MCM 応用展開への期待と課題

The Expectation and Problem in MCM's Applications

畑田 賢造*

1. 序 論

ここ数年、MCM に関する話題は、学会、セミナー等で取り上げられているが、その応用展開は当初期待したほどの進展は見られていない。ただ、MCM の周辺技術は、回路シミュレーション技術、基板技術、リペア技術、KGD (Known Good Die) 技術等が議論され多少の進展が見られた。しかし、MCM の応用は、これらが議論される以前から既にコンピュータ、交換機、計測器等の産業用機器分野で導入が行われている。

また、MCM に関連する LSI チップの搭載技術は、LCD, LED, サーマルプリント等のモジュールでベアチップ実装として実用化のレベルにある。

MCM に対する応用展開は産業用と民生用とがあり、実用化面では産業用 MCM が一歩進展しているが、今後の応用に対する期待は、産業用機器よりも、むしろ民生用機器にあるように推察される。民生用機器は、産業用からの転換や新規機器の誕生が多く期待される。

最近、民生用機器の分野において、実装、LSI チップに対する取り組み方が変化しつつある。これは、これからの機器がマルチメディア機器と表現されるように、機器が携帯性と統合化を重要視するためと推察される。このような機器においては、機器の原価の大半が半導体部品で占有される可能性が高くなっている。したがって、いかに安く LSI チップを入手 (いかに安く作るか) するか、そしていかに薄く、小さく実装するかが重要課題

となる。このためには、抜本的に LSI チップの作り方、実装技術のやり方を変えないと実現できない状態と成りつつある。

ここに MCM 技術、ベアチップ技術が不可欠となるが、この技術にしても、従来から存在する技術の組合せでは達成できない。これからの電子機器においては、従来の技術の延長線上にある技術ではなく、完全なシステム (機器) から思考したシステム実装技術とシステム設計技術が重要となる。

本稿では、MCM の応用を取り巻く環境、期待される応用方法と技術的課題について述べる。

2. MCM 技術への期待

2.1 民生用 MCM と産業用 MCM¹⁾

MCM には、産業用、民生用、そして OA 機器用の3つの区分がある (Tab.1)。産業用機器は、メインフレームコンピュータ、交換機、計測器等の特定の人が使用する機器で、民生用機器は、パソコン、携帯電話、携帯情報端末機器、カムコーダ等の不特定の人が使用する機器である。OA 機器用デバイスは、LCD, LED そしてサーマルプリント等の OA 機器等の入出用のデバイスであって、この分野ではベアチップ化は早くから実施されていた。

産業用 MCM は、コンピュータ、軍需機器、高速計測器等の分野で適用され、長い歴史がある。モジュール用の回路板は、一般に多層板で数10層のセラミック多層配線基板も実用化されている。これらのモジュールでは、性能、機能を第一として設計され、いかにして LSI の性能、機能を極限まで活用できるかが課題となる。モジュールの特徴は、回路板は多層で、回路板の面積に占め

* Kenzo Hatada

松下電器産業㈱半導体研究センター/Matsushita Electric Industrial Co., LTD. Semiconductor Research Center

Tab.1 Classification of MCM.

For industrial instrument	Computer, Switcher, Measure instrument
For Consumer electronic instrument	Camcorder, TV, Hand held telephones
For OA devices	LCD modules, LED array modules, Thermal printer

Fig.1 Positioning of MCM.

る LSI チップの搭載面積の比率が低い (Fig.1)。これは、搭載される LSI チップの I/O 端子数が多いこと、モジュールの外部端子数が多いこと、そして高速の信号処理が LSI チップ内で行われることによるが、これが民生用 MCM との大きな違いのひとつである。

産業用機器も機器によっては、徐々に民生化するものもある。たとえば、カムコーダ、パソコン、そしてワークステーション等であり、一部の機器においては産業用と民生用の区分がなくなりつつある。

民生用 MCM は意外と実績が無く、モジュールの形態もワイヤボンディング方式を用いたものが多い。MCM が学会、産業界で注目を集め大きなビジネスを産むと推察されるのは、主に民生用の分野であるが、それ

ほど進展していないのが現状である。この大きな要因は、機器を構成する搭載電子部品数に対する LSI チップ数の比率とモジュール製作コストである。

Tab.2 は、民生用機器と産業用機器の LSI チップの搭載率を示している。搭載比率は民生用で僅か 2~3% 程度であるが、産業用では数 10% 以上ある。この搭載比率では、民生用では MCM 化して小型化、薄型化を達成するよりも LSI 以外の受動部品の搭載数や搭載面積を減少させたほうがはるかに効果は大きい。また、民生用では搭載する半導体部品のコストも安価である。民生用では LSI 3~4 個でも数千円程度であるが、産業用では数万円~数 10 万円である。民生用 MCM への第一の要望はコストである。このコストの違いが、民生用モジュールの製作時のコストを決定してしまう。

詳細については次章で述べる。MCM に対して要求度の厳しい民生用機器が MCM の進展の鍵を握っている。

OA 機器用 MCM は、開発当初から MCM の形態を保っているが、特徴的なのは、回路板に対する LSI チップの搭載密度が低いことと、同種同機能のチップを搭載することである。LCD, LED, サーマルヘッド等の MCM は、搭載されるチップのほとんどが画素や発熱体の駆動用 LSI であり、この画素、発熱体に対応した位置に LSI チップが配置される。このために不良チップのリペアも容易となり、異種異機能チップを高密度に搭載する民生用、産業用 MCM に比べ MCM 化しやすい。LSI 実装方式は、TAB, FC, ワイヤボンディング方式等のベアチップ技術が使用され、MCM に対する基本的な搭載技術を蓄積している。

2. 2 MCM への期待

電子機器にとっての MCM の必要性とは何であるのかを議論しなければならない。MCM 化による効果は、回路ブロックの特性、機能向上、薄型・小型化そして低コスト化と推察されるが、これだけの効果があれば、当然実用化は加速されるはずである。産業用 MCM は既に述べたように実用化されているが、民生用 MCM の本格的な実用例は見当たらない。

一方、電子機器は、マルチメディアと呼ばれる新たな局面を迎えて、これによって実装技術の世界も変革しつつある。これまで、テレビ、ビデオ、携帯電話等のように単品の機器として存在していたものが、統合・融合化され、一台の電子機器で新しい複合機能を有する機器が誕生しつつある。マルチメディア機器は、表示部、MPU 部、メモリ部、そして通信機能部等で構成され、

Tab.2 Difference of MCM consumer electronic instrument and industrial instrument.

	Consumer electronic instrument	Industrial instrument
Substrate size	4~10cm ²	10cm ² ~
Package cost	~1,000円~	~10,000円~
MCM cost	PKG ≥ MCM	PKG < MCM
Ratio of number of LSI to total electronic part	2~3%	10% over

Fig.2 Trends of System on Si technology.

携帯型と据置型が登場する。そして、これらの機器を動かすには半導体部品（LSI、高周波部品、半導体レーザ等）が不可欠となる。

しかしながら、情報化社会の主役は機器としてのハードではなくソフトであり、ソフトによる収益体制をいち早く構築しなければならない。すなわち、ここにソフトを急速に立ち上げるためのハードとしての機器が必要となる。これが、これからの電子機器としての民生用機器であるが、これらはますます小型・薄型化、そして低コスト化を要求しつつある。そして、これら機器の主要部品は、LSI チップであり、これが性能・機能・形状・寸法・納期、そしてコストを決定している事実がある。したがって、メディア機器においては、LSI をいかに低コストで作るかが課題となりつつある。すなわち、LSI（半導体部品）に対する課題は、

- ①低コスト化
- ②チップ、実装面積・体積の縮小
- ③短納期化

である。すなわち、LSI がメディア機器の付加価値を決定することになる。これに対する半導体分野、そして実装分野での対応が必要となる。

Fig.2は、LSI チップと半導体実装の3つの動向を示している。第一の動向はワンチップ化である。周辺回路を取り込み、そして微細加工技術を駆使しながら、すべての回路をワンチップ化してきた。システム・オン・シリコンの考え方である。確かに、これまでのLSI 化技術はこの路線で良かったが、設計ルールが $0.5\mu\text{m}$ から $0.35\mu\text{m}$ 、そして $0.2\mu\text{m}$ と進展するに従い微細化技術に巨額な投資と工程数の増加をもたらし、チップの単価を

引き上げる結果となってきた。また、ワンチップ化による大面積チップは、半導体歩留りの原則どおり到低歩留りである。このようにワンチップによる大面積化は、高コスト、工程数の増加、低歩留り、そして工程数増加による長納期を招きつつある。ここにLSI の行き詰まりが表面化し、メディア社会に向けての新しいLSI の作り方を模索する段階に到達してきた。

これを解決するのが、第二と第三の動向である。この動向はワンチップ化ではなく、それぞれの回路を最も低コストな半導体プロセスで作り、チップをモジュール化する動向である。この段階では、機器に近いシステム設計とシステム実装（半導体設計・プロセスを包含する実装技術）とが融合することにより、LSI チップの作り方を変革することになる。

第二の段階は、通常のMCM 化である。専用の回路板に回路ブロックを構成するLSI チップを複数個搭載した構成である。したがって、あえてワンチップ化を行わないで、モジュール化する思想である。この課題は、低コスト回路板とKGD（Known Good Die）であるが、これについては次章で詳述する。

第三の動向は、機能チップによる分割である。たとえば、メモリとロジック回路で構成されたLSI をワンチップで製作するのでなく、メモリとロジックとをそれぞれ単独にしかも一番安価なプロセスで製造し、このチップを三次元的にMCM 化する構成である。一般にワンチップ化するプロセスでは、先端技術が必要とするメモリ領域のプロセスを使うことになり、先端技術が必要としないロジック領域をも先端技術を使わざるを得ない。このために、製造単価は高く歩留りも低下する。メモリ領域のチップは $0.35\mu\text{m}$ ルールのプロセスを使用し、ロジック領域のチップは、一世代前の古いプロセスである $1.2\mu\text{m}$ ルールのプロセスで製造すれば、それぞれのチップを最低限の価格と最小日数で作りあげることができ、低コストでしかも短納期、実装面積縮小を実現できる。このようにして、LSI の低コスト化、面積・体積の縮小、そして短納期を実現できるものである。これこそがメディア機器におけるMCM の最大限の必要価値であり、民生機器が求めるMCM 化技術である。LSI の作り方に限界が現れてきた近未来において、システム実装とシステム設計の融合こそがLSI チップの作り方を変え、メディア機器の作り方を変えることになる。第二、第三の動向での実装における課題を次に述べる。

3. MCM 実現への技術的課題²⁾

将来のメディア機器を含めてMCM 化の要求度合は

高いが、解決すべき課題も多い。民生用 MCM が進展しない理由は、前章で述べた MCM 化の使い方（動向）の模索とこれを達成するための技術的課題である。MCM の課題は、低コスト化技術（回路板、搭載）、KGD 技術、リペア技術等である。

3.1 低コスト回路板、搭載化技術

解決すべき低コスト化技術は、回路板技術とチップ搭載技術である。

〔低コスト回路板の必要性〕

Fig.3は、民生用 MCM と産業用 MCM のモジュールコストの概念を示している。モジュール化に要する費用は、LSI をパッケージ品で購入した場合のコストからベアチップで購入した場合のコストの差で賄う必要がある。産業用 MCM のコストは、単体パッケージで購入した場合のコストよりも高く設定できる。これは、産業用 MCM の付加価値が性能・機能を第一とするためであって、性能・機能向上のためには多少のコスト上昇は容認できる状態にある。

しかし、民生用 MCM では低コスト化が優先するために、単体パッケージで購入した場合のコストよりもモジュールのコストは同等か、むしろ安価である必要がある。特に、民生用機器の MCM 化を行う場合には、単体パッケージコストとベアチップコストとの差額で製作しなければならない。

また、MCM 化のために要する費用は、モジュール用の回路板費、チップ加工費、チップ搭載費、モジュール検査費、リペア費、モジュール化用設備の償却費、人件費等である。回路板の製造費は、これらの費用のほぼ半が必要と推察される。

MCM cost for consumer electronic instrument

MCM cost for industrial instrument

Fig.3 A margin of MCM cost for consumer electronic instrument and industrial instrument.

Fig.4は回路板の製作費用を示す。MCM-Lは樹脂基板（SLC の場合で80Yen/cm²）のコスト、MCM-Cはセラミック基板のコスト、MCM-Dは薄膜配線を形成した Si 基板のコストである。たとえば、単体パッケージコストの総コストが5,000円であり、これをベアチップで購入する場合のコストが単体パッケージコストの75%であると仮定する。コストの差額は1,250円となり、これの半の417円が回路板を製作する費用となる。パッケージコスト5,000円と記入してある横軸の破線が417円に相当する。仮にモジュール用の回路板の面積が5cm²であるとすれば、適用できる回路板は、かろうじて MCM-L 基板のみとなる。C、D 基板は、基板単価が高いために適用できない。しかし、産業用 MCM のように単体パッケージのコストが数万円であれば、少なくとも C、L 基板の両方を適用できることになる。単体パッケージのコストが安価であるほど、モジュール製作コストのほうが高くなり、適用する回路板がない。すなわち、MCM 化が困難となる。

〔低コスト搭載技術の必要性〕

チップ搭載技術がモジュールコストを左右する。LSI チップのユーザは、チップを安価に入手することを希望している。チップのコストは、製造プロセスが同じであればチップ面積に依存し、面積が大きいほど収率と歩留りが低く、チップ単価も高くなる傾向にある。大面積化、

Fig.4 Substrate cost.

Fig.5 Trend of LSI chips electrode pads.

多ピン化する LSI のユーザにとっては深刻な課題である。

LSI ユーザにとって、 unnecessary チップ領域はボンディングパッドである。この領域をなくすることができれば、その面積相当分のコストダウンを図ることができる。Fig.5は、ボンディングパッドの縮小の段階を示す。まずは、パッドピッチ、パッド寸法の縮小が行われ、次にパッドをアクティブ領域に形成したエリアパッドとなり、最後にはこのエリアパッド寸法も縮小され、チップ中央領域に配置されるものと推察される。周辺に形成したパッドのピッチ、寸法の縮小は既に実用化されつつあり、 $100\mu\text{m}$ ピッチを $50\mu\text{m}$ ピッチに縮小したドライバ LSI では実に48%ものチップ面積を縮小し、コストダウンを達成している。(Fig.6)³⁾。このようにパッド、ピッチを縮小する動向とエリアパッドを採用する動向がある。

パッドを縮小、あるいはアクティブ領域上に形成することにより、チップコストを削減できるが、このためにはチップ搭載技術と検査技術の選択が重要となる。最小の搭載面積を実現できる FC (フリップ・チップ) 方式 (Fig.7) でも各種の方式が提案されているが、これらの中からパッド電極寸法とピッチを微細化でき、しかも低

コスト化を実現できる方式を選択しなければならない。また、現状ではチップの検査技術も $80\mu\text{m}$ ピッチ程度が限界であるが、Fig.6のようにパッドは $50\mu\text{m}$ ピッチであるが、アクティブ領域上に千鳥状に検査パッドを形成する方法も実現している。

3.2 KGD 技術

○ Metal

○ Conductive paste

○ Shrinkage stress of UV resin

○ Conductive plastic ball

○ Anisotropic conductive film (Past)

Fig.6 Bumps formed on a aluminum bonding pads of LSI chips (Pad pitch is $50\mu\text{m}$).

Fig.7 Kind of flip chip bonding method.

Fig.8 Die level burn-in system.

複数チップが搭載される MCM では、回路板上に搭載したチップの良品率が問題となる。単体パッケージの場合は、ウェハ状態での検査 (P 検) を行い、パッケージ後にバーンイン検査、機能検査 (F 検) を実施して出荷しているために、回路板に搭載後の電氣的不良率は皆無に近い。しかし、ベアチップで搭載される MCM においては P 検のみの検査となるために、TAB 方式以外 (FC、ワイヤボンディング方式) は、搭載後に不良チップが混在する率が高くなり、リペアが必要となる。MCM の進展を阻んでいる要因のひとつが、この品質保証の問題である。KGD の形成方法は、ウェハレベルで P 検の終了した後、チップレベルもしくはウェハレベルでバーンイン、F 検を行う。

ダイ (チップ) レベルでのバーンイン方法はいくつかの方式があり、技術が確立され KGD を供給するメーカーも現れている⁴⁾。Fig.8は、ダイレベルのバーンイン方法を示すが、チップを専用のソケットに挿入し圧接した状態で行う方法⁵⁾とバーンイン専用の回路板にチップをはんだバンプで仮固定しておき、バーンイン後に取り外し、マザー回路板に搭載する方法⁶⁾等が実用化されている。実用化しているメーカーの多くは、付加価値の高いチップからダイレベルのバーンインを開始している。

TCP (Tape Carrier Package) のバーンインは、チップからリードが導出しているために通常の QFP で用いるバーンインソケットを改良している例が多い。究極のバーンイン方法は、ウェハレベルのバーンインであると推察されるが、まだ開発模索段階である。バーンイン

を行うチップに対して、検査処理を簡便に行うためにチップ内に BIST (Built In Self Test) 回路等の自己診断機能回路を形成する方法も用いられつつある。

バーンインを行うにしろ本格的に MCM 化を展開するためには、KGD の入手が不可欠となる。現状は、一部のチップを除いては、入手できるような状態ではない。MCM 化を急ぐデバイス、機器等においては、不良チップの混入を承知でモジュール化を実施しているが、この場合には、不良チップのリペアが必要となる。LCD、LED、サーマルプリンタ等の OA 機器用 MCM では、画像検査、印字検査によって容易に不良チップを検出し、リペアを行う。リペアの方法は、ベアチップの搭載方法によって異なる。

ワイヤボンディング方式では、2nd 部のワイヤを自動的にボンダで切断し、チップ表面を加熱しながら剪断力を加えてチップを取り外す方法が開発されている⁷⁾。TAB 方式のリペアは、搭載時と同じ方法で行われ、アウタリード部にヒータブロックを押し当ててはんだをリフロさせてチップを真空吸着して取り外す。FC 方式では、チップが樹脂封じ前であればチップ裏面から加熱し、はんだ接合部をリフロさせ真空吸着によってチップを取り外すが、樹脂封じ後であれば、機械的にチップと樹脂を削り取る方法で行われる。

MCM を製造する場合には、特にチップ単価の安い民生機器におけるリペア工程は、リペアに要する人件費が高いためにモジュールコストを高くしてしまう。場合によっては、モジュール検査によって不良が搭載されたモ

ジュールは、モジュール毎廃棄する場合もある。民生機器用の MCM においては、KGD の入手は不可欠となりつつある。

4. 結 言⁸⁾

MCM は、産業機器や OA 機器の分野で実用化され、これにより実装面積の縮小、性能・機能の向上を達成し、さらにベアチップ実装技術を確立してきた。今後の応用展開は、マルチメディア機器、携帯情報端末を主力とする民生機器、医療分野等であるが、課題は低コスト MCM の実現である。このためには、低コスト回路板、低コスト搭載技術、そして KGD の入手、モジュールの検査技術等の課題を解決していく必要がある。すなわち、特性・機能という概念ではなく、コストという概念からの取組みが重要と推察される。

また、一方では、MCM で培われたベアチップ技術を用い、いかにして LSI チップを安価に、短納期で作りあげるかの技術開発も重要と思われる。システム設計技術とシステム実装技術の融合によって LSI の作り方を変革することも MCM の流れの重要な課題のひとつである。

参 考 文 献

- 1) 畑田賢造：MCM の出現で変革する民生機器の実装、高密度実装部会第33回定例会、日本工業技術振興協会主催、pp.6~8 (1992年5月)
- 2) 畑田賢造：産業用 MCM と民生用 MCM の展望、サーキットテクノロジー、Vol.9, No.3, pp.206~214 (1994.5)
- 3) 畑田賢造他：低コスト化する極微小ピッチ接続、第23回エレクトロニクス実装技術研究会、SHM 主催、pp.14 (1993.1.20)
- 4) ニュースレポート、日経エレクトロニクス、pp.21, No.610 (1994.6.20)
- 5) R. Roebuck, F. Agahdel and Chung Ho: Known good die: A practical solution, ICEMM Proceedings'93, pp. 177~185 (April, 1993)
- 6) Y. Tsukada et al.: Surface Laminar Circuit and Flip Chip Attach Packaging, IMC1992 Proceedings, pp. 252~258 (1992)
- 7) 藤本博昭他：ワイヤボンディング方式による MCM のリペア技術の開発、電子情報通信学会、信学技報、ICD93-157, pp.25~30 (1993.12)
- 8) 畑田賢造：塚田 裕：マルチチップモジュール Vol.1, MCM の思想とビジネス戦略、サイエンスフォーラム出版

〔執筆 者 紹 介〕

畑田賢造 (はただ けんぞう) 当協会正会員
半導体プロセス、半導体実装技術の研究開発に従事。現在、松下電器産業㈱半導体研究センター参事、SHM 理事、応用物理学会会員、ISHM USA 会員、電子情報通信学会会員、プリント回路学会会員。学術博士。

ISHM'94 視察団のご案内

SHMでは㈱工業調査会のご後援を得て、11月15日~17日米国マサチューセッツ州ボストンで開催される ISHM'94 (ISHM-The Microelectronics SocietyとThe American Ceramic Society-Electronics Divisionとの共催)に参加のため視察団の派遣を計画いたしました。

今回は「マイクロエレクトロニクスの革命」をテーマに 130件余りの論文発表、国際イベントではマイクロエレクトロニクスの最新情報に接することが期待されます。また、会期後の工場見学も織り込んだスケジュールになっております。

- ◇ 視察期間：1994年11月13日~11月24日(12日間)
- ◇ 催行人員：30名
- ◇ 旅行代金：会 員 475,000円
 会員外 490,000円('95年8月末迄正会員資格がごさいます)
- ◇ 申込締切：1994年10月7日(金)

※ 日程等の詳細は、ご案内パンフレット(申込書付)あり。下記にお問合せ・ご請求下さい。

- ◆ お問合せ先：(株)ロイヤル・トラベル・サービス 担当：実吉、林、船岡、西田
〒101 東京都千代田区神田錦町2-4 TEL：03-3294-7246
FAX：03-3295-9750