁極と内側磁極の間で磁場が閉じるように設計するので、発生したプラズマはターゲット近傍のみに存在し、基板方向への拡散は少なくなる。これは半導体向けなどイオン照射を抑える必要がある用途では好ましい状態であり、従来はプラズマをよりターゲット表面に分布させる方向が検討されていた。

一方、工具分野向けをはじめとした硬質耐摩耗被膜の形成においては、高密度なイオンフラックス中で皮膜を形成するイオンプレーティング法の適用が盛んであることから、スパッタリング法においても積極的にイオン照射を利用する試みがなされ、そのひとつとしてUBM スパッタリング法が提案された。UBM スパッタ源では、外側磁極と内側磁極のバランスを意図的に崩し、非平衡

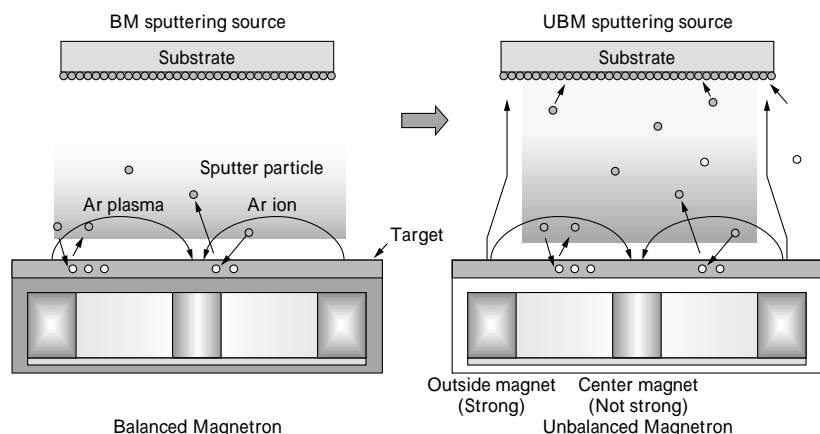


図1 マグネトロンスパッタ源の概念図  
Fig. 1 Model of magnetron sputtering source

\*機械カンパニー・高機能商品部 \*\*技術開発本部・材料研究所

状態とすることで、外側磁極からの磁力線の一部が基板側まで伸び、ターゲット近傍に収束していたプラズマが磁力線に沿って基板近傍まで拡散しやすくなる。その結果、皮膜形成中に基材に照射されるイオン量を増大させることができる。

UBM スパッタ源の特性の一例として、6 インチ径スパッタ源（ターゲット：カーボン）を用いて、各種の内側磁石 - 外側磁石の組み合わせ（BM：フェライト - フェライト，UBM：フェライト - SmCo）で、基板に流入するイオン電流密度を測定した結果を図2 に示す。UBM スパッタ源では、BM (Balanced Magnetron) の磁場配置と比較して、2 倍程度高いイオン電流密度が得られていることがわかる<sup>4)</sup>。

またUBM を潤滑機能と高硬度を併せ持つ DLC (Diamond Like Carbon) 成膜に適用した場合、膜硬度 / 密度に変化が見られることが報告されている<sup>4)</sup>。スパッタリング法による DLC 成膜では、バイアスの強弱によって膜硬度をコントロールし、目的にあった膜質の皮膜を形成するが、UBM での成膜は BM と比較して膜硬度が柔軟にかつ広範囲でコントロールが可能である。基板バイアスを 0 ~ 200V まで変化させたときの膜硬度は、UBM ではナノインデント硬度計で 25 ~ 80Gpa と、BM と比較して最高硬度で約 15% 程度の向上が確認されている。

## 2. UBM スパッタリングの ITO 膜への適用

### 2.1 低温 ITO 成膜

UBM スパッタリングを液晶・EL などのディスプレイ用透明電極として用いられる ITO 成膜に適用した場合の特性を紹介する。ITO 膜は、可視光線領域での透過性に優れ、低い抵抗率をもつことから、透明導電膜として広く実用化されている。通常 ITO 成膜は、200 以上の温度で成膜することにより優れた膜特性が得られるが<sup>5)</sup>、

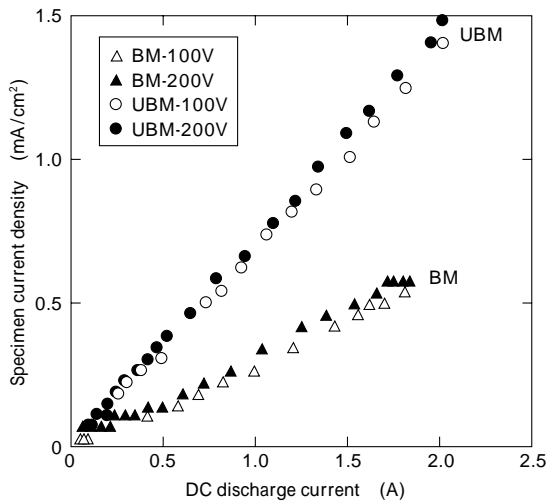


図2 スパッタ蒸発源の磁場配置と基板イオン電流特性  
Fig. 2 Ion current density of substrate for magnet configurations

表1 BM と UBM の比較

Table 1 Comparison of characteristics for ITO of BM and UBM

Substrate temperature	BM		UBM	
	Carrier density( $\times 10^{20}/\text{cm}^3$ )	Carrier mobility(cm/V/sec)	Carrier density( $\times 10^{20}/\text{cm}^3$ )	Carrier mobility(cm/V/sec)
20	10	5.1	18.5	10.6
200	12.5	21.5	13.8	27.1

通常の BM スパッタリングによる成膜では室温域において優れた特性が得られていない。そのため、スパッタ電源に DC と RF を重畳しスパッタ電圧を下げることで、ターゲットから放出される酸素負イオンに起因する高エネルギー粒子の基板衝撃を抑制する方法や、対向ターゲットを用いて同様な効果を得る方法が試みられている<sup>6)</sup>。これらは、低温での膜特性を改善することを目的としている。

しかしこのような機構では、装置が複雑になることから、UBM スパッタリング法を ITO 成膜に適用したところ、シンプルな DC 放電でありながら、低温域において膜特性が改善することが確認された。

### 2.2 BM / UBM の変化

6 インチ径スパッタ源を用い、静止対向成膜での温度変化による抵抗率特性を BM と UBM で比較した事例を図3 に示す。

成膜は  $\text{In}_2\text{O}_3$ 90wt% +  $\text{SnO}_2$ 10wt% 焼結ターゲットを用い、Ar に  $\text{O}_2$  を微量添加した DC 放電によるスパッタ成膜をガラス基板（コーニング 1737）に行い、60 ~ 90 秒かけて 1500 Å の ITO 膜を形成した。成膜は、BM 及び UBM についてそれぞれ最適化した条件で実施した。また基板温度は熱電対で測定しながら、成膜前にランプによって所定の温度まで加熱した。

図3 によると、BM に比べて UBM は低温域で大幅に抵抗率が低くなる特性が現れている。また表1 に、20 と 200 °C で成膜したときの、それぞれのキャリア移動度、キャリア密度を示す。一般的に ITO の低温成膜では結晶性が悪化（微結晶化あるいは非結晶化）し、モビリティ、キャリア密度が低下するが、UBM ではそれらが維持されていることから、これはイオンアシスト効果で結晶性が改善されていると解釈される。その結果、室温成膜にて抵抗率  $3 \times 10^{-4} \cdot \text{cm}$  が得られていると考えられる。

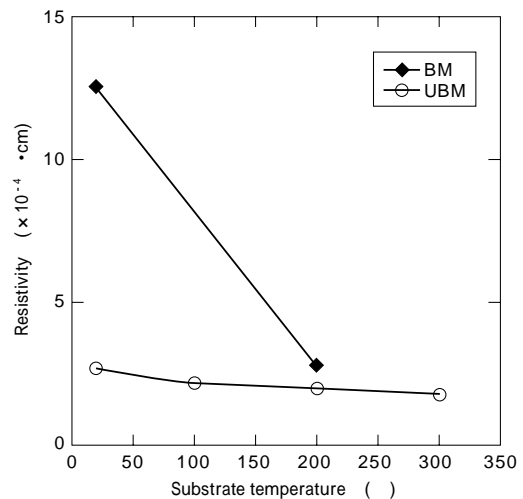


図3 温度条件変化に伴う BM と UBM の比較  
Fig. 3 Resistivity for magnet configuration

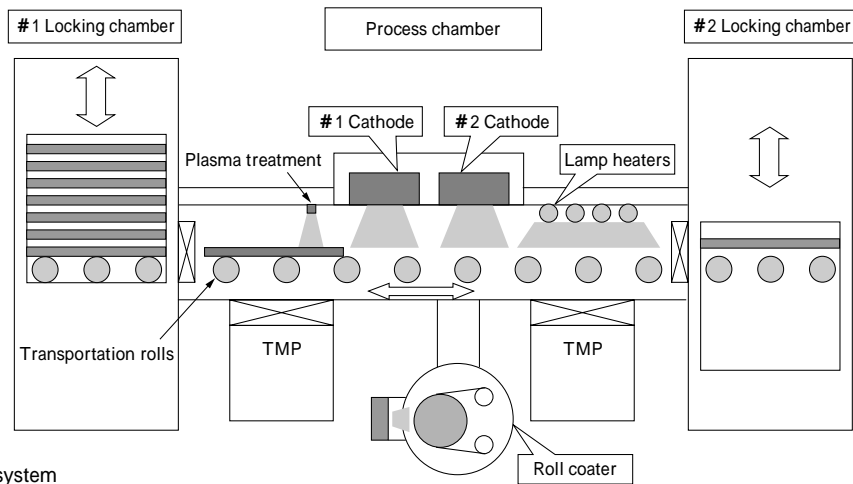


図4 装置構成  
Fig. 4 Schematic of the system



図5 インライン装置外観  
Fig. 5 In-line sputtering system

近年液晶用基板は主流のガラス基板から、軽量化やフレキシビリティの必要性から、樹脂基板や樹脂フィルムへと変化している。樹脂上への成膜は耐熱性の問題からより低い温度での成膜が必須となるため、UBM スパッタリング法はこれらへの成膜に適していると思われる。

### 3. 装置の概要

UBM スパッタリング法により、低基板温度域におけるITO 特性が改善することが分かったが、実際の基板は大平面への均一な成膜が必要となるため、大面積化に対応したインライン UBM スパッタリング装置を開発し(図4～図6)、評価を行った。

本装置は処理室前後にロードロック室・アンロードロック室を持ち、処理対象基板はキャリア台の上にセットされ、キャリア台と共に処理室内を通過する。ロードロック室には標準サイズで9枚の基板がストック可能で、効率的な処理を行うことが可能である。またバッチ式装置と比較して処理室が大気開放される頻度が少なくなるため、吸着水分や残留ガスの影響が排除でき、品質の安定した成膜が可能となる。

処理室にはUBM スパッタ源を2式備えており、異種類の2層コートや、キャリア台を往復移動させることによる積層コートも可能である。また前処理として加熱機構とプラズマ照射機構をもち、基板加熱機構としてランプ・シースヒータの2方式を組替え、用途によって使い分けを行っている。



図6 ロールコータ装置外観  
Fig. 6 Roll coater sputtering system

本システムに付設したロールコータユニットは、排気系/ガス系/制御系をインラインと共有する。プラスチックなどのフィルム(ウェブ)基板に成膜することを目的とし、フィルムは温度管理されたドラムに巻付いた状態で成膜されるので、一定温度での連続処理が可能である。表2に装置の概略仕様を示す。

### 4. 大面積へのITO 成膜適用

前述のインライン装置を用いて、大面積の基板に対するITO 成膜の評価を行った。成膜は $\text{In}_2\text{O}_3$ 90wt% +  $\text{SnO}_2$  10wt%焼結(5×20インチ)ターゲットを用い、DC放電で2000W電力一定にて行った。ガスはAr(90sccm)

表2 インラインとロール  
コータ装置の仕様

Table 2 Specifications

In-line system	
Substrate size	400mm × 500mm × t 70mm (max)
Sputtering cathode	5 × 20 inch UBMS 2 sets (2 layer coating possible) 15kW pulsed DC power supply
Film	ITO, SiO <sub>x</sub> , DLC, etc.
Heating	300 max. lamp heater or sheath heater
Pretreatment	Plasma pretreatment
Vacuum system	1 500l/s TMP × 2, MBP, RP
Process gas	4 line, MFC
System control	Full automatic with data logging system
Other	Substrate bias (DC / Pulsed DC)
Roll Coater system	
Substrate	300mm width web sheet
Tension control	Wind and unwind roll torque control
Sputtering cathode	5 × 20 inch UBMS 2 sets (2 layer coating possible) 15kW pulsed DC power supply
Heating	Lamp heater

に少量の O<sub>2</sub> を添加し、ターゲットと基板間の距離は 45mm とし、コーニング 1737 ガラス基板上 ( 100mm × t 0.7mm ) に約 26 秒かけて、1 500 の ITO 膜を形成した。成膜は室温から開始し、成膜中の温度上昇により成膜終了時点で基板温度は 55 となった。

基板をターゲット正面に静止した状態で成膜した場合の抵抗率分布を図 7 に示す。酸素流量 (分圧) により比抵抗が変化するとともに、通過方向でも分布が見られる。膜厚分布とイオン電流密度の分布は、共に通過方向に対して中央が最も高い単純な山型となっており、抵抗率の分布は成膜フラックスとイオン照射の比率が影響していると考えられる。したがって最も抵抗率が低い範囲が、成膜フラックスとイオン照射の比率が最適な場所と考えられる。なお、エロージョンは、通過方向で幅約 90mm である。

同じ条件で、基板を移動させながら通過成膜した抵抗率分布を図 8 に示す。基板とターゲットの間には、通過方向幅 110mm のマスクを設けており、4mm/sec の速度で通過成膜を行った。静止成膜の抵抗率分布に対して、平均化 (積分化) されたフラットな分布を示した。本システム条件の最適な酸素添加に伴い、抵抗率は 4sccm にてボトム値 (  $4.3 \times 10^{-4} \cdot \text{cm}$  ) を得た。なお基板内の抵抗率分布は、ほとんど確認されなかった。また同サンプルでのホール測定結果は、キャリア濃度  $9.2 \times 10^{20}$  ( /cm<sup>3</sup> ), 移動度 20.1 ( cm/V/sec ) であった。

むすび = UBM スパッタリング法を ITO 成膜に適用した場合、低温での抵抗率の改善という特質が確認された。また実用的なサイズでの確認のために、大面積用の通過成膜装置を開発し評価した結果、同様に効果が確認できた。今後 ITO では、UBM 磁場形状の最適化 (イオンアシスト効果の最適化)、マスクの最適化などにより、より低抵抗率化を図る。また UBM スパッタリング法の効果は DLC のほか、TiO<sub>2</sub> (光触媒用) で確認されており<sup>7)</sup>、他膜種でも効果が期待できると考えられ、今後は幅広い用途への UBM スパッタリング法の適用を検討していきたい。

#### 参考文献

- 1) B. Window et al. : Vac. Sci. Technol., A4 (1986) p.196.
- 2) B. Window et al. : Vac. Sci. Technol., A4 (1986) p.453.
- 3) B. Window et al. : Vac. Sci. Technol., A4 (1986) p.504.

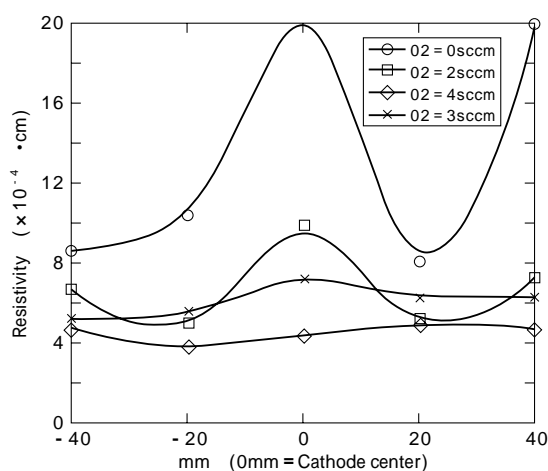


図7 酸素流量と抵抗率の関係 (静止成膜)

Fig. 7 Resistivity as a function of oxygen flow (Stationary deposition)

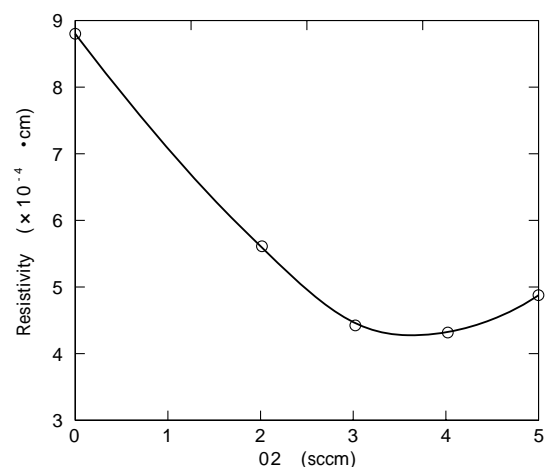


図8 酸素流量と抵抗率の関係 (通過成膜)

Fig. 8 Resistivity as a function of oxygen flow (Through deposition)

- 4) 赤理考一郎ほか: R&D 神戸製鋼所技報, Vol.50, No.2(2000) p.58.
- 5) 梶岡 秀ほか: 広島県立西部工業技術センター研究報告書 No.39 (1996)
- 6) 大木竜磨ほか: 電子情報通信学会論文, Vol.J83-C, No.8(2000) p.715.
- 7) 安永龍哉ほか: R&D 神戸製鋼所技報, Vol.50, No.2(2000) p.38.