

「量子状態の高度な制御に基づく革新的量子技術基盤の創出」  
平成29年度採択研究代表者

H29年度 実績報告書
----------------

小坂 英男

横浜国立大学大学院工学研究院  
教授

ダイヤモンド量子セキュリティ

## § 1. 研究実施体制

### (1)「横浜国大」グループ

- ① 研究代表者:小坂 英男 (横浜国立大学 大学院 工学研究科、教授)
- ② 研究項目
  - ・量子テレポーテーション転写の開発
  - ・量子もつれゲートの開発
  - ・量子もつれ発光の開発
  - ・量子もつれ測定の開発

### (2)「AIST」グループ

- ① 主たる共同研究者:加藤 宙光 (産業技術総合研究所 先進パワーエレクトロニクス研究センター、主任研究員)
- ② 研究項目
  - ・素子化技術の開発
  - ・ドーピング・フェルミレベル制御

### (3)「NIMS」グループ

- ① 主たる共同研究者:寺地 徳之 (物質・材料研究機構 機能性材料研究拠点、主席研究員)
- ② 研究項目
  - ・NV 配向制御ダイヤモンド結晶成長
  - ・炭素同位体濃度制御ダイヤモンド結晶成長
  - ・ダイヤモンド単一窒素イオン注入

## § 2. 研究実施の概要

本研究では、超スマート社会の実現に不可欠な情報セキュリティを物理的に保障する、量子暗号通信の長距離化・多重化・高機能化を目的とする。従来の100km以下の第一世代量子通信を1000km級の第三世代量子通信に拡張するための量子中継による長距離化・多重化や、機器認証を量子的に行う量子認証による高機能化を目標とする。ダイヤモンド中の窒素空孔(NV)中心における光子と電子の自発的な量子もつれ発光・吸収を基礎とし、光子から核子への伝令付き量子テレポーテーション転写、電子と核子の誤り符号付きのホロミック量子ゲート、シングルショットによる核子間の完全な量子もつれ読み出し、同位体炭素配置の機械学習による量子認証などを行い、量子セキュリティの実用化に道を開く。

本年度は、量子もつれゲートの基礎となる光波によるホロミック量子ゲートの開発において進展があった。ダイヤモンド中の窒素空孔中心(NV中心)に存在する単一電子スピンを、位相変調されたレーザー光を用い高効率かつ高精度なホロミック量子ゲート操作を行うことに成功した。電子スピんとレーザー光間のエネルギーを等しくすることで、高忠実度化にネックだった光パルスの矩形波制限を取り払った。従来、電子スピんとレーザー光の間にエネルギー差をつけて電子スピンの任意操作を行っていたが、この手法では電子スピンの制御に用いる光パルスが矩形波に制限されてしまうという問題があった。本研究ではエネルギー差の代わりに光の位相自由度を利用する事でこの問題を解決し(図1)、実験で実証した(図2)。今後、任意波形整形された光パルスを用いれば、集積化されたマルチスピン系の複雑なダイナミクスまでも考慮した、高精度なスピン制御の実現が期待される。

本来、レーザー光により生じる電場は、磁気的な性質を持つ電子スピんとは直接相互作用しないが、電気的な性質を持つ電子軌道とは相互作用するため、スピン・軌道相互作用を利用して電子スピンを間接的に制御する必要がある。また、我々が用いた量子ビットは基底間にエネルギー差を持たない縮退量子ビットであるため、補助的なエネルギー準位を利用したホロミックな量子制御を行った。これにより、操作エラーやノイズに耐性のある量子制御が可能となった。

本成果は Optics Letters に掲載された。

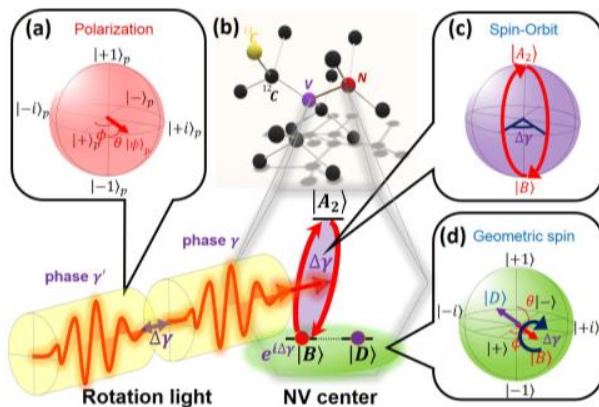


図 1. ホロミック量子ゲートの原理

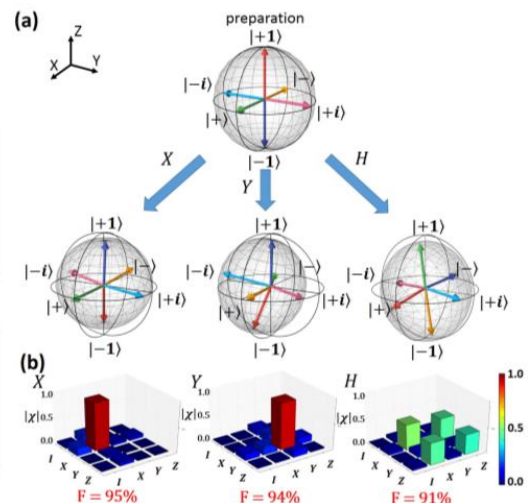


図 2. ホロミック量子ゲートの実験結果