

1.1 COE 拠点形成の概要

COE拠点リーダー 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

あらまし 21 世紀 COE プログラムによる「テラビット情報ナノエレクトロニクス」の拠点形成の背景, 拠点のねらい, 拠点の形成方法と実績, 教育・人材育成の成果などについて概要を述べる. 研究については, グループ間協力による領域融合と新概念の基盤技術を構築した. 教育については, 半導体集積科学専攻の設立とそのカリキュラムの特徴, 博士研究者の輩出実績について述べる. さらに, 将来の方向付けとして, これら成果をバイオ技術と融合させた半導体・バイオ融合領域の研究への発展についても述べる.

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, 先端の製造プロセス技術の研究と CMOS デバイスの試作を伴う研究を展開した. 日本の大学でこのような技術と設備を有するには, 広島大学と東北大学であった. この設備と独自技術により, 極限微細 MOS デバイスと集積化光インタコネクション技術の研究などを進め, 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, メモリベース画像処理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・工学研究科に所属してきたが, 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研究も立ち上げてきた.

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 の理念に沿った教育を実践するために, 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 年からは文科省総合ナノテク支援事業を開始し, 2005 年からは経済産業省の半導体製造中核人材育成事業も進めた.

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.

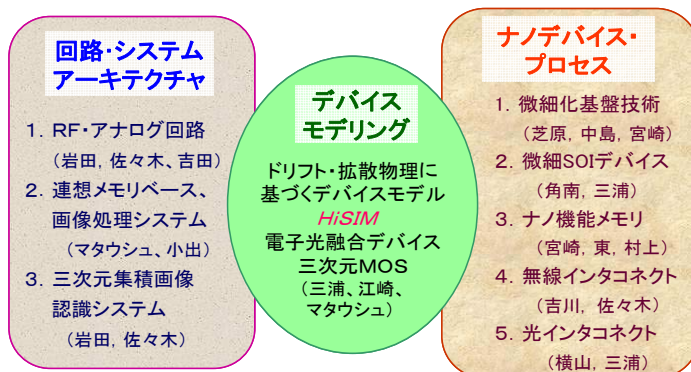
この間, 大型研究プロジェクトも積極的に実施してきた. 戦略的基礎研究 (CREST) の「3次元量子構造の形成と情報処理」(代表者: 広瀬), および「感覚運動統合理論に基づく「感覚運動統合理論に基づく「手と脳」の工学的実現」(分担者: 岩田), 文部科学省科研費特定領域研究「知的瞬時処理複合化集積システム」(分担者: 岩田) および, 「超機能グローバルインタフェースインテグレーション研究」(分担者: 角南, 吉川), 次世代デバイスモデル「HiSIM」の研究開発および国際標準化(代表者: 三浦, 半導体理工学研究センター (STARC) の共同) STARC 共同研究プロジェクト 10 件(デバイス, プロセスから回路, 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ー: 吉川ほか)などがある.

2. 拠点の研究領域構成と領域融合の概念

2.1 COEメンバーの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、パルス幅変調方式により「アナログ・デジタル融合回路」、および連想メモリ、マルチポートメモリなど「機能メモリ」を研究し、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、三浦教授がHiSIMというMOSTランジスタのモデルを提案している。^[3] 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MOST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。^[4]

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とした。ナノエレクトロニクス分野では、「回路・システムアーキテクチャ」と「デバイス・プロセス」は乖離していた、そこで、「回路・システムアーキテクチャ」領域と「デバイス・プロセス」領域を、これらの中間にある「デバイスモデリング」領域を要にして、融合させることを狙った。



ポスドク研究員:10名、ドクター学生:16名

図2. COE の研究領域と主要メンバー

2.2 研究計画

COEの研究計画を図2に示す。「回路・システムアーキテクチャ」領域、「デバイスモデリング」領域、「デバイス・プロセス」領域の研究を融合させて新概念を提案し、それを実証することにより、技術を体系的に構築する。回路技術、高度認識・学習機能のアーキテクチャと集積化技術、モデリング技術、新しいデバイスの構造、微細化プロセス技術、光デバイス、量子ドットを導入したデバイス技術を開発し、それらの融合による、無線インタコネクを主体とする三次元集積技術を目指した。

これらの研究をとおして、創造性と実践力を持った研究者を育成することにした。

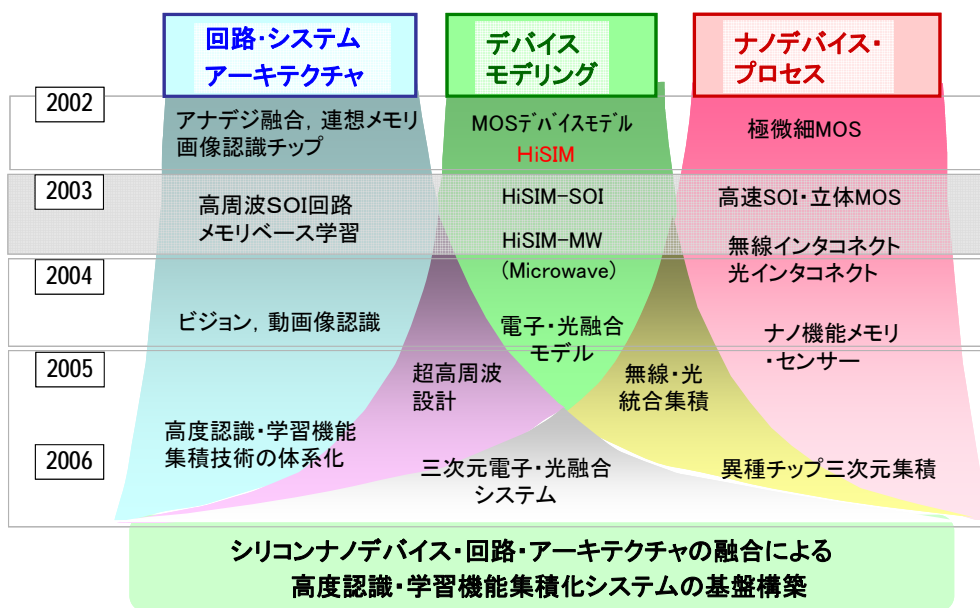


図3 COE の研究領域と技術融合の計画

3. 拠点の活動

3.1 研究体制の構築

(1) HiSIM 研究センターの設立

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。^[5]

(2) ポスドク研究員の採用育成

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、若手のポスドク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。

- ・採用方法:研究成果と研究計画のプレゼンと質疑にもとづき、評価して、採用決定ならびに指導する。
- ・育成方法:指導教員の元に研究を実施することにより、先端的研究能力を育成する。
- ・評価方法;成果報告会により、評価し、研究方針、研究方法について改善を指導する。

(3) グループ間協力による領域融合

- ・岩田グループと吉川グループの協力により、無線インタコネクション、電磁界解析による回路、アンテナ、インダクタの設計、測定評価を行った。
- ・無線インタコネクションの基礎実験 CMOS 技術による3DCSSプロトタイプ的设计・試作を行った。
- ・三浦グループと横山グループの協力により、光インタコネクション用光検出デバイスのモデリング、構造設計、HiSIM-PDの考案、試作・評価を行った。
- ・三浦グループと岩田グループの協力によりHiSIMモデルによるCMOS-RF回路設計技術の研究

3.2 教育体制の構築

(1) 半導体集積科学専攻の設立^[6]

2004 年にCOEの理念にもとづく教育を実践するために、COE拠点形成を推進する教員を構成員として、先端物質科学研究科に新たに半導体集積科学専攻を新設した。表1に2005年度の専攻の構成を示す。

表1 半導体集積科学専攻の研究室と教員

研究室	教育 研究 内容	担当教員 (他機関経歴)
量子半導体工学	半導体量子構造を利用した新機能デバイスの開発および次世代・超微細トランジスタ実現のための材料・プロセスインテグレーション	宮崎 誠一 東 清一郎 (セイコーエフソン)
極微細デバイス工学	極限デバイスにおける基本動作原理の解明とこれに基づく電気応答シミュレーション手法の確立、及び高精度電流制御を実現する次世代デバイスの開発。	三浦 道子 (シーメンス) 江崎達也 (NEC)
機能集積システム工学	極限的性能の通信情報処理アナログ回路・アナデジ混載回路の設計技術、無線インタコネクトを導入した三次元集積システムの方式・設計技術、および生命体処理原理に基づくロボットのビジョンやブレインの高度認識・知能化技術	岩田 穆 (NTT) 佐々木 守 (熊本大)
ナノデバイス工学	LSIの高密度集積化に伴って生じた問題を解決するための極限微細デバイス技術の開発およびワイヤレス伝送技術	吉川 公磨 (NEC) 芝原 健太郎 (NEC)
ナノプロセス工学	極限デバイス及びフォトニックデバイスに必要な原子スケール加工技術・ナノプロセス技術	横山 新 (筑波大) 中島 安理 (富士通)
ナノ集積工学	極微細デバイスおよびナノ要素プロセスを有機的に組み合わせ、極限立体集積回路実現の集積技術	角南 英夫 (日立)
知能集積回路工学	高速かつ低消費電力なデータアクセスとパターンマッチング機能などを有するメモリベースの柔軟な知能情報処理システム、アーキテクチャ、及びLSI回路技術	マタウシュ H. J. (シーメンス) 小出 哲士 (東大VDEC)

ナノデバイス・システム研究センター

(2) 専攻の教育理念

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た。

(3) 専攻のカリキュラムの特徴 [5]

表に半導体集積科学専攻のカリキュラムを示す。

a. 専門知識の獲得

- ・集積回路の専門知識を習得できるカリキュラム
 - ・各専門分野の教官による基礎から先端技術の教育により、幅のある知識と能力を習得させ、社会と関係、将来のリーダーの資質を養う。
 - ・専門科目を4グループ化し、3つ以上から単位取得
 - ・テーマ分野と相補的な分野の演習科目で経験を積む同時にグループワークでディスカッション能力育成
 - ・専門領域における学外研修(インターンシップ)を単位化し、社会ニーズやビジネスセンスも身につける
- ###### b. 国際性、英語力の強化
- ・特定科目の英語による講義、外国人によるCOEセミナーを実施する。
 - ・国際会議での口頭発表の単位化(博士課程)

実習、実験で育成する能力少数グループで実施して、以下を養う。

- ・実行力: 困難を乗り越えた経験
- ・思考力: 情報収集と自分で考える力
- ・コミュニケーション能力, ディスカッション能力

表2 半導体専攻のカリキュラム

必修科目		先端物質科学講究 先端物質科学特別講義 科学技術英語表現法	10単位 2単位 2単位
選択必修科目	概論科目	基礎物理概論 バイオテクノロジー概論 エレクトロニクス概論	1科目2単位
	実習、演習	集積回路・プロセス演習 インターン(企業派遣研修)	1科目2単位
選択科目	1. 材料・デバイス科目	半導体物性工学 電子デバイス物理 半導体シミュレーション工学 化合物半導体デバイス	1-4分類の 3分類以上から 6科目 12単位を取得
	2. 集積化技術科目	LSI集積化工学 半導体メモリ 集積化情報伝送工学	
	3. システム・回路設計科目	システムLSI設計 アナログ集積回路 知能集積回路 マイクロコンピュータ設計	
	4. 横断科目	集積システム信頼性 光電融合システム 分子・バイオデバイス	

インターンシップの実質化は以下のように実施した。

事前に研修テーマと計画を立てる。事前準備をする。実質4週間を確保する。報告および厳密な評価により2単位を与える。各年10名が参加した。主な研修先は、エルピーダメモリ、NECエレクトロニクス、シャープ、TI、ザインエレクトロニクス、RFチップスである。

3.3 博士課程学生の育成

博士課程学生の養成

COE推進教員を直接指導者とする課程博士授与数は2003年: 1名, 2004年: 5名, 2005年: 3名, 2006年: 5名, 2007年: 11名で、5年間合計で25名である。なお、論文博士は5年間で5名である。博士授与目標数: 年10名には至らなかったが、COE開始年度に対して、COE修了年度では、大幅な数の増加を図ることができた。

3.4 情報発信

COEの国際ワークショップ

以下に示すように5回開催した。

(1) 第1回は2004年3月17日に主テーマを「COEの概念、計画」として広島大学で開催した。

(2) 第2回は2005年1月30日に主テーマを「デバイスモデル」として広島大学で開催した。

(3) 第3回は2005年12月6日に主テーマを「無線インタコネクション」として広島大学で開催した。

(4) 第4回は2006年9月16日に主テーマ「デバイス・プロセス」として広島大学で開催した。

(5) 第5回は2007年1月28-29日に全領域についてキャンパスイノベーションセンタ(東京)

(2) シンポジウムの開催

半導体技術シンポジウム 無線インタコネクションを用いた三次元集積技術をメインテーマとして、産業界からの参加 東京で開催 パネル討論を実施。

ナノテク総合支援事業、半導体技術中核人材育成事業についてもポスターで報告した。

(3) セミナーの開催

広島大学で、第一線で活躍している内外の教授、研究者に最新の研究について解説、討論するセミナーを14回開催した。スタンフォード大学の Robert W. Dutton 教授をはじめとする内外の専門家に講師を依頼した。学生が技術内容とともに、研究者の考えにふれられるよい機会として、教育効果をあげることができた。

3.4 拠点のベンチマーク

主要成果 重要国際会議発表 ISSCC, IEDM, VLSIサーキットシンポジウム, VLSIテクノロジーシンポジウムにおける発表件数大学ランキングは総合で、世界で5位、日本で2位である。回路・システムからデバイス・プロセスまでをカバーする総合的な研究グループとして、世界で6位と優れている。詳細は本報告の「COE 拠点研究成果概要」、およびデータを参照のこと。

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実施した。

4. 拠点の将来構想

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。

2007年新設予定の生命・ナノ集積科学研究施設では、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。その拡大方向は情報科学、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する。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。

3. まとめ

COEの基礎となった広島大学における半導体技術の研究・教育の歴史、拠点形成成果、将来の方向付けについて述べた。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、研究体制の強力を図っていく予定である。

[1] M. Nagata, A. Iwata, et al., ISSCC, pp.42-43, 1997.

[2] H. J. Mattausch, et al., ISSCC, pp. 170-171, 2001.

[3] M. M. Miura, et al., IEEE Trans. CAD/ICAS, Vol. 15, No. 1, pp. 1-7, 1996.

[4] K. Shibahara, et al., IEDM pp. 579-582, 1996.

[5] Compact Model Council URL,
<http://www.eigroup.org/cmc/>

[6] <http://www.adsm.hiroshima-u.ac.jp/>