

論文審査の結果の要旨

氏名 早水 裕平

本論文は、高品質の T 型量子細線を用いてレーザー発振特性、発光、利得吸収スペクトルの測定を行い、1次元高密度電子正孔系の光物性を調べるとともに、いまだ明らかになっていない量子細線レーザーの発振機構の解明を目指したものである。

本論文は全10章からなる。

第0章は序論であり、半導体低次元構造のレーザーの研究の歴史、研究の目的、本論文の構成が簡潔に述べられている。

第1章では、高品質量子細線の成長を可能とするへき開再成長と成長中断アニーリングについて述べられている。さらに、単一量子細線レーザー実現のためのレーザー素子構造、有限要素法による導波路モードの計算結果について記されている。

第2章では、実験手法、特に、微細構造を有する量子細線レーザーの光学応答評価に必須となる顕微分光測定法について記述されている。

第3章では、本論文において初めて実現された単一量子細線レーザーの発光空間分布測定による品質評価、発振特性が記されている。

第4章では、半導体中の高密度電子正孔系の多体効果、特に励起子モット転移、バンドギャップ縮小効果の一般論について簡潔に述べられている。さらに、量子細線における高密度励起効果に関する研究背景、これまでの報告例が紹介されている。

第5章では、単一量子細線の発光スペクトルの励起強度依存性の評価を行っている。高品質の量子細線を用いることで、励起子と励起子分子の発光ピークを明瞭に分離して観測することに成功し、励起子分子の束縛エネルギーを決定している。また、励起強度の増大に伴い、励起子分子発光の低エネルギー側に、電子正孔プラズマからの発光バンドが現れることを見出している。高温 30K での発光測定から、励起子連続状態のオンセット（バンド端）を観測することに成功し、そのエネルギーがキャリア密度によらず一定であることを見出している。これらの結果は、キャリア濃度の増加に伴うバンドギャップの連続的な減少、バンド端と励起子エネルギーの交差といった従来の励起子モット転移の描像とは異なるものである。

第6章では、量子細線の高密度励起状態を、発光と利得吸収スペクトルの同時計測により調べた結果が記されている。これより、量子細線のレーザー発振の利得は、電子正孔プラズマに起因するものであることが明らかにされた。レーザー発振の起源が励起子ではなく電子正孔プラズマによることは、高品質 T 型量子細線の発光測定からも示唆されていたが、本論文の利得スペクトル測定により直接的な検証がなされたといえる。利得スペクトルは、1次元の状態密度を反映せず低エネルギー側に裾を引く形状となることが見出され

たが、これは多体クーロン相関の影響によるものと推測されている。また、キャリア密度の増加に伴って、系のとりうる状態が励起子から電子正孔プラズマへと移行していく過程を、吸収スペクトル測定により観測することに成功している。過渡的なキャリア密度領域では、バンドギャップの縮小がみられず、励起子吸収線幅の増大を経由して電子正孔プラズマへと移行する様子が観測された。この結果は、5章の発光測定の結果とも整合し1次元電子正孔系の固有の現象であると解釈されている。

第7章では、室温量子細線レーザーの実現に向けて、レーザー発振の温度依存性の測定を行っている。高温でのレーザー動作を妨げる要因として、量子細線から隣接する量子井戸層へのキャリア拡散が支配的であることを見出している。

第8章では、7章の結果を受けて、有限要素法を用いた量子細線励起子の閉じ込めエネルギーの計算を行い、レーザー構造の最適化を行っている。

第9章では本論文の総括がされている。

以上を要するに本論文では、高品質の半導体量子細線を用いて発光、利得吸収スペクトルの同時計測を行い、量子細線における電子正孔系の弱励起から強励起下での振舞いを実験的に明らかにし、電子正孔プラズマによるレーザー発振機構を見出したものである。顕微分光の手法を駆使して量子細線という極微小領域での利得吸収測定を実現し、高品質の量子細線構造を用いることで、1次元多体電子正孔系の特徴を捉えた本論文は、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。

なお、本論文第3章の一部は、吉田正裕、渡邊紳一、秋山英文、Loren N. Pfeifer、Ken W. West との共同研究であるが、論文提出者が主体となって素子設計、評価を進めたものである。また第5章の一部は吉田正裕、秋山英文、浅野健一、小川哲夫、Loren N. Pfeifer、Ken W. West との共同研究であるが、同様に論文提出者が主体となって評価、考察を進めたものであり、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

したがって、博士（理学）の学位を授与できると認める。