

## CREST 研究領域「超高速・超省電力高性能ナノデバイス・システムの創製」 追跡評価報告書

### 総合所見

本研究領域は、ナノテクノロジーを駆使して情報処理や通信システムの性能を飛躍的に高める超高速・超低消費電力のデバイス・システムを創製することを目的に、2002 年度から 2007 年度にわたって実施された。研究内容は、光素子の高性能化、情報処理デバイスの超高速化・超低消費電力化からナノプロセス技術の開拓まで多岐にわたる。領域終了後、5 年以上が経過したが、総合的に判断して本領域は水準以上の成果を挙げた優れた領域であったと判断できる。特に学術面において本領域の研究成果がその後のナノテクノロジー・ナノエレクトロニクス領域の研究の発展に与えた波及効果は高く評価されるべきである。

本領域の開始時期から現在までの間に、半導体産業を中心とするエレクトロニクス産業は世界的にもめまぐるしく変化し、我が国のエレクトロニクス産業が置かれた立場も大きく変化した。本領域で生まれた成果が実用技術に直接結びついた例は残念ながら存在せず、また我が国のエレクトロニクス産業が低落しつつある時期と本領域の時期が重なることから、本領域の社会面での波及効果を疑問視する考え方もあろう。ところが、より広い視野と長期的な視点に立つと、ナノテクノロジーによるデバイス・システム応用の基礎研究は本領域で着実に進められ、多くの知見と経験が我が国の大学を中心とする研究機関に世界に例がないほどに蓄積されたという考え方もまだ同時に成り立つ。IT 産業において現在全盛のスマートフォンもいずれ主役を別の機器に譲ると予想されるが、このような IT およびエレクトロニクス市場における大きなパラダイムシフトにおいて我が国の産業が復権するためには、ナノテクノロジー分野における基礎体力が必須である。本領域の成果は、将来のナノデバイス・システム実現に向けて我が国の高いポテンシャルを期待させる。

### 1. 研究成果の発展状況や活用状況

本研究領域の研究成果の発展は目覚ましい。一部の研究は、最先端研究開発支援プログラム(FIRST)、科研費特別推進研究、科研費基盤研究(S)、JST CREST 等に発展し、さらなる成果を挙げつつある。また、本領域終了後の 5 年間に、研究代表者の論文(原著論文)が約 300 件も刊行されていることから、各研究代表者が活発に研究を展開させていることが数字の上でも明らかである。

特に、本領域で行われた有機半導体レーザの研究は、高効率有機 EL デバイスの研究へと大きく飛躍した。具体的には、本領域における研究成果が基礎となり、熱活性型遅延蛍光(TADF)が後に開発され、高効率発光特性の実現が可能となった。産学連携体制にて実用化の開発が進められている。また、本領域における不揮発性メモリの研究開発は、三次元メモリ/ロジック半導体集積化技術へ発展し、世界的に高く評価されている。高温超伝導体による単一磁束量子(SFQ)の研究は、500GHz を超える超高速・超低消費電力回路の実証へ発展

している。スピントロニクス系の電界制御を目指した基礎研究は、より高機能なスピン制御およびスピントロニクス基本素子の提案に発展した。

一方、本領域では量子細線レーザ応用を目指した研究が推進されたが、従来の量子井戸レーザ技術の成熟と新規の量子ドットレーザの実用化により、その後量子細線のレーザ応用の必要性は薄らいだ。しかし、量子細線およびその他のナノ構造における物理の深化は、今後の光デバイス等の研究開発に不可欠な知見として蓄積されただけでなく、シリコンフォトニクスへの新たな展開も見られる。THz 動作を目指した超高速のホットエレクトロントランジスタの研究では、THz 動作については可能性を示すにとどまったが、極限の超高速デバイス動作に関する多くの技術と知見が蓄積された。

なお、本領域の開始時点で研究代表者が比較的高齢であったため、一部の研究領域では本領域の終了後、定年や異動等で研究成果が十分に引き継がれていないケースも認められ、これは CREST 等の大型予算における選考のあり方の議論に一石を投じることとなる。

## 2. 研究成果の科学技術的および社会・経済的な波及効果

### 2.1 科学技術の進歩への貢献

本研究領域の科学技術の進歩への貢献は極めて大きい。情報処理や通信システムの性能を飛躍的に高めるデバイス・システムを実用化レベルに引き上げることは、大規模投資を行わない限りは一般に非常に難しく、本領域の成果が社会・経済的な波及効果より、科学技術の進歩への貢献において顕著な成果を挙げていることは自然な成り行きであろう。

本領域における超高速性・超省電力性の情報通信技術・光素子の研究では、前述の通り、安達らが熱活性型遅延蛍光(TADF)による励起子生成効率の向上を本領域終了後に示したことが特筆される。実用面だけでなく学術面でも大きなブレイクスルーであった。一方、秋山らの一次元量子細線レーザのデバイス特性の理論的解明も、当該科学技術分野の進歩に大きく貢献している。また、荒井らの量子細線レーザと量子井戸レーザの比較は学術的に意義深い。河口らのレーザの偏光スイッチングを利用した光メモリで、多ビット動作も含めて全光ルーティングの可能性を示したことも学術的に意義がある。

超高速性・超省電力性の情報処理技術においては、前述のとおり小柳らが三次元集積回路の研究に本領域を進展させている点が特筆される。また、新田らが超音波によるスピン制御や半導体中でのスピン制御の実現などスピントロニクスの新展開を図っている点、藤巻らがテラヘルツ帯という未踏の領域における超高速回路を超伝導素子により実証している点、古屋らが超高速電子デバイスの極限に挑戦している点が、科学技術の進歩への貢献として高く評価できる。

さらに、ナノプロセス技術の開拓においては、吉川らが最近世界的に注目を集め始めた一分子層成長技術に早い段階から挑戦し、デバイス試作・評価まで進展させている点が学術的に高く評価できる。また、大谷らは、多価イオンが 2 次イオン質量分析法(SIMS)において極めて高感度であることを発見しており、今後の発展が期待される。

## 2.2 社会・経済的な波及効果

昨今、半導体やエレクトロニクスビジネス環境は非常に厳しく、世界的な競争の中で新規のナノデバイス・システム技術が既存技術に打ち勝って実用化される例は多くない。新規ディスプレイ技術として大きな期待を集めた有機 ELTV もその一例である。本領域の研究成果が、そのまま実用化に結びついた例は残念ながら存在せず、本領域の「直接的な」社会・経済的な波及効果は大きいとは言えない。

しかし、本領域の研究成果が間接的に社会・経済的に与えている波及効果は確かに多く存在する。前述の熱活性型遅延蛍光(TADF)は、ビジネス的に停滞する有機 EL 技術の可能性を一気に高めた新しい潮流であることは間違いない。また、光素子分野における理論解析の成果は、今後のシリコンフォトニクスや光通信向けの強力なデバイス設計ツールとして大いに活かされるであろう。本領域の不揮発性メモリの研究が発展した三次元メモリ/ロジック集積化技術は、デバイス微細化に代わる新しい集積化技術の本流となりつつある。その他にも、本領域で蓄積された研究成果は、ナノテクノロジー分野の基盤技術としてさまざまな場面でその後の学術研究および実用化開発に影響を与えていくと思われる。

実用化を意識して本領域では多数の特許が出願され、これまでに 15 件がすでに登録されている。また、海外展開を図るため海外出願も多く、海外登録も 8 件に達していることは高く評価できる。

## 3. その他特記すべき事項

本領域で特筆されるべき成果の一つは、人材育成である。本領域に参加した若手の大学教員が、本領域の研究活動を通じて大きく成長し、現在では著名大学で研究室を主宰する重要ポストを占めるに至っている。本領域が我が国のアカデミアに与えた波及効果は大きい。

以 上