

氏 名	たか 高	やま 山	とおる 徹
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)		
学 位 記 番 号	論 工 博 第 3987 号		
学位授与の日付	平 成 20 年 3 月 24 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	AlGaAs系自励発振半導体レーザの低雑音化と高出力化に関する研究		

論文調査委員 (主 査) 教 授 野 田 進 教 授 藤 田 静 雄 教 授 木 本 恒 暢

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は光ディスクシステムの光源に適した AlGaAs 系半導体レーザの高性能化に関して研究した内容をまとめたものである。特に、光ディスクシステムの光源に応用する際に求められる光出力の低雑音化、低消費電力化、高出力化、低非点隔差化を実現可能な自励発振レーザを中心に研究を行っている。半導体レーザを光ディスクシステムの光源として使用する場合、光ディスクからの反射戻り光による雑音の発生は重大な支障をきたす。別の新たな駆動回路を付加せずに、半導体レーザの雑音発生を抑制するためには半導体レーザにおける自励発振現象を利用すればよい。しかしながら、本研究がなされるまでは、自励発振現象を再現性よく出現させることができる低雑音半導体レーザを作ることが困難であるため、光ディスク産業への応用上、支障をきたしていた。本論文では、まず、自励発振現象を再現性よく得るための新規導波路構造の提案を行うと共に、構造設計技術についての知見をまとめており、半導体レーザの構造設計技術の進展に貢献することができたと考えられる。また、新規導波路構造を用いて低消費電力の自励発振レーザを実現することにより、光ディスクシステムの小型化、低消費電力化といった高性能化にも寄与することができたと考えられる。さらに、記録再生可能な光ディスクに自励発振レーザを用いるために、自励発振レーザの高出力化、低非点隔差化の検討も行っている。各章の内容は以下の通りである。

第1章では、光ディスクシステムに要望される半導体レーザの特性の概要について述べ、本論文への導入としている。第2章では、自励発振レーザを高精度に構造設計するための素子構造設計技術について説明を行っている。自励発振レーザでは、活性層に可飽和吸収体を形成させるために、光分布を活性層に平行な水平横方向に大きく広げる必要がある。この場合、水平横方向に広げた光分布と活性層に注入されたキャリアとの相互作用を正確に考慮する必要がある。そこで、導波路を水平横方向に多重分割し、各領域での相互作用の時間変化をレート方程式により個別に計算することにより、上記相互作用を正確に考慮した光出力の時間変化を計算できる方法を考案している。この結果、導波路の微細な構造変化に対応して、自励発振の有無を見積もることが可能な構造設計技術を実現している。第3章では、自励発振レーザを得るために適した新規導波路構造の提案を行っている。この新規構造が従来の導波路構造に対して、自励発振が得られる構造設計領域が広く、また、導波路損失が小さくなるため、従来の約半分の低動作電流の自励発振レーザを得ることが可能であることを計算結果と実験結果により示している。さらに、記録再生可能な光ディスクに使用することが可能な、高出力自励発振レーザが実現可能であることも、同じく、計算結果と実験結果により示している。第4章では、自励発振レーザの高出力化について検討を行っている。まず、自励発振レーザの100mW以上への更なる高出力化の実現について述べている。高出力動作を得るためには、活性層への光閉じ込め係数を低減し、端面破壊 (COD) する光出力レベルを向上させる必要がある。そこで、活性層にウェル層が3層からなる多重量子井戸構造を用いることにより、光閉じ込め係数の低減と自励発振を得るための可飽和吸収層の形成を両立させる構造の検討を行っている。その結果、低出力では自励発振による低雑音特性を示し、100mW以上の高出力動作可能な高出力低雑音レーザを実現している。このような低雑音高出力自励発振レーザが得られたのは本研究が初め

てである。さらに、高出力状態でも自励発振を維持できる構造について検討を行っている。高出力状態でも自励発振を維持させるために、ウェル数が4層からなる多重量子井戸活性層を用い、電流注入ストライプ幅についての検討を行っている。その結果、電流注入ストライプ幅を $1\mu\text{m}$ 程度に狭めることによりピークパワーが数百mW以上の高出力自励発振レーザを得ることができることを計算結果により示している。構造設計に基づき作製した自励発振レーザではピーク光出力が800mWに達しており、このような高出力自励パルスレーザが得られたのは本研究が初めてである。第5章では、低非点隔差の自励発振レーザについての検討を行っている。非点隔差を低減するために導波路に可飽和吸収層を用いている。実屈折率導波型の導波路構造に可飽和吸収層を用いることにより非点隔差が数 μm 以下の低非点隔差特性を維持しつつ、自励発振を得ることが可能であることを計算結果と実験結果により明らかにしている。構造設計においては、可飽和吸収層の膜厚を10nm一定とした状態で、可飽和吸収層のバンドギャップ波長を量子井戸活性層のバンドギャップ波長に対して $\sim 6\text{nm}$ 長波長側に設定すると発振しきい電流値の大きな増大を招くことなく自励発振を得ることができる結果が得られている。構造設計に基づき作製した素子では、100mW以上の高出力特性、低出力時の自励発振による低雑音特性、 $3\mu\text{m}$ 以下の低非点隔差をすべて満足する特性を得ている。このような低非点隔差の低雑音高出力自励発振レーザが得られたのは本研究が初めてである。第6章では、各章で得られた内容を総括し、本研究で得られた結果をまとめると同時に今後の将来展望について述べている。

論文審査の結果の要旨

本論文は光ディスクシステムの光源に適したAlGaAs系半導体レーザの高性能化に関して研究した成果をまとめたものである。特に、光ディスクシステムの光源に求められる安定な基本横モード発振動作と、光出力の低雑音化、高出力化を同時に実現可能な自励発振レーザに関する研究を行っている。

半導体レーザを光ディスクシステムの光源として使用する場合、光ディスクからの反射戻り光による雑音の発生は重大な支障をきたす。別の新たな駆動回路を付加せずに、半導体レーザの雑音発生を抑制するためには半導体レーザにおける自励発振現象を利用すればよい。しかしながら、従来の半導体レーザでは、安定な基本横モード発振と自励発振を生じる素子構造領域は極めて狭く、自励発振特性の再現性に乏しいことから光ディスク産業への応用上、支障をきたしていた。さらに、従来の自励発振レーザでは光ディスクの記録に必要な高出力まで安定した基本横モード発振を維持することは困難であったために高出力動作時において基本横モード発振を生じる自励発振レーザの報告例はなかった。本論文では、自励発振現象を再現性よく得るための新規導波路構造の提案を行うと共に、自励発振レーザを得るための構造設計技術についての知見をまとめており、今後の半導体レーザの高性能化の進展に貢献することができたと考えられる。本論文で得られた主な知見は次のようにまとめられる。

まず、自励発振レーザを高精度に構造設計するための素子構造設計技術を構築している。自励発振レーザでは、活性層に可飽和吸収体を形成させるために、光分布を活性層に平行な水平横方向に大きく広げる必要がある。この場合、水平横方向に広げた光分布と活性層に注入されたキャリアとの相互作用を正確に考慮する必要がある。そこで、導波路を水平横方向に多重分割した等価屈折率法による光分布計算と、レート方程式による光出力の時間応答解析を組み合わせることにより、自励発振現象を解析できる方法を確立している。この結果、導波路の微細な構造変化に対応して、自励発振の有無を見積もることが可能な構造設計技術を実現している。

次に、本構造設計技術を用い、自励発振レーザを得るために適した実屈折率導波路構造を有する新規導波路構造の提案を行っている。この新構造が従来の導波路構造に対して、安定な基本横モード発振と自励発振を得ることが可能な構造領域が広がることを数値計算と実験結果により示している。

続いて、提案した構造に対し、低動作電流化、高出力化、低非点隔差化の各観点から構造設計を行い素子の作製を行うことにより、(1) 従来の約半分の低動作電流の自励発振レーザ、(2) 100mW以上の高出力動作可能な自励発振レーザ、(3) 非点隔差が $1\mu\text{m}$ 以下であり、かつ100mW以上の高出力動作可能な自励発振レーザを実現することに成功している。

以上、本論文は、自励発振レーザを得るための極めて有効な導波路構造の考案とその構造設計方法を確立し、低動作電流動作と高出力動作可能な自励発振レーザを世界に先駆けて示したものであり、学術上、実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19年11月16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。