

研究課題別事後評価結果

1. 研究課題名：フォトニック結晶を用いた究極的な光の発生技術の開発

2. 研究代表者名及び主たる研究参加者名（研究機関名・職名は研究参加期間終了時点）：

研究代表者

野田 進（京都大学工学研究科 教授（兼）光・電子理工学教育研究センター 副センター長）

3. 研究実施概要

フォトニック結晶は、光場の制御を通じて、様々な革新的な光操作を可能にする光ナノ構造として、現在、世界的な関心を集めている。研究代表者等は、このフォトニック結晶の分野において、本 CREST 開始前に、(i)世界で最も理想的な結晶の開発、(ii)自然放出制御の可能性の実証、(iii)世界最大の Q 値をもつナノ共振器の実現、(iv)大面積コヒーレントレーザの提案・実証など、世界をリードする様々な成果を挙げてきた。本研究では、これらの実績をベースに、フォトニック結晶による光場の制御を通じて、「光・光子科学技術分野」における戦略目標の第1項目に挙げられている「究極的な光の発生技術」を開発していくことを目的として研究を進めた。具体的には、

- (A) 2次元フォトニック結晶による究極的な光の発生/制御技術の開発、
- (B) 3次元フォトニック結晶による究極的な光の発生/制御技術の開発、
- (C) 大面積コヒーレント動作可能なレーザ技術の開発

を3本柱に設定して研究を進めた。

(A)においては、2次元結晶において最も理想的な自然放出制御を実現するとともに、ナノ共振器＋量子ドット結合系における新たな発光メカニズムの発見、430万を越える世界最大の Q 値をもつナノ共振器の実現、また、ナノ共振器の Q 値の動的制御に成功した。さらに、ナノ共振器間の新たな強結合システムの構築とその結合状態制御に世界で初めて成功した。(B)においては、3次元結晶の特徴を活かし2次元結晶を越える自然放出抑制効果の実現、新たな3次元結晶実現法の確立、さらには、表面における光伝播現象の観測と強い光局在効果の発見など、3次元結晶の新しい方向性を示すことに成功した。(C)においては、大面積単一縦・横モード動作可能という本レーザの特徴を活かし、世界最大の単一モード面発光出力の実現 ($>35\text{ W}$)、自在なビームパターンの発生、さらには、青紫色領域での世界初の電流注入面発光動作、さらには赤色領域での動作に成功した。さらに極最近、ビーム出射方向を電子的に制御可能な新しいレーザの実現に成功するなど、多くの世界をリードする成果を得ることができた。

本研究の成果は、米科学誌 Science 2編、英科学誌 Nature 2編、Nature Materials 2編、Nature Photonics 3編にも掲載され、併せて、各種の新聞、雑誌、Web等で報道された(全部で、130件以上)。さらに、各種国際会議にて、85件以上の、Plenary、招待講演を行なった。また、OSA Joseph Fraunhofer Award / Robert M. Burley Prize、Gent University Honorary Degree、IEEE LEOS (PS) Distinguished Lecturer Award、IEEE Fellow、IEEE Nanotechnology Pioneering Awards、江崎玲於奈賞を始めとする数多くの賞を受賞することができた。

4. 事後評価結果

4-1. 研究の達成状況及び得られた研究成果（論文・口頭発表等の外部発表、特許の取得状況等を含む）

本研究では、フォトニック結晶による光場の制御を通して、究極的な光の発生技術を開発することを目的とし、具体的には、(A) 2次元フォトニック結晶による究極的な光の発生技術の開発、(B) 3次元フォトニック結晶による究極的な光の発生技術の開発、(C) 大面積コヒーレント動作可能なレーザ技術の開発の3つの課題を設定している。それぞれの課題において、世界初となる成果が数多く得られており、当初の目標を大いに達成し、重要な成果が得られたと判断される。

上記3つの設定課題において達成された成果に加え、当初計画では想定されていなかった新たな展開や成果も得られた。具体的にはナノ共振器の動的制御、3次元フォトニック結晶における垂直・表面モード光伝播、フォトニック結晶レーザ発振波長の青および赤色領域への拡大、ビーム出射方向制御、など、多数の重要な研究を追加項目として実施し、成果が得られた。

以上の成果は、*Science*（2編）、*Nature*（2編）、*Nature Materials*（2編）、*Nature Photonics*（3編）と多数の論文を発表してきている。また知的財産権の出願および活用に向けた取り組みも活発で、国内27件、海外12件と多くの出願がなされている。

本研究プロジェクトは、研究グループとしても大きく、研究能力のみならずグループの統率力が必要とされるが、サイトビジットの際には研究室のメンバ、学生がいきいきと研究に従事しているところが確かめられた。本研究プロジェクトでは、フォトニック結晶の作製に必要とされる高精度描画法および3次元立体構造の形成装置などの開発がチーム内で行われているが、これらは全て多くの優れた成果に結びついており、これらは研究代表者の優れたリーダーシップが発揮された結果であると判断される。

4－2．研究成果の科学技術や社会へのインパクト、戦略目標への貢献

本研究プロジェクトは、国内外の類似研究と比較して、そのレベルや重要度も極めて高いものである。また、本研究に関係した学協会からの受賞、新聞報道等も際立って多いことから本研究に対する社会の関心の高さ、期待もきわめて高いことがうかがえる。

フォトニック結晶レーザは、原理的に単一モードで高出力化が可能であることから、従来の半導体レーザの限界を超えたワット～キロワット級レーザの実現も可能とされていることから、今後の研究成果が大いに期待できる。なお、フォトニック結晶の優れた特性の実証実験は本研究チームによって達成されたが、実用化するためには、生産性、コストダウンなどの製造技術開発が今後必要である。

4－3．総合的評価

当初の予定どおり、研究を多方面にわたって発展させ、フォトニック結晶研究で世界的な研究拠点を作りあげた。研究開始当時に提案した多くの課題をかなり予定どおり実現し、さらに新しい視点形成に成功している。若手、民間企業における人材育成でも力量を発揮しており、我が国において重要な研究活動をリードした。

本CREST終了後も、継続して発展させられる研究環境を支援することが重要である。