SBBマイクロ接合技術

熊谷 浩一*, 壁下 朗*, 山崎 攻*

Production Engineering of Micro Connections in Stud-Bump-Bonding Packaging

Koichi KUMAGAI*, Akira KABESHITA* and Osamu YAMAZAKI*

*松下電器産業株式会社生産技術本部回路実装技術研究所 (〒571 大阪府門真市松葉町2-7)

*Circuits Manufacturing Technology Laboratory, Corporate Production Engineering Division, Matsushita Electric Industrial Co., Ltd. (2-7 Matsubacho, Kadoma-shi, Osaka 571)

1. はじめに

情報とAVが高速通信や移動体通信を介してデジタル的に統合されるマルチメディア時代の到来に向け、実装技術にも新たな変化の兆しが現れてきた。今から約10年前にもニューメディア時代と呼ばれ、CATVやキャプテンシステムなどの地域インフラ整備が進んだときがあった。残念ながら当時の家庭用電子機器はスタンドアロンのアナログがほとんどであり、通信基盤も未熟であった。この10年、パソコン、ワープロ、家庭用ゲーム機の普及、ファジイ家電ブームを契機に家庭や個人へデジタルの波が一挙に押し寄せてきた。一方通信基盤では、家庭にあふれるリモコンの赤外線光伝送から、数GHz帯の携帯電話やGPSに至るまで幅広く確実に整備・定着してきており、総合的なデジタル統合の機は十分に熟してきている。

さて、マルチメディア機器では、

(1)ハイビジョンやゲーム機の迫力画面を実現する高速画像処理・高周波伝送技術

(2)いつでもどこでも誰とでもに應える軽薄短小な移動性・携帯性と強靱な信頼性

(3)誰でも個人でも楽しめ、購入できるコストの実現が実装技術の課題になる。

また地球環境保護の観点でも鉛（はんだ）対策も忘れることはできない。我々はこれからのベアIC実装として、スタッドバンパによるマイクロ接続技術を開発してきた。ここではSBB（Stud-Bump-Bonding）マイクロ接合について、主として生産技術面から紹介する。

2. SBB工法

ベアチップ実装の中でFCB（Flip Chip Bonding）方式は原理的に専有面積をチップ寸法と同等まで小さくでき、しかも極限まで薄形化が可能であり、CSPはもちろん、MCMの実現に最適の方式である。半導体チップと基板とのマイクロ接合の工法は各社からいくつかの方式が提案されているが、著者らは図1に示すような独特の2段突起

（Stud）状のバンパをチップのパッド上に形成し、導電性接着剤で基板との接続をとるSBB工法を開発した¹⁾。

これからのマルチメディア時代においては、高速・高周波、小型軽量、そして低価格を実現する実装技術が求められている。機能の充実、コストダウンのためのワンチップ化などで、端子数はますます増え、パッケージは大型化してきている。一方、高速画像処理デバイスや、高周波通信デバイスでは配線の引き回しを最小に抑えたコンパクトな実装が必要であり、従来のQFPでは限界に達している。このSBB工法は上記の限界を克服するものであり、大幅な小型軽量化を可能にする。

ここで例として図2のような10mm角、304端子のLSIチップの実装を考える。従来のQFPではリードの外寸が約47mm角、実装高さが約3.5mm、重量が約15g、チップのパッドからリード先端までの電気配線の総長が約5.7mとなる。SBB工法では実装外寸がほぼチップサイズの11mm弱角で面積比20分の1、実装高さが0.4mmで8分の1以下、重量では0.1gで150分の1、配線総長は15mmで400分の1となり、回路の高速・高周波対応、軽薄短小化の大きな効果がある。また鉛フリーで環境保全にも貢献する。SBB工法はワイヤボンディングで接続する電極さえあれば、世界中のどんなチップでもスタッドバンパを形成して使用できる。荷姿はウエハでもチップでもよく、広く市場から入手し、目的に合わせてMCMを構成できる。以下SBBにおけるプロセスを図3の工程に沿って説明する。

図1. SBBの構造

図2. SBB実装の効果

図3. SBBの製造工程

2.1 スタッドバンプの形成

独自の2段突起形状をしたスタッドバンプは、金ワイヤのボンディングを応用したプロセスで形成する。図4のようにファーストボンドはボールボンドで台座を作り、キャピラリの動作でマイクロループを描き、セカンドボンドをその台座の縁に打ち、金ワイヤを切断する。形成したスタッドバンプの外観を図5に示す。SBBではチップ側に特殊な設計や特別な処理を必要としない。しかもシンプルなドライプロセスでバンプを形成でき、ウェットプロセスのような付帯設備は不要である。バンプ形成後はバンプの高さを揃えるため、レベリング処理を行う。

図4. バンプ形成原理

図5. バンプ外観

2.2 導電性接着剤の転写

レベリング処理の後、バンプの先端に導電性接着剤を転写する。図6にバンプのレベリング処理、および導電性接着剤転写後の形状を示す。導電性接着剤はバンプの2段階目（先端部）を完全に覆い、バンプの1段階目（台座部）が導電性接着剤を受けとめており、導電性接着剤の流れ広がりによる隣接パッドへのブリッジを防止している。この2段階バンプ形状の効果でパッドのピッチを80 μ mまで高密度化できるのが、スタッドバンプの特徴である。

2.3 フリップチップ接合

フリップチップ構造では、チップと基板との間の狭いギャップに熱ひずみ等で強い応力が発生する。最悪の場合接続部が破断し、電氣的にオープン不良をひきおこす。ここではAgPd系を基材にして可撓性を持たせた材料を開発し、使用している。導電性接着剤は本硬化前でも導電性を示すので、仮硬化直後でも電気検査ができる。チップの不良、接続の不良を検査し、この段階で基板にダメージを与えずに何度でもリペアができる。MCMで高価なチップを搭載する場合、ロスコストの削減に大きな効果がある。

2.4 基板材料

チップをマウントする基板材料にはセラミック材料が適

図6. レベリング処理・導電性接着剤転写の外観

している。もちろんコスト的にはエポキシ樹脂系の基板材料が優位であるが、熱ひずみ、基板のそり等が大きくなりやすいので、基板の特性に合わせて導電性接着材料、封止樹脂材料等を選択することが重要となる。転写された導電性接着剤パンプの突起部上に10 μ m以上も盛り上がった形状が塗布されるので、基板表面に10 μ m以下のそりやうねりがあっても電氣的接続に問題はない。多少ラフな基板材料でも対応できるのがSBB工法の特徴であり、それだけに用途が広い。

2.5 封止樹脂材料

チップと基板の間のギャップに封止樹脂を注入し、チップを基板に強固に固定する。封止樹脂はエポキシ系の基材にシリカ微粒子のフィラーを入れ、熱膨張率を調整した。ギャップが狭いため粘度が低い方が注入しやすいが、フィラーの偏在を起こしやすい。このバランスを考え、粘度や粒径を選定した。封止した後に加熱硬化して完成する。図7に断面を示す。

3. SBB生産設備

3.1 SBB清鮮実装ライン

SMTをはじめとする従来の実装ラインは、セット組立工場への設置・稼働を前提に設備設計を行ってきた。SBBはベアチップを扱うためクリーンルームへの設置が当然であり、デバイス工場にふさわしい設備設計の考え方が必要になる。我々は基本コンセプトとして「清鮮実装ライン」を掲げ、一貫した思想で設備開発を行った。「清」とは「クリーン」を意味し、半導体組立工場へ設置される設備としてクリーン設計とした。また、この種のプロセス機器では接着剤、封止樹脂、それらの硬化、金ワイヤのボール形成、再結晶化など「なまものとしての鮮度管理」が品質を左右するので、「鮮」を重視し、品質を第一に「清」と「鮮」にこだわったラインとした。

3.2 スタッドパンプの形成からレベリングまで

スタッドパンプの形成においてはパンプの先端部への導電性接着剤の転写、基板への接続を再現性よく行うため、台座径と先端部径の比率、台座厚とパンプの全高の比率の管理が重要である。台座径は金ワイヤ径の約3倍程度に管理している。したがって金ワイヤの径は25 μ mであれば台

座の径が75 μ mになり、普通のチップの電極ピッチまでは十分余裕がある。図8に示した80 μ mピッチの例では、20 μ m径の金ワイヤを使用した。ワイヤ材質としてはボールメーカー形成時の再結晶領域を考慮し、低ループ用のものを使用している。ボール形成の再現性を高めるには、スパーク電流値と放電時間の最適値管理が重要である。

今回開発したスタッドパンプボンダは試作評価実験用から生産用にも使用できるように、ウエハでもチップでも対応可能とした。取り扱えるチップサイズは1mm角の小型のチップから20mm角の大型チップまで対応できる。チップはトレイプレートにセットし、トレイはマガジンに収納してハンドリングする。ウエハでは4インチサイズまで搭載できる設計にした。開発したスタッドパンプボンダの基本仕様を表1に、設備の全景を図9に示した。パンプの高さを揃えるレベリング機能はユニット化し、スタッドパンプボンダにもフリップチップボンダのどちらにも搭載できるよう便宜を図った。レベリングはチップ単位でも、ウエハ単位でも可能だが、ウエハの厚さに分布があり、チップ単位の方が精度が高い。タクト的にはパンプ形成中に並行してレベリング処理をできるので、チップごとにレベリングしても時間のロスはない。クリーンルームに設置する設備はできるだけ小型化が望まれる。設計を工夫し、今回の設備の専有面積は従来の半分以下にした。

図8. 80 μ mピッチに形成したスタッドパンプ

表1. スタッドパンプボンダの基本仕様

項目	仕様
品番	NM-2742
ボンディング精度	$\pm 5 \mu\text{m}/3\sigma$ 条件 (最小パッドピッチ: 80 μm)
ボンディング加圧	30~300g (1st,2nd共)
ボンディングタクト	0.14sec
ボンディング方式	超音波熱圧着方式 (金線使用)
ICサイズ	Max20~Min1mm [□]
ICトレイ	(標準) 2 [□] ワッフルトレイホルダ
機械寸法	600 (幅) × 800 (奥行) × 1500 (高) mm
オプション	4 [□] ウエハ用ボンディングステージ (手置き仕様)

図7. 封止後の断面 (80 μ m Pitch)

3.3 接着剤転写からマウントまで

次にSBB用に今回開発した全自動フリップチップボンダについて、図10に従い基本動作を説明する。供給されたチップは未レベリング処理の場合、ここでは表示していないが、まずレベリングユニットへ移され、レベリング処理を行う。レベリング処理されフェースアップで並べられたチップは、それぞれのチップサイズに対応する4個のノズルを有する反転ユニットで吸着反転され、実装基板方向へ移動する。

ここでチップはボンディングヘッドにより再び吸着され、導電性接着剤の塗膜形成ユニットへ移され、転写法でパンプの先端部に一定量の導電接着剤が転写される。塗膜形成には独自の3段階プレート方式で常に $20\mu\text{m}$ 程度の膜厚に管理している。転写後チップは基板上の所定の位置まで水平移動したあと、チップ・基板同時視覚認識ユニットにより、相互の位置・角度を補正し、基板上に高精度に装着する。この同時認識機構とサブピクセル濃淡パターンマッチングビジョンにより $5\mu\text{m}$ の精度を実現した。

この設備では 1mm 角から 20mm 角までの広いチップサイズに対応するよう設計した。反転ユニットとボンディングヘッドとも吸着ノズルにツールチェンジ機能を設け、いろいろなサイズのチップにあわせ、ノズルを自動交換しながら

MCMを生産できる。チップの供給部は8枚のウエハを搭載できるが、このうち一部または全部をチップトレイとすることもできる。またメイン駆動部にダイレクトドライブモータを採用し、移載スピードの50%アップとクリーン化設計を図った。精密な制御を必要とするボンディングヘッドの駆動にはボイスコイルモータを採用すると共に、デジタル荷重制御で実装品質を高めた。表2に基本仕様、図11に設備の全景を示した。

表2. フリップチップボンダの基本仕様

項 目	仕 様
品 番	NM-2732
搭 載 フ ロ ー	SBB方式 (ICピックアップ→レベリング (オプション) → →転写→搭載)
搭 載 タ ク ト	SBB方式: 3.5sec/IC (レベリング含まず)
搭 載 精 度	$\pm 5\mu\text{m}/3\sigma$
基 板 サ イ ズ	Max200×150~Min30×30mm
I C 供 給 部 供給荷姿 搭載品種 ICサイズ	ウエハ (Max8インチ) トレイ (2, 4, 5インチ $\square$) ウエハ、トレイ混載でMax8品種 Max20~Min1mm $\square$
I C 反 転 ユ ニ ッ ト ツール数	4ツール
設 備 寸 法	1510 (幅) × 1000 (奥行) × 1350 (高) mm

図9. スタッドパンプボンダの外観

図11. SBB用フリップチップボンダ外観

図10. SBB用フリップチップボンダの基本動作

3.4 検査から導電性接着剤硬化まで

チップを基板にマウントした後で導電性接着剤を仮硬化する。仮硬化でも電気的には十分な導通が得られるので、チップ自体の検査、実装状態の検査ができる。仮硬化では機械的接着強度がまだ弱いので、不良のチップは簡単にはずせる。はずした際に導電性接着剤はチップの側に残り、基板状には残滓が残らないので基板はそのまま無洗浄で再びチップをマウントできる。

3.5 封止樹脂注入硬化から検査まで

検査後再び加熱し本硬化を行う。機械的接着強度も十分となったところで、チップの側面から封止樹脂を注入する。チップと基板の間のギャップは約 $50\mu\text{m}$ と狭く、樹脂は毛管現象で内部へ充てんされる。樹脂の硬化後電気検査を行う。もちろんこの段階ではチップ交換のリペアはできない。注入には多少時間を要するが、工程としてはシンプルである。

4. 生産技術面からの考察

SBBは、効果は飛躍的だが生産技術的には飛躍がなく、着実に現実的な工法である。SBB清鮮実装ラインを設置して試作をすすめ、材料、工法、設備とも膨大なノウハウを蓄積した。この間、作り込むほどに品質、歩留りが確実に向上し、生産技術の実証と品質に対して強い確信を得た。新しい工法の場合、特に超先端の技術を複合した工法の場合、不測の課題が続出し実用化に手間取ることが多い。SBBの場合、従来技術をベースに各工程ごとに一步步高いレベルに挑戦したため、リスクが少なかった。またこのことがSBBのさらなるメリットにもなっている。

ワイヤボンディングでパンプを形成するので、狭ピッチには向かないといわれたが、現在製造されているチップはほとんどすべてワイヤボンディングを前提に設計されている。世界中のほとんどのチップが入手したままでSBBで利用できるわけで、MCMを製造するとき大きなメリットになる。

可撓性の導電性樹脂の採用は一見精緻さに欠けた工法と思われていたが、熱ひずみなどの機械的ストレスをうまく受け流すのに役立っており、基板の素材、うねりに対しても余裕が増し、結果的に低コストで高い信頼性が得られる。

ドライプロセスで工程が短い。生産技術的には短いほど投資も少なく、立ち上げも容易で、品質・歩留りの管理も

しやすい。環境面でもウエットプロセス特有の溶剤や廃液は不要であり、鉛フリーも併せSBBのメリットである。

またリペア無しが必須だともいわれるが、生産技術的にはすべてがコストである。負担をエンドユーザに振り向けるならば、MCMは高価なものになり普及が遅れる。生産しながら、品質をさらに向上させ、コストを下げて行くのが現実的である。

5. まとめ

SBBマイクロ接合技術について試作実証の結果も踏まえ、生産技術的に考察を加えた。SBBは無理のないバランスのとれた現実的工法であることを確証した。今後、CSPからMCMへ本格的実用へと向かう。来るべきマルチメディア時代の実装技術として大きく期待される。

(1995.5.18—受理)

文 献

- 1) Yoshio Bessho et al.: "A Stud-Bump-Bonding Technique for High Density Multi-Chip-Module", Proc. 1993 Japan International Electronic Manufacturing Technology Symposium, June 9-11, 1993

熊谷 浩一 (くまがい こういち)

昭和31年生まれ。昭和55年、東北大学工学部精密工学科卒業。現在、松下電器産業株式会社生産技術本部回路実装技術研究所において、半導体実装技術の開発に従事。

壁下 朗 (かべした あきら)

昭和30年生まれ。昭和50年、函館高等専門学校機械工学科卒業。現在、松下電器産業株式会社生産技術本部回路実装技術研究所において、半導体実装設備開発に従事。

山崎 攻 (やまざき おさむ)

昭和19年生まれ。昭和46年、東京大学大学院電子工学部卒業。松下電器産業株式会社生産技術本部回路実装技術研究所所長。回路実装学会、電気学会、電子情報通信学会、IEEE会員。