

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
2017年度採択研究代表者

2020年度 年次報告書

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. 研究成果の概要

提案書提出時当初の計画に従い量子中継に不可欠な4つの基本機能の開発を並行して行い、全て完全無磁場下において計画通りの機能実現と高忠実度化を達成した。①量子もつれ発光では、昨年度までは共鳴励起のため偏光をあらかじめ選択した低効率かつ条件付きの偏光もつれ発光であったが、今年度は光波とマイクロ波の二重共鳴励起により高効率かつ無条件の偏光もつれ発光の実現可能性実証に成功し、忠実度向上の目途を得た。②量子テレポーテーション転写では、昨年度までは光子から窒素あるいは炭素同位体の単一核子への転写であったが、今年度は多数の炭素同位体核子へのマルチメモリー転写の実証に成功し、忠実度向上(94%)を達成した。③量子もつれゲートでは、ダイヤモンド素子へのマイクロ波直交導波路の作りこみなどを行い、電子スピンホロミック量子操作のランダマイズドベンチマーク評価の結果、万能もつれゲートの高速動作 50MHz 以上と忠実度向上 99.6%(前年度 99.4%)を達成した。④量子もつれ測定では、昨年度に成功した完全ベル測定を発展させ、窒素と炭素同位体2つを用いた 3 量子の量子誤り訂正(Shor 符号)に成功した。マイクロ波回路と光波回路を連動させた全自動システム制御も達成した。AIST との共同研究では、ダイヤモンド素子へのマイクロ波導波路の作りこみに加え、ソリッドイマージョンレンズ(SIL)の NV 位置精度向上、リンドープによる NV の電荷状態安定化と PLE スペクトル狭線幅化(1GHz 以下)の両立に成功した。NIMS との共同研究では、炭素同位体濃度、結晶方位、NV 中心配向などを制御したダイヤモンド高純度結晶成長において、量子中継器に必要な負電荷 NV 中心の安定生成に成功した。

§ 2. 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

- 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

【代表的な原著論文情報】

- 1) Okuyuki Teraji, “Ultrapure homoepitaxial diamond films grown by chemical vapor deposition for quantum device application”, *Semiconductors and Semimetals*, 103, 37–55 (2020); 10.1016/bs.semsem.2020.03.002
- 2) Shuntaro Ishizu, Kento Sasaki, Daiki Misonou, Tokuyuki Teraji, Kohei M. Itoh, and Eisuke Abe, “Spin coherence and depths of single nitrogen–vacancy centers created by ion implantation into diamond via screening masks”, *Journal of Applied Physics*, 127, 244502 (2020); 10.1063/5.0012187
- 3) Bang Yang, Takuya Murooka, Kosuke Mizuno, Kwangsoo Kim, Hiromitsu Kato, Toshiharu Makino, Masahiko Ogura, Satoshi Yamasaki, Marek E. Schmidt, Hiroshi Mizuta, Amir Yacoby, Mutsuko Hatano, and Takayuki Iwasaki, ”Vector Electrometry in a Wide Gap Semiconductor Device Using Spin Ensemble Quantum Sensor”, *Physical Review Applied*, 127, 244502 (2020); 10.1103/PhysRevApplied.14.044049
- 4) K. Ichikawa, T. Shimaoka, Y. Kato, S. Koizumi, and T. Teraji, “Dislocations in chemical vapor deposition diamond layer detected by confocal Raman imaging”, *Journal of Applied Physics*, 128, 155302 (2020); 10.1063/5.0021076
- 5) A. J. Healey, A. Stacey, B. C. Johnson, D. A. Broadway, T. Teraji, D. A. Simpson, J. P. Tetienne, and L. C. L. Hollenberg, “Comparison of different methods of nitrogen–vacancy layer formation in diamond for wide–field quantum microscopy”, *Physical Review Materials*, 4, 104605 (2020); 10.1103/PhysRevMaterials.4.104605
- 6) E. D. Herbschleb, H. Kato, T. Makino, S. Yamasaki, and N. Mizuochi, “Ultra–high dynamic range quantum measurement retaining its sensitivity”, *Nature Communications*, 12, 306 (2021); 10.1038/s41467–020–20561–x
- 7) G. Alba, D. Leinen, M. P. Villar, R. Alcántara, J. C. Piñero, A. Fiori, T. Teraji, D. Araujo, “Comprehensive nanoscopic analysis of tungsten carbide/Oxygenated diamond contacts for Schottky barrier diodes” *Applied Surface Science*, 537, 147874 (2021); 10.1016/j.apsusc.2020.147874