

1-9-2

エレクトロニクス実装における接着*

田畑晴夫**



Adhesion in Electronics Jisso (Packaging)*

by TABATA Haruo**

キーワード 半導体, パッケージ, 実装, 接着, プリント配線板, 粘着テープ

1. エレクトロニクス実装とは

エレクトロニクス実装とは、元々は、半導体などの電子部品をプリント配線板にはんだ付けすることを、指していたが、現在では、電子部品の多様化や電子製品の高機能化に伴い、図1に示すように、半導体シリコンウエハの状態からパッケージングし、プリント配線板への他の電子部品とともに搭載する技術全体を指すようになった。

エレクトロニクス実装では、電子部品のプリント配線板への接続がはんだ付けで行われており、また、半導体のパッケージングでは、ワイヤボンディングのように金属間接合が重要な接続技術として利用されている。これらの接合技術は、マイクロ接合として、溶接の分野では重要な技術分野である。

接着技術は、接合技術とは異なった特徴を有しており、エレクトロニクス実装の世界でも広く使われている。そして、いわゆる接着剤として使用されているだけでなく、封止材やレジスト材料なども接着が重要なファ

クターである。また、接着だけでなく接着した材料を剥離する場合も多い。

本稿では、図1に示す、1. 半導体パッケージング、2. プリント配線板、において用いられる接着剤や、接着が重要なケースについて解説する。なお、粘着は広義の接着の範疇であり、粘着テープが広範囲に使用されているので、これらも含めて紹介する。

2. 接着（接着剤）とは

本稿で扱う接着とは、「化学的もしくは物理的な力またはその両者によって二つの面が結合した状態」で、一般的には、少なくとも一つの面は、高分子材料です。また、接着剤とは「同種または異種の物体をはりあわせるために使用される物質。接着剤には粘着剤も含まれるが、粘着剤が一時的接着に用いられるのに対して、接着剤は永久的な接着に使用するという意味で区別される。」である。

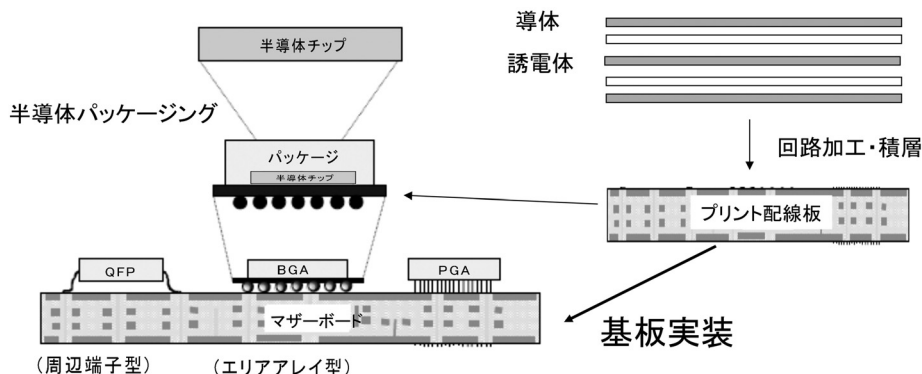


図1 エレクトロニクス実装の概念

*原稿受付 平成22年8月2日

**正 員

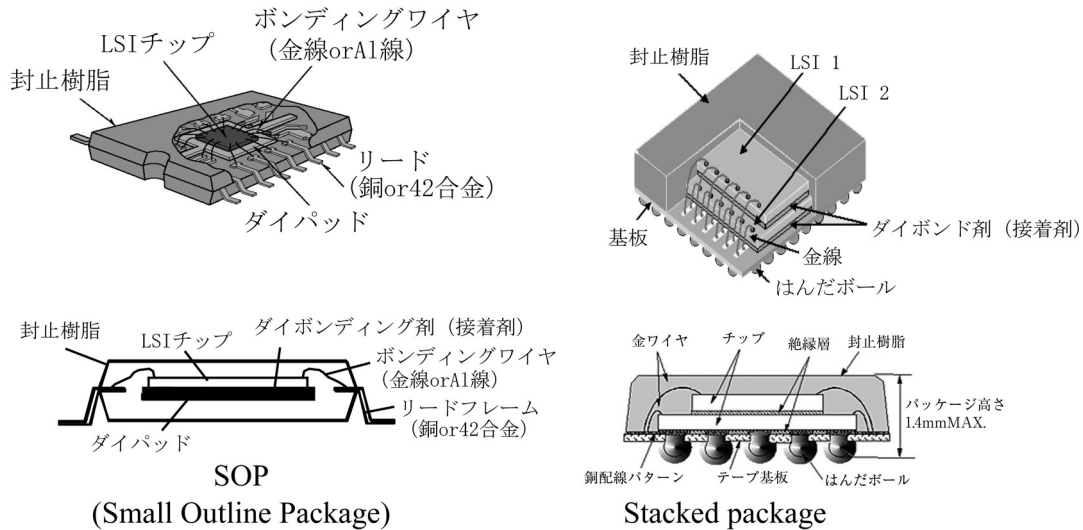


図2 半導体パッケージの例

3. 半導体パッケージ

半導体チップは、取扱を容易にするため、外部からのストレスに対する保護、接続の標準化などのために、通常はエポキシ系の封止樹脂でパッケージングされている。半導体パッケージの例を図2に示す。

図2で接着剤として示されているのはダイボンダ剤だけであるが、半導体パッケージの信頼性などには、封止樹脂と半導体チップ、リードフレームと基板との接着性が重大な影響を与えている。また、これから説明するように2種類の粘着テープが重要な工程材料として使用されている。

3.1 半導体パッケージングにおける接着

半導体製造工程は、前工程と後工程に分けられている。前工程は、ウエハ状態での加工工程である。前工程で半導体の基本的な性能は定まる。後工程とは、前工程で出来た半導体を個々の素子に分離し、パッケージに封止し、取扱いを容易にする工程で、本稿で扱うパッケージング工程の事である。なお、今回は、通常前工程に含まれているバックグラインド工程も含めて解説する。

半導体は、通常その厚さが700 μm 以上で、その直径が150mm~300mmのシリコンウエハ上に数多くの半導体素子を作り、それを、1個ずつに分割しパッケージングする方法で製造されている。

このシリコンウエハは、おおむねは以下の工程でパッケージングされる。

バックグラインド→ダイシング→ダイボンディング→ワイヤボンディング→モールド→トリム&フォーミング→マーキング→検査→包装

3.2 バックグラインド工程

厚さが、700 μm 以上の半導体ウエハを、400 μm ~50 μm の厚さまで研削する工程である。つまり、半分以下の厚さまで、極端なケースでは、1/10以下の厚さまで研削される。研削は、ウエハの背面から行われるが、この時、トランジスタや回路の書き込まれた能動面の保護を目的として、粘着テープ(バックグラインドテー

プ)を能動面を貼り付ける。この粘着テープを通して、バックグラインド装置に真空吸着される。このバックグラインドテープは、研削中は、ウエハを保持するのに必要な接着力は当然として、研削終了後は、容易に剥離する必要があるため、紫外線による硬化反応で接着力が低下する特殊な粘着剤を持ったテープが使用されることが一般的である²⁾。

剥離後に粘着剤が、ウエハ表面に残留し、ワイヤボンディングやフリップチップボンディングなどに悪影響を与えることが多いので、極力粘着剤の残留汚染は無いように設計されている。

バックグラインドテープは、工程材料として使用される重要なテープであり、最近では、半導体ウエハを極限まで薄く研削するため、バックグラインドテープの特性が重要になっている。薄く研削されたウエハは、その強度が極端に低下するため、一時的な補強剤としての機能も併せて持つようになっている。バックグラインド工程で、所定の厚さまで研削されたシリコンウエハは、ダイシング工程に移り、個々の半導体に切り分けられる。

3.3 ダイシング工程

一枚のウエハ上に形成された半導体を個々の素子(Chip)に切り分けられる。バックグラインドテープを剥離したシリコンウエハは、ダイシングテープをその裏面に貼り付け、ダイヤモンドカッターやレーザーカッターで切断される。切断されたChipは、ダイシングテープに接着したままである。Chipをダイシングテープから剥離を容易にするために、テープを少し、引き延ばしたり、紫外線などで接着力を低下させる。バックグラインドテープと異なるのは、Chipを剥離するために引き延ばされることが多いので、基材フィルムが伸びやすい素材になっている。

ダイシングテープの接着力が不足すると、切断されたChipが、ダイシングテープから剥がれて飛び出す現象が起こる(チッピング)。チッピングを起こした半導体Chipは、使うことが出来ない。また、ダイシングソーでの切断には純水洗浄が伴うため、耐水性も必要である。また、あまり強すぎても、Chipをテープから剥離するのが

難しくなる。適切な接着性が必要であるが、Chip サイズやウエハ裏面の状態、ダイシング条件によっても最適な接着性が異なるので、テープメーカーの差が出てくる場所である。

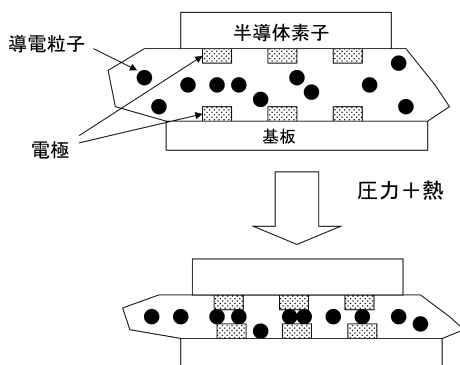
また、ダイシング後の Chip は、直ぐに Chip トレーに収納されたり、次のダイボンディング工程に移されることもあるが、テープに貼り付けたまま保管され、ダイボンディング工程までかなりの時間を放置されることもある。放置による接着力の変化（通常は上昇する）を低くすることも重要である。

3.4 ダイボンディング工程

ダイシング工程で切り分けられた半導体 Chip は、図 2 で示したように、金属（銅系または Fe-Ni 合金）のリードフレームや基板に接着される。ここで、初めて接着剤が登場する。

ダイボンディング用の接着剤は、エポキシ樹脂にフレック状の Ag 粉を配合した、導電性の銀ペーストが使用される。導電性接着剤を使用する理由は、半導体の一部の品種に裏面から導通を取る必要があったり、アースを取り安定化するなどの理由による。

かつては、ダイボンディングは、Au-Si の共晶接合やはんだ接合で行っていたが、Chip サイズが大きくなったこと、リードフレームが銅系主体になったことなどにより Chip と基板との線膨張係数のミスマッチによる内部応力が無視できなくなったこと、接続温度を低くできることなどから、導電性接着剤の使用が標準になった。



エポキシ樹脂中に、導電粒子（金属を表面にめっきした樹脂ビーズ）を均一に分散させ、半導体素子と基板間に挟み、圧力を加え加熱硬化させると、導電粒子が電極間に補足され、導通状態になる。図では、上下方向にのみ導通しその他の方向には導通しない。異方導電性と呼ばれる。

図3 異方導電性接着フィルム (ACF)

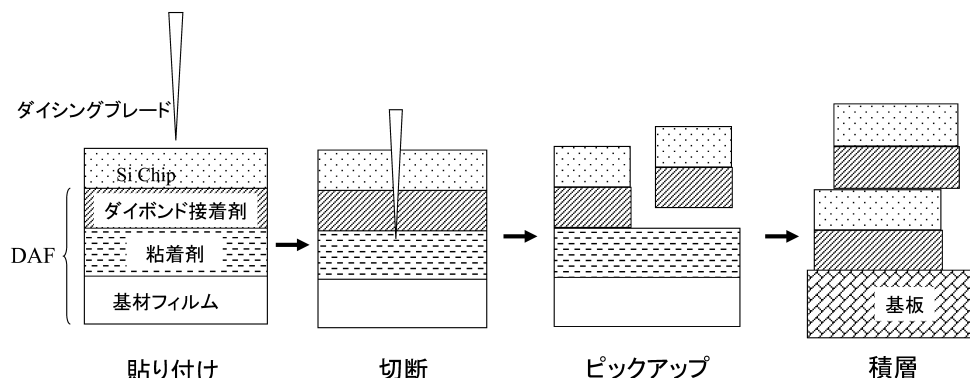


図4 ダイアタッチフィルム (DAF) の概念

ただし、パワー半導体などでは、導電性接着剤ではなく、はんだ接合が用いられている。

次に、少し、毛色の変ったダイボンディング用接着剤を紹介する。

3.5 異方導電性接着フィルム

異方導電性接着フィルムとは、図 3 に示すように、接着部の垂直方向にだけ導電性を示し、水平方向には非導電であることから、異方導電性接着フィルムと呼ばれている。液状の接着剤も開発されているが、大半はフィルム状の導電性接着フィルムである。

液晶ディスプレイのドライバー IC をフレキシブルプリント基板に接続する COF (Chip on Flexible) において、もっぱらこの異方導電性接着フィルムが使われている。

現在のところ、異方導電性接着フィルムの用途は、液晶ドライバー IC の実装がほとんどであると共に、液晶ドライバー IC の実装はほとんど異方導電性接着フィルムによっている。

3.6 ダイアタッチフィルム (DAF)

これは、ダイシングテープの粘着剤面にダイボンディング用の接着剤を貼り付けたダイアタッチフィルム (DAF) が、半導体 Chip を積層したパッケージで使用されている。この場合の、ダイボンディング用接着剤は非導電接着剤である。図 4 にその概念を示したように、ダイシングと同時に Chip の裏面に接着剤が付いており、そのままサブストレートの基板や他の Chip に接着する（ボンディング）ことが出来る。これを繰り返すことによって多段の積層が出来る。半導体 Chip の回路が作られた面に接着するために、非導電である必要がある⁹⁾。

携帯電話やコンパクトデジカメなどで大量に使用されているフラッシュメモリの積層パッケージは、このダイアタッチフィルムを使って製造されている。

3.7 アンダーフィル樹脂

先に説明した、ダイボンディングフィルムやダイアタッチフィルムは、ワイヤボンディングによる接続方法の場合に使用されている。

一方、高速で動作する半導体では、金属バンプを用いたフリップチップボンディングが使用されている。フリップチップボンディングとワイヤボンディングの比較を図 5 に示す。

フリップチップボンディングでは、Chip の線膨張係数が $3 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$ に対してサブストレートの線膨張係数が

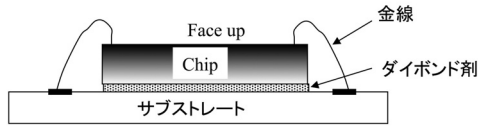
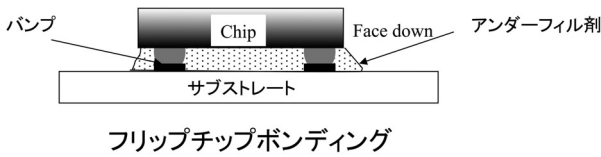


図5 フリップチップボンディングとワイヤボンディング

17 ppm/°C と大きく異なり、パンプ部に熱応力が発生し、ボンディング部の接続信頼性が低下することがあり、一種の接着剤であるアンダーフィル材を Chip とサブストレートの間に充填して、Chip とサブストレート強固に接着させ応力の発生を防いでいる。ワイヤボンディングの場合は、ダイボンド剤によって Chip とサブストレートの線膨張係数のミスマッチにより発生する熱応力を緩和している。

3.8 封止樹脂 (モールドレジ)

サブストレートの基板やリードフレームに搭載された半導体 Chip は、封止樹脂で、樹脂封止される。封止樹脂は、エポキシ樹脂をベースにシリカフィラーを 90wt% 程度充填した樹脂である。シリカフィラーを大量に充填しているのは、低吸湿と低線膨張を目的としたもので、線膨張係数は 50 ppm/°C 程度であったのが、10 ppm/°C 近辺まで低下し、Chip の線膨張係数に近づいている。

半導体 Chip と封止樹脂の界面が剥離すると、信頼性に悪影響を与えるので、封止樹脂において接着性は重要なファクターである。エポキシ樹脂は接着剤として使用されているが、エポキシ樹脂単独ではこの場合接着性が不十分であり、通常はシランカップリング剤を添加して接着力を高めている。シランカップリング剤は、図 6 に示すようにひとつの分子中に、シリコン表面のシラノール基と反応する官能基とエポキシ樹脂と反応する官能基を持った有機シリコン系の材料である。

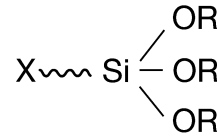
図 7 は、シランカップリング剤の量と封止樹脂の接着力の関係を示す。

シランカップリング剤の添加量の増加に従って接着力が上昇していることを示している⁹⁾。

また、封止樹脂は金型を用いた低圧トランスファー成形でパッケージを成形するため、成形後に金型から離型する必要があり、内部離型剤が含まれている。接着とは反対の離型であるが、あまり離型力が強くとせたく成形されたパッケージが破壊されたり、パッケージの内部で、Chip と封止樹脂界面が剥離し信頼性に悪影響を与えることもある。

図 8 は、封止材の離型力が成形ショットによってどのように変化するかを示したものであるが、離型剤が適切に選ばれていないと、樹脂 A のように、次第に離型力が大きくなり、離型が困難になってくる⁹⁾。

このように、封止材には接着力を高くする事が要求さ



X:有機樹脂などと反応する官能基
OR:シリコンやシリカ表面の水酸基と脱水縮合する

図6 シランカップリング剤

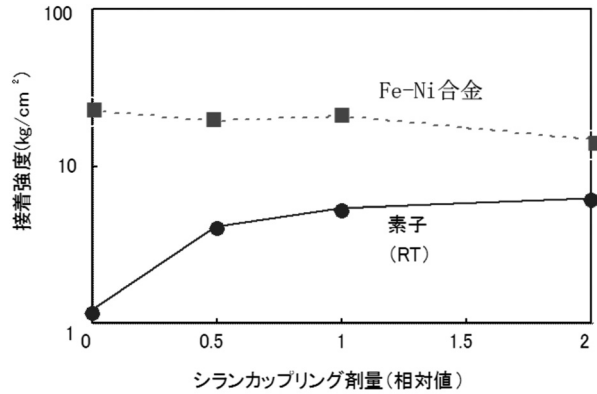


図7 シランカップリング剤量と接着力

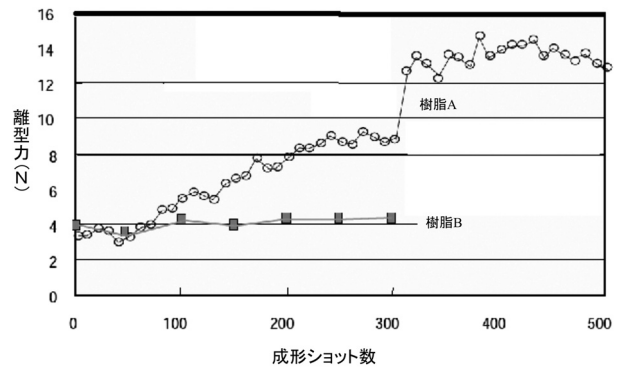


図8 封止材の成形ショット数と離型力の関係

表1 半導体後工程と接着関係材料

	工程材料	接着剤	その他
バックグラインド	バックグラインドテープ		
ダイシング	ダイシングテープ		
ダイボンディング		ダイボンド剤(Agペースト) 異方導電性フィルム(ACF)	
ダイシング&ダイボンディング	ダイアタッチフィルム(DAF)ダイアタッチフィルム(DAF)		
パッケージング		(アンダーフィル材)	半導体封止材
梱包	搬送テープ		

れている一方、離型力も必要と矛盾する要求がなされている。実際の製品では、これらの要求特性のバランスをうまく取ることが要求されている。封止材メーカー各社の腕のふるいどころである。

3.9 パッケージの包装

このようにして封止された半導体は、不要な部分を除去したり端子を形成した後検査し、半導体の種類などをマーキングした後包装される。

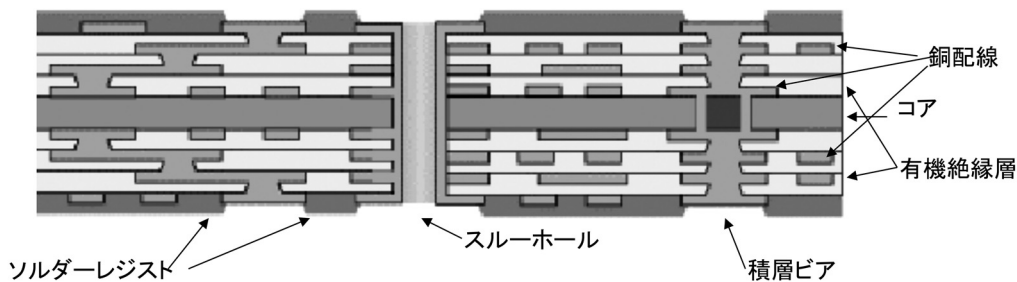


図9 ビルドアップ多層配線板

大型のパッケージは、トレーに整列して梱包されるが、小型のパッケージは、そのまま実装機にセットできるように、紙ベースの粘着テープに整列状態で貼り付けられる。

ここでも、粘着テープが使用されている。

半導体パッケージングにおける接着関係材料をまとめると、表1ようになる。

目的に応じて、様々なタイプの材料が使われているのが解るであろう。

4. プリント配線基板における接着

ここからは、半導体や電子部品を搭載するプリント配線板における接着について解説しよう。

プリント配線板には、構造から片面プリント配線板、両面配線板、多層配線板、ビルドアップ多層配線板、フレキシブル配線板などに分類される。また、その材料によってもいくつかのタイプに分類されている。

携帯電話などの高密度実装が求められる機器に使用されているビルドアップ多層配線板の断面の模式図を図9に示す。コア層を中心に対称に作られていることが解る。

プリント配線板において、接着における重要な課題は、
 1) 配線材料の銅箔と有機材料の接着
 2) 製造工程のエッチング工程でのエッチングレジストと銅箔との接着
 である。

いか、この2ケースについて紹介する。

4.1 銅箔と有機材料の接着

金属銅は、接着しにくい材料である。そのため、図10に示すように銅箔表面に微細な凹凸を作り、その凹部に硬化前の流動性のある樹脂が浸入しその後硬化するアンカー効果により接着性を確保している。

長い間、この方法によってきたが、近年、信号の高周波化や配線の微細化が、このような凹凸を許せなくなってきた。

例えば、高周波信号は、導体の表面のみを伝送し、凹凸があると実質の伝送距離が長くなってしまふ。また、配線の微細化が進み、数10 μ mの微細配線になると、配線精度において凹凸の影響を無視出来なくなってきた。

そこで、プロファイルが1 μ m程度のロープロファイル銅箔が登場し、樹脂の改良、銅箔の表面処理などと組み合わせ、実用上問題ないレベルの接着力が確保されるようになり、一部量産もされている⁹⁾。なお、銅箔の接着力評価は、図11のように90°剥離で行われるため、銅箔の

銅箔表面に凹凸を作り、その凹部に樹脂が浸入するアンカー効果による接着

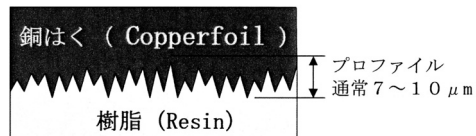


図10 有機材料と銅箔との接着

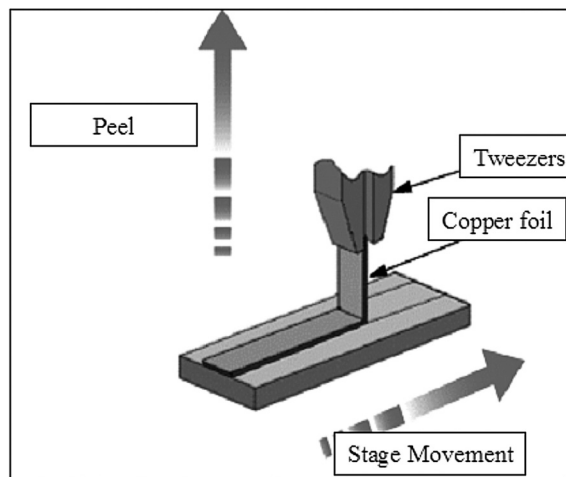


図11 銅箔の接着力評価法

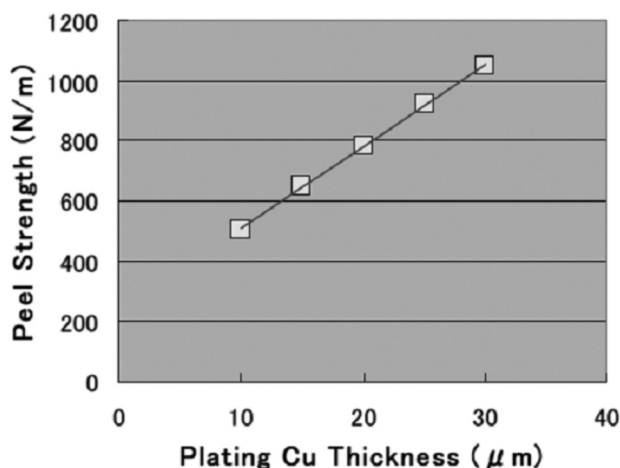


図12 銅箔厚さと剥離強度の関係

曲げ強度も測定値に入ってくるので、図12に示すように銅箔厚さの影響が現れる。銅箔厚さに比例して剥離力が低下していることが解る。このように、接着力の測定値には、真の接着力だけでなく、材料の影響などが出てくる。測定方法や条件などを考慮して判断すべきである。

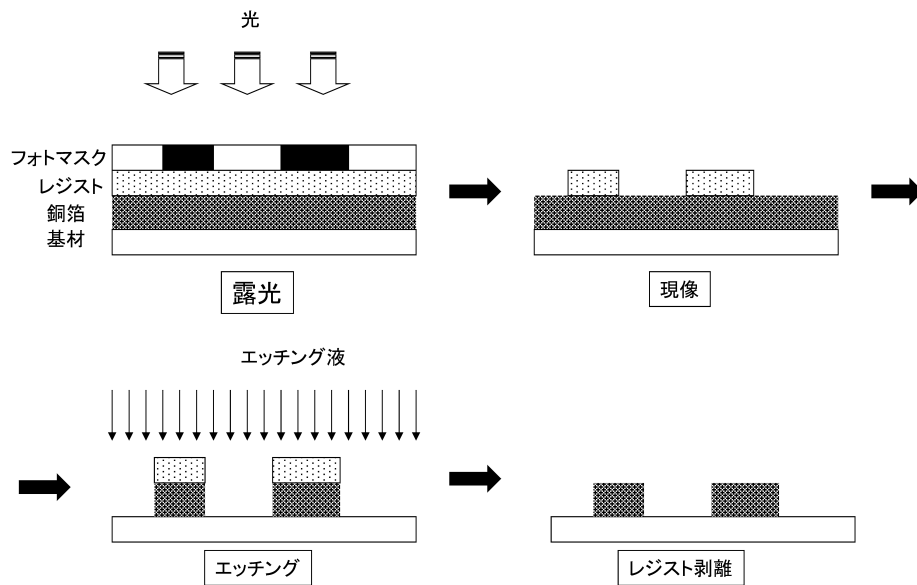


図13 パターンエッチング

4.2 レジスト材料

プリント配線板の回路パターンの作成は、通常銅箔を化学エッチングして、配線パターン部分を残す方法が使われている。その様子を模式的に図13に示す。この時に使われるレジスト材料をエッチングレジストと呼び、接着性も重要である。レジストが銅箔から剥がれたり、浮き上がっていると、必要な部分までエッチングされてしまい、断線など不良の原因となる。

また、めっきで配線を形成したり端子などの接続部に金めっきをする場合などに使われるレジストは、めっきレジストと呼ばれている。このめっきレジストが剥離していると、今度はショート（短絡）不良の原因となる。

さらに、プリント配線板の表面には、図9に示したように、ソルダーレジストと呼ばれるレジスト材料がコーティングされている。これは、最後の工程で端子部にはんだをめっきする時に、他の部分にはんだが付かないようにするレジストとして使われているためにソルダーレジストと呼ばれているが、プリント配線板の銅パターンなどの保護の機能も兼ねている。当然のことながら、接着性は重要な因子である。

5. 最後に

エレクトロニクス実装における接着について、半導体

のパッケージングとプリント配線板を取り上げ説明してきた。

エレクトロニクス実装においては、はんだ付けを代表とする金属間接合は広く利用されている接合技術である。これに対して、接着技術もいろいろなケースで、利用されている。特に、接着剤や粘着剤としての接着だけでなく、多くの材料において接着が重要なファクターになっている事が、理解していただけたと思っている。

エレクトロニクス実装に関係する技術分野は、非常に広く、ここで紹介した以外にも接着が関係しているケースは沢山ある。また、ここで、紹介したケースも、詳しく解説すればそれぞれが一冊の本になるくらいである。

参考文献

- 1) 田畑：第15回 実装技術研究会 資料（主催 横浜国立大学・実装技術研究チーム，エレクトロニクス実装学会・先進実装技術研究会，(2005) 9.13.
- 2) 赤沢，橋本：日東技報 Vol.38, No.1, pp.49-50.
- 3) 塚越，日立化成テクニカルレポート 2003年7月，7.
- 4) 谷川，Technical Program of SEMICON Japan 2002 予稿集 (2002) 219.
- 5) 古澤，エポキシ樹脂技術協会 第28回公開技術講座 講演要旨 (2004) 85.
- 6) 小川，日立化成テクニカルレポート 2006年1月，15-18.