

【基盤研究(S)】

理工系 (数物系科学)



研究課題名 量子対の空間制御による新規固体電子物性の研究

東京大学・大学院工学系研究科・教授 たるちや 樽茶 せいご 清悟

研究課題番号: 26220710 研究者番号: 40302799

研究分野: 物理、物性 I

キーワード: スピン物性 (半導体)

【研究の背景・目的】

ナノ構造中の電子を厳密に制御する技術を用いて、量子ドット・細線などの相関電子系、異種の量子からなる複合系などの研究が可能になり、また、量子情報処理への応用が進められている。代表者らは早くから当該研究に参入し、結合ドットの電子相関、スピン操作、光子からスピンへの量子変換の研究に集中してきた。その中で、電子対、光子-スピン対などの対相関に空間の自由度を導入し、加えて量子情報の技術を活用することができれば、量子制御の研究分野は格段に広がり、量子電子物性の新しい研究分野・手法が開拓できることを着想した。その中核となる研究項目として、①多重ドット列の電子相関、②スピン対の量子電子光学、③超伝導-量子ドット (細線) 接合の非局所電子対、④光子-スピン対の相関を取り上げる。

【研究の方法】

上記4つの項目の研究方法を以下に示す (図1)。  
 ①現有の微小磁石法による新型電子スピン量子ビット技術を拡張して、3-5個のドットから成る交換結合型量子ドット列を作り、その基底・励起電子状態の磁気的性質を解明する。また、3-5量子ビットを用いて量子計算の基本アルゴリズムを実証する。  
 ②単一量子ドット中の電子対の基底状態は量子もつれ (一重項) である。代表者らが開発した、表面弾性波による単一電子のドット間移送を発生させて、表面弾性波中のスピン対を分岐伝送路で分離し、片方の伝送路の電子スピンをスピン軌道相互作用を利用して制御する。これを基盤として、非局所量子もつれのベル測定による検証と電圧制御を行う。  
 ③独自に開発した並列2重ドットを含むジョセフソン接合を改良して、両ドットへのクーパ対分離の高効率化と、それによる超伝導電流の増大を確認する。これにより固体系で初となる、分離量子もつれの検証を達成する。また、理論予測されているマヨラナ粒子について、従来の実験の不明点を、接合の高品質化と位相測定、細線の一次元性の制御により解消し、その真偽を確認する。

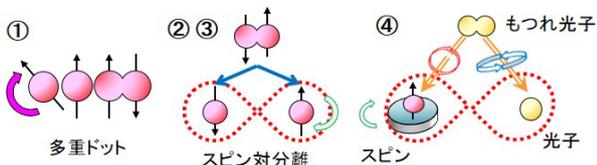


図1 ①-④に対応する量子対の空間制御

④量子ドットのスピン操作を利用して、まず単一光子から単一スピンへの情報転写を、次に、パラメトリック下方変換を用いたもつれ光子対を導入して、一つの光子から生成したスピンと残りの光子の空間分離状態を生成し、その間の相関を検証する。その結果をもとに、当該対相関を原理とする量子中継の有用性を議論する。

【期待される成果と意義】

多重ドット列の項目では、スピン操作を用いて電子配列のスピン状態を自在に形成することにより、ハイゼンベルグ電子格子の物理に迫る。スピン対の量子電子光学の項目では、単一電子、電子対の発生源、ビーム分配器などを実現することにより、固体電子系に量子光学の概念と手法を本格的に導入できる。さらに、スピン対の分離と制御を組み合わせた実験ができれば、固体系量子電子光学の新分野として発展し得る。超伝導/ドット (細線) 接合の項目では、固体系で初となる、分離量子もつれの検証に成功する可能性が高い。また、マヨラナ粒子の検証ができれば、上記検証と併せて学術的意義は極めて大きい。光子-スピン対の項目は量子中継の技術と物理に関係する。代表者らは既に単一光子の角運動量転写の実験に成功しており、スピン回転操作による位相項の検出、もつれ光子対実験への移行が研究の成否の鍵を握る。技術的難易度は高いが、学術、応用の両面で波及効果は大きい。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- R. Brunner, Y.-S. Shin, T. Obata, Y. Tokura, M. Pioro-Ladrière, T. Kubo, T. Taniyama, and S. Tarucha: Two-qubit gate of combined single spin rotation and interdot spin exchange in a double quantum dot, *Phys. Rev. Lett.* **107**, 146801-146804 (2011).
- M. Yamamoto, S. Takada, C. Bäuerle, K. Watanabe, A. D. Wieck and S. Tarucha: Electrical control of a solid-state flying qubit, *Nature Nanotechnology* **7**, 247-251 (2012).

【研究期間と研究経費】

平成26年度-30年度  
150,000千円

【ホームページ等】

<http://www.meso.t.u-tokyo.ac.jp>