

審査の結果の要旨

論文提出者 張 奉鎔

光情報伝送技術と電子回路技術を融合した光電子集積回路は、次世代のデータセンターにおける光配線技術などへの応用として有望である。特に CMOS 作製技術に立脚したシリコンフォトニクスは、その光集積回路を実現する技術として期待されており、シリコンをベースにした光デバイスに関する研究が盛んに行われている。しかしながら、シリコンは間接遷移半導体であるため発光効率極めて低く、光源材料としては III-V 族化合物半導体を用い、化合物半導体レーザをシリコン導波路に結合する研究開発が望まれる。特に量子ドットレーザは低い発振閾値と高い温度動作安定性を有することから高密度集積、低消費電力光源に適している。近年、ウェハ融着法を用いて化合物半導体レーザをシリコン導波路上に構築する技術の開発がなされてきている。しかしながら、優れた性能を持つ量子ドットレーザをシリコン導波路上に実現した報告は今までなされてこなかった。

本論文は「Study on Hybrid Silicon Evanescent Quantum Dot Lasers (シリコン上エバネッセント型ハイブリッド量子ドットレーザに関する研究)」と題し、光集積回路の光源に向けた、シリコン導波路と結合した量子ドットレーザに関して論じており、全 7 章から構成され英文で書かれている。

第 1 章は「Introduction」と題し、シリコンフォトニクスと光源デバイスの研究動向、そしてシリコン上の量子ドットレーザの研究動向について概説し、研究背景および本論文の構成について論じている。

第 2 章は「Fundamentals of Quantum Dot Lasers」と題し、量子ドットの特性とその作製方法及び量子ドットレーザの低閾値特性と高温動作安定性を述べ、量子ドットレーザがシリコンフォトニクスの光源として適していることを論じている。

第 3 章は「Design of Evanescent Quantum Dot Laser」と題し、シリコン導波路と結合した量子ドットレーザの設計について論じている。最初に、最大利得を得るためのシリコン導波路の構造について述べている。次に、最大の光結合効率を得るための光モード変換構造の設計方法が述べられている。最後に、レーザ共振器を構成するため、分布ブラッグ反射鏡と分布帰還型レーザ構造について一定条件下でその最適設計を論じた。これらは、シリコン導波路上に回折格子を施すことで実現できることを述べている。

第 4 章は「Fabrication of Evanescent Quantum Dot Laser」と題し、シリコン上エバネッセント型量子ドットレーザの作製方法について論じている。最初の部分は、シリコン導波路と回折格子の作製について述べている、実際作製と評価により、第 3 章での回折格子の設計と実際作製した回折格子の特性が一致することを示している。次に、量子ドットレーザ構造膜のシリコン導波路基板への転写方法として、直接ウェハ融着法と GaAs 基板除去プロセスについて述べている。最後に、量子ドットレーザ構造膜の転写後、シリコン導波路に削ってリッジ型の量子ドットレーザの作製方法について述べている。各作製プロセス中の課題に対する解決法について論じている。作製プロセスの中での課題であった、GaAs 基板の側壁の除去、フォトレジストマス

クの接着力の改善、選択的なメサ構造の作製、そして回折格子の保護方法について、その解決方法が論じられている。これらの方法でシリコン導波路上の量子ドットレーザの作製方法を確立している。

第5章は「Evanescant Quantum Dot Lasers with Distributed Bragg Reflector」と題し、分布ブラッグ反射鏡を持つシリコン導波路上に構築した量子ドットレーザの特性について論じている。前半部分は、最初の実証としてシリコン導波路上の量子ドットレーザのパルス駆動について論じている。100°Cを超えるレーザ発振を実現している。この動作温度はシリコン導波路上のレーザの動作温度の中で最高特性であり、量子ドットが持つ高温動作特性による結果である。また、スペクトルの評価結果とシリコン導波路からの発光観測により、シリコン導波路上の分布ブラッグ反射鏡によるレーザ共振器の構成とシリコン導波路からの光出力を明らかにしている。後半部分は、メサ幅を細くした量子ドットレーザで室温連続発振と90°Cまでの連続発振を実現している。

第6章は「Single mode Evanescant Quantum Dot Lasers」と題し、第3章で設計した分布帰還型構造の量子ドットレーザの特性評価について論じている。利得領域中の回折格子とウェハ融着法を用いて、シリコン導波路上に分布帰還型量子ドットレーザを作製し、室温において単一モード発振を実現している。

第7章は「Conclusions」と題し、各章の主要な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、シリコン上のエバネッセント型ハイブリッド量子ドットレーザの設計手法や作製プロセスについて論じるとともに、シリコン導波路上に分布帰還構造を有するハイブリッド量子ドットレーザを作製し、単一モード発振や高温動作を達成することにより、シリコンフォトニクスにおける高効率光源としての有効性を実証したものであり、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。