独自の実装技術と材料開発力で半導体デバイスの信頼性を高める

マイクロボール・バンピング

半導体デバイスの高集積化が進む中、半導体チップの接続技術として従来のワイヤボンディングに加えて、チップ上にバンプ(金属突起)を形成して基板に直接面接続する方式の採用が増えている。新日鉄マテリアルズ(株)は、新日鉄が開発した直径300~80μmの半田ボール(マイクロボール)をバンプとしてシリコンウエーハ(半導体基板)上に一括搭載する世界初の「マイクロボール・バンピング」技術を用いたバンピングサービスを行っており、2005年3月のバンピング・ライン稼働後、急激にシェアを伸ばしている。今号では、電子機器の小型化・高機能化を支える同ラインの概要と多彩な要素技術を紹介する。

※本企画では2010年4月号から数回にわたり、長年、製鉄事業が培ってきた経験と技術を基盤に成長・発展を遂げるグループ各社の保有技術にスポットを当てて、その原点と技術開発の最先端を紹介しています。

半導体パッケージはより小さく高機能に

携帯電話やパソコンなど電子機器の小型化・高機能化を実現するためには、機器内部の小さなスペースで大容量・高速の情報処理を行う必要があり、半導体実装の高密度化が進んできた。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技術としては「ワイヤボンディング」が普及しており、その技術もボンディングピッチを狭める、3次元化するなど高度化してきている(2010年6月号参照)が、さらなる高密度化・高速化を実現するには、ワイヤ同士の接触やインダクタンス(※1)が問題となる。そこで、半導体チップ電極上に形成したバンプ(金属突起)を介して、裏返したチップと実装基板を直接面接続する「フリップチップ実装」への切り替えが進んでいる(**図1**)。

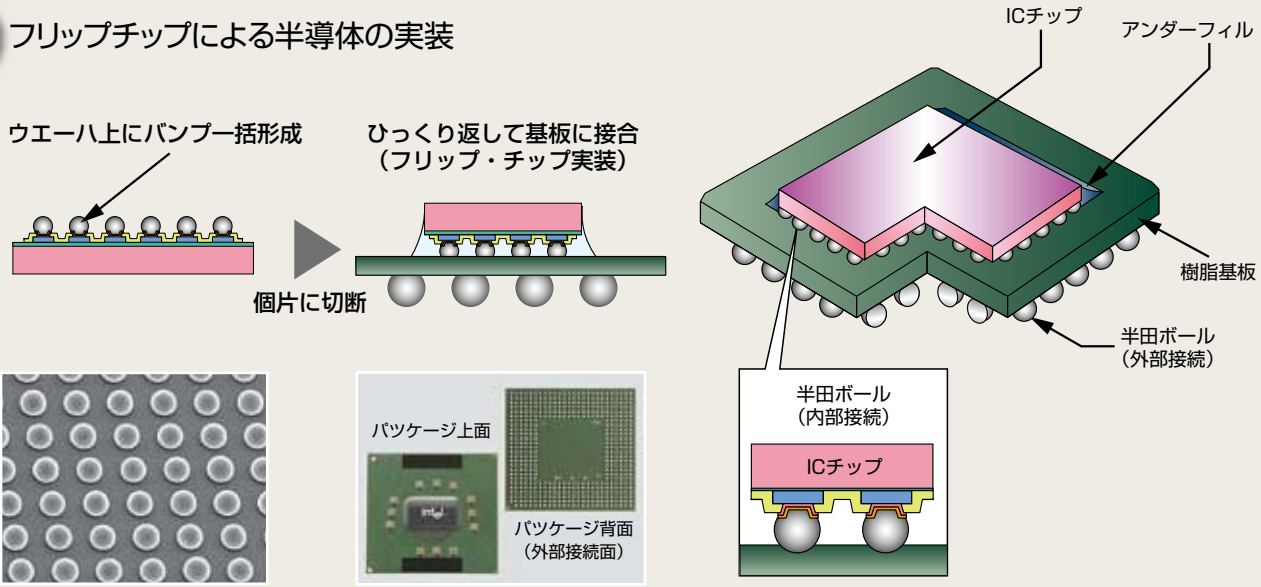
さらにフリップチップ実装を前提として、シリコンウエーハ上で再配線、樹脂封止、端子形成加工を行いチップサイズと同じ大きさのパッケージをつくる方法(WL-CSP)(※2)が登場した(**図2**)。現在、世界で年間約12億台生産される携帯電話には1台あたり25個程度の半導体パッケージが内蔵され、そのうち約10個がWL-CSP。そのもととなるシリコンウエーハは毎月約40万枚生産されている(6~8インチサイズ)。新日鉄マテリアルズは、現在、通常のフリップチップ用途に加えて、毎月およそ2万枚のWL-CSP向けシリコンウエーハにバンプ形成を行っており(世界市場の約5%)、今後4万枚まで生産量拡大を見込んでいる。こうした戦略を後押しする高付加価値技術が今回紹介する「マイクロボール・バンピング」だ。

微細な半田ボールで信頼性の高いバンプ接続を実現

新日鉄の先端技術研究所(以下先端研)が開発した、ウエーハに小径ボールを一括搭載する(**写真1**)マイクロボール・バンピング法とそれを実現するバンピング装置を用いて、新日鉄マテリアルズは新日鉄と共同で2001年から量産を見据えたバンピング試作サービスをスタートさせた。そして2004年、カシオマイクロニクス(株)青梅事業所内のクリーンルームに一貫ラインを導入、その翌年に量産を開始した。その後2007年にはカシオマイクロニクスが行っていたボール搭載を一括受注し、ボール小径化(80~100μm)や、実装技術の精度向上を図りながら急速に生産量を増やしている。

マイクロボール・バンピングの工程(**図3**)は、まず事前処理としてウエーハ上のチップ電極(アルミ)とマイクロボールの密着性を高める金属膜(Under Bump Metal)を形成。さらにそのウエーハ表面に、ボールを仮止めするとともに接合性に悪影響を及ぼす酸化膜を除去

1 フリップチップによる半導体の実装



2 WL-CSPによる外部接続

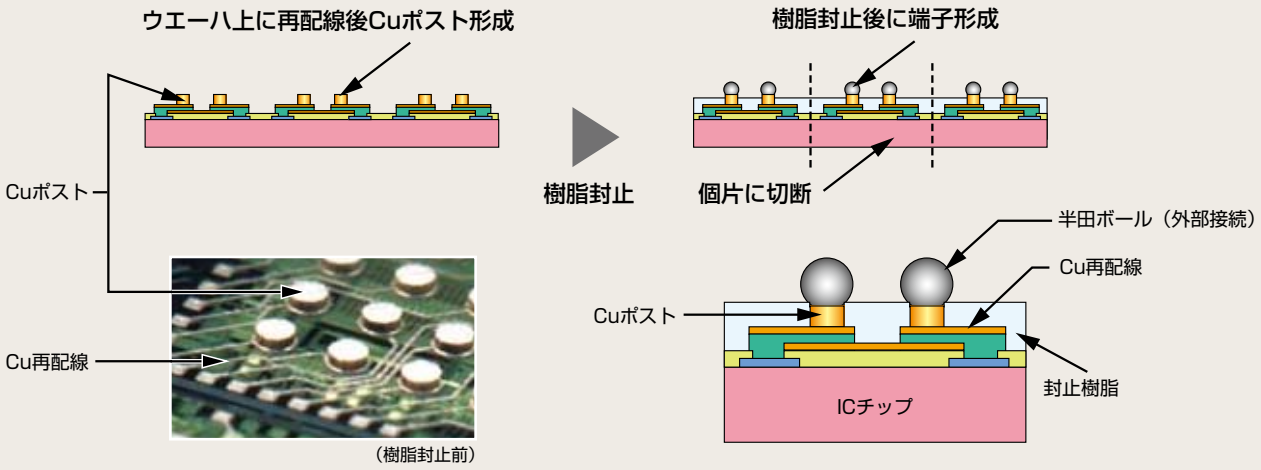
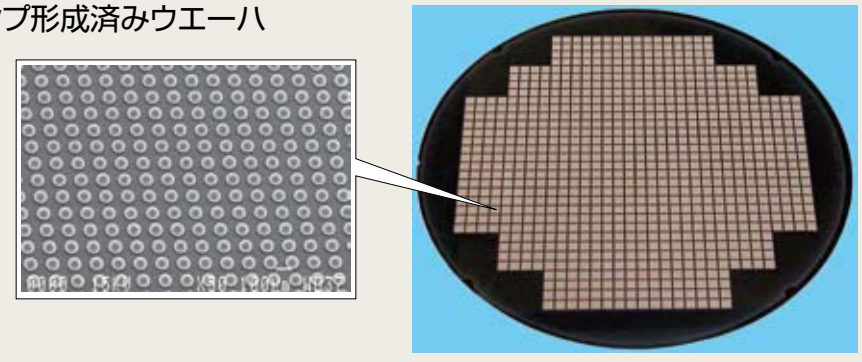


写真 1 バンプ形成済みウエーハ



8インチウエーハに65万個のバンプ

※1 インダクタンス：金属配線などにおいて電流の変化が誘導起電力となって現れる性質。
※2 WL-CSP：Wafer Level Chip Size Package。半導体素子を形成するシリコンウエーハを切り出す前に、端子の形成や配線を行う超小型集積回路。

する役割を担うフラックスを塗布する。金属膜は3層構造を採用し、複雑な電極形状への膜の形成、諸条件の最適化などで新日鉄と(株)日鉄テクノリサーチの技術者の発想が生かされている。

主要工程であるボール搭載工程では、マイクロボールが入った容器(トレイ)を振動させてボールを跳躍させて、電極位置に吸着孔を設けた配列板をトレイに向けて下降、跳躍するボールを吸着・保持する。この際、余剰ボールが吸着しないよう配列板に超音波振動を加えて除去し、すべての吸着孔に1個ずつボールを吸着させる(**写真2**)。その後、画像処理によって配列状態を検査する。そしてボールが吸着された配列板をウエーハ上に移動・下降させて電極位置にボールを確実に移載し、ウエーハを熱処理してボールを溶融させ電極に接合する。最終的にフラックス残渣を洗浄後、バンプ形状を検査して出荷される。

8インチウエーハ上の電極一つひとつに合計65万個のボールを確実に接合する一括搭載技術の開発・改善は、新たな着想とともに地道な試験の積み重ねにより実現した。配列板の吸着孔に確実にボールを吸着させるために、ボールを飛び跳ねさせる振動の強さや速さ、跳躍の角度・位置分布、トレイの形状、吸着させる気流の強さ、フラックスの塗布量などを考慮しながら最適条件を導き出した。また、その後の検査・リペアでは、例えば一つの電極に搭載されてしまった2個のボールの1個だけを除去して正しい位置に置き直すといった精緻な修復技術により、熱処理前にほぼ100%の歩留を実現している。現在、100μmボールを用いてバンピングした場合のバンプ不良率は40ppb(1億個に4つ)だ。

衝撃に強い接続部を鉄鋼業の材料開発力が支える

こうしたバンプ形成のきめ細かなソリューションは、新日鉄が長年培ってきた経験・ノウハウに基づく材料開発力によって可能になる。

マイクロボール・バンピング以外の主なバンプのつくり方には、蒸着法、めっき法、スクリーン印刷法がある(**図4**)。蒸着法は材料の無駄が多く使用する金属も限られ、めっき法は狭ピッチに対応しやすいが、鉛フリーの合金めっき組成の選択に自由度が少ない。安価なスクリーン印刷法は狭ピッチ化が困難な上に、バンプ高さを均一にすることが難しい。

一方、マイクロボール・バンピングは、直径が揃った半田ボールを使用するため、バンプ高さのばらつきがない上に、狭ピッチへの対応も可能。ボールサイズも300μmから80μmまで幅広く選択でき、実装条件に合ったバンプを形成することができる。

また、マイクロボール・バンピングは、ボール材質の選択肢が広い。蒸着法やめっき法は3元系(3つの元素で構成)以上の半田に対応できないが、マイクロボール・バンピングは対応可能だ。先端研が開発した4元系(錫、銀、銅、ニッケル)鉛フリー半田「LF35」は、接合部界面(境界域)の金属間化合物層の脆性を改善することにより、耐衝撃性を高めた半田で、JEDEC規格(※3)である衝撃加速度1500Gで30回に及ぶ衝撃落下テストをクリアできる(**写真3**)。このため、誤って落とすことで衝撃を受け、故障することが多い携帯電話のバンプ材としてLF35は世界標準となっている。マイクロボール・バンピングでは当社グループの技術力の相乗効果を活かし、信頼性の高いバンピングサービスとして、このLF35を大量に使用している。

さらなる狭ピッチ化とウエーハの大径化に挑む

今後、バンプピッチはWL-CSPで現在主流の400μmから250μmへ、また通常のフリップチップでは250μmから120μmまで狭ピッチ化が進むと考えられている。新日鉄マテリアルズでは、半導体デバイスのさらなる高集積化を見据え、先端研とともに現状ボール搭載の限界値である60μmのボールを100μmピッチで搭載する技術開発に挑戦している。また6、8インチウエーハの実機・量産で確立した要素技術と経験を活かし、将来的に求められる12インチ向けに、吸着・ボール搭載と検査・リペアを一体化した装置を開発中だ。12インチになるとウエーハ1枚当たりのボール搭載数が百万個に達することもあり、ボール搭載の難易度が飛躍的に高まる。

新日鉄マテリアルズでは、今後も鉄鋼業で培った材料技術とプロセス技術の知見を活かしながら、鉛フリーで接合信頼性が高いマイクロボールの開発・製造から高精度のボール搭載技術までのトータルソリューションを提供し続けていく。

Technology
DATA

監　修　　新日鉄マテリアルズ(株)　電子材料事業部　青梅バンピングサービスセンター

センター長
河野 太郎（こうの･たろう）
（1985 年入社、応用化学専攻）

マネジャー
宮内 雅弘（みやうち･まさひろ）
（1986 年入社、工業化学専攻）

鮫島 良輔（さめしま･りょうすけ）
（2008 年入社、生体熱工学専攻）

鶴岡 靖展（つるおか･やすのぶ）
（2009 年入社）

3 マイクロボール･バンピング工程

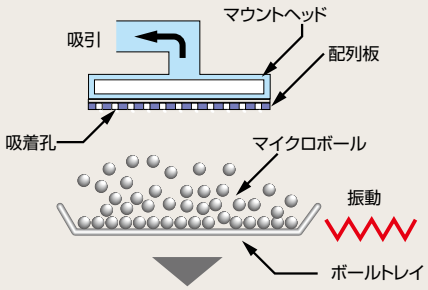
① UBM（Under Bump Metal）形成

・電極のアルミと半田の密着性を高める金属膜（UBM）を形成する。
3層構造を採用。金属膜の形成、電極形状への微細加工なども新日鉄と（株）日鉄テクノリサーチの技術者の発想から生まれた。

②フラックス塗布

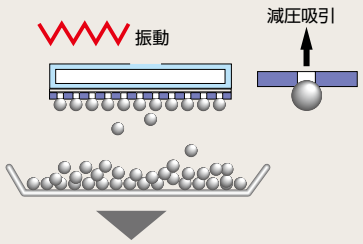
・ボールを仮止めする「のり」の役割とボール表面の酸化膜除去のため、フラックスを電極上に塗布する。

③ ボール吸着



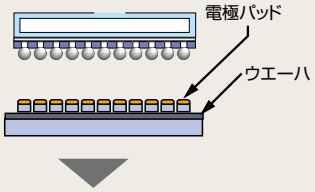
・ボールトレイを振動させて、マイクロボールを均一に分散させる。
・電極と同じ位置に孔が空いている配列板を用意し、吸引によってボールを吸着する。

④ 余剰ボールの除去



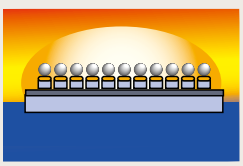
・余剰に付着したボールは、超音波振動を与えて除去し、1つの孔に1個のボールが吸着するように制御。
・画像処理によりボールの配列状態を検査。

⑤ 位置合わせ・ボール搭載



・マウントヘッドをフラックス塗布したウエーハ上に移動し、ボール搭載位置を認識させる。マウントヘッドを下降させ、電極位置にボールを移載する。

⑥ 熱処理



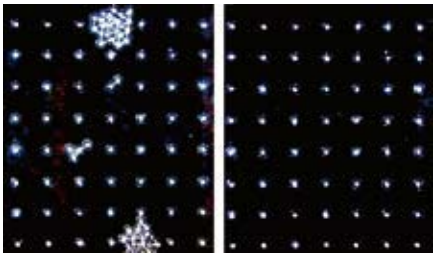
・ボールを搭載したウエーハをリフロー炉で熱処理し、ボールを溶融させて電極に接合する。バンプが形成される。

⑦ 洗浄

・フラックス残渣をクリーニングする。

⑧ 出荷検査～納品

写真2 配列板に吸着させたマイクロボール（検査画像）



振動なし　　振動あり

4 主要なバンピング技術の比較

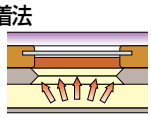
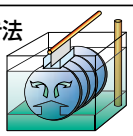
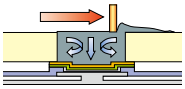
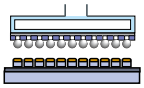
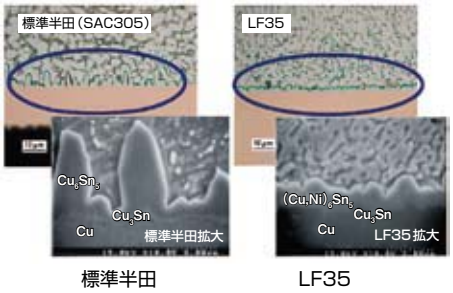
バンピング法	メリット	デメリット
蒸着法 	・既存技術	・工程多い ・材料の無駄が多い ・合金組成の調整困難 ・初期投資が大きい
めっき法 	・既存技術 ・狭ピッチ可能	・工程多い ・合金組成の調整困難 ・初期投資が大きい
スクリーン印刷法 	・生産性が高い ・ソルダーペーストを使用	・狭ピッチ不利 ・バンプ高さがばらつく
マイクロボール法 	・生産性が高い ・バンプ高さが均一 ・材料選択が自由	・新技術 （2年以上の量産実績）

写真3 LF35の接合部界面の比較



標準半田　　LF35

※3　JEDEC規格：JEDEC（Joint Electron Device Engineering Council）は、半導体部品（技術）の規格標準化を行う団体。