

氏 名	早 川 利 郎 はや かわ とし ろう
学位の種類	工 学 博 士
学位記番号	論 工 博 第1739号
学位授与の日付	昭 和 59 年 9 月 25 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 5 条 第 2 項 該 当
学位論文題目	Reliability and Mode Control of (GaAl)As Visible Semiconductor Lasers (GaAl)As 可視半導体レーザの信頼性とモード制御)
論文調査委員	(主 査) 教 授 松 波 弘 之 教 授 川 端 昭 教 授 佐 々 木 昭 夫

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、基本構造としてストライプ型二重ヘテロ接合をもち、可視領域で発振するガリウム・アルミニウム・砒素 ((GaAl)As) 半導体レーザの信頼性とモード制御に関する研究をまとめたもので、6章から成っている。

第1章は序論で、半導体レーザの発展の歴史と本研究の位置づけを論じて本研究の意義と目的を明確にし、さらに本論文の構成について述べている。

第2章においては、発振波長が 880~760 nm の範囲にある従来型の酸化膜ストライプレーザの性能劣化機構の解明と高信頼化について検討している。820 nm 以上の波長域では半導体共振面近傍の結晶内部に発生した暗黒欠陥が、820 nm 以下の短波長域では大気に露出している共振面の酸化が原因して劣化することを、顕微鏡写真、電子線励起電流像、およびオージェ電子分光の解析結果から明らかにしている。この共振面の酸化は酸化アルミニウム保護膜を堆積して抑制できることを実験的に見いだしている。さらに、レーザ素子の電極形成ならびにマウント工程の改善がレーザの高信頼化のために重要であることを指摘している。通常、接着に用いるろう材がレーザ動作時にレーザ素子や銅製ヒートシンクと固相反応を起こしてレーザの劣化の原因となるが、モリブデン薄層を半導体および銅の間に挿入してこれを防止している。また、モリブデンの酸化によるろう材のぬれの悪さを解決するために、その表面に金薄層を堆積している。これらの改善によって、発振波長 835 nm の半導体レーザの25℃における推定平均寿命 190万時間を達成している。

第3章においては、新たに開発した VSIS (V-channeled substrate inner stripe) レーザの構造ならびに基本特性を論じている。電流閉じ込め用ストライプとつくりつけの光導波路が半導体内で自動的に位置合わせされる構造を実現するために、P形ガリウム・砒素を基板に用いる VSIS レーザの構造が最適であることを述べている。波長 780 nm において、しきい値電流 40 ± 5 mA を達成、出力 5 mW の連続発振で25℃における推定平均寿命 110万時間の高信頼性を得ている。また、発振出力 20 mW に至るまで、基本横モードと単一縦モード動作が再現性よく達成できた結果を信頼性テストの結果とともに示している。

さらに、このような高性能をもつレーザは従来のテリリウム添加のn形基板を用いる構造ならびにその製作工程では実現困難であることを、フォトルミネセンス法などの材料評価の結果から明らかにしている。

第4章においては、750 nm 以下の波長で発振する VSIS レーザの基本特性について述べている。発振波長の短波長化に伴うしきい値電流の上昇が小さく、波長 690 nm においても 100 mA の低い値を得、さらに 688 nm で室温、連続発振動作を得ている。ついで、しきい値電流の発振波長依存性が、理論的に計算できる内部量子効率の逆数の波長依存性とよく一致することを見いだしている。しきい値電流 I_{th} の温度係数 $I_{th}(350K)/I_{th}(300K)$ が波長 750 nm 以下のレーザで増加するが、これは、レーザ素子の活性層からクラッド層へのキャリアの洩れを考慮したモデルで説明できること、および、短波長域ではクラッド層が間接遷移型バンド構造をとるためにキャリアの洩れが多くなって温度係数が増加することを見いだしている。さらに、レーザ素子の接着に用いるろう材や銅製ヒートシンクの熱収縮の際に活性層へ応力がかかりレーザ劣化の原因となるが、レーザ素子の基板およびキャップ層の厚みの最適設計によってこの応力が低減できることを理論計算によって明らかにし、実験的に検証している。この結果、波長 740 nm の VSIS レーザで、50℃、5 mW 連続発振動作において数千時間の寿命を得、信頼性を向上している。

第5章においては、二重ヘテロ接合構造と光導波層を合わせもった大型光共振器付き VSIS レーザを試作して、波長 780 nm のレーザのモード制御の可能性について検討した結果を論じている。遠視野像の温度依存性から、横モードをきめるレーザ素子内光導波機構はつくりつけの屈折率と利得分布に依存して変化するが、屈折率導波型と利得導波型とに明確に区別できることを見いだしている。縦モードについては、高い光出力の場合に、屈折率導波型素子は単一モードで、利得導波型素子は多モードで発振することを明らかにしている。

第6章は本研究の成果をまとめた結論である。

論文審査の結果の要旨

最近、波長 700 nm 近傍の可視半導体レーザは、オーディオ・ディスク・プレーヤやレーザ・プリンタなどの各種の情報処理システムの光源として利用されはじめ、そのために、低しきい値電流で発振し、基本横モードで動作し、かつ、高い信頼性をもつレーザの開発が要求されている。本研究は、これらの要求を満足させるために、新たに開発したガリウム・アルミニウム・砒素 ((GaAl)As) レーザの信頼性とモード制御に関するもので、得られた成果の主なものは次の通りである。

1. 従来型の酸化膜ストライプレーザにおいて、820 nm 以下の短波長域で発振するレーザの劣化が大気に露出している半導体の共振面の酸化に起因していること、および、この劣化は共振面に酸化アルミニウムの薄い保護膜を堆積することによって抑制できることを見いだしている。また、レーザ素子を接着するろう材が半導体や銅製のヒートシンクと固相反応することによって生じる性能劣化をモリブデンの極薄層を挿入することによって解決し、半導体レーザの長寿命化、高信頼化をはかっている。

2. 新しい構造の VSIS (V-channeled substrate inner stripe) レーザを開発して、波長 780 nm において発振のしきい値電流 40 ± 5 mA の低い値の実現に成功している。出力 5 mW の連続発振条件で25℃における推定平均寿命 110 万時間の高信頼性を得、また、発振出力 20 mW の高出力に至るまで基本横モ

ードで単一縦モード動作が再現できる良好な性能をもつことを示している。さらに、このような高性能レーザーは従来の構造では実現困難であることを材料評価の結果から明らかにしている。

3. 波長 750 nm 以下で発振する VSIS レーザを製作して短波長化をはかり、690 nm の可視域でしきい値電流 100 mA を達成し、波長 688 nm において室温での連続発振動作を得ている。さらに、レーザー素子を構成する各層の厚さを最適設計することによって、接着用ろう材や銅製のヒートシンクの熱収縮によるレーザー素子への応力が低減できることを、理論と実験の両面から明らかにしている。この改良によって、波長 740 nm のレーザーにおいて、50℃、5 mW の連続発振条件で、従来にはない数千時間の寿命を達成している。

4. 大型光共振器を VSIS レーザに組み込んで光導波現象を観測し、横モードをきめる光導波機構が屈折率導波型と利得導波型に明確に区別できることを見いだしている。縦モードについては、高い光出力の場合、屈折率導波型レーザーは単一モードで、利得導波型レーザーは多モードで発振することを実験的に示している。この結果から、VSIS レーザで光共振器の構造を変えればモード制御が可能であることを明らかにしている。

以上要するに、本論文は可視域で発振する (GaAl)As 半導体レーザーの高信頼化とモード制御の実現に関するもので、学術上、實際上寄与するところが少なくない。

よって本論文は工学博士の学位論文として価値あるものと認める。

また、昭和59年7月20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。