

論文審査の結果の要旨

氏名 鵜沼 毅也

次世代の光・電子デバイス創出を視野に入れて、半導体ナノ構造における電子の量子的性格やそのフォトンとの相互作用が実験・理論の両面から広く研究されている。修士（理学）鵜沼毅也提出の学位請求論文もこの課題に取り組むものであるが、とりわけ、従来よりも狭い井戸幅の GaAs 単一量子井戸に着目し、その系でのサブバンド間遷移を赤外吸収や電子ラマン散乱で精密に測定すると共に、移動度の測定結果とも比較しながら、得られた共鳴エネルギー位置や線幅を定量的に理論解析している。

さて、和文で 8 章からなる本論文の第 1 章では、半導体量子井戸構造研究の歴史を繙きながら、本研究の対象は井戸幅が 10nm 以下の未開拓領域で、その目的は高精度の分光測定を基軸にして理論計算とも比較しながら井戸の中の電子の量子力学的運動を理解することであるとされる。

次の第 2 章では、本研究の主題であるサブバンド間遷移に関連する物理的基礎事項がまとめられる。そして、赤外吸収スペクトルの共鳴エネルギーは単に 1 体的なサブバンド間隔（1 電子励起エネルギー）を表すものではなく、反電場効果によるブルーシフトと励起子効果によるレッドシフトの 2 つの多体効果も包含することが確認される。また、第 3 章では、サブバンド間赤外吸収計測と電子ラマン散乱計測の実験手法が試料加工の詳細と共に具体的に報告されている。

第 4 章と第 5 章では、8nm の井戸幅を代表例とする GaAs 単一量子井戸において測定された赤外吸収のスペクトル線幅が移動度の測定から導かれる幅に比べて低温では一桁程度も大きいことや温度依存性も違うことに着目しつつ、これらの幅を与える緩和機構を統一的、かつ、定量的に決定した経緯が記されている。なお、ここでの理論解析は安藤理論の枠組みを基礎とするもので、光学及び音響フォノン散乱やアロイ散乱、イオン化不純物散乱など、この系で考えられる全ての散乱機構が考慮され、その結果、界面ラフネス散乱が（特に低温では）支配的であることが見出された。物理的には、井戸幅が狭くなると第一励起サブバンドの波動関数が基底サブバンドのそれよりもずっと界面に近づいてくるためと理解される。

サブバンド間電子ラマン散乱は第 6 章で議論される。20nm よりも広い従来の井戸では、入射光と散乱光の偏光が平行の配置では 1 電子励起に由来するピークと共に赤外吸収と同じ共鳴エネルギーの電荷密度励起のピークが、それらの偏光が垂直の配置では前

者のピークと共にスピン軌道相互作用に起因するスピン密度励起のピークが観測されていた。本研究では入射光の共鳴条件をうまく利用して 10nm という狭い井戸でのサブバンド間電子ラマン散乱を世界で初めて観測した。そして、偏光配置によらず、常に 1 電子励起のピークのみが出現することを見出した。これは界面ラフネス散乱によって井戸面内運動量保存則の緩和が顕著になるためと解釈される。さらに第 7 章では、こうして得られる 1 電子励起エネルギーと赤外吸収の共鳴エネルギーとの比較から、多体効果によるエネルギーシフトの値が実験的に決定できるという指摘がなされ、しかも、その実際の値は理論値とよく一致することが確認された。この指摘は多体効果の研究を今後さらに展開していく上でも重要になろう。

最後に第 8 章では、本研究で得られた結果が要約され、将来の課題が列挙された。なお、本論文の末尾には第 2 章への補遺として 2 つ、計算技法に関して 1 つ、そして、変調ドーブ試料の設計に関して 1 つの合計 4 つの付録がつけ加えられている。

以上見てきたように、本論文では、狭い井戸幅の GaAs 単一量子井戸という未開拓の領域で高精度の分光測定がなされ、その測定で得られた結果は安藤理論の枠組みで統一的に解釈され、定量的にも理論と実験が一致する結果が得られ、そして、界面ラフネスが狭い量子井戸の電子物性に多面的に重要な影響を与えていることが明確にされた。これらの新しい知見は基礎物理学の発展に十分に貢献しているだけでなく、デバイス開発などにも役立つことが期待される。なお、本論文の内容は指導教官である秋山英文助教授らとの共著として 3 つの雑誌に既載されているが、これら 3 つの論文の第一著者である論文提出者が主体となって実験、理論計算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。また、この件に関して秋山氏ら 1 2 名の同意承諾書が提出されている。

したがって、本論文審査委員会は全員一致で博士（理学）の学位を授与できると認める。