

審査の結果の要旨

論文提出者 付 嘉鵬

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 and Fabrication of Three Dimensional Photonic Crystal for Guiding and Localization of Light (光導波・局在機能を有する三次元フォトニック結晶の設計と作製に関する研究)」と題して、3次元フォトニック結晶を用いた光集積回路の実現に向けて、その基本要素デバイスである導波路の単一モード化および光共振器の高 Q 値化に適した構造を論じたものであり、7章から構成され、英文で書かれている。

第1章では、「Introduction」と題して、フォトニック結晶を有する光集積回路に関する背景を論じた後、本研究の目的を示している。

第2章では、「Basis Concepts and Research Progress of Photonic Crystal」と題して、研究を理解するために必要なフォトニック結晶の基本的な物理を概説している。

第3章では、「Plane-Wave Expansion Method and Finite-Difference Time-Domain Method」と題して、本論文で使用する計算方法である平面波展開法と有限差分時間領域法の基礎を概説している。

第4章では、「Design of Large-Bandwidth Single-Mode Operation Waveguides in Silicon Three-Dimensional Photonic Crystals Using Two Guided Modes」と題して、シリコン3次元フォトニック結晶の設計が報告されている。線欠陥の幅を最適化することにより、2つの導波モードでフォトニックバンドギャップの $\sim 98.7\%$ を単一モードにすることが可能であることを示した。さらに、層の厚さを最適化することにより、単一モード化をフォトニックバンドギャップのほぼ全範囲に拡張することができることが明らかになった。単一モード利用可能な周波数の広帯域化は、3次元フォトニック結晶素子において弾力な設計を可能にするものであり、将来の3次元フォトニック回路に向けて有用な特性である。

第5章では、「Design of Nanocavity in Three-Dimensional Woodpile Photonic Crystal with Vertically Mirror-Symmetric Structure」と題して、ウッドパイル構造フォトニック結晶共振器の Q 値の向上に向けて、新たに鏡面对称ウッドパイル構造を有するフォトニック結晶共振器を提案し、その共振器特性を議論した。その結果、鏡面对称ウッドパイル構造フォトニック結晶共振器においては、 1.7×10^5 の Q 値を得ることができる。これは同じサイズを有するウッドパイル構造フォトニック結晶共振器比較して、3.6倍の Q 値のである。本研究で開発された構造では、一点条件下では、他のフォトニック結晶共振器と比べ、より小さな構造容積で Q 値を向上させることができることが明らかにされた。

第6章では、「Fabrication and Characterization of Nanocavity in Mirror-Symmetric Three-Dimensional Photonic Crystal」と題して、第5章に示されている鏡面对称ウッドパイルは共振器の Q 値の影響を明らかにする実験について議論している。鏡面对称ウッドパイル構造と通常のウッドパイル構造を有するナノ共振器構造について、それぞれマイクロマニピュレーション技術を用いて作製し、光学的評価を行った。その結果、25層の鏡面对称ウッドパイル構造フォトニック結晶共振器においては、通常のウッドパイル構造フォトニック結晶共振器上回る高い Q 値を実現することができ、第5章で得られた数値計算による設計の有効性を示すことができた。

第7章では「Conclusions and Future Outlook」と題して、各章の主要な研究成果を総括し、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、3次元フォトニック結晶を用いた光集積回路の実現に向けて、その基本要素デバイスである導波路の単一モード化および光共振器の高 Q 値化に適した構造をそれぞれ提案し、その有効性を数値解析により明らかにするとともに、実験的にも可能性を示したものであり、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。