モノリシックICとハイブリッド技術

伝田 精一*

1. はじめに

ハイブリッドICと半導体(モノリシック)ICは、長い間機会あるごとに優劣を比較されてきた。この間、この二つの技術分野はそれぞれ急速に発展し、モノリシックICは超LSIを頂点として巨大な産業を形成するにいたった。また、ハイブリッド技術も高密度実装、チップ部品、薄型デバイス等を包含し、マイクロエレクトロニクスの名のもとに驚くべき拡がりを見せている。

この二つの技術分野は、ともに重要であり、また共存関係、補完関係にあり、優劣を比較するレベルのものではないことはすでに十分認識されている。そのため、ここでは、この二つの技術分野を、製造技術、関連メーカー、応用分野、使用材料、製造装置などの面から共通点や相違点などについて考えてみよう。

2. 製造技術の共通点

——作り方は同じなのか

ハイブリッドとモノリシックは、まったくといっていいほど構造が違うのだから直観的には製造方法や工程がまったく違うと考えられる。確かに、シリコンウェハに微細なパターンを描くのとセラミック基板に印刷するのでは、感覚は大きく違う。

しかし、モノリシックプロセスの後半部分すなわちワイヤボンディング、パッケージング、いいかえるとアセンブリの部分では共通点が相当に出てくる。ハイブリッドICの主要構成要素であるICチップ、LSIチップ、トランジスタチップを絶縁基板上に取り付けるかまたはDIP

のようなパッケージに取り付けるかの差であり、またそのチップのボンディングパッドと外側にある端子またはパターンをワイヤで接続することも共通しているのも、技術的にも工程的にも類似のものとなってくる。

ICの種類によっては、チップボンダ、ワイヤボンダの同一装置が用いられる場合もあるが、この時も基板またはリードフレームを収納し移動させる治具、カートリッジは異なるものを使う。ハイブリッドIC組立用として開発されているボンディング装置も、モノリシックIC用の装置をベースにしているものが多い。

一般に、ハイブリッドICでは、数種類のチップを同一基板上に載せるため6種類位のチップを順次ダイボンディングするものが多く、この点1種類のチップを高速でボンディングするモノリシック系とはやや設計が異なる。ワイヤボンディングでも自動化する場合、ハイブリッドの方が複雑になる。また、ハイブリッドの場合、半導体チップだけでなく、パッド～端子、パッド間のワイヤボンディングも必要となり、ボンディング点の高さでも複雑な動作が要求される。Fig. 1はハイブリッド用6種チップダイボンダの例である。

フィルムを用いたチップキャリヤボンディングは、ハイブリッドIC用のパッケージ作成法と考えてもよく、またモノリシックICの最新の小型パッケージとしてとらえてもよい。ハイブリッド、モノリシックに共通な技術といえるだろう。

ハイブリッドおよび高密度実装基板で、最近注目されているSMT(表面マウント技術)およびチップ部品はハイブリッド技術の中心であり、ハイブリッドの独壇場ともいえよう。ここでは、モノリシックICは、1個の部品として扱われる。

狭義のパッケージングであるチップコーティングおよびモールドイングでも共通点が増加しつつある。すなわ

* Seiichi Denda / 小西六写真工業

ち、従来は、ハイブリッドは樹脂パウダディップコーティング、モノリシックはトランスファモールディングが主流であったが、ハイブリッドの小型化、量産化によってトランスファモールディングの必要性が増加してきた。すでに、DIP型ないしは小型のモールド化ハイブリッドICがいくつか発表されている。

モノリシックICのパッケージも小型化の一途をたどっているが、この面からのチップのパッシベーション、コーティング技術もハイブリッド、モノリシックに共通な問題になっている。

薄膜ハイブリッドICでは、モノリシックプロセスとの共通点がさらに大きくなる。導体膜、抵抗膜、パッシベーション膜を生成するための真空蒸着、スパッタリング、CVD等の装置はほとんどLSI用の膜生成装置と同一と考えてよい。一般に、ハイブリッド基板の面積はシリコンウェハより大きいとされていたが、最近のウェハの大口径化によって装置自身も大型化が進んでいて、ハイブリ

ッドと同一の装置が使われることもある。ただし、ウェハと基板のホルダは異なるので、この部分の変更は必要である。

また、薄膜ハイブリッドの場合、パターン形成はほとんどフォトエッチングによっている。原理的には同じ工程であるが、この技術についてはLSIが極限まで技術開発し、1ミクロン付近の微細パターンを狙っているのに対しハイブリッドでは約1桁粗くてもよい。その代りに、サーマルヘッドなどに見られるように、大型基板を露光する必要があるため要求仕様が大幅に異なり、それぞれ専用装置が使用されている。

チップパターンと基板の回路パターン作成にはともにCADが用いられるが、この分野ではやはり密度が大幅に異なることと、パターンに対する基本仕様が違うためそれぞれ独自のソフトウェアが必要となり、LSI用の方が開発が進んでいる。

特性測定、信頼性環境の分野では共通装置が多いが、ハイブリッドが高集積化してくるとテスト装置の分野でもLSIレベルをさらに向上させる必要が生じている。

ハイブリッドICでは、抵抗トリミングによる特性の調整が多用され重要な装置となっているが、モノリシックでは従来、トリミングは使用されなかった。しかし、最近、モノリシックでも、レーザによるAl配線やポリシリコンカットなどが使用され始めている。しかし、精度的にまたカット深さなどの要求で違いがあるので、専用装置が開発されている。

以上のように見てくると、ハイブリッドICとモノリシックICでは、製造ライン全体の30%程度が共通の（まったく同一とはいえないが類似の）工程で行なわれていることが分かる。この点で、半導体メーカーがハイブリッドを手がけることは、比較的容易ではないかと考えられる。

Fig. 2にハイブリッドとモノリシック工程の重なりを定性的に示した。濃い部分は共通の工程である。

Fig.1 Semiconductor Die Bonder Used for Both Monolithic and Hybrid IC

Fig.2 Similarity of Manufacturing Process Between Monolithic and Hybrid IC (Gray Areas Show Common Process for Both)

3. 製造メーカーの特長

——どんなメーカーがあるのか

ハイブリッドとモノリシックを比べたとき、その構造の違いもさることながらその産業構造に大きな差があることに気がつく。

まず、モノリシックICメーカーとしては、総合電機メーカーまたは通信機、コンピュータメーカーを主体とした8社があって、ほとんどのマーケットシェアをもっている。また、その他に、5社の外資系メーカー、4社の電子部品メーカー、数社の社内需要向けメーカー（キャプティブメーカー）があり、全体としてはメーカー数は少ない。これはよく知られているように製造設備の投資額が大きく、また少量生産では利益を得られないなどの理由によるものである。

ところが、ハイブリッドとなると事情は異なる。現在、かなり大量にハイブリッドICを生産しているメーカーは約30社、少量でも手がけている会社も含めると70社にも及ぶ。さらに、社内用として生産し、外部に発表していないものを含めると200社以上といわれている。

また、ハイブリッドメーカーとしては、ほとんどの電機メーカー、電子部品メーカーが手がけているうえにセラミック、樹脂、薬品などの材料系メーカー、自動車、

精密機械、光学などのメーカーも続々参入している。
この理由としては、ハイブリッドICが投資額としてあまり大きくなくてもよいためであるといわれたが、最近では設備も高額化しているためこのような経済的理由だけではない。そのうえ、ハイブリッドは、個別部品回路、モノリシックとの競合から必ずしも利益性がよくないことも事実である。最も大きい理由としては、ハイブリッド技術が小型・軽量、いわゆる軽薄短小型の電子機器の実現に極めて重要であり、さらに新材料の開発とも連動しているといわれるハイテック型製品に直結しているためであろう。
Fig. 3は、企業の側面から見て、モノリシックとハイブリッドを比べている。

4. 企業内での担当部門

——社内のどこで製造するのか

モノリシックICは、大メーカーにとっても極めて重要な製品分野である。そのため半導体事業本部、IC事業本部、LSI事業部などの部門名称が立派につけられている。中には、ゲートアレー事業部、メモリ事業部などと細分化された部門名もある。

これに比べてハイブリッドICではどうか。ハイブリッドIC事業部という名称はあまり多くない。特に、大きい電機メーカーでは、ハイブリッド関係は探すのに骨が折

	MONOLITHIC	HYBRID
No. of Manufacturer	25	200
Category of Manufacturer	Electronics Computers US Capital	Electronics Components Ceramics Automobiles Mechanics Optics Chemicals
Profitability	Moderate	Poor
Main Purpose	High Density Integration of Circuits	Light, Small, Short, and Thin Electronic Devices
Technical Topics	Fine Patterning Dry Etching	New Materials SMT Components

Fig. 3 Comparison of Monolithic IC and Hybrid Technology from Industrial Viewpoint

れるくらいである。ところが、実際には、ハイブリッド技術者は多勢いて、それぞれテレビ事業部、VTR事業部、ステレオ事業部、通信機事業部などに所属し、ようやくその下の技術部ないしは技術課でやっとハイブリッドの名前が見えてくる。

これは、ハイブリッドICの売上げがまだ小さいから事業部になっていない、という理由だけではなさそうである。今や、電機メーカーのどんな製品に対しても、ハイブリッドICないしはハイブリッド技術が絶対必要になってきていることを示すものである。

生産技術部は、一般に、社内各部の生産技術を横断的に受けもっているが、ハイブリッドが生産技術部で行なわれている例も少なくない。また、同じ傾向として、基板技術部、開発研究所などが担当する場合もある。

多くの場合、ハイブリッドは、会社のトップが会社方針として開発を命じたというよりは自社製品を小型化、高信頼化し、コストダウンを進めているうちに自然発生的に出てきて、定着してしまったと見るのがよいのではなかろうか。

最近では、大メーカーのIC部門が、モノリシックICのアセンブリ技術を進めている中で、パッケージが多様化し社内外の要求にも応じたパッケージ形態や実装方法を検討しているうちに、気がついて見たら(?)ハイブリッドIC的な構造になっていたというケースも多いようである。

個別半導体メーカーも、製品のコスト・パフォーマンスの増大、生産の合理化のために部品の複合化やパッケージの簡略化に取組んでいるうちに、ハイブリッドとの接点に到達してしまうことが多い。

また、抵抗、コンデンサ等の電子部品メーカーもハイブリッドによって市場が取られるのを防ぐためにいや応なしにハイブリッドに入っていく。時計、電卓、カメラなどの精密機械メーカーやサーマルヘッド、ディスプレイのメーカーが技術開発を進めていくと、やはりハイブリッド技術の領域に入ってしまう。Fig.4に、他業種からの必然的なハイブリッド領域への参入状況を示す。

Fig. 4 Participation in Hybrid Microelectronics

東北などに進出する傾向が強くなっている。

一方、ハイブリッドでは前工程、後工程の区別はなく、全部が後工程といってもよい。このため、当然ながら地方工場の多用という方向が出るはずである。ハイブリッドの大手ではすでにこのやり方をとっている。ただし、ハイブリッドの生産量がまだ少ないということと製品開発を短期間で行なう必要があることなどの理由で、技術部門に近い場所で生産されている例もかなりある。すなわち、ハイブリッドICはモノリシックICに比べて、前工程と後工程の両方の性格をもっているといえる。もうひとつは、ハイブリッドの厚膜回路の印刷ずみ基板がビジネスとして成立していることで、この場合基板は前工程的性格ももつが1個の部品としても考えられ、主としてセラミックメーカーの地方工場で生産されている。

数年前まで、モノリシックICの後工程が東南アジアでの合併会社または委託として広く行なわれていた。しかし、品質管理上の問題や自動ボンディング装置の発達から現在は、国内工場に移している例が多い。ハイブリッドICの場合、自動化というよりは開発立上げ期間が短かく工程の変更が多いために、海外生産はまず不可能であろう。

5. 地方工場の分布

——人手を求めて

IC産業の特長のひとつは、特にモノリシックICにおいて前工程(ウェハプロセス)と後工程(アセンブリ)がかなり明確に分離され、前者は技術志向型、後者は人手依存型になっている点である。このため、前工程は本社の技術部門の近くに置き、後工程は人手を求めて地方に展開していった。多くは子会社として運営されている。最近では、ウェハの製造能力不足のため前工程も九州、

6. 産業の規模

——10対1といわれるが

1985年のモノリシックIC生産は1兆7千億円、ハイブリッドICは1,450億円と約8.5%、ここ数年間モノリシックの10%弱を続けてきている。しかし、よくいわれるように、社内需要はこの統計には入っておらず、それを含

めるとほぼ2倍といわれている。また、ハイブリッド技術として、薄型機器、チップ部品アセンブリなどを含めればさらにその2倍以上ともいわれている。そうすると10：4の比率ということになるが、感覚としてはそんなものであろう。

ハイブリッド技術が際限なく広がり、定義もできなくなった現在、この生産規模の比較はあまり意味を持たなくなってきた。しかし、産業界のもつエネルギーがどんな割合で振り向けられているかと考えれば、生産金額的には10：4であっても、会社の数からいえば、前述したようにはるかに多くの会社がハイブリッドに注目し、活動しているといえる。

7. 構成材料と使用材料

——同じ物が使われているかどうか

モノリシックとハイブリッドは構造が異なるため使用する金属、薬品、樹脂、セラミックスなどが違うのが当然ともいえるが、意外ともいえるほど共通的な材料が多い。モノリシックは、その名前(単一の石)が示すようにシリコンが主成分ではあるが、最近のテクノロジーではシリコン以外の絶縁膜、金属膜の方がむしろ重要になっている。しかし、ハイブリッドは、その名のごとく混成材料を使用するので、材料の種類という点からはハイブリッドに軍配があがる。

これら二つの技術とも高集積化、微細化という面から

はプロセス技術の検討が進み、使用材料も高度化しつつある。前述した薄膜ハイブリッドとモノリシックLSIとは、絶縁膜や導体膜で類似の物質を使用しているし、チップコーティング(シリコンラバー等)、パッケージング樹脂も共通な技術問題がある。ボンディング用ワイヤ(Al, Au)、ダイボンド用導電性樹脂も同じ材料である。リードフレーム材もほとんど共通である。

ハイブリッドICに特長的な材料としては、基板材料(とくに最近は高熱伝導性基板)、厚膜ペースト、そして半田材料がある。

モノリシックプロセスに特長的なものとしては、拡散用のガス、ドーパント、石英部品、フォトレジスト、エッチング薬品、ガラスマスク、エピ用ガス、プラズマエッチング用ガス等がある。

Fig. 5に、二つの技術に使用される主な構成材料を示す。濃い部分は両方に共通に使われるものである。

8. 協力関係にある応用分野

——特長を活かして使われている

一時代前には、ハイブリッドとモノリシックは敵同士であった。そして、この二つが競合したとき、いつも敗れるのはハイブリッドだった。これは、当然の帰結ともいえる。その後、今日にいたるまでハイブリッドは、その特長を発揮できる分野を見出し、共存共栄の世界を築き上げた。

Fig. 5 Materials Used in Monolithic and Hybrid (Gray Areas Are Common Materials)

Fig. 6 VTR Circuit Board Using Several Hybrid ICs.
They will be Replaced by Custom Monolithics

ハイブリッドは、開発期間が短いという特長がある。急を要する新製品の開発には向いている。ところが、6ヵ月もすると、同時に開発スタートしたモノリシックが間に合い、ハイブリッドは消え去ってしまった。しかし、この状況を最初から想定し、最終的にはモノリシックを使うことで設計した回路を、ハイブリッドで初期をつなぐという考え方に変わった。初めから短命を予想して開発するのである。このやり方は、現在でも活用され、変化の激しい電子機器新製品の開発に役立っている。Fig. 6は開発期間を短縮するためハイブリッドICを多用したVTR用基板である。

モノリシックICも万能というわけではなく、高集積度、小電力、低電圧、スイッチング、低～中周波などに適している。ハイブリッドはこれと逆に中程度の集積度で、大電力、比較的高電圧、高周波、高精度の必要な回路に適している。また、今後開発される光ICなどもハイブリッド構造となろう。

このなかで、特に、大電力用のものはパワーハイブリッドと呼ばれ、オーディオ出力用、安定電源回路、モータドライブ回路、自動車用レギュレータ、イグナイタなどに大きい市場を形成している。Fig. 7はパワーハイブリッドICの例（イグナイタ）である。

また、高周波分野のICは通信機、電話用として伸びているし、高精度オペアンプは産業用に用途が多い。ハイブリッド構造の抵抗ネットワークは、トリミング可能な特長を活かして多用されている。薄型電卓、ICカード、カメラ用フレキシブル基板などいずれもハイブリッド技術ならではの製品であり、今後ますます多様化していくであろう。Fig. 8はLSI小型パッケージを実装したカメラ用フレキシブル基板である。

9. 関連産業の拡がり

——共通する企業が多い

IC産業のひとつの特長は、関連する産業が多いことであり、いわゆる富士山型の裾野の拡がりが必要であり、このことが日本と米国でICが発達した理由である。この

Fig. 7 Hybrid IC in Power Handling Application (Automobile Ignition Module)

Fig. 8 Flexible Circuit Board Containing a LSI Package for Automatic Camera

図式は、ハイブリッド関連産業にもあてはまり、関連する企業の多いことは驚くほどである。部品、材料、装置、加工等の関連会社や商社等も含めると500社以上に達する。おそらくモノリシック関連より数は多いと推定される。

エレクトロニクス関連のほとんどの企業が、開発テーマにICに関連するものを掲げている。多少バスに乗り遅れないためという感じもあるが、モノリシック、ハイブリッドともにエレクトロニクスにますます強く根を張りつつあるといえるだろう。

材料、部品、加工装置のうちで海外製品の部分は、ハイブリッドについてはかなり多い。モノリシックICが今やほとんどの材料、装置が国産化されていることと比べると、著しい違いをみせている。しかし、ここでも、モノリシック時代の歴史と同じように、新しい材料、加工法は米国で開発されるが、その高精度化、高品質化、ローコスト化などはむしろ日本の得意とするところのようである。プリント基板、セラミック基板、半導体パッケージなどにその例が見られる。

10. 輸出、輸入問題

——ハイブリッド摩擦は起こるか

DRAMを中心とした半導体摩擦はいまや大きな政治問

題にまで発展し予断をゆるさない。ハイブリッドICはどうであろうか。

ハイブリッドの輸出は、そのカスタム性のためもある程度はゼロである。もしあっても、半製品やOEMの形で確認できないであろう。また、逆に輸入についても、一部の高精度オペアンプを除けば極めて少ない。

しかし、完成した民生用、OA用の電子製品や自動車、カメラに搭載されて輸出するものは、おそらく生産の50%近いと思われる。

前述したように、海外材料などは相当に入っており、これらに関して合併会社を作るなどの技術提携も行なわれている。モノリシックICで見えるような外資系100%による日本進出は、市場規模から見てまた特に難しい日本のカスタムデザイン要求からも、実現は難しいであろう。

11. 学会、協会活動

——まとまりはあまりよくない

種々な技術分野をまとめて学会、協会、工業会などが

活動している。ところが、大きい規模の半導体やICがこれらの専門組織をもっていない。半導体は、電子通信学会、電気学会、電子機械工業会に入っている。IC業界は、各メーカーが競争原理に従って行動し、話し合いはほとんど行なわれていなかった。強気の設備投資による生産能力の向上からメモリのシェア上昇となり、日米半導体摩擦の一因になっていると考えられる。幸い最近では、メモリの生産抑制などを通して軌道修正が行なわれており、IC業界としては画期的なできごとといえよう。

ハイブリッド業界も似た状況にはあるが、ISHMの活動が話し合いの機会を提供したともいえるし、またモノリシックのように群雄割拠というよりはお互いに助け合いが必要だったのかも知れない。アカデミック性が乏しく、ノウハウのテーマの多いハイブリッド業界としては、まとまりがよいと評されている。大切に守ってゆきたいと思う。コスト意識の弱い、軍用的技術の米国のISHM、理論の強すぎる欧州のISHMに対して、日本のエレクトロニクスの強味を十分認識して、業界の協調を図っていくべきだと考える。

(p.16よりつづく)

スクリーン印刷の版離れはメッシュの弾力を利用して行なうので、スクリーンマスクと基材との間に間隔を設けることが必要であり、この間隔の設定で印刷されたパターンの品質が左右される。間隔を大きくすれば見かけの版離れはよくなるが、スクリーンマスク上の寸法より大きく印刷されて印刷されたペーストの厚みは厚くなる。一般的には、8インチ～10インチの枠の場合の間隔は0.6mm～1.0mmが適当であり、できる限り少ない方が安定した印刷ができる。

スクリーン印刷に使用するスキージは、ペーストに含まれる溶剤による膨潤が比較的少なく、弾力を損なわないことでポリウレタン樹脂が多く使われる。硬度は50度～80度の範囲が適当である。

形状としては、角形、棒形、剣形がある。一般的に、スキージ硬度が小さな軟らかいものでやや角のとれたものを使用すると厚く印刷される。また角形スキージの場合は、スキージ角度によって厚みをコントロールすることができ、角度が小さいほどペーストは厚くなる。

スキージスピードについても、ペースト粘度、スクリーンディスタンス、スキージ硬度等との関係があるが、毎秒50mm～100mm程度が一般的であり、速く動かすとペーストの厚さは厚くなる傾向がある。

スクリーンマスクの厚さは、印刷されたペーストの厚さをコントロールする重要な要素であり、普通に使われる粘度のペーストを使えば印刷直後のペーストの厚さは、スクリーンマスクの厚さの60パーセント程度になる。スクリーンメッシュの設定は、パターン形状、印刷されたペーストの厚みを考慮して決めなければならない。スクリーン印刷法でパターンを形成するには、これまで述べてきたこと以外にもいくつかの要因があるが、これらが複雑に絡み合っているためそれぞれのデータを蓄積し、管理しなければならない。

5. む す び

プラズマディスプレイを厚膜印刷法を用いて製作する場合、電極についてはファインラインを精度よく形成することが重要であり、高密度化がさらに進む場合は印刷法のみで限界に達し、フォトリソ法との併用も必要になろう。また、バリア・リブ形成は厚膜法の採用で量産の対応が可能となり、今後も材料、マスクの改良も進み製造技術が発展していくものと考えられる。

参 考 文 献

- 1) 中川, 他; National Tech Rept, Vol.25, 6, 1256～1262, (1979)
- 2) 中川, 他; National Tech Rept, Vol.28, 1, 63～73, (1982)
- 3) Y. Amano, et al; Proc STD, 23, 3, 167～174, (1982)