

Title	半導体ヘテロ構造におけるトンネル効果およびワニエ・シュタルク効果に関する研究
Author(s)	尾崎, 俊二
Citation	
Issue Date	
Text Version	none
URL	<a href="http://hdl.handle.net/11094/952">http://hdl.handle.net/11094/952</a>
DOI	
rights	
Note	

*Osaka University Knowledge Archive : OUKA*

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

Osaka University

氏名	尾崎俊二
博士の専攻分野の名称	博士(工学)
学位記番号	第13832号
学位授与年月日	平成10年3月25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	半導体ヘテロ構造におけるトンネル効果およびワニエ・シュタルク効果に関する研究
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

### 論文内容の要旨

本論文は半導体ヘテロ構造におけるトンネル効果およびワニエ・シュタルク効果に関する研究の成果をまとめたもので、以下の5章より構成されている。

第1章では、化合物半導体超格子構造に関する研究の歴史的背景や発展について述べ、本研究の目的と位置付けを明確に示している。

第2章では、まず、半導体超格子におけるトンネル効果について述べている。トンネル効果に関する研究の発展を述べた後、電子の縦波光学(LO)フォノンによる散乱確率の計算方法について説明を行っている。次に、半導体超格子におけるワニエ・シュタルク効果について、歴史的発展を述べた後、基礎的な数式に関する説明を行っている。

第3章では、顕微ラマン分光法を用いた非平衡LOフォノンの観測について述べている。はじめに、ラマン効果の基礎的な概念についての説明を行っている。次に実験方法についての具体的な説明を行った後、実験結果を示している。実験は、GaAs/AlGaAsから成る非対称二重量子井戸構造の試料と、(GaAs)<sub>n</sub>/(AlAs)<sub>n</sub>超格子の試料について行っている。非対称二重量子井戸における測定結果では、電子が共鳴的にLOフォノンを放出してトンネルしている電界において、LOフォノンのストークス線の強度が極大値を示す。また、反ストークス線も観測されている。これらのことから、放出された非平衡なLOフォノンが実際に存在していることが明確にしている。(GaAs)<sub>n</sub>/(AlAs)<sub>n</sub>超格子における測定結果では、LOフォノンのストークス線の強度は印加電圧の逆数に対して周期的に極大値を示す。このことから、電界により形成されたシュタルク準位間の電子のトンネリング、特に電子が数周期先の井戸へフォノンを放出してトンネルしていることを明らかにしている。

第4章では、ワニエ・シュタルク効果について述べている。まず、ワニエ・シュタルク効果を観測するために用いたエレクトロリフレクタンス法について説明を行っている。次に実験についての説明を行った後、測定結果を示している。実験は、(GaAs)<sub>n</sub>/(AlAs)<sub>n</sub>および(GaAs)<sub>n</sub>/(AlAs)<sub>n</sub>超格子について行っている。(GaAs)<sub>n</sub>/(AlAs)<sub>n</sub>超格子の測定では、ブリルアンゾーンのP点およびX点に起因するシュタルク・ラダー準位の観測に成功している。また、実験結果は強結合近似法による計算結果と良い一致を示している。(GaAs)<sub>n</sub>/(AlAs)<sub>n</sub>超格子の測定では、サブバンドからシュタルク・ラダー準位へ、波動関数の局在する過程が観測されている。この結果は、有効質量近似による計算結果と良い一致を示している。

最後に、第5章において本論文のまとめを述べ、結言としている。

## 論文審査の結果の要旨

半導体ヘテロ構造における量子力学的現象は、従来とは異なる半導体素子への可能性を秘めており、近年非常に注目を集めている。その実用化には、超格子構造における現象を光学的、電気的に十分に把握しておく必要がある。しかしながら、それらの特性についていまだに解明されていない部分が多く存在する。その問題点として挙げられるのが、半導体ヘテロ構造におけるフォノンの介在を伴う電子のトンネル効果や、電界を印加した場合に生じるワニエ・シュタルク効果である。

本論文ではこのような背景に基づき、GaAs/AlGaAsから形成される非対称二重量子井戸、 $(\text{GaAs})_8/(\text{AlAs})_4$ 超格子、 $(\text{GaAs})_6/(\text{AlAs})_6$ 超格子を用いて、フォトルミネッセンス、エレクトロリフレクタンス、顕微ラマン分光測定等の光学実験を行っている。種々の光学測定法を用いたトンネル効果とワニエ・シュタルク効果に関する詳細な研究と同時に、理論計算による比較検討も行い、半導体ヘテロ構造におけるこれらの現象を解明している。その研究の内容には独創性と新しい知見が含まれている。本論文の主な成果は次の通りである。

GaAs/AlGaAs非対称二重量子井戸を用いた非平衡光学フォノンに関する研究からは以下のことが解明されている。

- (1) 直流電界下におけるフォトルミネッセンス強度の変化を調べることで、LOフォノンの放出を伴う電子の実空間トンネリング現象の存在を示している。
- (2) 顕微ラマン分光測定法を用いてLOフォノンのストークス線および反ストークス線強度の変化を測定し、非平衡なLOフォノンの存在を明らかにしている。

$(\text{GaAs})_8/(\text{AlAs})_4$ 超格子を用いた非平衡光学フォノンに関する研究からは以下のことが解明されている。

- (3) LOフォノンのストークス線の強度が印加電圧の逆数に対して周期的に極大値を示す現象を観測し、局在準位間におけるフォノンの放出を伴う電子のトンネリング、特に数周期先の井戸への電子のトンネル現象を示している。ワニエ・シュタルク効果に関する研究からは以下のことが解明されている。
- (4) エレクトロリフレクタンス法を用いた $(\text{GaAs})_6/(\text{AlAs})_6$ 超格子における測定の結果、ブリルアンゾーンの $\Gamma$ 点およびX点に起因するシュタルク・ラダー準位の観測に成功した。また、強結合近似法による計算結果との比較を行うことにより、波動関数のシュタルク・ラダー準位への局在過程を明らかにしている。
- (5)  $(\text{GaAs})_8/(\text{AlAs})_4$ 超格子におけるシュタルク・ラダー準位の観測を行い、有効質量近似による計算結果との比較を行うことで、バンド幅の小さな系における波動関数の電界による局在過程を明確にしている。

以上のように、本論文は、半導体ヘテロ構造におけるトンネル効果、及びワニエ・シュタルク効果について多くの新しい知見をもたらすと同時に、半導体ヘテロ構造を新しい半導体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。