

## 審査の結果の要旨

論文提出者 ASAWAMETHAPANT Weerachai

本論文は、波長多重(WDM)光通信において重要な多波長アレイ半導体レーザ光源の新しい作製技術に関する研究と、それを適用し実際に5波長利得結合分布帰還型レーザアレイを試作した結果について英文でまとめたもので、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。分布帰還型(DFB)半導体レーザの発振波長は、多くの因子に影響されるため、作製前に決定することができない。これを解決するため「発振波長トリミング」技術が提案されたが、従来技術では十分なトリミング量が得られない、トリミングによって発振特性自体が変化するなどの問題点があった。本論文は、これらの問題を解決するために、光誘起超格子無秩序化による発振波長トリミング技術を新たに提案するものである。

第2章は「Fabrication of Gain-Coupled DFB Laser with InGaAs Absorption Grating」と題し、本論文で用いるInGaAs吸収性回折格子型 $1.55\ \mu\text{m}$ 帯利得結合DFBレーザの設計と試作方法について論じている。同型のDFBレーザは、劈開端面反射が存在しても発振モードが阻止帯の短波長側に必ず現れるために、多波長アレイ化する際の波長不確定性を減ずるに有効である。電流対光出力(L-I)特性に非線型性を生じさせないための吸収性回折格子の組成ならびにデューティー比の最適化を実験的に図るとともに、多波長アレイ向けの異ピッチ回折格子の電子線露光技術を新たに開発している。以上より、多波長利得結合DFBレーザアレイを作製する基盤が固められた。

第3章は「Wavelength Trimming Using Photo-Absorption-Induced Disorder of Superlattice」と題し、活性層近傍に屈折率調整用InGaAsP超格子層を導入し、その光誘起無秩序化によって発振波長トリミングを行うという新たな手法の提案を行っている。まず超格子からのフォトルミネッセンス波長が第二高調波パルスYAGレーザ照射によって大きく変化することを確認した後、実際の利得結合DFBレーザに対しYAGレーザの照射エネルギー、照射パルス回数、サンプルの温度を変化させながら、L-I特性の変化と発振波長シフト量を観察した。その結果、照射エネルギー、照射パルス回数、サンプル温度いずれも、その増加とともに波長シフト量が大きくなったが、ある照射エネルギーを越えると、閾値電流の上昇を招くことがわかった。閾値電流変化自体も発振波長シフトを生むため、超格子無秩序化による効果のみを取り出すには、閾値電流の増加を抑制する必要があることが示された。

第4章は「Theoretical Analysis of Optical Properties of Interdiffused Superlattice Trimming Layer」と題し、3章の実験結果を説明する理論解析について論じている。拡散モデルを仮定して波長トリミング後の超格子の屈折率変化と吸収係数スペクトルを計算し、超格子の無秩序化と波長シフトの関係を解析している。その結果、超格子でIII族原子だけの拡散が起これば、超格子のバンドギャップ波長が長波長側へシフトし、波長 $1.55\ \mu\text{m}$ での屈折率が大きくなるとわかった。従って、波長トリミングによりDFBレーザの発振波長が長波長側にシフトすることになる。それに対して、超格子層で同時にV族原子も拡散し始めると、逆に短波長側へシフトすることが予測された。実験結果との比較から、実際にはIII族原子の拡散が主であると結論している。

第5章は「Fabrication and Wavelength Trimming of Multiple Wavelength Gain-Coupled DFB Laser Array with a Superlattice Trimming Layer」と題し、新たな発振波長トリミング技術を適用して実際に多波長利得結合DFBレーザアレイを作製した結果について述べている。レーザ用InGaAsP多層構造は、有機金属気相エピタキシャル成長を用いてInP基板上に作製した。活性層としてはバンドギャップ波長 $1.55\ \mu\text{m}$ の0.9%圧縮歪InGaAsP多重量子井戸(井戸、障壁ともに10nm厚)が用いられている。トリミング用超格子と活性層の距離は250nm、超格子層の井戸/障壁組成は活性層量子井戸と同じである。ただし、超格子層の井戸/障壁厚はそれぞれ3nmであって、バンド

ギャップエネルギーとしては活性層のそれに対し十分大きくなっている。

まず、波長間隔0.8nm (100GHz)の3波長利得結合DFBレーザアレイを作製した。波長トリミングによって第1および第3チャンネルレーザの発振波長を長波長側にシフト・調整し、波長間隔0.8nmの3波長アレイを得ることに成功した。しかし、閾値電流の増加、発光効率の低下などの課題が残った。これを解決するため、パルスYAGレーザの照射条件を個々のチャンネルに対し適切に変えて5波長アレイの作製に臨んだ。その結果、波長トリミング前後で、すべてのチャンネルに対し閾値電流の変化のない、波長間隔0.8nmの5波長利得結合DFBレーザアレイを作製することに初めて成功した。

第6章は「Optimization of Structure of GC-DFB Laser for Larger Wavelength Trimming Range」と題し、本研究で得られた波長トリミング量をさらに拡大する方策について論じている。超格子層の屈折率変化によるDFBレーザ導波路全体の等価屈折率変化を2次元モード解析により求めた結果、波長トリミング量拡大のためには超格子層と活性層量子井戸の距離を短縮することが有効であるとわかった。また、超格子の構造に関しては、井戸層組成をInGaAsとし、かつ圧縮歪を導入すると効果のあることが明らかになった。

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は、WDM光通信用多波長アレイ光源に向けて、光誘起超格子無秩序化による発振波長トリミング技術を提案し、その理論解析と実験による最適化を行うとともに、多波長回折格子の電子線描画技術を開発した。さらにこれらの技術を実際に適用して、波長間隔0.8nm (100GHz)の1.55 $\mu$ m帯5波長利得結合DFBレーザアレイの作製に成功したもので、電子工学分野に貢献するところ少なくない。

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。