

平成 20 年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「FPD用ガリウム添加酸化亜鉛透明導電膜の低温成膜装置の開発」

研究開発成果等報告書

平成 2 1 年 3 月

委託者 関東経済産業局

委託先 山梨県中小企業団体中央会

目 次

第1章	研究開発の概要	1
1-1	研究開発の背景と目標	1
(1)	背景	1
(2)	目標	2
1-2	研究体制	4
1-3	当該プロジェクトの連絡窓口	4
第2章	酸素プラズマ装置の開発	5
2-1	研究開発の経緯と平成20年度の重点課題設定	5
2-2	酸素プラズマ装置の性能向上 - 1号機を用いた実験 -	8
(1)	成膜速度の向上	8
(2)	650mmにわたる均一性の向上	9
2-3	2号機酸素プラズマ装置の運転と改良点の抽出	11
(1)	2号機の概要	11
(2)	活性酸素の2次元供給分布の計算モデル	11
(3)	y方向分布	12
(4)	基板移動の効果	13
第3章	亜鉛原料装置の開発	14
3-1	原料装置の運転と改良点の抽出	14
(1)	原料供給分布の計算モデル	14
(2)	y方向分布	14
(3)	基板移動の効果	15
第4章	基板保持装置の開発	16
4-1	2号機基板保持装置の運転と改良点の抽出	16
第5章	全体総括	17
5-1	研究成果	17
(1)	従来技術と新開発技術の比較	17
(2)	新技術の用途	17

(3) 開発された製品・技術のスペック	-----17
5 - 2 事業化の検討状況	-----18
参考文献	-----18

第 1 章 研究開発の概要

1 - 1 研究開発の背景と目標

(1) 背景

新三種の神器といわれるデジタルカメラ、DVD ビデオ、薄型テレビに携帯電話を加えたいわゆる 4D の平成 15 年の市場は 2.9 兆円であり、8 年後には 26.1 兆円、関連産業への波及効果を加えると 37.8 兆円と試算されている。これらの製品に使用されているフラットパネルディスプレイ（以下、FPD と略記する。）に不可欠な液晶・プラズマ表示パネル、有機 EL パネル、電子ペーパーなどへの高機能化、低価格化の要求が、近年ますます高まっている。以上のデバイスの要素部品に透明導電膜がある。

現在、透明導電膜には酸化インジウムスズ膜（以下、ITO 膜と略記する。）が広く用いられているが、本研究開発の川下製造業者である FPD 製造業者にとって、インジウムは高価のみならず資源枯渇の問題をかかえており、他材料への転換が急務である。また、現在の ITO 成膜技術はスパッタリング法が主流であるが、成膜法自体が複雑であるため、川下製造業者にとって、生産性、生産コストが問題となっている。

ITO 膜に代わる透明導電膜として、資源が豊富で安価かつ優れた性能を持つガリウム添加酸化亜鉛膜（以下、GZO 膜と略記する。）の研究が進んでいる。GZO 膜の成膜法としては、今までに報告されている主なものとして、スパッタリング法、有機金属化学気相（MOCVD）法、スプレー熱分解法などがあるが、これらに関しても電気抵抗率の不均一、大量の廃ガスによる環境負荷、高い成膜温度などの問題がある。これらの欠点を補う方法として、レーザーデポジション法や反応性プラズマ蒸着法などが研究されているが、これらの方法も高い技術コスト、有毒ガスの使用、大きな運転電力などの問題をかかえている。

本研究開発では、これら問題を解決するために平成 16、17 年度に実施した「地域新生コンソーシアム研究開発事業」の容量結合型高周波グロー放電活性酸素を用いた成膜技術に関する成果を基に、省資源・省エネルギーな成膜法を実用型の 1180mm×650mm 基板（以下、50V 型基板と略記する。）に適用させた高品質低価格 GZO 低温成膜装置を開発する。本技術によれば低温プロセスでプラスチック等のフレキシブルシート上に安価な GZO 成膜が可能になるため、これらの成果は川下製造業者の最終製品への応用範囲をさらに広げることに期待が繋がる。

(2) 目標

成膜法がシンプルであり、消費電力も少なく、現行の酸化インジウムスズ膜の置換が可能な GZO 膜の成膜技術と成膜装置を開発する。本技術によって透明導電膜の高生産性、低コスト化が可能になり、さらに、低温プロセスでプラスチック等のフレキシブルシート上に安価な成膜が可能になるため、最終製品への応用範囲はさらに広がり、従来の膜にはない特長を持つことによる発展性も大きく、次世代用途としてのニーズは高い。

研究開発の概要を図 1.1 に示す。本研究開発に先立って平成 16、17 年度に実施した経済産業省の「地域新生コンソーシアム研究開発事業」で培われたこれらに関する基礎研究の成果を 50V 型基板に適用して、川下製造業者である FPD 製造業者の課題・ニーズに応える GZO 低温成膜装置の商品化のために、量産試作機の開発を目指す。

具体的な開発項目は以下のとおりである。

1. 酸素プラズマ発生装置の開発

50V 型基板に成膜した GZO 膜の電気抵抗率 1×10^{-4} cm、可視光透過率 80% 以上、成膜速度 $1 \mu\text{m}/\text{h}$ 、膜厚面内分布 $\pm 5\%$ 以下に対応できる酸素プラズマ発生装置を開発する。

2. 原料装置の開発

50V 型基板に成膜した GZO 膜の電気抵抗率 1×10^{-4} cm、可視光透過率 80% 以上、成膜速度 $1 \mu\text{m}/\text{h}$ 、膜厚面内分布 $\pm 5\%$ 以下に対応できる原料装置を開発する。

3. 基板保持機構の開発と自動シーケンスソフト開発

50V 型基板の長辺にわたる均一性を確保するための基板保持装置を開発する。

FPD用ガリウム添加酸化亜鉛透明導電膜の低温成膜装置の開発

従来成膜技術

ITO透明導電膜の成膜技術

課題

- ◆ 原料価格が高い
- ◆ 希少金属(インジウム)の枯渇

ZnO薄膜の成膜技術

スパッタリング法

反応性ガスマ蒸着法

Arイオン

ガラス

ZnO + GaO₃ 焼結体

課題

- ◆ ZnO膜の純度・品質が低い
- ◆ 成膜温度が200°C以上と高温
- ◆ ガラス基板に成膜できない
- ◆ 技術コストが高い
- ◆ 製造装置のランニングコストが高い

低温プロセス法

基板温度制御

低真空チャンバー

面結原料

副酸化雰囲気内壁

酸素原料

基板

出願特許

日本 特願2005-237141

米国 11,377,204

韓国 10,012,405(00a)

EU EP2004/36344

特徴

- ◆ 低電力・低真空・低ランニングコスト
- ◆ 低い成膜温度
- ◆ ガラス基板への成膜が可能
- ◆ 排ガスがなく環境にやさしい

課題

- ◆ 成膜サイズは100mm角まで
- ◆ 成膜速度が遅い

新開発する成膜技術

スライド機構を有する基板ホルダー

大型基板

Znセル

Gaセル

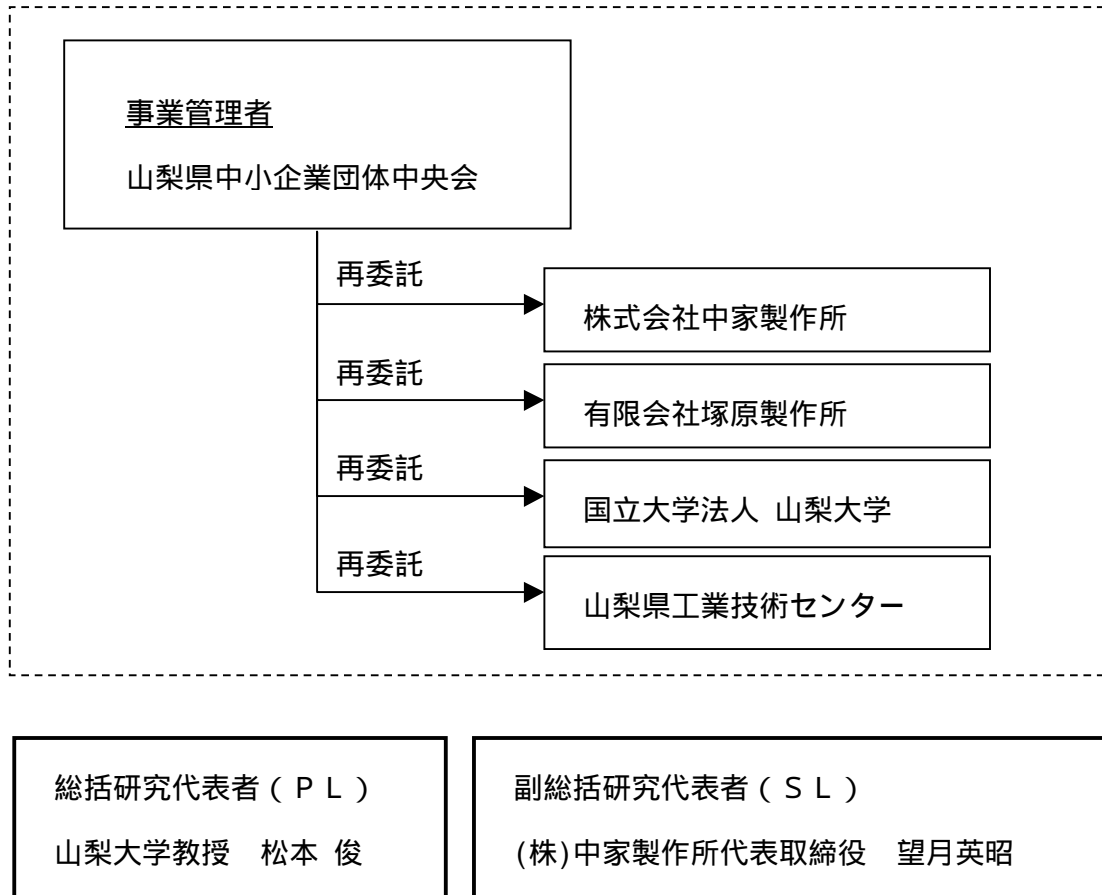
酸素セル

特徴

- ◆ 50V型テレビ(1180×650mm)に使用可能なガラス基板に成膜可能
- ◆ 希少金属を使用せず、豊富で安価な原料のみを使用
- ◆ 90～290°Cでの低温成膜が可能
- ◆ フレキシブルシートへの応用が可能
- ◆ 新型酸素ガス発生装置による生産性向上
- ◆ 低電力・低真空・生産コスト低減を実現
- ◆ 稼働時間を抑えることで、時間とコストを低減

図 1.1 研究開発概要図

1 - 2 研究体制



1 - 3 当該プロジェクトの連絡窓口

〒400-0035 山梨県甲府市飯田 2 - 2 - 1

山梨県中小企業団体中央会

窓口担当者 窪田 学

Tel:055-237-3215 Fax:055-237-3216

E-mail: kubota@chuokai-yamanashi.or.jp

第2章 酸素プラズマ装置の開発

2-1 研究開発の経緯と平成20年度の重点課題設定

本事業のシーズは、平成16～17年度の「地域新生コンソーシアム研究開発事業」で開発・蓄積した酸化亜鉛透明導電膜の低温成膜に関する技術である。平成20年度の研究成果を記述する前にこれまでの経緯を簡単に述べ、それに基づいて設定した20年度重点課題について述べる。

本技術は山梨大学で開発されたプラズマ支援堆積法を基礎とし、金属亜鉛、金属ガリウム、酸素ガスを原料としてGZO膜を製作する。図2.1に示すように適度な真空度に保持した成膜容器内で主原料の金属亜鉛を加熱蒸発させる。もう一つの主原料である酸素は酸素ガス容器から成膜容器内に流入させるが、流路の途中に設置したプラズマ容器内でグロー放電を発生させ活性化した酸素原子ラジカルとして成膜空間に供給する。膜の電気抵抗を下げるために膜中に微量添加するガリウム（以下Gaと記す）は亜鉛（以下Znと記す）と同じく加熱蒸発させる。基板表面に到着した酸素ラジカル、Zn原子、Ga原子が反応しGZO薄膜が堆積する。Zn、酸素、Gaの供給量を完全に独立に最適制御することで高品質膜が得られるばかりでなく、透明導電膜の広範

な仕様の要求に容易にかつ迅速に対応できる。さらに、酸素ラジカルの高い反応性を利用してZnOを合成するので、酸素とZnを反応させるのに必要なエネルギーのすべてを基板から熱エネルギーとして与える必要がなく低温成膜が可能になり、耐熱性の低い各種プラスチック基板にも対応できる。従来技術のスputtering法ではあらかじめ組成を調整したターゲットにイオンを照射・蒸発させて所望組成の膜を成膜す

るので膜仕様に対応させたターゲットが必要となる。また、スputtering法では成膜空間に多量のイオンが存在するため、成膜中の膜がイオン衝撃を受けて膜質が劣化する。本技術ではイオンはプラズマ容器内に閉じ込められて中性の酸素原子ラジカルのみを成膜空間に供給するのでイオン衝撃を受けない高品質膜が得られる。

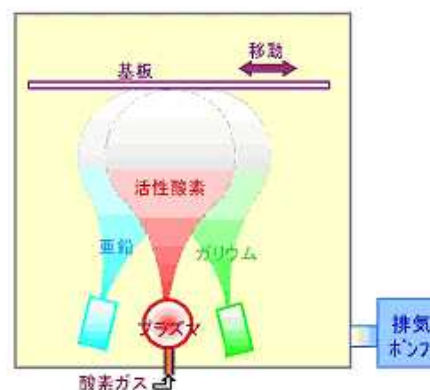


図 2.1 プラズマ支援堆積法

図 2.2 と図 2.3 にいろいろな Ga 添加量で 100mm × 100mm のガラス基板上に成膜した GZO 膜の電気抵抗率と可視光透過率を示す。抵抗率は Ga 添加量によって 10^{-2} cm 台から 10^{-4} cm 台にわたって制御可能で、波長 400 ~ 800nm の可視光に対する透過率は Ga 添加量によらず良好である。ガラスおよび各種プラスチック基板上に成膜した ZnO 薄膜の写真を図 2.4 に示す。本技術は耐熱温度が低いプラスチック基板にも良好な成膜が可能である¹⁾。

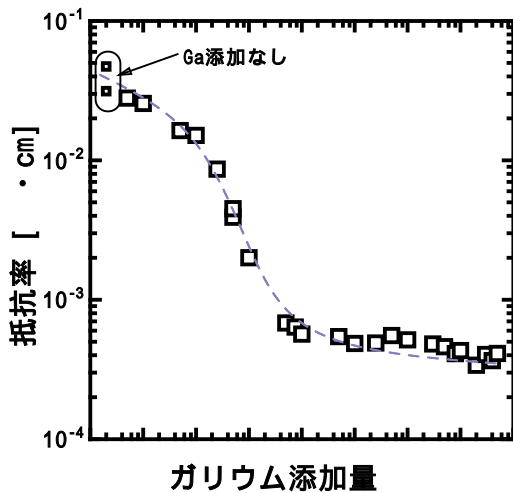


図 2.2 GZO 薄膜の抵抗率

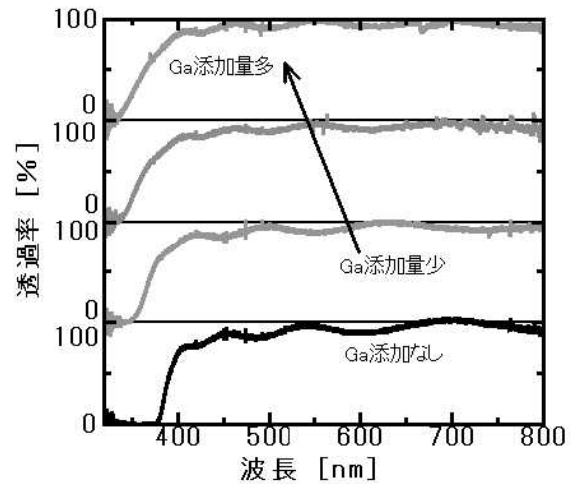


図 2.3 GZO 膜の可視光透過特性

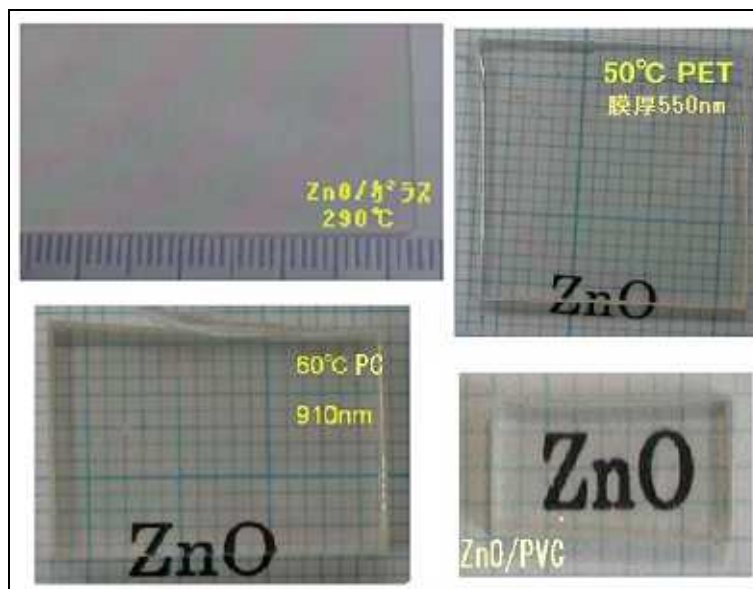


図 2.4 各種基板上に成膜した ZnO 薄膜

上左：ガラス基板、上右：PET 基板、下左：PC 基板、下右：PVC 基板

上述のように本技術は、GZO 透明導電膜の成膜技術として、抵抗率、透明度、成膜温度で十分な性能を有する。本技術を 50V 型基板の製造技術として実用化するために達成すべき技術課題は大面積対応技術と高速成膜技術である。前者の課題は、大型酸素プラズマ装置と大型原料装置、および 基板移動成膜で達成する。図 2.5、図 2.6 のそれぞれの概念を示す。コンソーシアム事業で開発した 100mm×100mm 基板用の酸素プラズマ装置と亜鉛原料装置はいずれも基板側から見れば点状のソースであり、大面積基板に均一に原料を供給することができない。50V 型基板全体に同時に均一に原料を供給する方式の酸素プラズマ装置および原料装置は装置コスト運転コストの両面から得策でないので、[50V 型基板の短手方向 650mm にわたる均一成膜] と [長手方向への基板移動技術] を組み合わせて大型基板全面への均一成膜を達成する。

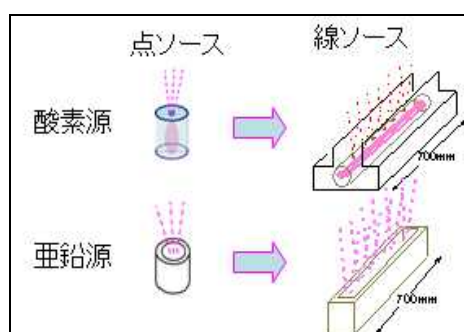


図 2.5 大型原料装置の概念図

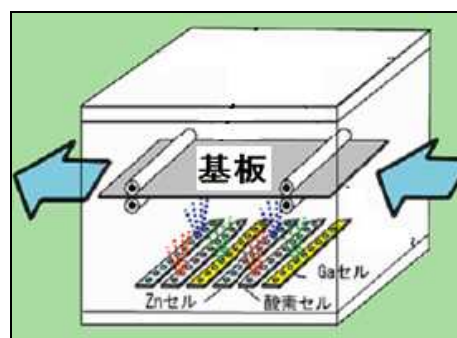


図 2.6 基板移動成膜の概念図

平成 18-19 年度には 650mm にわたって酸素および亜鉛原料を供給できる長尺酸素プラズマ装置と亜鉛蒸発源を組み込んだ 1 号機を設計試作し、成膜実験を行った。1 号機の外観を図 2.7 に、650mm×100mm ガラス基板に成膜した ZnO 膜を図 2.8 に示す。



図 2.7 GZO 成膜装置 1 号機

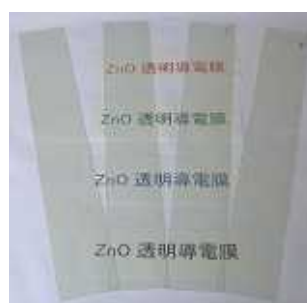


図 2.8 1 号機で成膜した ZnO 薄膜

1号機の長尺酸素プラズマ装置と長尺亜鉛原料装置から酸素原料と亜鉛原料が供給される様子を模式的に図 2.9 に示す。この方式で 650mm にわたる膜厚均一性 $\pm 12\%$ 、成膜速度 $0.24 \mu\text{m/h}$ を得、膜厚分布と成膜速度は酸素原料と亜鉛原料の基板表面への到着量分布を反映していること、成膜速度は特に酸素原料の供給量で制限されていること、がわかった。平成 20 年度の重点項目の第一として酸素プラズマ装置の改良を設定した。

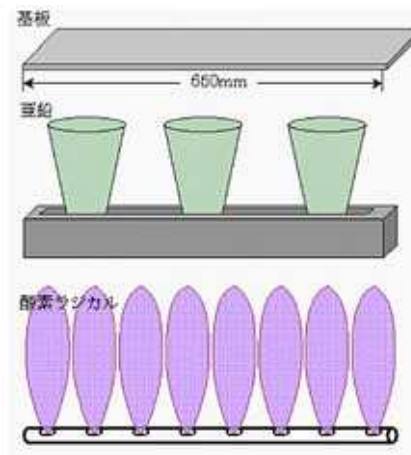


図 2.9 長尺酸素プラズマ装置と原料装置からの原料供給の様子

2 - 2 酸素プラズマ装置の性能向上 - 1号機を用いた実験 -

(1) 成膜速度の向上

成膜速度を向上させるためにはプラズマセルから基板表面に供給する酸素ラジカル強度を増大させればよい。噴出ラジカル強度に影響を与える要素を図 2.10 に示す。単位時間あたり流量 F の酸素ガスがプラズマセルに流入し、プラズマセルに供給されるマイクロ波電力 W で活性化される割合すなわちラジカル生成率を η とすれば、噴出口から噴出するラジカル量 I は $F \cdot \eta$ である。 η はマイクロ波電力 W とプラズマセル圧力 P の関数、 P は流量 F と噴出孔径 D の関数である。これらの関係を考慮して $F \cdot \eta$ が最大になる F と D を決定するために、いろいろな形状と噴出孔径のプラズマセルを試作し、成膜実験を行い、酸素流量と穴径の関係が最適になるように改良した。酸素プラズマセル改良前後の成膜速度を図 2.11 に示す。

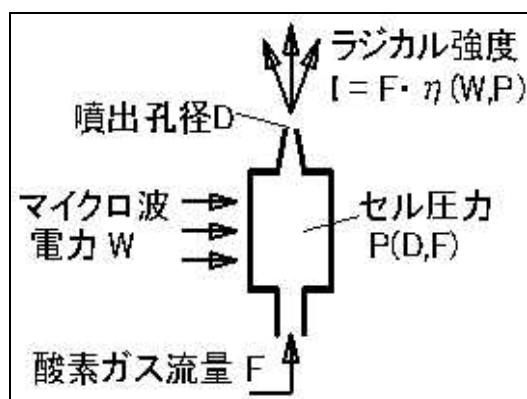


図 2.10 酸素ラジカル強度に関する要素

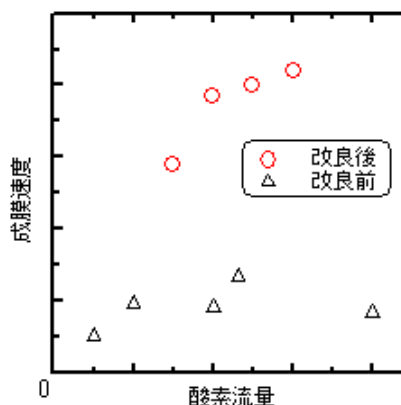


図 2.11 酸素セル改良前後の成膜速度

(2) 650mm にわたる均一性の向上

酸素プラズマ装置には基板の 650mm 方向に沿った直線上に酸素ラジカル噴出孔が等間隔で配置されており、各穴から酸素ラジカルが図 2.9 のように噴出する。各穴から供給される酸素ラジカルの量を基板表面で加えあわせれば基板の各場所への酸素原料供給量が求まる。

酸素噴出穴と基板の位置を図 2.12 のように定め、 $x=x_n$ にある噴出孔から噴出した酸素ラジカルのうち x 方向に進行するものの割合が \cos^n に比例すると考えて基板表面の $x=x_0$ の位置にある単位面積に到着する量を計算した結果を図 2.13(b) に示す。各穴からの寄与とそれらの総和が示してある。図 2.13(a) は長さ 650mm のガラス基板上に成膜した試料

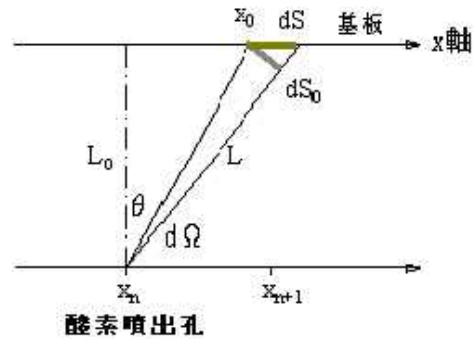


図 2.12 酸素供給分布の 1次元モデル

について測定した膜厚分布である。この試料は、亜鉛供給量を十分に多くして酸素供給分布が膜厚分布を決定するような条件で成膜した。膜厚分布は大きく M 字型を示すが、詳細に見ると各酸素噴出孔の位置に対応して膜厚分布にコブが見られる。このコブの存在は、成膜速度が酸素供給分布の影響を受けていることの反映である。図 2.13(b) の全酸素供給分布は両端で低下しているが中央部は平坦であり、図 2.13(a) の測定分布と異なる。

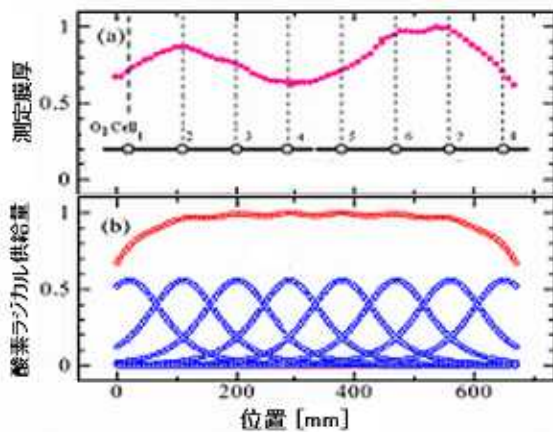


図 2.13 x 方向 650mm にわたる膜厚分布(a)と原料供給分布(b)(c)

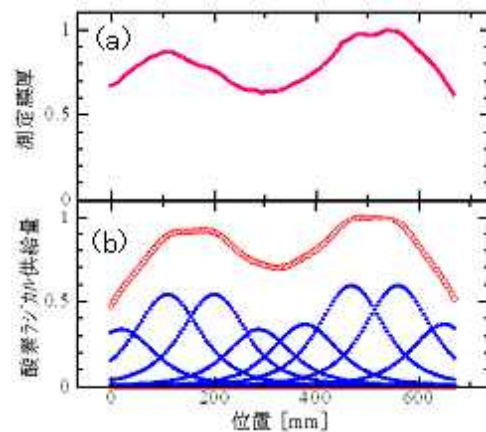


図 2.14 膜厚分布を再現する酸素供給分布

図 2.13 の計算ではすべての穴から等しい量の酸素ラジカルが噴出すると仮定したが、この仮定は成り立たないことがわかった。図 2.14(b)に各穴から噴出する酸素ラジカル量が異なる場合の計算値を示す。酸素プラズマセルの両端と中央部の穴からの酸素ラジカル供給量が少ないと考えれば測定データを説明できる。

次に、酸素プラズマセルから噴出する酸素ガスの流出量をコンピュータシミュレーションにより求めた。用いたモデルを図 2.15 に示す。T字型セルの中央から酸素ガスが流入し、左右に対称的に分岐し内側噴出孔と外側噴出孔から吹き出すものとする。噴出孔の径の違いにより各穴からの酸素ガスの流出量がどのように変化するかを、熱流体解析ソフトウェア ANSYS CFX11.0 (サイバネットシステム株式会社製) を使用して解析した。今回の解析では、標準状態 (1atm) の酸素ガスを注入し、低真空中へ放出される過程をシミュレーションするため、気体の状態方程式にのっとりた圧縮・膨張を考慮する必要がある。解析には ANSYS CFX11.0 のマテリアルライブラリの中から、酸素の理想気体である「O₂ Ideal Gas」を使用した。解析結果を要約すると、 $D_{in} = D_{out}$ の場合 $F_{in} = F_{out}$ 、 $D_{in} < D_{out}$ の場合 $F_{in} < F_{out}$ 、この結果は噴出孔外側すなわち成膜チャンバー内圧力に依らない。

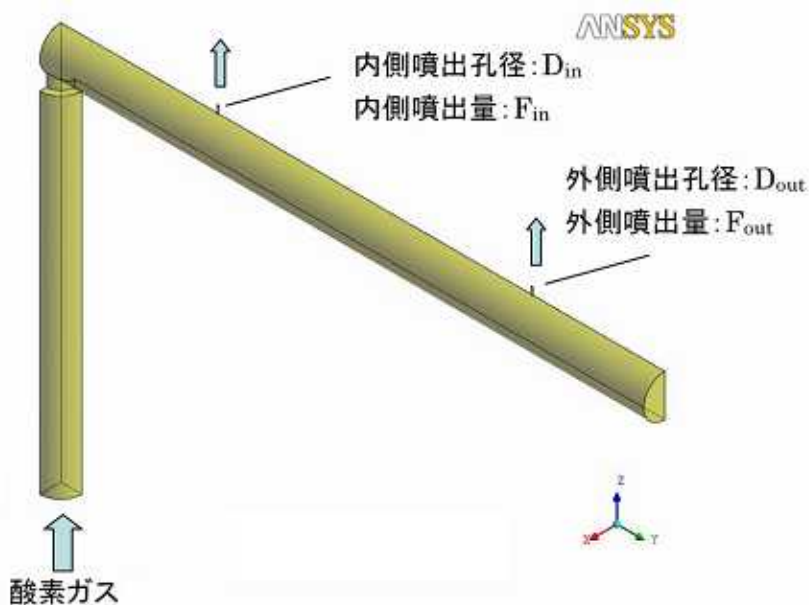


図 2.15 酸素プラズマセルの解析モデル

上記の結果から、噴出孔の直径が等しい場合はすべての孔からほぼ等しい量の酸素流が噴出することがわかった。したがって、各穴からの酸素ラジカル量の違いは酸素ラジカル含有割合の差によると考えられる。各噴出孔における酸素ラジカル含有割合を考慮に入れてプラズマセルを設計することで 650mm にわたる均一性を達成できる。

2 - 3 2号機酸素プラズマ装置の運転と改良点の抽出

(1) 2号機の概要

50V型大型基板への対応を具現する要素技術は基板を移動させながら成膜する技術である。基板移動の効果を検証するために、基板面積 650mm×300mm、300mm 方向に 300mm にわたって速度を調節しながら移動可能な基板保持装置を試作した。長尺の亜鉛原料装置と酸素プラズマ装置は1号機で開発したものを踏襲し、但し成膜速度向上の観点から酸素プラズマ装置は2基並列運転とした。さらに、酸素供給量の増加に対応するために1号機の2倍の排気速度を持たせた。2号機の外観と2号機で成膜した ZnO 膜を図 2.16 と図 2.17 にそれぞれ示す。

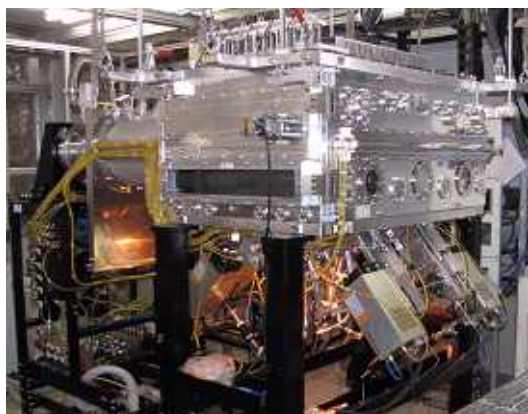


図 2.16 GZO 成膜装置 2号機



図 2.17 2号機で成膜した GZO 薄膜、基板
サイズ：650mm×300mm

(2) 活性酸素の2次元供給分布の計算モデル

本装置で成膜される GZO 膜の膜厚分布は基板表面への亜鉛および酸素ラジカルの到着量分布で決定される。ここでは基板表面の各点の単位面積に単位時間あたり供給される活性酸素量を以下のようなモデルを用いて計算した。2号機における基板に対する各原料装

置の配置を図 2.18 に、詳細な位置関係を図 2.19 に示す。酸素プラズマ装置には複数の酸素ラジカル噴出孔があるが、位置(a,b,c)にある m 番目の噴出孔から基板表面上の位置(x,y,0)の単位面積に単位時間あたり供給される酸素ラジカル量は

$$I_m = \frac{K_m B(\theta) \cos \alpha}{r^2} \quad (1)$$

で与えられる。ここで、 K_m は噴出酸素ラジカルビーム強度、 r は点(a,b,c)と点(x,y,0)を結ぶベクトル、 s のはと噴出孔の中心軸ベクトル、 θ は r と s のなす角、 α は r と z 軸のなす角、 r はベクトル r の大きさ、 $B(\theta)$ はラジカルビームの r 方向の相対強度である。酸素プラズマセルに設けられた噴出孔について和をとって基板表面への酸素原料供給量を求めた。

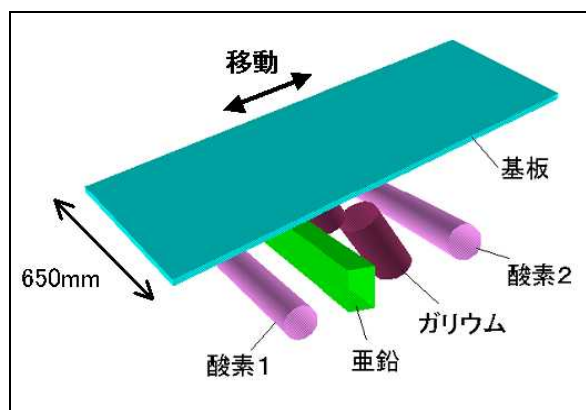


図 2.18 2号機の基板と原料の配置

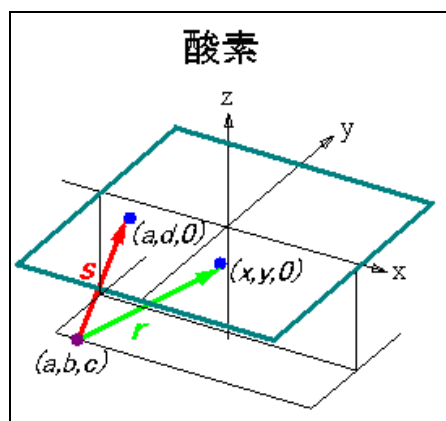


図 2.19 酸素供給分布の計算モデル

(3) y 方向分布

酸素供給量が膜厚を決定する成膜条件すなわち酸素供給律速条件で 650mm × 300mm 基板に成膜して膜厚分布を調べた結果を図 2.20 に示す。成膜中の基板移動は行っていない。手前側 (y の負側) の酸素源と奥側 (y の正側) の酸素源の寄与を分離して調べるために、どちらか一方のみから酸素を供給して成膜した。白抜きのは奥側の酸素源のみで成膜した試料、白抜きでない点は手前側の酸素源のみで成膜した試料のデータである。図中の実線と破線はそれぞれ奥側の酸素源と手前側の酸素源からの酸素供給分布の計算値である。実測膜厚分布は酸素供給分布の計算値とよく一致する。本成膜装置の膜厚分布は上述の供給分布計算モデルで記述できることが確認され、今後の装置設計の基礎が確立できた。

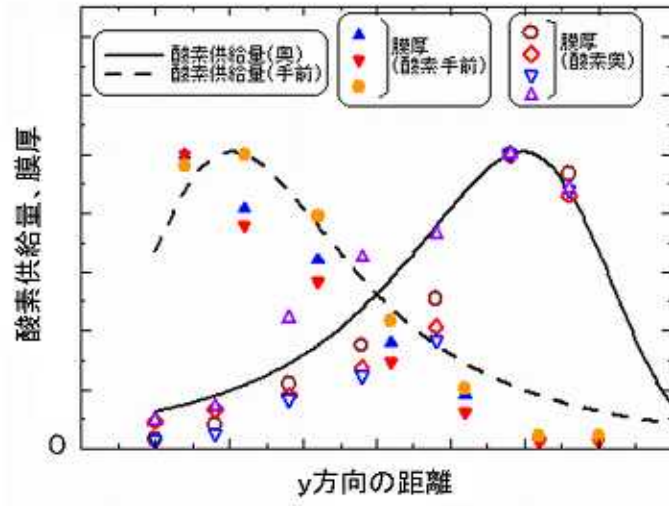


図 2.20 y 方向の酸素供給分布と膜厚分布

(4) 基板移動の効果

基板を移動させながら成膜する場合は成膜中に基板の各場所に供給される原料の総量
 がその場所での膜厚を決定する。図 2.21 の配置で y 方向の長さ 1200mm の基板の手前端
 を $y=-150\text{mm}$ から y 軸の負の向きに等速度で 1000mm 移動させながら成膜したときの酸
 素原料供給量の 2 次元分布の計算値を図 2.22 に示す。移動の前縁部と後縁部に傾斜領域が
 現れるが、不均一移動速度を採用すればこの領域を小さくできる。

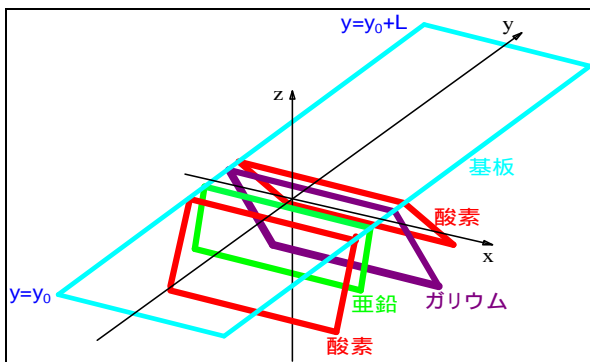


図 2.21 原料と基板の座標系定義

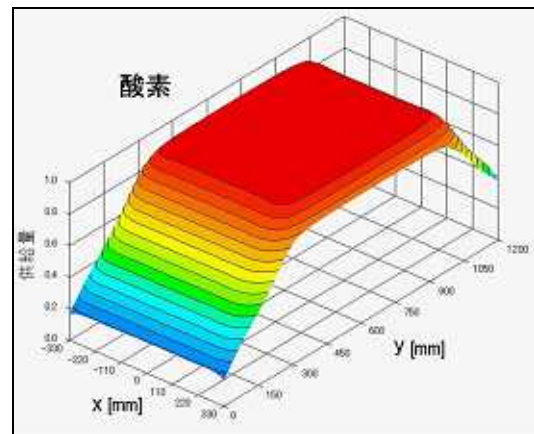


図 2.22 酸素供給量の 2 次元分布。

基板移動距離 = 1000mm

第3章 亜鉛原料装置の開発

3 - 1 原料装置の運転と改良点の抽出

(1) 原料供給分布の計算モデル

亜鉛原料は基板に対して図 3.1 のように配置される。線状亜鉛原料蒸発源の位置(a,b,c)の単位長さあたりから単位時間に蒸発する亜鉛の量を $K(a)$ とすれば、位置(a,b,c)から基板表面の位置(x,y,0)の単位面積に単位時間あたり供給される亜鉛の量は

$$dI = \frac{K(a) B(\theta_p, \theta_s) \cos \alpha}{r^2} \quad (2)$$

で与えられる。ここで θ_p は r の s と原料軸を含む面への射影ベクトルと s のなす角、 θ_s は r の原料軸に垂直で s を含む面への射影ベクトルと s のなす角である。 dI を亜鉛原料軸に沿って積分すれば基板表面への亜鉛供給量が求まる。

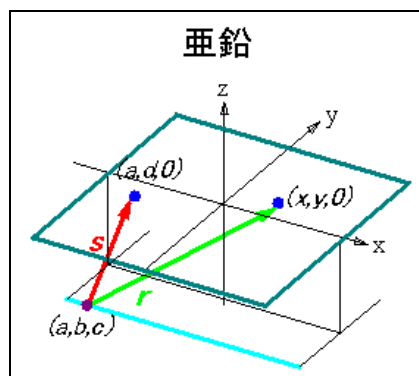


図 3.1 亜鉛原料ビーム強度分布の計算モデル

(2) y 方向分布

2号機の亜鉛原料装置の y 方向供給分布を調べるために、酸素原料は十分大量に供給し成膜速度が亜鉛供給量に支配される亜鉛供給律速条件下で成膜実験を行った。酸素は手前側と奥側の両方から供給しながら 650mm x 300mm 基板に成膜した試料の y 方向膜厚分布を測定した結果を図 3.2 に示す。基板の中心が $y=0$ になるように設置し成膜中の移動は行っていない。図中の実線は亜鉛原料の供給分布の計算値、破線は酸素原料のそれである。亜鉛供給分布が y の負側に偏っているのは亜鉛原料が y の負側から供給されるためである。亜鉛供給律速条件下での成膜であるので膜厚分布は亜鉛供給量分布で支配される。図から

わかるように膜厚分布の測定値はやや広がっているものの、分布の中心、形状ともに亜鉛供給分布を反映している。このデータから亜鉛原料装置は設計どおりに配置されていることがわかる。

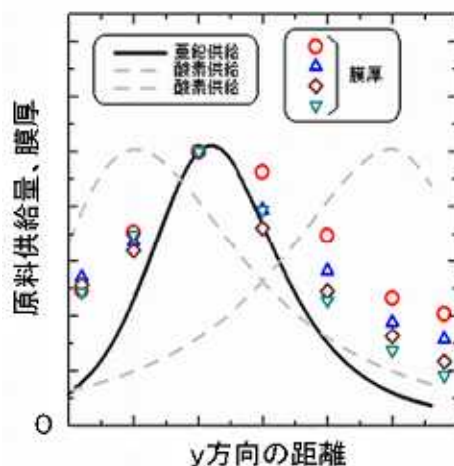


図 3.2 y 方向の原料供給分布と膜厚分布

(3) 基板移動の効果

基板を移動させながら成長する場合の亜鉛原料の基板の各点への供給量を、酸素原料の場合と同様にして算出した。図 2.21 の配置で y 方向の長さ 1200mm の基板の手前端を $y=-150\text{mm}$ から y 軸の負の向きに等速度で 1000mm 移動させながら成膜するときの亜鉛供給量の 2 次元分布を図 3.3 に示す。酸素の場合と同様に移動の前縁部と後縁部に傾斜領域が現れるが、不均一移動速度を採用することでこの領域を狭くできる。

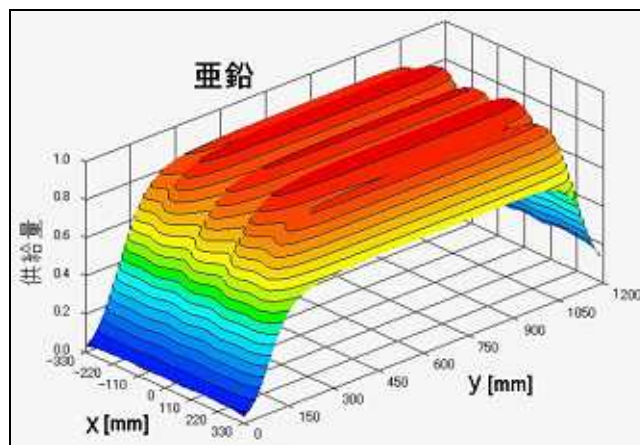


図 3.3 亜鉛供給量の二次元分布。基板移動距離 = 1000mm

第4章 基板保持装置の開発

4 - 1 2号機基板保持装置の運転と改良点の抽出

本成膜装置において50V型基板の長手方向の均一成膜を確保する要素技術は、基板を移動させながら成膜する技術である。各原料装置に対する基板の配置と移動方向は図 2.21 に、基板の移動距離と期待される y 方向の均一性の広がりは第2章、第3章で述べたとおりである。50V型基板に適用するためには1000mm以上の長距離移動が必要になるが、本研究開発では基板移動の要素技術を確認するための移動距離として300mmを設定し、速度可変移動が可能な基板保持装置を設計試作して2号機に組み込み成膜実験を行った。基板移動によって移動方向の膜厚分布が広がることが実験的にも確かめられたが、膜厚均一性を確保するために必要な不均一速度移動と移動距離との最適組み合わせの検討が残された課題である。

第5章 全体総括

5 - 1 研究成果

(1) 従来技術と新開発技術の比較

ITO 透明導電膜を成膜する従来技術は、希少金属原料であるインジウムが高価かつ枯渇の危機にある問題を抱えている。GZO 透明導電膜成膜で本研究開発グループより先行している技術では、膜品質が低い、技術コスト、ランニングコストが高い等の理由により市場普及していない。本研究開発では、安価かつ安定して入手可能な原料 (Zn、Ga) のみを使用し、膜品質が高く低コストでの成膜が可能な GZO 透明導電膜成膜装置を開発した。

(2) 新技術の用途

本研究にて開発した GZO 透明導電膜成膜装置は、液晶・プラズマ等薄型ディスプレイの透明電極用ガラスの成膜を始め、低温プロセスを活かしてフレキシブルシートへの成膜が可能となった。そのため、超軽量テレビや電子ペーパー、軽量化された太陽電池パネル、電波の混信防止や電磁波のシールドを目的としたシールドシート等の開発の一助となる。

(3) 開発された製品・技術のスペック

ガラスおよびプラスチック基板上に酸化亜鉛透明導電膜を製造する装置。原料は金属亜鉛と酸素ガス。亜鉛は加熱・蒸発させ、酸素は高周波電力あるいはマイクロ波電力で活性化して基板上に照射・反応させて酸化亜鉛膜を製造する。膜の導電率を調節するために微量のガリウムを添加する。本装置で製造する膜の抵抗率はプロセス条件によるガリウム添加量調節で $2 \times 10^{-4} \sim 5 \times 10^{-2} \text{ cm}$ の範囲で制御可能、可視光透過率は 80%以上である。

その他の装置及び膜のスペック (H21 年 1 月現在) は以下のとおりである。

- ・平均表面粗さ：1.3 ~ 1.9nm
- ・成膜温度：300 (ガラス基板仕様)、100 以下 (プラスチック基板仕様)
- ・酸素プラズマ電力：400W × 4
- ・成膜速度：0.9 μm / h (@400W×2)
- ・成膜面積：650mm × 300mm、300mm 方向に基板移動
- ・膜厚面内分布：650mm 方向は $\pm 12\%$ 、基板移動方向は有効移動範囲内均一

5 - 2 事業化の検討状況

ガリウム添加酸化亜鉛膜(GZO膜)の50V型大型基板への対応技術を具現した成膜装置を試作し、性能面において当初の目的を達成した。装置の製品化にあたって明確にしなければならない耐久性、メンテナンス性、ワークのハンドリング、自動運転化に関する残件の補完研究を現体制で実施する。

参考文献

- ¹⁾ A.Nishii, T.Uehara, T.Sakano, Y.Nabetani, T.Akitsu, T.Kato, T.Matsumoto, S.Hagihara, O.Abe, S.Hiraki, and Y.Fujikawa., Low temperature growth of transparent conducting ZnO films by plasma assisted deposition, phys.stat.sol.(a),203, 2887-2890 (2006).