

《日本半導体メーカー挽回の鍵は? Part.2》

# 3次元LSIへのパラダイムシフト 瀕死の日本半導体産業の活路とは



微細加工研究所 所長 湯之上 隆

2013年から量産されるモバイル用アプリケーションプロセッサに、TSVを用いた3次元LSIが使われる規格がJEDECによって決められた。これを起爆剤として、LSIは3次元へパラダイムシフトする。EUVが頓挫していることから、競争力の源泉は前工程の微細化ではなく、3次元の実装工程へ移行する。欧米およびアジアでは、3次元LSI実装に大規模な研究開発費と研究人員を投入している。一方、昨年福岡県に完成した3次元半導体研究センターは規模では劣るが、部品内蔵基板の国際標準規格を取得するなど一日の長がある。2月27日、エルピーダが会社更生法適用を申請するなど、日本半導体産業は瀕死の状態にある。唯一の活路は、3次元化のパラダイムシフトを利することにあると考える。

プロセッサとDRAMの一等地に1200のTSV

先月号の記事で、STATS ChipPAC Japanの西尾俊彦氏が、1月中旬に開催されたインターネブコンジャパンのシンポジウムで、以下の発表<sup>1)</sup>をしたことを報告した<sup>2)</sup>。

2013~2014年に量産されるモバイル用アプリケーションプロセッサは、TSVを用いた3次元LSIになる。

この3次元LSIにはWide IO Memory (DRAM) とCPUが積層される。

これらLSIの“1丁目1番地”には、40/50 μmピッチで1200個のTSVが形成される。

これらは、国際的な規定団体JEDEC (Joint Elect-ron Device Engineering Council) によって決められた。

西尾氏によれば、まず今年、Siインターポーザ上にロジックチップを平面的に実装する“2.5D”にTSVが用いられる(表1)。

実際、米Xilinxは2011年10月、28nm世代のFPGAチップ4枚をSiインターポーザ上に実装したFPGA製品「Virtex-7 2000T」のサンプル出荷を開始した。また、Xilinxのパートナーである台湾ファブリー Taiwan Semiconductor Manufacturing

表1 2.5D/3D/TSV Application Space

	Function	Device Type	Approximate Timing
1	Si Partitioning with TSV Interposer	FPGA	2012
2	Conectivity Combo w/ Hetero Integration	Ligic + RF/Analog + PM	2012
3	Mobile Application Processor	A-Processor + Wide I/O DRAM	2013 ~ 2014
4	Logic + Memory w/ 2.5D TSV Interposer	GPU, Gaming Console	2013 ~ 2014
5	High Performance Computing	CPU, MCM, etc.	~ 2015

出所：西尾俊彦「スタツチップバックにおける先端パッケージテクノロジーのロードマップ」、ICP 13th IC PACKAGING TECHNOLOGY EXPO, ICP-2

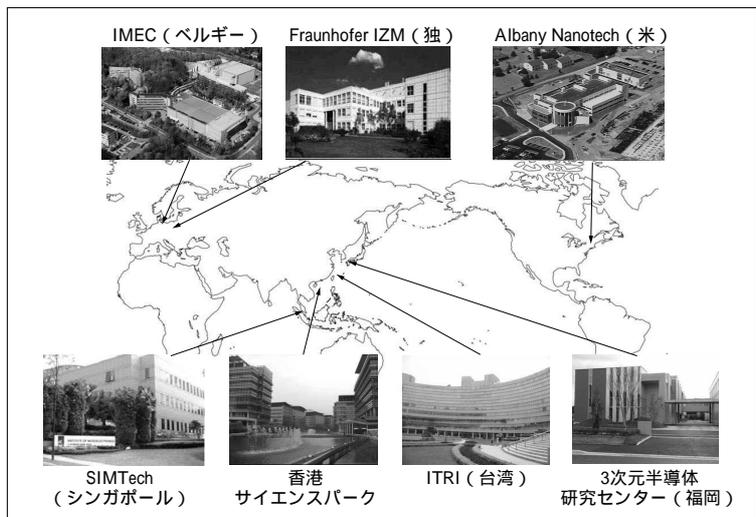


図1 3次元実装の研究を行っている世界の研究センター

(TSMC)は、2011年12月のSEMICON Japan 2011のPKGシンポジウムにおいて、TSVのプロセス開発が完了したことを発表している。

TSVを用いた2.5Dは、ロジック+アナログの異種混合デバイスや、ロジック+メモリのGPUなどにも適用されていく。そして、TSVを用いた本格的な

3次元LSIは、冒頭に記載した通り、2013年から量産が開始されるモバイルアプリケーション(恐らく最新型のスマートフォン用だろう)に適用される。

モバイルの次はPCだ。2015年までに、高機能PC向けのCPUも、TSVを用いた3次元LSIになると予測されている。米Intelは、SEMICON Japan 2011のPKGシンポジウムで、「アジアに高度にインテグレートされた3次元LSI実装の自動化ラインを建設中」と発表した。着々と準備は進んでいるようだ。

#### 世界の3次元LSI実装の開発拠点

3次元LSIの実装技術は、世界中で開発競争が進められている(図1)。世界的なコンソーシアムとして有名なのが、米Albany NanotechとベルギーIMECであろう。

欧米およびアジアに存在する実装研究機関について、3次元LSI実装で国内外の研究機関と共同研究や国際シンポジウムを推進している福岡大学の友景教授への取材を基に、俯瞰してみる(表2)<sup>3)</sup>。

#### 米Albany Nanotech

Albany Nanotechは、米ニューヨーク州立大学アルバニー校ナノスケール理工学部を中核として、2001年に結成された産官学連携コンソーシアムである。ナノスケール理工学部はその後、ナノスケール理工学カレッジ(CNSE: College of Nanoscale

表2 世界の実装研究設備の比較

国	組織名	研究予算 (建設予算)	研究者数		ファブ	特徴
			総計	実装		
米国	Albany Nanotech	450億円	2500人		300mm最先端ファブ、400台以上の最先端装置、試作規模3000枚/月、90~22nm、250社以上のパートナー企業	
ベルギー	IMEC	250億円	1900人	100人	300mmの最先端ファブ	MEMSファブもある3次元実装に注力
ドイツ	Fraunhofer IZM	1500億円 (56研究所計)	1万3000人 (56研究所計)	70人	“素晴らしい”研究施設	Chemnitz、FrankfurtにMEMS研究所
台湾	ITRI	600億円 (実装58億円)	6500人	500人	SoCテクノロジーセンターにも285人の研究者	300mmの3次元実装ラインを建設中
シンガポール	SIMTech			350人	実装専用のファブ	IMEにも250人の研究者
香港	香港サイエンスパーク	建設予算1500億円	6500人		無線通信研究所、SoCセンター、半導体テスト所有実装センター、分析・評価センターなどを完備	
	香港科技大学		15人 (マスクCMP)		4インチの製造ライン	Center for Advanced Microsystems Packaging (CAMP)あり
日本	3次元半導体研究センター	建設10億円 装置20億円	6人		3次元実装の設計、試作、評価、試験が量産レベルでできる世界で唯一の研究センター(2011年3月完成)	

出所: 福岡大学 友景教授の講演資料などを基に筆者作成

Science and Engineering)となった。

米国だけでなく日欧アジアなど世界中から250社の企業が参加し、International SEMATECH Northを本社機能として設立している。また、米Applied Materials (AMAT)、東京エレクトロンの研究センターを誘致し、米IBMおよびAMDなどの企業をサポートしているように、産業に直結しビジネスに大きく貢献している。

年間研究予算は450億円、専属研究員は2500人を超える(2008年時点)<sup>4)</sup>。3次元LSI実装の研究開発にどの程度の予算と人員を割り当てているか、筆者は実態を掴んでいないが、おそらく、相当の規模になると予想される。

#### ベルギーIMEC

IMECは、1984年にベルギーのフランダース地方に設立された独立研究機関である。IMECのミッションは、「マイクロエレクトロニクス、ナノテクノロジー、情報通信システムの設計手法と戦略技術において、産業界が必要とするよりも3~10年先行する研究開発を行う」こととされている。

フランダース地方政府からの助成金は全収入の2割程度であり、8割以上は企業からの研究資金で賄われる。すなわち、IMECは公的なコンソーシアムというより、巨大な開発投資を必要とするプリコンペティティブな領域を受け持つ独立した研究機関と言える。その代表的な研究例が、蘭ASMLを中

心としたEUVLの露光技術の開発であろう<sup>4)</sup>。

年間研究予算は250億円、スタッフを含めた研究員総数は1900人。特徴的なことは、世界中から大学院生を受け入れており、博士課程の学生を研究員として採用し、生活費、住居費、医療保険などをIMECが負担していることである。2003年以降、年間平均30人が博士号を取得している。

友景教授によれば、IMECには、実装を専門とする研究者が100人存在するという。

独Fraunhofer IZM ( Institut für Zuverlässigkeit und Mikrointegration )

その友景教授によれば、欧州にはもう一つ、3次元LSI実装について、目を離せない研究機関があるという。それが、Fraunhofer IZMである。

Fraunhofer IZMは、ドイツに56研究所があり、年間研究予算は1500億円、全研究員は13000人に上る。その中で、マイクロエレクトロニクス研究の中心となる研究所がMünchenにあり、300人の研究者がいる。そして、3次元LSI実装を専門にしている研究者が70人おり、友景教授曰く、「素晴らしい最先端の研究設備が揃っている」とのことである。

Fraunhofer IZMは、MEMSの研究にも力を入れている。Chemnitz、Frankfurtに研究所があり、東北大学の江刺研究室などと共同研究を推進している。

台湾ITRI ( Industrial Technology Research Institute )

友景先生によれば、3次元LSI実装において、欧米よりも怖いのはアジアの研究機関であるという。その一つが、台湾ITRIである。

1973年に設立されたITRIは、今や世界最強となったファブリークTSMCを育てたことで有名である。これまでの累計投資額は1600億円、年間の研究費は600億円、研究者は6500人に上る。

実装関係だけで年間の研究予算が58億円、500人もの研究者がいる。これとは別にSoCテクノロジーセンターにも285人の研究者があり、3次元LSI実装には、大規模なリソースを注ぎ込んでいる。

ITRIは、現在、6分野の研究に注力している。それは、情報通信技術、エレクトロニクスおよびオプトエレクトロニクス技術、材料科学とナノテクノロジー、医療機器とバイオメディカル技術、機械システム技術、グリーンエネルギー・環境技術である。

TSMCを育てた実績があるだけに、3次元LSI実装はもちろんのこと、上記の分野についても侮るこ

とができない。

シンガポールSIMTech ( Singapore Institute of Manufacturing Technology )

SIMTechは、A\*Star ( Agency for Science, Technology and Research ) に所属する実装専門の研究所である。研究員とスタッフ合計で350人を擁する。シンガポールNanyang Technological Universityと緊密に連携して研究を進めている。

同じくA\*Starに所属する研究機関にIME ( Institute of Microelectronics ) がある。250人の研究員がおり、ICS ( Integrated Circuits and Systems )、MMC ( Microsystems, Modules and Components )、SPT ( Semiconductor Process Technologies ) の3つの部門からなる。National University of Singaporeと連携して研究を進めている。

香港サイエンスパーク

香港政府が、2001年から3期計画で建設を進めている総合研究所である。研究分野の柱は、IT/電気通信、エレクトロニクス、精密工学、バイオテクノロジーの4つ。2009年までに1500億円をかけて、バイオを除く1期、2期が完成した。現在、研究員が6500人いる。

無線通信の研究所、SoCセンター、半導体テストを並べた実装センター、分析・評価センターなどに最新の設備を揃えており、240社がメンバーカンパニーとなっている。実装関係の研究予算や研究者数の実態は分からないが、ITRIやSIMTechと並んで、脅威となるのは間違いない。

その他、香港科技大学には、4インチのIC試作ラインがあり、マスク製造からCMPまでを一貫して行うことができる。CAMP ( Center for Advanced Microsystems Packaging ) には、実装設備が揃っており、3次元LSI実装の研究を進めている。

3次元半導体研究センター

地域イノベーションクラスター事業「半導体実装プラットフォームの研究開発」を進展させ、福岡大学 友景教授が中心となって計画を推進してきた3次元半導体研究センターが、2011年3月、福岡県糸島市に完成した。総工費は10億円 ( 福岡県が支出 )、3次元実装を行うフル装置群を20億円かけて揃えた。

部品内蔵基板を中心として3次元実装の設計、試作、評価、試験が量産レベルできる世界で唯一の研究センターであり、設計フォーマット、信頼性試験方法などの世界標準を発信できる拠点かつ、

様々な実験ができる“実装特区”ともなっている。また、最先端の部品内蔵基板試作ラインを完備し、8インチの評価用TEGウェーハ製造ラインも備えている。まさに、3次元LSI実装を研究開発するためのすべての環境が揃っている。

今のところ、プリント基板メーカー、装置メーカー、材料メーカーなど、日本がまだ競争力を維持している分野の競合メーカーと地元の実装企業35社がメンバーカンパニーとなっている。

専任研究員は6人であり、諸外国の研究センターと比較すると規模では見劣りする。しかし、3次元実装の要となる基板については、2009年12月に、国際電気標準会議IECの投票で部品内蔵基板規格書EB-01が国際標準となるなど、友景教授を中心とした日本の研究グループに一日の長がある(図2)。

このように、3次元半導体研究センターでは、3次元LSI実装のデファクトスタンダードを押さえることを戦略目標としている。そのために、前述したFraunhofer IZM、IMEC、ITRI、香港サイエンスパーク、A\*StarなどとMOU(Memorandum of Understanding)を締結し、共同研究、ワークショップなどを行っている。

さらに、半導体実装国際ワークショップMAP(Microelectronics Assembling & Packaging)、半導体逆見本市RTS(Reverse Trade Show)を主催し、NPO法人半導体目利きボードSTM(Semiconductor Technology Marketing)、SiP基板標準化組織SIPOS(System Integration Platform Organization Standards)、アジア半導体機構ASTSA(Asia Semiconductor Trading Support Association、“今日じゃなくてASTSA”)を設立するなど、積極的な活動を展開している。

### 3次元LSIの覇者は誰か?

このように開発競争が激しくなってきたTSVによる3次元LSIだが、「コストが高くて使えない」と言われ続けてきた。しかし、EUVの量産適用が絶望的になったこと、そして、モバイル用プロセッサにTSVが使われる規格がJEDECで決まったことから、2013年以降、爆発的に普及していく可能性が高い。

その際、上記研究機関の成果を効率的に活用した企業のみならず、デファクトスタンダードを押さえた国および企業、3次元実装のIPを押さえた企業、新たなビジネスモデルを確立した企業などが勝者になるだろう。

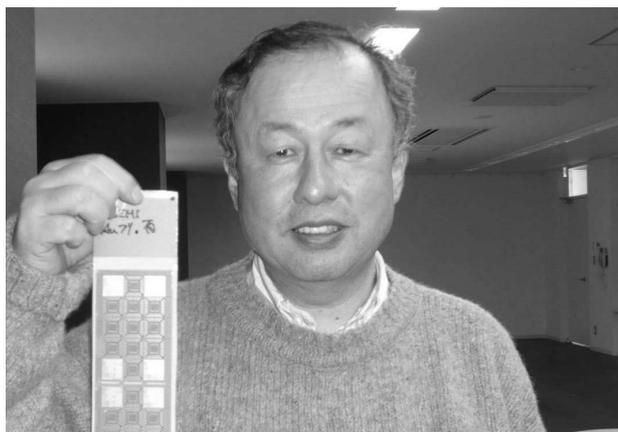


図2 友景教授と部品内蔵実装基板

現在、日本の多くの半導体メーカーは瀕死の状態にある。ただ1社、東芝がNAND型フラッシュメモリで気を吐いているが、エルピーダメモリはとうとう、2月27日に会社更生法適用を申請した。今年1月、事業統合の発表があったルネサス エレクトロニクス、富士通、パナソニックの“世界最大の弱者連合”についても、いつエルピーダの二の舞になるかわからない。それ以外の中小半導体メーカーも極めて同様に厳しい状況に置かれている。

そのような中であって、LSIが3次元へパラダイムシフトする。これは瀕死の状態にある日本半導体メーカーにとって、千載一遇の浮上のチャンスではないだろうか。

例えば、ルネサス、富士通、パナソニック連合で形成するファンドリーを、(友景教授の3次元半導体研究センターと連携するなどして)3次元LSI実装専用ファブにしたらどうだろうか。まともに戦ってもTSMCに勝てるわけがない。であるなら、このパラダイムシフトに乗じて、どこもやらない新たなビジネスモデルを構築すべきである。筆者は、ここに活路があると確信している。

### 参考文献

- 1) 西尾俊彦：スタツチップバックにおける先端パッケージテクノロジーのロードマップ、ICP 13th IC PACKAGING TECHNOLOGY EXPO, ICP-2
- 2) 湯之上隆：ムーアの法則を牽引する3次元LSI、付加価値の源泉は前工程から後工程へ、Electronic Journal (2012.2)、pp. 34-36
- 3) 福岡大学 友景教授の講演資料などを参照
- 4) 垂井康夫：世界をリードする半導体共同研究プロジェクト、工業調査会(2006)