

フラットパネルディスプレイ概論(8) FPDの製造技術(1) a-Si TFTアレイ製造

Introduction to Flat Panel Display (8) Production Technology of FPD (1) a-Si TFT Array Manufacture

Ukai Display Device Institute 代表 工学博士 鵜飼 育弘
YASUHIRO UKAI Ph.D.

Ukai Display Device Institute

1. はじめに

FPDとして揺るぎない地位を確立したa-Si TFT-LCDの製造技術としての工程と装置に関して、今回と次回で概説する。今回は、TFTアレイ製造工程と装置に関して述べる。第1世代と呼ばれる300mm角からスタートしたガラス基板は、今や第10世代(約3m角)と大型化し、面積では100倍となった。正しく、Giant Microelectronicsが大きく花開いた結果といえる。製造装置の原理は基板サイズが大

型化しても変わらず、スケールアップしてきた。このことが、一大産業としての地位を確立した大きな要因といえる。

2. a-Si TFT-LCDの製造工程

TFT-LCDは一般に、図1に示すように、ガラス基板の上にa-Si TFTのスイッチング回路を作り込むアレイ工程と、別のガラス基板の上にRGB3原色の層を作り込むカラーフィルタ(CF)工程、アレイ工程で完成したアレイ基板とCF基板を

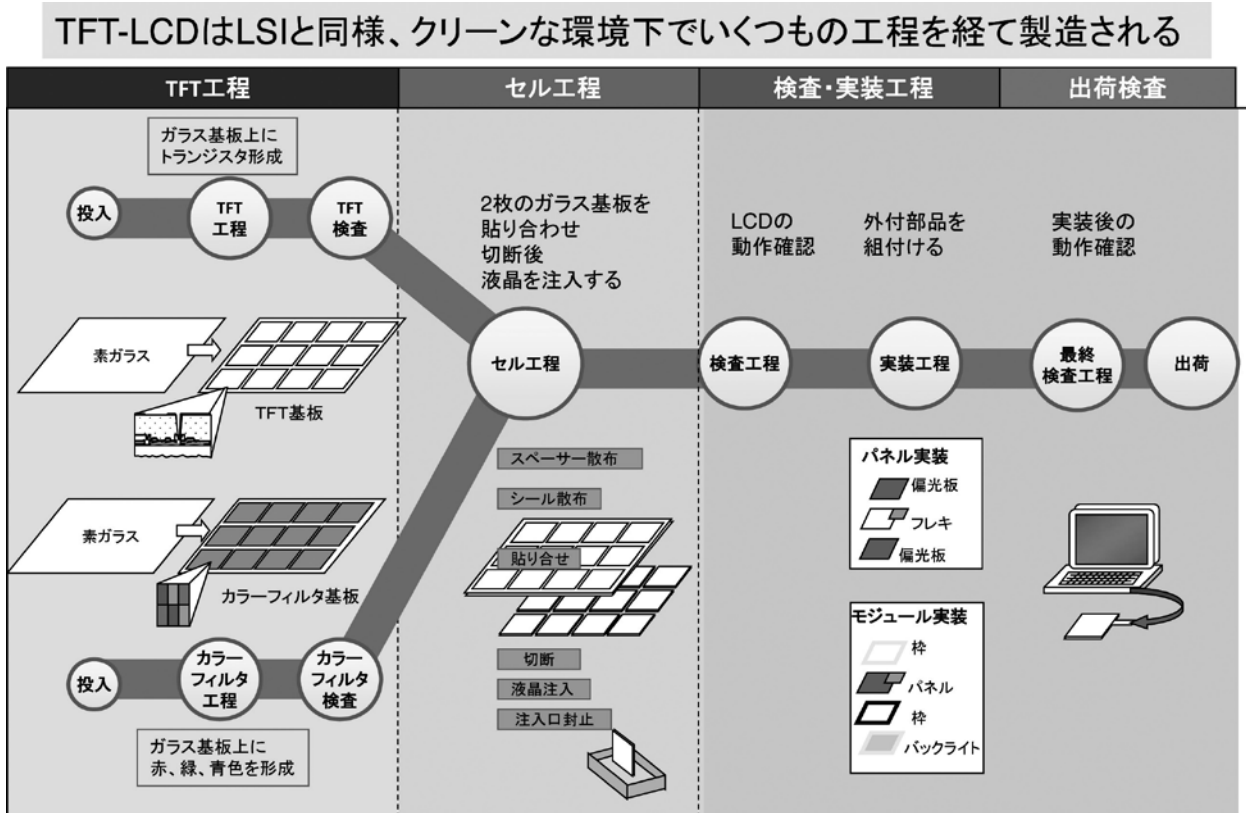


図1 TFT-LCDモジュールの生産工程

貼り合わせて液晶を注入する液晶セル工程、および完成した液晶セルにドライバー(駆動回路)や、バックライトユニット(BLU)等を組み込んでディスプレイにするモジュール工程の4工程で生産される。各工程の製造プロセスの概要を図2(次頁)に示す。大型a-Si TFT-LCDの生産では、大画面化、高精細化、高画質化(特LC-TV用途として高輝度、高コントラスト、広視野角、高速応答等)、コストダウンに対応するため、ガラス基板の大型化とこれに対応した製造装置、高画質化を実現するIPS(In-Plane Switching)、VA(Vertical Align)モード等の液晶表示モードに対応した製造工程など、製造装置・工程は大きく進展してきた。

3. TFTアレイ製造工程と装置

アレイ工程は、洗浄、成膜、パターニング、エッチングの一連の工程が、ゲート電極、半導体、ソース・ドレイン電極、保護膜、画素電極工程と、数回繰り返して行われる。各工程には工程検査が、最後にはアレイ検査が行われる。さらに検査後に修正が行われることもある。この傾向は、パネルサイズの大型化と面取り数の減少に伴う歩留まりの低減を防ぐ目的で増している。一般に洗浄、パターニング、エッチング等ウエットプロセスの装置は、各工程とも同型の装置が用いられることが多い。

3.1 成膜工程・装置

まずは、成膜プロセスとしてのプラズマCVD(PECVD: Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition)装置およびスパッタリング(PVD: Physical Vapor Deposition)装置について説明する。これら真空を使った装置は、過去第1世代から第2世代に移行する際に大きなイノベーションがあった。それは、図3に示すような、インライン式から枚葉式へのコンセプトの変更である。

インライン式のコンセプトでは、一つのトレーに複数枚の基板を載せ、加熱や成膜のため真空室に送り込まれて処理が行われた。この場合、基板の搬送にトレーを使うため、搬送時の機械的摩擦や、長時間付着した膜が剥がれ落ちるなどの原因で不良が発生することが多かった。

一方、装置自体のサイズも大きく、複数枚基板のバッチ処理ということもあって、ガラス基板の大型化には向いていなかった。このような欠点を改善したのが第2世代から登場した枚葉式の装置である。枚葉式の装置は、前面にあるカセット・ステーションからガラス基板のみを取り出し、

真空排気室に送り込む。その後、中央の真空室をコアにして、その周囲に配置された加熱室・成膜室に順次送り込まれ処理が行われる。インライン式の装置と比べたメリットは、装置のフットプリントが小さいことと、複数室での処理と基板の出し入れが並行して行うことで生産効率が上げられること、ガラス基板のみを搬送するためにトレーから発生するパーティクルがないこと、などである。一方、課題としては、ガラス基板を直接ハンドリングすることによる基板へのダメージやハンドリング・ロボットからのパーティクルの発生、成膜室内での膜付着によるパーティクルの発生、などである。また、生産性向上のために、タクトタイムの高速化が求められロボットの高速化、加熱・成膜処理の高速化などで対応してきた。

現在、基板サイズが約3m角と大型化しているが、基本構造は何ら変化なくスケールアップが行われてきた。

(1) プラズマCVD(PECVD: Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition)

PECVD装置は、真空中に排気されたプロセスチャンバー内に混合した反応ガスを導入し、高周波放電によりプラズマを励起し、数百～数千Åの膜厚で薄膜を成膜する装置である。膜特性はTFTのスイッチング特性の優劣を決定するため、プラズマCVD技術はa-Si TFTのアレイ工程の中でも最も重要な技術である。a-Si TFT製作には3から4工程のPECVD装置が必要である。特に、積層膜の形成はTFTのスイッチング特性を決める重要な工程である。この膜は滑らかで、ダングリングボンド密度が小さく、かつ化学量論的組成であることが要求される。また、個々の膜境界には清浄な界面特性が求められることから、真

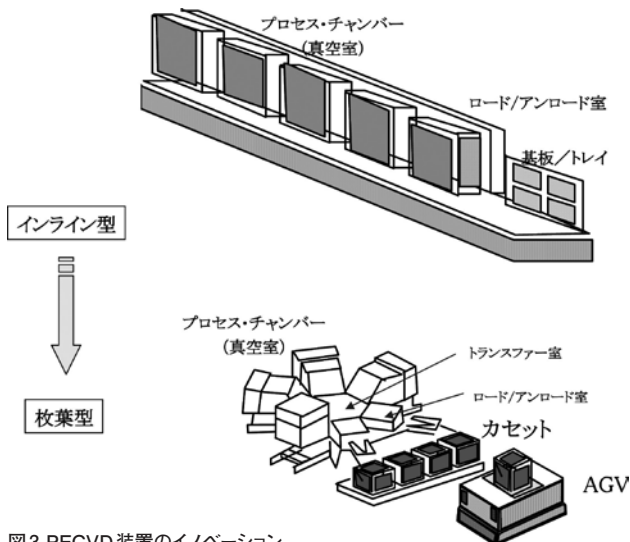


図3 PECVD装置のイノベーション

空中で連続して成膜することが必要とされる。

TFT-LCDの量産に用いられているPECVD装置は前述のように、インライン式から枚葉方式に変わってきた。プラズマ励起用電極は、大面積に均一なプラズマを安価で得るために、主に13.56MHzの高周波放電での平行平板電極方式が用いられている。ガラス基板は高周波電極と対向した接地電極(アノード)側に設置される。

図4にAKTのプロセスチャンバの断面模式図を示す。膜質は、①ガス流量、②プロセス圧力、③高周波電力、

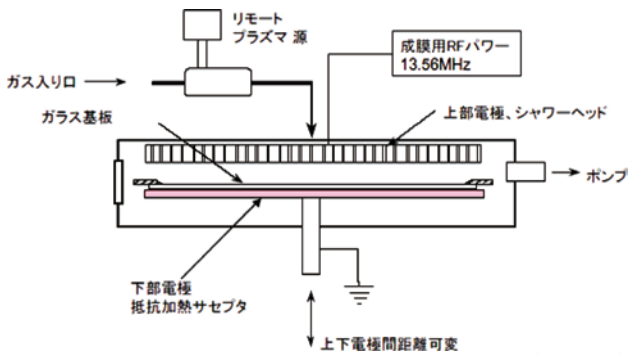
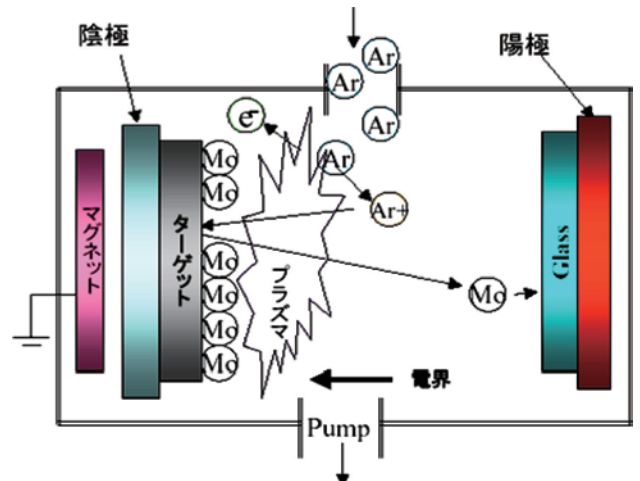


図4 AKT PECVDプロセスチャンバ断面

(AKT資料)



1. チャンバー内を高真空排気し、Arガスを添加
2. 2極間に高電圧を印加し、プラズマを発生させる。
3. プラズマによりArイオン(Ar+)と電子(e-)が発生する。
4. Ar+はターゲットに向かって加速され、ターゲットに衝突する。
5. この衝撃によって、ターゲット材原子が弾き飛ばされる。
6. 弾き飛ばされたターゲット材原子がGlassに付着し、薄膜が形成される。

図5 スパッタリング(PVD)の原理

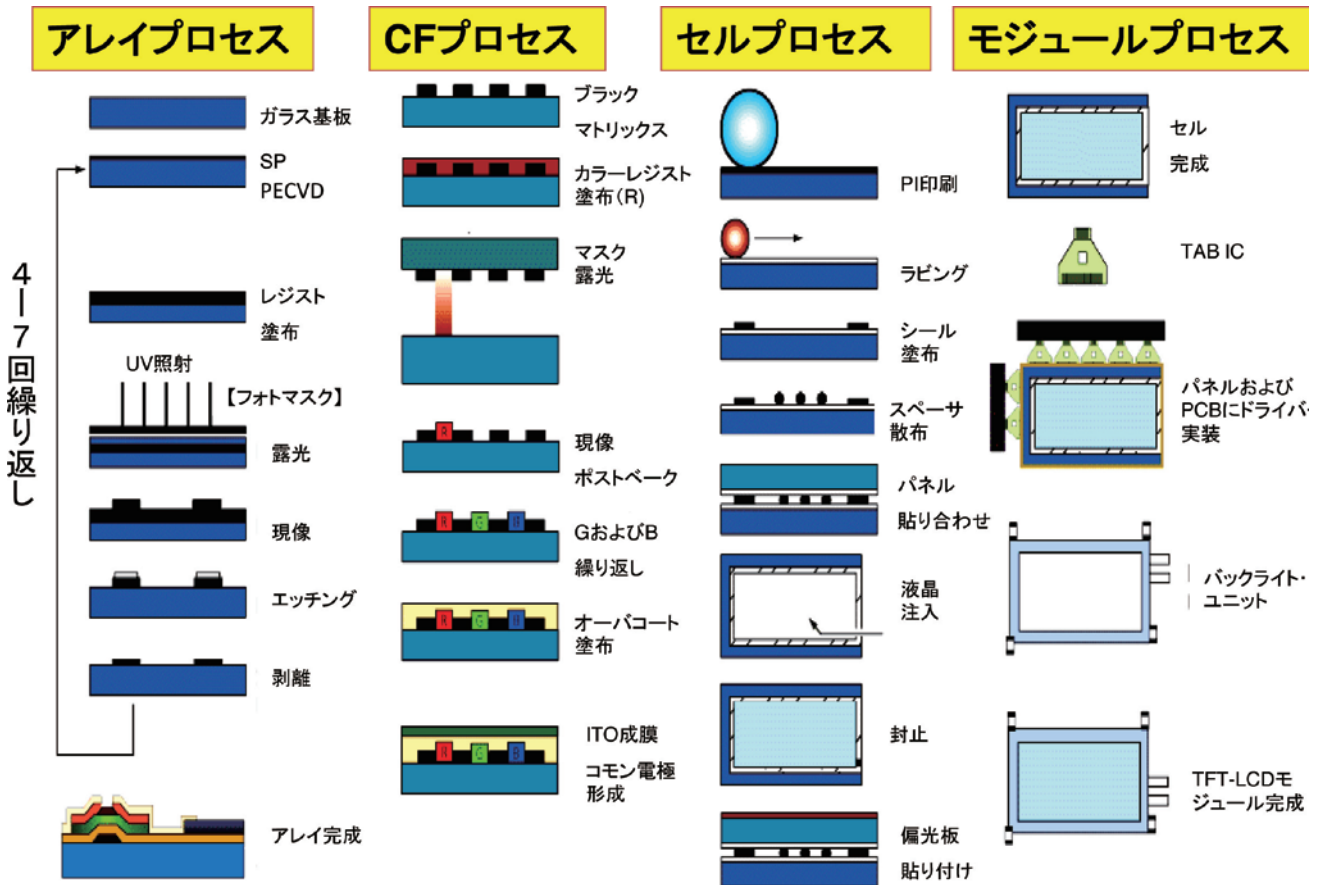


図2 TFT-LCDモジュール製造プロセス

④電極間距離、⑤基板温度の各パラメータを最適化することによって制御される。AKTのPECVD装置で最も特徴のある機能は、リモート・プラズマ・ソース・クリーニング(RPSC)技術である。チャンバ内のウェットクリーニング無しに一ヶ月かそれ以上連続して安定した成膜が得られ、また、チャンバ内の部品寿命も長い。

(2) スパッタリング(Sputtering)

スパッタリングとは、図5に示すように高エネルギーの粒子を衝突させて物体の表面から原子を放出させて、TFTアレイの金属配線などとなる薄膜を形成するプロセスである。TFT-LCDの製造工程においてスパッタリング(SP)装置を利用するのは、①TFT側ゲート、ソース/ドレインの配線電極とITO(透過型)もしくはAlやAg(反射型)の画素電極、②カラーフィルタ(CF)側のITO電極とブラックマトリックス(BM)膜である。第1世代のラインでは、TFT側、CF側のどちらもインライン装置であったが、第2世代では、TFT側は前述のように枚葉式が開発され主流になった。TFT側の基板は基板全面をスパッタリングするために枚葉式の採用が有利となるが、CF側はマスクスパッタリングが必要なため枚葉式のような搬送方法が取れないためである。

3.2 フォトリソグラフィ工程・装置

フォトリソグラフィ(Photolithography)とは、光に対して化学反応をする材料を用いて、エッチング、イオン注入な

どに対する保護膜の形成(パターンニング)を行うプロセスである。フォトリソグラフィ(フォトリソあるいはリソとも略す)は、洗浄(前処理)、レジスト塗布、プリベーク、露光、現像、ポストベークの工程からなる。図6にフォトリソグラフィ工程の概念を示す。

歩留まりに大きく影響するパーティクル管理に関しては、アレイ工程中最も頻りに基板が通過するフォトリソ工程での管理が重要である。レジスト塗布前・塗布中のパーティクルや露光前のパーティクル付着、現像工程のミストなど、装置ごとの対応と共にフォトリソ・ライン・トータルとしての考えが重要である。

(1) 露光

露光装置とは、TFT-LCDの製造工程において、液晶を制御するのに必要なTFTアレイパターンをガラス基板上に転写するためのものである。露光装置は、微細なパターンを基板上に転写するための露光光学系、マスクと基板を高精度に位置合わせするためのアライメント系、マスクと基板の自動搬送系より構成される。

露光装置のタクト・タイムを落とさないためには、マスクの大型化が必要であるが、それ以外にも、単位面積当たりの露光エネルギーを一定に保つためにランプ・パワーを上げていくこと、ステージの大型化に伴い精度を保持するためにはステージが強固なものになり、重量が増すなどの課題がある。

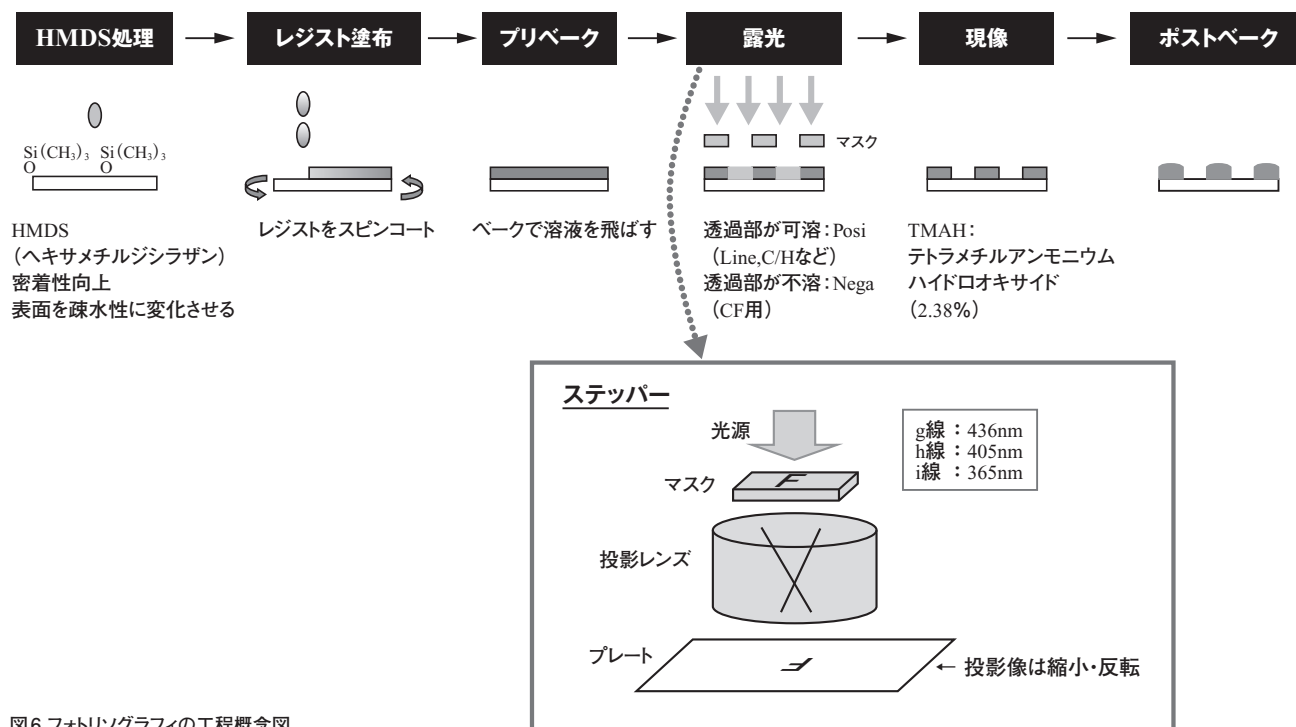


図6 フォトリソグラフィの工程概念図

マスクの大型化に関しては、マスク1枚当たりのコストが非常に大きくなり、マスク・コストがパネルに占める影響が大きくなる。基板大型化による露光装置自身の投資生産性と共にマスクのコストアップを慎重に見積もる必要がある。一方で、前述のマスク数削減や高精細化の流れの中では、プロセス精度の向上が要求されており、フォトマスクのパターン精度と合わせて露光装置のパターン精度の向上が必須になってきている。

特に、現在実用化されている4枚マスクのプロセスでは、TFTのチャンネル部分に「中間調露光いわゆるハーフトーン露光」を適用するために、間隔の狭いスリット状のパターンを必要としている。このため、フォトマスク上に描かれるパターン精度が、これまでの $\pm 0.5 \mu\text{m}$ 程度から、その半分以下の精度が要求されている。本装置によりTFT-LCDの表示性能およびコストは大きく左右される。露光方法には、図7に示したように3種類がありいずれの方式も量産に用いられている。

(2) 洗浄

TFT-LCD製造プロセスでは、各種の洗浄装置が必要とされる。カラーフィルタも含めると、初期受け入れ洗浄、成膜前洗浄、レジスト塗布前洗浄、剥離後洗浄、配向膜塗布前洗浄、ラビング後洗浄、仕上げ洗浄など20回以上にも及ぶ洗浄工程がある。これらの洗浄はその後のプロセスの歩留まりに大きく影響するため非常に重要である。パーティクルについては洗浄前に比較し除去率で99%、クラス10対応が必要である。また、成膜プロセスに

においてはコンタミネーションの影響も大きく、膜の密着性が歩留まりのみならず表示デバイスの信頼性にも重要であり、半導体並みかそれ以上の要求もあり、プロセスの鍵を握っている。

洗浄方法は汚染物により異なり、大別すると物理的洗浄方法と化学的洗浄方法の2種類がある。物理的洗浄方法にはブラシ洗浄、超音波(US)洗浄、高圧ジェット、ドライ洗浄などがある。化学的洗浄方法にはオゾン水洗浄、中性・酸・アルカリ洗剤、化学洗浄液などのウェット処理と、UV照射による O_3 の有機分解によるドライ処理とがある。洗浄目的の汚染物質と、特にTFT基板の場合には

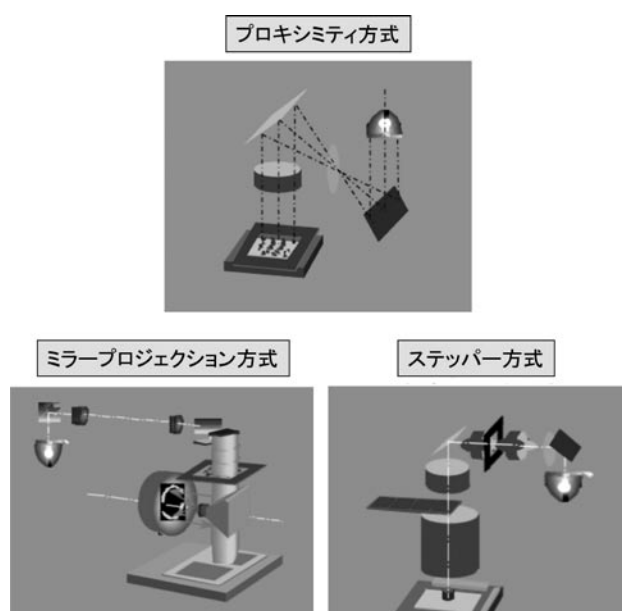


図7 露光方式の種類

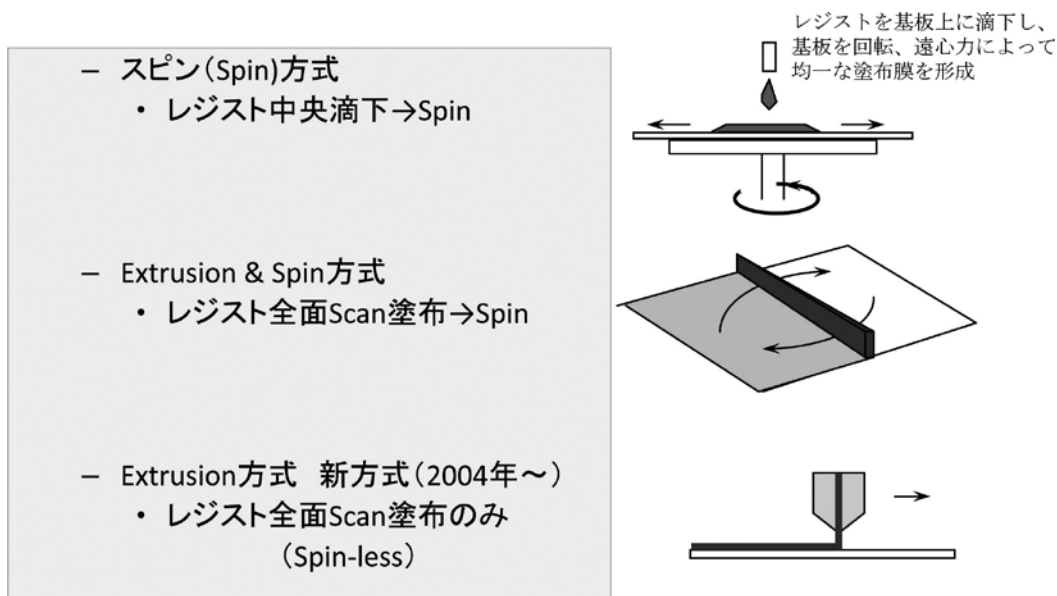


図8 レジスト塗布方式の変遷

静電ダメージなどを考慮し、物理的洗浄方法と化学的洗浄方法を組み合わせた洗浄を行う必要がある。

(3)レジスト塗布

レジスト塗布の方式は、図8に示すように、ガラス基板の大型化に伴って、スピン方式からスリット方式へと変遷してきた。この方式は、レジストを基板中央部にある程度のレジストを滴下した後、ガラス基板を回転させ遠心力によって基板全体に塗布するものである。しかし、実際に塗布される量はほんの僅かであり、90%ものレジストが捨てられている。次に登場したのは、基板を静止した状態で基板の広い面積にわたってスリット状のノズルを移動させながら塗布し、その後従来通りガラス基板を回転させてレジストを広げるものである(Extrusion & Spin)。最近の大型基板用では、スキャン塗布のみでレジストを基板全面に塗布する(Extrusion)、いわゆるスピンレス塗布(Spin-less)が主流になっている。

(4)現像

現像工程では、露光されたフォトリソ剤やカラーレジストの現像処理をして、エッチングに必要なレジストパターンを形成する。現像装置も上述の洗浄装置等と同じように、ガラス基板サイズの大型化に伴ってスピン方式から平流し方式に変遷してきた。現像の均一性に関しては、現像液の塗布開始から終了までを出来るだけ短時間で行わなければならない。

(5)ベーク装置

ベーク装置は、洗浄後のデハイド・ベーク、塗布後のプリベーク、現像後のポストベークに用いられる。通常は、レジスト塗布装置、現像装置に組み込まれて使用される。オープン面の温度均一性は、プリベークユニットに於いて $\pm 3^{\circ}\text{C}$ が求められる。

(6)エッチング・剥離

エッチング工程は、ドライ・エッチング方式とウェット・エッチング方式に大別される。また、ドライ・エッチング後のレジスト剥離工程としても、アッシング方式やウェット剥離方式がある。このアッシング処理は、ドライ・エッチング処理に続いて同一装置で行うことがある。

ドライ・エッチングとウェット・エッチングを比べることにする(表1参照)。ドライ・エッチングではプロセス性能としてエッチングの制御性、面内均一性に関しては優れており、基板の大型化が進むTFTアレイ工程において非常に有利である。特に、フォトマスク数の削減などのプロセス・イン

テグレーションに必要な多層膜のエッチングに関しても、エッチング・ガスの切り替えだけで容易に対応できる。また、膜質の違いに左右されずテーパー形状が制御し易いと言う点でもドライ・エッチング方式が優れており、今後のプロセス・インテグレーションには必須の技術と言える。

一方、レジストや下地膜への選択比では、ドライ・エッチングの方が小さい。メタル系材料のエッチングにおいては、特にレジストの熱的なダメージ(変質)が起りやすいため、エッチング・レートを大きくすることができない、と言う不具合もある。

表1 ドライエッチングとウェットエッチングの比較

	ドライエッチング	ウェットエッチング
エッチング溶媒	ガス	液
加工精度	良好	膜質に依存
テーパー加工法	可能	材料、膜質に依存
サイドエッチ量	小 (異方性エッチ)	大 (等方性エッチ)
選択比	比較的小	比較的大
プロセスダメージ	大きい (プラズマダメージ)	小さい
装置価格	高価(真空装置)	安価

4. おわりに

日本の装置メーカーおよびディスプレイメーカーの技術者の寝食を忘れた努力の成果として、a-Si TFTの生産技術が確立した。しかし、今や日本からスタートしたこのビジネスは、韓国、台湾および中国に拡大し、日本の地位は日々沈下している。しかも、装置を購入すれば物を作れるようになり、この技術は完全にコモディティ化してしまった。

しかし、過去を嘆いては何も始まらないことをよく自覚し、未来を信じて前進することが今求められている。技術者には、「温故知新」の言葉の意味をよく理解し、ロマンを抱いて「Never Give-Up」の心意気が必要である。