

広島大学における半導体技術の研究・教育

岩 田 穆

広島大学大学院先端物質科学研究科, ナノデバイス・システム研究センター

〒739-8530 東広島市鏡山 1-4-1

E-mail: iwa@dsl.hiroshima-u.ac.jp

あらまし 広島大学における研究・教育の半導体集積技術分野への重点化の経緯および、現在進めている 21 世紀 COE プログラム「テラビット情報ナノエレクトロニクス」の研究のねらい、内容、得られた成果について述べる。COE の主テーマとして、無線インタコネクションとナノデバイス三次元集積技術に注力している。さらに、発展として COE の成果である半導体技術をウイルスなどの有機分子生命体をセンシングするバイオ技術と融合させた半導体・バイオ融合領域の研究計画についても述べる。

キーワード ナノデバイス, インタコネクション, 三次元集積, バイオセンシング技術

1. 半導体技術の研究・教育の歴史

広島大学工学部では 1970 年代から、シリコン半導体技術の教育・研究を始め、広瀬全孝先生の先進的な主導により、集積化システム研究センターを設立するなど、シリコンデバイスと集積回路に重点をおいて教育・研究を強化してきた。1986 年に設立した集積化システム研究センターでは、本格的なクリーンルームに電子ビーム露光装置、エッチング装置などを設備して、先端製造プロセス技術の研究と CMOS デバイスの試作を可能にした。この設備と独自技術により、極限微細 MOS デバイスと集積光インタコネクションの研究などを進め、早い時期から**システム集積化**の概念を提唱してきた。1996 年にはナノデバイス・システム研究センターに改組して、教員を 7 名に増員し、また、クリーンルームを 830m²に増築した。産業上最も重要なシリコンナノメータ MOS トランジスタ、量子構造デバイスと集積化技術の研究を中心として、連想メモリ、メモリベース紺画像処理チップのシステムアーキテクチャや回路設計も精力的に推進してきた。

一方、教育組織としては工学部に所属してきたが、2000 年に物質科学と生命科学の融合を図ることを使命として設立された大学院「先端物質科学研究科」に所属し、理学と工学の融合を意識したバイオとエレクトロニクスの融合の研究も立ち上げた。

2002 年に電気電子情報分野の 21 世紀 COE プログラム「テラビット情報ナノエレクトロニクス」を提案して採択された。この COE の理念に沿った人材育成を実践するために、先端物質科学研究科に COE メンバーで「半導体集積科学専攻」を新設した。また、2003 年から総合ナノテク支援事業、2005 年から中核人材育成事業も進めている。

2006 年には 21 世紀 COE の成果を活用し、同研究科の「分子生命機能科学専攻」のバイオ技術との融合をねらって、先端融合領域イノベーション創出拠点の公募に「半導体・バイオ融合集積化技術の構築」の課題で、エルピーダメモリ株式会社を協働機関として応募して採択された。この拠点として 2007 年に生命・ナノ集積科学研究所を設立し

て、融合領域の研究・教育拠点組織とし、研究領域を拡大していく。

この間、大型研究プロジェクトも積極的に実施してきた。戦略的基礎研究（CREST）の「三次元量子構造とその応用」、「感覚運動統合理論に基づく「手と脳」の工学的実現」、文部科学省科研費特定領域研究、半導体理工学研究センター（STARC）の共同研究10件（デバイスから回路、メモリアーキテクチャ）、半導体 MIRAI プロジェクト（低誘電率材料研究グループリーダほか）などである。図1にタイムテーブルを示す。

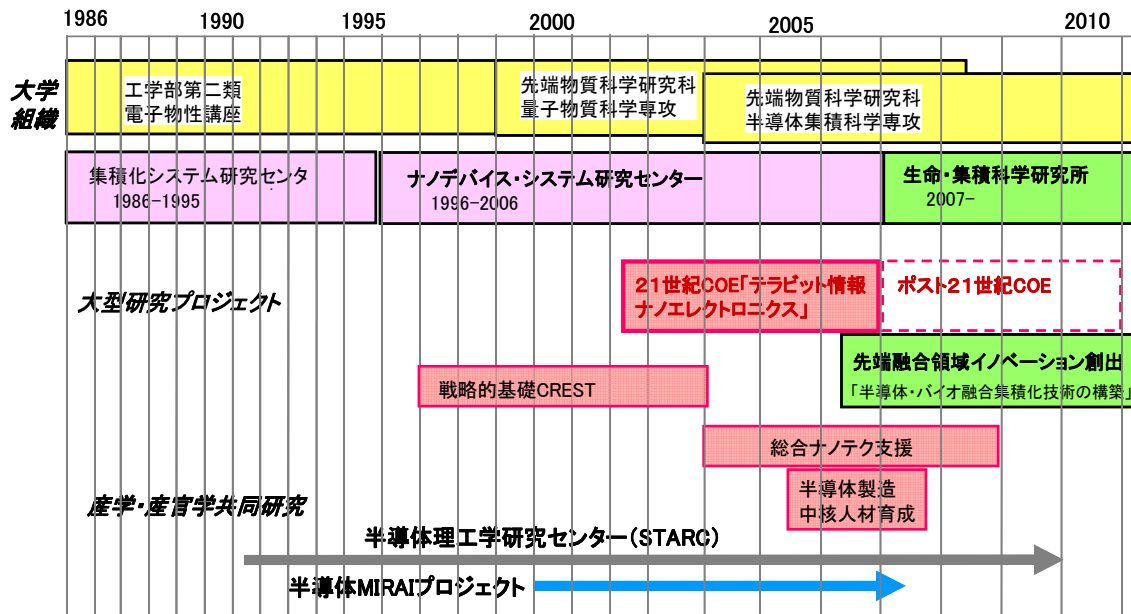


図1. 広島大学における半導体集積技術の教育，研究の経緯

2. 21世紀COEプログラム「テラビット情報ナノエレクトロニクス」

情報・電気・電子分野の21世紀COE「テラビット情報ナノエレクトロニクス」の理念は、「シリコン研究の本流を進み、設計原理に立脚して、新しい集積化システムの基盤を構築すること」である。IT、ネットワーク時代におけるナノエレクトロニクス分野の学問領域形成のポイントは、従来乖離していた「回路・システムアーキテクチャ」領域、「デバイス・プロセス」領域、これらの中にある「デバイスモデリング」領域を要にして、双方をうまく融合させることである。

これらの三領域における研究実績は以下のとおりである。第1分野の「回路・システムアーキテクチャ」では 生体情報処理原理に基づく「アナログ・デジタル融合回路」、連想メモリ、マルチポートメモリなど「機能メモリ」を開発し、この分野のオリンピックともいわれる国際会議 ISSCC で発表するなど世界トップの研究成果をあげている。[1, 2] 第2分野の「デバイスモデリング」分野では、HiSIM という MOS トランジスタのモデルを開発し、現在の標準モデル BiSIM が使っている400個のパラメータに対して、72個と圧倒的に減少させた。しかも、物理定数であるのでそのフィッティングが容易である。第3分野の「デバイス・プロセス」では、先端のクリーンルームと電子ビーム露光装置などを駆使して、ゲート長100nm以下のMOSトランジスタなど世界トップの微

細化の基盤技術を構築してきた。[3]



図 2. COE の研究領域とメンバー

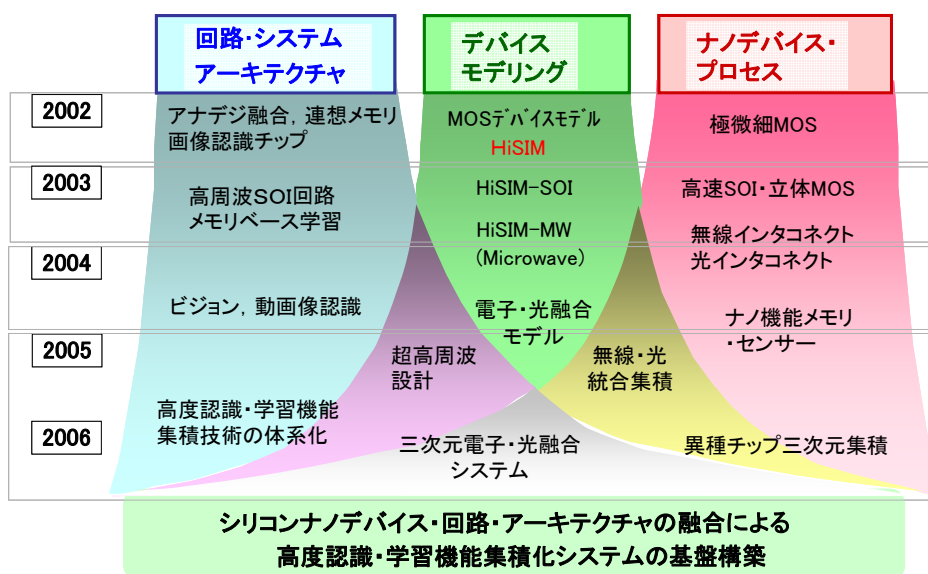


図 3. COE の研究内容の三本柱とその融合

COE の研究の特徴は、電気配線ではなく、無線でチップ間で情報を送る技術である。従来の三次元集積技術はチップを貫通したビアホールで電氣的に接続してチップを積層するものであるが、コストが高い、フレキシビリティがない、テストが困難など、実用化にはまだ課題を抱えている。これに対して、2種の無線インタコネク技術、①オンチップインダクター間の磁気結合によるLWI (Local Wireless Interconnection) と②オンチップアンテナによる電磁波結合によるGWI (Global Wireless Interconnection) を提案し、この両者を併用するアーキテクチャを提案した。LWI では多数のインダクタを用いて、並列に局所的な情報を通信できる。実験により、1 Gbps のデータ転送が1 mWの電力で実現されている。[4]また、GWI では5GHz の帯域のUWB方式で500Mbpsの転送速度の見通しが得られている。[5]これらにより、正確な位置合わせなしで、接着する工程のみで三次元集積が可能となる。また、異種材料の集積化も容易にでき、デジタ

ル・アナログ・センサー機能を集積することもできる。この柔軟性の高さからこの技術を「三次元カスタム・スタックシステム」と名づけた。(図4) [6] さらに、ナノメータサイズの構造のメモリやセンサにも挑戦し、デバイスモデリング分野とプロセス分野との融合で、無線や光を統合した集積化技術を実現する。さらに、回路・システム分野との融合で、連想メモリを応用した動画認識、ロボット制御のための脳型処理システムを研究し、目標である高度認識・学習機能を持たせ、集積技術の体系化を図る。

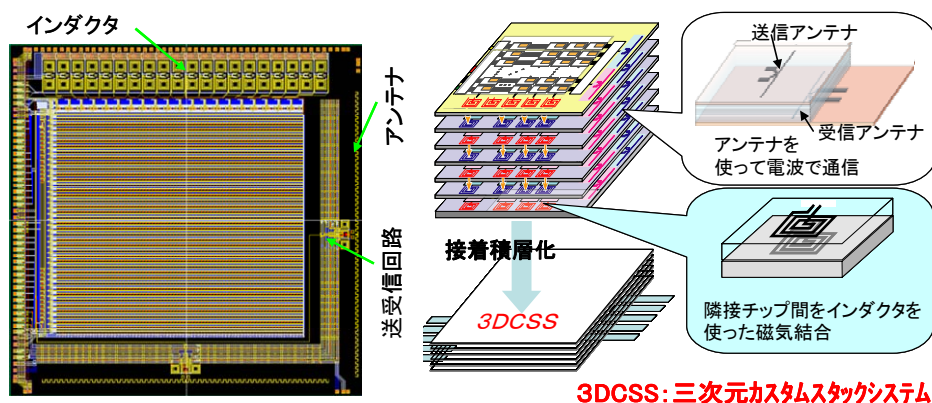


図4. 無線インタコネクションを用いた三次元集積技術 (3DCSS)

2005年に広島大学にHiSIM研究センターを作って、STARCを始めとする産業界と協力して、HiSIMの世界標準化活動を展開したが、論理回路を対象とする基本デバイスのモデルでは僅差で2位となったが、技術的優位性を一層伸ばし、アナログ回路や高周波回路への応用、SOIデバイス用モデルの標準化活動を続けている。[7]

COEのミッションには、「先端研究を幅広い視野で推進し、思考力と実行力を備えた自立した人材を育成する」こともある。このために、若手のCOE研究員や博士課程学生を研究推進の原動力として活躍させて、育成する。日本の博士課程学生の多くは視野が狭すぎるので、複数教官指導でデバイス・プロセスから回路・システムまでの習得する教育プログラムを確立し、国際ワークショップや共同研究への主体的参加などにより、国際感覚などを養うなど、色々な新しい方策を進めている。

3. 総合ナノテク支援事業

シリコンを主体とする数十nmのサイズの超微細構造形成のための支援を行う。電子ビーム露光装置を利用したゲート長数十nmの超微細シリコントランジスタの設計・製作技術を支援に活用すると共に、ナノ構造形成プロセスおよびそれを利用した超微細デバイスに関する技術相談にも応じる。この支援プロジェクトを通じて、技術支援職員の技能を段階的に高めることにより、順次より高度な微細加工支援に対応していく。業務の内容はナノ構造パターン設計、プロセス設計、薄膜形成・ナノ構造加工・不純物導入等であり、これにより超微細なナノ構造デバイス試作までを一貫して支援する。

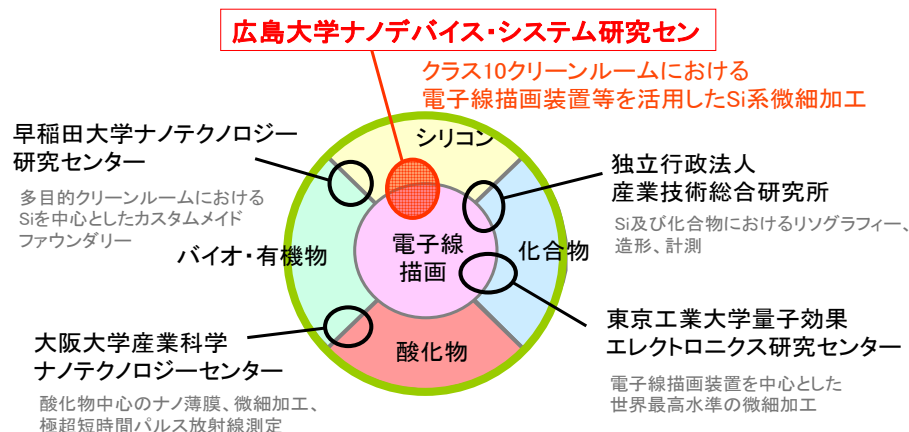


図5. 全国規模の総合ナノテク支援事業

4. 半導体 LSI 技術の関する中核人材育成事業

広島大学をはじめ地域の大学及び企業が連携して、企業の製造事例等を中心とした実習教材の作成と育成システムを構築して、広島大学が有する L S I 製造設備等の活用により、実践的知識、理論に基づく設計・開発力、技術評価能力を有する中核人材の育成を図る。本事業の成果を活用し、2010年に専門職大学院相当の人材育成組織の設置を予定している。今回開発するカリキュラムでは、前述の産業界からのニーズを踏まえ、LSI 製造プロセス、LSI の設計・測定、LSI 応用システム開発にわたる広範な技術を実習を通して体系的に学べるものであり、これまでになかった教育プログラムである。

カリキュラムの特徴は LSI の製造、LSI 設計、システム応用の三領域の接点に重点をおいて、この接点における発生する問題を解決し、さらに競争力を持つ独自技術を構築できる専門家を養成することを狙っている。

5. 先端融合領域イノベーション創出拠点

半導体とバイオ技術とを融合した研究は重要なテーマであり、学術、技術の進歩により将来の人間生活に革新をもたらすものである。今回提案して採択された研究課題は「半導体・バイオ融合集積技術の構築」であり、協働機関としてエルピーダメモリ株式会社と組んでいる。1年以内にバイオ企業とも協働体制を構築する予定である。

融合領域の狙いと主要テーマは以下の点である。

- (1) 新発見のシリコン結合ペプチドを用いてナノデバイスに抗体などの有機分子を選択的に結合するシリコン・バイオ法を開発し、多項目・高速バイオセンサを実現する。これを用いて医療を革新するユビキタス診断システムを開発する。
- (2) 超大容量メモリのための新材料探索、新記憶原理と記憶セル構造の考案し、テラビットメモリのプロトタイプを開発する。
- (3) ポストメモリとして、バイオセンサとメモリを集積したブレインチップの基盤技術を開発する。図6に研究拠点の概要を示す。

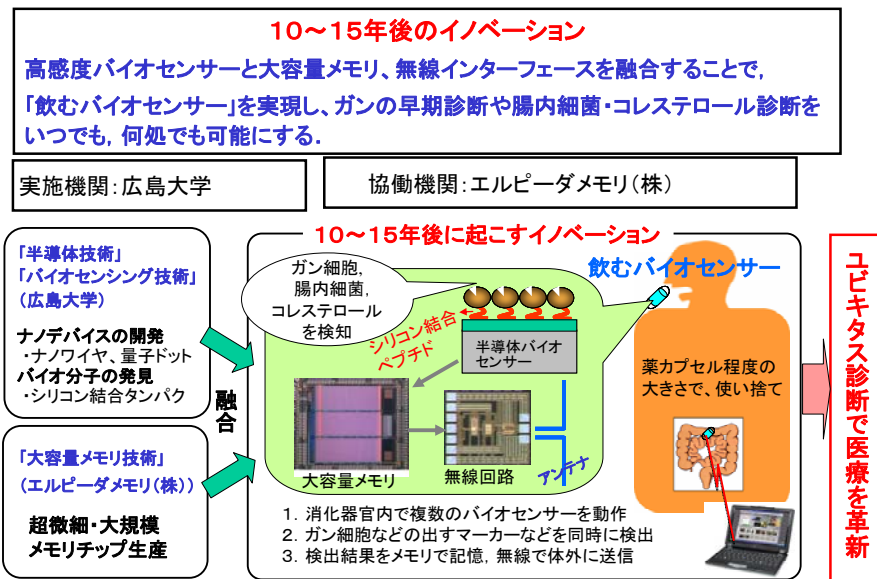


図 6. 半導体・バイオ融合集積化技術の構築

6. 研究所設立に向けて

2007 年新設予定の「生命・ナノ集積科学研究所」では、まず、半導体研究者とバイオ研究者とが共同研究するプロジェクト体制を構築し、さらに半導体集積技術を中心にして融合領域を拡大していく。その拡大は情報科学、生命科学、量子科学などのシーズと、IT、ロボット、医療、環境などへの応用とを結びつけることに方向つける。そのために、融通性と機動性を持った新しい概念の研究組織を構築していく予定である。

7. まとめ

広島大学における半導体技術の研究・教育の歴史、現状、将来について概要を述べた。21 世紀 COE の成果を基盤として、活用・発展させ、融合領域については人材育成を含めて、新融合領域研究所で原理から応用までを開拓すべく、研究体制の強力を図っていく。

文 献

- [1] M. Nagata, et. al., A Minimum Distance Search Circuit using Dual-Line PWM Signal Processing and Charge Packet Counting Technique, ISSCC, pp.42-43, 1997.
 - [2] H.J. Mattausch, et.al., An Architecture for Compact Associative Memories with Deca-ns Nearest-Match Capability up to Large Distances, ISSCC, pp. 170-171, 2001.
 - [3] K. Shibahara, et. al., Low Resistive Ultra Shallow Junction for Sub 0.1um MOSFETs Formed by Sb Implantation, IEDM pp. 579-582, 1996.
 - [4] M. Sasaki and A. Iwata, A 0.95mW/1.0Gbps Spiral-Inductor Based Wireless Chip-Interconnect with Asynchronous Communication Scheme, IEEE 2005 Symp. on VLSI Circuits, , 2005.
 - [5] T. Kikkawa, et. al., Ultrawideband characteristics of fractal dipole antennas integrated on Si for ULSI wireless interconnects," Electron Device Letters., IEEE, Vol. 26, Issue 10, pp. 767 - 769, 2005.
 - [6] A. Iwata, et. al., A 3D-Integration Scheme Utilizing Wireless Interconnections for Implementing Hyper Brains, ISSCC Digest of Technical Papers, pp. 262-263, Feb 6-10, 2005
 - [7] M. Miura-Mattausch, et. al., RF-MOSFET model-parameter Extraction with HiSIM, Modeling and Simulation of Microsystems 05, pp.69-74, 2005.
- Compact Model Council URL, <http://www.eigroup.org/cmc/>