

論文審査の結果の要旨

氏名 吉田 正裕

本論文は8章からなり、第1章では半導体量子細線の研究の背景と目的が述べられている。半導体量子細線は一次元物性の研究対象として注目されているが、構造の不均一のために真の姿が見え難いことが課題とされていた。これを踏まえた研究のシナリオ、即ち、新しい評価法の開発、構造不均一の評価と改善法の提案、高品質な量子細線の実現と一次元物性の探究が述べられている。

第2章では通常の計測法（顕微分光画像計測法）と一般的な量子細線の評価が述べられている。この計測法は、空間分解能が光の回折で制限されるが、試料の均一性やキャリアの拡散などの情報を効率良く得られることが説明されている。

第3章は回折限界を越える顕微計測法の開発に関する章で、原理と性能、その適用例が説明されている。原理は、半球形、あるいは超半球形の微小な固体レンズを試料表面に密着させるとレンズの屈折率分だけ光の波長が短くなるので空間分解能が上がる、というもので、蛍光測定用に設計、適用した初めての例である。いくつかの量子細線の測定で、従来の倍以上の空間分解能が達成されている。この技術は、本研究に不可欠であるだけでなく、様々なナノ構造の評価にも威力を発揮する技術と認められる。

第4、5章は開発した顕微計測法による界面揺らぎの評価と要因解明に関する章である。本研究では、第1の量子井戸の(100)結晶成長後直ちにへき開し、その上に第2の量子井戸を(110)結晶成長するという手法で”T型量子細線”が作られる。これは、ヘテロ界面で囲まれた量子細線のもっとも優れた作成法とされているが、へき開面の原子層程度の凹凸のために一次元性が局所的に揺らぐことが問題であった。この揺らぎの詳細を(110)量子井戸について調べた結果が第4章で議論されている。最大5原子層の凹凸がへき開面に存在し、局所的な量子ドットが存在していることが確認され、その原因として(110)面成長の不安定性が議論されている。第5章では、界面揺らぎの解消法として、成長中断アニール法の提案と実証が示されている。ここでは、アニール条件で様々に変わる表面構造が克明に調べられ、これらがステップエッジの原子の結合数に起因することが示されている。ミクロな立場から(110)成長

の議論が進められ、妥当な結論が導かれている。最終的に表面平坦化が実現されており、ここで開発された手法は、難しいとされていた(110)面の細線作成に大きなインパクトを与えるものと期待される。

第6、7章は、第4、5章の指針に沿って作成した(110)量子井戸(6章)とT型量子細線(7章)の発光顕微分光計測の結果が述べられている。量子井戸については、AFMで界面の平坦性が確認された領域で、シャープで空間的に均一な発光ピークが確認され、また、各領域での発光波長と量子閉じ込め効果が見事に対応付けられている。第7章は研究の集大成ともいえる章で、獲得した知見をもとに作成した最高品質のT型量子細線の光物性が詳細に述べられている。まず、顕微分光計測で細線方向500ミクロン以上に渡り均一な自由励起子発光が観測され、これにより界面の平坦性に優れた一次元電子状態が確認されている。また、発光線幅、波長のストークスシフトとも従来より1桁程度小さく、極めて高品質な量子細線であることが確認されている。この細線を用いて一次元励起子物性が詳細に調べられ、理論的に予測されていた吸収端の発散異常の抑圧、励起強度の増大に伴って自由励起子から励起子分子そして電子正孔プラズマへ「クロスオーバー」的に変わる様子が見い出されている。これらは、従来の量子細線では見ることのできなかつた現象であり、一次元光物性の分野に大きな進展をもたらす成果と認められる。また、同量子細線を埋め込んだレーザーを試作し、その発振機構が、自由励起子ではなく、強く関連した電子正孔プラズマによることを示唆する結果が得られている。従来の論争に片を付ける貴重な実験結果である。

第8章では研究結果が簡潔にまとめられている。

以上、各章を紹介しながら本論文の物理学への貢献点を解説した。本論文は、計測法から、試料作成と構造不均一の機構解明、改善法の提案と実証、最高品質の量子細線を用いた一次元物性の解明まで、オリジナルで完成度の高い研究が行なわれている。これらをまとめた本論文は、学位論文として十分な水準にあることが審査員全員によって認められ、博士論文として合格であると判定された。なお、本論文の内容は、Appl. Phys. Lett.、Phys. Rev. Bなどの11編の学術論文(筆頭7、共著4)に掲載されている。本論文は筆頭著者の論文を中心に構成されているが、これらは論文提出者が主体となって実験、及び結果の解釈を行ったものであり、論文提出者の寄与が十分であると判断される。

したがって、博士(理学)の学位を授与できると認める。