

情報担体とその集積のための材料・デバイス・システム
2020年度採択研究代表者

2022年度
年次報告書

荒井 慧悟

東京工業大学 工学院電気電子系
准教授

ダイヤモンド中の電子スピンを用いたマルチモダル量子センサの開発

研究成果の概要

本研究は、ダイヤモンド中の窒素・空孔欠陥(NV センター)をプラットフォームとする量子センシング技術について、磁場・温度・圧力等のマルチモダル化を実証し、社会実装への第一歩を踏み出すことを目的としている。2022 年度(第三年次)は、前年度の原理実証や応用化を深化・展開させるものとして、①高温・高圧イメージング、②磁性体を用いた圧力計測、③空間曲率の不変量計測に新たに取り組んだ。結果、NV センターの情報担体としての新たな付加価値へ結びつく示唆を得られた。

- ① 高温・高圧イメージング: 前年度に着手した高圧計測の延長として、今年度は、量子センサ装置に対し、高圧印加のダイヤモンド・アンビルセル、高温印加の抵抗ヒーターを組み入れ、高圧・高温下での圧力・温度イメージングや、磁性体の磁化消失の観測など、NV センターの極限環境マルチモダルセンサとしての可能性を広げることに成功した。
- ② 磁性体を用いた圧力計測: 本取り組みでは、磁歪薄膜と NV センターのハイブリッド系を構築することで、圧力センサとしての性能を向上することを目的とした。圧力は磁歪薄膜を通じて磁化の変化に変換され、その変化は磁気センサとしての NV センターによって検出される。その結果、従来のダイヤモンド単体の圧力センサと比べて約 550 倍の感度向上に成功した。
- ③ 空間曲率の不変量計測: 情報担体としてのさらなる付加価値模索のため、NV センターをスピントロポロジカル不変量の量子シミュレータとして活用した。NV センターを制御するマイクロ波パルスのパラメータをハミルトニアン空間内で半球状に変化させ、各点で空間曲率の積分をトポロジカル不変量(チャーン数)として検出した。

上記に加え、マルチモダル量子センサの社会実装に向けて、製造業をリードする企業の研究開発担当者と議論を重ね、ユースケース発掘やデバイスプロトタイプ設計の応用検討を進めている。

【代表的な原著論文情報】

- 1) K. Arai*, A. Kuwahata*, D. Nishitani* *et al.*, “Millimetre-scale magnetocardiography of living rats with thoracotomy,” *Communications Physics* **5**, 200 (2022).
- 2) 荒井慧悟、桑波田晃弘、西谷大祐「ダイヤモンド量子センサによる生体磁場計測」 *New Diamond* 第 146 号 Vol. 38 (2022)
- 3) R. Kitagawa, S. Nagata, K. Arai *et al.*, “Pressure sensor using hybrid structure of magnetostrictive layer and nitrogen-vacancy centers in diamond,” *Physical Review Applied* **19**, 044089 (2023).
- 4) J. Lee*, K. Arai*, H. Zhang, M. J. H. Ku, and R. L. Walsworth, “Controllable tunability of a Chern number within the electronic-nuclear spin system in diamond,” *arXiv:2211.13438* (2022).