

## 論文審査の結果の要旨

氏名 日達 研一

本研究の目的は横型単一量子ドットにおけるスピン状態の解明とスピン緩和の検出にある。本論文は7章からなる。第1章は序論で、研究の背景と目的が述べられている。第2章では研究の背景となる基礎理論と実験手法が述べられている。第3章から第6章が本論文の主要部分で、4つのテーマについて実験結果とその考察が述べられている。第7章はまとめと結論に充てられている。

量子ドットは少数個の電子を狭い空間に閉じ込めた構造であり、エネルギー準位の離散性や電子相関効果に起因する多彩な現象の舞台となる。本研究では半導体2次元電子系試料にショットキーゲート電極を配することによって形成される横型量子ドットを用いて、電子スピンが関与する現象を探求している。得られた主要な研究成果は以下のとおりである。

### (1) スピンフィルターを用いた基底状態のスペクトロスコピー (第3章)

スピンフィルター素子として、量子細線のコンダクタンスプラトーを用いるものと、量子ホールエッジ状態を用いるものの2種類を作製し、ランダウ準位占有率  $\nu = 2 \sim 4$  の領域における電子スピン状態と磁場掃引によるその遷移の様子を調べた。リードとドット間のトンネル確率がスピンの向きによって異なる場合、スピン3重項および1重項状態の出現がクーロンピークの高さの変調として観測されることをもとに、クーロンピークの高さの解析からスピンフィルター効果を抽出した。

### (2) ポンプアンドプローブ法によるスピン緩和の測定 (第4章)

量子ドットに併置した量子ポイントコンタクト(QPC)によってドットへの電子の出入りを観測する手法を用いて、スピン緩和の測定を行った。基底準位(GS)および励起準位(ES)の2準位が伝導に関与する状況において、ゲート電極にパルス電圧を印加して励起状態に上向きスピンとして入った電子が、待ち時間の間にスピン緩和をして基底状態から抜けるか、緩和せずにそのまま励起状態から抜けるかを調べる手法(ポンプアンドプローブ法)によってスピン3重項状態から1重項状態への緩和時間を0.3msecと見積もった。

### (3) 負のコンダクタンス現象の起源の解明とそれを用いた電子スピン共鳴の提案 (第5章)

スピン分離した2つのエッジチャンネルが、量子ドットとのトンネル結合の強さを大きく異にする場合の有限バイアス下での伝導特性を調べた。ゲートバイアスを変化させて伝導ウィンドウにGSのみならずESも入るようにすると量子ドットを通じた電流が減少するという負の微分コンダクタンス(NDC)を観測した。NDCの出現条件が左右の電極と量子ドットのトンネル結合の強さの比に依り非対称性が大きいほどスピン状態への感受性が高いことを、モデル計算から明らかにした。さらに、この現象を電子スピン共鳴(ESR)測定に応用する可能性を指摘した。

### (4) ドットに併置した量子ポイントコンタクト検出器によるデコヒーレンスの評価(第6章)

量子ドットへの電子の出入りをドット近傍に併置した QPC によって検出する手法において、QPC のバイアス電圧を大きくしたときにデコヒーレンスが引き起こされる現象について調べた。トンネル結合が弱い系ではクーロンピークの幅の変化から、またトンネル結合が強くて近藤効果が観測される系では近藤効果によるゼロバイアス・コンダクタンスの変化から、QPC バイアスによって実効電子温度が上昇することを結論した。このデコヒーレンス現象は QPC から放出された光子による光子介在トンネリングの機構に帰せられる。

以上のように、本研究は単一量子ドットにおけるスピン状態の性質を詳細に調べ、量子情報処理への応用において重要となるスピン緩和やデコヒーレンスに関して重要な知見を得たものと認められる。本論文の中核をなす第3章から第6章の研究内容は指導教員らとの共著論文として学術誌に印刷公表されているが、実験の遂行および結果の解析の大部分は論文提出者が主体となって行なったものと判断される。したがって博士(理学)の学位授与に値するものと認める。