

論文審査結果の要旨

申請者氏名 井原章之

本論文は、キャリアドープした半導体量子細線で実現された 1 次元電子系を顕微分光法によって研究したものであり、7 章から構成されている。

第 1 章では本研究の背景と目的が述べられている。半導体 1 次元電子系において理論的に予測されていた 1 次元特有の現象、たとえばバンド端における状態密度の発散やフェルミ端における赤外発散の特徴をとらえる実験は、主に試料の品質が低かったためにこれまで成功していなかったこと、そのような 1 次元系の特異性を実験的に明らかにするのが本研究の目的であることが述べられている。

第 2 章では本研究の舞台となる 1 次元系を実現するための、ゲート付き T 型量子細線の作製法、この目的のために申請者が新たに開発した発光励起 (PLE) スペクトル測定用顕微光学系、共鳴励起領域で PLE を測定するための解析方法について述べられている。

第 3 章では量子細線の光学特性の実験とその解析が記されている。PLE スペクトルを吸収スペクトルと解釈できることを利用し、ドープした細線の光吸収の温度依存性を測定した結果、極低温では縮退電子ガスにおいて自由電子モデルから予想されるとおり、フェルミ端の立ち上がりを見出した。また、高温ではバンド端に 1 次元系特有の鋭いピークを見出した。さらに、極低温 (5K) の状態でゲート電圧により電子濃度を変化させて、発光、吸収スペクトルの推移を調べた結果、電子濃度の減少に伴うフェルミ端の低エネルギーシフトを観測した。さらに濃度を下げるとフェルミ端のピークは消え、バンド端のピークが現れて来ることを見出した。この振舞いは、自由電子モデルによって非常に忠実に再現され、低濃度の電子ガスの存在下でも 1 次元系特有のバンド端ピークが発現することが明らかになった。さらに濃度を 10^5 cm^{-1} 以下まで下げていくと、バンド端構造は 1 価に帯電した励起子と中性励起子の吸収ピークへとクロスオーバーすることを見出した。1 次元系に特有のスペクトルの振舞いを広い電子濃度の範囲で調べ、理論との完璧に近い整合性を示したのは初めての成果であり、非常に高く評価される。

第 4 章では PLE で求めた吸収スペクトルに対してハートリーフォック近似による計算を行ってフィッティングを試みている。正孔の質量を変化させた計算結果と実験とを比較検討した結果、高電子濃度でフェルミ端においてクーロン増強効果 (赤外発散) が観測されなかったのは、正孔の質量が小さいためであると結論した。また中濃度領域での計算では、クーロン増強効果がバンド端にも現れ、1 次元状態密度の発散効果だけを考えた場合よりもさらにピークが強調されることが分かり、クロスオーバー領域の実験で観測された顕著なピークの原因が解明された。

第 5 章では正孔の質量が光学スペクトルに与える効果を調べるために、アクセプターをドープし、正孔を局在させた量子井戸試料 (2 次元系) について測定を行った結果が記されている。アクセプター発光の PLE はフェルミ端で強調されること、すなわち、正孔の局在化はフェルミ端構造を強調し、正孔の非局在化はこれを抑制することが分かった。2 次元系からの類推で、1 次元系でもフェルミ端クーロン増強効果の抑制は正孔の質量が小さいためであるという 4 章の議論が裏

付けられた。

第 6 章では、量子井戸（2 次元系）において、発光スペクトルと吸収スペクトルの比を与える一般的な関係式（Kennard-Stepanov 関係式）が成立していることを実験的に示し、1 次元系における電子温度の決定法（第 4 章で使用）が正しかったことを示した。同時に、この実験は余剰エネルギーを電子系に与えないなど注意深い実験条件のもとでは、この関係式が正確に成立することを示した初めての例になっており、基礎光物性の観点からも価値がある。

第 7 章には以上のまとめと今後の課題が書かれている。

この研究は、理論的には予測されながら検証されなかった 1 次元電子系特有の振舞いを、極めて高品質の試料と精密な測定手法、理論計算を駆使して実験的に明らかにしたものであり、1 次元電子系の研究に大きな貢献をなしたものと認められる。

本研究のテーマには、複数の共同研究者が関与しているが、低温顕微 PLE 測定装置と解析法の開発は申請者の独自の仕事と認められる。T 型量子細線の成長はアメリカのグループにより行われたが、エッチング、電極づけを伴う光学測定試料の作製は本人が行った。特に第 5 章で使用した試料は本人の発案により設計し、成長を依頼したものである。ハートリーフォック近似による計算には大阪大学の理論グループが開発したプログラムを用いているが、具体的に実験結果と対照を行う部分は申請者が行った。その他の測定、解析、理論解析などは本人が独力で行ったものであり、全体として申請者が主導的に研究を進めたものと認められる。

以上の理由により、提出された論文は、博士（理学）の学位を授与するにふさわしいものであると、審査委員全員の一致によって判断した。