



Title	半導体超格子におけるワニエ・シュタルク効果に関する研究
Author(s)	山口, 雅史
Citation	大阪大学, 1995, 博士論文
Version Type	
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/39118">https://hdl.handle.net/11094/39118</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">https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed</a> 大阪大学の博士論文について

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

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

The University of Osaka

氏名	山口 雅史
博士の専攻分野の名称	博士(工学)
学位記番号	第11897号
学位授与年月日	平成7年3月23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	半導体超格子におけるワニエ・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 教授 吉野 勝美 教授 尾浦憲治郎 教授 西原 浩功 教授 児玉 慎三 教授 寺田 浩詔 教授 白川 功 教授 藤岡 弘 教授 溝口理一郎

### 論文内容の要旨

本論文は半導体超格子におけるワニエ・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7章に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している。

第2章では、まず2種類の超格子構造（タイプI, タイプII）について述べている。次に、超格子構造の基本構成である量子井戸構造に対して電界を印加した場合について示し、本研究の目的である超格子構造に電界を印加した場合に起こるワニエ・シュタルク効果について述べている。また、シュタルク・ラダー準位間の共鳴結合についても基本概念を述べている。

第3章では、超格子構造を研究する上で重要である結晶成長技術として分子線エピタキシー法を取り上げ、その原理や成長メカニズムについて述べている。また成長中の結晶表面のその場観察の方法として用いられる反射高速電子線回折について述べている。

第4章では、ワニエ・シュタルク効果を観測する実験方法として、フォトカレント法およびエレクトロリフレクタンス法を取り上げ、その実験原理ならびに方法について述べている。これらの方法を用いて、価電子帯と伝導帯それぞれのシュタルク・ラダー準位間の遷移、あるいはシュタルク・ラダー準位間での共鳴結合の観測を行っている。

第5章では、実験結果を解析するための理論計算について示している。理論計算としては、電界による影響を考慮した強結合近似法を用い、基底関数に実空間表示を用いて計算を行っている。

第6章では、実験結果および計算結果を比較検討している。タイプI GaAs/AlGaAs超格子においては、価電子帯のスピント軌道分裂したシュタルク・ラダー準位から伝導帯への遷移が初めて観測されたことを示している。また、同じ超格子構造において、価電子帯の量子井戸内に局在した正孔のシュタルク・ラダー準位が、ある特定の電界において最近接あるいは第2近接の量子井戸における正孔のシュタルク・ラダー第2準位と共鳴していることを観測している。タイプII GaAs/AlAs超格子においては、伝導帯の障壁層内におけるX点の第2準位に関係した遷移が初めて観測されたことを示している。これらの結果は、強結合近似法による計算結果とよい一致を示しており、このことから、強結合近似法がワニエ・シュタルク効果を説明するのに有効な方法であることを示している。

最後に、第7章において本研究による成果をまとめ、総括を行っている。

## 論文審査の結果の要旨

半導体超格子構造は、近年半導体素子への応用という点で非常に注目を集めているが、その実現には、超格子構造における光学的あるいは電気的特性を十分に把握しておくことが必要である。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い。特に、電界を印加することにより起こる光学的特性の変化については、複雑な過程を含むため、未解決の問題が多い。なかでも、半導体超格子に電界を印加した場合に生じる、ワニエ・シュタルク効果に関しては、理論および実験両面からの解明が求められている。

本論文では、このような背景に基づいて、二種類の半導体超格子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、半導体超格子における光学的特性あるいはエネルギー帯構造を解明したもので、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。その主な成果は、以下の通りである。

タイプ-I GaAs (40 Å) / Al<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>As (20 Å) 超格子に関する研究からは以下のことことが解明されている。

- (1) 低電界変調分光法（エレクトロリフレクタンス法）を用いた実験により非常に多くの遷移から成る構造を観測し、高エネルギー領域でこれまでに報告されていないシュタルク・ラダー遷移を観測することに成功している。
- (2) 電界の影響を考慮した強結合近似法を用いた厳密な理論計算により、高エネルギー領域のシュタルク・ラダー遷移は、価電子帯におけるスピント軌道分裂した準位から伝導帯における電子準位へのシュタルク・ラダー遷移であることを示している。
- (3) エレクトロリフレクタンス法により、シュタルク・ラダー準位間の共鳴結合を観測し、それぞれ二種類の遷移エネルギー値は交差せずに、最小のエネルギー差を保って共鳴していることを理論と実験の両面から明らかにしている。

タイプ-II (GaAs)<sub>8</sub> / (AlAs)<sub>8</sub> 超格子に関する研究からは以下のこと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実験により、伝導帯における AlAs 層中の X 点の第 2 準位に関係したシュタルク・ラダー遷移（シュタルク・ラダー指数 + ½）を初めて観測している。
- (5) 第 2 近接原子間相互作用まで取り入れた強結合近似法による理論計算により、観測された AlAs 障壁層内の X 点の関与するシュタルク・ラダー遷移は、隣接した GaAs 層内における  $\Gamma$  点の基底準位と共に鳴したことにより遷移強度が増大し観測されたものであることを示している。
- (6) これら一連の研究から、強結合近似法による理論計算が、ワニエ・シュタルク効果を解析するのに非常に有効であることを示している。

以上のように、本論文は、半導体超格子構造におけるワニエ・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ともに、半導体超格子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。