

審査の結果の要旨

論文提出者 アブドゥッラー アルアミン

本論文は, " Research on Monolithic Integration of WDM Subsystem on InP (WDM サブシステムの半導体モノリシック集積化に関する研究) "と題し, 有機金属気相エピタキシー(MOVPE)選択成長に基づくアレイ型光集積回路の設計, 試作および特性評価を行った結果について英文で纏めたもので, 7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. 近年の光通信の普及発展に伴って, 光通信デバイスのモノリシック集積回路化は益々重要な課題になっている. 本論文の目的は, MOVPE における選択成長技術に依拠した能動素子アレイと受動素子アレイすなわちアレイ導波路格子(AWG)との集積化により, 波長多重(WDM)ネットワークに必要な機能デバイスを提供せんとするものである.

第2章は"Monolithically-integrated WDM channel equalizer"と題し, WDM ネットワークにおける動的利得等化器の必要性, 同利得等化器のいくつかの実現方法について論じた後, 本研究で目指すモノリシック集積化波長多重チャンネル等化器の概要について述べている.

第3章は"Selective-area MOVPE for array of active devices"と題し, 光集積化のいくつかの異なるアプローチを比較した後, 本研究における光集積回路作製の基盤となる選択MOVPE 技術自体について論じている. まず, 選択成長においてアレイ状マスクの幅を変化させた際の成長層の膜厚, 組成, フォトルミネッセンス(PL)波長を, 主に気相中での原料種の横方向拡散を考慮してシミュレーションによって決定する手法を確立した. 次に, 同技術を適用して実際に選択成長を行い, シミュレーションの妥当性を検証するとともに, 選択成長パラメータの最適化を行って結晶品質の向上を図っている. アレイマスクを用いた場合は, 波長 $1.55\ \mu\text{m}$ 帯で 180nm と通常よりも大きな PL ピーク波長シフトが得られることがわかり, 能動/受動集積に適することが確認された.

第4章は"Optimization of passive waveguides"と題し, 光集積回路で用いる受動光導波路の低損失化について論じている. ここでは, 高屈折率差のハイメサ構造を導波路に用いるため, その低損失化が重要である. 導波路の等価屈折率, 伝搬損失, 側壁荒れによる散乱損失を理論的に検討した後, 実際にハイメサ導波路をドライエッチングにより形成し, 追加的なウェットエッチング処理により散乱損失を低減できることを明らかにした. また, 能動ローメサ導波路とハイメサ受動導波路を低損失で結合する二段エッチ構造を提案・実証している.

第5章は"Compact semiconductor arrayed waveguide grating demultiplexer"と題し, 本研究で集積化に用いる AWG の試作と評価結果について論じている. 選択成長から出発する作製プロセスを確立し, 新たなドライエッチング技術を含むプロセス技術の詳細について

て述べた後、4章に論じた低損失化手法を基に、受動導波路部のキャップ層をエッチングすること、導波路幅を $2\mu\text{m}$ から $3\mu\text{m}$ に拡大すること、リソグラフィ技術を向上すること等を通じ、損失を 13dB/cm 程度まで下げること成功した。これにより規模の大きい回路の作製が可能になり、32チャンネル、波長間隔 100GHz のAWG合分波器チップを試作して、 20dB 以下のクロストーク、 22dB 以下の挿入損失を達成している。チップサイズもハイメサ導波路を利用しているため、 $4.8\text{mm}\times 2.2\text{mm}$ と極めて小さい。偏光依存性、縦続接続性の評価も本章で行われている。

第6章は"Realization of integrated dynamic channel equalizer"と題し、AWGと能動アレイ素子の集積化を実際に行って、モノリシック動的利得等化器を試作した結果について論じている。まず直列型とループ型の二種類の動的利得等化器のマスク設計を行った後、2章から5章の結果に基づいて、設計した素子の試作に臨み、単一回のMOVPEによる利得等化器集積回路の作製に世界で初めて成功した。SOAアレイ部のゲート動作を測定評価し、注入電流を0から 100mA に変える間で 40dB の消光比が得られること、アレイ内のSOA間で特性が均一であることが実証された。さらにループ型の素子も試作し、AWG2段の縦続接続性が確認され、またSOAへの電流注入により利得を最大 12dB 調整することができた。クロストークの低減によりこの値は向上できることが示された。

第7章は結論であって、本研究で得られた成果を総括している。

以上のように本論文では、MOVPE選択成長によってアレイ能動素子、アレイ受動素子をInP基板上に一括集積する技術を確立し、同時に受動素子の伝搬損失低減法を検討した。これらを応用して比較的規模の大きいAWGとSOAアレイの単一結晶成長によるモノリシック集積光回路を作製し、WDM利得等化器としての動作を実証して、InP基板上の高度な光サブシステム実現への端緒を開いたもので、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。