

大岩 顕

国立大学法人大阪大学 産業科学研究所
教授

電子フォトニクス融合によるポアンカレインターフェースの創製

§ 1. 研究実施体制

(1)「大岩」グループ

① 研究代表者:大岩 顕 (大阪大学産業科学研究所、教授)

② 研究項目

大岩グループは代表者の研究グループとして、各研究グループと連携しながら、研究目的であるポアンカレインターフェースの創製を達成できるよう全体を総括する。

- ・電気制御量子ドットを導入可能なフォトニックナノ構造の設計と作製・評価 (研究計画項目 1-1)
- ・フォトニックナノ構造と融合した量子ドットにおける高効率光-電子変換の実証 (研究計画項目 1-2)
- ・円偏光-スピン流変換とポアンカレ偏光検出器の開発 (研究計画項目 3-1)
- ・ポアンカレ偏光検出器の応用 (研究計画項目 3-2)

(2)「樽茶」グループ

① 主たる共同研究者:樽茶 清悟 (東京大学大学院工学系研究科、教授)

② 研究項目

- ・単一光子もつれ対の生成、片方の光子で生成したスピンと他方の光子の相関 (研究計画項目 2-1-1)
- ・光子ベル部分基底の生成とスピン対への角運動量転写 (研究計画項目 2-1-2)
- ・光子対ベル基底の生成、スピン対ベル基底への転写 (研究計画項目 2-1-3)

(3)「岩本」グループ

① 主たる共同研究者:岩本 敏 (東京大学生産技術研究所、准教授)

② 研究項目

- ・電気制御量子ドットを導入可能なフォトニックナノ構造の設計と作製・評価 (研究計画項目1-1)
- ・フォトニックナノ構造を用いたポアンカレインターフェース基盤技術開発(研究計画項目1-2)

(4)「中島」グループ

① 主たる共同研究者:中島 峻 (理化学研究所創発物性科学研究センター、特別研究員)

② 研究項目

- ・Si 量子ドットでのポアンカレインターフェースへの実装と評価(研究計画項目2-2)
- ・ベル測定の高忠実度化(研究計画項目2-1-2)

(5)「都倉」グループ

① 主たる共同研究者:都倉 康弘 (筑波大学数理物質系、教授)

② 研究項目

- ・光子-電子スピン量子変換におけるコヒーレンスの検討(研究計画項目1-3)
- ・ベル測定の高忠実度化の検討(研究計画項目2-1-2)
- ・長距離量子情報通信のための量子中継システムの検討(研究計画項目2-3)

§ 2. 研究実施の概要

本研究の3つの中心課題の1つであるフォトニックナノ構造と電界制御型量子ドットの融合による高効率・高品質ポアンカレイインターフェースの創製を目指し、ナノフォトニック構造との融合に取り組んでいる。昨年度実施したL4型フォトニック共振器の基本設計に基づき、実際の量子井戸構造における構造パラメータを抽出し、フォトニック結晶構造の試作を行い目標とするパターン形成に成功した(図1)。その過程で、構造最適化に向けた指針や作製上の課題を明らかにした。現在、フォトニック結晶円孔周辺の空乏化の影響の評価を進めている。また、円偏光光子検出に向け、より対称性の高いH1型共振器の設計を開始した。さらに表面プラズモンアンテナと組み合わせることで直下の量子ドットへの透過率が従来より50倍程高くなることを電磁場解析から明らかにし[1]、透過率増大の実証実験を開始した。

一方で、量子状態の変換過程では、光励起された電子・正孔対の間に働く交換相互作用はスピン状態転写の忠実度を低下させる可能性があるため、これを理論的に評価した。本プロジェクトで用いる電界閉じ込め量子ドットでは電子と正孔は生成後直ちに空間的に分離するため、交換相互作用による忠実度の低下は比較的小さいことが分かった。

2つの目の課題である、ポアンカレイインターフェースを用いた長距離量子通信システムの基盤技術に必要なもつれ光子対の導入を進め、もつれ光子対の片方を量子ドットデバイスへと照射し生成された電子と、もう片方の光子の同時検出を実証するための実験を行い、ドットでの電子検出と光子の検出が同時に起きる事象が測

定された(図1)。この同時検出信号が光子対由来なのか調べるため、電子検出があるときとないときの光子検出確率を比べた。その結果、電子検出があるとき光子検出確率が大きくなることが分かった。これはもつれ光子対から電子光子の対が形成されていることを示している。

量子中継の要素技術であるベル測定の高忠実度化に向けて、量子ドットデバイスにおける単一電荷測定の高速度を図ることで電子スピン緩和が抑制され、ベル測定の忠実度が向上することを確認した。現在、さらに電荷信号を増強することで世界最高の忠実度実現に取り組んでいる。これとは別に量子ホールエッジ状態を利用して、2つのベル基底を含む3つの2電子スピン状態を区別する新しいスピン検出法を実証した[2]。さらに量子中継器においてGaAsに代わり量子メモリとしての利用が期待されるSi量子ドットデバイスを作製し、その安定性と制御性の評価を行なった(図1)[3]。基本的な特性は極めて良好であることが確認され、量子メモリ時間の検証を引き続き進めている。

3つ目の課題であるポアンカレイインターフェースを用いた偏光検出器の研究では、円偏光スピン流変換と量子状態変換を組み合わせるため100 μm 程度の十字メサ構造を量子状態変換用(110)GaAs量子井戸基板に作製した。

[1] R. Fukai, T. Nakagawa, H. Kiyama, and A. Oiwa, *Jpn J. of Appl. Phys.* **56**, 04CK04 (2017).

[2] H. Kiyama, T. Nakajima, S. Teraoka, A. Oiwa, and S. Tarucha, *Phys. Rev. Lett.* **117**, 236802, (2016).

[3] K. Takeda, J. Kamioka, T. Otsuka, J. Yoneda, T. Nakajima, M. R. Delbecq, S.

Amaha, G. Allison, T. Koder, S. Oda, and S. Tarucha, *Science Advances* **2**, e1600694 1-6 (2016).

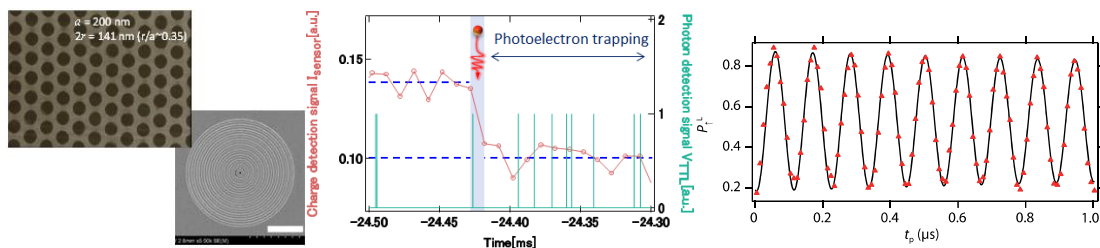


図 1: (左)作製したフォトニック結晶(周期 200nm, $r/a \sim 0.35$)と表面プラズモンアンテナの電子顕微鏡写真。バーは $5\mu\text{m}$ 。(中) もつれ光子対の光子と量子ドット中の電子の同時検出。(右) Si 量子ドットデバイスで観測された電子スピンのコヒーレント振動。