

ソーシャルを支えるIBMの伝統技術 デバイス小型化に伴う半導体微細化の要「フリップチップ実装技術」

IoTによりあらゆるモノがつながり、ソーシャル・メディアが普及する今日、データは増加の一途をたどっています。データを生み出したり、活用するためのデバイスであるパソコン、タブレット、ハードディスク装置(以下、HDD)、携帯電話、スマートフォン、時計、補聴器やRFIDなどのセンサーには、省電力・省スペースを実現するために「フリップチップ実装技術」という電子部品を基板に取り付ける技術が使われています。この半世紀前に登場した技術の研究開発の変遷にIBM東京基礎研究所が深く関わっています。

微細化技術を支える 半世紀前の技術

スマートフォンは、ソーシャル・メディア・ツールとして今や欠かせない存在となっています。持ち歩きに便利のように小型軽量である必要があるため、スマートフォンの心臓部の部品である半導体は、できるだけ小さく場所をとらないことが要求されています。部品のサイズを変えずに性能を向上させるにはどうしたらよいのでしょうか。その答えとなる技術は半世紀以上前に開発され、今日の半導体の微細化技術を支えています。

1960年代、コンピューターは手作業に代わって集計処理などのデータ処理を行うためだけに活用されており、今日のように互換性を持たせてコンピューターを相互接続し併用するという発想はありませんでした。そんな時代に登場したのが、世界初の汎用コンピューター「IBM System/360」(以下、System/360)です。System/360の心臓の役割を担っていたのは、当時さらなる高密度化・高速化・省電力化を実現したトランジスタ技術を採用した「SLT(Solid Logic Technology)

モジュール」でした(図1)。

図1をご覧ください。銀色に光る3つの小さな正方形(ICチップ)が、0.5インチ(1.27センチメートル)サイズのセラミック基板に直接取り付けられています。回路の高信頼性・低コストを実現しながら、余計な場所をとる配線は使わずにICチップを基板に取り付けるために開発されたのが、IBMが開発したフリップチップ実装技術「Controlled Collapse Chip Connection(C4)」です(図2)。この技術は今日、ICチップを半導体基板に固定する際に用いられています。

まずICチップの表面に金属同士を接合するためにボール状のはんだを等間隔に並べ、これをひっくり返して直接基板の上に載せます。次にそれを、お菓子づくりに例えると型抜きしたクッキー生地の下にチョコレートチップを並べてオープンに入れて焼くように加熱します。230度強くらいで、はんだが溶けてしっかりと固定されます。はんだは入出力(I/O)端子の役割を果たすため、場所をとるI/O配線が不要になり、しかもチップ全面に端子を持つことになるため、より多くの情報の入出力が可能になります。

しかし、当時コンピューター機器はサーバーが主流であったため、フリップチップ実装技術はその後パソコンが登場する1980年代半ばまで大きな発展を遂げることもなく、地道な研究開発トピックの一つに過ぎませんでした。

小型化需要で脚光を浴びる フリップチップ実装技術

1980年代にパソコンやインターネットが登場したのに伴い、サーバーからパソコン、HDDに至るまで、急速に製品の小型化需要が生まれました。中でも、持ち運びを前提としたノートパソコンのサイズに大きな影響を及ぼすHDDの小型化は、早急に解決しなくてはならない課題であり、その際に再び活躍したのがフリップチップ実装技術でした。

IBM東京基礎研究所の연구원たちは、初のHDD小型化に特化したフリップチップ実装技術「Chip Connection(C2)」を開発しました。

HDDを小型化するには、半導体を高密度化する必要があります。そのため연구원たちは、ボール状の金属でできたはんだに着目しました。I/O端子の役割を果たすはんだを限りなく狭い間隔で並べることで、より多

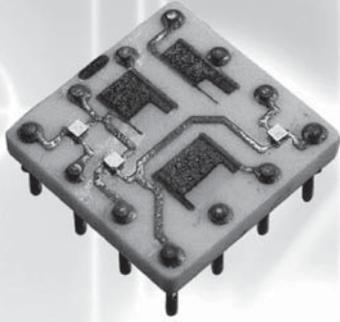


図1. 1964年4月に登場した System/360に採用されたSLTモジュール

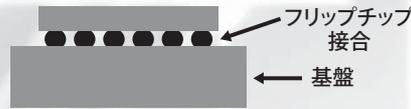


図2. SLTモジュールに採用されたフリップチップ実装技術 (C4:Controlled Collapse Chip Connection)

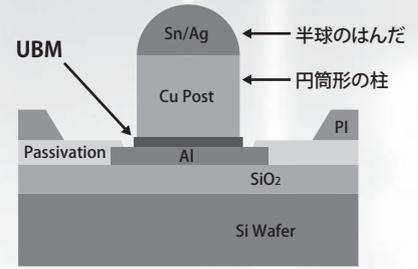


図3. C4から派生した新しいフリップチップ実装技術 (C2:Chip Connection)

くの情報の入出力を扱え、高密度を実現することができます。しかし、一つ大きな問題がありました。ボール状のはんだは、チップをひっくり返して取り付けの際、チップの重みで楕円状に横に膨らんでしまうため、狭い間隔で並べるとはんだ同士が触れ合ってショートしてしまいます。そこで考えたのが、はんだをボール状から半球状に変え、銅でできた円筒形の柱(端子)の上に乗せてしっかりと固定するという試みでした(図3)。

このような工夫により、狭い間隔で並べてもはんだ同士がくっかず、ショートするリスクを回避することに成功しました。スペースは変えずにディスク上の記録密度を高めることでより多くの情報を格納することができ、HDDの小型化を実現できました。

ノートパソコンを設計する際、どうしても一番大きな部品であるHDDのサイズに厚みを合わせる必要があります。HDDの性能向上を阻害せずに厚さを薄くすることを可能にしたこの成果は、当時画期的なものでした。この技術開発をきっかけに、フリップチップ実装技術の開発は世の中の流れに合わせてさらなる発展を遂げています。

ソーシャル時代に磨かれる 伝統技術

わたしたちが普段何気なく使っているモバイル・デバイスの性能は日々向上しています。それに伴って少しでもコストを抑えて半導体の高密度化・微細化・省電力化を実現するために、研究員たちは伝統技術にさらに磨きをかけています。

現在さまざまなモバイル・デバイスに使われているICチップの厚さは、一般的に0.75mmほどです。このICチップをより薄くすることができれば、メモリーやロジック・チップなど個々の半導体パッケージを積み重ねても半導体の占有面積は最小限に抑えられます。ICチップを薄くするためには、まずICチップが切り出される直径300mmの円盤状のウエハーを極薄の0.05~0.1mmの厚さにする必要があります。ICチップを重ねる際に、ワイヤーでつなげたりチップ同士を接合するための接着層ができたりすると厚みが出てしまうため、薄さを実現するためには上下のチップ同士を直接重ねることが必要です。これを実現する要の技術がフリップチップ実装技術で、既存技術を活用することでコストを抑えることができるのも魅力です。

IBM東京基礎研究所の研究員たち

は、ソーシャルに欠かせないモバイル・デバイスの小型化・高速化・省電力化の解決に取り組む中で、フリップチップ実装技術をより進化させるために、はんだの形成技術に着目しました。はんだの信頼性や原料利用効率をさらに高めながら、環境にやさしく、しかも低コストの形成プロセスを実現するためには、新しいはんだ形成技術が必要でした。しかし、半導体工場で一般的に使用されている直径300mmのウエハー向けに開発するのは容易ではありませんでした。そこで世界各国の研究員とともに試行錯誤の末、より小さな半球状のはんだをより狭い間隔に並べ、優れた歩留まりで形成するはんだ注入・形成法を開発しました。「IMS (Injection Molded Solder)」と呼ばれる半導体を高密度で集積実装するためのこのはんだ形成技術は、さまざまな微細な接合ニーズに対応できるため、モバイル・デバイスやセンサー、さらにはソーシャル・ネットワーク基盤を支えるサーバーの利便性をより高めることが期待されます。

半世紀前に登場したフリップチップ実装技術は発展を遂げ、今後もわたしたちのソーシャル・ライフを支えてくれることでしょう。

波岡 ジューン 直子