SMTにおける接続技術

Connecting Technology for SMT

畑田 賢造*

1. はじめに

電子機器の高性能化やコンパクト化は、電子機器の新しい市場を開拓すると同時に実装技術の分野にも新しい要求をもたらしてきている。これら電子機器の要求は、機能を高めながら、いかに高密度化実装を達成するかである。

SMTに用いられる電子部品には、C, Rチップ部品やIC, LSIチップのパッケージ等の単体パッケージ部品と複数のIC, LSIチップを主体に搭載したマルチチップモジュール部品がある (Fig.1参照)。この単体パッケージとマルチチップモジュールの当面の課題は、接続の微細化接続技術である。

単体パッケージでは、QFP, SOP等のワイヤボンディ

Fig.1 Electric component for SMT

ング方式による半導体パッケージに変わって、TAB方式によるパッケージTCP (Tape Carrier Package) が使用されるようになってきた。この傾向は、LSIチップの大容量、多機能化のために、チップ寸法の大型化と多端子化に対応するためである。

一方、マルチチップモジュールでは、同一機能のLSIチップを搭載したモジュールと異種機能のLSIチップを搭載したモジュールとに区分される。同一機能のLSIチップを搭載するモジュールは、液晶ディスプレイ、サーマルプリンタ、LEDプリンタ等のごとく機能性基板が主体となっており、搭載部品の接続技術としては、低コストのための微細化、微小化接続技術が重要である。これらのモジュールは既に市販され、技術的にも完成度が高い領域にある。

異種機能のLSIチップを搭載したモジュールは、マイクロプロセッサ、ゲートアレイ、メモリ等を同一回路基板上に搭載し、ひとつの回路ブロックを構成したものである。この種のモジュールの構成は、コンピュータの発達や電子機器のデジタル化により、今後、さらに発展を続けるものと思われる。異種チップにより構成され、ひとつの回路機能を有したモジュールは、出力端子数を減少した形態で、単体パッケージと一緒に別の回路基板に搭載される。

Fig.1で示した単体パッケージ、マルチチップモジュールでは、LSIチップの大型化、多端子化、狭ピッチ化、そして電子機器の高機能化、コンパクト化に対応するために、これらパッケージやモジュールをいかに小面積、小体積に構成し、そして微細な寸法で接続するかが、大きな課題となっている。

搭載部品の形や寸法が微細になるに従い、接続技術や接続材料にも、新しい変化が求められつつある。LSIチッ

*Kenzo Hatada

松下電器産業/Matsushita Electric Industrial Co.,Ltd.

ブ側の接続は、 $100\mu\text{m}$ ピッチを越えようとし、回路基板側の接続ピッチは、 0.3mm ピッチを達成しようとし、さらに、C、Rチップ部品も1005タイプ以下を目指そうとしているが課題は多い。

SMTの接続技術においての課題と開発されつつある新しい接続技術について述べてみる。

2. 単体部品の接続技術¹⁾

SMT用の単体部品には、抵抗器、コンデンサ等のチップ部品と半導体パッケージとがある。

チップ部品は、電子機器の小型化の進展に伴い急速に微小化が進み、抵抗器においては、1608タイプから1005タイプへと移行し、カメラ一体型VTR等に既に実用化され始めている。抵抗器は早くからチップ化された部品で、SMD (Surface Mount Device) 化率は60%以上に達しており、微細チップ化の牽引役を担っている。コンデンサのSMD化率はタンタルコンデンサが高く、抵抗器とはほぼ同じで、微細チップ化も進み1005タイプの量産も開始されている。

抵抗器、コンデンサ、そしてインダクタンス等のSMDが微細化することによって、さまざまな接続上の課題を引き起こしてきている。たとえば、電極配線間のブリッジ、リフロ時のチップ部品のマンハッタン現象(Fig.2参照)、部品の移動現象である。これらの現象は、チップ部品の体積(重量)、表面積とはんだ材の溶融時の表面張力との関係に起因する。このために、接合に用いるはんだ材の組成、チップ部品とプリント配線板の電極寸法、電極形状の検討が行なわれている。1005タイプの部品の接続技術においては、均一な微細粒子のはんだ材料や表面張力が均等に作用する電極形状、電極寸法の設計によって、量産化のレベルにある。しかしながら、さらに部品が微細化した時、新たな課題が発生し、材料や接続方

式の新しい開発が必要とされる。

QFPに代表される半導体パッケージのアウタリードの接続技術では、 0.3mm ピッチレベルの接続が課題となっている。主たる課題は、リード間のショート、リードの浮き、接合強度の低下である。パッケージの平面積を小さくするためには、まずアウタリードの微細ピッチの接続技術が重要であり、当面の目標が 0.3mm ピッチである。 0.3mm ピッチのリフロ接続のために、はんだ組成(微粒子はんだ、低融点はんだ等)、プリント回路基板上へのはんだ材の供給方法等が検討されているが、まだ量産のレベルの技術に至っていない。これは、多端子リード部品の大きな課題である。

LSIチップが大型化、多端子化した場合にパッケージの寸法を小さくするためには、アウタリードの接続ピッチの微細化と同時にLSIチップ電極の接続ピッチも微細化しなければならない。このために従来のワイヤボンディング方式によるQFP、SOPでは微細化の限界に達しており、新しい接続方式としてTAB (Tape Automated Bonding) 方式によるパッケージが注目されている。

TAB方式のパッケージでは、LSIチップ電極の接続技術ILB (Inner Lead Bonding) では、 $100\mu\text{m}$ ピッチの接続が実用化レベルにあるが、一方では、フィルムキャリヤテープ材料や加工技術の開発により、 $50\mu\text{m}$ ピッチの接続技術²⁾も実現されようとしている (Fig.3参照)。

微細ILB技術では、接合のための微細バンパ形成技術(マッシュルーム形状からストレートウォール形状へ)、累積リードピッチ誤差の小さいフィルムキャリヤテープ製造技術、高強度銅箔材料、低収縮率のフィルム材料、そして $\pm 5\mu\text{m}$ 前後の接続用ボンダの開発が必要となる。いわゆる、全体の技術が平均的に向上することによって、微細ILB技術が達成される。

一方、アウタリードの接続技術OLB (Outer Lead Bonding) では、一括リフロソルダリングが適用できない

Fig.2
Manhattan phenomenon

Fig.3 SEM photograph of ILB area with $50\mu\text{m}$ pitch

Fig.4 Connecting method of OLB for TCP

い。これが、TAB方式のパッケージの大きな課題である。これは、アウトリード材料が一般的に $18\sim 35\mu\text{m}$ 厚さの銅箔材料であり、極めて柔軟性に富むことと、フィルムキャリアテープ自体の加工歪による反りのために、回路基板に搭載した時に、アウトリードの浮き発生やリードピッチの不揃いが発生しやすい。このために、回路基板の電極とアウトリードとを均一に加圧した状態で接続を行なう必要がある。

TAB方式のOLB技術としては、Fig.4に示す、(a)はんだ付けによる接続、(b)異方性導電シートによる接続³⁾、(c)光硬化性絶縁樹脂による接続⁴⁾の3つの接続方法がある。(a)の接続方法はプリント回路基板、セラミック基板等に搭載する場合に用いられて、そのほとんどがリフロソルダリングである。(b)、(c)の接続方法は、液晶パネルのモジュール用に良く用いられる。

Fig.5はOLB技術に用いられる各種の方法を示しているが、この方法はTAB方式のパッケージばかりでなく、QFP、SOP等のパッケージにも適用できる。図のいずれの構成においても、基本的には柔軟なアウトリードを回路基板の接続電極に押さえた状態（加圧状態）でリフロソルダリングを行なっている。(a)と(b)は、ヒータブロックにより加圧・加熱を行なう方法で、(b)は、ヒータブロックに押え板を設け、加圧・加熱が終了し、ヒータブロックが上昇しても、接合部がはんだの融点以下に下がるまで、押え板でリードを加圧した状態に保持する構造を有している。これにより、リードの浮きが発生せず、確実な接合が得られる。(c)は、パルスツールによる加熱方

Fig.5 Heating method for OLB

法で、この方法では、ツールの温度を自由に制御できるため、はんだをリフロさせた後も加圧状態でツールの温度を降下させることができる。(a)～(c)の構成は、現在のTAB方式のOLBとして、最も良く用いられる。

最近の新しい接続方法として、レーザ光により加熱する方法(d)も開発されている⁵⁾。この方法では、リードを石英板で加圧した状態でリード1本ずつにレーザ光を照射させ、はんだをリフロさせる (Fig.6参照)。パッケージの寸法が変わった場合、(a)、(b)、(c)の方法では、パッケージの寸法に適合したヒータブロックやツールが必要となるために、複数の寸法、形状の異なるパッケージを混載させる時には設備の構成が複雑となりやすい。また、(c)

Fig.6 Construction of a laser bonder

の方法では、パルスツールを四辺に形成した構成と二辺に形成した構成がある。二辺のツールでは、ツールの間隔を自由に変化させ、複数のパッケージのOLBに対応できる装置も開発されている。(d)のレーザ光による方法では、パッケージ寸法が変わると押え板の交換が必要となる。

他のOLB技術として、赤外線や熱風(e)を用いる方法も提案されているが実用化されていない。(a)~(e)の方法では、いずれもアウタリードを回路基板に密着させた状態で加熱させるために、押え板やヒータ自体と回路基板間の高い平行度が必要となる。しかしながら、この課題は、いまだに解決されておらず、今後のOLB技術の大きな問題でもあり、これをいかに解決していくかがSMTでのTAB技術の進展を決定してしまう。この課題を解決するひとつの提案として、(f)の電磁誘導法がある。技術的には未完成であるが、非接触の状態で電磁力によりアウタリードを回路基板に接触させ、加圧できる特徴がある。

TAB方式のパッケージでもアウタリードのピッチが微細化すると、当然ながら単体部品のQFPの接続技術での課題として述べた、リード間のショートが同様に問題となる。

Fig.4(b)の異方性導電シートを用いる接続技術は、樹脂中に金属微粒子 (Ni, C, はんだ) を分散させたシートを用いる。液晶表示パネルのITO電極とパッケージのアウタリードとの間にこのシートを介在させ、加圧・加熱して接続を行なう。加熱により樹脂は軟化し、アウタリード間とITO電極間の余分な樹脂が排斥され、金属微粒子の接点により電氣的に接続される。加熱温度は170~230℃で、樹脂が熱可塑性タイプでは、比較的低い加熱温度となるが、熱硬化性タイプであると高い加熱温度を必要とし、リペアが困難となる。

接続ピッチの限界は、樹脂中に分散してある金属微粒子の分散量と微粒子径に依存し、200 μ mピッチの接続は実用化され、次の接続ピッチの目標は100 μ mピッチであ

る。この方式の特徴は、接続するリードと電極とはんだ付けによる固定でないため、電極にはんだ付けのための処理が不要で、ITO材料を用いることができる。しかしながら、樹脂中に金属微粒子を分散させているので、クロストークや電極間のショート、そして単位面積当りの許容電流が低い。

最近の異方性導電シートはシート状の他にペースト状の材料も市販され、金属微粒子の直径は5 μ m ϕ 前後を用いた材料も開発されている。用途は、アウタリードの接続ばかりでなく、 bumps を形成したLSIチップと回路基板の電極間に介在させるフリップチップ方式にも用いられてきている。

最も微細ピッチに接続できる方法が、Fig.4(c)^{6),7)}である。この方法は、液晶表示パネルの電極とアウタリードとを光硬化性絶縁樹脂を用い、無加熱で接続できる特徴がある。Fig.7は、この光硬化性絶縁樹脂を用いた接続プロセスを示す。液晶表示パネルの電極上に光硬化性絶縁樹脂を塗布し、パッケージのアウタリードと電極とを位置合わせを行ない、アウタリード上から加圧 (約250 g/リード) すると同時に液晶表示パネルの下面側より紫外光を照射し、樹脂を硬化させる。硬化が終わると加圧を取り去る。これでアウタリードと電極間の電氣的接続が完了する。この接続は、リード表面の微細な凹凸 (約2,000 Å) を利用するもので、加圧によりリードと電極間の樹脂は排斥され、リードの凸部が電極に接し、これが電氣的接続に寄与する。一方、凹部の樹脂やリード間に介在している樹脂は、リードを液晶表示パネルに固定する役割を担う。

Fig.7 Process of using light-setting insulating resin method

Fig.8 Maxium current of connecting area

光硬化性絶縁樹脂を用いた方法では、リード間に絶縁樹脂が介在しているために、クロストークやリード間のショートの発生がなく、微細ピッチの接続(50μmピッチ以下)が実現できる。さらに、接続が無加熱で行なえるので液晶表示パネルの損傷がなく、材料コストが安価である。また、接続部の接触抵抗値も低くITO電極の場合、0.1~0.5Ω(ITO比抵抗:10Ω/□, 接続長:1.8mm, 接続幅:35μmの時), Au電極では10mΩ以下が得られている。

Fig.8は、接続部の許容電流値を示す。接続長1.8mm, 接続幅35μmの場合に、約500mAの電流を流すことができる。この値は、異方性導電シートによる接続方法での許容電流の約10倍に相当する。

3. マルチチップモジュールの接続技術

マルチチップモジュールの接続技術では、微細ピッチ, 超多端子接続の他にチップのリペア性が重要である。同一機能チップを搭載するモジュールでは、この他に低コストを要求し、異種機能チップのモジュールでは、高速性, モジュールとしての電気的性能を重要とする接続技術である。これは、前者が液晶表示パネル, サーマルプリンタ, LEDプリンタ等のOA機器用デバイスであり, 接続技術に対しては、低コスト化のみを要求される分野であることによる。これに対し、異種機能チップを搭載するモジュールは、いわゆるコンピュータ用デバイスであるために性能・機能を第一とする接続が求められる。

回路基板上に複数のチップを搭載するモジュールの接続技術では、ワイヤボンディング方式, TAB方式, FC

(Flip Chip) 方式が用いられてきたが、最近の傾向としてFC方式の開発が盛んである。特に液晶表示パネル, サーマルプリンタ, LEDプリンタ等の同一機能チップによるモジュールで、この傾向が強い。Fig.9は、液晶表示パネルのLSIチップ実装用のCOG (Chip On Glass) 技術である。たくさんのCOG技術^{8),9)}が開発されているが、最近の傾向は、有機樹脂や樹脂ボールを用いた接続技術が多く見られ、その一部は既に実用化されている。他の傾向として、無加熱接続や金属突起の形成を不要とした方式も多く開発されている。このような技術は、液晶表示パネルばかりでなく、他のモジュールにも導入され、徐々に信頼性のレベルを向上させるものと思われる。

一方、異種機能チップを搭載するモジュールでは、まだ、ワイヤボンディング方式やTAB方式の接続技術を用

Fig.9 COG technology for LCD module

Fig.10 Multi chip module by micro-bump bonding method

Fig.11 Principle of micro-bump bonding method

いる場合が多い。将来、電子機器のコンパクト化や高機能化が進展するに従い、異種機能チップのモジュールの開発は、急速に促進される。この場合の接続技術は、既に述べたように、微細ピッチ、超多端子の接続であり、この接続技術の開発が望まれる。

Fig.10は、光硬化性絶縁樹脂を用いた接続方式であるマイクロ・バンプ・ボンディング方式¹⁰⁾によるコンピュータ用モジュールである。LSIチップは、CPU、メモリ、ゲートアレイ等で構成され、回路基板はSi板の多層配線基板を用いている。Fig.11に、マイクロ・バンプ・ボンディング方式の原理を示す。LSIチップと回路基板間に絶縁樹脂が介在しており、この樹脂の硬化時の収縮力により、バンプと回路基板の電極とを圧接させ、電氣的に接続させる構成である。用いる樹脂の収縮応力： W 、樹脂の膨張により接続部を引き剥がす熱応力： P 、チップと樹脂、樹脂と回路基板間の接着力を各々： α 、 β とすれば、樹脂の特性は、

$$\alpha, \beta > W > P$$

の関係が成り立つように設計されている。この接続技術により、 $10\mu\text{m}$ ピッチで数1,000本の電極の一括接続を実

現している。将来的には、このような接続技術を用い、数 μm ピッチ、数10万端子の接続が実現するものと推定される。

4. おわりに

電子機器が高機能化とコンパクト化の傾向を示し、これに搭載されるLSIチップが大型化、微細ピッチ、超多端子化の傾向を示す時、SMDの接続技術にも新たな課題が発生してきている。

最大の課題は、微細ピッチの接続技術である。TAB方式のパッケージやQFPのリード接続技術は、 0.3mm 以下になると極端に困難度を増し、特にTAB方式のパッケージでは、一括リフロソルダリングができず、当分の間は、各パッケージ毎の接合を実施しなければならない。

一方、マルチチップモジュールの分野では、FC方式の導入が積極的に行なわれ、接続方法は、樹脂、導電性樹脂、樹脂ボール等のいわゆる樹脂を用いたものが多く、これらのほとんどが液晶表示パネルのモジュールを対象にしている。樹脂の接続方法でも、既に $10\mu\text{m}$ ピッチの接続で高い信頼性が実現されている。

SMTでの接続技術は、接続ピッチの微細化によって、これまでのはんだ材料による接続方法から有機材料である樹脂による接続方法に転換しつつある。また、リードの接続では、リード自体の柔軟性のために、新たな一括接合技術が望まれる。

接続ピッチが微細化するに従い、接続方法は、従来の接続方法の限界を越え、新しい接続方法の開発が必要となってきた。

参考文献

- 1) 畑田：サーキットテクノロジー, Vol.5, No.3, p.123 (1990)
- 2) 畑田：電子材料, p.19 (1990年5月)
- 3) 佐藤他：電子通信学会技術報告信学技報, CPM86-66, Vol.186, 211, p.49
- 4) 畑田：電子材料, p.72 (1987年9月)
- 5) 村上：TAB 세미나, 主催 松下電器 (1990年5月, 幕張メッセ国際会場)
- 6) 畑田：電子通信学会信頼性研究会, R85-69 (1986)
- 7) 藤本：電子通信学会信頼性研究会, R85-70 (1986)
- 8) T.Nukii et al : ISHM '90 Proceedings, p.257 (Oct. 1990)
- 9) K.Sakuma et al : ISHM '90 Proceedings, p.250 (Oct. 1990)
- 10) Hatada et al : IEEE-CHMT, p.521, Vol.13, No.3 (Sep. 1990)