The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	Bend-Structure Dependence and Correlation Effects of Quantum Transport in Mesoscopic Systems
Author(s)	Karel, Vacek
Citation	大阪大学, 1994, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/38784
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

【27】

氏　　名	Karel（カレル）　Vacek（バセク）
博士の専攻分野の名称	博　士（工　学）
学位記番号	第　11362　号
学位授与年月日	平成6年3月25日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当 工学研究科応用物理学専攻
学位論文名	Bend-Structure Dependence and Correlation Effects of Quantum Transport in Mesoscopic Systems （メゾスコピック系における量子輸送のベンド構造依存性と相関効果）
論文審査委員	（主査） 教授　興地　斐男 教授　樹下　行三　教授　増原　宏　教授　志水　隆一 教授　河田　聡　教授　一岡　芳樹　教授　中島　信一 教授　後藤　誠一　教授　岩崎　裕　教授　豊田　順一 教授　石井　博昭

論文内容の要旨

本論文は，擬一次元量子細線，GaAs－AlGaAsヘテロ構造，シリコンMOS－FETにおけるメゾスコピック領域での量子輸送現象についての理論的研究をまとめたものである。

第1章では，緒言を与え，研究目的を述べている。

第2章では，量子細線におけるバリスティック輸送現象のベンド構造依存性を調べている。その結果，ベンド構造を持つ量子細線のコンダクタンス・パターンには非常に狭いディップが現れることを示している。さらに，サブバンド間のカップリングが量子細線構造面に垂直にかけた外部磁場の強度に強く依存することを示している。

第3章では，曲がった量子細線を組み合わせてつくった二つの対称性の異なる配置を持つ系での輸送現象を調べている。サブバンド間のカップリングはベンドを組み合わせることによってかなり強くなり，その結果，量子細線の一端から入射した電子の他端への透過確率には外部磁場の関数として多くの振動構造が現れる。しかし，伝導度のフェルミ・エネルギー依存性には振動構造はほとんど現れないことを示している。また，後方散乱が原因となって，コンダクタンス・プラトーの始めと終わりに一つか又は二つの狭いディップが現れることを示している。

第4章では，右まわりと左まわりのベンドを繰り返しつなぎあわせた新しいタイプの超格子をつくり，最も低いコンダクタンス・プラトーの領域でこの系における輸送現象を調べている。その結果，ほぼ周期的なミニバンドとエネルギー・ギャップが現れることを示している。

第5章では，超格子の輸送現象を高いコンダクタンス・プラトーの領域で外部磁場が存在する場合について調べている。その結果，高プラトーでは，伝導度はフェルミ・エネルギーと磁場の僅かな変化にも敏感であることを示している。さらに，多くのオープン・チャンネル間での強い電子波干渉効果のため，エネルギー・スケールが非常に小さい場合でもコンダクタンス・パターンにカオス的な振舞いが現れることを示している。

第6章では，量子細線の幅が非常に狭くなって最低エネルギーのサブバンドのみが占められている場合において，狭いチャンネルでピン止めされた領域での電子相関の効果について考察している。個々の電子は調和振動子型ポテンシャルによって閉じ込められており，電子間には$1/x^2$型の相互作用と交換相互作用が働くとしたモデルにおいて，Jastrow型の波動関数を用いて，多体系の波動関数とエネルギーを厳密に求めている。その結果，電子スピンの自由度に起因する2種類の独立な周期の振動構造が伝導度のフェルミ・エネルギー依存性に現れることを示している。

第7章では，本論文で得られた新しい結果のまとめを行っている。

論文審査の結果の要旨

原子のスケールよりは大きいが巨視的なスケールに比べると小さいスケールの様々な構造を持つ系を人工的に作ることが可能になっている。このような系はメゾスコピック系と呼ばれている。GaAs－AlGaAs ヘテロ接合界面においては電子の平均自由行程よりも小さい系も作成されている。このような系では電子は非弾性散乱はもちろん弾性散乱もほとんど受けずに運動するようになる。このようなバリスティックな運動とよばれる電子の運動には電子の波としての性質に由来すると思われる量子輸送現象が現れる。量子輸送現象の研究は基礎科学の観点から興味深い上に，応用上も極めて重要であると考えられる。本論文はメゾスコピック系で人工的に作られる量子細線中の輸送現象に対するベンド構造依存性と電子間相互作用の効果を理論的に調べたものであり，その成果を要約すると次の通りである。

(1) 量子細線の細線方向の電子状態はエネルギー的に連続であり，強い波動性を示す。一方，細線と垂直な方向の電子状態は量子化されている。この量子化に伴い電子のエネルギー状態はサブバンド構造を持つ。線幅が一定でまっすぐな細線ではサブバンド間にはカップリングはないが，ベンド構造を持つ細線ではカップリングが生じるようになる。さらに，ベンド領域では古典的な遠心力以外に量子効果に起因する引力が電子に働くため，準束縛状態が形成される。これに電子が共鳴散乱されるため，狭いディップが伝導度のフェルミ・エネルギー依存性に現れることを指摘している。

(2) 様々な構造を持つ量子細線中の電子の運動を散乱問題として取り扱い，細線の一方の端から他方の端への電子の透過確率を求め，得られる結果をランダウアー公式に代入することによってコンダクタンスを求めることができる。ベンド構造を持つ細線での散乱問題を数値的に解く方法としてモードマッチング法が有効であることを指摘している。

(3) 2つのベンド構造を組み合わせて作った量子細線では，サブバンド間のカップリングは1つのベンド構造からなる量子細線でのカップリングに比べて強くなる。このため量子細線中の電子の透過確率には外部磁場の関数として多くの振動構造が現れることを指摘している。また，ベンド構造を周期的に並べた超格子系ではほぼ周期的なミニバンドとエネルギー・ギャップが伝導度のフェルミ・エネルギー依存性に現れることを指摘している。

(4) 上記の超格子系でエネルギーの高いサブバンドの電子が輸送現象に関与する場合には，多くのチャンネル間に働く強い干渉効果のためにフェルミ・エネルギーや外部磁場の僅かな変化が伝導度に敏感に反映されること，その結果，伝導度にカオス的振舞いが現れることを指摘している。

(5) 線幅が非常に狭い量子細線中の電子系を電子間相互作用を含む一次元モデルで記述し，その多粒子系の厳密解を導出している。その結果，伝導度のフェルミ・エネルギー依存性には電子相関効果によって少なくとも2種類の振動構造が現れることを指摘している。

以上のように，本論文はデバイスとの関連で大切である量子細線中の輸送現象に現れる電子の波としての性質とさらには電子波間の相関効果を調べたものである。その結果、基礎的な面のみならず，応用の面でも非常に有益な知見を得ており，応用物理学，特に固体電子工学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。