

## 審査の結果の要旨

論文提出者 ケルマン ジョン オユイン

本論文は“Compact photonic crystal cavities and microdisk InGaAs LEDs for on-silicon monolithic light sources (シリコン上のモノリシック光源に向けた省面積フォトニック結晶共振器と InGaAs 微小ディスク LED の研究)”と題し、シリコン基板上にモノリシックに成長・形成した InGaAs 微小ディスクを、集積化光源として機能させるための新たな光共振器の設計と、電流注入発光の実証を行った結果について英文で纏めたもので、6章より構成されている。

第1章は序論であって、研究の背景、動機、目的と、論文の構成が述べられている。

第2章は“InGaAs-on-Si”と題し、本研究で用いるシリコン基板上の有機金属気相エピタキシー(MOVPE)による InGaAs の選択成長について述べている。まず III-V 族化合物半導体をシリコン上に集積化する種々の方法について概観した後、III-V 族化合物半導体をシリコン基板上に結晶成長する際の問題点、それを解決するために本研究で用いる微小チャンネル選択成長技術について論じている。続いて、同選択成長における InAs と InGaAs の役割について述べた後、MOVPE 成長プロセスの実際について記載している。次に同成長で形成される InGaAs 微小ディスクの形状を論じ、最後に CMOS 集積回路とのコンパチビリティを論じている。

第3章は“InGaAs-on-Si NIR LED”と題し、前章の InGaAs 微小ディスクの上に近赤外(NIR)発光ダイオード(LED)を試作したことにつき述べている。まず LED 化に必須の n 型および p 型ドーピングが、成長にどのような影響を及ぼすか調べている。ドーピングを行うと、所望の単結晶ディスクの他に多結晶ディスクが発現する。そのサイズの統計的分布を調べて、最適な成長条件を見出している。次に、実際の微小ディスク pn 接合ダイオード構造を作製し、サイズの統計的分布を観察している。次に電極プロセスを経て素子化した微小ディスクの電流電圧特性を測定評価している。

続いて、本論文の中核である電流注入による発光特性(LED 動作特性)について詳しく評価考察している。シリコン基板上の InGaAs 微小ディスクの LED 動作に初めて成功し、波長 1.6~1.9  $\mu\text{m}$  での発光を観測した。電流光出力特性の観察から、量子効率の注入電流依存性を抽出し論じている。終わりに、微小ディスクダイオードの光検出器(フォトダイオード)としての動作を測定している。

第4章は“Photonic crystals”と題し、微小ディスクのような限られた領域でのフォトニック結晶共振器の解析方法を論じている。フォトニック結晶一般について述べた後、フォトニックバンドギャップ、フォトニック結晶スラブ、光閉じ込めと共振器構造、Q 値について論じ、モデリング手法と解析手法の実際について述べている。

第5章は“Photonic crystal cavity design and optimization”と題し、微小ディスク上のフォトニック結晶共振器の設計と最適化について論じている。まず対象とするディスクの大きさおよび能動領域の構造、最適化すべき性能指数を設定・定義している。次に微小ディスクで高い Q 値を実現するためのハイブリッド共振器構成を提案し、実際の解析を行っている。新たに考案した最適化手法に依拠して共振器を設計し、微小ディスク内であっても、十分高い Q 値の光共振器が構成できることを理論的に示した。さらに共振周波数、ガラスクラッド、モード選択性、出力導波路との結合についてもそれぞれ考察を加えている。

第6章は結論であって、得られた成果を総括するとともに将来展望について述べている。

以上のように本論文は、シリコン基板上に MOVPE 選択成長で形成した InGaAs 微小ディスクを初めて電流注入発光ダイオード動作させることに成功すると共に、新たな設計手法を開発して、微小ディスクの限られた面積の中でも十分な Q 値を持ったフォトニック結晶共振器が実現可能であることを理論的に示し、将来の光電子集積回路用モノリシックマイクロレーザへの道筋を拓いたものであって、半導体光デバイス工学への貢献が少なくない。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。