マイクロエレクトロニクスと印刷

小池 力*

1. はじめに

編集委員会からのたつての要請で断りきれず筆をとることになったが、門外漢である印刷分野の人間がマイクロエレクトロニクスを論ずる非を重々承知のうえで、厚かましくも日頃感じていることの一端を記してみたい。専門の見地からは、奇異に映ることや論外と感ずることも多いであろうし、論理的な話からははずれることにもなるがご容赦願いたい。

2. マイクロエレクトロニクスと印刷との関わりあい

1950年代に入って、固体素子が真空管にとって代る可能性が高まるにつれて、半導体技術者を悩ませたものの一つに、蒸着マスクにしる精密なパターンづけをいかにするか、またプレーナ技術が開発されてからも、いくつかの工程にわたって必要とするマスクパターンをどのようにして安定的に確保するかがあったと聞いている。

そこで、目をつけられたのが、日頃目にする印刷物の作成工程であった。ご承知の通り、印刷の主たる目的は大量複製であり、そのためには印刷の基となる原パターン（印刷版）を活字または写真版といったもので用意しなければならない。加えて、そのパターンの精度は、当時では精密かつ微細な分野に属するものであった。ちょうど印刷技術の面でも大きな変革期を迎えており、印刷版を作る工程すなわち製版工程は、それまでの手工的、機械的色あいの強いものから広義の写真技術を徹底的に利用した方式に切り換わりつつあり、使用材料面でも高い解像性を有し、スレッショールド性も高く、さらに

は扱いも便利な感光材料が普及し始めた時期であった。

この時、リーダーシップをとったのが米国のコダック社である。当時、コダック社は、矢継ぎ早に多数の製版関連の材料を発表し、普及に努めていた。コダリスフィルム、コダリスデベロッパおよびコダックコンタクトスクリーンに始まり1960年代に入ると遂にコダックフォトレジスト（KPR）を発表した。これは、合成フォトレジストのはしりとなり、その後急速にそれまで使われていた天然フォトレジストが印刷業界から駆逐されることになる。

コダック社の功績は、革新的な材料の提供だけにとどまらず材料とともに色彩原稿の印刷再現の理論を提案、確立したことにある。加えて、多くのデータブックを発行して、技術の普及にも大きな努力を払った。ようやく普及し始めたカラー写真を、多くの人々の目を楽しめるためには優れた印刷再現が必要であり、単純な再現による色やトーンの歪みの補正技術の確立は急務であり、手工的な雰囲気の高い印刷産業内部での技術確立を待つてはいられなかったのであろう。この時に、コダック社が発表した考え方なり理論が1960年代前半に現われた製版用スキャナに、そのまま取込まれて現在にいたっている。

このような時期に、根づき始めた半導体業界の先達研究者、技術者が印刷における製版工程に強い関心を抱き、プレーナ技術の完成へと進んだのは当然かも知れない。だが、国によって、その産業形態には差が見られる。米国では、コダック社を始め精機メーカー等に協力を求めるなどで、印刷産業とは無縁な形でマスク技術が進歩していったが、日本の場合は大手印刷企業をパートナーとしての位置に置き、印刷会社固有の技術の利用に目を向けて出発したと聞いている。

製版用レンズは口径比こそ小さいものの大口径で収差も最も小さく、縮小撮影に適していたし、回転塗布機は

* Tsutomu Koike / 共同印刷 技術本部

ホワイラと呼ばれ、製版部門では無くてはならないレジストコーティングの装置であった。また、写真版は銅板や亜鉛板をエッチングしてパターンづけを行っていた。耐食性を高めるためのベーキングも古くから行なわれていた手法の一つである。パターンづけとは無縁に近かった半導体を志向するメーカーの協力相手としては格好であったかも知れない。しかしながら、ICパターンの微細化、細線化の勢いは急速で、EB露光装置のような専用のパターン描画装置の開発へと向い、一方印刷分野では写真技術の応用から製版用スキャナに代表される電子技術応用装置へと移っていった。現在でも日本では、IC用フォトマスクの多くは印刷会社で作られてはいるが、それは過去の経緯があったからであって、IC用フォトマスクに限らず各種マスク作成のための装置類は、製版工程で使われる装置類の精度をはるかに上まわったものが専用機として使われている。

3. 印刷の基本的な方式

モノリシックな分野での製版技術の転用はフォトマスクに限らずウェハプロセスの段階でもフォトリソグラフィという言葉が示すとおりであるが、他方、HICやプリント基板の分野では製版技術によるマスクの作成はもとより製造過程においてスクリーン印刷が多用されている。スクリーン印刷自体は印刷産業内では主流とはなっていないが、印刷の基本的な方式の一つに数えられる（Tab. 1）。印刷版の形態（版式と呼ぶ）には、大きくは四つの姿がある。すなわち凸部に印刷インキを載せて紙に転移させる凸版、逆に凹部にインキをつめてそれを紙面

に付着させる凹版、平面状の板面にインキ付着性の高い物質でパターンを描き、その部分にのみ印刷インキが載るように工夫した平版と、さらには板にけられた穴をとおしてインキを紙に与えるステンシルがそれである。一方、印刷では紙面へのインキの転移を印刷版から直接行なう直刷法と、版から一度ゴム質（通常はブランケットと呼ばれる）の面にインキを転移させたうえで改めて紙面に印刷するオフセット法とに分かれる。最近では、ノズルからインキを吹きつけるインキジェット印刷もあるが、まだ商用印刷物をこの方式で印刷するほどには育っていない。

日本で、否世界で最も多く商用に利用されている印刷の方式は平板・オフセットで、単にオフセット印刷と呼べばこれを指す。現在では、日本では紙に印刷されている大部分がオフセット印刷と見てもさしつかえない。ついで、雑誌類の一部やスーパーの店頭に並ぶ色とりどりのプラスチックの袋物の印刷に威力を発揮しているものとして、凹版・直刷に属するグラビア印刷がある。ブリント捺染もこれに入る。グラビア印刷は写真の印刷に適した方法とされており、雑誌類の写真頁をグラビア頁と呼ぶのは、かつてはすべてこの印刷方式がとられていたからである。現在では、グラビア頁といっても平版・オフセットで印刷されたものがかなりある。グラビア印刷は、製版コストはオフセット印刷より高いが、大量印刷に向いているので欧州あたりの部数の多い雑誌、カタログは文字を含めて全頁グラビア印刷のものがかなりある。日本でも、数年前には、ちょっとしたグラビアブームで新刊の雑誌でオールグラビアのものが出まわったが、今はやや沈静化している。

Tab.1 Plates and Printing Methods

Printing Methods Printing Plates	Direct Printing (直 刷 法)	OFF-SET Printing (オフセット法)
Relief Plate (凸 版)	Letter Press (活版印刷) 版 画	
Intaglio (凹 版)	Gravure (グラビア) Intaglio Printing (凹版印刷)	Pad Printing (パッド印刷)
Lithography (平 版)	Lithography (石版印刷)	OFF-SET Printing (オフセット印刷)
Stencil Plate (ステンシル版)	Screen Printing (スクリーン印刷) Stencil Printing (謄写印刷)	

往時は印刷の主流であった凸版・直刷は、大きくオフセット印刷にその分野を喰われてはいるが、書籍、雑誌の本文といった文字関係の印刷で、活版印刷として息をついている。ダンボールへの直接印刷や日本古来の印刷法である版画も、凸版・直刷の一種である。欧米ではプラスチックフィルムへの印刷にかなり使われているが、日本ではその例は少ない。

以上の三つの方式が、今日の印刷の主流を占めており、他の組合せは特殊な分野でわずかに使用されているにすぎず、特にステンシル・オフセットは例を聞かない。

もう少し印刷方式の説明を加えたい。

印刷版の主流である平版は、最初からオフセット方式の印刷であったわけではなく、材料も金属板でなく石であった。ギリシャ地方で産する多孔質の大理石を平らに研磨し、クレヨンや油性のペーストでその表面に絵や模様を左右逆向きに描く。乾いた後水で湿らせると模様の部分は水をはじき石面だけが濡れる。乾かないうちにインキをつけたローラを転がしてやると、今度は石面は水でインキをはじき模様の部分にのみインキが載る。水が乾くのを待って紙を載せ、強圧をかけるなりしごとによってインキが紙に移る。これが平版印刷の最初のやり方であった。画家のロートレック等が制作したパリのムーランルージュのポスターや欧州の本屋で見られるリトグラフと呼ばれるものは、現在でもこの方式で印刷されたものである。英語のリソグラフィおよびリソグラフをそのまま訳して、日本語では石版印刷および石版画と呼ばれていた。その後、商用印刷技術として発展し、版材が金属板に変わり、また高速印刷への要求からオフセット法が考案され、日本での呼び方が平版となり、パターンづけの方法が感光性樹脂の利用に変わっても英語ではあくまでもリソグラフィ（平版印刷）である。

凸版・オフセットは歯磨等のチューブへの印刷ぐらいしか例がなく、平版・直刷はごく一部、事務用印刷機にとり入れられているのみである。数年前、新聞用の活版輪転機を平版・直刷の印刷機に改造する機運があったが、寡聞にしてその後の動きについては聞いていない。リトグラフは、グラフィックの分野というより版画と同様アートの分野に入る。凹版・直刷にはグラビア印刷や捺染の他に、凹版本流のものとして紙幣や株券の印刷の一部に使用されている。偽造防止と重厚な感じの効果をねらっている。近年、株券もコンピュータ管理に移行するに従って、株券からは凹版印刷は姿を消しつつある。凹版・オフセットは、十数年前スレート材への印刷に若干使われていた以外ほとんどその例を見なかったが、最近では商用印刷以外の分野で見直されてきているようである。インターネットコンを始め電子関連の展示会で出品されてい

るパッドプリンティングがこれに属する。用途は、時計の文字板の印刷や多少凹凸のある不整面への印刷に多いと聞く。ゴルフボールへの名前やマークの刷込みにはこの印刷機を使う。今年のインターネットコンショーでは、4色刷の可能なパッド印刷機が出展されていて驚いている。

4. スクリーン印刷

ステンシル・直刷には、その名の示すとおり謄写版印刷とスクリーン印刷が代表格であり、型紙捺染や型紙印刷と呼ばれるものもここに入る。版式でいえば、凸版と並んで最も単純な形態であるが、ことにスクリーン印刷は利点も多いので捺染、壁紙やポスターの一部の印刷の他マイクロカプセルの印刷、HICの導体、抵抗の印刷さらにはプリント配線板におけるレジストコーティング等と多用されている。だが、前述のように、商用印刷での利用は非常に少ない。その理由は、

- 1) 印刷版品質や印刷工程での安定性を保つことが他の版式に比べて難しいこと
- 2) 印刷耐性（耐刷力）が少ない
- 3) パターンの中にスクリーンが入り込む
- 4) 写真の再現には適さないこと

があげられる。スクリーン印刷を利用する大きな目的として、印刷インキ（HICではペースト、プリント配線板ではレジストインキあるいは捺染ではのりと呼ぶが）を被印刷物の上に通常の印刷では考えられないほど厚く印刷することにある。実は、これが製版や印刷を難しくしている理由の一つとなっている。逆にいえば、スクリーン印刷は、インキ皮膜を薄く印刷することができない。ということは、特に、紙への印刷を考える場合、他の版式と比べて致命的な欠点となる。乾燥時間がかかる、乾燥熱により紙が伸縮し、重ね合せ精度が出ない、インキ皮膜が厚いと下色との混色効果が期待できない等のため用途が限定される。また、印刷中に紗と呼ばれるスクリーンが変形しやすく耐刷力を落す。グラビア印刷のように百万のオーダをもつ耐刷性に比べて、枚葉のスクリーン印刷ではせいぜい数千がよいところではないだろうか。大量の印刷をする場合には、印刷版を多数作らなくてはならないが、紗の張り方、感光液の着け方等が不安定で初版と同じ印刷特性にもっていくのが難しい。

今年のインターネットコンショーでは、初めてロータリーのスクリーン印刷機が見られたが、壁紙やあるいはプリント配線板への絶縁用UVキュア塗料の印刷は可能でもHICには無理であろう。

一方、スクリーン印刷には他の版式にはない利点もあ

る。すなわち

- 1) 印刷インキ、すなわちペーストの対印刷適性の幅が他の版式に比べて格段に広い
- 2) 厚い印刷インキ皮膜の形成が可能
- 3) 印刷技能の習得が比較的簡単

である。印刷インキあるいはペーストの印刷適性幅が広いということは、極論すればペースト状にさえすればどんなものでも印刷できるわけで、商用印刷以外の特殊なものの印刷形態としては好適といえる。高い印刷圧ではつぶれてしまい、しかもある程度の厚みを必要とするマイクロカプセル類の印刷やHICのペーストのように重金属や硝子の微粉末を含むものを焼結後も断線しないだけの厚みに印刷しなければならないもの、あるいは半田ペーストを所定の位置に所定の量をつけるには最適な印刷法といえる。

5. スクリーン印刷以外のME用版式の可能性

マイクロエレクトロニクス分野のスクリーン印刷による線幅の限界は実用面では $200\mu\text{m}$ 、技術面でも $100\mu\text{m}$ がよいところと聞く。 $30\mu\text{m}$ のスクリーン版のニュースも聞くが、版面ではともかく印刷後のでき具合はいかがなものであろうか。

スクリーン印刷は、名の示すとおりスクリーンが介在するため、再現線幅に制約を受ける。スクリーンメッシュを細かくすればそれだけ開口部が狭くなり、印刷適性を落す。細線のみの場合には、ペースト条件や印刷条件を調整すれば可能性はあるにしても、細線と広い線幅のものが混在する場合には厄介である。同一版内での線幅の範囲は限定される。これは、どの版式でも多かれ少なかれいえることで、商用印刷のなかでも範囲の広いとされるオフセット印刷でも $60\mu\text{m}$ くらいが限界である。広い線幅のパターンと極端に細い線幅とでは、版を分けなければならない。また、グラビア印刷やスクリーン印刷では、いわゆる線の切れというか滑らかな直線部の再現がどうしてもびりつく。すなわち線信号にひどい雑音のつたようなもので、これが印刷での解像性を落すことになる。しかも、HICのペースト印刷では、皮膜の厚みが必要なので、いたずらに線幅や解像性を追求するわけにはいかない。それでも軽薄短小化の波にのって、高解像性、細線化の要求は強い。

HICでも、スクリーン印刷方式ではなく、銅箔をラミネートしたセラミック基板からエッチングで導体作りをする方式も発表されている。この方がスクリーン印刷方式に比べればはるかに解像性は上がる。

それでは、スクリーン印刷以外に上のような要求を満

たす度合の高い印刷方式はないのだろうか。この問題を、最後に若干考えてみたい。その前に、コストを別にしてマイクロエレクトロニクスからの印刷方式に対する要求を整理すると、次の3点にしばれるであろう。

- 1) 線幅を実用面で $100\mu\text{m}$ あるいはそれ以下にしたい
- 2) 線再現性を高め、線の密度を高めたい
- 3) 導体とするだけの皮膜厚がほしい。

まず、厚い皮膜の印刷が可能な版式および印刷方式を見るに、平版および凸版は落第、ステンシルを別にすれば凹版しかない。凹版の中でもグラビア印刷は、スクリーン印刷と同様パターンの中にスクリーンが入るため線の再現性はよくない。さらに細線の再現も、スクリーン印刷同様不向きな版式である。

そもそもスクリーンをパターンの中に入れこむ目的は、スキージやドクターブレードと呼ばれる金属板でペーストを押し出したり、インキをかきとったりする時にパターンの周辺部と中央部で皮膜の厚みムラを作らないようにと考案されたもので、一種の支えの役割を果している。ちなみに半田ペーストの印刷によく用いられるスクリーン印刷用メタルプレートで紗の入っていないものがあるが、この版を用いると、少しでもスキージ圧が強いと、特に広い面積部分では中央部のペーストの厚みが極端に薄くなる経験をおもちの方は多いであろう。つけ加えれば、支えの目的のためにはスクリーンはバイアス張りに限る。このスクリーンがある限り線品質および解像性の向上は望めない。

グラビア印刷はスクリーンの障害の他に、印刷インキの粘度を他の版式に比べ極端に落さないとい印刷できないという問題がある。インキ粘度を低くすることは固形分の含有量を減らすことになり、厚い皮膜の印刷は困難である。

グラビアとは別に、紙幣の印刷の一部に使われている本来の凹版は、グラビアとはその様相を異にする。その特徴をグラビアと対比すると

- 1) スクリーンを使用していないために線の再現性は格段によいが、広い面積部の印刷には向かない
- 2) 使用インキは、各版式の中で最も固く、固形分も多い。したがって、インキの皮膜を厚くできる。

等である。

本来の凹版・直刷用のインキは、ペーストというよりフレーキに近い。それを凹部につめ余ったインキをワイピングして除き、強圧をかけて紙にインキを移す。紙幣を手で触れてみて、インキの部分に盛り上がりを感じるところは凹版印刷が施されている部分である。印刷効率があまりよくないのと広いパターン面積のある印刷に適

(p.25へつづく)

り、TABによるデバイスの信頼性データについても触れた。

次の講演は、一般の人にはまず目に触れることのない半導体ベアチップの応用の解説。量産規模でベアチップが実装された製品は疑いなく電子式腕時計であった。ベアチップの応用いわゆるチップオンボード（COB）によって得られる特徴とニーズを述べ、その応用展開として高周波回路、プリンタや表示の駆動回路、多品種少量の回路、アナログデジタル混在回路、ICカードなどへの事例あるいは可能性を述べた。

第三の講演は、最近では、一般の話題にも上るようになったICカードに应用されている実装技術に関するものである。一口にICカードといっても種類によって厚さがISO規格の0.76mmから3.4mmまでであり、半導体チップの実装技術もそれなりの対応がなされている。本体の信頼性試験方法も述べられているが、最も重要な性能の一つに外部との電氣的接続が行なわれる電極構造があり、3種の代表的な構造について特徴を示した。構造的な面以外に、ソフトの統一と標準化が普及のために不可欠とされている。

第四の講演は、今後の高集積化の手法の一つとして重要な技術と考えられるCR内蔵の低温焼成多層セラミック基板について行なわれた。特に、プロセスと材料について詳しく述べているが、通常の厚膜用導体ペーストと抵抗ペーストが使用できるように、焼成温度がこれらと両立する誘電体材料を開発したところにポイントがある。

CRを内蔵することによって集積度は大きく向上し、例えば、電圧制御型水晶発振器では、この技術を用いるとディスクリート部品とPWBを用いて形成したものに比

べて容積比1/10となっている。この他に、CRアクティブフィルタ、メモリカードなどの事例について、その構成を述べ、この技術に対する期待の強さが窺えた。

第五の講演は、レーザ溶ダリングに関するものであり、その特徴を活かして着実に応用が拡大しつつあることが分かった。レーザ溶ダリングは、非接触で部分加熱が行なえパワー密度が高いのが大きな特徴であり、また光ファイバによってパワーの伝達や分配が容易な点も応用範囲を拡大しており、自動化が容易である。レーザは、その特性からYAGレーザが一般に应用されている。応用事例として、扇風機モータ端子の自動半田付、フラットパッケージICの半田付、チップ部品の半田付などを紹介した。

最後の講演は、VPS技術に関するもので、数年前に、バッチ式の装置が発表されながら限られた応用に留っていた。最近の作動液の分解生成物の低毒化、装置の改良による作動液消費量の低下ならびにインライン式装置の完成度の向上によってようやく工業的に採用への関心が高まってきた今日であり、活発な質疑が行なわれた。インラインタイプ装置の構成、ペーパー損耗の解析と実験結果などが述べられた。

技術委員会インターネプコン分科会では、今から次回企画を検討しておりますが、技術集団の発想になる企画として、一般の商業セミナーとは一味違うものになりたいと考えております。メンバー諸兄から遠慮のないご意見をどしどし寄せていただきたいと望んでおります。

終りに当って、(株)工業調査会を始め後援していただいた関係団体の方々に感謝いたします。

(p.13よりつづく)

さないため普遍化していないが、独特の風合のある印刷物特性を示す。印刷版は、エッチングまたは彫刻で作り、明暗の再現は線の粗密で現わす。線の再現性もよく、厚いインキ皮膜が得られるところは、細線化の進むマイクロエレクトロニクスから見ると魅力のあるところではないだろうか。ただ、直刷の場合、強圧を要するためセラミックス基板のようなものには適さない。これがパッド印刷のようにオフセットで印刷ができれば、かたくもろいものにも印刷が可能となり用途が広がる。

パッド印刷のインキ粘度は、見たところスクリーン印刷のペーストと同じかやや低いですが、これは印刷機やパッドの構造上の問題と考えられるので、もし専用の印刷機の開発やインキの改良がすみ凹版・直刷と同様のフレキに近いインキが使えるれば、スクリーン印刷に勝る細

線の印刷が可能となるのではないだろうか。オフセットでなく直刷でもセラミックスやプリント基板に直接印刷できるような版構造であればかまわない。

1984年のJPCA展に出品された大日本スクリーン製造(株)と、(株)東レの共同開発になるプリント基板レジストインキ印刷用の弾性凹版印刷機は一つの転機になると思われたが、残念ながら印刷以外の点で不具合があり見合せになっていると聞いている。いずれにしても、パッド印刷機や弾性凹版印刷機の出現は、マイクロエレクトロニクス関連の印刷の方法として凹版の時代の到来を告げるものではないかと考えるのは、筆者が印刷界に属するための一方的な見方のなすところであらうか。

参 考 文 献

- 1) 日本印刷学会編：新版印刷事典、大蔵省印刷局