

研究課題別中間評価結果

1. 研究課題名: 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

2. 研究代表者名: 野田進(京都大学工学部 教授)

3. 研究概要

本研究チームの第一の目標は、本プロジェクトが開始する直前に開発に成功した完全3次元結晶内部に発光体や欠陥を人為的に導入することで、完全フォトニック結晶による発光や光伝播制御の様子を系統的に調べるとともに、様々な光機能を備えた革新的な極微小光デバイス・回路の実現の基礎を築くことにある。第2の目標は、研究代表者自身の提案になる新しいデバイス: 2次元フォトニック結晶レーザおよび2次元結晶の欠陥による光子の捕獲と放出現象に基づく機能デバイスをより詳細に検討し、原理のさらなる実証を行うとともに、デバイスとして十分な特性をもつところまで展開することにある。

これまでの成果としては前者では完全バンドギャップ効果の実証、後者では偏光制御2次元フォトニック結晶レーザ、及び2次元フォトニック結晶導波路を用いた分合波デバイスの実現があげられる。

4. 中間評価結果

4-1. 研究の進捗状況と今後の見込み

本研究チームは京都大学、産業技術総合研究所、横浜国立大学の3グループで構成され立派な成果が挙げられている。例えば、完全3次元フォトニック結晶の研究に関しては、本チームは他機関の追従を許さず、他はマイクロ波や赤外等長波長領域に留まっている状態である。またフォトニック結晶における欠陥エンジニアリングは学問的に深い領域から応用上有益な領域まで幅広く含んでおり、他の機関も試みてはいるが本チームに比較して理論的基礎も弱い。2次元フォトニック結晶半導体レーザ及び2次元フォトニック結晶を用いた受動光導波路と欠陥構造の研究など、いずれも世界をリードしている。特に2次元レーザに関わる他の機関での研究は本チームの研究に触発された形となっている。コンパクトなチームであるが、企業の研究者及び大学の基礎的研究を担当するグループを包含して、応用、基礎の両面をカバーし効率的な運用がなされている。

4-2. 研究成果の現状と今後の見込み

研究全般について極めて優れた成果を挙げており特に以下の研究が傑出している。1) 3次元フォトニック結晶の作製技術確立し、バンドギャップが完全に開いていることを実証したこと、2) 自然放出光の制御を実証し、各種欠陥構造の実現と評価を行ったこと、3) 2次元フォトニック結晶応用レーザの低しきい値化、モード制御に成功したこと、さらに欠陥エンジニアリングにより多波長ドロップ効果デバイス(分波器)の発案と機能の実証を行ったこと、4) 2次元フォトニック結晶における面内ヘテロ構造概念の導入と波長フィルタの実現、5) スーパープリズムの理論展開である。

2次元フォトニック結晶における面内ヘテロ接合の概念は全く新しく、当初予想しなかったものである。本概念はOpticsの分野で学術的な貢献を多く含んでいるのみならず、応用上極めて優れた要素を含んでおり、今後のフォトニック結晶技術の基本特許となるので重要である。

4-3. 今後の研究に向けて

研究途上のテーマも多いが順調に成果が出ており、それぞれに具体的な進め方の目標を持っていて問題はない。即ち現在本チームでは、1) 3次元フォトニック結晶については多層化、Q値の増大、2) 2次元レーザについてはモード制御、位相シフト構造、欠陥結合型構造、3) 面内ヘテロ構造の展開、4) フォトニック結晶と外部との接続等、光チップ、半導レーザ等への応用を念頭に置いて着実に計画されており、この進め方でよい。

4-4. 戦略目標に向けての展望

3次元フォトニック結晶に関しては特に科学的なインパクトは大きい。2次元フォトニック結晶に関してはさらに産業的なインパクトが非常に大きく、光集積回路の小型化、高集積化のみならず、新しい光デバイス開発に大きな期待が持たれ、光通信分野での波及効果が期待できる。いくつもの新しいコンセプトを提唱し、フォトニック結晶エンジニアリングともいうべき新技術を開拓しており今後さらに大きく発展する可能性がある。特に2次元フォトニック結晶におけるヘテロ構造の概念のアイデアは今後半導体とのアナロジーから見て大きな発展が見込まれる。

4-5. 総合的評価

この分野の研究は日本をはじめアメリカ、ヨーロッパにおいても急速に研究が展開しているが、本研究チームの成果は世界最高水準を維持している。当初計画に沿った研究のみならず、研究の途中で発生した新たな方向への展開も興味深い。例えばフォトニック結晶を利用したヘテロ構造の応用などはフォトニック結晶の新しいパラダイムを形成する可能性を有している。このような展開は研究当初の基礎となる理論の形成と、それに基づいた実験の遂行といった研究手法の成果である。また、3次元フォトニック結晶による欠陥エンジニアリングに基づく機能デバイス、集積回路の実現には、発光デバイスの制御、電流注入などまだ多くの技術的課題を残しており、今後息の長い研究を必要とする。しかしこの部分は学問的にもインパクトの大きい成果が期待されており、今後の研究のサポートについても格別の配慮をする価値がある。