

## CREST 研究領域 「電子・光子等の機能制御」 追跡評価報告書

### 総合所見

本 CREST 研究領域は、電子や光子の静的、動的特性の制御によって、新しい現象の発見や、新しい機能を発現する技術の可能性を探索することを目的として策定されたものであり、1998 年から 3 年間にわたって合計 14 件のプロジェクトが採択された。いずれの研究プロジェクトもチャレンジングな課題に挑んだものであり、2000 年前後にこのような研究領域が戦略的に組み込まれた意義は非常に大きい。期間中の発表論文件数は、全プロジェクトの 40%が 100 件以上、85%が 50 件以上であり、極めて高い研究アクティビティーと言える。また、プロジェクト期間中の特許出願が 5 件以上あるプロジェクトが 70%あるのも特徴の 1 つであろう。これらの研究業績は、プロジェクト終了後の事後評価においても、いくつかのプロジェクトを除いて、当初計画通り、あるいは当初計画以上の優れた成果が得られたと高く評価されている。

プロジェクト終了後も関連の研究分野は順調に発展しており、本研究領域の研究代表者のグループからは、引き続き多くの論文が発表され、特許が出願されている。また、研究代表者の多くが、プロジェクト終了後に最先端研究開発支援プログラム、ERATO, SORST, NEDO, 学術創成研究、基盤研究(S) などの大型の競争的研究資金を獲得している。さらに、多くの研究代表者がプロジェクト終了後に各種の賞を受賞していることは、プロジェクトの研究成果およびその後の研究成果が、対外的にも高く評価されていることを示している。

研究成果の波及効果に関しては、多くのプロジェクトの研究成果が科学技術的に大きな波及効果を生み出していることは特筆に値する。代表的には、プロジェクト期間中に発表された論文の被引用回数が 200 件を超える「**相関エレクトロニクス**」、「**固体中へのスピン注入による新機能創製**」、「**フォトニック結晶による究極の光制御と新機能デバイス**」などのプロジェクトを挙げることができる。さらに、これらのプロジェクトの成果の一部は産業化への見通しが立ち、近い将来に社会・経済的な波及効果が期待できるところまで発展している。具体的には、上記の「**スピン注入**」プロジェクトの成果は、NEDO プロジェクトへと引き継がれ、東芝とハイニックス社による **Spin-MRAM** の共同開発プロジェクトへと発展している。また、「**フォトニック結晶**」プロジェクトの成果は、次世代高速光通信ネットワーク用部品、高輝度 LED、高出力面発光デバイスなど、市場規模が極めて大きい産業分野における基幹デバイスとしての実用化が期待される。

以上のように、本 CREST 研究領域は、そのプロジェクト期間中に多くの研究成果を挙げると共に、プロジェクト終了後も学術分野として順調に発展している。さらに、一部の研究成果は、市場規模の大きな産業へと発展する期待が高まっており、これらを総合すると、本研究領域は、わが国の科学技術の発展に大きな役割を果たしたと総括でき

る。また、戦略目標を踏まえてこれらのプロジェクトを選定し、個々のテーマについて適切な助言を行いつつ、全体としての大きな研究成果をもたらした研究総括の手腕も高く評価されるべきであろう。

## 1. 研究成果の発展状況や活用状況

現在のエレクトロニクスは、電子情報技術の進展や社会的・経済的要請などから、従来のデジタル情報処理機能と種々の新しい機能とを融合しながら、様々な方向に進化しつつあると言える。その意味で、「電子・光子等の機能制御」を研究領域とした本プロジェクトは、極めて先見性の高いものであったと言える。その結果、プロジェクトで得られた研究成果は、プロジェクト終了後にも有効に活用され、多くの後継研究、関連研究へと発展している。

研究成果の活用状況を端的に表している数字として、プロジェクト期間中に発表された論文の被引用回数を挙げることができる。被引用回数の多いものは、総合所見の項で述べた3つのテーマを中心に、945回、660回、357回、273回、248回、190回などとなっており、これらの研究業績の学術的なインパクトの大きさを示している。さらに、研究の発展状況を、競争的研究資金の獲得状況で見ると、総額が1億円を超えるプロジェクトとして最先端研究開発支援プログラム1件、ERATO1件、学術創成研究3件、基盤研究(S)4件などがあり、5000万円クラスの基盤研究(A)については、延べ18名が獲得している。これらのデータからも、本研究領域の研究成果が有効に活用され、また、研究分野が順調に発展していることが明らかである。

## 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

本研究領域では、シリコンや化合物半導体を初めとして、CNT、ダイヤモンド、高温超伝導体、磁性材料、強相関物質系などの多彩な材料分野が扱われており、さらに応用の視点からその機能発現機構の解明を行う基本姿勢が見て取れる。また、物質、プロセス、デバイス、システムなどの異なった階層の研究が全体として取り込まれており、電子・光子等の機能制御をこのような幅広い視点から捉えたことが、本研究領域において大きな研究成果が得られた要因の1つと評価できる。

本研究領域における研究成果ならびにその後の関連研究の成果が、科学技術の進歩に顕著に貢献した代表例としては、以下のプロジェクトを挙げることができる。

(1)「**「関連エレクトロニクス」**プロジェクトにおいては、電子スピンと核スピンの相互作用の制御、半導体量子ドット中におけるスピン選択則の発見、量子もつれの濃縮の実証とその量子通信への応用など、多くの普遍性の高い物理現象を見出し、当時世界的に立ち上がりつつあった量子コンピュータや量子通信の分野の発展を先導した。

(2)「**「フォトニック結晶による究極の光制御と新機能デバイス」**プロジェクトにおい

ては、2次元および3次元のフォトニック結晶の精密作製技術を確立し、自然放出フォトンの制御、欠陥導入によるフォトンの捕獲や放出、ヘテロ構造導入による分波機能の実現、100万に達する超高Q値ナノキャビティの実現、新しいレーザ構造の提案などの世界最高水準の研究成果を挙げた。

(3)「固体中へのスピン注入による新機能創製」プロジェクトにおいては、スピン偏極電流の固体内への注入に関する研究を行い、スピンに依存した電子の干渉効果、スピン注入トルクを用いた高速磁化反転、磁気トンネル接合におけるスピントルクダイオード効果など多くの興味ある現象を発見し、デバイス応用の可能性を示した。

(4)「表面吸着原子制御による極微細ダイヤモンドデバイス」プロジェクトにおいては、ダイヤモンド表面の伝導機構のモデル化と表面科学の解明、硫黄ドーピングによるn型伝導の実現、高濃度ドーピングによる超伝導の発現などの優れた研究成果を挙げると共に、50GHz以上の高周波で動作する高出力トランジスタを実現した。

## 2.2 社会・経済的な波及効果

本研究領域では、研究成果に基づいて多くの特許が出願されており、応用を視野に入れて基礎研究を行うという姿勢が明確である。この内、特許として成立しているものがこれまでに約150件あり、これらの特許により、将来的に大きな社会・経済的な波及効果がもたらされると予想される。実際に、プロジェクト実施時には、極めて基礎的な研究テーマと考えられていたものの中から、現時点において実用化を見据えた開発研究の段階に達している事例が出はじめており、近い将来に大きな社会・経済的な波及効果が現れるものと期待される。

実用化に近い研究成果の例として、「フォトニック結晶」プロジェクトの成果は、次世代高速光通信ネットワーク用部品、高輝度LED、高出力面発光デバイスなど、市場規模が極めて大きい分野における基幹デバイスとしての実用化が期待されており、長い目で見ると、量子情報処理や光メモリなどへの新しい産業展開も考えられる。また、「スピン注入」プロジェクトによって推進されたスピン注入トルクを用いた高速磁化反転の研究は、NEDOのプロジェクトとして産業技術総合研究所と東芝との共同研究に引き継がれ、そこで得られた成果を基に、東芝とハイニックス社によるSpin-MRAMの共同開発プロジェクトへと発展している。Spin-MRAMは、大規模集積化が可能な不揮発RAMの最有力候補であり、将来的にはDRAMに置き換わり、コンピュータのメインメモリとなることが期待されている。

## 3. その他特記すべき事項

本研究領域のように極めて基礎的な研究プロジェクトにおいては、一定期間に研究資金を集中させても、それによる成果が見えにくい場合が多々ある。それに対し、本研究領域では、これまでに名前の挙げたプロジェクトを中心に、学術的にも、また、それ

に続く実用化研究においても、極めて優れた成果が得られたことは特筆に値する。このように発展性のあるプロジェクトを選定したことは、研究総括を初めとする審査体制に先見の明があったと言え、CRESTの体制そのものも評価されるべきである。

追跡評価の観点からは、本研究領域のプロジェクトを通して、どのような若手人材が育ったかも重要な要因と言えよう。資料からは、応用物理学会講演会や国際会議での奨励賞やポスター賞に相当するものが、18件程度は記載されている。このような視点で追跡調査が行われている訳ではないので、この数はさらに大きいものと予想され、若手人材がそれなりに活躍していると推察される。しかし、資料としては十分とは言えないので、今後の追跡評価においては、若手人材のその後の進路の調査など、人材の育成という観点からの調査もあった方が良いと思われる。