

【フォトファブリケーション】

其の文字の如くフォトリソグラフィを駆使して目的の形状に加工する手法である。
この歴史はどうであったのだろうか。
日常何気なく見ている、新聞、印刷物、及び写真などに関連する技術が基本となっている。

歴史をさかのぼると、江戸時代に浮世絵版画（木版）が出回っており、その後 19 世紀に日本の錦絵がヨーロッパに渡り、スクリーン印刷、捺染へと発展し、芸術から工業化への道を進むことになったと言われている。

染色（色付け）に関しては、絞り、中形、ろうけち染めのように染料に直接浸けて浴染するものと、顔料、又は染料を顔料のように媒染によって発色した状態にしたものを、直接布面に塗り、摺り、押捺して染めて模様をつけ、熱処理などの加工をし、布に染着させる方法とがあります、後者は一般に捺染（プリント）と呼ばれる方法です。
連続した模様捺染としては、円筒形の木の表面に手彫り彫刻し、それを回転させて連続的に捺染したのが始まりで、この方法は後年、写真製版・感光性樹脂の技術を取入れ、現在の手法である金属ロールに写真製版したもので、鮮やかで繊細な捺染に発展したものである。この手法では金属の腐食加工（エッチング手法）が用いられている。
勿論、シルクスクリーンによる連続送り捺染や、之を円筒形にしたロータリー捺染もある。

又、新聞・印刷に関しては 1615 年、大阪夏の陣が粘土の瓦版（土版・石版）で出ており、木版、銅版含め明治 20 年頃まで用いられていた。
印刷業としては、1870 年に長崎で日本初の活版製造所が設立され民間活版業がスタートした。そして、新聞としては 1871 年（明治 4 年）に日本で最初の日刊紙が出版されている。
発行部数も増え、商業印刷化時代になり、大量印刷の需要に対応する為の技術革新が進む。

併せ持って、関連するのは写真技術である。
カメラの原点は 16 世紀半ばに作られ、その画像を安定的に定着させる技法が数多くの人物によって年月をかけて研究され、1822 年に画像を形成できたのが最初であるといわれている。
これらの基礎技術を基に感光性樹脂も発達し、より微細な画像形成、感光性感度の UP が目標とされ、今では銀塩の感光剤を用いたものが主流となっている。
また、これらの感光性樹脂と銀塩感光剤は、写真と写真製版印刷の手法として枝分かれし今日の技術革新の源となっている。

さて、写真製版印刷であるが、初期はジンク版（亜鉛版）に砂目立てし感光性樹脂を塗布乾燥後に写真フィルムマスクを重ねて焼付け、現像処理し必要とする画像形成したものを印刷版として用いたものである。
これらが更に発展し、現在では P S 版（アルミ板に感光性樹脂が塗布されたもの）が主力である。

印刷版面の強度もあり大量連続印刷にも適応している、技術革新の結果である。
印刷方法、印刷物によっては現在、樹脂凸版なども広く用いられている。

前置きとして主力業界の歴史の一旦を述べましたが、現在の電子化を担う、半導体等電子部品の開発に関しては、本題であるフォトファブ리케이션技術が大きく貢献しております。
前述の写真技術・印刷技術（含む：新聞・捺染等）の応用である。
写真技術の発達により繊細な画像・線画・文字の再現が高められ、感光性樹脂の細線再現性や露光感度のUP・種々腐食加工エッチング薬液に対する耐薬品性の向上により、樹脂の組成も多種多様化し、現在では画像再現性はサブミクロンにまで対応できるようになっている。

さて、フォトファブ리케이션技術であるが、名前の根源は冒頭に述べましたが、其の文字の如くフォトリソグラフィを駆使して目的の形状に加工する手法である。
この手法とはどのようなものであるのか
一般的に金属、樹脂などを特定の形状に加工する方法としては、成型（射出・型押／プレス）、機械加工（切削）、レーザー切断、ワイヤー放電切断、ウォータージェット切断等々があるが、それぞれ加工範囲〔材質・形状（大きさ／厚み）・目的とする加工精度・加工コスト〕によって目的別に活用されている。

フォトファブ리케이션技術とはこれらの加工方法とは大きく異なります。

【標準的な加工工程を以下に記します】

加工目的とする材料の表面処理（SUS、NI、CU系等の金属や、ガラス、Tiなどetc）
材料表面に付着した汚れ・油・塵などの洗浄。

材料表面への液状フォトレジスト又は（DFR：ドライフィルム）等の塗布、貼り付け。
フォトマスクを介在して、液状フォトレジスト（又はDFR）を塗布・貼り付けた材料面へ露光（焼付け）する、最終加工目的に合った形状のマスクパターンの焼付け作業。
通常使用するフォトレジスト、DFRなどは光が当たった部分が硬化するネガ型レジストを使用する、この硬化したレジスト部分は、後のエッチング作業で耐エッチングレジストマスクとなり未エッチング部（最終的に残したい部分）になります。

液状フォトレジスト、DFRなどのレジスト材料指定の現像液にて現像処理する。

この処理により、先の光硬化した部分のみ基材表面に残り、その他の部分が溶解・膨潤して剥離脱落する。

エッチング処理：現像処理後の基材を塩化第二鉄液（エッチングする基材により異なる）などを浸漬処理、スプレーで吹き付け等を行い、液状レジスト・DFRなどが付着していない部分を溶解する。

規定の形にエッチング溶解処理できた基材の表面に残存するフォトレジスト・DFRなどを溶解・膨潤剥離し、目的とする基材のエッチング加工製品が出来上がる。

表面、エッチング断面の傷、加工精度の検査を行い、その基材の目的によっては鍍金など

の処理を行う。

1. 写真技術により、加工目的とする形状の白黒画像（フォトマスク）を作成します。

フォトマスク作成に使用される感光材料は、主に透明ポリエステルフィルムに銀塩乳剤を塗布したものを使用します、業界では工業用フィルムと呼ばれております。

この工業用フィルムの解像力（再現される画質 / 画線の限界：実用的な何ミクロンの画線が再現できるか）の改善・発展も技術革新の大きなウエイトを占めています。

このフォトマスク作成には当初は製版カメラが使用され、必要とする画線の幅が、例えば40ミクロンであれば、最初から40ミクロンの画線を書くことが出来ず、1mm / 2.5倍の画線を正確に作成し、製版カメラにて1 / 5縮小撮影を2回行い、目的の40ミクロンの画線を完成することが出来ました、目的とする画線がより厳しいものでは、この縮小撮影の回数も増加します。

製版カメラのレンズ収差（中央部と外周部のレンズの歪によるパターンの変形）があり、その歪の影響を最小限に考えて撮影するなど、この工程でも習熟した技術が必要でした。後には製版カメラの性能UPによりレンズ収差は少なくなってきました。

この撮影（露光）後、現像・定着処理し、水洗乾燥後にフォトマスクの画像・画質・線幅等の検査を行い、スペック内に入っているものをマスターフィルムとして保管します。

このマスターフィルムから未露光フィルムにコピー（1：1反転）し、作業用（ワーキング用フォトマスク）を作成します。

ワーキング用は後のワーキング材料に直接触れる為、傷が付きやすく、使用途中で交換することが多々ありました。

マスターフィルムの作成には大きな労力と時間が必要ですが、ワーキングフィルムは反転作業で比較的簡単に出来ますので、そのような作業方法が一般的に用いられておりました。

技術革新はこのワーキングフィルム作成においても飛躍的に進み、カメラ作業からフォトプロッター（アナログ）の時代に入り、現在ではレーザープロッター（デジタル）へと進化しております。

カメラが面として作成したものを、フォトプロッターでは線として描画し、レーザープロッターでは点と線で描画できるようになり、可也高速にフォトマスクの作成が出来るようになって来ました。

その為、マスターフィルムを持つ価値がなくなり、総てワーキングフィルムの作成になり、大幅な作業工程、材料コストの削減が行われました。

ここで使用される工業用フィルムも、飛躍的な改良がなされました。

前述の如くカメラ撮影・フォトプロッター描画・レーザープロッター描画への対応もあり高速高精度描画への改善、又、現像システムの改良変化（リス現像 ラス現像：フィルムの

現像処理に関して、空気との接触による現像液の酸化劣化に対する改良)がなされ、非常に安定した現像処理と迅速な現像処理が出来るようになりました。
現状は殆どがこのラス現像になっています。

但しフィルムはポリエステルが基材となっている為、どうしても熱・湿度の影響を受けやすく、温湿度の変化に伴い伸縮があります。

各フィルムメーカーでは、如何にしてこの影響を最小限に留めるか、技術的な改良が継続しております。

何れにせよ限界はありますので、量産含めて高精度・多面付けのフォトマスクを使用する場合はガラスマスクを使用しています。

このガラスマスクとは基本的には前述のフィルムマスクの基材である、ポリエステルをガラスに置き換えたものと考えて下さい。

基材がガラスになる事によって、伸縮が殆どなくなり、精度の良い露光マスクが完成します。このガラス基材の表面に銀塩感光剤を塗布したものがエマルジョンマスクであり、クロム等の金属をスパッタや蒸着にてガラス表面に付け、パターンニングしたものをハードマスク又はクロムマスクといいます。

このマスクは表面のパターンが金属のため非常に強く、後のワーキング材料への焼付け時に接触しても傷が付きにくいという利点があります。

このようにフォトマスクにはフィルムとクロムの 2 種類がありますが、再現できる線幅や精度に関してはクロムマスクが圧倒的に秀でています。

このクロムマスクの作成においては、後の工程で使用されるフォトレジストの進化が大きい一般エッチング用のフォトレジスト(数十ミクロン解像)から、半導体グレードへ対応できる(サブミクロン解像)出来るものまであります。

このフォトレジストの解像力は、必要とされる膜厚(耐エッチング性)によって異なりますが、一般エッチング用途と半導体用途では、その組成が大きく異なり、それぞれの目的別に開発がなされております。

このクロムマスクの作成方法に関しては、可也の行を費やすので割愛させていただきます。

2. 前述のフォトマスクの作成とともに、エッチング基材の表面洗浄したものに、液状フォトレジストの塗布、又は DFR (ドライフィルムレジスト) のラミネートを行います。

液状レジストの場合は目的・基材材質によって、通常は連続&単版ディップコーターが用いられることが多く、その他、ロールコーター、スプレーコーター、スピコーターや塗装技術を用いた静電コーティングもあります。

これらのレジストは塗布後に乾燥(プリバイク)処理が必要で、乾燥膜を得るまでに液状レジストの宿命である、粘度管理 膜厚一定化の対策が必要であり、塵、気泡などを混入して塗布することを避ける対策・技能を要します。

DFR（ドライフィルム）に関しては、液状レジストに対して、貼り付け膜厚は一定の規定のものが販売されており、目的とする膜厚の DFR を使用すれば良い。
装置も液状レジストに比較して小型で連続的な貼り付け作業が出来る。
但し目的とする解像力（線幅：耐エッチング性）は液状レジストに比較して可也劣ります。

3. 露光工程であるが、もともとは拡散光源（散乱光源）のものしかなく、液状レジスト又は DFR を塗布・貼り付けした基材表裏両面又は 1 面にフォトマスクをあて、通常：真空引きにて基材とマスクを密着させ露光する。

露光時間管理が可也重要な要因となる、露光が多すぎると光の拡散により、パターン内に光が回り込み必要とする線幅が得られなくなる。

これに対比して平行光露光装置の開発によって、より細線の解像も可能になり、露光管理も非常に簡便となってきました。

但し、平行光露光装置にも難点があります、光の拡散が非常に少ないため、フォトマスク表面の塵、異物も忠実に再現してしまう為、よりクリーン度の高い場所で作業しなければならないし、使用するフォトマスク内の異物、気泡、傷も問題となってきます。

通常の生産過程では拡散光源では線幅 40～50 ミクロンに対し、平行露光装置では 10～15 ミクロンは可能であると想定されます。

何れにせよ平行光露光装置の場合は露光条件においてラチチュウド（許容範囲）が広く、管理しやすいメリットがあります。

以上、フォトマスクを使用しての、ワーキング基材への露光を説明しましたが、フォトマスク作成過程で述べました、レーザー光源による DFR（ドライフィルムレジスト）へのダイレクト描画もここ 10 年くらいで大きく伸びてきております。

このダイレクト描画はレーザービームにより、フォトマスクを介在しないで、DFR などのフォトレジスト面に直接、描画（露光）するものです。

CAD・編集機でのデータをそのまま、レーザー装置にリンクしてパターン描画できる為にフォトマスクの作成の必要がなく、特にフィルムマスクなどの伸縮を考慮する必要もなくなり、非常に高精度のパターン描画が期待されています。

又、基材自身の伸縮に対しても、システム上で補正できるため両面露光の場合は特にパターンの上下位置合わせが確実に行えます。

ただ、通常露光装置での両面一括露光に比較して、レーザー描画の場合は、片面ずつの露光になり、両面の場合は基材を表裏反転して再度レーザー描画する必要があり生産性に劣る。

このレーザーダイレクト描画に使用される感材（DFR など）は、殆どがレーザー専用の DFR を使用せねばならず割高になっております。

一部では汎用 DFR の使用が可能になってきてはおりますが、光源の対応寿命・交換コストと

合わせ、今後、技術競争が激しくなると考えます、何れが最後まで残るのか併用されるのか、又、感材そのものがより改良され、量産され安価で導入しやすくなるのかが期待されます。

4. 現像工程においては、露光された基材表面の液状フォトレジスト & DFR の残存させる以外の不要な部分を現像処理（溶解剥離）し、フォトレジストパターンを形成させる工程です。この工程は先の面露光・レーザー露光に関係なく、使用される液状フォトレジストまたは DFR レジストの種類に規定された現像液によって処理されます。
- この現像処理後に耐エッチング性を維持強化する為に、場合によってはポストベイク（強制高温乾燥）し、レジスト中の残存する余分な溶剤分、水分を取り除く必要があります。この処理により密着性の増強が得られ、耐エッチング液の侵み込み防止効果が得られます。但し、あまり高温で熱処理すると塗膜が基材に焼き付くなどし、後の剥離工程で剥離困難となる場合もありますので、目的によって加減しております。

この現像方法にも色々あり、当初はタンク内での浸漬処理を行ってましたが、機械設備の改善もあり、現状ではシャワースプレーによる高圧噴射によってライン化された装置で行われております。

装置メーカーは色々有ります、現像バランスの良い装置を製作するため、シャワースプレー口径・スプレーノズルの噴射量 / 噴射角度 / ワーキング材料との距離 / 噴射密度とバランス。その他、搬送系からポンプ圧力の簡便で正確な調整など、近来ではインバータ制御方式が用いられております。

又、使用される薬品・温度などの条件により、耐薬品性と耐熱性の狭間で各装置メーカーの設計者が、其の経験・技術を駆使して製作しており、技術力の違いが装置に出てきます。

5. エッチング工程では、現像以上に危険な薬品を使用しています。
- 現像工程で処理されたレジストパターン形成の基材（SUS, NI, CUなど代表的な基材）の場合には一般的に、塩化第二鉄液（CU材の場合は塩化第二銅液も使用される）を用いてレジスト膜が無いところの金属を溶解します。
- この溶解加工には完全に貫通孔明けまで行うものと、ハーフ（基材厚みの途中まで穴明け）る場合があります。
- この装置では特にエッチング後半では基材（板状）が、パターンに従い腐食されるので極端に言えば網状になり、薄物では基材の腰が弱く、搬送系でトラブルを起こしやすい。これらの対策も搬送ロールピッチの配列と、特にロール下スプレーの適切な配置バランスが要求され、生産性と品質の狭間で苦労するところである。

古くはタンクに入れたエッチング液を直接振りかけて腐食していたり、ハンドシャワーで掛けていたりしましたが、現在ではエッチング装置を使用しています。

エッチング装置も各装置メーカーがあり、独自の経験・技術を装置に生かしています。

特にエッチング装置の場合は、エッチング加工される基材が無数にあり、其の基材によっては、使用されるエッチャント（エッチング液）も異なります。

一般に知られるものでは、前述の塩化第二鉄液 / 第二銅液の他にガラス基材ではフッ酸液が使用されます、噴霧ガスを吸引したのみで生命の危険にさらされるものもあります。

これらのエッチャント液は、エッチング製造に携わる会社のノウハウも非常に多く含まれており、其の違いが製造ノウハウとして、各社の競争力に繋がっています。

何種類もの薬液をブレンドし、パターン毎に適正温度や圧力、処理時間等のノウハウを蓄積し、正に終わりなき技術革新に挑戦しているのです。

6 . 剥離工程では、エッチング工程で貫通孔明け / ハーフ穴明けされた基材の表面に残存する耐エッチング液レジストの剥離をおこない、エッチング加工され基材が出来上がります。

この剥離工程でも一般的には、溶剤剥離タイプとアルカリ剥離タイプがあります。

装置製作の上で、特に高温剥離型の場合には材質と耐熱性、装置の温度による伸縮対応など非常に技術を要し、エッチング工程と同じく孔明け加工された基材の搬送にもダメージを与えず確実に剥離・水洗・乾燥して取り出さねばならず、技術力が試されるところである。

7 . これらの各工程装置では単版（シート板）、ロール（連続的に巻いた物）用が製作されており、前者ではロボットによる自動投入 / 受取、後者ではインライン量産システムとなる。

8 . 纏め

一般的な工程に基づき、簡単に説明いたしましたが、実際の工程では各企業、装置メーカーでのノウハウが生かされており、同じ装置、同じ基材、同じレジスト材料を用いても、必ず同じ精度の製品が出来上がることはありません。

各社其々に生産技術の構築に日夜研究し、技術の更なる向上を目指しております。 完