

## MPUのパッケージ技術

MPU (Multi Processing Unit)は常に時代の最先端を牽引する半導体で、それが故に購買層は新しく高性能な MPU を搭載した製品は高額でも当たり前だと教育されてきました。しかし限界近くまで発展した半導体の集積密度を更に取り上げ、高性能化するには製造コストが問題になってきています。

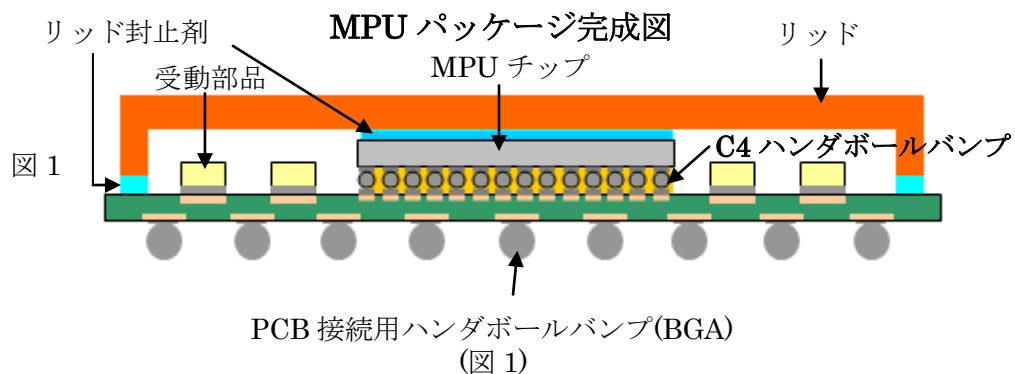
そこで各半導体メーカーが注目したのは、パッケージ工程でコストを抑えられる C4 工法です。

C4 工法とは、従来行われてきたワイヤーボンディングに代わる実装方式で、バンプと呼ばれるこぶ状の導体突起を基板の電極に形成しウェハーと接合する方式で、この工法で作られた半導体は実装面積が縮小されることにより製品の小型化が実現でき、更に半導体内部の配線も短くなることで電気的特性が向上するという恩恵にもあずかれます。

MPU などのフリップチップに使われているバンプ材はハンダが主流になっています。またハンダバンプの形成法としてはメッキ法・印刷法・ハンダボール搭載法などがありますが、完成精度の問題やコスト性・量産性の面からハンダボール搭載法が注目されています。

今回の技術概要はフラックス及びハンダの印刷法とハンダボール搭載法を中心に記述致します。(図 1)

尚 各工程で実施される洗浄・切断・検査は割愛しております。

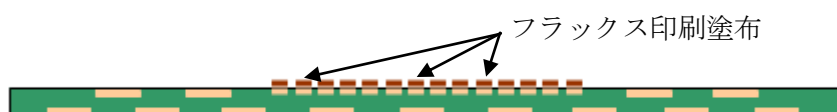


### ハンダボールによる C4 バンプ形成

数十ナノプロセスの MPU などは、サイズ・重さ・信号遅れなどの問題から従来のワイヤーボンディングでは課題を残すことになり、それらを解決すべく採用され始めたのが、C4 工法(Controlled Collapse Chip Connection)です。

今回はサブストレート基板にハンダボールバンプを形成する方法を紹介いたします。

## ①フラックス印刷塗布



サブストレート基板にチップ搭載用のバンプを形成する為に基板のパッドにボールの固定剤としてフラックスを塗布します。この塗布にはスクリーン印刷機を使用するのですが、 $60\mu\text{m}\sim 100\mu\text{m}$ のハンダボールを使用する場合などは、一般的なSMT(表面実装技術)で必要とされる精度より数倍高い印刷精度が要求されます。

この精度を実現させるためにはマスク(ニッケルメッキによるアディティブ法で作成したメタルマスク)の開口精度、フラックスの材質(タック性が高く少量でも表面酸化膜除去効果に優れた特性)とバンプ下地金属(UBM)の特性なども大きな影響を与えます。

### 1.マスクと基板の位置合わせ

実際に印刷を行う前に基板とマスクを数ミクロン単位で位置合わせする必要があります。CCDカメラ等で画像認識を行い正確な位置補正が行われることが必要です。

### 2.印刷塗布方法

スクリーン印刷ではフラックスをマスクの上に乗せたままスキージと言われる2つのへらで両方向交互に転写するオープンスキージ方式と1つのスキージを一方向に動かし、一回ずつフラックスを掻き取るロータリースキージ方式(図2)があります。

両方共にスキージでフラックスを押し出すことは同じなのですが、微細な印刷の場合は1つのスキージで同じことを繰り返すことで塗布量が安定しますので、構造的にロータリースキージ方式が圧倒的に有利であると考えられます。またスキージ先端部の落とし込み量も印刷塗布の品質に大きく影響するのでスキージの上下高を数ミクロン単位で調整できる機能が必要になります。

### ロータリースキージユニットの仕組み

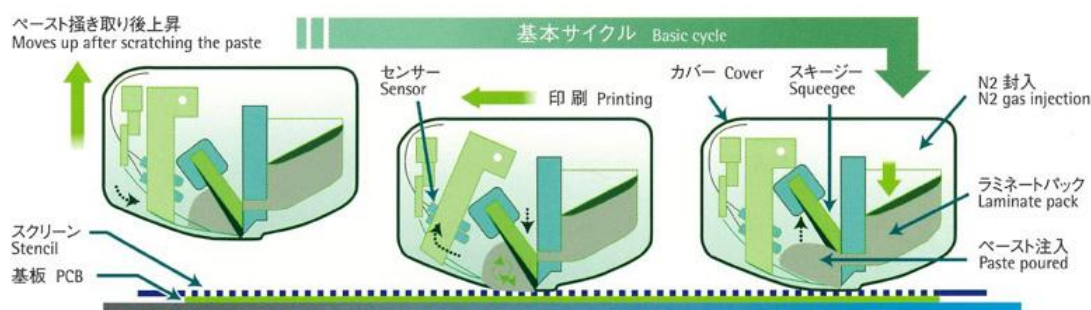
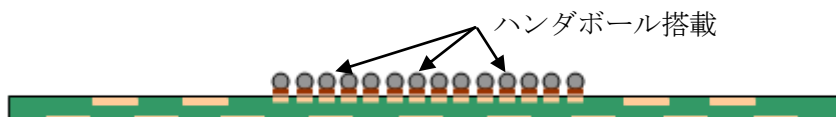


図2

### 3.版離れ

ファインピッチの場合、印刷塗布時にマスクと基板が離れる速度や角度の僅かな違いが品質に影響します。マスクと基板に隙間を取るギャップ印刷ではフラックスの滲みや広がりバラツキが出てしまうため、コンタクト印刷(マスクと基板に隙間を作らない方法)が有効になるかと思えます。さらに基板とマスクが離れるタイミングで印刷室内の気圧を上げフラックスを押し出すことで安定した印刷塗布が可能になります。

### ②ハンダボール搭載



ハンダボールを基板に搭載する方法は各社様々です。吸引によりハンダボールを持ち上げてパッド位置に置く方式や、マスクにハンダボールが落ちる穴を開け、振り込み(落とし込み)により搭載する方式などが一般的です。

今回はマスクを介した振り込み方式で説明いたしますが、搭載の際はハンダボールへの物理的なダメージや酸化膜を極力抑えられる搭載機を選択する必要があるかと思えます。

#### 1.ハンダボールの選択

搭載するハンダボール(径や体積)の精度が要求されることは言うまでもありませんが、リフロー後に完成したバンプの高さはハンダボールの真球状態より僅かに低くなります。(図3) また凸型のポストの場合は接点面積と形状がボールサイズと合わないとボールが落ちてしまう場合があります。SR 開口の直径と高さ・パッドの径と面積・ポストの形状と高さ・フラックスの厚み・UBM の材質などを考慮してバンプ高が変化することを前提にボールを選択する必要が有ります。

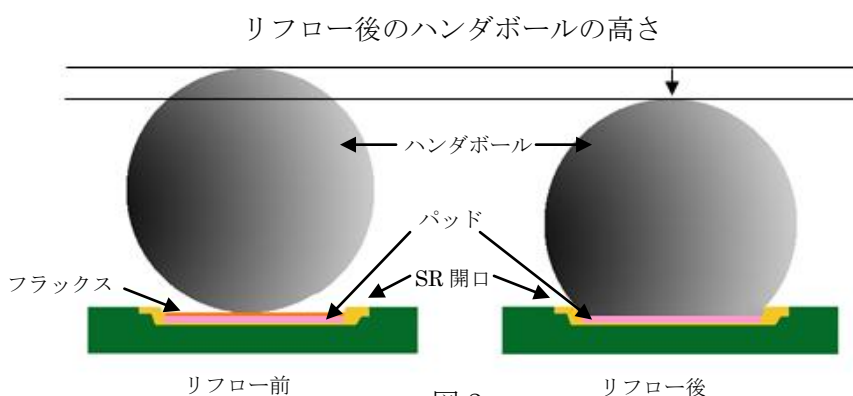


図 3

#### 2.位置合わせとマスク

ハンダボール搭載機にも印刷時と同様にマスクが装着されますので、ここでも CCD カメラ等で画像認識を行い正しい位置補正されることが必要です。

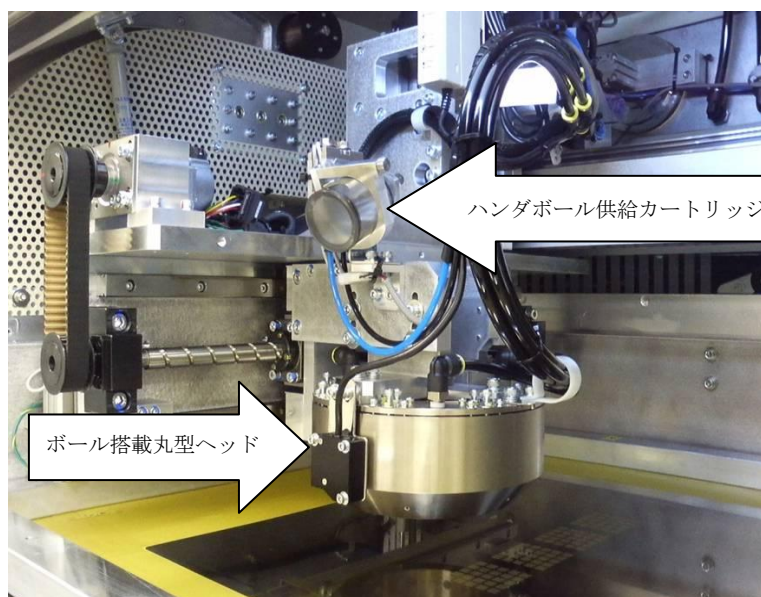
尚、ここで使用されるマスクは印刷用とは異なり、ボールの特性を活かし振り込みが安定的に行なわれる様に平面性とフレームの剛性に優れた特殊な加工を施します。

### 3.ボール搭載

ハンダボールは供給カートリッジから必要な量のみをボール搭載丸型ヘッドに送ります。

(図 4)

ヘッド内では窒素による気流を発生させ、マスク上のハンダボールに物理的な力を加える事無く中央部に集め、高速かつ順回転でボールを移動させ振り込みを行います。この際ボールへの物理的なダメージを最小限に抑える為に、ハンダボールを全て同一方向へ移動させることが重要です。(図 5)



砂時計の原理を利用した  
ハンダボール供給カートリッジ



図 4

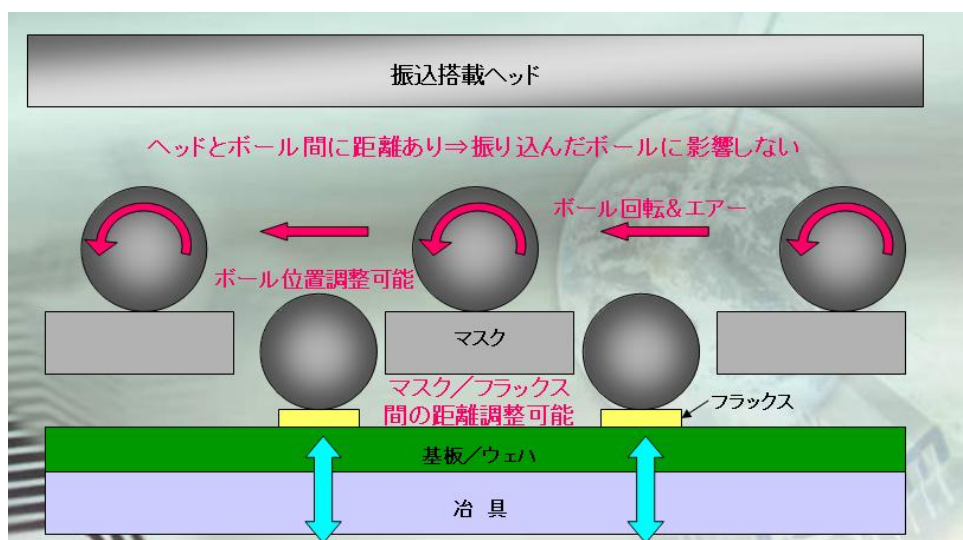
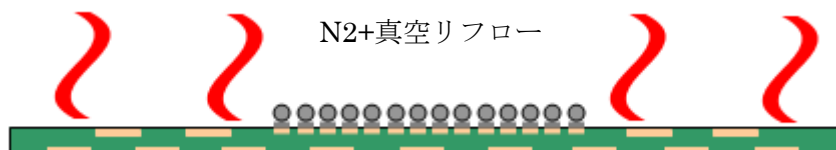


図 5

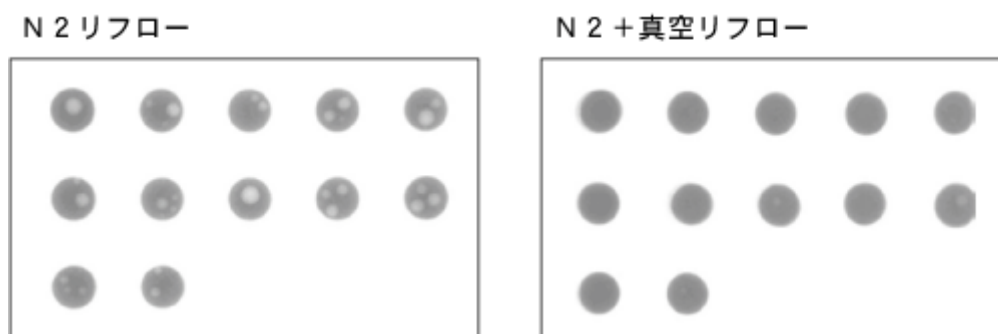
### ③リフロー



基板に搭載されたハンダボールはリフロー装置で熔融され、パッド部の UBM と界面接合されます。バンプ形成をハンダボールで行なった場合はハンダ印刷法よりボイド(気泡)が発生する確率は低いと思われます。しかし表面酸化膜が厚いハンダボールやボイドが発生しやすいフラックスを使用した場合、また基板からのガス発生などからリフロー時にボイドが発生しバンプの体積を増加させ、高さや形状に異常が出る場合もあります。

窒素などを充填し酸化防止を行った上で、メインヒーター部では真空処理などの脱泡対策が必要でしょう。(図6)

またリフロー内の気体流動によってはハンダボールが動いてしまうケースもなともありますので注意が必要です。



N2 リフローには白いボイドがみられますが、N2+真空リフロー側にはボイドがありません。

図6

### ④受動部品部ハンダ印刷



リフロー後、サブストレート基板は洗浄・切断されインターポザー(個片基板)になります。インターポザーには MPU チップの他にキャパシタ等の受動部品が実装されますが、まず受動部品の電極部にハンダを印刷する必要が有ります。

しかし JEDEC トレイに入れられた複数のインターポザーを一括して印刷しようとしても基板外形のばらつきによってマスクとの位置ズレが生じてしまいます。

しかし高精度な画像認識とマニピュレーターを組み合わせることで個々のインターポザーとマスクの位置を正確に合わせこむことが可能な装置であれば効率の良い印刷が可能になります。(図7・図8)

またインターポザーには、すでにバンプが形成されているので、その部分を逃がしてハ

ンダ印刷が出来ることが条件になりますので、ここでも特殊マスクが使用出来るアスペクト比が高い印刷機が必要になります。

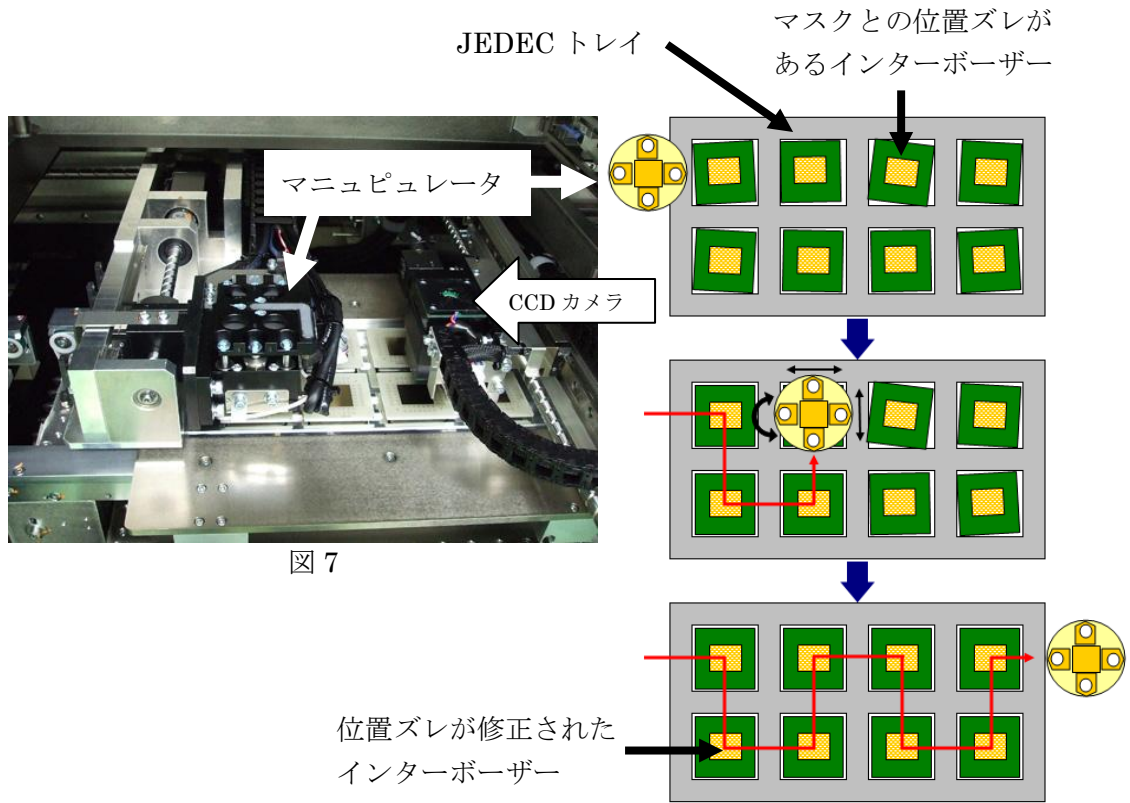
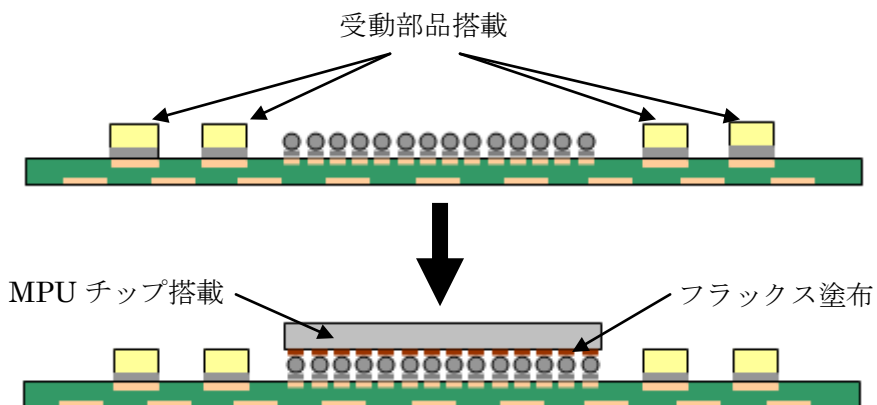


図 7

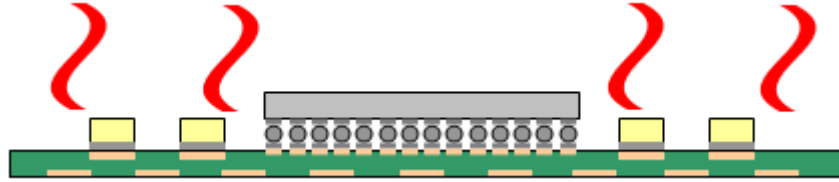
図 8

### ⑤部品搭載



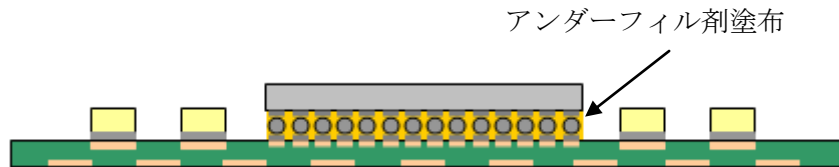
ハンダ印刷されたインターポザーはマウンターにより受動部品が搭載され、次にディスペンサ等でバンプ部にフラックスが塗布されます。その後フリップチップボンダーで MPU チップが搭載されます。

### ⑥リフロー(説明は③項参照)



インターポザーに搭載された受動部品と MPU チップは、再びリフローでハンダを熔融し基板とハンダボールに界面結合されます。

### ⑦アンダーフィル剤塗布



MPC チップとインターポザーは熱膨張係数が違うので、熱による応力で端子のクラックが発生したり、チップ内の配線にダメージを与えたりしてしまいます。その為にアンダーフィル剤を塗布して封止させます。アンダーフィル剤は毛細管現象によりインターポザーとチップの隙間に浸透させ、加熱硬化させます。この際もボイド(気泡)が発生する可能性があるため、加熱と共にボイド除去が出来る真空脱泡機能が付いているキュア炉(図9・図10)などを使用することが望ましいでしょう。

真空キュア炉のメインチャンバー



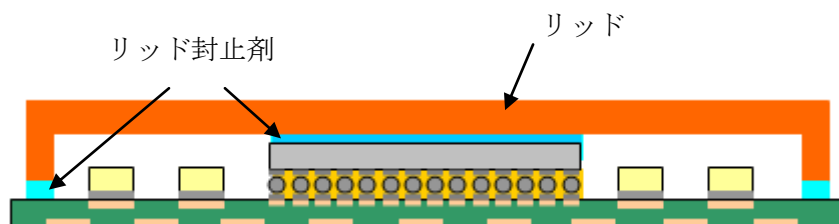
図9

真空キュア炉使用時の脱泡イメージ



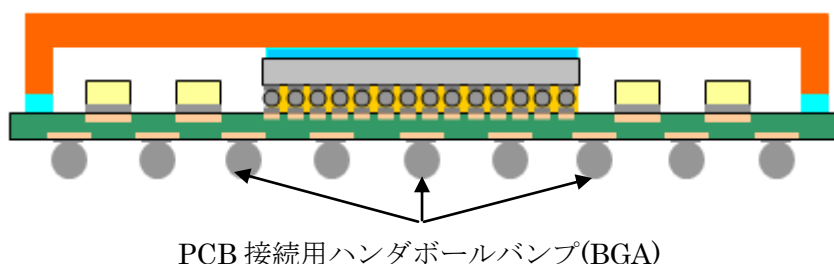
図10

### ⑧リッド封印



従来の半導体はリードフレームを金型にセットし、モールド樹脂でチップ全体をくるむ方法が一般的でしたが、MPU などはヒートシンク効果が高い金属性のリッド(蓋)を使い封印するのが一般的です。

### ⑨PCB 接続用 BGA 形成



PCB(電子回路基板)に表面実装する際の電極として底面にもハンダボールを使用したバンパを形成します。このタイプの接続端子を BGA(Ball Grid Array)と呼びます。

この工程でもフラックス印刷塗布(前項①)・ボール搭載(前項②)・リフロー(前項③)とほぼ同じプロセスを踏むのですが、ここでも前項④と同じく画像認識とマニピュレーターを使い JEDEC トレイに載せられたデバイス 1 つ 1 つと印刷マスクの位置合わせを正確に行なう必要があります。更にハンダボール搭載にもこの位置合わせ機能が必要になりますので、印刷塗布からハンダボール搭載までを JEDEC トレイから外すことなく一括して行なえる装置が理想だと思われます。

今後は BGA も極小化されてきますが、この工程での実装不良は MPU チップや他の部品が実装されていますのでコストに大きな影響を与えてしまいます。不良率が少なく生産クオリティの高い装置を選択すべきでしょう。



**備考：**

フラックス及びハンダの印刷法とハンダボール搭載法を中心に簡略的に説明した関係上、ハンダボールの材質・フラックスの粘度や混合物・マスクの板厚や製造方法・リフローやキュア炉のプロファイルと真空状態管理など具体的な記述は致しませんでした。生産時は製造装置の機能に合わせ、細部にわたり検討を行なった上で全てを一元的に捉えなければ成らないことを付け加えさせていただきます。

**あとがき：**

驚異的な進歩を成し遂げてきた半導体は、すでに数十ナノプロセスの世界まで到達しております。それに伴い半導体メーカーやファウンドリメーカーが競争力を強化する為に、後工程でのパッケージを極小化させることが必須条件になってきております。

すでに WLP(Wafer Level Package)や PoP (Package on Package)、CoC (Chip on Chip)などのデバイスが続々と登場して来ておりますが、今後の極小パッケージ技術としてハンダボールを使った C4 実装や 3 次元チップ積層の TSV(through-silicon via )などがコアテクノロジーになることは間違いないでしょう。