

生産性向上と環境配慮を追求した ダイボンダによるパワー半導体実装

Die Bonding Technologies Pursuing Productivity and Environment-friendliness for Semiconductor Power Device

小松 龍一 Ryuichi Komatsu

福田 正行 Masayuki Fukuda

市川 良雄 Yoshio Ichikawa

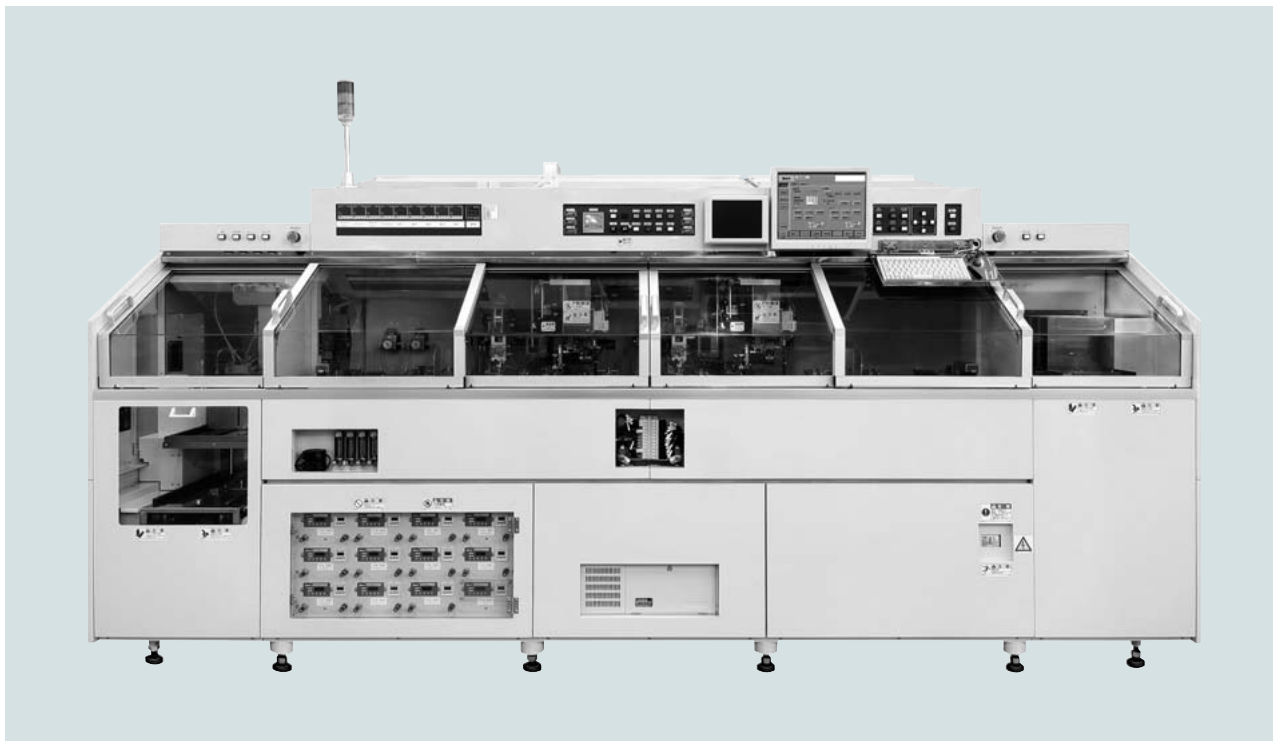


図1 はんだダイボンダ「SHD300」の外観

株式会社日立ハイテクインスツルメンツ製はんだダイボンダ「SHD300」の外観を示す。この装置の最大の特徴は、ボンディングステーションを二つ備え、最大8インチウェーハを2種類装着できることである。これにより、パワーモジュール半導体の実装に大きな威力を発揮する。

環境エネルギー分野の市場拡大、自動車の電子化の飛躍的進展、薄型テレビやエアコンなどの世界規模での需要拡大、携帯機器におけるバッテリーの長寿命化を背景に、パワー半導体市場が成長している。株式会社日立ハイテクインスツルメンツは、パワー半導体生産の後工程であるダイボンディング工程における、はんだダイボンディング技術とそれに対する市場ニーズや生産現場での課題に対応するため、「SHD300シリーズ」をラインアップした。

このシリーズは、ボイド率の低減、はんだ膜厚制御、実装精度といった、ボンディング品質向上のための装置設計に基づいて開発したものである。

1.はじめに

ボンディング技術は使用材料、使用装置や適用ボンディングプロセス さらには生産現場における生産技術や管理技術、ノウハウの統合化技術として成り立っている。生産現場における代表的なニーズや課題としては、ボンディング品質の向上、生産性の向上、パワーモジュール半導体における小型高密度実装への取り組み、さらにはRoHS指令(Restriction of the Use of Certain Hazardous Substances in Electrical and Electronic Equipment:電気、電子機器における特定有害物の使用制限についての欧州連合指令)や鉛フリー化といった環境問題への適合、また、はんだダイボンダ装置内の高温部位の存在や水素ガス還元雰囲気下における、装置安全性の確保といった実にさまざまなものが存在する。

ここでは、これらのニーズや課題に対する動向と株式会社日立ハイテクインスツルメンツの取り組み、パワー半導体の代

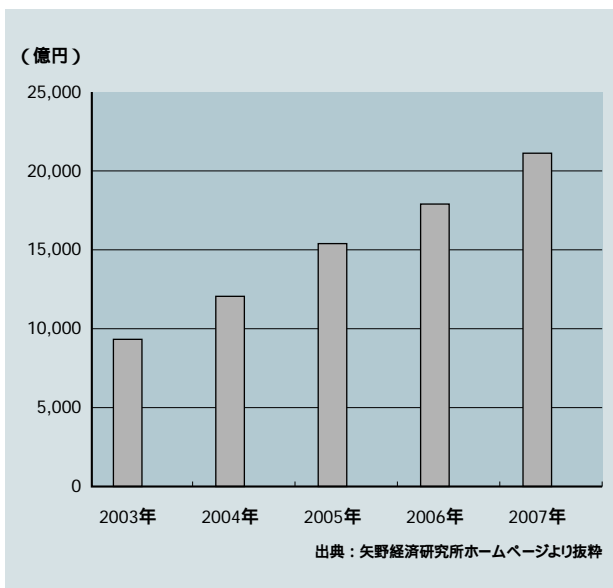


図2 パワー半導体の市場規模推移
ワールドワイドにおける2003年からのパワー半導体の市場規模は、堅調に推移しており、引き続き底堅い成長が続くと予測される。

表の実装プロセスである、はんだダイボンディング技術とその関連製品、および今後の課題について述べる(図1参照)。

2. パワー半導体のボンディング実装への要求

パワー半導体市場が好調に拡大し成長を続けている(図2参照)。この背景には、環境エネルギー分野の市場拡大、自動車の電子化の飛躍的進展、薄型テレビやエアコンなどの世界規模での需要拡大、携帯機器におけるバッテリーの長寿命化といったさまざまな社会ニーズがベースにあることから、パワー半導体の市場は今後も順調に成長していくものと思われる。パワー半導体には使用される製品や環境により、求められる容量、耐圧、損失特性など、さまざまな要望があるが、ボンディング実装に対する要求はほぼ共通している。

パッケージの小型化や高密度実装に対応し、ダイ(あるいはチップ)の搭載位置精度の向上が求められる。同時に、はんだフィレットの形状や寸法も制約される。また、ダイからの発熱も多く、使用環境も過酷なケースが多いため、はんだポイド率や、はんだ膜厚などがダイボンディングでの重要な管理指標となる。接合はんだ内や、はんだ接合界面にできるポイドや空隙(げき)は、時間経過や熱履歴とともに半導体の信頼性を損なう要因となる。ポイド低減に向け、はんだぬれ性改善が重要である。一方、低コスト化や多機能・小型化が求められ、パワーモジュール半導体の市場が拡大している。また、環境負荷低減の目的から鉛フリーはんだ使用が拡大している。日立ハイテクインスツルメンツでは、多様なニーズに対応するため、はんだダイボンダや銀ペーストダイボンダにおいて、1ヘッド製品から他社にはない複数ヘッド製品をラインアップしている(表1参照)。さらに、ぬれ性改善では、プラズマ洗浄装置「SPCN

表1 ダイボンダ製品とその特徴

日立ハイテクインスツルメンツのダイボンダ製品とその特徴を示す。

モデル名	プロセス	基板	ウェーハなど	ヘッド数
SHD300	はんだ	L/F	8インチ	2ヘッド
SHD350	はんだ	L/F	8インチ	1ヘッド
SHD400	はんだ	個片	8インチ	2ヘッド
SHD450	はんだ	個片	8インチ	1ヘッド
SGD300	銀ペースト	L/F	8インチ+T/F	3ヘッド

注:略語説明 L/R(Lead Frame), T/R(Tape Feeder)

リーズを提供している。

3. ニーズへの取り組み事例

3.1 高密度実装とパワーモジュール半導体実装

携帯電子機器や車載電装などの電源回路制御、モータ制御用の半導体として、パワーモジュール半導体の需要が高まっている。一つのパッケージ内に、IGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor:絶縁ゲートトランジスタ)やMOSFET(Metal-Oxide-Semiconductor Field-effect Transistor:MOS型電界効果トランジスタ)、回路プロテクト用のダイオードや回路制御用IC、さらには表面実装部品が搭載される場合もある。搭載部品数は一般的に数点から十数点である。通常は同一基板を複数回ダイボンダに流すことで生産するが、ダイや基板への熱ダメージや酸化の問題などを招きやすい。日立ハイテクインスツルメンツの2ヘッドはんだダイボンダ「SHD300」や3ヘッド銀ペーストダイボンダ「SGD300」を使用すれば、最小限のボンディング回数で済み、この課題に対処している(表1参照)。

3.2 ポイド率低減に向けた装置設計

ポイド(気泡)率は接合面積当たりのポイド面積比率で定義される。ポイド率の目安は5%以下である(図3参照)。ポイドの発生要因には装置要因、材料要因、プロセス要因などがあり、複数の要因が複合的に絡まっている場合が一般的である。日立ハイテクインスツルメンツの装置においては、還元性ガス

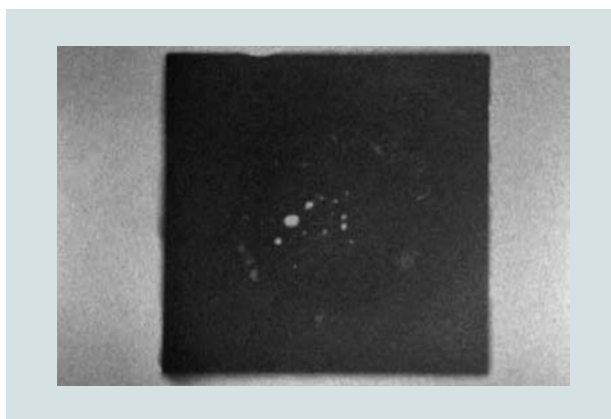


図3 ポイドのX線写真例

黒い四角形がダイで白い斑点がポイド(気泡)を示す。ポイド率の目安は5%以下である。

(窒素と水素の混合ガス)を注入する基板搬送シュート構造体のすき間をなくし、外部からシュート内への空気の流入を可能なかぎり削減している。また、ガスがシュート内をよどみなく流れるようにシュート断面空間を確保し、ガス供給口の配置や数を決定している。さらに、ガス圧力や流量のデジタル制御、デジタル表示を行っており、ボンディング条件のデジタル化や可視化に配慮している。さらに、生産現場でのボンディング品質管理の補助機能の一つとして、シュート内のガスのサンプリング測定が可能である。装置稼働開始時などの始業点検用として、搬送シュート上にバルブ開閉できるサンプリング口が複数設けてあり、シュート内酸素濃度の測定ができる。酸素濃度の一つの目安は100 ppmである。

3.3 はんだ材料

はんだ材料は、溶融温度が二百数十 から三百数十 の範囲の高温はんだが用いられる。はんだ組成によって溶融温度が異なるので、目的に応じて最適な組成のはんだ材料を選定使用することが重要である。一方、環境問題やRoHS指令により、パワー半導体においても積極的に鉛フリーはんだが使用されている。ただし、量産ベースにおいて、融点が260 程度以上では設計融点において要求されるはんだ特性の両立が、まだ達成されていない。一般的に鉛フリーはんだのぬれ広がり性は、鉛はんだに比べてよくない。このためボンディング装置においてスクライピング動作やスポンギング動作を加えたりして、ぬれ広がりを促進している(表2参照)。

3.4 はんだ膜厚制御とはんだフィレット

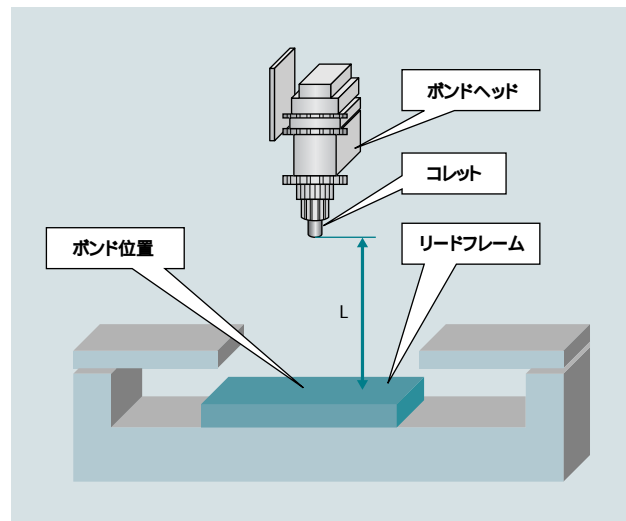
はんだ膜厚の管理およびフィレット形状や寸法管理、さらにはんだボールの発生やはんだ飛び散りを阻止するため、ボンディング装置として主に三つの要素がある。一つ目はコレット(あるいはノズル)先端の高さ制御、二つ目ははんだ供給量制御、そして最後にコレット高さに影響する熱膨張対応制御である。日立ハイテクインスツルメンツのコレット高さ制御は、AC(Alternating Current)サーボモータのデジタル制御、はんだ供給量はワイヤ送りローラのデジタル制御と回転角度センシングの併用、熱膨張対応制御ではコレット高さをセンシングし、そ

表2 はんだ材料の例

組成によって溶融温度が異なることから、目的に応じたはんだ材料を選定して使用することが重要である。

はんだ種類	はんだ組成	固相線()	液相線()
鉛はんだ	Pb-10Sn	268	301
鉛はんだ	Pb-10Sn-2Ag	276	312
鉛はんだ	Pb-5Sn-1.5Ag	298	298
鉛はんだ	Pb-5Sn	316	322
鉛フリーはんだ	Sn-3.0Ag-0.5Cu	217	220
鉛フリーはんだ	Sn-3.5Ag	221	221

出典:住友金属鉛山株式会社,千住金属工業株式会社,ニホンハンダ株式会社



注:略語説明 L(ボンディング高さ)

図4 搬送シュート断面の模式図とコレット高さ制御

コレット高さ制御は、コレット待機高さからデータで指示された位置までの距離を測定している。

の結果をボンディング高さデータにフィードバックしている。具体的には、コレット待機高さからデータで指示された位置までの距離を測定している(図4参照)。

4 .SHD300でのダイボンディング事例

4.1 ボンディング実装精度

SHD300ではダイをピックアップし、画像による中間位置決めを行う。その後ボンディングコレットでダイを吸着してボンディングを行う。このため、ダイとコレットの位置合わせ精度がきわめて高い。さらにリードフレームの位置決めは、通常リードフレームのパイロット穴を利用したメカニカル式を用いるが、SHD300ではオプションとして高精度画像認識を準備している。どちらの場合も実装精度は角錐(すい)コレットの場合、XY精度は±0.1 mm(3)、角度精度は±0.5(3)となっている。画像認識位置決めは、パイロット穴が利用できないケースやマルチダイ実装などで顕著な効果を発揮する。

4.2 はんだ膜厚精度の事例

高精度なはんだワイヤ送りメカニズムと送り量デジタル制御およびセンシングにより、供給はんだ量のばらつきは体積比率でおよそ5%(3)程度である(レーザでの三次元計測結果)。

表3 ボンディング後のはんだ膜厚測定事例

合否の判定基準は45 ± 15 μmである。

使用ヘッド(サンプル数)	ボンド①(12ダイ)	ボンド②(12ダイ)
最大値(mm)	0.054	0.046
最小値(mm)	0.042	0.038
レンジ値(mm)	0.012	0.008
平均値(mm)	0.047	0.043
3σ(mm)	0.011	0.006
判定	合格	合格

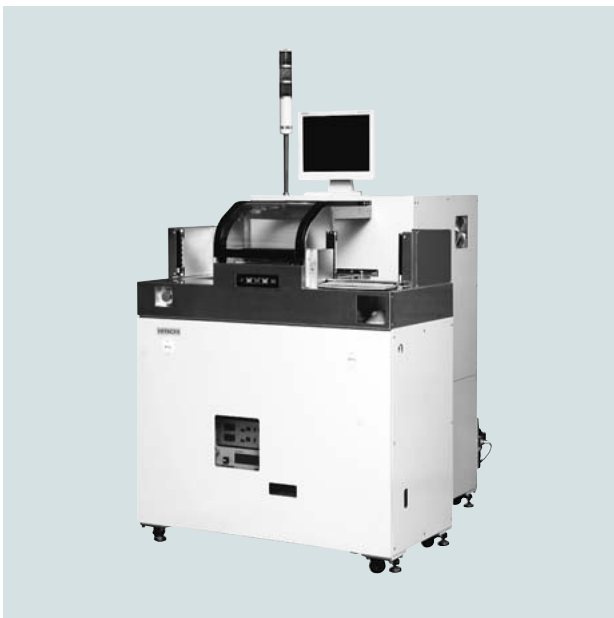


図5 プラズマ洗浄装置「SPC100（枚葉式）」
半導体後工程のはんだぬれ性改善などの用途もある。

また、熱膨張対策のコレット高さ自動キャリブレーションにより、表3の例では、はんだ膜厚45 μm設定に対して3 でのばらつきは11 μmとなっている。測定はマイクロメータを使用し、仕上がり総厚からリードフレームとダイの実測厚さを減算して算出した値を示した。合格基準は45±15 μmとした。

4.3 プラズマ洗浄によるはんだぬれ性改善

日立ハイテクインスツルメンツはプラズマ洗浄装置の開発、生産販売も行っている(図5参照)。プラズマ洗浄装置ははんだぬれ性の改善ツールとしても用いられる。特に深い酸化や頑固な有機物汚染がワークに付着している場合、ダイボンダ装置内の還元作用だけでは、はんだがほとんどぬれ広がらないケースがあり、当然ボイドの大きな原因となる。このようなときにプラズマ洗浄を前処理として実施すると、顕著なぬれ性

執筆者紹介



小松 龍一
2003年株式会社日立ハイテクインスツルメンツ入社、
設計本部 実装システム設計部 所属
現在、半導体後工程装置の開発に従事



福田 正行
2003年株式会社日立ハイテクインスツルメンツ入社、
設計本部 実装システム設計部 所属
現在、半導体後工程装置の開発に従事

表4 ワーク表面分析(XPS分析)事例

元素の特定をして元素間の相対存在量を求めるXPS分析の一例を示す。

(単位:atom%)

ワーク	表面処理	処理時間	Ag	Ni	C	O	S	P
ダイ	Agメッキ	処理前	32	-	55	11	1.3	-
		30秒	99	-	1.2	-	-	-
基板	Niメッキ	処理前	-	11	59	23	-	6.7
		30秒	-	92	2	0	-	4.9

注:略語説明 XPS(X-ray Photoelectron Spectroscopy)

改善効果が期待できる。ボンディングのワーク表面をXPS(X-ray Photoelectron Spectroscopy)分析した例を表4に示す。この事例のように、ぬれ性改善には、一般的にサンプル表面のカーボンと酸素を除去する必要がある。初めにアルゴンプラズマで表面をスパッタリングし、次にアルゴンと水素の混合ガスでのプラズマ洗浄を行うと効果的な場合が多い。

5.おわりに

ここでは、パワー半導体の代表的実装プロセスである、はんだダイボンディング技術とその関連製品、および今後の課題について述べた。

はんだダイボンディングを、より扱いやすい工法にするため、ユーザー、半導体メーカー、材料メーカーとのいっそうの相互協力が必要である。株式会社日立ハイテクインスツルメンツは、装置メーカーとして、酸素濃度のさらなる低減、段取り性の改善、ボンディング条件の容易な設定、および、装置安全性のさらなる向上をめざしていく。

参考文献など

- 1) 小松,外:はんだダイボンダによるパワー半導体実装,エレクトロニクス実装技術,2007,8,p.34~37(2007.7)
- 2) 矢野経済研究所,http://www.yano.co.jp/
- 3) 半導体,vol.81,No.1,p.73,富士時報(2008)
- 4) 小松,外:半導体実装におけるはんだダイボンディングとプラズマ洗浄技術(インタビュー),メカトロニクス,2007,8,p.76~77,技術調査会(2007.7)



市川 良雄
2003年株式会社日立ハイテクインスツルメンツ入社、
設計本部 実装システム設計部 所属
現在、半導体後工程装置の開発に従事