学位論文の業績内容の要旨

奨学生番号 : 61706011187

学籍番号 : 35-176043

氏名 : 小松原望

研究科名 : 理学系研究科・物理学専攻

学位論文の業績内容の要旨は以下の通りである。

半導体レーザーは世の中で広く用いられている発光デバイスである。小型、高安定などの利点を有し非常に扱いが容易である。そのような半導体デバイスから直接ピコ秒程度の超短パルスを発生させることは、超短パルスを用いた様々な基礎研究の成果を技術的に応用する足がかりとなり得る。

半導体から超短パルス光を得る手法として利得スイッチングを取り上げる。利得スイッチング は ナノ秒程度の短い電気パルスを注入することでそれより短い数十ピコ秒の光パルスを得る技術で ある。電流による直接変調のみで実現可能であり、複雑な構造を必要としない。基本的な半導体 内部のキャリアダイナミクスを直接反映する物理現象を理解することに繋がる。

利得スイッチング法を用いたパルス発生に関しては古くから研究がなされてきているが、近年の研究において光パルスの立ち上がりは半導体材料の飽和モード利得が、立ち下がりは共振器寿 命が決めているということが報告されている。共振器寿命は半導体レーザーの共振器長を短くすることで光パルスの短パルス化が見込まれる。一方飽和モード利得は光閉じ込め係数を高くすることで高い利得を実現し光パルスの短パルス化を図れることが GaAs 系半導体レーザーの光励起 実験などにより示唆されている。

本研究では応用上重要な電流注入型の1 µm 波長帯 InGaAs 系半導体レーザーの高速化を目的として研究を行った。利得スイッチング用1 µm 波長帯 InGaAs 系半導体レーザーは、先行研究や開 発例が少ないため、設計・試作・評価計測を半導体の基礎物理に立ち戻って進める必要がある。本研究ではモード利得が高くなると期待されるような今までにない新しいデザインのレーザーを試作した。(詳細な構造については機密事項が含まれるため割愛する。)

作製したレーザーデバイスに対して定常電流注入実験を行い閾値電流及び発振効率の見積もりを行った。この際、電流測定実験系は自らデザイン・構築を行った。本研究では様々なパラメータを有する多種多様なレーザー資料を測定することが必要であるため測定者の負担を軽減すべく、電流源・光検出器などの測定装置を同時にコントロールできるプログラムを設計・製作し実験を行った。測定の結果、作製した試料の中には閾値電流が100mAを超え、デバイスとしての運用が難しいものもあったが、共振器長を短くデザインするなどして40mA程度の標準的な閾値を実現し、デバイスの品質の向上を達成することができた。また、閾値電流の系統的なデータから透明電流密度やモード利得などの半導体材料の物性パラメータを見積もることができる。測定の結果、新しくデザインしたレーザーでは従来の構造のレーザーに対してモード利得の増大が確認された。利得スイッチングパルスの短パルス化に直結する結果を得たことを意味する。一方で試料内部での電流広がりによるキャリア注入の非効率性や試料の温度上昇による発光量の低下という課題がみつかった。これらの問題に対しては結晶構造段階の改善あるいは試料のデバイス化の方法改善によって解決が見込まれるような実験結果を得た。

また、試料にナノ秒電気パルス注入を行い利得スイッチング動作を試みたところ最短で 26.5 ps と いうパルス幅を与えた。市販の普及品で同様の測定をしたところ 80 から 200 ps のパルス幅を与え、 本研究において開発したレーザーデバイスの短パルス発生における優位性を示した。

本研究の意義は試料作成方法の錬成及び電流注入測定系の立ち上げを行った点である。さらに量子井戸の多重化の短パルス化における重要性を実験的に示し、今後のさらなる短パルス発生試料作製の指針を得た。

本研究では量子井戸レーザーにおいて光閉じ込め係数の増大は量子井戸の数を増やすことで実現されることに着目し、多重量子井戸半導体レーザーのデザインおよび開発を行った。InGaAs 系材料はGaAs基板に対する格子定数の違いからそのままでは量子井戸層の層数を大きくすることはできない(臨界膜厚)。また、格子欠陥が生じるなど材料の品質低下をまねきやすい。そこで格子定数の小さい GaAsP をバリア層に用いることで 臨界膜厚以上の多重歪補償量子井戸レーザーを作製した。電流注入で は光励起と異なり、電子と正孔の密度を等しく注入できるか否かは自明ではない。よって多重量子井戸の層厚を増やすことで単純に高利得化を実現できるとは限らない。比較のために歪補償を行わずに結晶成長させた3 周期歪量子井戸レーザーの試作も行った(臨界膜厚以下)。