

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

2021 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

2021 年度は、引き続きダイヤモンドカンチレバーを創成するための基礎・基盤研究を継続しつつ、窒素ドーパダイヤモンドナノプローブの創成と機能最適化、および、ダイヤモンドナノプローブ計測システムの開発を中心に、量子センシングシステムの開発に注力した。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(代表者)グループでは、窒素—空孔(NV)センターを導入したダイヤモンド結晶から発生した第二高調波(SHG)の温度依存性(室温~300°C)を測定し、高温で SHG 強度が大きく減少することから SHG をプローブとした温度センシングが可能であることを実験的に示した。また、時間分解 AFM システムに標準的なシリコン自己検知型カンチレバーを組み込み、テスト試料のトポグラフィ像を取得することが出来た他、フェムト秒レーザーのポンプ光とプローブ光を導入しての量子センシングのテストを開始した。

筑波大・重川グループでは、マイクロピペット探針にナノダイヤを化学修飾して取り付ける方法を確立した。併せて、探針を単一細胞内部に差し込む動作が可能になった。赤外光励起 CARS では、広帯域(55  $\text{cm}^{-1}$ ~1800  $\text{cm}^{-1}$ )、かつ高い分解能(9  $\text{cm}^{-1}$ )を両立させたシステムを開発したが、ノイズ除去法の改良により測定時間を 1/10 に短縮した。さらに、増幅システムを構築することで信号強度を 50 倍とし、現在、更なる高強度化を進めている。

豊田工大・吉村グループは、探針先端に被覆した Ag の形状の最適化により、高分解能・高感度かつ高信頼性を持つ探針増強ラマン散乱用の探針開発を進めており、今回この探針を用いたマッピングを行うことにより単一カーボンナノチューブ分子の画像化に成功した。また、経時変化による被膜の劣化に対応するため、Au との合金化による長寿命探針の新規合成実験を開始した。一方、接着材を用いて、市販カンチレバー先端にナノダイヤモンド粒子を付着させる研究に着手した。

北陸先端大・安グループは、FIB(集束イオンビーム)加工を用いたピラー形状の走査 NV 中心プローブの作製法を確立した。続いて、最小径約 600 nm までの直径の NV 中心ダイヤモンドプローブについて、NV 中心の、光学的磁気共鳴(ODMR)信号とスピン縦緩和時間を計測し、FIB によるダメージとの関係について評価した。これらのピラー形状の NV 中心プローブを用いて、磁性島からの漏洩磁場に依存した蛍光像を得ることに成功した。

## § 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
  - ・ダイヤモンド探針の非線形光学応答評価
  - ・ダイヤモンド NV 中心プローブによる局所電場・磁場計測

### (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
  - ・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による NV センターのマッピング
  - ・ラマン・ダイヤモンドプローブ複合探針の開発

### (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
  - ・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
  - ・走査ダイヤモンド NV 中心プローブの作製と高感度化

### 【代表的な原著論文情報】

- 1) Yusuke Arashida, Atsushi Taninaka, Takahiro Ochiai, Hiroyuki Mogi, Shoji Yoshida, Masamichi Yoshimura, Osamu Takeuchi, and Hidemi Shigekawa, “Low-frequency multiplex CARS microscopy with a high-repetition near-infrared supercontinuum laser”, **Appl. Phys. Express**, vol. 14, p.122006 (2021).
- 2) Aizitiaili Abulikemu, Yuta Kainuma, Toshu An, and Muneaki Hase, “Temperature-dependent second-harmonic generation from color centers in diamond”, **Optics Letters**, vol. 47, No. 7, pp. 1693-1696 (2022).
- 3) V. K. Rao, K. K. H. De Silva, and M. Yoshimura, “Reversal and control the tip-enhanced Raman scattering efficiency of rough plasmonic probes fabricated using UV-ozone and hydrazine”, **Appl. Surf. Sci.**, vol. 577, p.151937, (2022).
- 4) Y. Kainuma, K. Hayashi, C. Tachioka, M. Ito, T. Makino, N. Mizuochi, and T. An,

“Scanning diamond NV center magnetometer probe fabricated by laser cutting and focused ion beam milling”, **Journal of Applied Physics**, vol. 130, p.243903 (2021).