

審査の結果の要旨

論文提出者 板谷 和彦

本論文は、InGaAlPとGaAsのヘテロ接合を利用した、InGaAlP系赤色レーザ並びにGaAs系 $0.8\mu\text{m}$ 帯レーザにおけるデバイスプロセスの簡略化、短波長化、高出力化、高温動作などを研究したものであり、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。

第2章は「InGaAlPとGaAsヘテロ接合における電流-電圧特性の解析」と題し、まず本論文の中心となるInGaAlPとGaAsによるヘテロ接合の特徴を述べ、有機金属気相エピタキシー(MOVPE)による同接合の結晶成長を、界面急峻性の検討を含めて論じている。次に、p-InGaAlPとp-GaAsによるヘテロ接合の電流-電圧特性に関して、1次元シミュレーションによる解析と実験により系統的に考察している。同接合においてはInGaAlPのAl組成に依存して大きな電圧降下が生じること、p-InGaP層を挿入することで飛躍的に電圧降下を低減できることを実験的に見出した。これらはシミュレーションによる解析結果と定量的に一致することから、この電圧降下自体はInGaAlP/GaAsヘテロ接合に存在する価電子帯側の大きなバンド不連続に基づく本質的、不可避なものであることが分かった。

第3章は「InGaAlP/GaAsヘテロバリア電流狭窄(HBB)構造による横モード制御型 $0.6\mu\text{m}$ 帯赤色半導体レーザ」と題し、第2章の結果に基づくInGaAlP/GaAsヘテロバリア電流狭窄構造赤色半導体レーザの試作、特性評価結果について述べている。即ち、p-pアイソタイプヘテロ接合における電圧降下差を内部電流狭窄機構とする初めてのレーザを試作し、簡便なプロセス、低閾値電流、高信頼性を実証して、同構造が半導体レーザの電流狭窄構造として極めて有効であることを示した。また同構造の簡略なプロセスを活用して、 630nm 帯でのInGaAlP赤色レーザを設計、試作し、室温連続発振を実現した。ここで達成された 636nm という発振波長は、1990年当時室温連続発振できた最短の波長であった。

第4章は「HBB構造によるInGaAlP赤色半導体レーザの高出力化の検討」と題し、第3章で有効性の示されたHBB構造による赤色レーザの高出力化について、高信頼化の取組みも含め、論じている。活性層への光密度低減を観点に設計したHBB構造レーザにおいて、横モード制御が維持された状態(キンクフリー)で 43mW の連続動作を実現した。連続動作での 40mW 以上の光出力は、赤色レーザとして当時の最高出力であり、赤色レーザの書き込み用光源としてのポテンシャルを実証した。またこの材料系において、酸化による端面部の劣化モードが存在すること、光密度に依存した劣化要因があることを初めて明らかにした。この結果を基に、 $10\sim 20\text{mW}$ における数1000時間レベルの高信頼性を早期に達成した。

第5章は「Znの選択自己拡散プロセスを用いた窓構造によるInGaAlP赤色半導体

レーザの高出力化の検討」と題し、第4章で得られた光出力レベルを越えるために、InGaAlP系赤色レーザにおける窓構造の検討を行った。n-GaAsキャップ層をZnドープp-InGaAlP上にパターン状に設けることでZnの選択拡散を誘起することが可能であることを見出し、InGaP活性層に形成された自然超格子の無秩序化と組み合わせることで、自己選択拡散型の窓構造レーザが作製できることを示した。InGaAlP材料系における窓構造の有効性を連続動作で示したのは初めてであり、窓構造導入により得られた80mWの連続動作光出力は、狭ストライプ構造の赤色レーザでは当時の最高出力であった。

第6章は「InGaAlP/GaAsダブルヘテロ接合による0.8 μ m帯半導体レーザの温度特性の改善」と題し、GaAsを活性層、InGaAlPをクラッド層とするダブルヘテロ(DH)接合レーザを初めて試作した。第3章と同様に1次元シミュレータにより、GaAlAsクラッド層では実現できない大きなヘテロ障壁を形成することで、活性層からのキャリアのオーバーフローを大幅に低減できることを示した。試作したDH構造により、量子井戸活性層を除く半導体レーザとしては世界最高の、212 $^{\circ}$ Cでの連続発振を実現した。また本DH構造により、GaAsレーザの高温、高注入領域での特性に関しても詳細な検討を行うことができ、高温領域においてもオージェ再結合による非発光過程は顕在化しないことが分かった。またp-クラッド層のキャリア濃度を高濃度化することによって、さらに特性が改善されることを、計算により示した。

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、大きなバンドギャップ差を有するInGaAlPとGaAsとのヘテロ接合に着目し、p-pアイソタイプ接合によって電流狭窄を行う新レーザ構造を提案したほか、不純物であるZnの選択拡散制御窓構造や、大きな障壁のダブルヘテロ活性層構造を研究し、これらの結果をInGaAlP系赤色レーザとGaAs系0.8 μ m帯レーザに適用して、プロセスの簡略化、赤色レーザの短波長化、高出力化、半導体レーザとして未踏の高温動作などを実現したもので、電子工学分野へ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。