



Title	半導体ヘテロ接合電子導波路における量子輸送現象の研究
Author(s)	高垣, 雪彦
Citation	大阪大学, 1991, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/37292
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、大阪大学の博士論文についてをご参照ください。

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

氏名・(本籍)	高 垣 雪 彦
学位の種類	工 学 博 士
学位記番号	第 9763 号
学位授与の日付	平成3年3月26日
学位授与の要件	基礎工学研究科 物理系専攻 学位規則第5条第1項該当
学位論文題目	半導体ヘテロ接合電子導波路における量子輸送現象の研究
論文審査委員	(主査) 教授 難波 進 (副査) 教授 浜川 圭弘 教授 蒲生 健次 教授 邑瀬 和生

論文内容の要旨

本論文は、高い電子移動度を持つGaAs-AlGaAsヘテロ接合から作られた極微構造中での電子の振舞いをまとめたものである。電子の伝導を特徴づける長さスケールにはフェルミ波長、非弾性散乱長、弾性散乱長（平均自由行程）があげられる。試料サイズがこれらのスケールと同程度になったときに現れる現象について検討したもので、8章より構成されている。

第1章では、低次元系における物性研究の推移を概説するとともに、新しい動作原理に基づいた電子デバイスが、今日、求められていることを述べた。さらに本論文の主題であるGaAs系量子細線の研究意義を明らかにした。

第2章では、極微素子を作製する加工手法について検討している。イオンビームエッティングによって作られるメサ型細線では、ビーム照射によって基板表面に誘起されるダメージと細線壁面が空気中に露出するために起こる空乏層広がりの問題がある。ここでは、壁面散乱と電子空乏化が問題となる臨界線幅を示した。また、永続光伝導効果を使うことによって空乏層を制限できることを明らかにした。

第3章では、線幅がフェルミ波長程度になったときに起こる1次元量子化を、電子密度（エネルギー）を変化させたときの振舞い、あるいは強磁場中の伝導特性を測定することによって確認している。

第4章では、非弾性散乱長によって特徴づけられる量子干渉現象について考察している。はじめに、弱局在による負磁気抵抗から求めた位相緩和時間の温度依存性を検討し、電子・電子散乱、スピントラップ散乱、加工プロセスとの関連性を指摘している。さらに、この位相緩和時間からアハラノフ・ボーム効果や伝導度揺らぎといった干渉現象の可観測性について言及している。

第5章では、平均自由行程よりも小さくなった場合、すなわち、電子の運動がバリスティックになっ

た場合について述べている。すなわち、電子の運動量保存による直進性のために曲がり抵抗が負になることを見いだし、ホール抵抗の消失との比較から、十字路中においてスクランブリング効果が重要になっていることを明らかにした。また、細線中での運動量緩和を調べ、不純物散乱と壁面ラフネス散乱の影響を明らかにした。さらに、スクランブリング効果によって非局所抵抗にカオス的揺らぎが観測されることを示した。

第6章では、細線の伝導幅を制御する方法として、新たにサイドゲート構造を提案している。すなわち、この構造を量子ポイントコンタクトと十字細線に適用することによって、それぞれ、伝導度の量子化とサブバンド効果による曲がり抵抗の振動が観測できたことについて言及している。

第7章では、イオン照射によって空乏化された層を絶縁層として使う面内 $n - i - n$ 接合を流れる電流に観測された、捕獲準位への電子の吸収・放出による100%変調2値時間揺らぎについて述べている。ライフタイムの温度およびバイアス電圧依存性を求め、イオン照射誘起欠陥の挙動を調べることができることについて言及している。

第8章では、本研究で得られた研究成果を総括し結論を述べている。

論文審査の結果の要旨

本論文は、高移動度 GaAs-AlGaAs ヘテロ接合を用いて製作した量子細線素子中の電子輸送現象を調べて得た成果をまとめたものである。すなわち、フェルミ波長、非弾性散乱長、弾性散乱長などの電子の特性長と同程度以下の極微構造中の電子輸送現象を調べ、将来の電子波デバイスへの応用にとって重要な基礎過程を明らかにしている。

まず、極微構造素子の製作に重要なイオンビームエッティングについて検討し、照射損傷によって表面空乏層が生じる事、また細線ほど損傷の影響が大きい事を伝導度およびシュブニコフ・ドハース (SdH) 振動の測定により示した。ついで線幅がフェルミ波長程度の量子細線中で一次元量子化が起こる事を SdH 振動の測定によって実証した。

電子波デバイスにとって、細線中の電子波の伝播特性を明らかにする事は重要である。本論文では、弾性散乱、非弾性散乱、壁面散乱および素子形状効果について調べ重要な知見を得ている。まず拡散伝導をする量子細線に対して弱局在による負磁気抵抗の測定から位相緩和時間を求め、極低温での位相破壊機構として電子・電子散乱が重要である事、位相コヒーレンス長が極低温において飽和し、温度依存性を示さない事などを見い出した。ついで高移動度ヘテロ接合を用いて製作した量子細線素子についてバリスティック伝導効果を明らかにしている。バリスティック伝導域では、電子が直進する事から、電流径路の曲りにより負の抵抗（曲り抵抗）が生じる事を初めて見い出している。量子細線が十字状に交差した十字路素子について、ホール抵抗の消失および負のホール抵抗を観測し、十字路交差点の形状が電子波の伝播に重要な影響を及ぼす事を示している。またイオンビーム加工によって誘起される損傷のため、量子細線壁面は、電子散乱に対して完全な鏡面ではなく、加工法の改良が必要である事も示して

いる。さらにこれらの測定のために、新しく二次元電子ガスを電極とするサイドゲート構造の量子細線素子を考案するなど、新しいアイデアもみられる。

すなわち、本研究は電子波デバイスの基礎となる半導体量子細線中の電子輸送現象について新しい重要な知見を得ており、半導体工学の進歩に貢献するところ大であり、工学博士論文として価値あるものと認める。