

審査の結果の要旨

論文提出者 ダルジャ ジェッシー

本論文は, "Monolithically Integrated DFB Laser Array by MOVPE Selective Area Growth for Coarse WDM Systems (選択 MOVPE によるモノリシック集積化低密度波長分割多重 DFB レーザーアレイに関する研究)"と題し, 有機金属気相エピタキシー(MOVPE)における選択成長技術を活用した低密度波長分割多重(CWDM)光通信用の $1.55\mu\text{m}$ 帯広波長間隔 DFB レーザーアレイ集積回路の設計, 試作, 特性測定評価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"Selective area MOVPE"と題し, 本研究の基盤となる InP 基板上の InGaAsP 混晶半導体の選択成長技術について述べている. まず, モノリシック光集積回路における能動/受動集積の選択成長以外の技術との比較を行った後, 本研究では受動領域との集積化の観点から広幅選択成長技術を取り上げたことが説明されている. 次に $15\mu\text{m}$ の選択成長領域に対し異なる幅の誘電体マスクを配置することで, 1420nm から 1587nm の範囲でバンドギャップ波長を変化させられることが示された. またマイクロフォトルミネッセンス測定により, 能動領域から受動領域への遷移領域長が $150\sim 200\mu\text{m}$ であることが明らかになった. 最後に, デバイスの小型化に向けた広幅マイクロアレイ選択成長の可能性について述べている.

第3章は"Design of active and passive components"と題し, 以下の章のアレイ集積素子で用いられる分布帰還型(DFB)半導体レーザと多モード干渉(MMI)カプラの理論と設計について述べている. 結合モード理論の簡単な説明の後, 縦単一モード化のための非対称端面コーティング, 四分の一波長位相シフト構造, 利得結合構造について論じている. 横モード解析・伝達行列解析を通じて, 本研究で対象とする DFB レーザの結合係数が $50\sim 60\text{cm}^{-1}$ になることが予測された. さらに MMI カプラの原理が述べられ, それに基づいて以下の章で用いる 1×4 MMI カプラが設計されている.

第4章は"Fabrication and characterization of integrated CWDM DFB laser array"と題し, 本論文の中核をなす章で, 2, 3章の結果を適用し実際に $1.55\mu\text{m}$ 帯の CWDM 用 20nm 間隔 4チャンネル DFB レーザーアレイの作製を試みたことに関し詳しく論じている. まず初めに電子線描画による多波長回折格子の作製技術につき述べ, 続いて DFB レーザーアレイの実際の作製方法を詳細に記述している. 次に, 試作された典型的な DFB レーザの静特性の測定評価結果を報告している. 4つの波長チャンネルでの閾値電流の平均値はそれぞれ $57.1, 56, 7, 62, 98.4\text{mA}$ となり, 第4チャンネルが若干高めになっているものの, 選択成長の採用により全ての波長チャンネルが実用的な閾値電流を有することが実証された. また四分の一波長位相シフト構造により, 全てのチャンネルで $30\sim 40\text{dB}$ の副モード抑圧比が得られ, 最大では 45dB に達したことが述べられている. パウリハッキ法による解析から, 閾値近傍でのモード利得及び線幅増大係数は各々, 40^{-1}cm , $3\sim 4$ と求められた. これらの結果は, 選択成長により一括作製された異波長 DFB レーザーアレイの要素レーザのそれぞれが, 実用上十分な性能を有することを証明するものである.

第5章は"Fabrication and characterization of integrated CWDM DFB laser array with MMI coupler"と題し, 4章の DFB レーザーアレイと 3章の MMI カプラに基づく CWDM 多波長光源光集積回路を設計, 試作, 測定評価した結果について論じている. まず集積光源の試作プロセス技術について述べ, 次に試作した直線受動光導波路の損失係数を測定した結果が記されている. アンダーモードの場合で $10\sim 15\text{dB/cm}$, p ドープの場合で $25\sim 30\text{dB/cm}$ にのぼることが明らかにされ, 本集積回路の制限要因になることが指摘された. 続いて試作された 1×4 MMI カプラの分岐/合波特性の評価が行われ, 設計通りの性能の得られていることが確認された. さらに全ての要素レーザを同時に励起したところ, 集積光源の単一の出力ポートから $1521.3, 1541.6, 1564.1, 1580.6\text{nm}$ の出力光が同時に観

測され、当初目的とした CWDM 4 波長チャネルの同時発振が達成された。さらに良好な動作のためには熱クロストークと反射の低減が必要であることも同時に示された。

第 6 章は結論であって、本研究で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、広波長間隔の多波長 DFB レーザアレイ活性領域を MOVPE 選択成長技術によって単一回の結晶成長で形成することに取り組み、成長技術、デバイス試作技術の向上・最適化を通じて実際に 1.55 μm 帯 CWDM 4 波長 DFB レーザアレイを試作することに成功し、さらに 4 波長合波器との集積化を行って広波長間隔の 4 波長同時発振を達成したもので、電子工学分野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。