

(技術資料)

小型・高性能ロールツーロールスパッタ装置

Compact and High Performance Roll to Roll Sputtering System



玉垣 浩*
Hiroshi TAMAGAKI



瀬川利規*
Toshiki SEGAWA



大庭直樹*
Naoki OHBA

A multi-functional roll-to-roll sputter deposition system for R&D purpose has been developed. The system features compact size and small footprint that are realized by its unique structure; a film winding system supported by the front and rear walls of the chamber and two side doors with a sputtering source. The system has process flexibility suitable for R&D work and is believed to be suitable for the development of flexible electronics such as display devices on film substrates and flexible solar cells.

まえばき = フィルム・箔などをロール状に巻いた基板を真空中で巻戻し、スパッタ・蒸着などの手法で連続的に成膜を行い、さらにロール状に巻取る、いわゆるロールツーロールによる成膜技術は、過去50年近くの歴史を有しており、食品などの包装フィルム用バリア膜、フィルムコンデンサー用電極、タッチパネル用の透明導電膜などの製造プロセスとして盛んに使われている¹⁾。最近では、このロールツーロール成膜技術のアプリケーションとして、プラスチックフィルムを基板とする表示デバイス(液晶、有機EL、電子ペーパー)・照明デバイス、ポリイミドに銅を積層したフレキシブル基板、あるいは金属箔や樹脂フィルムをベースとする各種方式の太陽電池などが注目を集めている。このようなアプリケーションを総称して「フレキシブルエレクトロニクス」などと呼ばれ、関連する学会が開催されるなど、研究開発が活発に行われている。

このような背景から、ロールツーロールの成膜設備にもとくにR&Dフェーズで新たなニーズが生じている。ひとつは、多様な成膜プロセスへの対応であり、各種の皮膜構成を実現可能な設備が求められている。具体的には、脱ガス、前処理、各種の成膜プロセスをひとつの装置で自由に組合せることが求められる。また、最近次々と高耐熱フィルムが開発されていることから、このようなフィルムの耐熱性を生かした成膜が可能な装置も求められている。

もうひとつのニーズは設置スペースの小型化である。通常のロールツーロールの成膜装置は、フィルム幅300mm程度の狭幅の装置を除いてフィルム搬送系システムを真空チャンバ内から引出す機構を採用しており、設置には大きな面積が必要となっている。このような大型の装置は、クリーンルーム内への設置は容易でなく、また、一般の環境に設置する場合であっても広い設置工

リアは問題であった。

当社では以上のような問題点・ニーズを反映した最大800mm幅の仕様まで対応可能な研究開発用の小型スパッタロールコータ(W35シリーズ)を開発・上市し、また、社内にデモンストレーション用としてフィルム幅350mm対応の装置を設置したので、その概要を紹介する。

1. W35シリーズ ロールツーロールスパッタ装置の概要

表1に仕様概要を示すW35シリーズスパッタロールコータの特徴は以下の通りである。

- ・従来比1/2の小型・省スペース構成
- ・プロセスフレキシビリティ
- ・高耐熱フィルム対応
- ・容易なメンテナンス性

1.1 小型・省スペース構成

W35シリーズでは、これまでのロールツーロール成膜装置で多用されたフィルム搬送系をチャンバ外に引出す方式を止め、ボックス型チャンバの前後壁にフィルム搬送系を両持ち支持し、左右両壁面をドアとして全面開放する方式(特許出願中)を採用した。フィルム搬送系は大気開放時もチャンバ内に残り、引出すためのスペースが不要となった。

図1にはサイドドア開放状態の本装置(フィルム幅350mm)の外観を示した。図1に共に写る制御盤との比較で本装置がコンパクトであるかは理解いただけと思う。700mm幅のフィルム対応の装置での設置所要スペースを、搬送系をチャンバ外に搬出する方式の従来型装置と比較すると本体部はおよそ半分のスペースで設置可能である。

フィルム搬送系はコンパクトな装置であるためシンプ

*機械エンジニアリングカンパニー 開発センター 開発部

表 1 W35 ロールコータの仕様概要
Table 1 Specifications of W35 series roll-coater

Items	Specifications
Substrate	Plastic film (PET/PEN/PES/PI etc.) Metal foil (SUS/Al etc.)
Substrate width	350mm (~800mm)
Effective width	300mm (~750mm)
Substrate thickness	50 ~ 200 μm
Max roll size	200mm (~400mm)
Line speed	0.1 ~ 10m/min
Film	Transparent permeation barrier (SiOx, SiON etc.) Transparent conducting oxide (ITO, ZnO etc.) Optical film (TiO ₂ , NbO ₂ , SiO ₂ etc.) Metal film (Al, Ag, Cu etc.)
Sputter cathode	UBMS or DMS
Power supply	DC/Pulse-DC/MF-AC
Process gas	3 Gas, Mass flow control
Vacuum system	TMP and RP (Cold trap by option)
Temperature control	By drum temperature ~ 180 (expandable)
Option	Pretreatment: ion beam or plasma PE-CVD (for SiOx deposition)

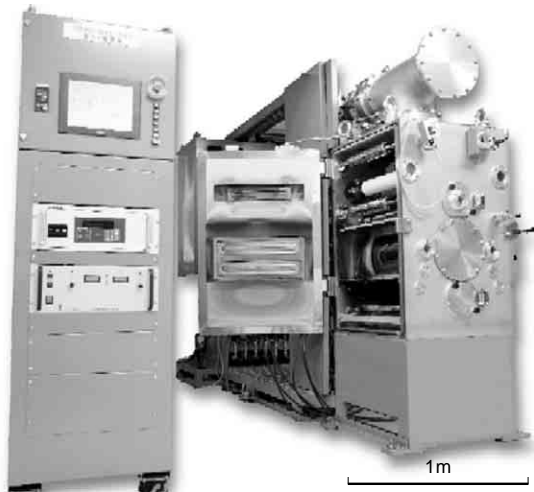


図 1 UBMS-W35 ロールコータ外観
Fig. 1 UBMS-W35 sputter roll-coater

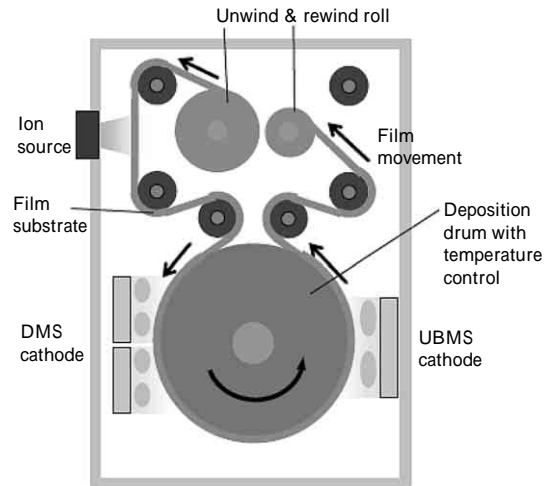


図 2 W35 ロールコータのシステム構成
Fig. 2 Schematics of UBMS-W35 sputter roll-coater

ルな構成であるが、フィルム走行の安定性を重視して、構成するロールはすべて両持ち支持とするほか、張力制御の機能も有し、すべりや蛇行、巻ずれの発生しにくいフィルム搬送を実現している。フィルム搬送速度は、成膜する膜種・膜厚に応じて、0.1 ~ 10m/min の範囲である。

1.2 プロセスフレキシビリティ

図 2 には本装置のプロセス機器の配置の一例を示した。本装置は R&D 成膜を目的として、ボックス型チャンバを原則として 1 ゾーンで排気する構成として、フィルム往復搬送を繰返しながら、脱ガス、前処理、各種成膜を順次行うことで処理プロセスの自由な組合せが可能である。

成膜用のスパッタカソードは左右のドア部に設置可能で、2 種類の特色あるスパッタ蒸発源（詳細は後述）から選択搭載が可能である。フィルム前処理機構も 2 種類の機構から選択が可能である。

チャンバの下部は顧客のニーズに合わせて種々の使い方が可能となっており、3 台目のスパッタ蒸発源、真空蒸着ソース、CVD 機構、または真空排気系の追加など要求に応じて多彩な使い方が可能である。

1.3 高耐熱フィルム対応

これまでのロールツーロールの成膜装置では、耐熱性に劣る樹脂フィルムを成膜時の入熱から守るために、主に成膜ロール温度を低温に保つことが行われてきた。ところが近年、主として表示デバイス基板として使うことを意識した高耐熱のフィルムの供給が始まり、180 から 200 を超える耐熱を有するものも登場している。高耐熱フィルムに成膜を行う時には、フィルムの耐熱性を最大限活用した成膜条件を設定することで皮膜特性を向上できると考えられる。このようなトレンドを反映し、本装置では成膜ロールの温度を 180 にまで加熱可能な仕様の選択が可能であり、また、さらに高い温度域への対応も可能である。

1.4 メンテナンス性

搬送系を真空チャンバ内に残す方式はメンテナンスなどの作業性も改善できた。ドア開放時の状態を示す図1からは、ターゲット交換を要するスパッタリングカソードや皮膜堆積が発生する成膜マスク部などの作業頻度の高い部分は、ドア開放状態で非常にアクセスしやすいことがわかる。フィルム搬送系に関して、フィルム搬送系が外部に搬出される構成と同等の作業性を確保している。

以上、当社のW35シリーズロールコータの構造面での特徴を解説したが、次章では本装置に搭載されるプロセス機器について解説する。

2. 前処理および成膜プロセス

2.1 前処理

有機物であるプラスチックフィルム基板の表面は、スパッタによる無機膜形成に適していない状態のものもある。このような場合、皮膜の密着確保のために、イオン、プラズマ、紫外線などの照射による前処理が有効である。本装置では、真空中での前処理後フィルムを大気に開放することなく成膜が行える機構とし、イオンビーム照射・プラズマ照射の2通りの機構を用意している。

イオンビーム照射機構としては、ライン状のイオンビームを生成可能なALS（アノードレイヤソース、図3）が搭載可能である。ALSでは500eV～1.5keV程度のエネルギーを有するAr、O₂、N₂などのガスのイオン照射が可能である。イオンビームの照射は、フィルム表面の付着物の脱離やスパッタリングによるエッチングの作用をもたらすほか、酸素などの反応性のガスイオンを照射した場合には化学的なエッチング作用やフィルム表面への官能基の付与などの効果があるとされる。図4には、ポレオレフィン系のフィルムに対してITO膜を酸素イオンビーム照射あり、無しの両方で成膜した場合のテープ剥離試験後の密着性比較を示しているが、明らかな密着改善の効果がある。

プラズマ照射機構としては、ライン状のプラズマを生成可能なPBS（プラズマビームソース、図5）の選択も可能である。この場合は、フィルムに作用するプラズマの粒子エネルギーはイオンビームに比べると低くなる。このため、処理は相対的にマイルドになる。高エネルギー

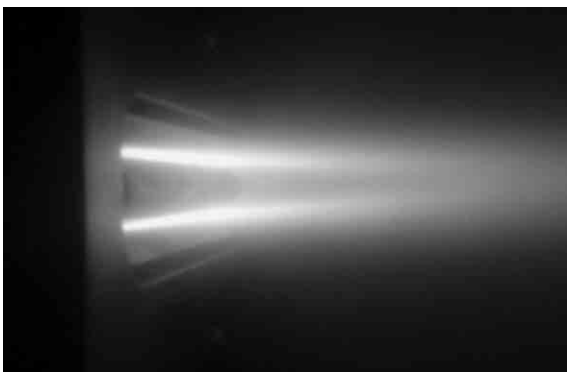


図3 前処理機構（イオンビーム照射，350mm幅）

Fig. 3 Anode layer source (for ion beam treatment, 350mm wide)

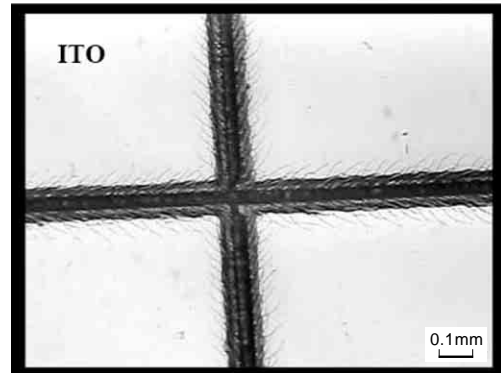
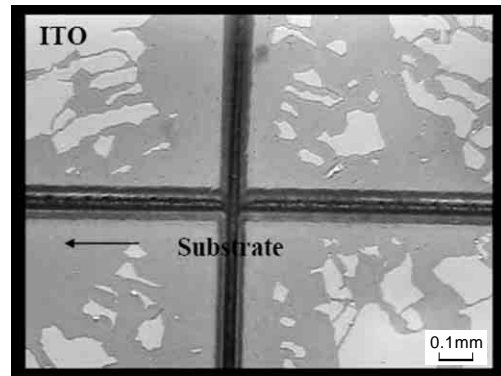


図4 イオンビーム照射の効果（上：照射なし，下：照射あり）
Fig. 4 Effect of ion beam treatment (upper: ITO coating without ion beam treatment, bottom: ITO coating with ion beam treatment)

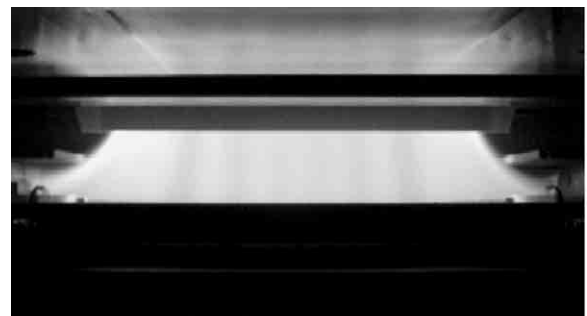


図5 前処理機構（プラズマ照射，350mm幅）

Fig. 5 Plasma beam source (for plasma treatment, 350mm wide)

のイオン照射がフィルム表面に与えるダメージが問題を引き起こす場合には、プラズマ照射が有効な場合もある。

2.2 スパッタ成膜

皮膜形成を行うスパッタリングカソードは左右のドア部に設置可能で、UBMS（アンバランスマグネトロンスパッタ）およびDMS（デュアルマグネトロンスパッタ）の2種類の特色あるスパッタ蒸発源のいずれかを皮膜の種類や用途に応じて選択して搭載が可能である。スパッタカソードは下部ポートにも搭載可能で、最大で3台まで搭載できる。

UBMS蒸発源²⁾（図6）は、磁場形状の工夫により発生したプラズマが皮膜形成を行う領域にまで広がる蒸発源である。主に金属膜やITOなどの透明導電膜の成膜に使用し、プラズマの照射による皮膜の結晶化や緻密化による膜質の改善、反応性の向上などが期待できる。例えば、透明導電膜であるITO皮膜の低温成膜時における特性改善の効果があり、フィルム基板上に350～400μm水準の抵抗率の皮膜の形成が可能で、10～30 /

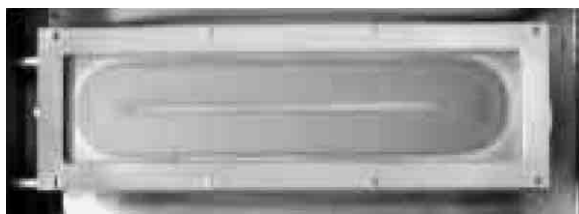


図6 UBMS スパッタ蒸発源 (500mm 幅)
Fig. 6 Unbalanced magnetron sputter cathode (500mm wide)



図7 DMS(デュアルマグネトロンスパッタ)蒸発源(500mm 幅)
Fig. 7 Dual magnetron sputter cathode (500mm wide)

水準の低抵抗皮膜の形成も可能である。

SiO_x, TiO₂ などの絶縁性皮膜の成膜は、導電性の金属ターゲットから反応性スパッタリングにより行うが、この際に問題になるのが絶縁性皮膜の装置内部への堆積に伴うアノード消失の問題である。この問題を解消するのがDMS 蒸発源³⁾である。DMS 蒸発源(図7)は、図のように並置した2台のスパッタカソードを中間周波数の交流電源の両極に接続するもので、2台の蒸発源が交互に負極・正極として動作する。負極として動作する間に表面がスパッタされることでターゲット表面は常に導電性に維持されるため、アノードとしての機能を長時間維持し、安定的に放電を維持できる。スパッタロールコータでは大面積のフィルムを処理するため、蒸発源の連続動作時間は長くなり、このような安定性はきわめて重要である。

加えて、スパッタ電圧や発生するプラズマからの発光をモニタリングして酸素など反応ガス流量を高速制御して、スパッタの放電モードをいわゆる遷移領域に保つ技術も使用され、高い成膜速度を実現している。

2.3 その他の成膜処理

本装置には別の成膜機構として、硬質皮膜形成用のプロセスとして評価の高いAIP(アークイオンプレATING)蒸発源の搭載も可能である。AIP 蒸発源はスパッタ蒸発源と同様に固体のターゲットから蒸発を行うため、スパッタ蒸発源の代わりに搭載可能であり、蒸気のイオン化率が高いイオンプレATINGの特性を生かした成膜が可能である。

本装置の成膜ロール下部の空間は多様なユーザーズに応えるスペースである。底部には大型のボトムポートを有し、3台目のスパッタカソードの増設、あるいはエレクトロンビームによる真空蒸着の機構の搭載もお客様のニーズに応じて可能である。

PVDに加えてCVDによる成膜の検討を行いたいとの

要望も強く、プラズマCVDによる成膜機構の搭載も可能である。プラズマCVDの方式としては、成膜中のフィルムが直接プラズマにさらされるPDP(ペニングディスクチャージプラズマ)型、リモートプラズマ方式のPBS型の2通りを準備しており、SiO_xなどの酸化皮膜をHMDSOなどの比較的安全な原料ガスからスパッタの10倍以上の高成膜レートで形成可能である⁴⁾。

3. シリーズ化(量産対応装置)

W35シリーズで採用したフィルム搬送系をチャンバ内に据置き、成膜機構を搭載した左右両ドアを開放する装置構成は各方面で評価が高く、当該構想を採用した生産機を望む声も寄せられている。このような声にこたえ、当社では量産規模にも対応したロールコータ(W40シリーズ)の計画にも着手している。

W40シリーズでは、W35シリーズの小型・省スペースを実現する基本構成を踏襲した上で、量産規模のフィルムロールが搭載可能なボリュームと、チャンバ内を機能単位分割したセグメントを独立に真空排気可能な構造を採用し、1回のフィルム走行の間に、脱ガス、前処理、および複数の皮膜形成を順次行うことが可能な量産機としての機能が盛り込まれる。成膜のプロセス機器はW35, W40両シリーズ間では極力互換性を持たせており、W35シリーズでの開発の成果を織込んだ設計を行うことでスムーズな量産移行が可能ないように考慮してある。

むすび=本装置はコンパクトなR&D用のロールツーロール成膜装置として、技術開発、試作、少量生産に最適な装置として紹介開始以降、各方面で高い評価を頂戴している。R&Dツールとして適切なサイズを持ちながら、幅広いプロセスに対応が可能な本システムは、今後多くの研究開発が必要となるフレキシブルエレクトロニクス分野で機能性薄膜形成に大いに活用いただけるものと確信している。参考までに、表2には本システムが活用いただけると思う用途、分野を挙げた。

表2 スパッタロールコータの適用用途
Table 2 Applications of sputter roll coater

Applications	Substrate	Film
Touch panel Conducting electrode EM shield	PEN PET	ITO TCO
Permeation barrier	PEN PET PES etc.	SiO _x SiON AlO _x
Flexible print circuit	PI	Cu/NiCr
Flexible solar cell	PI, Metal foil	Mo
Reflector	PET	Ag Ag-alloy
LowE	PET	ITO/Ag multi-layered
Anti-reflection	PET	SiO ₂ /TiO ₂
Capacitor	Al	TiN, Cabon

当社ではこの W35 シリーズスパッタロールコータ(フィルム幅 350mm) をテスト設備として当社内に設置し、当社の技術開発に活用するとともに、ロールフィルムへのサンプル試験や、装置導入にあたっての事前検証や生産装置設計のための基礎データ採取などお客様のニーズにこたえる運用を開始している。本装置の製造販売、およびテスト設備を活用した R&D により、今後のロールツーロール成膜技術の発展に貢献できれば幸いである。

参 考 文 献

- 1) E. O. Dierich et al. : SVC 40th Tech Conf Proceedings(1997) p.354.
- 2) 玉垣 浩ほか : コンバーテック 2004.6,(2004) pp.64-67.
- 3) S. Schiller et al. : Surface & Coating Technology 61,(1993) p.331.
- 4) 玉垣 浩ほか : コンバーテック 2006.9,(2006) pp.66-69.