

Title	Study on Relaxation Processes of Electrons in GaAs/AlGaAs Quantum Well Structures
Author(s)	朴, 在鉉
Citation	大阪大学, 2000, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/42143
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"〉 大阪大学の博士論文について <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	朴 在 鉉
博士の専攻分野の名称	博 士 (工 学)
学位記番号	第 1 5 4 5 8 号
学位授与年月日	平成12年3月24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	Study on Relaxation Processes of Electrons in GaAs/AlGaAs Quantum Well Structures (GaAs/AlGaAs 量子井戸構造における電子の緩和過程に関する研究)
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 助教授 森 伸也

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は半導体量子井戸構造における電子の緩和過程に関する研究をまとめたもので、以下の5章により構成されている。

第1章では、半導体量子井戸構造におけるトンネル効果に関する研究の背景と目的について述べている。特に、GaAs/AlGaAs 量子井戸構造素子における電子のトンネリング効果やトンネル効果に及ぼす不純物の影響について述べている。そして、これらの効果に関する研究の沿革と現状を示し、未解決の問題を挙げている。

第2章では、量子井戸間のトンネル過程を調べるために、2重及び3重量子井戸構造を、分子線エピタキシー成長法を用いて作製したときの試料の作製条件と試料構造について述べている。

第3章では、非対称2重量子井戸構造において、励起された電子の井戸内及び井戸間での緩和過程について述べている。非対称2重量子井戸構造における電子のトンネル効果、特にトンネル効果の外部印加電界依存性を中心に述べている。次に、時間分解フォトルミネッセンスの測定を行った結果について述べており、その後、電子のエネルギー固有値を求めた計算結果との比較を行っている。その結果により、両井戸の電子のエネルギー準位の差が光学フォノンエネルギーに等しくなる印加電界のとき、時間分解フォトルミネッセンス測定による緩和時間が短くなることを観測している。特に、共鳴光学フォノン散乱を受け、トンネルした電子がさらに低いエネルギー準位へ遷移することによって、緩和時間が極小となることを見出している。

第4章では、結晶成長の段階で制御が可能な不純物を介したトンネル過程に関する研究を行っている。不純物を介した電子の散乱確率は、最低次の近似では、不純物の位置における電子の始状態および終状態の波動関数の振幅の2乗に比例して高くなる。電子の波動関数は障壁層より井戸層の方がより大きい点に注目し、障壁層に薄い井戸層を挿入し、そこに不純物をドーピングすることにより、より短いトンネル時間を達成できると考え、計算及び実験を行っている。2重・3重量子井戸構造で、それぞれ、ノンドープ、 δ ドーピングの試料を作製し、不純物による電子の散乱確率の計算と時間分解フォトルミネッセンス測定をとり、上記の予想を検証している。また、ドーピング量が異なる3重量子井戸構造を用いて、緩和時間の測定を行い、ドーピング量を増すことに伴い緩和時間が短くなることも観測している。

最後に、第5章において本論文の結論を述べている。

論文審査の結果の要旨

高速光通信、並列光画像処理など光による情報処理への期待が高いため、材料として高速で応答する光非線形材料へのニーズが高まっている。従来、半導体量子井戸構造は大きな光非線形性を示すが高速応答に問題があると指摘されている。実際、応答速度はキャリアの緩和時間によって決まるため、室温ではナノ秒に及ぶと報告されている。この点を改善するために、本論文では、応答速度が電子のトンネル速度によって決まる新しい構造を提案している。

本論文では、このような背景に基づいて、半導体量子井戸構造について光学実験を行い、その実験結果を理論計算により解析検討し、半導体量子井戸構造における緩和時間に及ぼすトンネル効果の影響を解明したもので、この研究の内容には独創性と、新しい知見が含まれている。その主要な点は次の通りである。

不純物が無視できるほど少ない量子井戸構造における、電子の緩和時間に関して調べるために、薄い障壁層を持つノンドープの $\text{GaAs}/\text{Al}_{0.36}\text{Ga}_{0.64}\text{As}$ 非対称 2 重量子井戸構造を用いて光学測定を行っている。その結果、以下のことを解明している。

- (1) 緩和時間は、井戸間のエネルギー準位が光学フォノンのエネルギーに一致するとき、極小を示している。
 - (2) 緩和時間は両井戸の基底準位間のエネルギー差が光学フォノンエネルギーに相当するときより、トンネルした電子がさらに低いエネルギー準位へと遷移できるようにすることで、約50%緩和時間が短縮されることを示している。
- 結晶成長段階で制御が可能な、不純物を介した電子の緩和時間に関して調べるために、 $\text{GaAs}/\text{Al}_{0.35}\text{Ga}_{0.65}\text{As}$ 2 重及び 3 重量子井戸構造のノンドープと Si δ ドープの試料を用いて光学測定及び理論計算を行っている。その結果、以下のことを解明している。
- (3) 不純物を介した電子の散乱時間は、理論計算によると、2 重量子井戸構造より、不純物をドーピングした薄い井戸層を障壁層に挿入することで、大幅に改善されることを示している。
 - (4) 緩和時間の測定により、不純物をドーピングした薄い井戸層を挿入することで、ノンドープの 3 重量子井戸構造より、最大約45%短くなることを示している。
 - (5) ドーピング量が異なる 3 重量子井戸構造の場合、そのドーピング量に伴い、緩和時間が短縮されることを示している。

以上のように、本論文は、半導体量子井戸構造における電子の緩和時間について多くの新しい知見をもたらすとともに、半導体量子井戸構造を新しい半導体光素子として用いる場合に重要な基礎的な情報を提供するもので、電子工学ならびに半導体物性工学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。