

ワイヤボンダ装置の開発



笹原 秀憲 (株)カイジョー 執行役員
ボンダー事業部 事業部長)

1. はじめに

カイジョーが半導体製造装置であるワイヤボンダビジネスへ進出した背景は以下の通りである。

当社は昭和23年(1948年)の創立以来、超音波の応用機器である魚群探知機や音響測深機を初めとする計測機器の草分け的存在であった。

昭和36年(1961年)に音測・魚探の次の柱となるべき新技術を模索しはじめ、着目したのは、洗浄・溶接・加工・乳化などの強力超音波の応用であるが、その中で開発されたのがワイヤボンダの前進となる超音波溶接機であった。その頃まったく新しい構造で出現したメサ型トランジスターに超音波溶接を適用してみたいとの話が日本電気(株)からあった。これは10～20 μm の金線を20～30 μm のアルミ蒸着電極に接続しようというもので当時では極めて微細な接合の要求でした。当時は金属や溶接技術に関する知識や文献に乏しく、試行錯誤の日々でしたが、当時の文献に「接合の原理は、超音波振動で金属の接合面がお互いに擦れ合って発熱し、分子が動きやすくなっているところへ、接合面に垂直な力を加えると両金属間の分子が近づき、分子間引力で接合される」とありましたが、この原理は現在でもほぼ同じことが言われております。

昭和42年(1967年)に日本電気(株)とボンディング研究会が発足し、その成果として最初のマニュアルボンダ(WA-140N)が開発され、これがワイヤボンダの始まりとなりました。

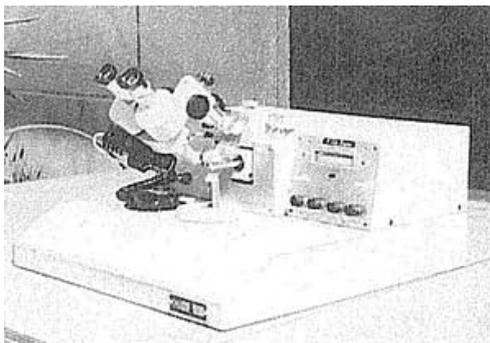


図1 最初のボンダ WA-140N

2. 製品開発の歴史と成果

～ マニュアルからオートへ～

最初のマニュアルボンダはICを手で受け台に乗せ、顕微鏡を覗きながら右手でマニピレータを操作してICの回転と位置決めを同時に行い、足でペダルを踏んでキャピラリの上下機構を降ろしボンディングするという非常に取り扱いの難しいボンダでした。その後、上下機構の降りる動作にサーチレベルを変えられる機構をもったものを開発し、本格的な実用機として数百台納入することができました。

その当時、手先の器用な若い日本女性がずらっと並んで当社のボンダでボンディングしている光景はドルショックで景気の悪い時に非常に力強い印象を与えたとのことでした。

昭和45年(1970年)頃、アメリカの半導体メーカーは労働力の安い東南アジアに生産の拠点を移して競争力を付けつつあり、これに対向するため半導体組立の自動化により生産性と信頼性を向上させようとする動きが強まりました。これがマニュアルからセミオートへの自動化であり、メカトロニクスへの挑戦の始まりでした。

昭和48年(1973年)、対象を市場性の大きい金線ボンディングの領域としてNTC(Nail-head Thermo Compression)方式とすることで開発に着手しました。高精度XYテーブルの開発、ボンディングヘッド、パルスモーターの制御、位置ズレを検出するマイクロセンサー、リードフレームを送るキャリア、CPU制御など、どれも未経験のものばかりで大変苦労しました。

この年の秋にセミオートの1号機が完成しましたが、ボンディングスピードは1秒/1ワイヤ程度でしたが、当時としては非常に早く感じられ、基本性能が実現出来たと自負したものでした。

マイコン制御でICチップの位置ズレを補正して自動ボンディングを行ったのは、この機械が世界で始めてだったのでアメリカのエレクトロニクス雑誌にも取り上げられ、その後大量受注を受け、海外にも

進出出来たものでした。

セミオート機はボンディングのスタートポイントに人間が必ず目合わせを行うもので、その後、組立工程の完全自動化の要請で認識装置を搭載した“フルオート”の方向へと進化していきました。

当初、認識装置は米国のVE社製（VIEW ENGINEERING）で、昭和53年（1978年）これを搭載した初めてのフルオートボンダFB-12が完成しました。機構部にも改良が施され、ボンディングスピードも0.38秒/1ワイヤとセミオートに比べ格段に早く、また、課題であった自動化も実現したということで大変画期的なものでした。

～ボンディングスピードの競争～

昭和56～60年（1981～85年）の期間は全自動化が進み、競合他社と激しいボンディングスピードの競争を繰り広げていました。当時はICのパッドピッチもまだ大きく、ワイヤ長さもさほど長くなかったため、ボンディングヘッドの上下動作もカム式のもので十分対応できていました。そのため設計上の目標は、より早いボンダを作るということに置かれていました。

昭和56年（1981年）には日本電気株よりサーボ制御技術の協力を得て、当時世界最速である0.2秒/ワイヤのFB-15が開発されました。この時の開発されたサーボ制御技術が、その後の当社の技術の基礎となるものでした。

その後昭和58年（1983年）には従来に比べて省スペースで品種交換も容易であり、さらにメンテナンスを容易にしたコンパクトタイプのFB-103Rが開発されました。これはカム式ボンダとしては最後の機種で、0.18秒/ワイヤを達成できました。

このころは半導体製品の品種も増え、品種交換の容易さが要求されるようになってきた頃で、ボンダにおけるフレキシビリティという考えが芽生え始めた時期でした。



図2 FB-15型ワイヤボンダ

～デジタルヘッド式の開発～

ICの多様化にともない、ボンディングに関してユーザーから次第に高度な品質が要求されるようになり、中でもワイヤ長の長さに関わらず安定したループ形状を形成する技術が必要になってきました。

これにこたえて開発されたのが、昭和59年（1984年）に発売されたFB-106で、金線用として初めてデジタルヘッド式でした。これはサーボモータによりキャピラリーの上下、降下スピードを制御できるので、XY動作と合わせてキャピラリーの動きを自在に操る優れものでした。

同時にリードフレームの品種に対応した自動搬送仕様のフレキシブルキャリアを搭載し、今日のデジタル式ボンダの基本形となった装置でした。

その後デジタル式の改良を進めましたが、1991年には、「オペレータにやさしい」をキャッチフレーズに、圧着ボールのサイズや厚み、さらにはルーピングの高さを入力するとその通りに組立できる装置FB-118を市場に投入しました。これが本当にユーザーには大変使いやすく、誰でも操作でき、また、安定した品質、高い生産性を確保できるということで瞬く間に業界を席卷し、ベストセラー機となりました。

その後、差別化を図るためボンディング形状の検査機能を付加したFB-118Eyeもリリースして大きな反響を得ました。

～ファインピッチ化の流れ～

その後、ICデバイスも軽薄短小化の流れで、ボンディングパッドもファイン化のスピードが早まりはじめました。当然、圧着されるボールサイズも小さくなると共に脆弱なパッド構造に対応するため低衝撃のヘッド制御が必要となりました。1994年に駆動部にVCM（Voice coil motor）を搭載したFB-128が完成し、パッドピッチ70 μmの達成へ邁進しました。

1996年頃にはDIP系の製品が大幅に減り、変わってBGA、そしてCSPの台頭で、接合技術の転換期が到来した感がありました。特にパッド側の接合性向上を目的に高周波超音波の開発が熾烈で、各社100KHz以上の周波数で新製品をラインアップし始めたのがこの時期でした。

2000年に入ってから50 μmピッチ対応機を投入しましたが、さらにロードマップにそってファインピッチ化の流れは大きく加速してきました。

現在の最新装置はTOPデータで30 μmという驚異的な能力をもつようになりましたが、部材を含めた信頼性から量産は40 μmピッチというのが現実の

ようであります。

3. 最新装置概要

最新のFB-880は「オペレータに優しい安定したワイヤボンダ」をコンセプトに多様化する半導体パッケージに対応する装置として開発されました。

ボンディングスピードは0.056秒/ワイヤ、ファイナピッチは35 μm、繰返し位置精度は2.5 μm(3)というパフォーマンスですが、最大の特長は、多様化しているデバイスに対応するために2周波超音波振動子を標準搭載したことである。ボンディングに使用されている超音波は、振動回数が多く(摩擦加熱が速く)ボンディング時間が短縮でき、またデバイスに対するダメージも抑えられるため、高周波化の傾向にある。しかし、デバイスの特性、リード側の共振や押さえ性の問題で低周波を使用していることも少なくはない。従来は、単周波振動子であったためどちらかの周波数を選択するしかなかったが、今回、2周波振動子を標準搭載したことで、例えば、チップ側では高周波を選択し、リード側では低周波を選択することも可能になった。

当社の強みは多彩なループ形成技術であるが、バラツキの少ない安定したループを形成するためにツール軌跡を最適化しパラメータ設定も容易化した。特に要求の強い低ループに関しては、高さ50 μm以下の超低ループを実現している。

近年、ワイヤボンダにおいて不可欠な機能に不着検出がある。FB-880では、標準として低容量を検出可能なキャパシタ検出方式の不着検出機能を搭載している。また、多様化したデバイスに対応するために、DC方式やダイオード専用の検出方式など4種類の検出方式が選択可能となっている。

さらなる特徴として、レンズの焦点を7点まで設定可能なプログラマブルフォーカスレンズが用意されている。これにより、3次元実装品やチップの高さが異なったSiPなどで、各チップに焦点を合わせることでティーチングや位置検出精度の向上が計れる。

4. 今後の展開

今後の半導体パッケージを考えると、フリップチップとワイヤボンダの棲み分けや3次元実装における貫通ビア方式の実用化の進捗に注目する必要がある。しかし、中長期的に見れば、小型、薄型、高密度化

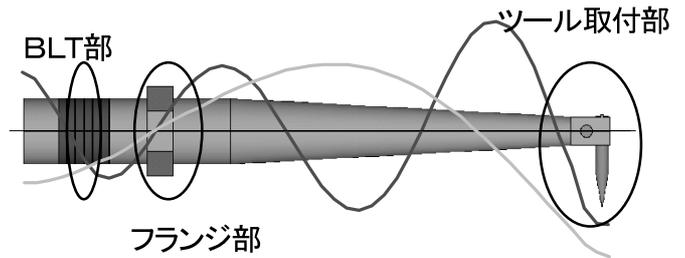


図3 2周波振動子の外観

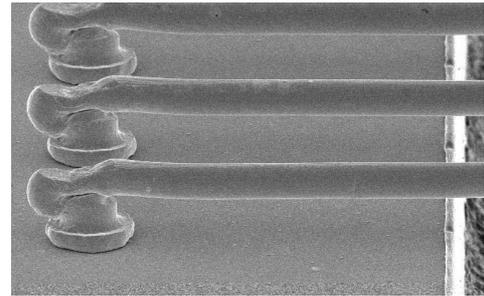


写真1 超低ループ(50 μm以下)



図4 FB-880外観

の方向性の変わりはないと考えられる。

ワイヤボンダは生産装置であり、生産性の大幅向上が命題であることから、コストパフォーマンス向上要求のある銅線化対応、さらにキャピラリーへの自動金線通し等さらなる進化を期待され、そして遂げていかなければならない。

参考文献

カイジョー50年史(2001年発行)他