

## フレキシブル OLED ディ스플레이向け封止 ALD 装置

### 1. はじめに

近年、OLED (Organic Light Emitting Diode: 有機発光ダイオード) は、スマートフォンや大型テレビなどに適用され、その市場は拡大中であるが、その中でもフレキシブル OLED ディ스플레이が特に注目されている。フレキシブル OLED ディ스플레이においては、従来のガラス封止に代わる封止膜として、CVD (Chemical Vapor Deposition: 化学気相堆積) 膜と樹脂を積層する構造が検討されてきたが、十分な繰り返し折り曲げ耐性が得られないという問題があった。そこで、その課題を解決する手段として、ALD 法 (Atomic Layer Deposition: 原子層堆積) が注目を集めている。当社では、ALD 膜をフレキシブル OLED ディ스플레이封止膜へ適用することを目的とし、ALD 装置開発及び販売を行っている。

当社では、ALD 膜をフレキシブル OLED ディ스플레이封止膜へ適用することを目的とし、ALD 装置開発及び販売を行っている。本報では、当社の ALD 装置の特徴、仕様、膜特性等について紹介する。

### 2. ALD 膜の特徴と封止膜への適用

ALD 法は、薄膜を原子層単位で成膜する技術であり、図 1 に示したように、段差被覆性に優れた膜が得られる。この特性により、ALD 膜は、水蒸気パスとなるデバイスの欠陥やパーティクルを薄膜で覆うことが可能となる。例えば、CVD/ALD 積層構造においては、従来の CVD/樹脂積層構造よりも、薄膜化が可能のため、繰り返し折り曲げ耐性が向上し、フレキシブルディスプレイへの適用が可能となる。

しかしながら、パーティクルの形状や大きさ、封止膜厚次第では、基板からのパーティクル脱落を完全に防止できず、それに起因する封止性能の低下が確認されている。すなわち、高い封止性能を得るには、封止工程で生成されるパーティクルの数やサイズを、可能な限り低減する必要がある。

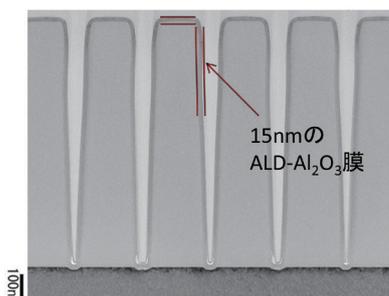


図 1 ALD 膜の段差被覆性

### 3. 装置の特徴、仕様

#### 特徴 1: プラズマ ALD 装置

OLED ディ스플레이向けには、100℃以下の低温成膜が必要となる。そこで、当社では平行平板型プラズマ ALD 装置を採用している。ALD 装置は、プラズマを使用しないサーマルタイプが一般的であるが、100℃以下のような低温では、プラズマを利用しなければ、封止性の良い緻密な膜を得ることが困難である。よって、プラズマを採用することが好ましい。

#### 特徴 2: パーティクル対策/ラテラルフロー方式

当社は、反応ガスを基板に対して水平方向に供給するラテラルフロー方式を採用している。膜厚均一性を確保する目的として、図 2 の上部に示したトップフロータイプが、CVD や ALD 装置では一般的である。しかし、CVD と比較して ALD では、反応性が高いガスが利用されるため、ガス供給口付近で原料ガスが過剰に反応し、これがパーティクルの源となり易い。よって、基板上部に反応ガス供給口が存在すると、基板上に到達するパーティクル数が増加する傾向にある。

また、ALD では、数秒単位でガス種と成膜室内部の圧力が変化する。このような環境下では、異常放電の生じる確率が高くなり、放電時の衝撃で装置内堆積物が剥離し、パーティクルを生じる危険性がある。よって、RF 電極は、凹凸やガス吹き出し口のない簡素な構造であることが好ましい。ここでは詳細な紹介は割愛するが、その他にもガス供給部、成膜室の内部構造に特殊技術を用いることで、パーティクル低減対策を行っている。

ラテラルフローの欠点は、ガスの均一供給が難しいこと

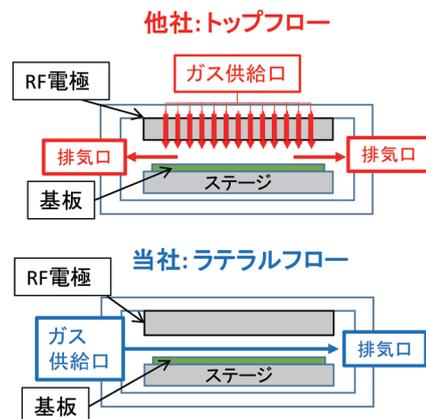


図 2 プラズマ ALD 装置ガス供給手法比較

であるが、独自の特殊技術を用いることで克服しており、G5サイズの装置においても、良好な面内膜厚均一性が得られている。

表1に装置の仕様を示す。ガラス基板サイズは、G2からG6Hまで対応可能である。膜種は $\text{Al}_2\text{O}_3$ と $\text{SiO}_2$ である。図3には、G5 ALD装置外観を示した。

特徴3：パーティクル対策／ドライクリーニング技術

さらに、パーティクル低減対策として、 $\text{SiO}_2$ 膜の封止膜への適用も可能である。 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 膜はドライクリーニングが困難な膜であるが、 $\text{SiO}_2$ 膜では可能となる。よって、成膜室の大気開放を実施することなくメンテナンスを行うことが可能となり、大気中からのパーティクル取り込みを抑制することが可能となる。また、メンテナンスが容易となるため、高頻度でクリーニングを実施することにより、常に清浄な装置状態を保つ事が可能となる。一般的に、 $\text{SiO}_2$ 膜は $\text{Al}_2\text{O}_3$ 膜よりも封止性は低いが、CVD膜、樹脂膜等との積層方法を最適化することにより、良好な封止性能が得られることがわかっている。

表1 ALD装置仕様

項目	仕様
全体構成	プロセスモジュール×1 電装盤×1 排気ユニット×1 オプション：マスクモジュール オプション：ロード・ロックモジュール
マスク成膜	可
基板サイズ	G2～G6H
膜材料	$\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{SiO}_2$
反応系	$\text{Al}_2\text{O}_3$ : TMA + プラズマ酸素 $\text{SiO}_2$ : Si前駆体 + プラズマ酸素
成膜温度	$\leq 120^\circ\text{C}$ (常用 $80^\circ\text{C}$ )
バックグラウンド圧	$\leq 2\text{Pa}$ オプション: $\leq 1\text{E}-4\text{ Pa}$ (TMP)

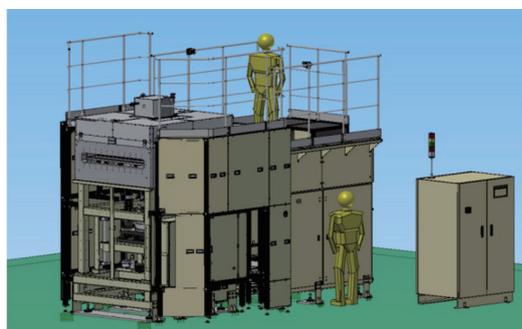


図3 G5 ALD装置の外観

## 4. ALD膜特性

表2に $80^\circ\text{C}$ 成膜における $\text{Al}_2\text{O}_3$ 膜および $\text{SiO}_2$ 膜の基本特性を示した。いずれの膜においても、成膜速度 $\geq 5\text{nm}/\text{min}$ 、膜厚均一性 $\leq \pm 3\%$ が可能である。光学的、機械的

特性も、OLED封止膜に適した値である。

図4には、単層CVD膜とCVD/ALD/CVD複合膜のWVTR (Water Vapor Transmission Rate: 水蒸気透過率) 比較を示した。単層CVD膜厚は $150\text{nm}$ である。CVD/ALD/CVD複合膜の合計膜厚は、 $120\text{nm}$ であり、単層CVDよりも薄膜であるが、ALD膜を利用することで、WVTRは $< 1\text{E}-6\text{gm}^{-2}\text{day}^{-1}$ とOLED封止膜への適用可能な値を得ることができる。

また、CVD膜とALD- $\text{Al}_2\text{O}_3$ 膜の複合膜によるOLED発光加速試験を実施し、雰囲気条件が温度 $60^\circ\text{C}$ 、湿度 $90\%$ において $1500\text{h}$ 以上の封止性能を確認している。さらに、膜厚の条件にもよるが、ALD- $\text{SiO}_2$ を適用した際にも、 $1500\text{h}$ を超える封止性能が得られることを確認済みである。

ALD膜の曲げ耐性についても、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 膜 $50\text{nm}$ の厚さにて、曲げ半径 $5\text{mm}$ 、十万回の折り曲げ試験後のWVTR値が、折り曲げ試験前と同値であることを確認している。現在、曲げ半径 $< 5\text{mm}$ に向けた、柔軟ALDプロセス・装置の開発に取り組んでいる。

表2  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 膜および $\text{SiO}_2$ 膜の基本特性

項目	$\text{Al}_2\text{O}_3$ 膜	$\text{SiO}_2$ 膜
成膜レート	$\geq 5\text{nm}/\text{min}$	$\geq 5\text{nm}/\text{min}$
膜厚均一性	$\leq \pm 3\%$	$\leq \pm 3\%$
屈折率	$\geq 1.60$	$\geq 1.45$
膜応力	$\leq \pm 100\text{MPa}$	$\leq \pm 300\text{MPa}$
光透過率 ( $300\text{nm}-800\text{nm}$ )	$\geq 95\%$	$\geq 98\%$

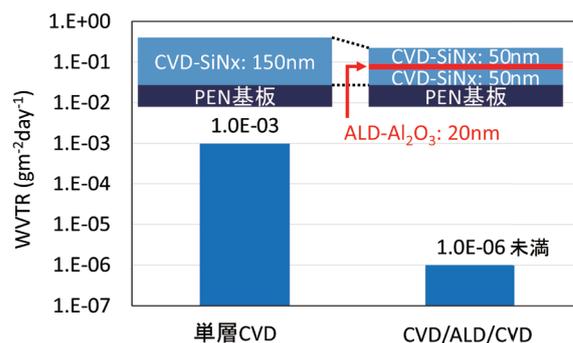


図4 単層CVD膜とCVD/ALD/CVD複合膜のWVTR比較

## 5. おわりに

フレキシブルOLEDディスプレイの中でも、ベンダブル、フォルダブルディスプレイの上市が特に期待されており、封止膜の薄膜化、柔軟化は必須技術である。当社は、今後もALD装置技術の差別化を図り、市場の要求に応えられる製品を開発、提供していく。