ファインピッチ厚膜印刷技術と印刷機

Fine Line Thick-Film Printing Technology and Printer

林 康介*

1. はじめに

セラミックパッケージ、ハイブリッド IC など厚膜回路形成の分野は、基板回路の高密度化に伴い、多層配線化とファインライン化が進行している。配線の多層化としてグリーンシート積層法が注目され、適用範囲を拡げつつある。ファインライン化も線幅 $50\mu\text{m}$ の量産化が検討されるところまで来ている。

線幅または線間 $100\mu\text{m}$ 以下のファインライン形成は、低コスト量産プロセスに適したスクリーン印刷法での実現が望まれている。ファインライン印刷技術の向上には印刷機・ペースト・スクリーン 3 要素の改良進歩が必要

であるが、ここではファインライン印刷技術について、グリーンシート積層法用印刷機の進歩を中心に述べる。

2. 多層回路配線基板の製法

回路配線基板の多層化には、Tab.1 に示すような製法がある。

1) グリーンシート・印刷積層法は、未焼結のアルミナテープの上に、スクリーン印刷法により W, Mo などの導体ペーストと、絶縁体であるセラミックペーストとを乾燥状態で交互に印刷積層後、還元雰囲気炉で同時焼結し特定の回路機能を形成する方法である。

2) グリーンシート積層法は、薄い ($0.2\sim 0.1\text{mm}$) 未焼結のアルミナテープにレーザあるいは金型などにより、スルーホールを加工後、W, Mo などの導体ペーストを印刷乾燥し、それらのグリーンシートを複数枚積層加圧後、還元雰囲気炉で同時焼結し、特定の回路機能を形成

* Yasusuke Hayashi

日立テクノエンジニアリング(株)/Hitachi Techno Engineering Co., Ltd.

Tab.1 Fabrication methods for thick-film multilayer substrate.

Fabrication	Green-sheet method		Thick-film method	Thick-film/thin-film combination
	Printed multilayer	Sheet multilayer		
Line width	$100\sim 150\mu\text{m}$	$70\sim 100\mu\text{m}$	$100\mu\text{m}$	$50\mu\text{m}$
Line space	$150\sim 200\mu\text{m}$	$70\sim 150\mu\text{m}$	$150\mu\text{m}$	$50\mu\text{m}$
Paste	W, Mo, Mo/Mn	W, Mo, Mo/Mn	Au, Au-Pt, Ag-Pd/Cu	Ni/Au
Isolation	Alumina	Alumina	Glass	Glass
Sheet resistance	$10\sim 20\text{m}\Omega/\square$	$10\sim 20\text{m}\Omega/\square$	$2\sim 20\text{m}\Omega/\square$	$2\sim 10\text{m}\Omega/\square$
Heat transfer	Better	Better	Good	Good
Multilayer	Better	Better	Better	Good
Development cost	Moderate	High	Moderate	High
Substrate cost	Moderate	Moderate	Moderate	High

Fig.1 Fabrication process of multilayer substrate by green-sheet method.

させる方法である。Fig.1に印刷積層法とともに製造プロセスを示す。

3)厚膜多層法は、焼結したアルミナセラミック基板に、Au, Ag, Cuなどの導体ペーストと、絶縁体であるガラス粉末ペーストとを交互に印刷焼成を繰り返して多層化し、両面配線の電氣的接続を行うためのスルーホールも印刷時に導体形成させる方法である。

3. グリーンシート法の特徴

グリーンシート法による多層基板の断面を、印刷積層法とグリーンシート積層法各々について Fig.2に示す。

印刷積層法は、製造設備が安価で工期が短く技術的に容易な製法であるが、グリーンシート積層法に比べてファインライン化と多層化に限界がある（線幅 100 μm 、積層数 10 層迄可能）。

グリーンシート積層法は、設備が高価になり技術的にも高度な製法であるが、絶縁性とスルーホール接続信頼性が高く、100 μm 以下のファインライン化および 50 層以上の多層化が可能であり、今後の多層化をさらに推

し進める製法である。

印刷積層法では、上層になるに従って凹凸が大きいに印刷するが、グリーンシート積層法は、常に新鮮面に印刷するためファインライン化に有利である。しかし、層間の電氣的接続用のスルーホール（直径 100~200 μm の穴）にペーストを埋込む穴埋め印刷という特殊な技術が必要となる。

4. ファインライン印刷の要件

ファインラインの印刷の必要条件是ペーストを印刷位置ずれが僅少、均一な膜厚のもとに正確な形状に転写できることである。両面基板および多層基板ではスルーホール印刷ができることも必要である。

4.1 基板位置決め法

線幅 100~70 μm のファインラインの許容印刷位置ずれ値はライン幅の約 1/3 として、 $\pm 30\sim 20\ \mu\text{m}$ である。

印刷機の基板位置決め法には、基板外形基準式、ピン

Fig.2 Cross-sections of multilayer substrate fabricated by green-sheet method.

Fig.3 Image processing system.

挿入式および画像認識位置決め式がある。基板外形基準式とピン挿入式は、基板個々の寸法ばらつきが $10\ \mu\text{m}$ 以内になるように要求加工精度が厳しいために、位置決め精度の実現が困難である。したがって、ファインライン印刷では画像認識位置決め式が採用されている。

Fig.3 に、画像認識位置決め用の画像処理システムの一例を示す。

印刷位置ずれを $\pm 30 \sim 20\ \mu\text{m}$ 以内に抑えるには、印刷テーブルの移動精度、印刷時のスクリーン変形などを考慮すると、画像認識位置決めに与える位置決め精度は $\pm 10\ \mu\text{m}$ である。

Fig.3 のシステムは、CCD カメラ 2 台で基板のマーク 2 点の重心位置を検出し、あらかじめ学習しているスクリーンのマーク 2 点の中心位置に対して、基板の 2 点マークを中心振り分けに位置決めする。さらに、位置決めの結果をカメラで再度検出し、必要に応じて再位置決め動作を繰り返して行わせることにより、所定の位置決め

Fig.5 Paste thickness in relation to printing condition.

精度が得られる。

512×512 画素 CCD カメラの採用、画像の 2 値化処理から多値化処理（パターンマッチング法）への移行、照明の乱反射による画像ノイズの消滅（ノイズフィルタリング法）など画像処理技術の急速な進歩により、位置検出精度が $\pm 1\ \mu\text{m}$ 以内になり、位置決め精度を $\pm 10\ \mu\text{m}$ 以内とすることができる。

特にノイズフィルタリング法は、乱反射の多い銀パラジウムペーストの基板マークの読み取り精度を向上し、Fig.4 に示すようにメッシュ製スクリーンのマークを直接読み取ることを可能にした。

4.2 印刷性の改良

ペーストが所定の厚みで、かつ正しい形状で転写されるか否かを印刷性ということにして、印刷機で印刷性に影響を及ぼす主な要因は、スキージ条件と版離れ動作である。

4.2.1 均一な膜厚

(a) CRT Image as camera shows.

(b) CRT Image after noise filtering.

Fig.4 Image processing of marks on mesh-screen.

Fig.6 Poor results of transferred paste (Cross sectional shape of line).

転写されたペーストの印刷膜厚は、スクリーンのエマルジョン厚みにほぼ相当する。また、スキージ速度などの印刷条件と膜厚の関係は、Fig.5に示す通りである。

これらのことから、均一な膜厚を得るには、Fig.5に示す条件が印刷中に変化しないことが重要である。すなわち、ファインライン用の印刷機は、下記の性能・機能を備えていることが必要である。

- ①スキージ駆動は、速度が任意に選べ、かつ一定速度を維持できること。AC サーボモータ駆動が望ましい。
- ②スキージ印圧とスクリーンギャップは、データ管理ができ、かつデータ設定に対し再現性のある機構であること。
- ③スキージ走行中は印刷テーブルとの平行度が保たれて、スキージ印圧またはスキージ先端変形量が変化しないこと。機械剛性およびスキージガイド精度の向上。
- ④多層印刷の場合、基板表面に印刷済の導体ラインの凹凸に、スキージの上下動作が良く追従すること。上下に摩擦力の少ない機構、スキージ自重バランス機構、フローティング式スキージ機構などの採用。

4.2.2 正確な転写

形状が正しく、輪郭が鮮明である転写を得るには、スクリーンメッシュ・エマルジョンの選定、スクリーン張

力などスクリーンの諸元に依存する度合いが大きいですが、ファインライン印刷となると印刷機の構造も重要な要因となってくる。

転写不良の形態は Fig.6 に示すように、にじみ・かけ・よごれなどがある。にじみはスクリーンのエマルジョンと基板の隙間にペーストが浸透することにより生じる。かけは、スキージ先端がエマルジョン開口部へ食込むこと、または版離れ時にペーストがスクリーンによりもち去られる結果生じる。したがって、ファインライン印刷

Fig.8 Thru-hole printing technology.

Fig.7 Screen-substrate separation control system.

Tab.2 Data example of thru-hole printing.

Printing results excellent : ○ good : △ poor : □		Thru-hole diameter (mm)		
		φ0.2	φ0.4	φ1.0
Squeegee speed	20mm/s	×	×	○
	60mm/s	×	○	○
	100mm/s	○	○	○
Vacuum	2.67kPa	△	○	○
	4.00kPa	○	○	○
	5.33kPa	△	△	○
Suction interval	3 sec	×	○	○
	6 sec	△	○	○
	9 sec	○	○	○

では、印刷ストローク終了後、スキージの上昇動作およびスクリーンと基板の版離れ動作を適正な開始時期、速度に制御することが重要となってきた。

版離れ動作を制御するには、スクリーンの上昇動作、または印刷テーブルの下降動作を制御するが、Fig.7に印刷テーブル下降動作制御の例を示す。ステッピングモータ駆動のテーブル昇降動作とし、印刷ストローク終了後テーブルが下降開始する時期と下降開始加速度および下降速度を電氣的に制御している。

よごれは、ちりやほこりが主であるが、回路焼成後燃えてなくなり、結果として回路の断線やボイドの原因となる。これを避けるために、印刷室はクラス1万以下のクリーンルームにする必要がある。

4.3 スルーホール印刷

両面厚膜回路基板や多層基板の増加に伴い、基板両面の電氣的接続をとるためのスルーホール印刷が重要さを増してきた。基板のファインライン化に従って、スルー

ホール径も小さくなり、より細かい穴に、またはアスペクト比（穴径／基板厚み）のより小さい穴にスルーホール印刷を実現することが課題となる。

Fig.8にスルーホール印刷の要領と、ペーストがスルーホールの壁に塗布されるプロセスを示す。穴の上に所定量のペーストをスクリーン印刷で転写し、真空によって塗膜を穴内に吸引し、穴壁に塗布するのが原理である。穴壁の塗布膜厚は、穴上面の転写量と真空吸引時間によって決まる。

Tab.2に厚み0.635mmのアルミナ基板に粘度85 Pa・sの銀パラジウムペーストをスルーホール印刷した場合のデータ例を示す。これから、

穴径が0.4～1.0mmの場合は、真空度にかかわらず短時間で容易にスルーホール印刷ができるが、0.2mmでは真空度が一部の範囲に限られていることがわかる。0.2mmに近い小径では、定真空圧制御が必要となる。また、0.2mm以下でアスペクト比0.25以下の穴については、スルーホール印刷技術の対象から穴埋め印刷技術の対象に移っていくが、穴埋め印刷技術については次章で述べる。

5. グリーンシート印刷技術

ピングリッドアレイ（PGA）、セラミックマルチチップモジュールなど、グリーンシート積層法による電子部品製造の拡大に伴い、グリーンシートへのファインライン印刷の要求が量的にも質的にも高まっている。

グリーンシート印刷に求められる品質レベルは、Tab.3に示す通りである。特に生産プロセスとして、高精度位置決め、小径スルーホールへの穴埋め印刷の実現

Tab.3 Requirements of green-sheet printing.

Item	For printing		For printer
	Pattern printing	Thru-hole filling	
Accuracy	±20μm	±15μm	High accurate image processing
Fine line width	100～70μm	φ200～150μm	Screen/table separation control system.
Printed thickness	5～20μm	50～30μm	Low squeegee pressure
Tact time	15～8sec/sheet	30～20sec/sheet	Full-automatic printer
Continuous printing	100sheets (Mesh-screen)	50sheets (Metal-mask)	Automatic screen cleaning system
Speciality for thru-hole filling	—	Paper filter Porous printing table	Automatic paper feeding
Set-up time	—	—	Automatic printing data loading Air cylinder clamp for screen Automatic paste feeding

と高スループットが得られる全自動化が当面の課題である。

5.1 高精度認識位置決め

±20~15 μm の印刷位置ずれ精度の要求に対して、検出精度±1 μm の画像認識装置と調整分解能2.5 μm の位置合せテーブルの組合せで対応する。

グリーンシートは、大気中の湿度・温度の影響を受けて収縮するために、シート個々で寸法のばらつきが大きいことがある。大形のグリーンシートで、高い位置決め精度が要求される場合には、Fig.9 に示すようにカメラ4台でシート4隅のマークを検出し、4ヶの位置決め目標点との位置ずれの自乗和が最小となるような位置決め方式を採用する。

Fig.9 4 Cameras image processing system.

5.2 穴埋め印刷

多層基板の層間の電氣的接続を行うために、φ0.20~0.15 mmの小径スルーホールに、W または Mo の導体ペーストをスクリーン印刷により埋め込む作業を、穴埋め印刷という。

穴埋め印刷は、スキージの押し込みだけではペーストが入り込めないで、シートの裏側から真空で吸引しながら引っ張り込むのが特徴である。そのために、Fig.10 で示すように、印刷テーブルは通気性のある材料を用いる。また、吸引されたペーストがシート裏側に抜けて、印刷テーブルに付着残留し次のシートを汚すのを避けるために、シートの裏側にペーパーフィルタを敷いて印刷する。ペーパーフィルタは、1枚印刷するごとに交換する。

スクリーンは、小径穴のためメッシュスクリーンでなく、メタルマスクを使用する。穴埋め印刷はスキージ印圧が高いので、スクリーン自身の印圧による変形を抑えるためにもメタルマスクの使用が望ましい。

5.3 全自動グリーンシート印刷機

高い精度を得るための認識自動位置決めを採用など、

Fig.10 Thru-hole filling printing technology.

Fig.11 Sheet flow of full-automatic green-sheet printer.

Fig.12 Green-sheet full-automatic printer.

高品質で高い生産性を維持する目的での全自動化が求められている。

グリーンシートは薄く軟質であるため、搬送・移載の取扱いが困難である。グリーンシート単体では、自動搬送が不可能であり、一般的には樹脂製のトレーに載せて搬送し、印刷テーブルへの単体移載などには吸着法を採用する。グリーンシートの供給から排出までを全自動化した印刷機のフローを Fig.11 に、印刷機の外観を Fig.12 に示す。本印刷機では、ファインラインのパターンをシート1枚当たり約10秒（タクト時間）で印刷する。

6. おわりに

グリーンシート積層法による多層基板製造の増加に伴い、ファインライン化の進展が加速されてきた。ライン幅とスルーホール穴径はともに50 μm の量産化を目指して技術開発が行われるであろう。ファインライン化の

実現には、解像度の良いスクリーン、スクリーン通過時は流動性が良いペーストなど周辺技術の改良開発が不可欠であるが、生産設備として品質と生産量に関係大の印刷機は精度・印刷性およびタクト時間の向上に継続的な開発をしていかねばならない。

参考文献

- 1) 庄子房次「マルチチップモジュール用誘電体材料の最近の動向」, SHM 会誌, 2 (1993) 9-17
- 2) 佐野康「50 μm ファインライン回路を実現する低圧プロセスとスクリーンマスク」, エレクトロニクス実装技術, 4 (1993) 37-42

【執筆者紹介】

林 康介(はやし やすすけ)

昭和37年東京大学工学部卒業。同年(株)日立製作所入社, 同60年日立テクノエンジニアリング(株)入社。以来, 基板製造設備の開発に従事。現在, 竜ヶ崎工場設計部長。

IMC 1994

The 8th International Microelectronics Conference

To the World of Personalized Electronics

論文／出展社募集

- ・会 期 1994年4月20日(水)～22日(金)
- ・会 場 大宮ソニックシティ (JR 大宮駅南)

論文募集

電子機器の小型・軽量化、LSIの微小ピッチ化、多ピン化、大型チップ化に伴ない、マイクロエレクトロニクス実装技術が極めて重要となって参りました。IMCは日本で開催される唯一のマイクロエレクトロニクス実装技術の国際会議で、国内外から注目されています。どうぞ奮ってご投稿下さい。(詳細は案内をご請求下さい。送らせていただきます。)

- ・アブストラクト 締切日 1993年10月10日(500 words)
- ・本論文 締切日 1994年1月20日

注) アブストラクトは9月20日締切予定ですが、10月10日まで受け付けますので、発表をご希望の方は至急お申込み、またはお問い合わせ下さい。

出展社募集 『マイクロエレクトロニクスショー』

- ・開催規模：出展会社 150社(予定) 来場者数 4,000名(予定)
- ・出展方法：レギュラー展示、エコノミー展示の2本立

IMCは国際会議だけでなく、これらの先端技術、材料、製品等を紹介する展示会(マイクロエレクトロニクスショー)も同時開催しており、内外からの評価を得ています。PRの場として、ぜひ本展示会をご活用いただきたく、出展参加をお待ちしています。(詳細は案内をご請求下さい。送らせていただきます。)

- 申込先(問い合わせ先) (社) SHM 内 IMC1994事務局
〒187 東京都小平市花小金井6-20-4
TEL: 0424-67-7602 FAX: 0424-64-7478