The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	1つの光子と1つの電子スピンを結ぶ
Author(s)	大岩，顕
Citation	大阪大学低温センターだより. 2015, 163, p. 16-18
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/51265
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

The University of Osaka

談話室

1つの光子と1つの電子スピンを結ぶ

産業科学研究所　大岩　顕（内線171-8405）
E-mail: oiwa@sanken.osaka-u.ac.jp

1．はじめに

平成26年4月に産業科学研究所　量子システム創成研究分野の教授に着任いたしました大岩顕と申します。これまで量子ドットを中心して半導体ナノ構造における量子伝導現象の研究に携わってまいりました。したがって私の研究でも液体Heが必要不可欠で、近年の世界的なHe供給不足の中、キャンパス内の液体ヘリウムの安定供給は研究の大変重要な問題です。この原稿を執筆している頃、ようやく主要装置の一つである超伝導磁石付^{3}He光学冷凍機の運転を開始し、吹田キャンパスで低温実験を開始し始めました。実験室の立ち上げでは吹田キャンパス低温センターにも大変お世話になり、管理の行き届いた運営体制を実感いたしました。これから低温センターの運営と発展に微力ですがご協力できるよう努めてまいります。今回、談話室を執筆させていただく機会をいただきましたので、自己紹介といたしまして、これまでの研究の主要な成果の一つを紹介させていただきます。

2．光ー電子スピン量子インターフェースの研究

これまで制御性が高いGaAs系量子ドット中の電子スピンを使った量子コンピュータの研究が進んでいましたが[1,2]、核スピンとの超微細相互作用による電子スピンコヒーレンスの抑制が問題となっていました。しかし最近、同位体^{28}Siで精製された基板を使って核スピン揺らぎの影響を抑えたSi量子ドットではT_2^*=120 μsという長いコヒーレンス時間が実現されるなど重要な成果が次々達成されています[3]。ここで長距離の量子情報通信を担う光子と、この集積化可能なスピン量子ビットの間で量子情報の受け渡しができれば、量子インターフェースや量子中継技術の開発に大きな進展をもたらすと期待されます。

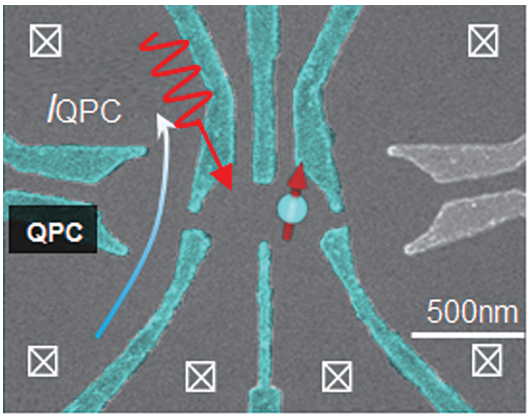

図1　量子ポイントコンタクト（QPC）電荷計を備えた2重量子ドットの電子顕微鏡写真。微弱パルス光照射により左側のドットへ単一電子を生成する。

我々は、これまで制御性の良い電気制御GaAs量子ドットと量子ポイントコンタクト電荷計を使い、単一光子から単一電子スピンへの量子状態転写の研究を行ってきました（図1）[4,5,6]。量子ドットと近接した量子ポイントコンタクトを高感度単一電荷計は量子ドット中の単一電子の電荷とスピンのダイナミクスを実時間で高感度に検出することができます[7]。微弱パルス光照射と希釈冷凍機や^{3}He冷凍機を組み合わせた実験系を構築し、2重量子ドットにおけるドット間トンネルのス

ピン選択性を使った光生成単一電子の電荷とスピンの検出を実現しました。

光照射前、2量子ドットの右側のドットに1電子（参照電子）を用意しておきます。十分強い外部磁場をかけ、この電子のスピンを磁場方向へ揃えておきます。ここへ微弱光（波長~785 nm）を照射して単一光子が生成する単一電子を左ドットに捕捉します。光生成単一電子のスピンが参照電子のスピンと反平行の場合には、図２の上図に示したように、この光生成電子は2ドット間のトンネル結合で決まる時間程度で 左ドットから右ドットへ遷移し、電荷状態は(1,1)から(0,2)へ変化するため、電荷計電流には対応した電流変化が現れます。一方、平行スピンの場合にはパウリ則により光生成電子は右ドットには遷移できず、電荷状態は(1,1)状態が緩和するまで(1,1)に留まり、図２の下図に示したように電荷計電流は一定値のままです。このように電荷計とパウリ則を組み合わせることで、光生成単一電子のスピンを判別することに成功しました。ドット間共鳴トンネルを利用すると、90％を超える正確性で判定できます。さらに入射単一光子の偏光を σ^- から σ^+ 偏光へ連続的に変化させると、検出される光生成単一電子スピン方向も連続的に変化することを確認し、単一光子から単一電子スピンへの角運動量変換を実証しました。この角運動量変換は、電気制御量子ドットと光子偏光状態を結合させることが可能であることを示しており、量子インターフェースへの展開に、大変重要な成果です。現在は単一光子状態から単一電子スピン状態への量子状態変換の実現を目指して研究を進めています。

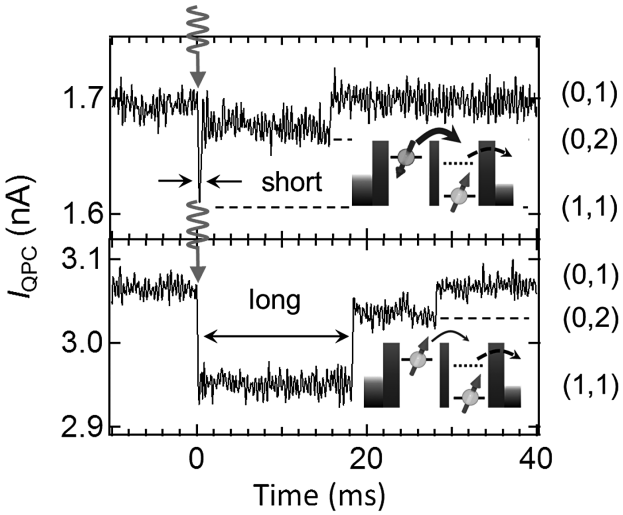

図2 750 mTで測定したシングルショット単一光子検出。上図（下図）は下向き（上向き）光生成単一電子スピンを検出したことを示している。平行スピンの場合にはパウリ則によりドット間遷移が抑制されるために(1,1)電荷状態が長く保たれる。

３．まとめ

本稿では、電気制御GaAs量子ドットにおける光子－電子スピン間角運動量変換を紹介しました。これは光子とスピンという異なる量子系を結合させる新しい固体量子効果の研究です。特に^{3}He冷凍機あるいは希釈冷凍機中にレーザー光を導入し、電荷やスピンの光誘起ダイナミクスを電気伝導で検出するという独自の低温測定技術が研究の鍵となっております。今後もこうした新しい低温実験の開発により新しい低温量子現象の開拓を目指しています。最後に本稿で紹介した研究成果は、前職の東京大学大学院工学系研究科物理工学専攻の樽茶教授の研究室で行われたもので、共同研究に感謝いたします。

参考文献

1. J. Petta *et al.,* Science **309**, 2180 (2005).
2. M. Pioro-Ladrier *et al.,* Nature Phys. **4**, 776 (2008).
3. M. Veldhorst *et al.,* arXiv:1411.5760.
4. A. Pioda *et al.,* Phys. Rev. Lett. **106**, 146804 1-4 (2011).
5. T. Fujita *et al.,* Phys. Rev. Lett. **110**, 266803 1-5 (2013).
6. K. Morimoto *et al.,* Phys. Rev. B **90**, 085306 1-5 (2014).
7. J. M. Elzerman *et al.,* Nature 430, 431-435 (2004).