

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. 研究成果の概要

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・高機能化を目的とし、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、炭素同位体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。

量子もつれ発光に関しては、ゼロフォノン線発光を用い電子と光子の偏光もつれ発光に 72%以上の忠実度で成功し、量子性を示すことに成功した。また、偏光とタイムビン光子を相互に変換するシステムを構築し、長距離量子中継へ向けた取り組みを行った。

量子テレポーテーション転写に関しては、以前行った光子から窒素核子への伝令付き量子テレポーテーション転写を単一の炭素同位体核子への転写(シングルメモリー転写)に拡張することに

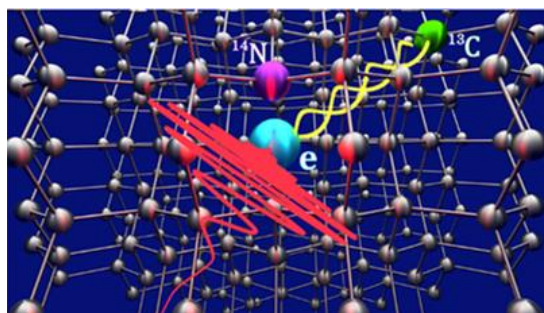


図 1. 光子から炭素核子への量子テレポーテーション転写。電子と核子のもつれを生成し、光子吸収により光子の量子状態が核子の量子状態へと転写。

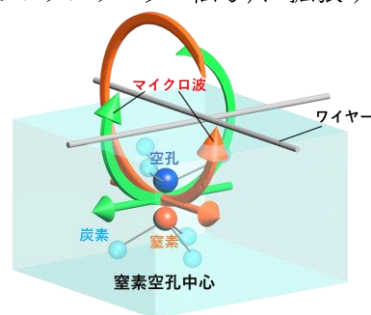


図 2. 偏光を自在に制御したマイクロ波による電子と窒素核子の万能ホロミック量子もつれゲート。誤り符号を有し、エラー耐性をもつ量子演算が可能。

成功した[1](図1) (Nature Publishing *Communications Physics* 掲載)。さらに複数の炭素同位体の中から事前に選択した任意の一つの炭素同位体核子への選択的な伝令付き量子テレポーテーション転写(マルチメモリー転写)に 78%の忠実度で成功し、転写の量子性を示した。独自の GRAPE 手法で波形最適化されたマイクロ波を用い、複数の炭素同位体の中からターゲットとする炭素同位体だけを事前に電子ともつれさせることで、アダプティブな量子転写を可能とした。

量子もつれゲートに関しては、初年度に行った光波による電子の誤り符号付きホロミック量子ゲート操作を偏光制御したマイクロ波に置き換えることで、電子と窒素核子の二量子系に拡張し、任意規模の量子操作が可能な万能ホロミック量子もつれゲート操作の可能性を示した[2] (図2)。また、単一電子スピンの量子ゲート操作の忠実度をランダマイズドベンチマークによって評価し、99%以上の操作忠実度を得た (*Nature Communications* 掲載)。さらに、NV 中心の電子、窒素、炭素同位体で構成する多体量子系のハミルトニアンを GP-GPU を用いた並列計算で機械学習し、2つのハミルトニアンパラメータを 10kHz 以下の精度で高速に同時推定することに成功した。

量子もつれ読み出しに関しては、要素技術となる窒素および炭素の核スピンのシングルショット測定、電荷状態のシングルショット読み出しに、それぞれ 86%、92%、99.8%の忠実度で成功した。

その他、システム機能実証へ向けた素子作製としてダイヤモンドの微細加工でソリッドイマージョンレンズ構造をもつ単一 NV 素子を作製し、発光・受光合わせて 12 倍の光増強に成功した。

【代表的な原著論文】

1. Kazuya Tsurumoto, Ryota Kuroiwa, Hiroki Kano, Yuhei Sekiguchi and Hideo Kosaka*, “Quantum teleportation-based state transfer of photon polarization into a carbon spin in diamond”, *Communications Physics* (Nature Publishing), in press.
2. Kodai Nagata, Kouyou Kuramitani, Yuhei Sekiguchi and Hideo Kosaka*, “Universal holonomic quantum gates over geometric spin qubits with polarised microwaves”, *Nature Communications*, 9, 3227 (2018). IF=12.353, DOI: 10.1038/s41467-018-05664-w
3. Naoki Ishida, Takaaki Nakamura, Touta Tanaka, Shota Mishima, Hiroki Kano, Ryota Kuroiwa, Yuhei Sekiguchi, and Hideo Kosaka*, “Universal holonomic single quantum gates over a geometric spin with phase-modulated polarized light”, *Optics Letters*, 43, 2380–2383 (2018). IF=3.416, DOI: 10.1364/OL.43.0

§ 2. 研究実施体制

(1)「横浜国大」グループ(研究機関別)

- ① 研究代表者:小坂 英男 (横浜国立大学 大学院工学研究院、教授)
- ② 研究項目
 - ・量子もつれ発光の開発
 - ・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
 - ・量子もつれ測定の開発

(2)「AIST」グループ(研究機関別)

- 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(研究機関別)

- 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