

論文審査の結果の要旨

氏名 小寺 哲夫

近年、半導体の微細加工技術の発展により様々な形状を持った半導体超構造の作製が可能となり、低次元超構造中に閉じ込められた電子の量子力学的挙動を観測・制御できるようになった。とくに、量子ドットは0次元的に電子を閉じ込めるもので、量子ドット内の電子数を1個ずつ制御することによって、多彩な量子力学的現象を精密に研究できることから、利用も視野に入れた多くの研究が行われている。本論文では、2個の量子ドットが弱く結合した二重量子ドットについて、1電子状態、2電子状態を特定しながらの電気伝導測定を行い、電子間の相互作用、電子系と外部環境（核スピン、フォノン、フォトン）との相互作用、2電子状態におけるスピン間の交換相互作用を明らかにしようとしている。

本論文は5章からなる。第1章では、まず本研究の背景と本研究の目的について簡潔に述べている。第2章では、本研究の背景をより詳しく説明するために、単一量子ドットの電子状態、二重量子ドットの電子状態と直流電気伝導測定による電子状態同定についての基本的な事項を述べている。とくに、パウリ・スピン・ブロックード、スピン-重項-スピン三重項遷移など、電子スピンの関与する伝導現象や環境との相互作用に関する従来の研究についてまとめている。

続く第3章では、本研究で用いた二重量子ドット試料の作製と実験手法について述べている。本研究の特徴のひとつであるドット内の電子とフォトンとの相互作用の測定も含めた実験のセットアップについて述べている。試料はドット間のトンネル結合の異なる2個を作製し、測定に用いている。

第4章では、実験結果とその解析・考察が述べられており、本論文の中核をなしている。最初に、二重量子ドットの1電子状態および2電子状態を同定するために、ソース・ドレイン電圧、ゲート電圧を変えながらの電気抵抗測定で得られたクーロン・ダイヤモンドの解析をおこなっている。ドットへの電子の閉じ込めのポテンシャルを円対称な2次元調和振動子で近似してポテンシャルパラメータを求め、さらに円対称性・調和性からのずれも定量的に評価している。以上のドットの電子状態に関する正確な情報を踏まえて、まず、ドット間およびドットと導線間の電子のトンネル確率を、磁場を印加しながら電気伝導度測定を行い調べている。1電子状態間の遷移の場合は電気伝導の共鳴ピーク形状が対称的で、2電子状態を伴う遷移の場合は非対称的であることを見出し、二重ドット内の電子系とフォノン系との相互作用に関する知見を得ている。さらに、マイクロ波の照射によって共鳴ピークが分裂することを見出し、電子系とフォトン電場の相互作用を明らかにしている。次に、パウリ・スピン・ブロックード状態での電気伝導（リーク電流）の磁場依存性を詳細に調べている。電流が磁場で減少する現象を核スピンのゆらぎの抑制によると考

えることにより、電子と核スピンの相互作用の大きさを見積もっている。また、電流がある磁場で急激に増加する現象を見出し、これをスピン一重項–スピン三重項遷移と同定することによって、ゼロ磁場におけるスピン一重項とスピン三重項のエネルギー差 J を見積もっている。ソース・ドレイン電圧を変化させることによって J も変化することを見出し、ハバード・モデルを用いた解析で定量的に説明した。

最後の第5章で、本論文の結論をまとめ、将来の展望について述べている。

以上のように本論文は、二重量子ドットの電気伝導の磁場・フォトン電場のもとの精密な測定と解析を行うことによって、電子系と外部環境の相互作用を初めて電子状態を特定しながら明らかにした点、スピン一重項–スピン三重項分裂の大きさを実験的に明らかにした点で高く評価された。

なお、本論文の一部は、樽茶清悟、大野圭司、佐々木智、平山祥郎、北村陽介、藤沢利正、小幡利顕、羽田野剛司、岩井泰章、丸山達朗、Wilfred G. van der Wiel, Michael Stopa 各氏との共同研究であるが、論文提出者が主体となって実験、解析、考察を行なったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

したがって、博士(理学)の学位を授与できると認める。