

氏名	尾 江 邦 重 お え くに しげ
学位の種類	工 学 博 士
学位記番号	論 工 博 第 1425 号
学位授与の日付	昭 和 57 年 1 月 23 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	GaInAsP/InP 長波長半導体レーザの研究

論文調査委員 (主査) 教授 佐々木昭夫 教授 高木俊宜 教授 川端 昭

論 文 内 容 の 要 旨

石英ファイバを用いた光ファイバ通信方式は、多くの利点を持っているために、従来から広く研究が進められている。当初、石英ファイバの損失の窓が $0.8\mu\text{m}$ 付近にあったために、この波長で発振をする GaAs/AlGaAs レーザが光ファイバ通信用光源として研究され、実用化されるまでになっている。これに対し、近年、石英ファイバ中に含まれる OH 基の量を減らすことにより、 $1.2\sim 1.6\mu\text{m}$ 波長領域でより低損失となる極低損失光ファイバが開発され、長距離伝送の点から、これらの波長域が有利であることがわかってきた。また、伝送帯域と密接な関係がある石英ファイバの分散は、ほぼ波長 $1.3\mu\text{m}$ で零となり、大容量伝送の点でも、これらの波長域が最適であることが判明し、同波長帯用の半導体レーザの開発が強く要請された。本論文は、この波長帯で発振し、光ファイバ通信用光源として最も有望であると考えられる GaInAsP/InP 二重異種接合ダイオードについて、その結晶成長から素子製作、レーザ発振特性に致る研究結果をまとめたもので、5章から成っている。

第1章は序論であり、長波長光源としての GaInAsP/InP レーザの重要性を明らかにしている。まず、光伝送方式における長波長半導体レーザの位置付けについて述べ、これまでの研究経過について触れている。また、四元系混晶としての、この混晶の特徴について述べ、他の材料に対する長所が記されている。

第2章では、結晶成長に使用した液相エピタキシャル法について述べている。まず、使用した基板の評価、液相成長実験系、材料や基板の処理法などについて述べた後、GaInAsP 成長をどのように進めていったかを明らかにしている。飽和法により (100) 面 InP ソース結晶に対して求めた液相線は、(111) 面 ソース結晶に対して求めたものと異なっていること、また、この液相線を使って成長させた固相も基板面方位の影響を受けていることなど、本研究で初めて明らかとなった結果について述べている。

第3章は、このレーザを構成している GaInAsP/InP 二重異種接合の機械的性質について述べている。活性層の GaInAsP 層が、InP 閉じ込め層と異なった格子定数を持っているとき、GaInAsP 格子がどの

ような格子変形を受けるかについて求め、また、格子不整合とミスフィット転位の有無の関係について調べている。ミスフィット転位のできない格子不整合の範囲は広く、この GaInAsP 格子は、界面に平行な方向の格子定数を InP に等しく保つようにテトラゴナルに変形し、非常に柔軟性に富んでいることがわかった。

第4章では、GaInAsP/InP レーザの製作とその特性について述べている。まず、このレーザで最も重要な点である P 側抵抗性電極の問題を、GaInAsP キャップ層を用いることにより解決し、 $1.3\ \mu\text{m}$ の室温連続発振レーザを世界で最初に得た結果について、その発振特性、しきい値電流の温度特性と共に述べている。また、高温度発振のための埋め込み型レーザの製作方法と、その発振特性についても述べ、埋め込み型レーザが特に優れた性質を持つことを明らかにしている。次に、 SiO_2 スパッタ膜を Zn 拡散用マスクに使用して製作したプレーナ・ストライプ型・レーザの発振特性が、ストライプ幅にどのように依存しているかを調べた。この依存性は GaAs/AlGaAs レーザで報告されているものと大きく異なること、その原因は、プロセス中の歪の影響がこのレーザでは大きいこと、また $15\ \mu\text{m}$ 幅のレーザで、片面 $22\ \text{mW}$ の光出力まで横基本モード発振をすることなど、高性能の素子が得られた結果について記している。さらに、狭ストライプ幅レーザの特性に特に悪い影響を与えるこのプロセス歪を軽減するために、InP エピタキシャル膜を Zn 拡散用マスクとする新しいプロセスを開発し、レーザ製作に応用した結果、狭ストライプ幅レーザの発振特性が改善されたこと、これらの特性は、活性層中に注入されたキャリアの導波効果に基づくものとされている理論解析でよく説明されること、などについて述べている。この章の最後に、本研究で製作したレーザを使って行った光ファイバ伝送実験において、単一姿態・ファイバ伝送実験およびグレーデッド・インデックス型多重姿態・ファイバ伝送実験でも、このレーザが長距離大容量伝送用光源として良好な特性を示した結果について述べている。

第5章は、本研究の結論であり、この GaInAsP/InP 長波長レーザが光ファイバ通信用光源として、優れた性質をもつことを中心として、本研究により明らかとなった成果について述べている。

論文審査の結果の要旨

光ファイバ通信が可能になるためには、室温連続発振の行い得る半導体レーザが必要である。本研究は、光ファイバの伝送損失の低い長波長帯すなわち $1.3\ \mu\text{m}$ 帯における GaInAsP/InP 半導体レーザの基礎研究に関するものである。GaInAsP/InP 系の結晶成長、材料物性、プロセス技術に関して得られた基礎的知見を基にして、GaInAsP/InP レーザの室温連続 $1.3\ \mu\text{m}$ 発振に世界で初めて成功している。本研究で得られた主な結果は次のようである。

1. 液相成長法により、InP 基板上に GaInAsP 混晶を成長させるとき、飽和法により求めた液相線および混晶の固相組成が基板の面方位に関して依存性を持つことを明らかにした。この液相線の面方位依存性は、新しい概念であり、GaInAsP/InP 系ばかりでなく、他の異種エピタキシャル成長系についても存在するものと考えられ、液相成長における重要な現象の存在を指摘した。

2. GaInAsP/InP 二重異種接合における GaInAsP 混晶の格子変形の様子、およびミスフィット転位と格子不整合の関係を調べ、以下のことを明らかにした。GaInAsP 層と InP 層間の格子定数（成長層表

面に垂直方向)の不整合が 5×10^{-3} 以下のときは、異種接合界面にミスフィット転位は観測されない。また不整合がそれ以上で、 6.4×10^{-3} 以下の範囲では、ミスフィット転位の有無にかかわらず、GaInAsP 層の格子はテトラゴナルに変形して、横方向の格子定数を InP の格子数にはほぼ等しく保つように留まっていることを証明した。この事実は、GaInAsP 格子が柔軟性に富んでいることを示しており、この GaInAsP /InP レーザが長寿命であることと関連して興味ある事実を明らかにした。

3. GaInAsP/InP レーザの作製プロセス技術の中で特に困難とされる P 型抵抗性電極に対する問題を、GaInAsP キャップ層を初めて導入することにより解決し、低抵抗で再現性のよい抵抗性電極の得られることを示した、この結果、100 mA 前後の電流しきい値を持ち、外部微分量子効率60%以上の室温連続発振のレーザを得た。

4. Zn の拡散用マスクに SiO₂ スパッタ膜を使用して作製したプレーナ型ストライプ・レーザでは、作製工程中に受ける歪の影響が、GaAs/AlGaAs レーザよりも大きいこと、15 μm ストライプ幅のレーザで高性能素子の得られたことを示した。

5. 狭いストライプ幅のレーザの作製プロセス歪を軽減するために、InP エピタキシャル膜を Zn 拡散用マスクとする新しいプロセスを開発し、良好な発振特性を持つ狭ストライプ・レーザを得た。

6. この GaInAsP/InP レーザを用いて、単一姿態ファイバ、ならびにグレーデッド・インデックス型多重姿態ファイバ伝送実験では、それぞれ 1.6 G bit/s の信号を 13 km, 32 M bit/s の信号を 62.3 km 伝送し得ることを示し、長距離大容量伝送用光源として使用し得ることを明らかにした。

以上、本研究は、GaInAsP/InP 系異種接合界面ど持つ液相成長の機構と、関連する物性を明らかにしたばかりでなく、GaInAsP/InP レーザが光ファイバ通信用光源として用いることができることを示した。このように本研究は学術上、實際上寄与する所が少なくない。よって工学博士の論文として価値あるものと認める。