

論文審査の結果の要旨

氏名 岡野 真人

半導体量子細線レーザーは、バンド端における状態密度の先鋭化を反映して低閾値発振などの優れたデバイス特性を示すことが期待され、基礎物性物理の観点からも 1 次元電子正孔系の研究舞台として関心を集めてきた。特に近年、成長中断アニール法と呼ばれる成長法の開発により非常に均一性の高い T 型量子細線試料が得られるようになったことを契機として、非ドープ中性の電子正孔系を中心としてその基礎光学物性が明らかにされてきた。一方、実用上重要な電流注入型量子細線レーザーに関しては詳細な物理計測がほとんどなされておらず、レーザー発振の利得機構や 1 次元系の特徴についての理解は得られていなかった。本論文はこのような背景のもと、高品質の電流注入型及び変調ドープ型 T 型量子細線レーザー構造を作製し、細線部へのキャリア注入過程や 1 次元非中性電子正孔系での光学利得の特徴を明らかにすることを旨としたものである。

本論文は全 8 章からなる。

第 1 章は序論であり、T 型量子細線レーザーを中心として低次元半導体構造のレーザーの研究の背景、研究の目的、本論文の構成が簡潔に述べられている。

第 2 章では、T 型量子細線レーザーの構造、作製方法、各種プロセスの詳細、各種光学的及び電氣的測定法の詳細に続いて、利得スペクトルの解析方法、静的プラズマ遮蔽効果を取り入れた半導体ブロッホ方程式に基づく利得スペクトル計算の詳細が述べられている。

第 3 章では、p 型ステム井戸と n 型アーム井戸からなる電流注入 T 型量子細線レーザー(試料 A)の発振特性と利得特性について調べられている。同構造を用いて T 型量子細線としては最高温度 110K での電流注入レーザー発振が達成される一方、外部微分量子効率が 1% 未満と低い値に留まっていることも明らかにされた。その原因は、ステム井戸から注入された正孔がアーム井戸にまで広がりアーム井戸側から注入した電子が細線に至るまでに再結合して消えてしまうためであることが、増幅自然放出光(ASE)の顕微測定によって示された。さらに電流注入時の利得スペクトルの測定から、細線部では正孔過剰の状態にあることなどが解明された。

第 4 章では、試料 A とは逆の n 型ステム井戸と p 型アーム井戸からなる T 型量子細線レーザー(試料 B)の利得特性について調べられている。利得スペクトルおよび顕微 ASE イメージの注入電流依存性から、この試料構造では細線部が電子過剰になっていることが示された。さらに、同構造では低電流域では利得がほとんど生じないこと、注入電流の増加に伴いすぐに利得が飽和することなどの電流注入特性が調べられた。また、バンド構造に起因する細線における電子、正孔それぞれの閉じ込めエネルギーの違いに基き、試料 A、試料 B の利得特性の違いが論じられている。

第 5 章では、n 型ステム井戸と p 型アーム井戸からなる T 型量子細線レーザーに対してバ

イアス電圧を変化させながら光励起光学利得について調べている。電子が僅かに注入された場合に非常に低い閾値でレーザー発振することが見出され、その利得スペクトル形状や温度依存性から荷電励起子利得の可能性が示唆された。

第6章では、中性および非中性電子正孔系における光学利得を定量的に評価するために、非ドープ及びn型変調ドープ単一T型量子細線レーザーに対して行った光励起実験が行われている。ここでは、電子過剰の非中性電子・正孔系において閾値が減少することが見出されている。

第7章では、半導体ブロッホ方程式に基づき中性及び非中性電子・正孔系における光学利得スペクトルの計算を行い、自由電子近似との比較をもとに光学利得におけるクーロン相互作用の影響が考察されている。一次元系ではクーロン遮蔽の影響がバンド端で増強することにより、バンド端での1次元状態密度を反映した光学利得の先鋭化が抑制されることが初めて明らかにされた。

第8章は、総括であり本論文におけるまとめと今後の展望が述べられている。

以上のように本論文は、定量的な物理計測を可能にする高品質のT型量子細線レーザーを用い、精緻な光学利得吸収スペクトルの計測、半導体ブロッホ方程式に基づく理論計算から、電流注入時におけるキャリア注入過程や、利得特性におけるクーロン遮蔽効果を明らかにした。これらの成果は電流注入型量子細線レーザーの最適化に向けた設計指針を提供するとともに、中性・非中性1次元電子正孔系の光学物性の解明に大きく貢献しており、物性物理学およびレーザー物理学の発展に寄与するところが大きい。

尚、本論文の中核をなす研究内容は指導教員らとの共同研究として学術雑誌に公表、及び公表予定であるが、論文提出者が自ら主体となって行ったものであり、論文提出者の寄与は十分であると判断する。またこの件に関して共同研究者の同意承諾書が提出されている。

したがって、博士（理学）の学位を授与できると認める。