ソルダ・インジェクション法による 高密度基板用バンプの作製

塚 田 裕*

High Density Carrier Bump Build by "Solder Injection" Method

Yutaka TSUKADA*

Key Words : Flip Chip Attach, Surface Laminar Circuit, Carrier Bump, Solder Injection

高密度のロジックチップを低コストのエポキシ系基板に実装するために、共晶のはんだバンプを基板側端子にソルダ・インジェクション装置により作製する。この装置の原理とプロセス、実際の適用について述べる。

1. はじめに

半導体チップのフリップチップ実装は、他の実装方式に比較して多くの優位性を持っている。アレイ状にジョイントが配置できるので入出力端子の密度が高いこと、ジョイントが小さく寄生容量・インダクタンスが小さいことによるすぐれた電気特性、多数のチップを一度に装着することが可能である生産性の高さなどである。しかしながら、そのジョイントの寿命は基本的にチップと基板の材料の熱膨張係数の差に依存していた。それ故、熱膨張係数の低いセラミック、一般的にはアルミナが基板の材料に使用されてきた。さらに熱膨張係数の差による応力を回避するため、鉛の比率が高く塑性変形しやすい高融点はんだがジョイントの材料として使用されている¹⁾。これまで信頼性向上に対する開発は、基板材料に熱膨張係数の低いものを使用することであり、エポキシのような低コストの材料についてはFCA(Flip Chip Attach)技術の出現まで目を向けられていなかった。

FCAは、フリップチップ実装の基板にエポキシをベ-

スとする材料を使用し、その信頼性を確立したものである。FCA実装では、熱膨張係数の差がアルミナを使用した場合の2倍以上になるにもかかわらず、ジョイントの寿命をアルミナに実装する通常のフリップチップ実装の数倍以上に伸ばすことに成功した。FCA実装には二つの技術的なポイントがある。一つは、大きな熱膨張係数の差で生じる応力による疲労破壊からジョイントを保護するため、チップの搭載後チップと基板の間のスペースをエポキシ樹脂で封止する。もう一つは、エポキシのようにセラミックに比較して耐熱性の低い材料にチップを接合するために、共晶のはんだによりジョイントを形成することである。従来のセラミック基板に使用している高融点はんだは350℃以上でリフローする必要があるのでエポキシのような材料は使えないが、FCAではチップ側の高融点はんだバンプを溶かさず、基板に形成した共晶のはんだのバンプを溶かすことによりチップ側の高融点はんだとジョイントを形成する。そのためチップの接合を通常の部品実装と同じ200℃程度の温度で行うことができる²⁾。図1はSurface Laminar Circuit(SLC)*1

* 日本アイビーム(株) 野洲研究所 (〒520-23 滋賀県野洲郡野洲町三宅800)
Yasu Lab., IBM Japan (800, Ichimiya, Yasu-cho,
Yasu-gun, Shiga 520-23)

*1 SLC(Surface Laminar Circuit): ビルドアップ法を用いたプリント配線板で、感光性エポキシの絶縁層に形成した微小径のフォトビアホールにより、通常の2倍以上の配線密度を持つ。

図1 SLC/FCA実装の断面

図2 FCA工程ステップ

基板に高密度のロジックチップをFCA実装した断面である。

2. FCA工程

図2にFCAの工程ステップを示す。FCA工程は4個のセクタに分けることができる。基板側パンプ作製／チップ接合・電気試験・樹脂封止である。半導体チップはウェーファのレベルでテストされ、バーンインの必要なものはSLCデックバーンイン^{*2}工程、必要のないものはそのままFCA工程に入る。SLC基板は、実装の最初の工程であるソルダ・インジェクションで共晶はんだパンプをFCA用端子に形成する。チップはこのSLC上のパンプにチップのパンプを光学装置により位置合わせした後、フラックスをつけて基板上に置かれる。PGA

^{*2} SLCデックバーンイン：SLC基板をバーンイン用基板として使用し、FCA工程を利用してチップを仮付けし、バーンイン／テストの後取り外して品質の保証されたベアチップを造る方法。

(Pin Grid Array), SMC (Surface Mount Component) 等は基板の端子にはんだペーストをつけた後置かれる。はんだのリフロー工程は一般の赤外線炉でリフロー温度は約210℃である。この温度で基板側共晶はんだパンプが溶けてチップ側のパンプとジョイントを形成する。図3は完成したFCAジョイントの断面写真である。チップ側のバリヤメタルは直径150μm、基板側は75×100μmの矩形端子で、ジョイントの高さは100μmである。

ジョイントの中で黒く見える部分が高融点のはんだで、白い部分が共晶はんだである。高融点のはんだと共晶はんだの境界は、わずかに拡散しているが高融点のはんだは溶けていない。リフローによるチップの接合後、X線検査および電気試験を行う。ジョイントは共晶はんだが高融点のはんだに濡れることにより形成されるので、はんだとはんだの接合なので濡れが悪くて接合不良になることは極めて少ない。チップ自体が電氣的に不良の場合においても、赤外線ランプ等で共晶のはんだを溶かし、容易に取り除くことができる。その後、基板側のパンプをソルダ・インジェクションで形成し直し、新しいチップを置き再度リフローする。電気試験でチップの動作を確認した後にチップと基板の間隙をエポキシ樹脂で封止する。樹脂は毛細管現象により間隙を埋め、熱硬化させることにより完全に封止される。樹脂封止を完了した後にチップの不良が発見されるケースは非常に少ないが、その場合にはチップと樹脂の一部を機械的に削り、露出したパンプ部分に新たな共晶はんだパンプを形成し、最初と同じステップにてチップの接合を行う。

3. 基板側パンプの体積

FCAのジョイントの信頼性はチップ側の端子であるBLM (Ball Limiting Metallurgy)^{*3}の寸法、基板

図3 FCAジョイントの断面

図4 はんだパンプ体積のコントロール

図5 ソルダ・インジェクションのコンセプト

側の端子の寸法及びジョイントの高さによる。BLMと基板側端子の寸法が決まっている場合には、ジョイントの高さははんだの体積に依存する。はんだの総体積は高融点ははんだと共晶はんだの体積の和であるので、それぞれの工程におけるはんだ量のコントロールがジョイントのプロファイルを決定するので重要である。図4 はんだ体積のコントロールの概念を、チップパンプからFCAジョイントの完成に至るまで工程の流れに沿って表したものである。チップには半導体工程での蒸着により鉛の多いはんだをつける(図中①)。バーンイン工程において、チップは共晶はんだを持ったSLCで造られたバーンインキャリア(②)に仮付けされ(③)、バーンインと電気試験終了後に共晶はんだを溶かしてキャリアより取り外される。そのためチップのパンプには共晶のはんだが追加される(④)。バーンインキャリアに用意されているはんだは、バーンインを行う時に必要な電気的な接合を満たす最低限の体積なので、チップパンプに僅かの共晶はんだが移るだけである。バーンインキャリアのはんだはチップを取った後(⑤)、溶ダ・インジェクションで再度形成され(⑥)、キャリアは30回以上リサイクルし低コストのバーンインを実現している。

FCA工程においては、基板側の共晶はんだパンプはバーンインキャリアより多めの量が必要である。製品の信頼性の要求に合うジョイントが形成されるように十分な量が必要である(⑧)。体積の最低量は、FCAのジョイントが形成されたときに共晶はんだの部分でネックダウンを起こさないように設定する。共晶はんだの体積が少なすぎる場合には、チップパンプの表面に拡散してしまい、システムのオン/オフの熱サイクルによる疲労破壊に耐える強度を保つのに十分なジョイントが形成できな

い。体積の最大量はジョイントが形成された後に、樹脂封止の際ジョイント間を樹脂が流れるのを妨げないように設定される。体積が多すぎてジョイント間の間隙が狭すぎると、封止樹脂中のフィラーが引っかかり樹脂の流れを妨げてボイドを生じる。溶ダ・インジェクション工程はこれらのそれぞれの段階におけるはんだ体積を要求にしたがって付けることができる。

4. ソルダ・インジェクション工程

昨今、ロジックチップの入出力端子数は非常に多くなってきている。チップ側のパンプとジョイントを形成する基板側のパンプのピッチは小さくパターンは複雑である。このようなパンプを形成する方法はいくつか考えられるが、工程に課せられた要求を満たすことは難しい。はんだペーストは簡便であるが体積のコントロールが充分できない。はんだめっきは多くの工程ステップが必要でコストがかかり、まためっきしたはんだの組成比や体積の分布を一定に保つこと、SMCとFCA端子のはんだ必要量の違いをコントロールすることが難しい。はんだ付けのコテにより端子にはんだを与えるような方法では、銅に対するはんだの濡れ角 23.5° により制限されて必要

*3 BLM(Ball Limiting Metallurgy): 半導体チップのアルミ配線端子にクロム/銅を蒸着したバリアメタル部分。さらに鉛/スズを蒸着した後に溶かしてチップパンプを形成するが、BLMのサイズによりパンプの形状が決まる。

量をつけることができない。

ソルダ・インジェクションのコンセプトを工程ステップで図5に示す。インジェクション装置のヘッドには下部にマスクがついているはんだのリザーバーがあり(a), そのマスクには基板のFCA接合部の端子に合ったパターンの孔が開いている。リザーバーに圧力が加えられると(b)のようにはんだはマスクの孔から出て基板の端子に接触し、溶けたはんだの柱がマスクの孔と基板の端子の間に形成される。そしてリザーバーの圧力は、マスクと基板の間に流れ出ようとするはんだの柱の表面張力の総和とバランスする。リザーバーの圧力を除くと(c)のようにはんだの柱はマスクの孔からリザーバーの中に戻る。最後にはんだの柱はつぶみ状になりくびれた部分で切れ、上部はリザーバーの中に戻り下部は基板に(d)のように残る。リザーバーに与えられる圧力ははんだを小径の孔から押し出すのに充分でかつマスクと基板の間に流れ出してしまわないようにコントロールされる。

この圧力はラプラスの式から式(1)として与えられる。

$$\frac{4\gamma_1}{D_1} < \Delta P < 2\gamma_1 \left\{ \frac{1}{S} + \frac{1}{(D_1+S)} \right\} \quad \cdots(1)$$

ΔP : リザーバーの圧力

γ_1 : 溶けたはんだの表面張力

D_1 : マスクの孔径

S : マスクと基板の間の距離

最低圧力はマスクの孔においてはんだボールを孔径と同じ直径にするものとして与えられる。最大圧力はマスクと基板の間に流れ出そうとするはんだの曲率が、それらの距離と等しくなる時として与えられる。この圧力を越すとはんだはマスクと基板の間に流れ出してしまう。

5. はんだ体積の推定

基板に残されたはんだの体積はつぶみ状のはんだが分離するポイントの位置による。分離する直前のはんだの形状は図5(c)のようになる。くびれた部分の寸法が限界を越すとはんだは二つに分離する。基板端子に残されたはんだの体積はラプラスの式により正確な計算に求められるが、この計算は非常に複雑であり、かつ溶けたはんだの詳細な物性が必要である。このような複雑な条件による計算の代わりに、はんだの柱に対する寸法により簡便に推定する方法として図5(c)に点線で示す三角錐に近似して計算し、補正項を与えてはんだ体積を求めることとした。

三角錐近似においてはんだの体積は式(2)で与えられる。

$$V = \frac{\pi}{12} \cdot H \cdot \frac{D_2^3}{(D_1 + D_2)} \quad \cdots(2)$$

V : パンプの体積

H : 基板表面からマスク表面までの距離

図6 はんだパンプ体積の実験値と計算値

D_1 : マスク孔径

D_2 : 基板端子の直径

図6はマスク孔径(D_1), 基板端子の直径(D_2), マスクの高さ(H)による実験により測定されたパンプの体積をプロットしたものと、近似式を実験値をもとにして補正して得られた近似曲線を示した。このときのパラメータは以下の組合せである。実験値はそれぞれの組合せにおいて9個の測定の平均である。

$H=100\mu\text{m}$ で $D_1=80, 120\mu\text{m}$, $D_2=40\sim 200\mu\text{m}$

$H=150\mu\text{m}$ で D_1 と D_2 は $H=100\mu\text{m}$ と同じ

$H=200\mu\text{m}$ で $D_1=80\mu\text{m}$ と $D_2=40\sim 200\mu\text{m}$

近似式は計算を単純化するために式(2)を α , β , γ を使用して変形し導いた。

$$\alpha = \frac{D_2}{D_1}, \quad \beta = \frac{H}{D_1}, \quad \gamma = \frac{V}{D_1^3} \quad \text{としたとき}$$

$$\gamma = \frac{\pi}{12} \cdot \frac{\alpha^3 \beta}{(1+\alpha)} \quad \cdots(3)$$

α , β にオフセット値を与えて式(4)を導く。

$$\gamma = A \cdot \frac{\pi}{12} \cdot \frac{(\alpha+B)^3(\beta+C)}{\{1+(\alpha+B)\}} \quad \cdots(4)$$

A, B, C =定数

式(4)が最も実験結果の測定値に合うように A, B, C の値を決定し式(5)が得られる。

$$\gamma = 1.99 \cdot \frac{\pi}{12} \cdot \frac{(\alpha+0.5)^3(\beta-0.74)}{\{1+(\alpha+0.5)\}} \quad \cdots(5)$$

すなわち;

$$V = 1.99 \cdot \frac{\pi}{12} \cdot \frac{(0.5D_1 + D_2)^3(H - 0.74D_1)}{(1.5D_1 + D_2)} \quad \cdots(6)$$

図は測定値に合わせて式(6)により与えられた近似線を示しているが、 D_1 に対し D_2 の大きい部分と D_2 が $40\mu\text{m}$ 以下の部分で近似線は測定値から外れており、その原因は実際の状態と近似との差と考えられるが今後の解析によらねばならない。パラメータの領域によって以

上のように近似が合わない部分があるが、図6において点線で示されている実際に使用される領域については式(6)は十分使用することができる。

6. 装置とアプリケーション

溶ダ・インジェクション装置はマスクを装着したリザーバーを持つヘッドとXYステージ、その間にマスクのホールパターンと基板の端子のアラインメントをとる光学装置が出入りする。XYステージの基板を取りつけ光学装置を通してTVモニタに二重に写し出されたマスクのホールと基板の端子のアラインメントを取った後、基板にフラックスを塗布してヘッドを降ろしインジェクションのシークエンスを行う。インジェクション後基板は洗浄される。さらに溶ダ・インジェクション装置を用いてパンプのリワークを容易に行うことができる。チップを取り外した際、基板には少量のはんだが残されるが、その箇所新しいチップを取りつけるにはパンプの再形成を行う必要がある。新しく行う場合と同様に装置にかけてインジェクションを行うと、マスクから出たはんだが基板に残されたはんだを溶かし吸収するので、どのような量が残っていても再度一定量にリセットすることができる。

この溶ダ・インジェクションの優位性は、大きなはんだ量を簡単な装置で与えることができることである。溶ダ・インジェクションを行ったSLC上のFCA端子の写真を図7に示す。このFCAに搭載されるチップは12.7mm角でパンプ数は560個、そのピッチは225 μ mで5列の千鳥状の配置となっている。マスクはFCAのパンプパターンによりそれぞれ必要であるが、パターンに一定のルールがあれば複数のFCAに対し共通のマスクを使用することができる。基板側にはんだが濡れる端子がなければ、孔から出たはんだは全量またリザーバーに戻る。図8は基板パンプの電子顕微鏡写真である。これまで実行されたパンプの最大数は12.7mmのチップに対して1700である。

7. まとめ

- (1) 高密度のFCA実装に対して基板パンプを作製する溶ダ・インジェクション装置を開発した。
- (2) パンプのはんだ体積はマスクの孔径、基板の端子径、およびマスクの高さにより容易にコントロールすることができる。
- (3) パンプの体積は三角錐分離の仮定式で推定すること

図7 アプリケーション基板のFCA搭載部分

図8 基板パンプの電子顕微鏡写真

ができる。ただし、より精密な計算は、はんだ柱の分離時の形状、条件を見つけることにより可能となる。

(4) 本プロセスはFCA以外の他の高密度実装部品の端子のはんだに対しても使用が可能である。

(5) 本装置は米国、日本、ヨーロッパに特許申請がなされている。

(1993-11-15 受理)

文 献

- 1) K. C. Norris and A. H. Landsberg ; *IBM Journal Research and Development*, 13, (3), p.266 (1969)
- 2) Y. Tsukada, Y. Mashimoto, T. Nishio and N. Mii ; *Proc. of ASME/JSME Joint Conf. on Electronic Packaging*, Vol. 2, pp.827-835 (Sept. 1992)
- 3) Y. Tsukada and S. Tsuchida ; *Proc. of Surface Mount International Conf.* Vol. 1, pp.537-542 (Aug. 1992)