

氏名	うめ ぶ いて お 榎 生 逸 雄
学位(専攻分野)	博士(工学)
学位記番号	論工博第3029号
学位授与の日付	平成7年9月25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	光通信用発光および受光デバイスの性能向上に関する研究

論文調査委員 (主査) 教授 佐々木昭夫 教授 松波弘之 教授 藤田茂夫

論文内容の要旨

本論文は、光通信用 $0.8\mu\text{m}$ 波長帯の AlGaAs 発光ダイオード(LED)、および $1\mu\text{m}$ 波長帯の InGaAsP LED、レーザダイオード(LD)、InGaAs/InP アバランシホトダイオード(APD)などの性能向上に関して研究したもので、6章から成る。

第1章では、本研究の背景、目的、および各章の内容と成果の概要を述べている。

第2章では、 $0.8\mu\text{m}$ 波長帯 AlGaAs LED に対して、主要特性の理論的、実験的研究およびデバイス作製技術の研究を行った。キャリア濃度、シングルヘテロおよびダブルヘテロ(DH)構造、電流密度が LED の周波数特性、発光スペクトル、光出力などに及ぼす影響を理論的に解析した。従来の大部分の解析は、p型領域への電子の注入のみを考慮に入れて行われていた。本研究では電子・正孔両者の注入を共に考慮して解析を行った。作製した LED で理論計算結果と実験結果の比較検討を行い、両者が良く一致することを確認した。デバイス作製技術に関しては、 $10^4\text{A}/\text{cm}^2$ の大電流密度に耐える低接触抵抗 p 型電極の実現(比接触抵抗: $5 \times 10^{-6}\Omega\text{cm}^2$) および $0.8\mu\text{m}$ 波長に対して不透明な GaAs 基板の化学的除去法を確立した。以上の研究結果により設計理論を確立し、高性能化の指針として低欠陥で高飽和濃度の不純物を用いること、構造は DH とすること、光の反射率の高い p 型電極を用いる必要のあることを明らかにした。これらの成果により光出力 6mW、遮断周波数 30MHz の性能を実現した。

第3章では、 $1\mu\text{m}$ 波長帯 InGaAsP LED に関して結晶評価技術、周波数特性、光出力などの解析およびデバイス作製技術の研究を行った。結晶評価技術では、LED 用結晶の光励起発光強度と LED の光出力の対応関係を研究した。励起光強度と LED の電流密度を同程度にすることにより、ウェハの状態ですれから作られる LED の光出力を予測することを可能とした。デバイス作製技術に関しては前章同様 p 型電極を研究し、低比接触抵抗を実現した ($5 \times 10^{-6}\Omega\text{cm}^2$)。これらの成果により、光出力 3mW、遮断周波数 40MHz の性能を実現した。本波長帯 LED 特有の光出力-電流の飽和特性の原因はヘテロ障壁へのキャリア漏洩であること、漏洩キャリアはオージェ再結合過程(CHCC 過程)により生成されることを示した。漏洩キャリアを再結合させる層を備えた LED を提案し、20% 光出力の向上が期待できることを示し

た。

第4章では、 $1\mu\text{m}$ 波長帯 InGaAsP 埋込み型レーザの性能低下の主要因である電流漏洩の研究を行った。従来は、LD の等価回路を用いる電氣的な解析であった。本研究では、電氣的特性と発光特性を組み合わせる新しい簡便な解析法を提案し、実験で検証した。電流漏洩箇所 の推定、漏洩電流の大きさなどを明らかにした。漏洩電流を低減する方法として、p 型 InP クラッド層抵抗の低減を提案し、微分量子効率が2倍以上改善されることを計算で示した。

第5章では、Ge APD より低雑音が期待されていた InGaAs/InP APD の研究を行った。雑音特性は InP 倍増層の特性で決定されるため、InP の結晶成長と InP 中のキャリアのイオン化率の評価の研究を行い、雑音特性を考察した。結晶成長に関しては、蒸気圧の高い不純物を用いざるを得ない p 型 InP の研究を行った。不純物 (Cd) の液相成長溶液からの散逸機構の解明、Cd の実効分配係数の決定、および Cd の不純物単位や InP 中のキャリアの拡散長などの物性値の決定を行った。これらの成果をもとに階段接合型のダイオードを作製し、キャリアのイオン化率を光増倍法で評価した。その結果、信頼性の高いキャリアのイオン化率を得た。雑音特性を計算したところ、Ge APD と比べて 1.4 倍 (増倍: 30) の信号対雑音比の向上が可能であることを示した。

第6章では、本研究で得られた成果を要約している。

論文審査の結果の要旨

本論文は、光通信用 $0.8\mu\text{m}$ 波長帯の AlGaAs 発光ダイオード (LED)、および $1\mu\text{m}$ 波長帯の InGaAsP LED、レーザダイオード (LD)、InGaAs/InP アバランシホトダイオード (APD) の性能向上に関する研究結果をまとめている。得られた主な成果は次の通りである。

1) LED 高性能化のために、周波数特性と光出力を理論的に導き、AlGaAs LED では光出力 6mW 、遮断周波数 30MHz を、InGaAsP LED では同 3mW 、 40MHz を実現した。

2) InGaAsP LED の光出力-電流特性における飽和の原因が、ヘテロ障壁層へのキャリアの漏洩であることを明らかにした。これをもとに再結合層を2層もつ構造を提案し、光出力を 20% 向上させ得ることを示した。

3) LED の高電流密度 ($10^4\text{A}/\text{cm}^2$) 動作に必須の低比接触抵抗の電極作製条件を明らかにし、AlGaAs、InGaAsP LED 共に $5 \times 10^{-6}\Omega\text{cm}^2$ を実現した。

4) 活性層埋め込み型レーザの性能低下の主要因である電流漏洩の解析法を提案し、実験で検証した。閉込め層の抵抗を減少して電流漏洩を低減する方法を提案し、2倍以上の効率向上が可能であることを示した。

5) p 型 InP の液相成長において、不純物 Cd の実効分配係数、Cd の不純物単位および InP 中のキャリアの拡散長などの物性値を決定した。

6) 受光デバイスの雑音特性を支配する InP 中のキャリアのイオン化率を検討した。これにより、InGaAs/InP APD は、従来使用されていた Ge APD と比較して 1.4 倍以上の信号対雑音比向上が可能であることを示した。

以上、本論文は光通信用発光および受光デバイスの性能向上に関する研究を行い、新しい解析法の提案と高性能化の指針を与えるもので、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7年7月4日、論文内容とそれに関連する事項について試問を行った結果、合格と認めた。