

審査の結果の要旨

論文提出者 タンデーシーヌラット アニワット

フォトニック結晶は波長程度の微小領域で光を制御するための基本構造として非常に注目を集めており、フォトニック結晶中に欠陥を導入することにより、欠陥領域に非常に強く光を閉じ込めて Q 値の高い光共振器を実現できる。本論文は「Design of Photonic Crystals by FDTD Method and Fabrication of High-Q Three-Dimensional Photonic Crystal Nanocavities (有限差分時間領域法によるフォトニック結晶の設計と高 Q 値 3 次元フォトニック結晶ナノ共振器の作製に関する研究)」と題して、高 Q 値 2 次元、及び 3 次元フォトニック結晶ナノ共振器の設計と作製について論じており、8 章から成り、英文で書かれている。

第 1 章では、「Introduction (序論)」と題して、フォトニック結晶の研究分野の発展とを論じた後、本研究の意義と目的を示している。

第 2 章では、「Basis for Theoretical Analysis of Photonic Crystal」と題して、フォトニック結晶に関する基礎原理について概説している。特に本論文で取り扱う三角格子、及び正方格子配列 2 次元フォトニック結晶と 3 次元ウッドパイル型フォトニック結晶に関する基礎について詳しく議論している。

第 3 章では、「Finite-Difference Time-Domain Method」と題して、フォトニック結晶の設計に用いられた有限差分時間領域法(FDTD 法)の基礎について概説している。本章においては FDTD 法を利用したときにフォトニック結晶ナノ共振器の設計において重要な指標である、共振周波数、電界分布、共振器 Q 値、及びモード体積の求め方について特に詳しく議論している。

第 4 章では、「Increase of Q Factor in Photonic Crystal H1-Defect Nanocavities after Closing of Photonic Bandgap with Optimal Slab Thickness」と題して、フォトニックバンドギャップが消滅する厚い 2 次元フォトニック結晶スラブにおいても H1 型ナノ共振器における単極モードの Q 値が上昇することを理論、実験両面から明らかにしている。高 Q 値という観点における最適スラブ厚は共振器内に閉じ込められる光の波長と等しいことを示すとともに、最適なスラブ厚からなる共振器において、横方向への強い光の閉じ込めはフォトニックバンドギャップによる影響ではなく、共振器モードと導波モードとの弱い結合を起源としていることを論じた。スラブ厚の最適化による Q 値の向上という概念は、スラブ厚は分子線エピタキシャル成長法(MBE)や有機金属化学気相成長法(MOCVD)を利用して非常に高精度に制御できるという点から作製上、非常に優位な特徴を有している。

第 5 章では、「High-Q Doubly-Degenerated Modes by Modulating Air Hole Radii in Square Lattice Photonic Crystal Nanocavity」と題して、第 4 章で議論されたモード間の結合強度に関する概念を、面内方向の

みではなく、面垂直方向にも拡張させ、正方格子フォトニック結晶を用いた2重縮退モードを有する半径変調型フォトニック結晶ナノ共振器について議論している。運動量空間でのモード解析により、設計した共振器構造における共振器モードは導波モード、及び放射モードとの結合が著しく抑制されていることを明らかにし、モード体積 V が小さく非常に高い Q 値を有するフォトニック結晶ナノ共振器を設計することに成功した。また、この概念をフォトニックバンドギャップ形成が難しい低屈折材料に適用できることも示し、コロイド状発光体を含む低屈折率材料を用いたフォトニック結晶ナノ共振器を作製し、光励起によりフォトニック結晶欠陥に起因する発光増強の観測に成功した。

第6章では、「**Designs of High-Q Nanocavities in Three-Dimensional Photonic Crystal with Finite Structural Size**」と題して、高 Q 値3次元ウッドパイル型フォトニック結晶ナノ共振器の設計について論じ、電磁界解析により、3次元フォトニック結晶中に導入された長方形型点欠陥に起因する高次の局在モードは、低次のそれに対し非常に大きな Q 値を持つことを示した。さらに、欠陥付近の誘電体柱の位置をほんのわずかに変化させるだけで、1桁以上の Q 値の上昇が見込めることを発見した。

第7章では、「**Fabrication and Characterization of High-Q Three-Dimensional Photonic Crystal Nanocavities**」と題して、マイクロマニュピュレーション技術を用いた量子ドットを埋め込んだ3次元フォトニック結晶の作製と評価について論じている。欠陥構造を有する21層積層結晶において、8,600という非常に高い Q 値が得られた。これは現在に報告されている3次元フォトニック結晶に関する Q 値としては最高値である。

第8章は「**Concluding Remarks**」であり、各章の主要な研究成果をまとめて総括し、本論文の結論及び将来展望について述べている。

以上これを要するに、本論文は、フォトニック結晶の設計について論じ、バンドギャップがない場合でも高い Q 値を有する微小共振器を実現できることを明らかにするとともに、マイクロマニュピュレーション技術を用いて量子ドットを埋め込んだ3次元フォトニック結晶を作製し、3次元フォトニック結晶ナノ共振器としては世界最高 Q 値を実現したものであり、電子工学に貢献するところが少なくない。

よって、本論文は、博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。