

Title	半導体量子デバイスの電子状態および電気伝導に関する研究
Author(s)	江崎, 達也
Citation	大阪大学, 1997, 博士論文
Version Type	
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/40621">https://hdl.handle.net/11094/40621</a>
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 <a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">〈a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"〉</a> 大阪大学の博士論文について <a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">〈/a〉</a> をご参照ください。

***Osaka University Knowledge Archive : OUKA***

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

氏 名	江崎達也
博士の専攻分野の名称	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	第 1 3 4 9 9 号
学 位 授 与 年 月 日	平 成 9 年 12 月 26 日
学 位 授 与 の 要 件	学位規則第 4 条第 1 項該当 工学研究科 電子工学専攻
学 位 論 文 名	半導体量子デバイスの電子状態および電気伝導に関する研究
論 文 審 査 委 員	(主査) 教授 濱口 智尋 (副査) 教授 吉野 勝美 教授 尾浦憲治郎 教授 西原 浩 教授 森田 清三 教授 谷口 研二 教授 溝口理一郎

## 論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、半導体量子デバイスの電子状態および電気伝導に関する研究をまとめたものであり、全体で6章から構成されている。

第1章では、本研究の背景および目的について示している。

第2章では、GaAs/AlGaAs 単一ヘテロ構造上に作製された量子細線における電子状態を自己無撞着法により計算した結果について示しており、量子細線の横方向の閉じ込めポテンシャルがゲート電圧に対して大きく変形することを明らかにしている。

第3章では、GaAs/AlGaAs 単一ヘテロ構造上に作製された量子細線の窒素温度以上の高温領域における電子移動度の計算結果について示している。量子細線中の電子状態は自己無撞着法により計算し、電子移動度は光学フォノン散乱のみを考慮してモンテカルロ法を用いて計算している。その結果、共鳴的な電子-光学フォノン散乱によると思われる伝導度の落ち込みが現れることを指摘している。さらに、1次元および2次元電子ガスのドリフト速度の比較も行っており、量子細線においてはゲート電圧により電子移動度を大きく変調できる可能性があることを指摘している。

第4章では、量子ドット内の多電子状態を厳密対角化法を用いて計算した結果について示している。本論文では、樽茶らの実験に用いられた AlGaAs/In<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>As/AlGaAs 2重障壁ヘテロ構造上に作製された量子ドットをモデルとして採用している。その結果、閉殻構造が安定であることを明らかにしている。さらに、半閉殻構造においてはスピン多重項状態が安定であることも明らかにしている。これらの結果は樽茶らの実験結果と定性的に一致している。さらに、量子ドットの形状による影響も調べており、新しい安定な電子状態が生じる可能性を指摘している。

第5章では、量子ドットにおける音響フォノン散乱による電子のエネルギー緩和時間の計算結果について示している。量子ドット内の多電子状態は厳密対角化法により求めている。その結果、基底状態とのエネルギー差が1電子の閉じ込めエネルギー以下の準位からの比較的速い緩和が生じる可能性を指摘している。エネルギー緩和時間は基底状態と励起状態とのエネルギー差でほぼ定まり、電子数にはあまり依存しないことを明らかにしている。さらに、エネルギー

ギーの大きな励起状態からの緩和が遅くなるのは、ヘテロ界面に垂直な方向の閉じ込めによる効果であることを指摘している。

最後に、第6章で本研究による成果をまとめ結論としている。

## 論文審査の結果の要旨

半導体ヘテロ構造上に作製された量子細線は将来の高速デバイスとして注目されており、さらに、量子ドットは電子数個で動作する新しいデバイスとして非常に期待されている。そのため、量子細線および量子ドットなどの量子デバイスにおける電子状態や電気伝導の解析を行なうことは応用上も非常に重要である。本論文は、半導体ヘテロ構造上に作製された量子細線中の電子状態および電気伝導の解析結果についてまとめている。さらに、量子ドット内の多電子状態および音響フォノン散乱による電子のエネルギー緩和時間の解析結果についてもまとめており、重要で新しい知見を得ている。

量子細線中の電子状態および電気伝導の解析結果より以下のことが明らかになっている。

- (1) ゲート電圧が大きくなるにしたがい量子細線中の電子密度が大きくなり、量子細線中央部のポテンシャルが電子のつくるポテンシャルにより持ち上げられる。そのため、量子細線中の横方向のポテンシャルが放物線型ポテンシャルの底が切り取られたような底が平坦なポテンシャル形状になることを明かにしている。
- (2) 基底サブバンドとヘテロ界面に垂直な方向の閉じ込め状態が異なるサブバンドとの間で共鳴的な電子-LOフォノン散乱が起こるとき、量子細線中の電気伝導度のゲート電圧依存性に落ち込みが生じることを指摘している。
- (3) 量子細線ではゲート電圧によって電子状態を大きく変化させることができるため、電子の移動度をゲート電圧により変調できる可能性があることを指摘している。

量子ドット内の多電子状態および音響フォノン散乱による電子のエネルギー緩和時間の解析結果より以下のことが明かにしている。

- (4) 円対称な量子ドットにおいて安定な閉殻構造が生じること、さらに、半閉殻構造においては Hund の規則を満たすスピン多重項状態が安定になることを明かにしている。非対称な量子ドットにおいて、新しい安定な電子配置が現れることを指摘している。
- (5) 音響フォノン散乱による量子ドット内の電子のエネルギー緩和時間は基底状態と励起状態とのエネルギー差でほぼ定まり、電子数にはあまり依存しないことを明かにしている。
- (6) 複数の電子を含む量子ドットにおいては、電子間の相互作用により基底状態とのエネルギー差が1電子の閉じ込めエネルギーより小さい準位が現れ、このような準位から基底状態への比較的速い緩和が生じる可能性を指摘している。
- (7) 基底状態とのエネルギー差が音響フォノンのカットオフエネルギー以下の準位からは直接的な緩和過程が最も速く、音響フォノンのカットオフエネルギー以上の準位からは間接的な緩和過程が最も速いことを指摘している。

以上のように、本論文は半導体ヘテロ構造上に作製された量子細線および量子ドットなどの半導体量子デバイスの電子状態および電気伝導について価値ある知見を得ており、電子工学ならびに半導体工学の分野に貢献するところが大きい。よって、本論文は博士論文として価値あるものと認める。