

審査の結果の要旨

氏名 川津 琢也

近年、エレクトロニクスやフォトニクス分野では、種々の素子の性能や機能を飛躍的に高めるために、半導体のナノ構造を活用する試みが活発化している。例えば、量子ドットに閉じ込められた電荷の量を電気的あるいは光学的に変化させ、この変化をドット近傍においた極薄伝導層(チャンネル)を流れる2次元電子のコンダクタンスの増減として検知する試みがなされ、これらの現象のメモリー素子や光検出器へ応用可能性も内外で活発に探索されつつある。本論文は、「量子ドット埋め込みヘテロ構造チャンネルにおける2次元電子とその伝導特性」と題し、ドット内の電子とチャンネル内の2次元電子の相互作用を活用した先端素子の可能性を明らかにするための研究が記されており、7章から構成されている。

第1章は「序論」であり、量子ドットを含む半導体ナノ構造に関する研究の経緯を記すとともに、本研究の目的を述べている。

第2章は、「量子ドットによる2次元電子散乱の理論」と題し、中性および荷電した量子ドットによる2次元電子の散乱過程を理論的に定式化する研究について記述している。量子ドットの近傍の極薄伝導層を流れる2次元電子は、量子ドット自身が持つ引力的なポテンシャルの作用を受けるだけでなく、荷電したドットが持つクーロンの斥力ポテンシャルの影響などを受ける。本章では、これらのポテンシャルによる電子の散乱過程をモデル化し、2次元電子の移動度を算出する枠組みを構築し、後述の実験データの解釈の基盤を与えている。

第3章は、「自己形成 InAlAs アンチドット埋め込みヘテロ接合チャンネルにおける電子散乱」に関する研究を記している。Al組成の高いInAlAsドットをGaAs中に埋め込むと、ドットの周辺には電子を排除する斥力ポテンシャルができる。この種のアンチ(反)ドットをn-AlGaAs/GaAs変調ドープFET伝導層の近傍に埋め込んだ試料において、伝導層中を流れる2次元電子の移動度および強磁界下の磁気抵抗振動(シュブニコフ・ドハース効果)を計測し、散乱理論との対比から、アンチ・ドットの作る散乱ポテンシャルの特色を定量的に明らかにしている。

第4章は、「自己形成 InGaAs ドット埋め込みヘテロ接合チャンネルにおける電子散乱」と題し、GaAs/n-AlGaAsヘテロ接合伝導層の近傍にInGaAsドットを埋め込んだ試料を対象に、2次元電子の移動度および強磁界下の磁気抵抗振動をゲート電圧の関数として系統的に計測し、理論計算との対比から、InGaAsドットによる電子の弾性過程を定量的に明らかにしている。この系では、当初はドットに固有の引力ポテンシャルが作用するが、ドットに捕獲

される電子が増すにつれて、クーロンの斥力ポテンシャルが支配的となること、その移行領域で両者の相殺効果の生じることなどを明らかにしている。

第5章では、「InGaAs ドット埋め込みヘテロ接合における負の磁気抵抗効果と電子の局在」に関する研究が記されている。半導体では、極低温においては、不純物などによる弾性散乱によって電子の波が出发点に戻り、干渉する効果が無視できなくなる。この(アンダーソン)局在効果は、磁場を加えて、時間反転性を失わせると抑制されるため、抵抗が減少する。ドット埋め込みヘテロ接合において、この負の磁気抵抗効果をゲート電圧や温度の関数として測定し、その解析(および付録に記載した理論モデルとの対比)から伝導層内の電子が受ける非弾性散乱過程を明らかにし、ドット内電子と伝導層内の2次元電子との相互作用について考察している。

第6章は、「InGaAsドット埋め込みヘテロ接合チャンネルにおける磁場キャパシタンス」と題し、強い磁場を印加した状態でのヘテロ接合伝導層(チャンネル)のキャパシタンスをゲート電圧や磁場の関数として計測し、理論モデルと対比する研究を記している。特に、計測結果の周波数依存性から、量子ホール状態にある2次元電子系のエッジ状態とバルク状態を介する伝導過程を調べ、量子ドットの存在がこれらの伝導に及ぼす影響を、(付録に述べたモデルとの対比などから)明らかにしている。

第7章は、「結言」であり、本研究で得られた主要な知見とその意義を記すとともに、ドットと2次元電子伝導層を併用する先端的なエレクトロニクス素子の将来性について論じている。

以上、これを要するに、本論文は、量子ドットを電荷蓄積素子や光検出器などに応用する際に不可欠となる基礎的知見を確立するために、自己形成量子ドットの近傍に置いた極薄伝導層中の2次元電子の伝導現象を理論・実験の両面から調べ、ドットとその荷電状態が電子伝導に及ぼす効果を定量的に明らかにしたものであり、量子ドット構造を活用するナノエレクトロニクス素子の進展に寄与し、電子工学に貢献するところが少なくない。

よって本論文は博士(工学)の学位請求論文として合格と認められる。