半導体デバイスの製造技術

—組立, パッケージング—

Production Engineering of Semiconductor Devices
— Packaging and Assembly Engineering —

盆 子 原 學
Manabu BONKOHARA

Key Words: Electronics, Production Engineering, Semiconductor Devices, Packaging, Assembly Engineering

1. はじめに

半導体デバイスはトランジスタ, IC, LSI, 超 LSI, 超々 LSI と発展するにつれデバイス機能も充実向上され, 応用範囲生産数量は拡大の一途である。半導体産業は, 日本だけで現在 3 兆円規模であるが, 西暦 2000 年には 100 兆円の規模になると見込まれている。

半導体デバイス製造における組立・パッケージング技術は, 微細パターンを表面に持つ数 mm から 15 mm 角の半導体チップを高機能・高品質・高信頼性を維持しながら効果的に人が取扱える水準の寸法まで加工する技術である。従って, 半導体デバイスの発展には高機能・高信頼性のパッケージと高度な組立技術及び組立装置開発技術が必要である。本稿ではまずパッケージ技術に触れ, 次いで半導体デバイスの組立技術・組立装置とその開発動向について述べる。

2. 半導体デバイスのパッケージ技術

2.1 パッケージの種類と特徴 半導体デバイス用パッケージは, その用途や要求特性によりさまざまな形態が選択されている。図 1 に形状別の主な分類が, 表 1 に封止法別の分類が示している。

気密封止タイプは, 半導体チップをパッケージ

図 1 形状によるパッケージ分類

* 日本電気(株)玉川事業所 (〒211 川崎市中原区下沼田 1753)。

本体とキャップ間に形成されるキャビティ内に密封するもので耐環境性に優れている。一方半導体チップを樹脂内に埋設する非気密封止タイプは、安価で量産性に優れており、全パッケージの80%以上を占めている。

これらのパッケージは、プリント基板などの回路基板上への実装の仕方により表面実装タイプと挿入実装タイプに分けられる。図1の*印のついたものが表面実装タイプで、その他のものが挿入実装タイプである。

表 1 封止タイプ別のパッケージ(PKG)例

封止大区分	封止法	封止法例	PKGタイプ例	用 途
気密封止	メタル溶接	シームウェルド バットウェルド レーザーウェルド	セラミックPKG キャンPKG	宇宙, 航空, 軍需, 海底中継器, 通信用, 情報処理用, 工業計測器用
	ろう接	Au-Sn 共晶ろう付け Sn-pb はんだろう付け	セラミックPKG	
	フリットシール	低融点ガラス溶融	サーディップPKG セラミックPKG	
非気密封止	樹脂封止	トランスファ成形	プラスチックモールドPKG	一般民需用, 一部工業用, 端末機器, OA 用
		ポッティング	フィルムキャリア	
		キャストイング	ハイブリッドPKG	
		樹脂シーリング	セラミックPKG	

2・2 パッケージ技術動向 電子機器の高度化と性能向上は一段と増し、一方では軽薄短小化も進んでいる。そして半導体デバイスの超 LSI, 超々 LSI 化によるパッケージの高性能化が進みつつある。これらのインパクトは、パッケージの高密度配線化, 多端子化, 高熱放散化, 小形化となって現れている。

図2には日本とアメリカにおける半導体デバイス用パッケージの形態別市場占有率動向が示してある。この動向はヨーロッパ市場でもほぼ同様の傾向があり、世界的規模でも樹脂封止系が主力のパッケージであり続けるものと予測されている⁽²⁾。

3. 半導体デバイスの組立技術

前述のように種々のパッケージ方式があり、それぞれ特有の組立法が採用されている。又、パッケージ自体が極めて繊細高度化されたものになりつつある上に、半導体デバイスの高品質化、急速な低価格化、生産数量の激増があるために組立技術、組立装置開発は単なる自動化技術に止まらず、トータルな生産自動化や FA 化を考慮する必要がある。

3・1 組立工程概要 半導体デバイスの組立工程は、ウェーハプロービングテスト以降、電気的特性検査前までのウェーハカット工程、組立工程、封入・仕上げ工程が主要工程となっている。

表2にパッケージ形態別の主な組立工程が示してある。

(a) はアメリカ, (b) は日本における占有率の推移及び推移予測, ハッチングラインは表面実装パッケージ

図 2 パッケージ形態別占有率動向 (データ QUEST 社資料)

表 2 パッケージ別の組立工程

パッケージ区分 組立工程区分	ワイヤボンディングデバイス		ギャングボンディングデバイス	
	樹脂封止パッケージ	セラミックパッケージ	TAB	フリップチップ
ウェーハカット	ウェーハダイシング, ウェーハブレーキング, チップ外観検査	ウェーハダイシング, ウェーハブレーキング, チップ外観検査	ウェーハワックス, ちよう付, ウェーハダイシング, チップ外観検査	ウェーハダイシング, ウェーハダイシング, チップ外観検査, 再配列
↓ 組立	ダイボンディング, キュアベーク, NTC ボンディング, 外観検査	ダイボンディング, 超音波ボンディング, 外観検査	インナリードボンディング, 有機洗浄, 外観検査	ブリチップマウント, リフロー, あるいは熱圧着ボンディング, 有機洗浄
↓ 封入仕上げ	プラスチックモールドイング, キュアエージング, リード外装めっき, なつ印, リード成形・切断, 外観検査	シームウェルド, あるいはフリットシール, リード外装めっき, リード切断, なつ印, 外観検査	レジソコーティング, キュアベーク, 外観検査	レジソコーティング, キュアベーク, 外観検査

表 3 シリコンウェーハの一般的なダイシング条件

切込み深さ 切断モード 切断条件	300 μm 以下		300 μm 以上	
	溝入れ (ハーフ, セミスルー カット)	完全切断 (スルー カット)	溝入れ (ハーフ, セミスルー カット)	完全切断 (スルー カット)
ブレード厚 μm	15~30	20~35	25~35	25~50
送り速度 mm/s	100~200	75~125	75~150	50~100
切込み深さ 別の切断状態図

図 3 フルオートダイサー DFD-2 HSTI (D社製)

3・2 組立工程と組立装置

3・2・1 ウェーハカット

ウェーハカット工程は、ウェーハの半導体チップへの分割工程のことである。この分割法には、ダイヤモンドポイントスクライブ法とレーザスクライブ法とダイシング法がある。これらの3方式の中で、切断精度、仕上り、歩留りランニングコスト、作業性の面でダイシング法が主流となっている。図3はD社製のフルオートダイサー DFD-2HSTIである。この装置の機械的構成は①ローディング部、②アライメント部、③ウェーハ切断部、④スピナ洗浄乾燥部、⑤アンローディング部から成っており、表3に示すような条件で使用する。ウェーハを切断するブレードは数10 μm 厚のダイヤモンド砥

粒焼結リング刃である。このブレードは、エアスピンドルに取付けられて回転数30 000 rpmの超高速回転しブレード周速約90 m/sでシリコンウェーハを切断する。ダイシング時にブレード切込み部にジェット状水流を形成することは、ウェーハ断面潤滑とブレード冷却及び切断くずの洗い流しに役立っている。

ウェーハカット時の半導体チップハンドリング方式には①ジグ詰め方式、②シート上再配列方式、③不良マーク認識直接ピックアップ方式、④マッピング式直接ピックアップ方式の4方式がある。各方式共に利点欠点があり、一概に優劣は付けにくい。工程の自動化設計によっては欠点を相

当にカバーできる。

マッピング方式は、スルーカットダイシング法や次工程とのチップハンドリング方式との融合により、今後の発展が期待される。

3・2・2 ダイボンディング ダイボンディング工程は、ウェーハカット工程に引き続く工程で、接合の安定性、信頼性、生産性が重要である。一般的なダイボンダのチップ搬送システム構成を図4に示す。半導体チップの供給部は、ウェーハカット工程の処理方式によって機構が異なる。又、パッケージの種類が異なれば、フレームフィーダ部もパッケージに合った送り機構となる。半導体チップの位置決めは、位置決め部を有するものと、ITV や多点光学センサ検出システムを採用し、チップ供給部で位置補正をする方式もある⁽³⁾。従って後者の認識方式では、チップを直接チップ供給部からコレット吸着しダイボンド部まで搬送する。

半導体チップの検出システムに関し、前記のITV 法と光学センサ法では、不良マークの有無判別、欠損や傷、チップの位置判別について、両者共可能になっているが、作業性、適用範囲の広さ

図4 樹脂封止形デバイス用ダイボンダ搬送システム構成例⁽⁴⁾

図6 NTC, UNTC ボールボンディングのシーケンス⁽⁴⁾ (UNTCはツール加圧時に超音波振動がある)

の点でITV システムのほうが優れている。

図5にT社製ダイボンダED 702形を示す。本機は0.58 s/個の高インデックスを達成し、実用機として広く使用されている。

又、0.3 s/個のインデックスのダイボンダが、K & S 社から発表されている。

3・2・3 ワイヤボンディング ワイヤボンディング工程は、半導体組立の中の最も重要な工程で、半導体チップの電極と外部リード端子を接続する工程である。一般に半導体チップの電極端子は約1 μm 厚、80~150 μm 角のAl電極である。又、結線材料は、線径が数10 μm のAuやAl-Si製の極細線で、加熱加圧による熱エネルギーあるいは、超音波と加圧による振動エネルギーによりAl電極端子との接合が可能である。

図5 ダイボンダED 702 (T社製)

図 7 超音波ボンディングのシーケンス

図 8 全自動ボンダ FB-106 A (K社製)

図 6 にネールヘッド熱圧着方式 (NTC 方式) あるいは超音波ネールヘッド熱圧着方式 (UNTC 方式), 図 7 に超音波方式 (USB 方式) のボンディングシーケンスを示す。これらのシーケンス 1 サイクルの動作は, 手動装置時代で, 前者の NTC 方式の場合, 2~3 s, 後者の USB 方式の場合, 4~6 s であったが, 現在の自動機では, それぞれ 0.15~0.2 s, 0.3~0.4 s となっている。

図 8 に K 社製の全自動ボンダ FB-106A を示す。一般に, ボンダのボンディング部は, 2 組のパルスモータ又は, 直流サーボモータで駆動する XY

図 9 全自動インナリードボンダ FILB-200 (K社製)

ステージ上に, 極細線フィーダ機構と, キャピラリをセットするヘッド部が乗せられている。ボンディングヘッド駆動は, カム方式と直流サーボモータデジタルコントロール方式があり, メモリ回路の記憶内容に沿ってボンディング位置は決められる⁽³⁾。

次に, ここでワイヤボンディング以外のギャングボンディング技術について少し触れる。

ギャングボンディング方式には, I 社で開発された SLT (Solid Logic circuit Technology) すなわちフィリップチップのフェースダウンボンデ

イングと、G社で開発された MINI-MOD すなわち TAB (Tape Automated Bonding) と、同じく G社で開発された樹脂埋め込みと蒸着技術を使った STD (Semiconductor on Thermoplastic on Dielectric) がある。M社から発表された FOF (Film On Frame) はこの STD の一種であると考えられる。この中ではん用性のある方式は TAB である。J 社、S 社、K 社などで自動ボンダが発表されている。

図 9 に、K 社製の全自動ボンダ FILB-2000 を示す。本機は、テープ供給、チップ供給、チップ位置認識補正、インナリードボンダ、リード成形、テープ収納を自動的に行う機能を有しており、5～10 s が 1 サイクルとなっている。100 端子以上の半導体チップ組立技術として今後極めて重要になるものであろう。

3・2・4 封止・仕上げ加工 ボンディング工程の後には、封止・仕上げ加工工程である。

封止は、半導体チップを外部環境から保護したり、外形を維持することが主目的である。セラミックパッケージは、個片で扱う場合が多く治工具類を用いて封止することが多い。大量生産を行うガラス封止や樹脂封止パッケージでは、長尺リードフレームを採用しできるだけ個片形態の扱いを少なくするように考えられている。

樹脂封止パッケージは、低圧トランスファ成形法によるものが多いが、表 4 に示すように半導体デバイス技術の進展に伴いパッケージ面での技術検討課題が多く残っている。

トランスファモルディングの自動装置は、D 社のギャングポット、T 社のマルチポットがある。これらは従来の 1 ポットに対し、複数個のポットから樹脂を注入するマルチプランジャ方式の封入

装置で、本体形成機、樹脂クリーナ、フレームローダ、デフラッシュの組合せにより、高生産性、品質安定、清浄環境維持、省力化など優れたシステム化が可能である。

デフラッシュは自動化された樹脂ばり取り装置で、くるみ粉粒を高圧エア吹き付けする乾式法と、約 0.1 mm 径の高圧水ジェットを使う湿式法があり、フレーム供給、ばり取り、洗浄乾燥、収納までインライン化した機種もある。

仕上げ加工では、なつ印、リード切断成形、マガジン収納が行われる。この工程は、各社によって加工工程が前後する。なつ印には、個片とフレーム方式があり、インクなつ印とレーザなつ印法がある。リード方式では、ローラ曲げ法やプレス曲げ法が採用されているが、PLCC の J リード曲げ等には、複雑な加工を必要とする。

4. 組立装置の今後の動向

4・1 組立装置のインライン化 前述のように、組立各工程ごとの全自動化装置は完成段階に近づきつつある。又、一部の工程ではインライン化を目標にした設計仕様の装置も開発されている。

図 10 は、N 社製の「ガラス封止形 IC インライン組立システム」で、工期短縮と作業工数の低減をねらいダイボンディングから封止完了までを一貫化したシステムである⁽⁵⁾。

図 11 は、H 社の「組立モールド一貫ラインシステム」で、長尺フレームの投入方式を採用し、中

表 4 半導体デバイス技術動向と樹脂封止パッケージの技術課題

デバイス技術動向	パッケージ技術の課題
メモリセル容量の縮小	封止樹脂の高純度化
微細配線化	アルミ腐食断線防止
多層配線化	パッシベーション膜クラック防止
チップ寸法の大形化	アルミ配線スライド防止
パッケージ寸法の小形化	樹脂クラック防止
パッケージの表面実装化等	はんだ付け後の耐湿性向上及び樹脂クラック防止等

図 10 ガラス封止形 IC インライン組立システム (N 社製)

図 11 組立モールドー貫ライン構成 (H社製)⁽⁴⁾

従って、組立装置の今後の設計課題は、

- (1) 工場全体の自動化を目指した生産デザイン
- (2) 品種、パッケージ変更の容易なライン設計
- (3) 装置の信頼性が高く保全の容易な設計
- (4) 高能率な生産設備で、フロア占有の小さなシステム的设计
- (5) 生産管理、品質管理情報オンライン化設計などである⁽⁴⁾。

5. おわりに

以上、半導体デバイス組立と機械工学の関連を総合的にご理解願えるように、各項目の要点には触れたつもりであるが、いささか総花的になってしまったことをご容赦願いたい。

半導体産業の変動は激しく、次々と新技術が開発実用化されている。生産装置や設備においてもその実を取り入れながら高度化し、次世代半導体デバイスの新技術開発に貢献するものと考えられる。

(原稿受付 昭和60年12月3日)

文 献

- (1) 西村, 日経エレクトロニクス, 360 (昭 60), 169.
- (2) 大塚, マイクロデバイス, 日経エレクトロニクス別冊, 2 (昭 59), 129.
- (3) 青野・ほか3名, 電子技術, 25-8 (昭 60), 2; 40; 50.
- (4) 芝山・ほか2名, *Semiconductor World*, (1985-10), 67.
- (5) 本岡・ほか3名, 精機学会秋季大会学術公演会論文集, 824 (昭 60), 617.
- (6) 東和精密工業(株)カタログ
- (7) 小野, *Semiconductor World*, (1984-3), 52.

図 12 オートパッケージングインラインシステム TIS-56-CB-3 (T社製)⁽⁶⁾

間外観チェックのないシステムである。

図 12 は、T社の「オートパッケージングインラインシステム TIS-56-CB 3」である⁽⁶⁾。本システムは、マルチプランジャモルディング、リード切断加工、製品のチューブマガジン収納までをインライン化したものである。

これらのインライン化システムのほかにも、D社のウェーハカット工程インライン、「フリーオートマチックラインシステム」や、S社のボンディング工程フレキシブル稼動ライン「SIL-1000 インラインシステム」が発表されている⁽⁷⁾。

4.2 今後の動向 前述の例のようにそれぞれの搬送には、ベルト、空気軸受、ガイドレール等が使用される形態が採用されているが、工場無人化のような大きなシステム化を図るには、無人搬送車や軌道車を用いて、組立装置間を有機的に結合させるシステム開発が必要である。