

氏 名	木 戸 口 勲
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	論 工 博 第 3598 号
学位授与の日付	平 成 13 年 7 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 2 項 該 当
学 位 論 文 題 目	AlGaInP 系赤色半導体レーザの高性能化に関する研究

論文調査委員 (主 査) 教 授 藤 田 茂 夫 教 授 北 野 正 雄 教 授 野 田 進

論 文 内 容 の 要 旨

近年の情報化社会の急速な進展は、情報の処理、伝送、記憶・記録などのハードウェア技術の飛躍的発展によるところが大きい。なかでも、記憶（メモリ）装置の高密度化・大容量化は著しく進展しており、将来とも情報量の増大とともに益々高密度化技術が追求されるものと考えられている。光ディスクメモリーは、アクセス時間が比較的短く、安価なことから、大容量のメモリーデバイスとして音声や画像の記録に適している。しかしながら、光ディスクの大容量化には、記録システム中の光源となる半導体レーザの短波長化はもとより、低雑音化や高出力化などの高性能化技術の開発が必須とされている。

本論文は、高密度光ディスクシステム、すなわち、デジタル・ヴァーサタイル・ディスク（Digital Versatile Disc: DVD）システムの鍵となる光デバイスである AlGaInP 系赤色半導体レーザ（発振波長：650 nm）の低雑音化、高出力化技術を開発することを目的としている。この目的を達成するため、低雑音化に対して有効な手段となる自励発振型レーザの設計・製作を行うとともに、高出力化に不可欠な駆動時の横モードの安定化と端面破壊レベルの向上のための新しい素子構造やプロセス技術の確立を目指して研究した結果を纏めたもので、以下の7章からなっている。

第1章は序論であり、研究の背景として DVD 用 AlGaInP 系赤色半導体レーザ開発の歴史的展開を述べるとともに、高密度光ディスク光源として解決すべき課題を抽出して、本研究の目的と位置づけを明確にしている。

第2章では、安定な自励発振特性を有する赤色半導体レーザを得るために、可飽和吸収層を結晶成長によって作製した新規な構造を提案している。この構造におけるレート方程式による解析により、可飽和吸収層のキャリア寿命を短くすること、さらに、キャリア寿命を短くするために可飽和吸収層への高濃度の不純物ドーピングが効果的なことを明らかにしている。また、単一歪量子井戸からなる可飽和吸収層を作製し、励起光強度依存性や時間分解フォトルミネッセンス等の光学的評価を行い、伝導型による吸収層の挙動やドーピングによるキャリア寿命の低減効果について調べ、p 型の高濃度ドーパ可飽和吸収層が自励発振レーザに適していることを明らかにしている。

第3章では、前章で明らかにした理論的予測や光学的評価結果をもとに、p 型でかつ $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上の高濃度ドーパ可飽和吸収層を採用することで、60°C という高温でも安定で、従来見られなかった良好な自励発振特性を示すレーザが得られ、低雑音化が図れることを示している。また、60°C、5 mW での信頼性試験において、1000時間以上安定に動作することを確認し、このデバイスが実用レベルにあることを示している。

第4章と第5章では、高出力赤色半導体レーザの横モード安定化や、端面破壊レベル向上を目的として、電子サイクロトロロン共鳴（Electron Cyclotron Resonance: ECR）プラズマを用いたプロセス技術について述べるとともに、実際にレーザを試作して、横モードの不安定性や端面破壊レベルの低下といった課題が解決できることを明らかにしている。まず、リッジストライプ形状の非対称性に起因する横モード不安定性の解決のために、塩素ガスをベースとしたドライエッチングを用いている。そして、化学反応に寄与する中性ラジカルと、反応生成物を物理的にスパッタするイオンの比率の制御に着目して、塩素ガスに窒素ガスを添加することによって、塩素の中性ラジカル密度が低減出来ることを見出している。この結果をもとに、塩素と窒素の混合ガスを用いて AlGaInP 四元混晶のエッチングを行い、表面モフォロジーが良好で対称かつ垂直

なりリッジ形状が得られることを確認している。次いで、金属ターゲットと反応ガスを原料とする反応性 ECR スパッタにおいて、レーザの高出力化に必要な非対称コートの高反射膜を形成する誘電体材料として TiO_x を採用し、高屈折率、低光吸収の誘電体膜の形成技術を確認している。この技術の開発により、光吸収に起因する端面破壊レベルの低下の問題を解決できることを明らかにしている。

第6章では、50 mW 超級の高出力レーザ実現のために、反射率反導波構造を提案している。この構造を用いることで、基本横モードの安定性の向上と同時に、内部損失の低減により外部微分量子効率が増大することを明らかにしている。

第7章は結論であり、本研究で得られた結果を纏めて要約するとともに、高密度光ディスク用光源として、自動発振特性と高出力特性を併せ持つ自動発振型高出力赤色半導体レーザ実現に向けての技術的課題を論じるとともに、将来展望として本研究で得られた成果に対して、他材料半導体レーザへの展開についても論じている。

論文審査の結果の要旨

650 nm 帯 AlGaInP 系赤色半導体レーザは、DVD (digital versatile disk) など、光ディスクの高密度化・大容量化に必須のデバイスであるが、応用に際しては赤色半導体レーザの低雑音化や高出力化などの性能向上が課題であった。本論文は、このような赤色半導体レーザにおいて、自動発振型のレーザ構造の設計・作製を行ない、低雑音化を実現すること、および、横モードの安定化と端面破壊レベルの低減化を可能とする新しいプロセス技術の開発を通して高出力化を達成することを目的として研究した結果を纏めたもので、得られた成果の主なものは次の通りである。

1. 安定な自動発振特性を有する AlGaInP 赤色半導体レーザを作製するために、極薄の可飽和吸収層をレーザのクラッド層に挿入する新しい構造を提案している。このような可飽和吸収層を有するレーザにおいて、吸収層がレーザの自動発振特性に及ぼす効果を解析するとともに、p 型でかつ $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上のキャリア濃度をもつ吸収層の挿入により、60°C という高温でも安定した自動発振を示す AlGaInP 系レーザダイオードが実現できることを実証し、低雑音化という課題に対して可飽和吸収層の有効性を明確に示している。
2. AlGaInP 系材料のドライエッチングや誘電体反射膜を堆積する方法として、通常利用されている反応性スパッタリングに対して、電子サイクロトロン共鳴プラズマを用いたスパッタリングプロセス技術を開発し、赤色半導体レーザの高出力化に不可欠な横モード安定化や端面破壊レベルの向上を達成している。
3. 基本横モードの安定性の向上と内部損失の低減による外部量子効率の増大を可能とする屈折率反導波構造を新たに提案している。この構造の採用によって 50mW 超級の高出力赤色半導体レーザを実現している。

以上を要するに本論文は、AlGaInP 系赤色半導体レーザの低雑音化や高出力化など、高密度光ディスクへの応用において必須の課題を、新しい素子構造や新しいプロセスの採用によって解決へ導き、光ディスクの高密度化・大容量化技術の確立に大きく貢献したもので、得られた成果は学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成13年5月24日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。