

全自動ワイアボンダの開発（日立）

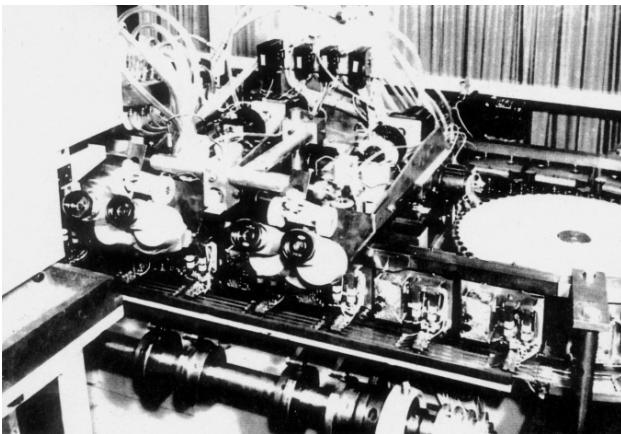
坂本技術士事務所所長 工博 坂本 雄三郎



(1)AWBの開発(1964~66年)

1)それはIBM社の1編の論文(*1)から

一始まった。その論文は回転ドラム上のスリットの走査による位置検出を用いたトランジスタ自動組立に関するもので、折から工場訪問の橋本副社長から「ヤレ！」の聲が掛かる。こうして日立の特研 906「トランジスタ全自動組立機=AWB (Automatic Wire Bonder)」の開発が始まった。シリコン・トランジスタの生産が始まって間もなく、キャン封止の時代であった。

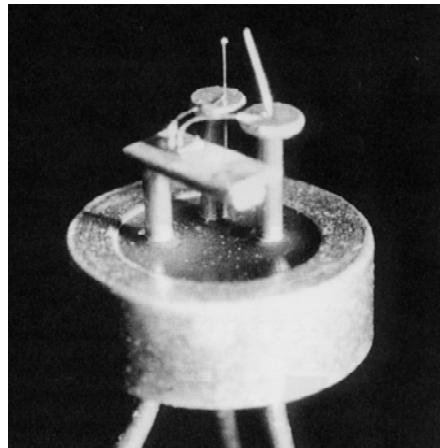


<図1 試作したAWB要部>

2)当然のことながら(時期尚早)一

この試みは失敗に終る。しかし収穫はあった。

- ①自動組立のサンプル(約200ヶ)の試作には成功、実用化には、ボンディング位置検出の確実度が不足(80%前後)と、課題が明確化した。
- ②チップコーティングと多層配線の基本特許が取得出来た。
- ③自動機設計(特に精度設計)に自信を持つことが出来た。(例えば、チェンで駆動するインライン式インデックス・ユニットにおいて、約1kgのパレット40ヶのステーション間相互位置決め精度 $\pm 2\mu\text{m}$ <測定限界>を実現したなど)――特研のメンバーは、課題を抱えながら再びそれぞれの持ち場へと散った。



<図2 世界初、自動組立トランジスタ(1965)>

(2)次期特研までの谷間(1966~73年)

1)SSIの生産ライン立上

筆者らはDIL-G(ガラス封止セラミック・パッケージ)やDIL-P(プラスチック・パッケージ)の、後工程設備・治工具全般の開発に没頭した。

2)ここで晴天の霹靂が

そんなある日、上司が私にRCA長期滞在を命じた。結婚して長女が誕生したばかりであり、6週間の英語研修の合宿に入る。そして慌ただしく羽田から飛び立って行った。

3)RCA学校

RCA社半導体事業の中心はニュージャージー州サマービルにあり、工場はオハイオ州とペンシルベニア州にあった。適宜それらの拠点を回って、日本からの問い合わせの調査を行った。ここは各社の出張・滞在者が多く、米国流の生活への順応も含めて、RCA学校と呼ばれていた。米国滞在中一度も「人種差別」を経験しなかったのが一種のカルチャーショックか。しかしあるカンファレンスのエレベータの中で、「ジャパニーズ・スパイ」との喧嘩が聞えた。当時の日本は情報のブラックホール、吸い込むだけで出てこないと見られていた。私はその後3回プレゼンを行い、自分なりの借りは返したつもりでいる。

4) 情報集めのコツ

①カンファレンスでは、「質問」が大切と悟る。その後面談、言葉の不自由さをアピールして膨大なソフトコピーを入手したこともある。

②当方のデータを持参すると、討論(訪問)チャンスが広がった。IBM 社では SLT(Solid Logic Technology)の East Fishkill 工場の見学が出来た。ガードが堅かった TI 社のダラス工場では、PIA(Packaging Interconnection Assembly)の担当技術者との討論が許され、数回にわたり訪問した。Motorola 社でも Spider Bonding の担当技術者と討論が出来た。

③彼らは日本での“More Automation”を予見。

5) 米国長期滞在で得たもの

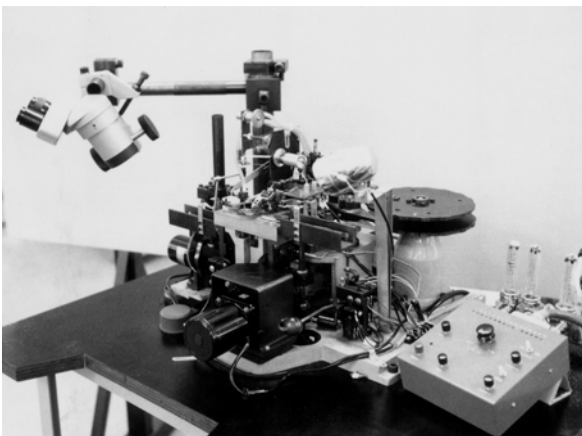
①IBM 社の SLT 自動化ラインは気宇壮大で、ニューヨーク州全体の機械技術者を集めて完成させたと豪語、エネルギーを頂いた。

②「自動組立」の第一人者、Bodyne 社の F. J. Riley 氏に面会に行く。その論文(*2)を社内向けに翻訳、「自動機設計」の体系化を志向した。

③私事では、サマービルの教会で生涯の親友を得る。妻からは「2日に1回、手紙を」と約束させられていたが、各地で絵葉書を買って達成する。帰国したら、知らないおじさん?の出現に長女は泣き、長男とは初対面した。

6) 帰国後は――

再び IC 後工程の合理化を担当、カム式 IC 用半自動ボンダを開発する。



<図3 カム式 IC 用半自動ワイアボンダ>

最初のボンディング・パッドをマニプレータで位置合わせすれば、あとは自動でボンディングする。チップマウンターには、 θ 補正機構を組み込んだので、殆ど手放しでボンディング出来た。このボンダは 100 台程度内作り、ゼロ

戦並みの効果を発揮する。この時のボンディング・ヘッドは次の全自動ワイアボンダに活用した。

(3) 2 度目、AWE の開発へ(1973~74 年)

(AWE = Automatic Wire Bonder with Industrial Eye)

1) 再び晴天の霹靂が――

カム式 IC 用半自動ボンダが稼働を開始した頃、突然、トランジスタの生産拠点・高崎工場への転勤が命ぜられた。着任の挨拶に行ったら、阿部工場長が「全自動ワイアボンダを開発せよ!(でないと、ボーナスやらぬ)」との厳命を下す。

2) なぜ全自動化なのか?

①後工程(半自動でも)は前工程の 3~4 倍の人員を要し、原価低減のネック。

②女子習熟作業者の確保が生産のネックで、地方や海外進出が行われた。

③組立起因の不良が多く、自動化による品質向上が望まれた。

④女性の顕微鏡作業からの解放が望まれた。



<図4 以前の組立職場(半自動)>

3) 自動化を可能とする条件

――前回の失敗 AWB 以降に達成された全自動化のためのプラス条件を列挙すると

①ボンディング方法の進化:最適ボンディング加重を加える多段加重機構や、テイルレス・ボンディング機構なども開発、カム式半自動 IC ボンダに搭載した。

②トランスファ・モールド化:キャン封止がトランスファ・モールド化され、ハンドリング性、位置決め性などが格段に向上した。

③ボンディングの解明:ボンディングの金属学的な挙動が解明され(*3)、Bondability の管理も実施されるようになった。

④チップコーティング: AWB 開発の際に特許を出願、AWE 開発時に実用化され、基幹技術となった。製品の信

頼度向上にも貢献した。

⑤自動機械設計手法の確立:ほぼ体系化が出来た。特に精度設計については、工作機械などの加工点 (Tool Point) の考え方を導入、また機構的な誤差拡大率をゼロに近づける「精度鈍感設計」なる概念も導入した。(※4)

⑥機械式全自動ワイアボンダの実用化:多層配線によりボンディング領域をアクティブエリア上に拡大した中出力 TRS (チップサイズ 0.6×0.6mm) では、機械式自動ワイアボンダ:AWM(Automatic Wire Bonder Mechanical)を実用化した。

⑦前工程の自動化と高精度化:中研の協力を得て PAS(Pellet Automatic Sorting System)を完成させ、良品チップを区分してテープ上に貼付けた。このテープをハンドリングの媒体とし、自動チップ(ダイ)マウンターへとつなげる。チップのマウントには、チップの位置決め機構を開発し、上記 AWM の前工程に用いた。このようにワイアボンディングの前工程を一貫自動化し、かつ高精度化した。

⑧残された最後の課題:

全自動ワイアボンディングの実現に残された最大の課題は、チップ上のボンディング位置を、高精度で確実に検出する手段の開発であった。必達を目指して、中研と生研(生産技術研究所)の双方に自主研究を依頼した。

(4)AWE の完成

1)再度の特研(H3316):

①1973年の春、中研研究発表会の席上、実験装置が展示された。原理的にも優れたものと確認出来、再度の特研(H3316)へとつながった。

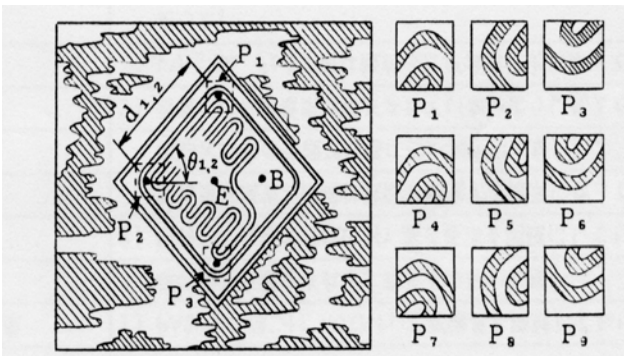


図5 部分パターンと同じパターンのノイズは少ない。また2個所の検出に9パターン→検出確率を向上

②AWB から AWE へと捲土重来を期して集まったのは、中研主任研究員・江尻正員(特研主任研究者)と、高崎工場生産技術部主任技師・坂本雄三郎(副主任研究者)ら

のグループであった。当時の半導体事業部技師長故明山正元博士の指導や設備開発部主任技師・鈴木純氏の助言なども得た。各分野の錚々たるメンバーによる意思決定には、それなりの苦心もあった。

2)開発方針:

世界中に Model は存在せず、2度目の失敗は許されないので次の方針で臨んだ。

①不確定要因は排除し、次善の策を取る。

②実績のあるカム式 IC 用半自動ワイアボンダのボンディング機構を採用した。

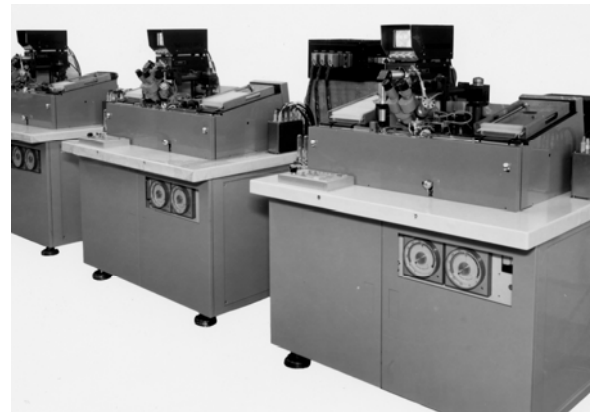
③位置検出とボンディングの 2 ステーション方式とし、位置検出用顕微鏡の Working Distance 問題を解消、熱影響も排除した。2 ステーション化による位置決め精度は「Functional Location=機能的な位置決め法」により確保した。

3)設計と製作:

研究・開発的な要素は殆ど事前に解消されたので、当初から設計に入ることができた。設計は工場側の図面等をベースとして、中研試作部にて設計・製造された。回折格子加工用ルーリング・エンジンを完成させた中研試作部の力で、早期に完成し試運転に入ることが出来た。

4)製品の試作・評価と量産適用:

1973年12月、中研で完成した AWE は工場に搬入し評価を開始した。



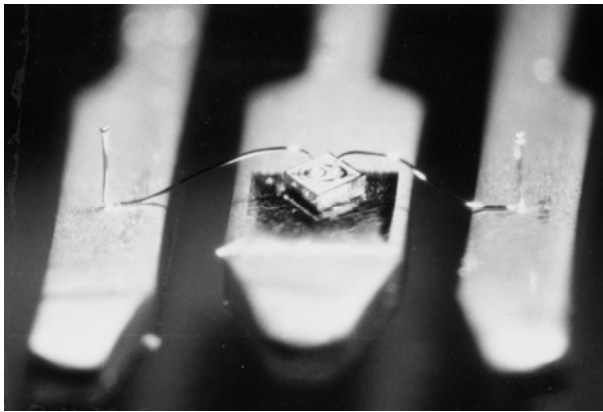
<図6 完成した AWE>

適用トランジスタの試作・認定を行い、品質保証部から合格認定を得て、1974年9月から量産適用を開始、同時に設備台数の増強を行った。

(5)AWE の評価

1)足掛け 10年、2度目の挑戦で AWE を完成させたが、世界初の全自動ワイアボンダであった。この技術は後 IC、LSI にも適用され、世界的な標準となった。技術導入からスタートした日本半導体産業の世界的な貢献の一つと考

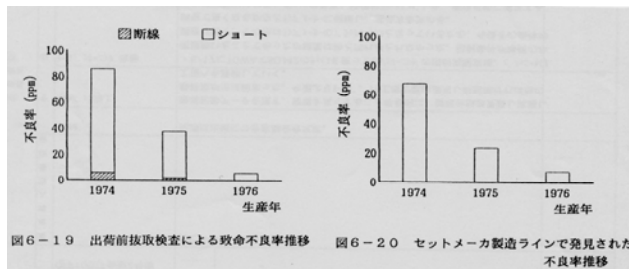
えられる。



＜図7 AWEで組立てたトランジスタ＞

2)AWE を実生産に適用した結果、当初目標とした次の項目を達成した。

- ①組立工数が大幅に低減
- ②組立は自動機職場へと変貌、生産の増減も容易に
- ③女子作業者を、厳しい顕微鏡作業から解放
- ④製品品質が大幅に向上(100→10ppm)



＜図8 不良率の推移(自動化の前後)＞

3)上記の結果を 1977 年 5 月、ECC (Electronic Components Conference)にて報告した。(※5)「米国ではパーセントで管理している不良率を、日本では ppm で管理」との指摘も出、その後米国の品質活動に影響を与えたと考えている。

4)チップコーティング技術を実用化したが、その後多層配線技術へと発展した。

5)この開発において、自動機械の精度設計原則を確立した。同時にボンディング位置検出のため開発されたパターン認識技術は、その後ロボットの目として広く産業界に用いられるものとなった。

6)社外表彰

日立の受けた関連社外表彰を記す。

- ①1975 年;機械振興協会賞(パターン認識技術を用いた全自動トランジスタ組立装置)
- ②1978 年;日本産業技術大賞(内閣総理大臣賞/視覚認識を用いた LSI 自動組立システム)

③1983 年;半導体装置の製造方法(チップコーティング)、関東地方発明奨励賞

④1984 年;パターン位置検出方法、関東地方発明奨励賞

(6)AWEによる実生産

1)3度目の晴天の霹靂

AWE が完成して、ボーナス 2 倍は頂けなかったが、製造部長を拝命する。機械化職場で、自動機械の分る者と言うのがその理由であった。

当時、全く現場を知らなかったのも、何事も新鮮であった。現場で以下を実施した。

- ①メンテ Gr. の育成強化(直接員の 10%超)
- ②TPM 導入(日立全社で初めて)
- ③多変量変速生産ラインへのかんぱん適用
- ④予測型生産管理システム(*6)

2)反省

①AWE 完成の返す刀で、抜本的な見直=DR を進めていけば、一更なる特許取得も!

②自動機械に関する現場管理者や設計者に対するインストラクションの整理は、これからの課題としたい。

以上

＜参考文献＞

- *1 Moore, R. L.; High-Speed Servo Positioner Bonds Mesa Transistor, Electronics, 36-6: pp.58~61(1963)
- *2 Riley, F. J.; Design of Automatic Assembly Machine, Tool and Manufacturing Engineer, 48-5: pp.91~96(1962)
- *3 石坂他;AuとAlの熱圧着における接合界面の変と新生面の生成,日本金属学会誌, 38(1974), pp.1161~
- *4 坂本・Dhudshia, V. H.;「半導体製造装置の信頼度向上」、EDリサーチ社:pp.157~165, (2002.7)
- *5 Sakamoto, Y. et al.; The consideration of Reliability in a fully Automated Assembly of Small Signal Transistor, Proceedings 27th ECC :pp.146~153(1977.5)
- *6 坂本;「日立にみる半導体工場の現場経営」、日刊工業新聞社 (1990.1)