

論文審査の結果の要旨

氏名 勝見 亮太

本博士論文は集積量子フォトニクスについて研究したもので、9章からなる。第1章は、イントロダクションであり、研究背景、研究の目的、本論文のアウトラインについて述べられている。単一光子源についての先行研究を中心に量子フォトニクスの研究背景についてまとめられており、特に、本論文の対象である半導体量子ドットの研究について記述されている。集積量子フォトニクスの実現に向けて、量子ドットの単一光子光源を光集積回路上に組み込むことの重要性が述べられており、単一光子の導波路への結合効率、単一光子源と光集積回路との互換性、量子ドットの本質的な不均一性の3つの課題があることを指摘している。研究の目的として、転写プリント法を用いた新たな集積手法を探求することで上記の課題を解決する旨が述べられている。

第2章は量子ドット及びフォトニック結晶に関する基礎的な知見について述べられている。共振器による量子ドット発光効率の増大を生むパーセル効果について、また、光子統計による光の量子性の評価法についてまとめられている。

第3章は量子ドット単一光子源の高効率な導波路結合に関する理論的研究について述べられている。電磁波解析シミュレーションにより、量子ドットからの単一光子を99%以上の高率で導波路に結合することが可能な構造をデザインできることが示されている。量子ドットと導波路の位置ずれに対するロバスト性についても議論されている。

第4章は転写プリント法によるハイブリッド集積について述べられている。転写プリント法によりフォトニック結晶中の量子ドット光子源をピックアップしてGaAs光導波路上に配置する実験を行い、70%以上の結合効率を実現している。また、2つの単一光子源を一つの光導波路上に集積させることにも成功している。本章では、本研究で用いるナノファブリケーションの詳細についての詳細についてもまとめられている。

第5章は量子ドット単一光子源をシリコンCMOS光集積回路上にハイブリッド集積する実験について述べられている。量子ドットの単一光子源をドライエッチされたCMOS光集積回路のガラス表面上に転写プリントすることに成功し、ハイブリッド集積されたチップを冷却して単一光子発生していることを強度相関関数の計測 ($g^{(2)}(0)=0.30$) で確認している。また、導波路への結合効率がおおよそ70%であることも実証している。

第6章はシリコンCMOS光集積回路上の量子ドット単一光子源の発光波長を制御する技術について述べられている。転写プリント法で光駆動の熱パッドを導入することで、量子ドットの発光を熱的に制御し、0.9 nmの範囲で発光波長をシフトできることを実証している。これにより、将来的にオンチップ2光子干渉の実現が可能となることを指摘している。

第7章はフォトニック結晶ミラーを導入することで、結合された単一光子をシリコン導波路から1方向に出力する技術について述べられている。サブ波長回折格子構造を導波路に採用することで、99%以上の効率で1方向出力が可能であることをシミュレーシ

ョンで示している。実験による検証を行い、74%の出力効率を実現したと評価している。

第 8 章はファイバーピッグテール型の量子ドット単一光子源がハイブリッド集積されたシリコン CMOS チップについて述べられている。通信波長帯の量子ドット単一光子源をファイバーピッグテールシリコン CMOS チップに転写プリントしたデバイスを作製し、パーセル効果による量子ドットの発光効率の増大を確認している。InP によるフォトニック結晶量子ドット光源の作製技術についても述べられている。

第 9 章は本論文の結論および展望について述べられている。

転写プリント法を用いて集積量子フォトニクス複数の課題にアプローチした研究であり、博士論文として質、量ともに優れたものである。学問分野の背景と課題の整理が適切になされており、また、シミュレーションおよび実験による課題へのアプローチと結果の考察も十分に行われていると評価した。なお、本論文第 3 章は太田泰友、岩本敏、荒川泰彦、第 4 章は太田泰友、角田雅弘、岩本敏、荒川泰彦、第 5 章、第 6 章は太田泰友、長田有登、田尻武義、山口拓人、角田雅弘、岩本敏、秋山英文、荒川泰彦、第 7 章は太田泰友、田尻武義、角田雅弘、岩本敏、秋山英文、荒川泰彦、第 8 章は太田泰友、田尻武義、岩本敏、秋山英文、J. P. Reithmaier、M. Benyoucef、荒川泰彦との共同研究であるが、論文提出者が主体となって研究を行ったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

したがって、博士（理学）の学位を授与できると認める。