

Title	化合物半導体を用いた量子細線構造と超格子構造における電子状態および電子輸送に関する研究
Author(s)	百瀬, 英毅
Citation	
Issue Date	
Text Version	none
URL	http://hdl.handle.net/11094/42925
DOI	
rights	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

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

氏 名	百 瀬 英 毅
博士の専攻分野の名称	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	第 1 4 9 3 7 号
学 位 授 与 年 月 日	平 成 11 年 9 月 22 日
学 位 授 与 の 要 件	学 位 規 則 第 4 条 第 2 項 該 当
学 位 論 文 名	化 合 物 半 導 体 を 用 い た 量 子 細 線 構 造 と 超 格 子 構 造 に お け る 電 子 状 態 お よ び 電 子 輸 送 に 関 す る 研 究
論 文 審 査 委 員	(主 査) 教 授 濱 口 智 尋 (副 査) 教 授 谷 口 研 二 教 授 吉 野 勝 美 教 授 西 原 浩 教 授 尾 浦 憲 治 郎 教 授 森 田 清 三 助 教 授 森 伸 也

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、化合物半導体を用いた量子細線構造と超格子構造における電子状態および電子輸送に関する研究成果をまとめたもので、5章から構成されている。

第1章では、化合物半導体により作製された量子細線構造と超格子構造に関する研究について歴史的背景を概説し、実用デバイスを視野に入れた際の現状における問題点を説明した後、本研究の位置付けと目的について述べている。

第2章では、GaAs/AlGaAs ヘテロ構造に作製された量子細線構造における強磁場下での電子輸送について、磁気フォノン共鳴現象に着目して解析を行っている。線形応答理論に基づく電気伝導率の導出式である久保公式を用いて、磁場中での量子細線の電気伝導率を計算し、この系では電子-光学フォノン相互作用による電流成分とポテンシャルによる電流成分の2種類があることを見出している。さらに、実際に量子細線構造を作製して、実験的に磁気フォノン共鳴信号を観測し、理論と比較することによって細線中の1次元閉じ込め強度を見積っている。

第3章では、GaAs 量子細線における電子のドリフト速度、平均エネルギー等の電子輸送特性についてモンテカルロ法による解析を行っている。1次元系では状態密度がその底で発散し、閾値エネルギーを持った電子の光学フォノン放出確率も発散する特異性を持つ。このため、一般的に用いられる散乱確率のみを有限値に抑える近似では電子の詳細平衡が崩れ、系を正しく記述できない。そこで、ウィグナー関数による輸送方程式から電子の運動量とエネルギーを独立な変数として扱う新しいモデルを提案し、電子輸送についての解析を行ってモデルの有効性を確認している。

第4章では、GaAs/AlAs 超格子に超強磁場を印加してサイクロトロン共鳴現象を観測し、電子有効質量やバンド構造に関する解析を行っている。この超格子では積層数により伝導帯の底がGaAs層の Γ 点からAlAs層はX点に変化する Γ -Xクロスオーバー現象が知られているが、これをサイクロトロン共鳴の観測から確認している。また、超強磁場の印加によっても Γ -Xクロスオーバーが発生することを実験的に確認している。さらに、超格子の積層方向から傾斜させて磁場を印加することによって、ランダウ準位間の相互作用が発生するようにし、サイクロトロン共鳴磁場の変化量からAlAsのX点における電子の縦有効質量と横有効質量を得ている。

第5章では、以上の成果を総括し、本論文の結論としている。

論文審査の結果の要旨

本論文は、化合物半導体を用いた量子素子の基本構造の中から量子細線構造と超格子構造に着目して、その構造における電子状態および電子輸送に関する研究結果をまとめたものである。得られている主な成果は次の通りである。

- (1) 強磁場下での GaAs 量子細線中の電気伝導について久保公式を用いた解析により、この系における電流成分には電子-光学フォノン相互作用による電流成分とポテンシャルによる電流成分の2種類が寄与していることを指摘し、これらの成分が電子-フォノン結合定数 α に対し、前者は α に比例、後者は $1/\alpha$ に比例する性質を持つことを見出している。そして、磁気フォノン共鳴によって生じる電気伝導率の振動では、前者は極大値に、後者は極小値になる等の伝導特性を明らかにしている。さらに、実際に GaAs/AlGaAs ヘテロ基板上にエッチングによって量子細線構造を作製し、1次元電子系の磁気フォノン共鳴現象を観測している。先の理論との比較により、量子細線の閉じ込め強度を見積もり、細線構造と定性的に一致する結果を得ている。
- (2) GaAs 量子細線中の電子輸送をモンテカルロ法により解析するため、ウィグナー関数を用いた量子輸送方程式から導いた新しいモデルを提案している。このモデルでは、電子のスペクトル関数に有限の幅を取り入れ、電子の持つエネルギーと波数を独立に扱うことによって、これまで取り扱いが難しかったモンテカルロ法による擬1次元電子系の解析を可能にしている。計算機によるシミュレーションを行った結果、電子のドリフト速度や平均エネルギーを実際に求めて、この新しいモデルの有効性を実証している。さらに、報告されている量子細線における伝導電子の冷却現象が発生しない結果を得ており、電子冷却現象はモデルの取り方に要因があることを示唆している。
- (3) これまでフォトルミネッセンス法などによって観測されてきた $(\text{GaAs})_n/(\text{AlAs})_n$ 超格子の Γ -X クロスオーバをサイクロトロン共鳴によって初めて観測している。積層数が $n=15$ 付近で超格子が Γ -X クロスオーバすること、 $n=16$ の超格子が磁場印加によって約 80 T で Γ -X クロスオーバすることなどを実験的に確認している。また、低温の測定では不純物サイクロトロン共鳴を観測し、共鳴磁場の室温時からのシフト量より電子の不純物への束縛エネルギーを見積もっている。さらに、超格子の成長方向に斜めから磁場を印加させてサイクロトロン共鳴の観測を行い、ランダウ準位間の相互作用によって共鳴磁場が変化することを観測し、この共鳴磁場の変化量から AlAs 中の X 点における電子の横有効質量を $0.21 m_0$ 、縦電子有効質量を $1.04 m_0$ と求めている。

以上のように、本論文では量子細線構造と超格子構造について、その電子状態および電子輸送に関する基礎的物性について解析を行っている。特に、GaAs 量子細線構造では電子-光学フォノン相互作用が電気伝導に及ぼす影響、GaAs/AlAs 超格子構造ではバンド構造とそこでの電子有効質量について詳しく解析が行われ、多くの新しい知見を得ており、今後の素子応用に向け、半導体工学を通して電子工学分野に寄与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。