

戦略目標：「新原理・新機能・新構造デバイス実現のための材料開拓とナノプロセス開発」

(平成19年度設定)

1. 戦略目標名

新原理・新機能・新構造デバイス実現のための材料開拓とナノプロセス開発

2. 該当する戦略重点科学技術との関係

本戦略目標は既存のシリコンデバイスの特性を超越する新概念・新構造に基づく次世代デバイスの創製を目指すものであり、「ナノ・材料」分野の戦略重点科学技術のうち、次の3つに密接に関係する。

- ①イノベーションを生む中核となる革新的材料・プロセス技術
- ⑤デバイスの性能の限界を突破する先端のエレクトロニクス
- ⑨ナノ領域最先端計測・加工技術

3. 他の戦略重点科学技術等に比して優先して実施しなければならない理由、緊急性、専門家や産業界のニーズ

CMOS に代表される半導体集積回路(LSI)で使うシリコンは、電子情報社会の今日の発展に欠かせない材料であり、国民の生活を支える基盤材料とも言える。半導体製造技術は日々高度化され、CMOS の微細加工精度がナノ領域に及ぶなど、ナノテクノロジー技術と不可分な関係にある。ところが、このシリコン CMOS の生産ラインにおける微細化が極めて困難になる hp(ハーフピッチ)32nm が目前に迫っており、従来のシリコン CMOS とは異なる新概念・新原理に基づいたデバイスの開発が求められている。

我が国では、1980 年代以降、ポストシリコン材料の探索とデバイス開発のために積極的な研究投資がなされ、世界的に見ても優れた数多くの萌芽的研究成果を持つこととなった。JST 戦略的創造研究推進事業においても、ナノテクノロジー分野別バーチャルラボとして、平成14 年度より「情報処理・通信における集積・機能限界の克服実現のためのナノデバイス・材料・システムの創製」の戦略目標の下、「非シリコン系半導体材料を用いた次世代デバイス用材料の開拓」、「新概念の論理回路・情報ストレージ等の構築のための強相関材料の開拓」、「分子エレクトロニクスに関連する材料の開拓」等のプロジェクトにおいて、優れた研究シーズを創出してきた。

一方、諸外国、特に米国は、NSF(National Science Foundation)が中心となって、複数の産学連携組織*)による「ハイリスク・ハイリターン」な研究開発を進めている。なぜ基礎サイエンスを担当する NSF がイニシアチブを取っているかと言えば、シリコン CMOS の延長では対応できない「次世代エレクトロニクス(Beyond CMOS)への壁」を突破できた国こそが、10~15 年後のエレクトロニクスの覇権を握ると認識しているからに他ならない。

シリコン CMOS での微細化に限界が見えた今こそ、我が国が持つこれらの優れた研究資産を活用し、イノベーションとして生かす重要な時期であり、本戦略目標は喫緊に取り組むべき最重要課題である。

*)Nanoelectronics Research Initiative (NRI)、Western Institute of Nanoelectronics (WIN)、Nano Electronics Research Corp (NERC)、Institute for Nanoelectronics Discovery and Exploration (INDEX)、

South West Academy for Nanoelectronics (SWAN) 等

4. この目標の下、将来実現しうる革新的な成果のイメージ(イノベーション創出の姿。具体例を含めて)、及びその背景、社会・経済上の要請

今後迎えるユビキタス・情報ネットワーク社会では、ネットワークの高速化、コンテンツの大容量化に伴って、高度に集積化されたCPU やメモリーデバイスの実現が必須となる。以下、本戦略によって将来実現しうる代表的な成果のイメージを列举する。

- ・ Ga-As, In-Sb などの化合物半導体、GaN, AlN, ダイヤモンドなどのワイドギャップ半導体の開拓：
 - 高い移動度・高い飽和速度を利用した超高速・低消費電力デバイスにより、次世代のモバイル機器の実現が可能
- ・ 強相関材料(含む超伝導材料)の開拓：
 - 電子のスピン・軌道制御により、新原理に基づいた超高速の論理回路素子や高密度の不揮発性メモリーへの展開が可能
- ・ カーボンナノチューブや量子ドット等の新材料・新構造デバイスの開拓：
 - ナノレベル・分子レベルでの加工性に基づいた単一電子デバイス、自己組織化を利用したナノ構造転写技術の確立が可能
- ・ 有機分子材料(高分子/低分子)の開拓
 - 軽量で衝撃に強く携帯性に優れるフレキシブルデバイスの創製が可能。例としては、折りたたみ可能な大面積ディスプレイ、ローラブル携帯コンピュータ、血圧や体温等を常時測定して健康管理ができるウェアラブルデバイス等が挙げられる。

このように本戦略は、数多くのイノベーションを創出する革新的なもので、社会・経済的要請にも十分応えるものである。

5. 戦略事業実施期間中に達成を目指す研究開発目標 (イノベーションの源泉となる知識の創出。技術シーズ。証明を目指す技術概念等)

本戦略では、以下の技術領域における材料開拓とそれらのデバイス化に向けたプロセス開発により、次世代ナノエレクトロニクスデバイスの実現につながるイノベーションを創出することを目標とする。

- (1) 非シリコン系半導体(Ga-As, In-Sb などの化合物半導体、GaN, AlN, ダイヤモンドなどのワイドギャップ半導体)による従来のCMOS を超える次世代デバイス用材料の開拓とプロセス開発
- (2) 光・電気・磁気機能の多元的な融合・変換を利用して新規なデバイスの構築を可能にする材料の開拓とプロセス開発
- (3) ナノレベル・分子レベルでの加工により新規なデバイスの構築を可能にする材料の開拓とプロセス開発
- (4) 薄く、軽量で、湾曲性・屈曲性ならびに耐衝撃性を有する携帯デバイス用の材料開拓とプロセス開発

6. 戦略事業実施期間中に達成を目指す研究開発目標の科学的裏付け (関連研究の進捗状況、今後の当該分野の発展の可能性、優れた研究提案が数多くなされる見込み)

JST の戦略的創造研究推進事業として進められているナノテクノロジー分野別バーチャルラボは、当該戦略目標において、萌芽的成果を数多く挙げた。これらの成果をもとに、先端ナノサイエンスを駆使して、シリコン CMOS を超越する次世代デバイスの創製に直結する材料開発が期待できるとともに、多くの優れた研究提案が見込める。以下、各研究開発目標に関連した研究の進捗状況をまとめる。

(1) 非シリコン系半導体(シリコンよりも高い性能が期待できる Ga-As, In-Sb などの化合物半導体、GaN, AlN、ダイヤモンドなどのワイドギャップ半導体)による従来の CMOS を超える次世代デバイス用材料の開拓とプロセス開発

- ・シリコンよりも数倍高い電子の移動度または高い到達速度を利用
→ ナノサイズのデバイス中では、格子等に散乱されることなく電子が走行可能となり、1THz を超える高周波数で動作可能なデバイスの設計が可能となった。

(2) 光・電気・磁気機能の多角的な融合・変換を利用して新規なデバイスの構築を可能にする材料の開拓とプロセス開発

- ・局在電子や伝導電子が互いに影響を及ぼす強相関材料
→ 磁氣的、電氣的、光学的な特性を制御した新機能デバイスの構築を可能にする。例として、磁気ナノドットを MOS トランジスタと融合させた超高速、低電力動作が可能な不揮発メモリの試作が行われている。
- ・フォトリソ機能材料による光制御
→ 電子で行っていたスイッチングなどの機能を、光で行う超高速光情報処理デバイスを構築する見通しが立ちつつある。

(3) ナノレベル・分子レベルでの加工により新規なデバイスの構築を可能にする材料の開拓とプロセス開発

- ・カーボンナノチューブ・グラフェンに代表されるナノカーボン材料
→ 単一分子素子の形成が可能で、新規な量子情報素子やスイッチングデバイス用材料として期待できる。
- ・量子細線・量子ドット
→ 量子サイズ効果を利用した超高速・超省電力のレーザーデバイス等が期待できる。

(4) 薄く、軽量で、湾曲性・屈曲性ならびに耐衝撃性を有する携帯デバイス用の材料開拓とプロセス開発

- ・ペンタセンに代表される有機半導体材料
→ 軽量、大面積、フレキシブル、印刷が可能などの特性を利用した、電子ペーパー、フレキシブルディスプレイの応用が期待されるとともに、有機レーザーダイオードとしての応用も検討されている。

7. この目標の下での研究実施にあたり、特に研究開発目標を達成するために解決が必要となる研究上の課題、留意点、既存の施策・事業等との重複

本戦略目標として取り上げた達成目標は、ナノサイエンスに基づいた基礎からの材料研究を中心としたテーマである。しかし、大学における基礎研究のみでは、容易にイノベーションにはつながらない。それには明確な「ものづくり」の目標を設定した研究拠点を中心としたコンソーシアムや産学連携による目的指向型の研究が必要である。さらに研究総括の強力なイニシアチブのもと、互いのグループ間の連携を密にして、ときには共通インフラも使いながら融合効果を出すことが必要となる。基礎(大学)、応用(企業)の明確な役

割分担、理論と実験の協力、産学官の連携を通じた人材の交流等、研究投資を有効に成果につなげるための具体的なシステムが喫緊に必要である。

既存の施策として、平成 19 年度に終了する JST の戦略的創造研究推進事業として進められて来たナノテクノロジー分野別バーチャルラボのエレクトロニクス関連領域がある。これらの領域は当該戦略目標の萌芽的研究にあたる成果を数多く挙げてきた。これらの成果をイノベーションに結びつけるためにも、本研究戦略がこれらの研究領域を引継ぎ発展する必要がある。シーズとなるこれらの材料のデバイス化やそれらの集積化が可能な研究拠点や共同研究施設の整備が、日本では十分に整っていない。本戦略目標を、次期ナノテクノロジー総合支援プロジェクトとも有効に結び付け、推進していくことが必要である。