

マイクロボールバンブ形成技術

Micro-Ball Bumping Technology

巽 宏 平^{*(1)}
Kohei TATSUMI

橋 野 英 児^{*(2)}
Eiji HASHINO

山 本 幸 弘^{*(2)}
Yukihiko YAMAMOTO

下 川 健 二^{*(3)}
Kenji SHIMOKAWA

抄 録

ノート型PCや携帯電話に代表されるモバイル機器の高機能化に伴い、民生用半導体の高機能化、小型化が進み、半導体実装の高密度化への要求が一層高まっている。高機能半導体の高密度実装においては、汎用技術であるリードフレームを用いたボンディングワイヤーによる実装方式からチップにバンブを形成し、直接基板に接合するフリップチップ(FC)実装へ移行しつつある。独自に開発したバンブ形成方法であるマイクロボールバンブ形成技術を紹介するとともに、競合技術のめっきや印刷法と比較し、その優位性を示した。

Abstract

With the latest performance enhancement of mobile facilities typically such as notebook size PCs, mobile telephones, etc., down-sizing and performance enhancement of the semiconductor devices for general use have been accelerated, resulting in demands for semiconductor device assembly in increasingly higher densities. In the high density assembly of high performance semiconductor devices, the bonding wire method using lead frames hitherto widely applied is being substituted with the flip chip method wherein a chip is directly connected to a substrate by forming bumps on the chip. This paper introduces a newly developed bump forming method, the micro-ball bumping technology, and describes advantages of the developed method compared with alternative technologies such as plating and printing methods.

1. はじめに

近年の半導体デバイスの高密度化、高機能化、小型化は、半導体の入出力ピン数の増加、電極サイズ、電極ピッチの減少をもたらし、半導体実装においても、技術の革新が必須とされてきた。半導体チップの端子をリードフレームや基板に接続するワイヤボンディング技術は、実績が積み重ねられ、実装設計のフレキシビリティにも富み、広く一般に使用され、ボンディングピッチにおいても、70 μm程度以下の実用化技術の開発がされてきた。

しかしながら、更なる高密度化、高速化ではワイヤ同士の接触や、インダクタンスが問題となる場合があり、この技術の一部はチップ上にバンブを形成して、そのバンブを使用して接続するTAB(Tape Automated Bonding)やフリップチップ(FC)技術に置き換わりつつある。TABに使用されるバンブは、通常、電気めっきにより金バンブが形成される。十分管理されたプロセスでは、高生産性、狭ピッチ対応性などの優れた点も多い。しかし、比較的複雑なプロセスであるために、初期の投資が大きいこと、ウエハサイズの変更、多品種への対応にはフレキシビリティに欠けるという課題がある。また、めっき液の廃液処理などの環境問題から、めっきラインの新設には制約のある場合もある。

FC技術は、高密度実装性、優れた電気的特性などの点で着目さ

れ、各種のFC用のバンピング技術が検討されてきた¹⁻³⁾。実用化されている代表的なものは、アルミニウム電極上にUBM(under bump metals)を形成したのち、はんだバンブをウエハの電極位置に物理蒸着により形成するもので、信頼性については実績が積み重ねられているが、設備が大がかりなこと、蒸着される金属の大半がマスク上などにバンブとして使用されないで消費されてしまうという問題も指摘されている。めっき法を用いてはんだバンブを形成する技術は、実用化の段階にまで研究開発がなされてきた。

狭ピッチのバンピングには適しているが、金めっきと同様、工程が複雑なこと、環境の問題のほか、Pbフリー化への検討においては、合金めっきなどの組成の選択性に自由度が少ないことが指摘されている。はんだペーストを印刷することによってはんだバンブを形成する方法が実用化されはじめた。この方法は高生産性、はんだ材料選択性に優れているが、狭ピッチのバンピングには適さないとされている³⁾(表1参照)。

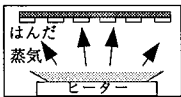
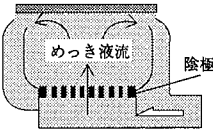
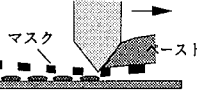
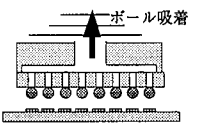
以上の方法はいずれもウエハバンピングであり、ダイシングされたチップには適さない。スタッドバンブ法は従来のワイヤボンダを使用して、ボールボンダ後に、ボールネック部で切断し、バンブ形成を行うもので、ダイシングされたチップでもウエハ上のチップへのバンピングも行える。金ワイヤを使用した金のバンピング形成は一部で実用化されている。ワイヤボンディング用のチップにUBM

*⁽¹⁾ 先端技術研究所 新材料研究部 主幹研究員 Dr.-Ing.
千葉県富津市新富20-1 ☎293-8511 ☎0439-80-2918

*⁽²⁾ 先端技術研究所 新材料研究部 主任研究員

*⁽³⁾ (株)日鉄マイクロメタル Malaysia Representative Officeマネージャ Dr.

表1 フリップチップバンパ形成技術比較

バンピング技術	特徴
蒸着方式(C4) 	○ 信頼性(実績あり) × バンピングコスト(ロスが多い, 設備費大) △ 材料成分変更が困難 △ はんだのみ △ ウエハのみ × 狭ピッチ × 初期投資(真空装置)
めっき方式 	○ 信頼性(金バンパ実績あり) ○ バンピングコスト △ 材料成分変更が困難 △ はんだ/金バンパに対応可 △ ウエハのみ × 狭ピッチ性 × 初期設備投資(廃液処理等の設備も必要)
印刷方式 	○ バンピングコスト ○ 材料成分変更が容易 △ はんだのみ △ ウエハ, 基板に対応 × バンパ高さが不均一 × 狭ピッチ性 ○ 初期投資
マイクロボールバンパ方式 	○ バンピングコスト ○ 材料成分変更が容易 (本技術) ○ はんだ/金バンパに対応可 ◎ ウエハ, チップ, 基板に対応可 ○ バンパ高さが均一 ○ 狭ピッチ性 ○ 初期投資

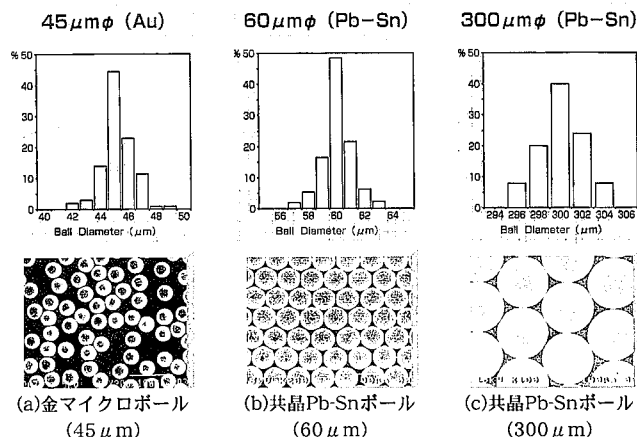


図1 各種ボールのサイズ分布とSEM像の観察例

TAB, FC用途として直径35 μmから100 μm程度, はんだ合金の場合には, FC用途として直径60 μmから300 μm程度の範囲のボールを作製している。またははんだ合金の場合は直径250 μmから760 μmのものはBGA(Ball Grid Array)やファインピッチBGA用のはんだボールバンパ用途としても作製している。最表面の清浄度は, 熱圧着で接合される金ボールの場合は特に重要である。図1は各ボールサイズでのSEM像と製品のサイズ分布の例を示す。

3. マイクロボール配列技術

マイクロボールによるバンパ形成技術は, ボールをバンパ形成位置と同位置に貫通穴を設けたボール配列板に吸着配列し, バンパを形成する電極と位置を合わせ, ボール電極位置に転写してバンパ形成を効率的におこなうものである⁴⁻⁷⁾。図2にマイクロボールをチップ電極もしくは基板電極にボールを転写接合をする工程を示す。

ボール配列板の貫通穴に過不足なくボールを吸着, 保持するために, (1)ボール容器を振動させることによってボールを一定高さ跳到躍させる。(2)ボール配列板を設置したボンディングヘッドを跳躍しているボールに向けて下降して近接させ, 吸引により貫通穴(吸着穴)にボールを保持する。マイクロボールは径が小さくなるほど, 吸着穴以外の部分へボールが余分に付着する傾向がある。マイクロボールは自重が小さいために, 正常に吸着されたボールと吸着穴のわずかな隙間からの吸引のリークにより, 容易に複数個のボールが吸着穴周辺に付着する。このほかボール表面のコンタミネーションや吸着水分が原因となり配列板に付着する場合がある。(3)これらの

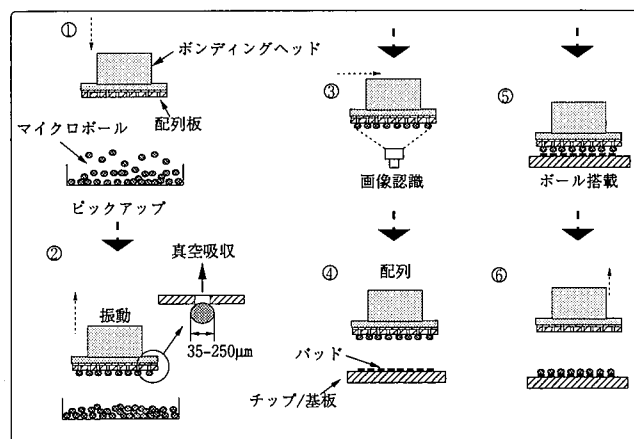


図2 マイクロボールをチップ等の電極へ転写, 接合する工程

工程なしでバンパを形成できるなどの利点を有するが, ボールネック部を切断した後, バンパ高さをそろえるための平坦化処理が必要であること, シングルポイントボンディングのため, 多ピンデバイスの場合には生産性が劣ることなどが短所とされている。また, ボンディング時の衝撃のため, デバイスの回路上へのバンパ形成すなわちエリアバンパには適さない。

本論文では, 高精度で真球のマイクロボールを使用したTAB用, FC用の新しいバンパ形成技術について紹介する。この方法はマイクロボールを電極上に転写, 接合することで, 高精度で, 効率的にバンパを形成出来る上, バンパ金属の選択のフレキシビリティがあると同時に, ダイシングされたチップ上にもウエハ上のチップにもバンパ形成が可能である。更にチップがTAB接続あるいは, FC接続されるTABテープ基板やPCB基板の基板側の電極部へのバンパ形成にも適用できることなどが特徴として挙げられる。

2. マイクロボール

マイクロボールは, 各種のPb-Sn系はんだ合金, Pbフリー合金のほか金合金などの比較的高融点の金属のものも製造が可能である。予めボール材料を固体の状態では一定の重量に制御して切り分け, それらをその金属の融点より十分高い温度に加熱, 熔融して, ボール状とする。液体金属の表面張力により, 真球性のよいボールを作製することができる。雰囲気は溶解する材質の融点, 酸化性を考慮して, 真空中, ガス中あるいは還元雰囲気中を選択する。

電極上に形成する必要なバンパの高さ, バンパピッチを考慮して使用するボールサイズを決定するが, 現在合金ボールの場合には

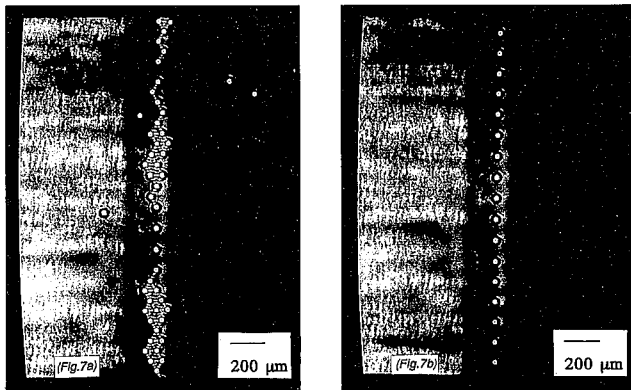


図3 配列板にボールが余剰に吸着された例(左)と超音波印加後に正常に配列された例(右)(ボール直径:45 μm)

余分なボールを除去し、かつ正常に吸着されたボールを保持し続けるために、ヘッドに最適な振動数と振幅の超音波振動をあてる(図3に余剰ボールが配列板に付着している例と、超音波を印加後ボールが正常位置にのみ配列されている例を示す)。(4)つぎに吸着配列されたボールが過不足なくボール配列板上に配列されているかを画像認識でチェックする。配列に異常がある場合には、ボールを一旦配列板からすべて除去して配列動作を繰り返す。(5)正常な配列が確認ができれば、接合ステージにヘッドを移動し、ボール転写対象となるチップ電極もしくは基板電極とボール位置の位置合わせをおこなう。(6)最後にヘッドを下降させ、予め設定された押しつけ荷重でボールを電極に転写する。ヘッド引き上げ時にはボール配列板のボール保持側と反対側の吸引圧力を弱めるか、あるいは大気圧以上にして、ボールの配列板側への残りを防止する。

金ボールを熱圧着で接合する場合には、チップステージあるいはボンディングヘッド、もしくは両方を加熱して、加圧する。はんだなど低融点金属をリフローによって接合する場合には、ボールの電極への転写はフラックスを事前に電極位置に塗布しておき、そのフラックスの粘着力でボールを仮固定する。仮固定されたボールは、炉中で溶解温度以上に加熱され、電極金属と接続される。詳細は後の節にのべる。

これらの工程を全自動で実施する装置を開発した。この装置でのバンピングのサイクルタイムは、1ヘッドあたり現在20秒程度である。

4. TAB接続用, FC接続用金ボールバンパの形成

金とLSIチップのアルミニウム電極の接合は、ワイヤボンディングにおいて広く実用化されており、その接合の信頼性については、多くの研究がなされてきている⁸⁻¹⁰⁾。高温加熱試験では、金とアルミニウムの金属間化合物の成長に伴って、ボイドが生成される場合や、モールド樹脂中で化合物が腐食されるなどの問題がある場合があるが、初期の接合状態や使用環境が適正に制御されれば、高い信頼性が得られることが実証されているといえる。従って、金バンパを形成する場合にはめっきでバンピングするときに形成するUBMは必ずしも必要ではない。

金ボールをチップのアルミニウム電極に接合した例のSEM像を図4に示す。直径45 μmのボールが、80 μmピッチのアルミニウム電極に熱圧着接合されている。総電極数300個を一括で接合した。このときの接合条件はチップの温度が370℃、ボール一個あたりに加えた荷重は10gf/ball、加圧時間は2秒である。接合の位置ずれ

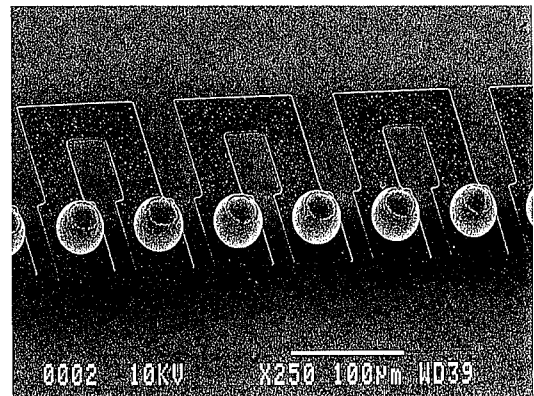


図4 45 μm径の金ボールを転写接合した例(SEM像)

は最大で±3 μmであった。TAB接続用にバンパとして使用される場合は、金ボールとTABリードとの接合時に、金ボールとアルミニウム電極の信頼性のある接合が得られる。熱圧着されるFC接合の場合もこの状態のバンパ付きチップを使用することができる。FC接続時に熱と圧力を十分加えない場合、すなわちバンパと基板がACF(anisotropic conductive film)や導電性接着剤を用いて接続される場合あるいはSn電極基板と固相FC接合される場合¹¹⁾などは、金ボールとチップのアルミニウム電極の接合を予め強固なものにしておく必要がある。

図5は金ボールをアルミニウム電極に熱圧着接合する場合の、ボンディング荷重と接合強度の関係を示す。従来のワイヤボンディングの信頼性に関する研究により⁹⁾、Au-Alの接合信頼性の劣化すなわちボイド生成は初期接合の状態と密接な関係があることが明らかになっている。信頼性確保の基準として、金ボールとアルミニウム電極の初期シェア強度は、単位接合面積あたり8 kgf/mm²以上であればボイド生成には至らないと考えられる¹²⁾。図5では、ボンディング荷重が25gf/ball以上であれば、初期シェア強度は、この信頼性に必要な最低値を越えていることになる。バンパ上面の高さが一定で、平坦、かつ接合信頼性の高いバンパを形成する場合は、バンパを転写接合後、ボールの吸着を解除し、配列板をわずかに上昇させ、水平方向にシフトさせ、配列板の平坦部分で再度加圧する。従来のめっきプロセスで得られるバンパの高さばらつきに比べて同等か、もしくはそれよりも良好である。

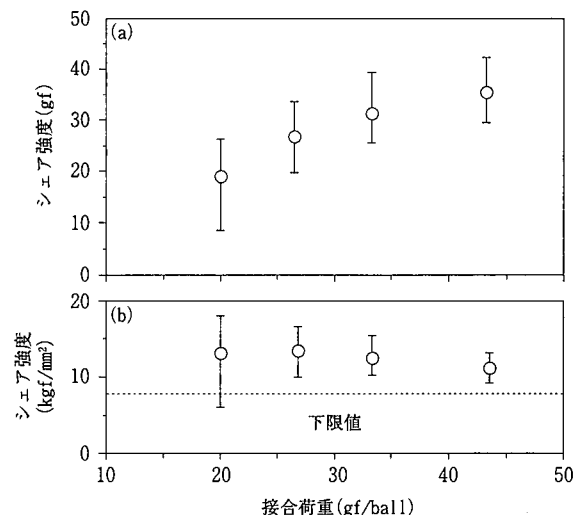


図5 金ボールの接合時の荷重とシェア強度の関係(ボール径:45 μm)

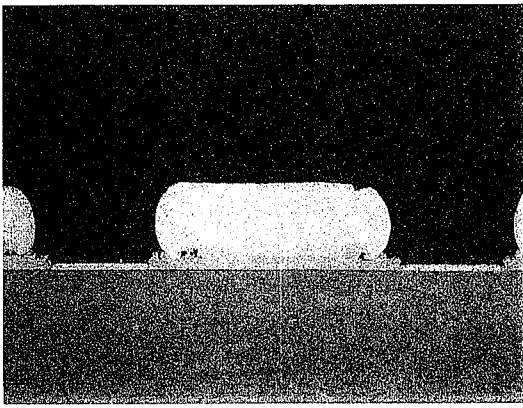


図6 加速加熱試験後のボール接合部断面観察(加熱温度:200℃, 加熱時間:100時間)

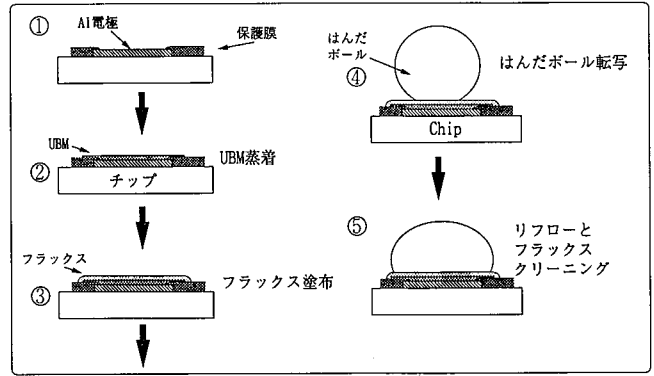


図8 はんだボールを転写してパンパを形成する工程

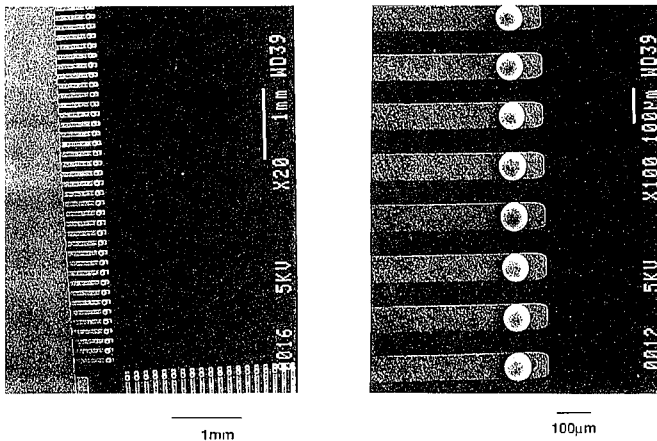


図7 金ボール(直径65μm)をTAB電極部に転写接合した例

高温加熱信頼性試験のために、初期シヤ強度を約12kgf/mm²のパンパを形成し、200℃、200時間の加熱試験を行った。図6に加熱試験後の接合部の断面観察の例を示す。この加熱試験では、接合部には、問題となるボイド生成、接合強度の劣化はみられず、従来のワイヤボンディングの信頼性が同等であることが確認された。図7は金パンパをTAB側の電極位置に形成した例を示す。本技術は、パンパ付きTABあるいはパンパシート¹³⁾の製造にも応用できる。

5. フリップチップ用はんだパンパの形成

はんだはチップのアルミニウム電極との濡れ性がよくなく、UBMの形成が必要である。図8にはんだボールを転写してはんだパンパを形成する方法を示す。ウエハ上のチップ電極にUBMを蒸着し、その電極上にフラックスを塗布する。次にはんだボールを図2で示した方法で転写する。ウエハ上の電極部に固定されたボールは窒素雰囲気中のリフロー炉の中で溶融され、電極部と接合される。最後にフラックスの残査はクリーニングで除かれる。ボールのチップ電極部への転写はフラックスの粘着力により固定されるので、フラックスの粘度の選定が重要である。ボールの転写率にはボール直径の精度が影響するので、サイズのばらつきの小さいボールを使用する必要がある。ダイシングされたチップにはんだパンパを形成する場合は、フラックスを塗布したチップを搬送するための専用の搬送治具を使用する。

図9は電極が140μmピッチで周辺に200個配置されたチップへ

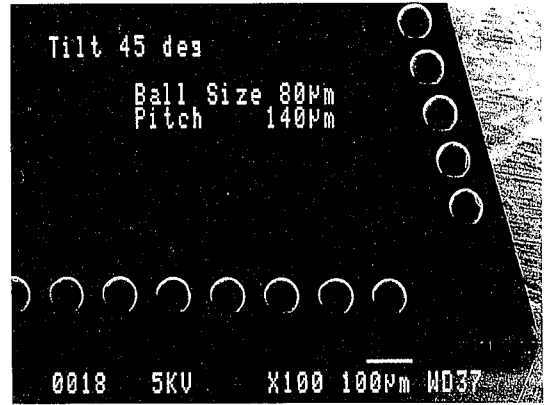


図9 はんだパンパを形成した例

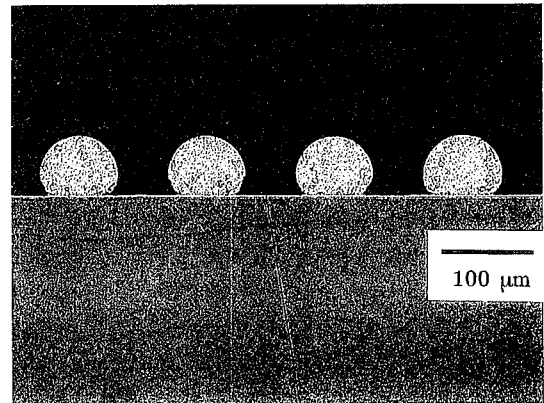


図10 はんだパンパの断面観察例(ボールサイズ:80μm径)

のはんだパンパの形成例のSEM像である。パッシベーションの開口サイズは60×80μmである。UBMはAu/Cu/Cr/Alの構造であり、アルミニウム電極上にCr:1000Å, Cu:2000Å, Au:1000Åのものを形成した。ボールの組成はPb-63%Sn合金であり、直径は80μm±2μmのものをを使用した。図10にこのはんだパンパの断面図を示す。このパンパの高さは65±1.5μm、シヤ強度は23±4gfであった。シヤテストでの破壊モードはいずれもはんだボール内部の破断であった。

図11はエリアアレイに電極が220μmピッチで45×45個、合計2025個配置されたチップ上へのパンパを形成した例のSEM像である。使用したはんだボールは直径150±2μmのものである。転写時の荷重は10gf/ball以下であるので、回路上に形成された電極上へのパンパ形成の場合でも、回路上に損傷を与えることはないと考えられる。2025のパンパから65個を任意に選定して、シヤ強度と

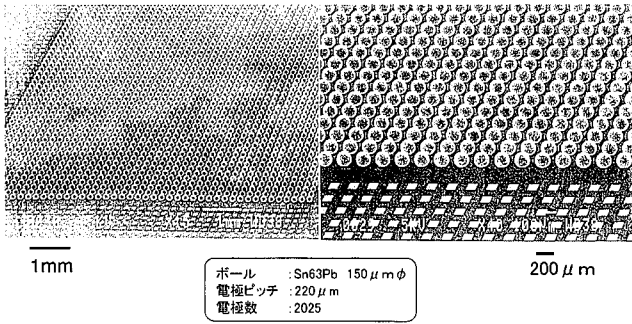
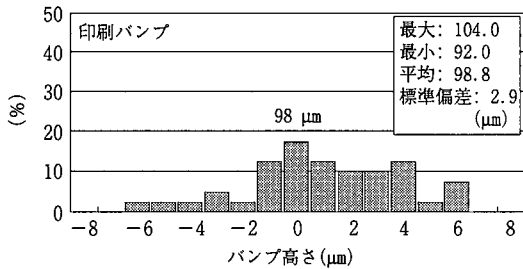
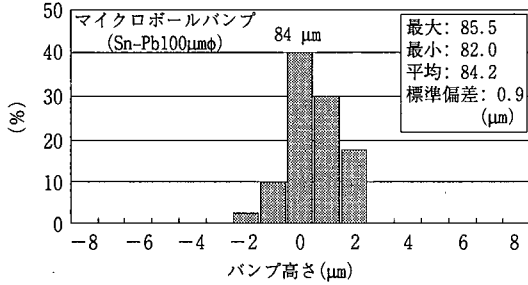


図11 エリア状に形成したはんだパンブ(パンブ数:45×45, ピッチ:250µm)



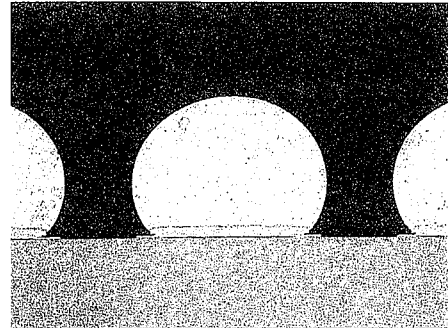
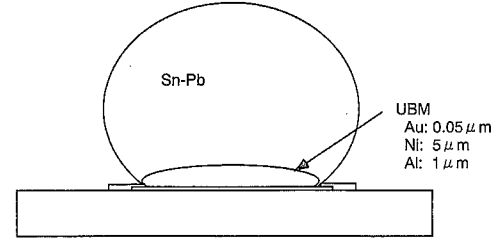
n=40				
	パッドサイズ (µm)	パッドピッチ (µm)	パンブ高さ平均値 (µm)	標準偏差
マイクロボールパンブ	60	140	84.2	0.9
印刷パンブ	100	180	98.9	2.9

図12 パンブ高さばらつきの比較

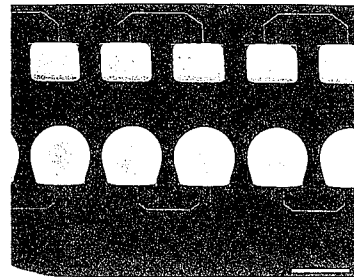
高さを測定した。シア強度、高さはそれぞれ、 $61 \pm 10\text{gf}$, $126 \pm 2\mu\text{m}$ である。高さのばらつきは他のパンブ形成法すなわちめっき法、はんだペーストを印刷する方法、蒸着法と比較して同等もしくは優れているといえる。

図12に印刷法により形成したはんだパンブとボールパンブ法で形成したものの高さばらつきを比較しているが、ボールパンブ法はパンブ高さの均一性で優位性を示しているといえる。80µmピッチへのはんだパンブ形成についても、直径60µmのはんだボールを使用して可能であることを確認している。パンブ同士のブリッジ、パンブ形状の異常などの欠陥については、フラックスの厚み、種類、ボール転写条件、リフロー条件の最適化で避けることができた。マイクロボールパンブ法ははんだの種類についても選択のフレキシビリティが高く、高温はんだ(95Pb-5Sn)やSn-Ag合金等Pbフリーはんだを使用したパンブ形成が可能である。UBM形成については、現在開発の進められている無電解Niめっき法を採用することで、はんだパンブの低コスト化が可能になる。またこの方法では、ダイシングされた個片チップのAl電極上へのUBM形成も可能であるので、マイクロボールパンブ法との組み合わせでは、ワイヤボン

無電解めっきでニッケル-金のUBMを形成し、100µmφはんだボールではんだパンブを形成



光学顕微鏡写真による断面図: 倍率 X500



SEM写真: UBMのみとボールを付けたところ
倍率: 150 右下の線は100µm

図13 無電解Ni UBM上のマイクロボールパンブ(ボール径100µm)

ディング用のチップへのはんだパンブ形成も可能となる。

図13に無電解Niめっきにより形成したUBM膜上へのマイクロボールパンブ形成の例を示す。UBMはAl膜上にNi: 5µm, Au: 0.05µmの層を形成した。ボールは直径100µm, Sn-Pb共晶はんだを使用した。図14にFC接続用の基板側にはんだパンブを形成した例を示す。また、フリップチップ用はんだパンブ形成の低コスト化を目的としてウェハへの一括ボール搭載技術を開発している。8inchウェハの電極上に100µmφのボールを約40万個一括して搭載し、パンブを形成した例(パンブ形成歩留100%)を図15に示す。

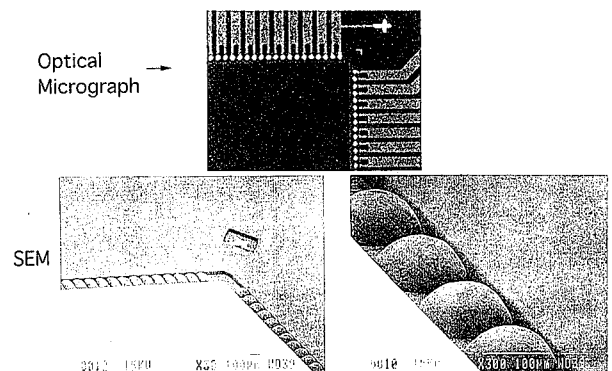


図14 FC用基板上のマイクロボールパンブ(60µm径ボール使用)

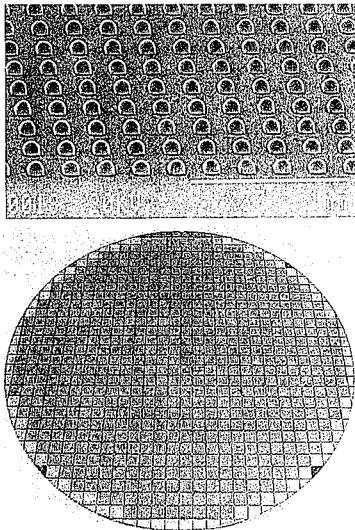


図15 8inchウェハー一括ボールバンブ形成例(ボール数:約40万個, ボール径:100 μ m)

6. マイクロボールバンブの3次元実装への応用

MCMへの応用例としては¹⁴⁾, 図16¹⁵⁾に示すように大小二つのチップの電極面を対向させてマイクロボールバンブで接合し, サイズの大きいチップの裏面をリードフレームにダイボンディングし, 周辺電極からリードフレームのインナーリードへ接続し, モールドした構造を試作した。上側のチップにDRAMを使用して信頼性試験を行い, 正常な動作を確認した。低融点金属と高融点金属の組み合わせにより, リペアが可能なバンブ構造も考えられる。

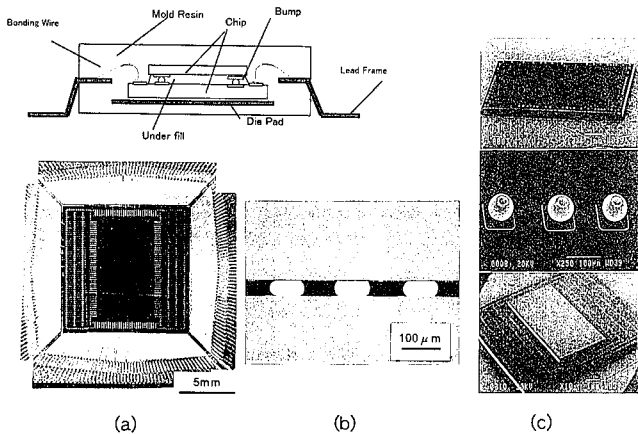


図16 (a)マイクロボールバンブを使用したMCM構造図, (b)バンブ接続断面, (c)MCM全体像

7. おわりに

TAB用とFC用の金バンブ形成と, FC用のはんだバンブ形成の新たな技術を開発した。特長をまとめると, (1)バンブ形成は事前に作製した高精度のマイクロボールを使用し, 一括してボールを転写するので, 多ピンのデバイスに対しても比較的生産性が高い。(2)ボール配列板を変更することで各種のパタンの電極配置に対応できるので, 少量多品種にも適している。(3)バンブを形成する対象はダイシングされたチップ, ウエハ, プリント基板, テープ基板などが可能で, フレキシビリティに富んでいる。(4)めっきや蒸着法に比較して設備がシンプルで, 初期設備投資が少ない。(5)めっきの廃液処理などの環境問題や, 蒸着の場合のように材料を無駄に使用することがない。金バンブの場合は, (6)アルミニウム電極の上にUBMを形成することなく直接金バンブを形成することができる。その接合部はワイヤボンディング法と同様に高い信頼性が確認できた。(7)ボールサイズを選定することで, 各バンブピッチに対応でき, 最小ピッチは60 μ mかあるいはそれ以下にも対応できる。はんだバンブの場合は, (8)はんだのボールサイズを選択することで, バンブのボリュームの調整範囲が大きい。80 μ m以下のピッチにもはんだバンブ形成が可能である。(9)ほとんどの組成のはんだのボールが作製可能であるので, 材料の選択に制約を受けない。(10)バンブの高さのばらつきは他の方法に比べて少ない。

参考文献

- 1) Lau, J.H.: Flip Chip Technologies. McGraw-Hill, 1996
- 2) Rinne, G.A.: Solder Bumping Methods for Flip Chip Packaging. Proc. 47th ECTC, 1997, p.240-247
- 3) Goodman, T.W., Vardaman, E.J.: FCIP and Expanding Markets for Flip Chip. Techsearch International, Inc., 1997
- 4) Tatsumi, K., Ando, T., Ohno, Y., Konda, M., Kawakami, Y., Ohikata, N., Maruyama, T.: Transferred Ball Bump Technology for Tape Carrier Packages. Proc. of the 1994 Int. Symp. on Microelectronics, 1994, p.54-59.
- 5) U.S. Patent 5114878
- 6) U.S. Patent 5687901
- 7) 日本特許登録 2657356, 2743058 他
- 8) Uno, T., Tatsumi, K., Ohno, Y.: Void Formation and Reliability in Gold-Aluminum Bonding. Proc. of the Joint ASME/JSME Adv. in Electronic Packaging., 1992, p.771
- 9) 柘植敦子, 水野薫, 宇野智裕, 巽宏平: Au/Al₂O₃/Al薄膜における金の拡散及び金属間化合物生成の挙動. 日本金属学会誌. 59, 1095(1995)
- 10) Philofsky, E.: Purple Plague Revisited. Solid-State Electronics. 13, 1391 (1970)
- 11) 寺嶋晋一, 宇野智裕, 巽宏平: AuバンブとCu配線上的Snめっき層における接合信頼性及び長期信頼性. 5th Symposium on Microjoining and Assembly Technology in Electronics, 1999, p.45
- 12) Tatsumi, K., Uno, T., Onoue, K., Kitamura, O.: Fine-Pitch Wire Ball Bonding Technology. Nippon Steel Technical Report. (73), 39 (1997)
- 13) 日本特許 特開平3-97237
- 14) 尾上浩三, 橋野英児, 寺嶋晋一, 下川健二, 巽宏平, 川上洋司, Butler, D.: マイクロボールバンブを用いたMCM構造の試作と評価. 第13回エレクトロニクス実装学術講演大会概要集, 1999, p.133-134
- 15) Hashino, E., Shimokawa, K., Yamamoto, Y., Tatsumi, K.: Micro-Ball Wafer bumping for Flip Chip interconnection. Proc. 51st ECTC (2001) to be published