

「新たな光機能や光物性の発現・利活用を基軸とする
次世代フォトニクスの中核技術」
平成27年度採択研究代表者

H29 年度
実績報告書

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)
- ・Si 2次元電子系における円偏光・スピン流変換とスピン選択励起の評価(研究計画項目 2-2)
- ・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)
- ・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)

(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 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ている。フォトニック結晶構造における電気特性評価の結果、ゲート電極および量子ドットの吸収の影響などを考慮し、量子井戸吸収領域に高次共鳴モードを有するL3型共振器を設計し、数値解析により共振器モードによる吸収増強効果が得られること示した。また、実際の構造を作製し、室温における励起発光分光によりフォトニック結晶ナノ共振器による量子井戸の吸収増大効果を実験的に観測することにも成功した。フォトニックナノ構造として、表面プラズモンアンテナとの融合では、昨年度までに設計を終え、今年度はGaAs2次元電子に形成したマイクロホールバー上に表面プラズモンアンテナを作製し、光伝導度測定による透過率と反射率の測定を行った。入射光とアンテナ面の傾きや加工精度によるスペクトル形状の変化など、透過率増強を量子ドット素子において実現するための様々な要因を検討した。

量子状態転写過程でのコヒーレンス保持の検討を継続して、光励起により生成した電子・正孔対が持つスピン状態の忠実度に関して理論的な検討を加えた。交換相互作用による忠実度の低下は比較的小さいが、量子二状態の相対位相の一定のシフトの寄与は比較的大きい為結果の解析には注意が必要である事が分かった。また、生成したスピン状態の操作や位相緩和の抑制のためのパルス操作の精度や多光子過程の寄与を検討した。

長距離量子通信システムの基盤技術開発では、光子対から電子スピン対へのもつれ変換の実証を目指した。まず実時間でのスピン閉塞効果を用いたスピン読み出し手法の高精度化を行い、スピンを10マイクロ秒の読み出し時間(スピンの緩和時間より十分短い時間)で高精度に測定できるようになった。さらに、ドットへの光電子の生成と光子のエネルギーとのスペクトルを測定し、強磁場での軽い正孔のゼーマン分裂を観測した。ゼーマン分離の軽い正孔の選択励起は、光子偏光から電子スピンへの量子状態転写の必要条件であり、この結果を踏まえて、光子-スピン状態転写の実証実験をおこなった。その結果、昨年度の光子対から電子スピン対の生成実験と合わせて、これでもつれ光子対から光子偏光電子スピン間に量子もつれ相関が生成されることが実証された。

量子中継器の効率向上に向けて、ポアンカレイインターフェースによって光子から変換された電子スピンに対するベル測定の高忠実度化を図った。準安定状態を利用した新たな手法を適用することで、部分ベル測定の忠実度として99.5%の世界最高値を達成した[2]。また、長い量子メモリー時間により量子中継器への応用が期待されるSi量子ドット試料において、最大3ミリ秒の量子メモリー時間を実証した。このメモリー時間は当初想定していた磁氣的雑音ではなく、電氣的雑音により制限されることを明らかにし、今後の高性能化に対する新たな指針を得た。

このように、光子の偏光状態からスピンへの変換効率、忠実度、位相緩和時間、ベル測定の忠実度などの主要パラメタの実験的に見積もりが集積して来た事により、量子中継システムとしての性能評価の検討を開始した。

ポアンカレイインターフェースを用いた全偏光検出器の研究では、(110)量子井戸の十字構造において、スピンホール効果を利用した円偏光励起スピン偏極の電氣的検出を試み、円偏光に依存

する信号を検出することに成功した。

代表的な原著論文

[1] K. Kuroyama et al., *Scientific Reports* **7**, 16968 (2017).

[2] T. Nakajima et al., *Physical Review Letters* **119**, 017701 (2017).

[3] A. Oiwa et al., *Journal of the Physical Society of Japan* **86**, 011008 (2017).