

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
2018 年度採択研究代表者

2020 年度 年次報告書

長谷 宗明

筑波大学 数理物質系
教授

ダイヤモンドを用いた時空間極限量子センシング

§ 1. 研究成果の概要

今年度は、引き続き高純度ダイヤモンド結晶への窒素-空孔(NV)センターの導入および電気光学効果の解析、電子線リソグラフィ法によるダイヤモンドナノプローブの作製、光走査システムの設計と制御プログラムの開発などの基盤研究開発を中心に進めた。今年度の研究成果の概要について下記に示す。

筑波大・長谷グループは、ダイヤモンドに NV センターを導入して結晶の対称性を操作し、第二高調波、第三高調波発生など、広帯域の波長変換を行うことに成功した。ダイヤモンド中 NV センターによる第二高調波発生、すなわち2次の非線形光学効果の発現は、ダイヤモンド結晶では今まで不可能であった1次の電気-光学効果も可能となることを裏付けている。

筑波大・重川グループは、顕微鏡下で広範囲に探針位置合わせを行う仕組みを開発した。併せて、多様な信号のマッピングや解析を多角的に効率よく行えるよう制御・解析プログラムの開発を進めた。また、赤外励起による非線形光学信号をスペクトル分解し、ピコ秒領域で測定することが可能なシステムを構築し性能を確認した。

豊田工大・吉村グループは、探針増強ラマン用のカンチレバー探針の開発において、従来の蒸着法による作製法を見直し、脱濡れ現象と気相還元法を組み合わせた改良を行い、より再現性の高い探針法の開発を進めた。この探針は増強度も非常に高く、試料側に金属コーティングを必要としないノンギャップモードの測定も可能とする。

北陸先端大・安グループは、ダイヤモンド単結晶に窒素 N⁺イオン注入により異なる密度で NV センターを導入し、長谷グループの第二高調波発生など広帯域の波長変換に関する成果に貢献した。また、レーザーカットと集束イオンビーム法を用いた NV 中心を含有するダイヤモンドナノプローブの作製に成功し、磁気テープからの二次元漏洩磁場イメージングに成功した。

§ 2. 研究実施体制

(1) 長谷グループ

- ① 研究代表者:長谷宗明(筑波大学数理物質系 教授)
- ② 研究項目
 - ・紫外域超高速分光システムの開発
 - ・窒素ドープダイヤモンドの EO 効果の解析
 - ・ダイヤモンド探針の非線形光学応答評価

(2) 重川グループ

- ① 主たる共同研究者:重川秀実(筑波大学数理物質系 教授)
- ② 研究項目
 - ・ナノ計測用光変調システムの開発
 - ・光走査システムの設計と制御プログラムの開発

(3) 吉村グループ

① 主たる共同研究者: 吉村雅満(豊田工業大学大学院工学研究科 教授)

② 研究項目

- ・探針増強ラマン分光用高感度探針の開発
- ・探針増強ラマン分光による NV センターのマッピング

(4) 安グループ

① 主たる共同研究者: 安東秀(北陸先端科学技術大学院大学先端科学技術研究科
准教授)

② 研究項目

- ・バルクダイヤモンドへの窒素イオン注入
- ・走査ダイヤモンド NV 中心プローブの作製と高感度化
- ・電子線リソグラフィ法によるダイヤモンドナノプローブの作製

【代表的な原著論文情報】

- 1) A. Abulikemu, Y. Kainuma, T. An, and M. Hase, “Second-harmonic generation in bulk diamond based on inversion symmetry breaking by color centers”, *ACS Photonics*, vol. **12**, p.045002, 2021.
- 2) P. Joshi, R. Yadav, M. Hara, T. Inoue, Y. Motoyama, M. Yoshimura, “Contribution of B,N-co-doped reduced graphene oxide as a catalyst support to the activity of iridium oxide for oxygen evolution reaction”, *J. Materials Chemistry A*, vol. **9**, pp.9066–9080, 2021.
- 3) T. Ichikawa, Y. Saito, and M. Hase, “The effect of ion irradiation on dephasing of coherent optical phonons in GaP”, *AIP Advances*, vol. **10**, p. 105117, 2020.
- 4) K. Kanishka H. De Silva, S. Ogawa, V. Pamarti, and M. Yoshimura, “Kelvin probe force microscopic investigation of graphene-based derivatives”, *Jpn. J. Appl. Phys.* vol. **59**, p.SN1002, 2020.