

審査の結果の要旨

氏名 田尻 武義

伝搬方向や偏光状態に依らず光の存在が禁止される周波数帯域「完全フォトリックバンドギャップ(cPBG)」を有する三次元フォトリック結晶(3D PC)は、光と物質の相互作用の高度制御や高密度三次元光集積回路への応用などが期待されている。作製技術の進展に支えられ、3D PC 中の光導波路や光共振器やナノ共振器レーザなどの機能性素子が個別に実現されてきた。一方、3D PC の特徴を活かした様々な応用のためには、これらの各種光学素子の一体集積化とそれを可能にする 3D PC プラットフォームの実現が求められている。本論文は「**Study on Fabrication of Three-Dimensional Photonic Crystals using Plate-Insertion Method and their Applications**」と題して、マイクロマニピュレーション法におけるプレート差込型積層方式を提案するとともに、それを用いた 3D PC の大型化と 3D PC への発光源と光導波路の同時集積とその光回路動作の実証、およびプレート積層方式で実現可能な新たな構造について論じており、全 7 章から構成され、英文で執筆されている。

第 1 章では、「**Introduction**」と題して、3D PC を用いた光集積回路の実現へ向けた先行研究を紹介した後、本研究の目的と論文の構成を示している。

第 2 章では、「**Fundamentals of photonic crystals**」と題して、フォトリック結晶の物理、特に 3D PC における cPBG と結晶欠陥の導入による機能化に関してその基礎を概説するとともに、PC の数値解析手法の概略が述べられている。

第 3 章では、「**Three-dimensional photonic crystals with large in-plane sizes**」と題して、従来のマイクロマニピュレーション法における課題を論じ、3D PC の大型化に向けた取組の一つとして、大面積プレートを用いた 3D PC の作製とその評価について報告している。3D PC の体積を約 5 倍にすることに成功するとともに、大型化の効果による特性改善の結果として 3D PC ナノ共振器では最高となる Q 値 $\sim 66,000$ を達成している。

第 4 章では、「**Plate-insertion method for three-dimensional photonic crystals with a large number of layers**」と題して、マイクロマニピュレーション法におけるプレート差込型積層方式の提案と実験実証、本方式を用いた 3D PC のさらなる体積

向上に向けた取り組みが報告されている。プレートを溝に差し込みながら積層する本方式では積層数の大幅な向上が期待される。従来積層方式に比べて約 2 倍の層数にあたる 63 層からなる 3D PC の実現に成功しており、プレート面積の拡大とあわせて、3D PC の 10 倍程度の大型化が達成されている。また、本手法を用いた 3D PC ナノ共振器レーザの実現についても論じられている。

第 5 章では、「Three-dimensional photonic crystals integrating optical waveguides and light sources」と題して、プレート差込積層型方式を用いて、光導波路と発光源・レーザの 3D PC への同時集積化とその光学特性評価の実験結果が報告されている。まず、共振器構造を用いた発光源と一本の直線導波路を一つの 3D PC への集積化について、その設計と実験結果が示されている。つづいて、ナノ共振器レーザと二本の直交する直線光導波路の 3D PC へ集積化について、その設計と実験結果が示されており、3D PC 内で発生したレーザ光の三次元的な光導波の実験実証に成功している。これらの成果は、3D PC 中に光源と導波路の同時集積を世界に先駆けて成功したことを示すものである。

第 6 章では、「Design of novel three-dimensional photonic crystals」と題して、プレート積層で作製可能な新たな 3D PC 構造とその光学特性の探求が行われている。前半では、二種類のプレートの積層で作製可能な 3D PC 構造について、面内方向の光閉じ込め効果の向上の可能性が議論されている。また、後半では、空間群の違いに注目した構造探索による、cPBG の短波長化に有意な高次バンドに広帯域 cPBG を有する 3D PC 構造の発見とプレート積層によるその実現可能性について論じている。

第 7 章では「Conclusion and future prospects」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、三次元フォトニック結晶の大型化を可能にする一手法としてマイクロマニピュレーション法におけるプレート差込型積層方式を新たに提案し、それを用いて光導波路とレーザが集積された三次元フォトニック結晶光回路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、本論文を博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。