

平成27年度採択研究代表者

大岩 颯

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 颯 (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)大塚グループ

① 主たる共同研究者:大塚 朋廣 (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気制御量子ドットの融合による高効率・高品質ポアンカレインターフェースの創製では、金属や半導体の吸収効果を考慮した電磁界解析手法を確立し、量子井戸構造を有するフォトニック結晶ナノ共振器構造と量子ドット構造を有するブルアイ構造について、共振器特性の設計と解析を行った。シミュレーションの結果、ブルアイ構造を導入することで 10 倍程度の局所電場増強が期待できることがわかった。一方、量子井戸構造を有する 2 次元フォトニック結晶スラブナノ共振器構造では、ゲート電極を共振器電場の弱い部分に配置することで、 Q 値は主に量子井戸部分の吸収で決定されることがわかり、今後の設計において重要な指針を得た。また光子-電子スピン量子変換で主たる位相緩和過程であると考えられる、正孔との交換相互作用の寄与を定量的に見積もるための理論的手法の開発を開始した。

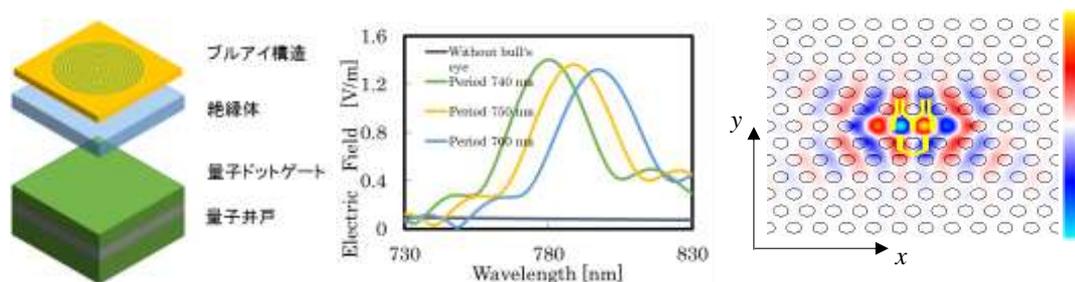


図 1(左) 量子井戸上のブルアイ構造と (中) その電場シミュレーションの計算結果、(右) フォトニック結晶共振器モードの電場分布。黄色で示した構造は表面に配置した量子ドット用金ゲート電極を示す。

2 つの目の課題である、ポアンカレ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の開発では、もつれ光子対を用いた実験を行うため、まずもつれ光子対の高効率発生を実現し、光子対の偏光相関を確認した。続いて、GaAs 量子ドットに光子対の片方を照射して光生成電子を検出して、もう片方の単一光子を光子検出器で検出できることを確認し、単一光子もつれ対の生成と電子スピンと光子の間の角運動量相関の実現へ、第一段階を達成しつつある。さらに電気制御ドットとしては初めて光学スピン閉塞を観測し、それを光スピン検出法として利用して、重ね合わせ状態の変換を示唆する結果を得た。

量子中継に不可欠なベル測定の高忠実度化に関連して、GaAs 系量子ドットで電子スピンコヒーレンス時間を制限する核スピン揺らぎの相関時間よりも十分に速い電子スピンドYNAMICSを高速測定手法により捉えることに成功し、電子スピンへの様々な操作に対応した異なるコヒーレンス時間が定義できることを明らかにした。これは量子中継に必要な量子メモリーにも有用な結果である。また 2 量子ドットにそれぞれ束縛された二つの局在電子スピンのベル測定の解析の為の準備として、二つのスピンと同時に交換相互作用をする飛行電子スピンの影響を理論的に解析した。さらに同位体制御 $^{28}\text{Si}/\text{SiGe}$ 基板を用いた 2 重量子ドット試料を作製した。

3 つ目の課題であるポアンカレインターフェースを用いた偏光検出器については、GaAs 2 次元電子系を $10\sim 100\mu\text{m}$ 四方の光検出部に加工し、量子ポイントコンタクトを利用した光生成スピン偏極電流の検出を試みた。実験系の構築など、今後のスピン流による偏光検出の予備実験を行った。