

微細配線用スクリーン印刷 エッチングレジストの開発

Development of Screen Printing Etching Resist for Micro Patterning



新事業本部
技術部
大西賢午
Kengo
Onishi

1. はじめに

スクリーン印刷法で行なわれていた電子回路の配線形成は、電子機器の小型化に伴い配線パターンが微細化したため、解像度、精度の問題からフォトレジスト法が一般的となった。近年、印刷機の精度向上、印刷版の改良および新規ペースト（配線形成用インキ）の開発により、100 μm 以下の配線パターンも精度良く形成することが可能になってきた。また、電子機器の低価格化、ICタグの一般への普及など、コストダウンの傾向がますます強くなってきており、基板製造において省工程化が可能なスクリーン印刷法が見直されはじめた（図1参照）。

その一例として、導電性ペーストを印刷して焼成することにより直接配線パターンを形成する方法も検討されている。しかし、高い導電性を得るためには、ナノペーストなどの超微粒子を用いた場合においても150 $^{\circ}\text{C}$ 以上で焼成する必要がある。また、フレキシブル基材であるポリイミドへの密着性、パターンの平滑性などの点で改良が検討されている。

一方、スクリーン印刷エッチングレジスト法では、導電性ペースト法よりはエッチング工程が1つ増えるものの、フォトレジスト同等のパターン形成が可能と考えられる。本稿では微細配線用スクリーン印刷に用いるエッチングレジストを開発したので紹介する。

2. 開発の背景

2.1 スクリーン印刷エッチングレジスト法がほとんど使用されていない主な理由

現在市販されているスクリーン印刷エッチングレジストは、高精細を謳っている製品でも現状L/S（ライン・アンド・スペース）=150 μm /150 μm （300 μm ピッチ）程度である。これは、印刷機の精度、版伸びの問題などにより、全体として100 μm 以下の精度が出せないと考えられていたため、微細配線用エッチングレジストの開発が積極的に行われていなかったことが背景にある。

また、スクリーン印刷エッチングレジストは、乾燥性を向

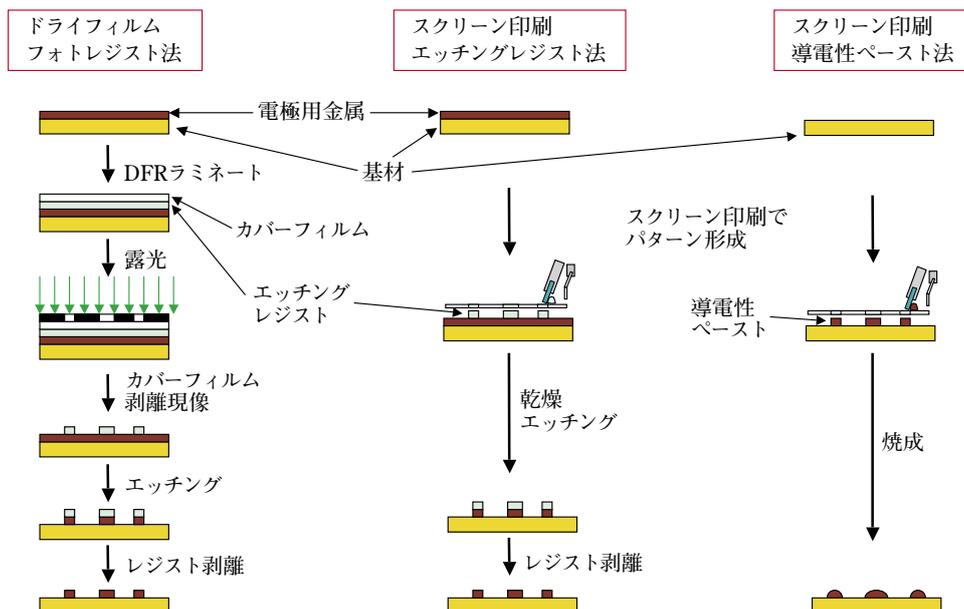


図1 フォトレジスト法とスクリーン印刷法の工程比較

上させるために溶剤の蒸発が著しく早く粘度上昇が早い
ため、途中で粘度調整が必要であるなど工数がかかるという
問題も指摘されていた。

2.2 打開するための方向性

スクリーン印刷は、印刷機、スクリーン版、およびペースト
の三つの要素が最適化されて初めてベストなものができる。
従来求められていたレベルの配線パターンであれば、それら
の内の一つが最適点からずれていたとしても、作業者の技
量により印刷することが可能であった。しかし、微細な配線
パターンを印刷するためには、それぞれが高いレベルで最
適化されることが不可欠である。

2.2.1 印刷機

印刷機はメーカーの改良努力により、機械精度としては約
 $\pm 10 \mu\text{m}$ 程度までの精巧さが得られるようになってきてい
る。またオートアライメント機能の搭載により位置合せも自
動で行えるようになってきている。微細配線パターン印刷のため
に、例えばスキージのコントロールの一部である「版に対す
る押し付け」を押し込み量（ダウンストップ）ではなく、押し
込み圧力（印圧）で微調整出来るようになっており、微細配
線パターン形成に最適なパラメーターを設定することが可
能である。

2.2.2 スクリーン版

版はコンビネーション版の登場により飛躍的に精度が向
上した。コンビネーション版とはポリエステル支持体でス
テンレスメッシュを張る構造のものである。ポリエステル部
分が弾性変形することによりステンレスメッシュの塑性変形
を抑え、高張力で張っても位置精度を保つことが出来るよ
うになっており、版の伸びによる誤差が抑えられている。この
ことにより、一旦位置を決めて版の伸びを考慮したパターン
を作成すれば、繰り返し精度としては $\pm 10 \mu\text{m}$ での制御が
可能である。

また、微細配線パターン形成に必要な、高精細メッシュ、
高解像度乳剤なども開発されてきている。

2.2.3 ペースト（配線形成用インキ）

印刷機とスクリーン版の改良により、トータルとして 550
 $\text{mm} \times 650 \text{mm}$ の版で $\pm 20 \mu\text{m}$ 以下の精度も実現できるよ
うになってきている。

そこで、版離れ性が良好で且つパターンのダレが少ない
ペーストの開発により、スクリーン印刷で微細配線パターン
形成が可能となる。

上述のように、スクリーン印刷で微細配線パターンを形成
する方法としては、導電性ペースト法とエッチングレジスト法
がある。

導電性ペースト法の場合は、導電性を確保するためにペ
ースト中の導電性フィラーが大部分を占める必要があるため、
レオロジーをコントロールするにあたって、導電性フィラー粒

径、粒度分布、配合組成などの制約が大きい。また、印刷さ
れたペーストを焼結して高導電性を発現するためには、非導
電成分である樹脂の熱分解性も必要で、樹脂組成の面でも
制約される。一方、エッチングレジスト法では、基材への密
着性、基材の導電体を溶解するエッチング液に対する耐性、
剥離性があればよく、組成物の設計において制約が少な
い。以上のことから、エッチングレジスト法では最適にレオロ
ジーコントロールすることがより容易であるため、導電性ペ
ースト法より微細な配線パターン形成が可能となると考えられる。

3. スクリーン印刷エッチングレジスト開発に おける設計目標

精細さについては、ドライフィルムフォトリソで形成可
能な $L/S = 30 \mu\text{m} / 30 \mu\text{m}$ を当面の目標とした。

また、様々な用途への展開のためには、各種基材への密
着性が良好で、エッチング条件に耐えられることが必要であ
る。例えば、FPC（フレキシブル回路基板）では基材はCu
であり、ICカードのアンテナではAlである。またフラットパ
ネルディスプレイ用の電極ではITO（酸化インジウム-酸
化錫系の透明電極材料）、Cr等がある。これら基材のエッ
チング条件は液組成、温度、時間等が異なるため、それらに
耐えられることを目標とした。

微細配線パターン形成可能なペーストの設計の考え方を
表1に示す。

表1 微細配線形成ペーストの設計の考え方

版離れとパターン形成性の両立		
低	← 粘度 →	高
版離れ容易	⇔	パターン形成性良好
相反する		
⇒ レオロジーコントロール		
繰り返し印刷性と乾燥性の両立		
低	← 溶剤の沸点 →	高
乾燥性良好	⇔	粘度調整不要
相反する		
⇒ 印刷温度・乾燥温度での蒸気圧に着目して溶剤の選定		
耐エッチング性と剥離性の両立		
劣る	← 耐薬品性 →	優れる
剥離性良好	⇔	耐エッチング性良好
相反する		
⇒ 耐酸・耐アルカリのバランスのよい樹脂の選定		

4. ペーストのレオロジーコントロール

4.1 印刷時のペーストの粘性挙動

版離れとパターン形成性を両立させるには、ペーストのレ
オロジーコントロールが重要となる。

印刷時のペーストの挙動を図2に示す¹⁾。赤線がシエアレ
ート（ズリ速度）に対応した粘性挙動である。印刷前にはシ
エアレートはゼロである。印刷開始によってペーストがローリ
ングし、（図3参照）、数 10s^{-1} 程度のシエアレートが掛かり

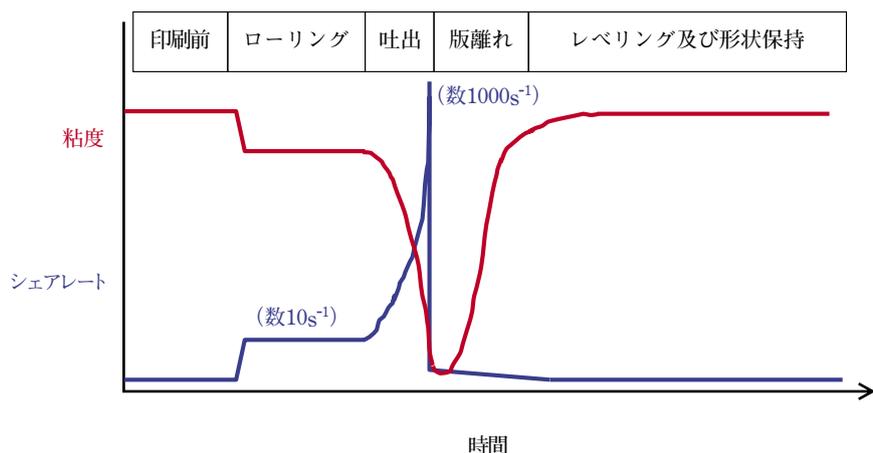


図2 印刷時のペーストの挙動

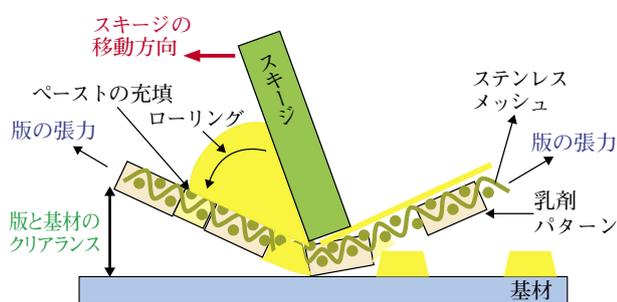


図3 印刷状態の模式図

粘度は僅かに下がる。これが吐出時には細かいスクリーンメッシュを通過するため、数1000 s⁻¹もの高いシアレートが掛かり急激に粘度が低下する。印刷後には、版離れと同時にシアレートが掛からなくなり、粘度が回復する。

ペーストのレオロジー特性としては、版離れする直前の高いシアレートにより粘度が低下して版離れし易く、印刷後はパターンがダレないように粘度回復が早い(弾性が高い)方が良く考えられる。こうした流動特性を実現するため、ペーストに粘弾性および擬塑性を持たせる必要があり増粘剤を使用している。

一般的には、脂肪酸アמידワックス、バリタ、タルク、シリカ、ベントナイト、内部架橋ポリマー微粒子等が使用される^{2) 3)}。中でも導電性ペーストにおいては、導通性の点から焼成時に燃焼して無くなる必要があるため、有機分である脂肪酸アמידワックスが使用されている。

4.2 代表的な増粘剤の粘弾性挙動

a) 脂肪酸アמידワックス

この脂肪酸アמידワックスは、長鎖である脂肪酸部分の絡み合いによる弾性発現とアミド基間の水素結合力による粘性発現の複合系であり、少量の添加での増粘効果が非常に大きいというメリットがある。しかし、水素結合力を利用した増粘剤は、増粘構造を形成するまでに時間が掛かる。

脂肪酸アמידワックスを分散したペーストを作成し粘性挙動を測定した。その結果を図4に示す。シアレートを加えていくと粘度は低下するが、シアレートを減少させる過程で粘度の回復が遅れを生じる。このような特性は、先ほど説明した印刷時のレオロジー挙動にとって好ましいものではない。すなわち、メッシュを通過するとき高いシアレートが掛かり、ペーストの粘度は低下し版離れする。しかし、基材に転写後シアレートを減少させても粘度の回復が遅く、この間にパターンがダレて線

太りや線間接触などの問題が発生する。これはL/S=150 μm/150 μm程度のラインであれば、大きな問題とはならなかったことである。しかし、100 μm以下のライン、特に50 μm以下では、直ちに線間接触につながるなど問題となる。したがって、このようなレオロジーは微細配線形成用印刷ペーストにとって適切とはいえない。

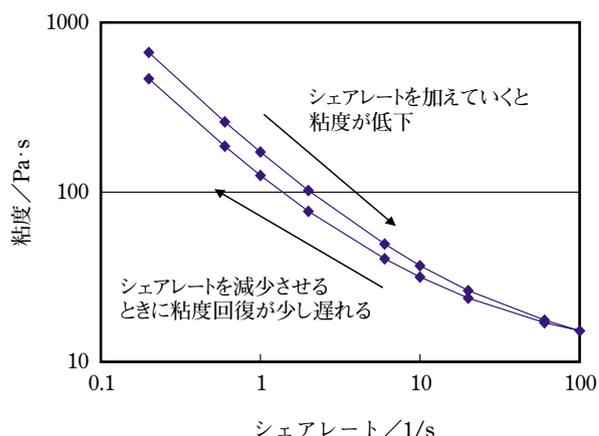


図4 脂肪酸アמיד分散ペーストのシアレートに対する粘度

b) 疎水性フィラー

粘度の安定性および、シアレートが低下していくときの粘度回復の早さという点から考えると、粘度発現の機構としては水素結合力を抑え、長鎖の絡み合いで弾性が発現できるフィラーがよいと考えられる。この条件に当てはまるフィラーとしては、疎水性であり、なお且つ形状が鎖状あるいは糸状のものが良い。このようなフィラーを用いた場合、鎖の絡み合いで弾性が発現しているため、シアレートを加えると粘度が低下し、シアレートを減少させると直ちに粘度が回復すると考えられる。

この考えに基づき、疎水性フィラーを分散したエッチングレジスト用ペーストを設計した。設計したペーストの粘度挙動を図5に示す。シアレートを加えると粘度は低下し、シアレートを減少させると直ちに粘度が回復する。この考え方

に基づいて開発したペーストでは、スクリーン印刷で形成した配線パターンのダレがほとんどなく、良好な微細配線パターンが得られた。

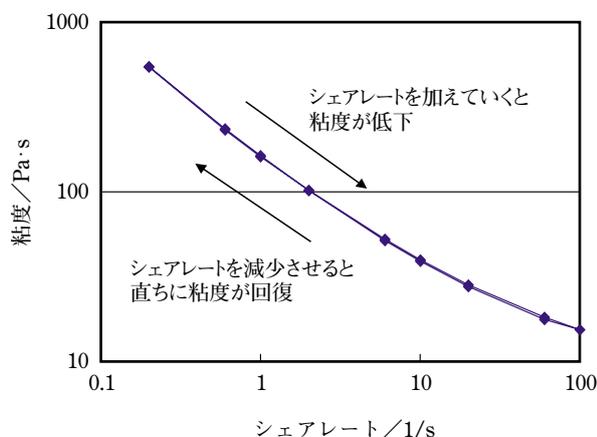


図5 疎水性フィラー分散ペーストのシアレートに対する粘度

5. ゾンネSPRの性能

以上の技術的知見を基に、フィラー・溶剤・樹脂を選定しゾンネSPRを開発した。

5.1 印刷性

ゾンネSPRを用いて印刷した結果、 $L/S=30\mu\text{m}/30\mu\text{m}$ の配線パターン形成も可能であった。(写真1)

TAB配線 (Tape Automated Bonding: 銅箔を接着した耐熱性のフィルムにエッチングで回路を形成し、バンプを介して半導体チップを接続する技術) のテストパターンに対し、スクリーン印刷では一般的に困難とされてきた配線パターンとベタパターンの両立を達成している。

繰り返し印刷性は、印刷環境における蒸気圧の低い溶剤を適用して版乾きや粘度上昇を抑制することにより達成し、且つ乾燥性との両立を図ることが出来た。

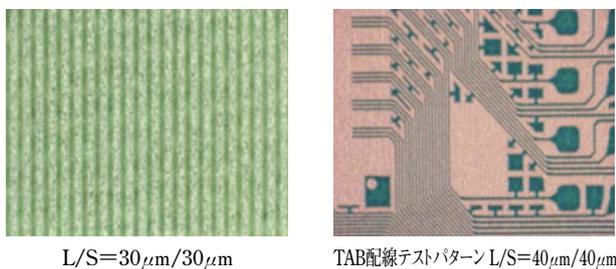


写真1 フレキシブル銅基材へのスクリーン印刷パターン例

5.2 耐エッチング性および剥離性

スクリーン印刷エッチングレジストでは、フォトレジストのように露光・現像工程が無いため、より幅広い樹脂を適用することが可能である。本検討では、耐エッチング性および剥離性を両立させるために、耐酸性があり、且つアルカリ溶解性のある樹脂を選択した。

5.2.1 耐エッチング性

メッキ銅箔付きポリイミドフィルム上にスクリーン印刷機で配線パターンを形成し、クリーンオープンで $100^\circ\text{C}\times 5$ 分乾燥後、スプレーエッチング法を用い、 50°C の塩化第2銅エッチング液で、レジスト被覆部以外の銅を除去した。エッチング条件は、ブレイクポイント (銅が完全に除去される最短時間) の1.3倍で行った。

エッチング後、レジストが剥離することなく密着していることが確認された。

5.2.2 剥離性

剥離液としては、一般的にアルカリ剥離に使用されている3%NaOHを用いた。剥離条件は、液温 50°C でディッピング (自然浸漬剥離) とした。剥離時間を測定したところ25秒で完全に除去することができた。

以上のプロセスにより作成した基板の写真を示す(写真2)。

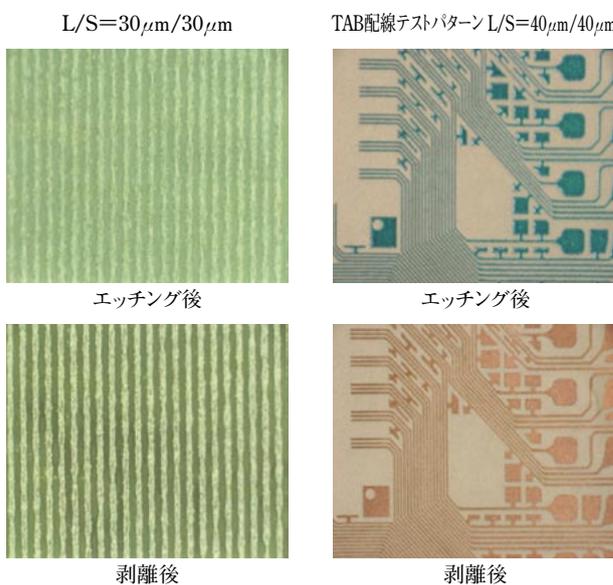


写真2 各プロセス後のエッチングパターン例

6. ゾンネSPRの特徴・機能

- (1) フォトリソグラフィーフリープロセスを構築できる。
- (2) 印刷後の粘度回復が早くパターンのダレが少ないため、微細配線パターンが再現性良く形成できる。
- (3) 溶剤の蒸発が殆どなく、印刷作業中での粘度調節が不要である。
- (4) アルカリ溶液に溶解剥離する。
- (5) Cu、Al、Cr、ITO等の基材に対してエッチング時の密着性に優れる(表2)。

7. おわりに

スクリーン印刷エッチングレジストの樹脂、レオロジー、および乾燥性を最適化することで、スクリーン印刷で微細配線パターンを大量、且つ安価に製造できるレジストを開発し

新技術

表2 ゾンネSPRの機能

基材	Cu	Al	Cr	ITO
用途例	FPC PWB	ICカードのアンテナ	ブラックマトリクス	ディスプレイの透明電極 電磁波シールド
エッチング液	塩化第2銅 塩化第2鉄	PAN	硝酸セリウムアンモニウム	塩化第2鉄
基材に対する密着性	○	○	○	○
エッチング耐性	○	○	○	○

た。また、本レジストを用いたプロセスは、省工程・省材料であることから環境への負荷が小さくできる。

FPC、ICカード、フラットパネルディスプレイ、電子ペーパー、有機半導体等様々な分野の省工程化の一助となるよう、さらに改良を続けていくつもりである。

8. 参考文献

- 1) 佐野康著：スクリーン印刷のススメ
(E-Express 2005.7.15 発行)
- 2) 特開2005-194504：昭和電工(株) 発明者：鎌田博稔
他
- 3) 特開2003-151351：京セラ(株) 発明者：中澤秀司
他

新技術