

氏名(本籍)	菅野敦史(北海道)		
学位の種類	博士(理学)		
学位記番号	博甲第3659号		
学位授与年月日	平成17年3月25日		
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当		
審査研究科	数理物質科学研究科		
学位論文題目	Study of Spin Dynamics in III-V Quantum Dots by Time Resolved Kerr Rotation (時間分解 Kerr 回転法を用いた III-V 族量子ドットのスピンドイナミクスに関する研究)		
主査	筑波大学教授	理学博士	外本泰章
副査	筑波大学教授	理学博士	大塚洋一
副査	筑波大学助教授	博士(理学)	野村晋太郎
副査	筑波大学助教授	理学博士	白石賢二

論文の内容の要旨

半導体のスピン系の長時間にわたる偏極は、量子情報処理に有望と考えられ注目されている。量子ドットは、この中に電子が空間的に閉じ込められるので、バルク半導体中の電子スピンの主要な緩和機構である D'yakonov-Perel' 機構が電子の局在性のため凍結し、スピン緩和が制約を受けるため、長いスピン緩和時間を持つと期待されている。量子情報処理には、光で制御できるので量子通信との整合性が良い III-V 族半導体量子ドット中の長いスピン緩和時間を持つ電子スピンの探索やスピン緩和時間を伸長させる戦略を提出することが最重要である。

本研究では半導体量子ドット中の電子や正孔のスピン緩和を測定するため、超高分解能時間分解光誘起カー回転測定法を開発し、これを用いて単層量子ドット中のスピンドイナミクスの研究を行った。

時間分解カー回転法はファラデー回転法とならんで共鳴励起下で光励起キャリアーのスピンドイナミクスを測定する有効な手法である。本研究では光弾性変調器、光ブリッジ型平衡フォトダイオードおよびロックイン増幅器を二段に直列に使うことにより、 5×10^{-3} 度の角度分解能をもつ世界最高感度の時間分解カー回転測定系の建設に成功した。

続いて単層の歪み誘起 GaAs 量子ドットにおいて、電子スピンのラーモア歳差運動が観測された。歳差運動周期から得られた g 因子 $|g| \sim 0.25$ は、すでに同一試料において報告のある発光量子ビート測定による結果と矛盾しない。また量子井戸におけるスピン緩和寿命よりも長い量子ドットのスピン緩和寿命が観測された。これは D'yakonov-Perel' 機構の抑制によりスピン緩和が抑制されたと考えることが出来る。更に量子ドットと量子井戸中の電子スピン緩和速度に温度 T に対し 100K 以下では温度依存性がなく、100K 以上では T^n ($3 \leq n \leq 4$) で増加する温度依存の寄与を見出した。

n-GaAs 基板に作成された自己組織化 InP 量子ドットを用いた測定においては、観測されたラーモア歳差運動の同期から $|g| \sim 0.052$ という正孔によると考えられる振動成分の観測に成功した。電子のドーピングされた GaAs 基板から電子が移ることで量子ドットにも電子がドーピングされている状況では、パウリの原理により、光生成による電子とドーピングによって存在する電子は逆向きのスピンを持たなければならない。電子の歳差運

動が 180° の位相差をもっておこると、2つの電子スピンのラーモア才差運動にもとづくカー回転信号が互いに打ち消されるため、正孔の歳差運動のみがカー回転信号に観測されたと考えられる。

審 査 の 結 果 の 要 旨

本研究は、 5×10^{-3} という世界最高レベルの角度分解能をもつ時間分解光励起カー回転測定法を開発し、これを用いて量子ドット中の電子・正孔のスピンの緩和、スピンのコヒーレンスをドットと井戸を比較したり、温度の関数として研究したものである。数々の工夫により世界最高レベルの角度分解能をもつ時間分解光励起カー回転測定法を開発したことは、極めて高く評価できる。また、歪誘起 GaAs 量子ドット中では、電子スピンの緩和に閉じ込め次数の増加によりスピンの緩和時間の伸長を見出した点、InP 量子ドット中では、正孔のスピンの歳差運動を初めて観測した点が高く評価できる。

よって、著者は博士（理学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。