

ボールグリッドアレー実装技術

Assembly Technologies for Ball Grid Array

谷本 光良
M. Tanimoto

金田 知規
T. Kanata

菊地 茂
S. Kikuchi

パソコン、ワークステーションなど情報電子機器にボールグリッドアレー (BGA: Ball Grid Array) パッケージが使われ始めている。BGA は接続電極を部品下面に格子状に配置することで多ピンで小型化できる特長がある。BGA は通常の表面実装ラインで実装でき、また、ピン間隔を広くとれるため、高い実装歩留りが期待できる。

当社は接合部の品質を確保するうえで重要なプリント基板のパッド設計、実装プロセスなど、BGA を実用化するための実装技術を確立した。さらに、はんだ接合界面の銅とスズの合金反応が信頼性に及ぼす影響について明らかにした。

The ball grid array (BGA) mounting is used in electronic information devices such as personal computers and engineering workstations. The solder balls used for BGA connections are distributed over the bottom surface of the package. This allows the BGA to have a high pin count and small package size. Moreover, BGAs can be easily assembled with high yield using existing factory equipment.

Toshiba has established various BGA assembly technologies, including electrode pad design and assembly process conditions. We have also studied the effect of alloy reactions on solder joint reliability.

1 まえがき

近年のパソコンやワークステーションなどの電子機器の高機能化、小型化の要求に伴い、組み込まれる半導体パッケージは高集積化、高性能化が加速し、その接続端子数は増大する傾向にある。従来から表面実装パッケージとして用いられている QFP (Quad Flat Package) では、パッケージの外周部に接続端子 (リード) が 1 列に配置されるため、リード数の増大に伴いパッケージサイズが大きくなる。これを防ぐために、リードピッチは狭くなる傾向にある。しかし、このようなパッケージでは実装時の適正条件マージンが狭く、安定した製造品質を得ることが難しくなる。

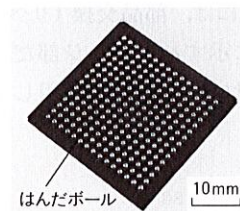
以上のような問題を解決できるパッケージとして BGA が利用されている。BGA はパッケージの裏面に、格子状に配置したはんだボールで接続端子を形成するため、多ピンでありながらパッケージを小型化できる特長がある。さらに QFP に比べ、同一サイズとピン数で接続ピッチを広くとれ、安定したはんだ付け性と高い実装歩留りが期待できる。当社では基板設計、製造プロセス、信頼性評価に加え、量産時の課題となるリペアなど周辺技術を含めた BGA 実装プロセスを確立し、多ピン BGA をノートブックパソコンなどに実用化した。

ここでは、BGA を実装するプリント基板のパッド寸法と供給するはんだ印刷量、さらにははんだ接合界面に生成する銅とスズの合金層が BGA 接合強度に与える影響について

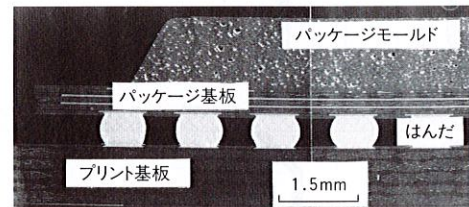
紹介する。

2 BGA パッケージの特長

図 1 に BGA の外観とその接合部断面を示す。BGA はパッケージ構造、内部接続方法、基板材質などによりさまざまな形態がある。いずれも長所としては、①多ピンパッケージでも接続ピッチが広く、実装性に優れる、②パッケー



(a)外観



(b)接合部断面

図 1. BGA 外観と接合部断面 はんだボールの電極が格子状に配置されており、パッケージとプリント基板の間をはんだだけで接続している。

External and cross-sectional views of BGA

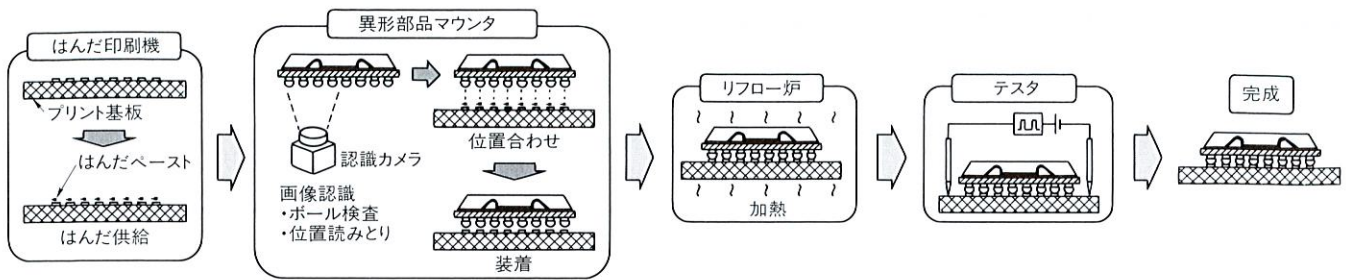


図2. BGAの実装工程 特殊な装置を必要とせず、一般的な表面実装工程で実装ができる。
BGA mounting and soldering processes

ジとプリント基板との配線長が短く、高周波特性が良好である、③放熱特性が良い、などがある。一方、短所としては、①接合部が見えないために外観検査ができない、②QFPリードのように熱応力を緩和できず、接合部は基板の熱変形や反りの影響を受けやすい、などがある。

BGAの実装は、通常のQFPやほかの電子部品と同様に標準的な表面実装ラインを用いて行える。図2にBGAの実装工程を示す。まず、はんだ印刷機によりプリント基板上にはんだペーストを供給する。BGAでは、プリント基板の配線パッドに合わせて円形の開口形状をもつメタルマスクが使われる。BGAの搭載には大型のコネクタなどを装着する異形部品マウンタを用い、パッケージ裏面のボールを画像認識した後、プリント基板上のパターンと位置合わせを行い、装着する。リフロー工程では、はんだボールがすべて溶融し、かつパッケージの耐熱温度以下となるように温度プロファイルを適正化している。リフローはんだ付け時には、はんだの表面張力によるセルフアライメント作用が働き、多少の装着位置ずれは自然に修正される。また、パッケージの保管状態や実装プロセス条件の不備などで実装不良が発生した場合には、部品交換(リペア)が必要となる。リペアには、図3に示すパッケージ部だけを局部的に加熱し、個別にはんだ付けする方法を採用している。

3 BGA 接合強度に及ぼす諸因子の影響

3.1 プリント基板のパッド径の影響

一般に、BGAの実装性を左右するパラメータとして、プリント基板のパッド寸法や表面処理、使用するはんだペースト材料や印刷量、リフロー温度プロファイルなどがある。評価は、実装後の外観検査のほか、はんだ接合部の強度試験などを行う。強度試験は、プリント基板にあらかじめ空けた貫通孔を利用し、基板の裏面側からBGAパッケージを押しつけてその破断強度を測定している。図4に接合強度試験時の破断モードの分類を示す。破断モードはBGAパッケージ基板側のランド剥離(はく)離、はんだ内部の破断、プリント基板側のパッド剥離に分類される。

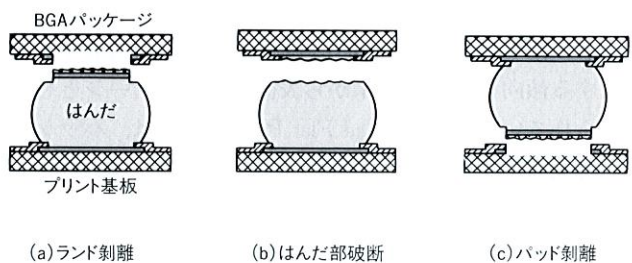


図4. BGA強度試験時の破断モード 代表的な3種類の形態を示す。パッケージ側のランドが弱い場合(a)、はんだが弱い場合(b)、およびプリント基板側のパッドが弱い場合(c)に起こる破断モードを示す。

Fracture modes in tensile strength test

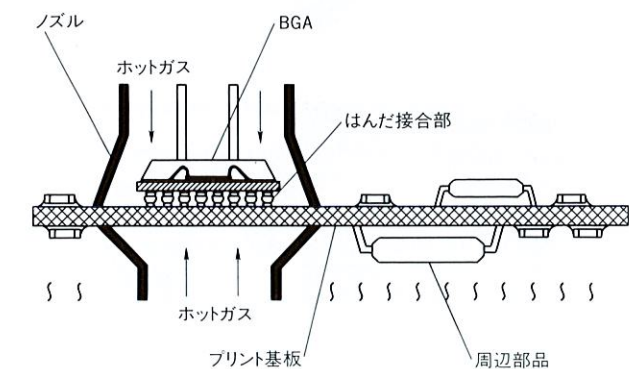


図3. BGAのリペア工程 パッケージの部分だけを高温の気体で局部的に加熱してはんだを溶かす。

Reworking method for BGA

図5に1.5mmピッチ、256ピンBGAをパッド径0.4、0.5、0.65mmと変えたプリント基板にリフロー実装したときの一つの接合部(ハンブと呼ぶ)当たりの接合強度を示す。図中には、これら実装サンプルの温度サイクル試験後(-65°C~+125°C, 1,000サイクル)の接合強度も合わせて示した。接合強度はパッド径が大きいものほど高くなっているが、パッド径0.65mmではパッド径に比例して高くなっていない。この傾向は初期から温度サイクル試験後も変わらなかった。

図6にこのときの破断モードの変化を示す。初期状態の

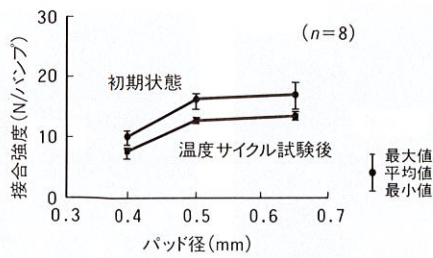
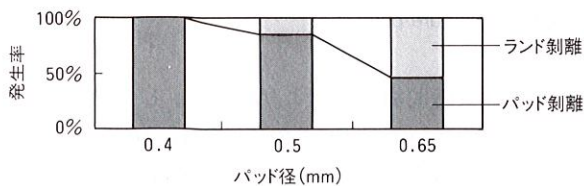
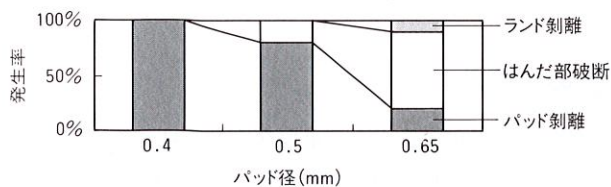


図5. プリント基板パッド径と接合強度の関係 パッド径と接合強度は比例関係にない。温度サイクル試験後でも傾向は変わらない。

Relationship between pad diameter and bonding strength



(a)初期状態



(b)温度サイクル試験後

図6. 温度サイクル試験時の破断モードの変化 初期状態では、パッド径0.65 mmのものはランド剥離が約1/2の割合である。温度サイクル試験後は、パッド径の大きいものでははんだ部破断が増えてくる。

Changes in fracture mode before and after heat cycle

パッド径0.65 mmでは、BGA側のランド剥離が約1/2の割合で現れており、これがパッド径に比例して強度が高くなる原因である。また、パッド径0.65 mmでは、温度サイクル試験前は、BGA側のランドあるいは基板のパッドが剥離しているのに対して、温度サイクル試験後には、はんだ内部で破断している。これは、はんだが劣化(亀裂の発生など)したことを示しており、ランドおよびパッドの強度が強くなり、温度サイクル試験の負荷がはんだ部分に作用したためである。しかし、接合強度の低下は少なく、十分に製品の信頼性を満足できるレベルである。したがって、BGAを実装するプリント基板のパッド径は基板配線の引き回しを考慮しつつ、できる限り大きいほうが良いが、接合部のバランスを考えなければ効果が上がらない。

3.2 はんだペースト量の影響

印刷で供給されるはんだペーストは製造時の重要な条件で、多いとブリッジ不良(隣の電極と短絡してしまう)になり、少ないと未はんだ不良(電極にはんだが届かず接続できない)になる。また、実装後の信頼性を左右する接合部の形

状を決める因子でもある。そこでメタルマスクの開口径で供給するはんだペースト量を変えて、その影響を評価した。表1に1.5 mmピッチ、256ピンのBGA(はんだボール直径0.76 mm)を用い、はんだ量と接合高さおよび接合強度を調べた結果を示す。プリント基板のパッド径0.8 mmに対して、メタルマスク開口径は小径側0.50 mmと大径側0.86 mmとした。接合高さは0.04 mmの差が生じているが、接合強度はほとんど同等である。マスク開口径0.86 mmの場合に対して0.50 mmでは、印刷で供給するはんだ量が1/3となるが、BGA側ボールのはんだ量と合わせると総はんだ量では、およそ20%減にとどまる。したがって、供給はんだペースト量が接合強度を含めた初期接合性に及ぼす影響は少ない。このため、BGAでははんだペースト印刷量のばらつきに対しても影響が少なく、高い製造歩留りが得られるのである。

表1. はんだペースト量と接合高さおよび接合強度

Effect of solder paste quality on bond height and bonding strength

メタルマスク開口径(mm)		0.50	0.86
はんだ	印刷供給量(mg)	0.12	0.36
	ボール量(mg)	0.93	0.93
	合計量(mg)	1.05	1.29
接合高さ(mm)		0.45	0.49
接合強度(N/バンプ)		14.91	15.20

3.3 接合界面における銅スズ合金の影響

BGA側のはんだ接合部は、ボール付け時とプリント基板への実装時の2回の熱履歴を受ける。これによりはんだ成分であるスズ(Sn)と電極パッドの銅(Cu)が反応し、はんだ接合部の界面に合金層 Cu_6Sn_5 (η 相)が生成する。この合金層は高温で長時間放置されると徐々に成長し、厚くなると接合部に悪影響を及ぼすことがある。そこで、加熱条件(熱履歴)の適正範囲を調べた。通常のリフロー条件よりも長い加熱時間でBGAをはんだ付けした場合の、合金層の厚さを調べた。図7にはんだが溶融している時間とそのときに生成する合金層の厚さとの関係を示す。合金層は溶融時間が長くなるに従って成長し、溶融時間250秒(図中C)では通常リフロー時(溶融時間33秒、図中A)の1.5倍の厚さの合金層が生成する。

図8に合金層の厚さが異なるサンプル(図7中のA, B, C)を温度サイクル試験にかけた場合の接合強度の変化を示す。初期の合金層厚さが $1.8 \mu m$ のものまでは、温度サイクル試験でも強度変化はなく良好である。しかし、合金層が厚いもの(図中C)では、100サイクル後から強度低下が見られ、600サイクルではほとんど接合部が破断していることがわかった。図9に600サイクル時の強度低下したサンプルの接合断面を示す。銅パッドと合金層の接合界面付近に

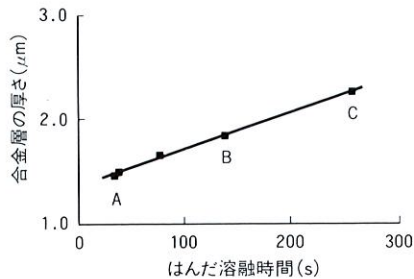


図7. はんだ溶融時間と合金層の厚さの関係 溶融時間が長いほど合金層の厚さは厚くなる。通常のリフロー条件はAである。

Relationship between solder melting time and alloy layer thickness

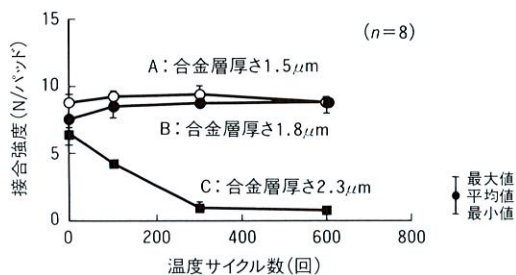


図8. 温度サイクル数と接合強度の関係 合金層が厚いと強度劣化する。

Relationship between number of heat cycles and bonding strength

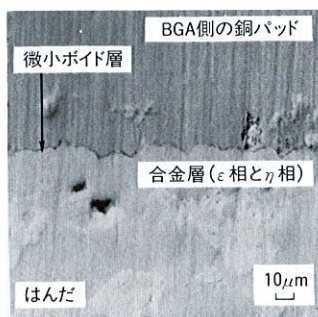
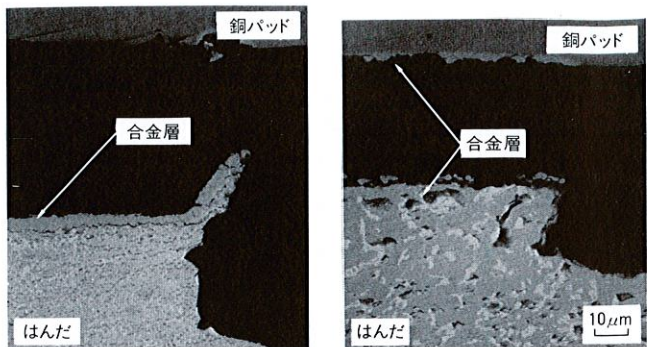


図9. 強度劣化した接合界面の断面写真 合金層と銅の界面に微小ボイド層が生成している。

SEM micrograph of bonding boundary

は合金層の成長過程で見られる微小なボイド(カーケンゲルボイド)が連なり、空隙(げき)層を形成しているのがわかる。この微小ボイドは300サイクルになって見られるもので、それ以前には観察されなかった。強度試験後の破面をX線回折により解析した結果、この空隙層はη相に加え新たに生成するCu₃Sn(ε相)が成長する過程で発生することがわかった。図10に示す接合破断面の観察結果から明らかなように、強度試験時にこの空隙層で選択的に剝離し、強度が低下したことがわかった。通常のリフロー実装工程では、



(a)強度低下した場合

(b)通常の場合

図10. 強度試験時の破断部分の違い 強度低下したものは微小ボイド層で剝離している。

Differences in fracture point

以上のような長時間加熱は起こり得ない。したがって、加熱時間が比較的長い不良BGAのリペア時において、加熱条件を適正化し、接合界面に生成する初期の合金層厚さをコントロールした。これにより、長期信頼性を十分満足させる接合部を形成することができた。

4 あとがき

BGAを実用化するうえで重要な実装プロセス条件を確立するとともに、はんだ接合界面の合金化反応と接合強度との関係を明らかにした。

BGAは多ピン化、大型化するICのパッケージとして、製品への適用が広がるものと予想される。今後も狭ピッチ化、多ピン化するBGAなどに対応した信頼性の高いプロセス技術の確立を目指す。

文献

- (1) 矢野圭一, 他: 薄型・高放熱ホールグリッドアレーパッケージ, 東芝レビュー, 52, 4, pp.55-58 (1997)



谷本 光良 Mitsuyoshi Tanimoto

生産技術研究所 実装技術開発センター研究主務。
半導体の基板実装技術開発に従事。
Manufacturing Engineering Research Center



金田 知規 Tomonori Kanata

生産技術研究所 実装技術開発センター。
半導体の基板実装技術開発に従事。
Manufacturing Engineering Research Center



菊地 茂 Shigeru Kikuchi

青梅工場 部品部主務。
プリント基板実装技術開発に従事。
Ome Works