

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

本研究では、新規ダイヤモンド光制御技術を基盤とし、フェムト秒領域での分光技術、走査プローブ顕微鏡による原子レベルでの空間分解、ダイヤモンドの精密加工、探針増強ラマン効果による局所物性計測技術を融合し、原子層材料などの新規固体機能素子の評価から蛋白質や細胞の解析までも可能にするマルチプローブ光量子技術、即ち新規ダイヤモンド光機能を用いた時空間極限量子センシング技術を開拓することを目的としている。今年度は、窒素ドーパダイヤモンドの非線形光学効果の評価、および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に関する研究開発を中心に本研究を開始し、さらにダイヤモンドナノプローブ計測システムの開発に必要なナノ計測用光変調システムの開発の為に情報収集・設計を進めた。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(代表者)グループでは、既存のレーザーシステムを活用して、ポンププローブ型物性実験(遷移金属ダイカルコゲナイドにおけるコヒーレントフォノン観測など)を実施し、マイクロオーダーでの先端材料における予備的量子計測を行った。また北陸先端大・安グループが作製した窒素ドーパダイヤモンドの非線形光学効果の評価を行い、データ解析を進めている。一方、筑波大・重川グループは、ダイヤモンド NV センター測定用の AFM 制御系の準備として、光学顕微鏡下で AFM 探針を xyz 操作する為のシステムを開発し、動作を確認した。併せて、多探針 STM/AFM を超短パルスレーザーと組み合わせることで時間分解測定を行う事が可能なシステムを構築し、本プロジェクトの課題の1つである探針制御と光励起のマッチングについて十分な成果が得られる結果を得た。ラマン測定については、豊田工大・吉村グループと協力して探針増強ラマン計測の準備を行った。標準サンプルであるローダミンを用いる事で、金/銀コート探針増強によりラマン信号が得られることを確認した。

豊田工大・吉村グループは、探針増強ラマン分光用高感度探針の開発に関する研究を開始した。探針増強ラマン散乱分光法 (TERS) は光の波長限界を超えた分光計測を可能とし、多くの学

術分野で注目されている技術である。本研究では、自家製の TERS 探針を用いて、ナノカーボンの一種である酸化グラフェン(GO)と微細構造を導入したグラファイトの局所評価を行った。GO の形状を反映した TERS マッピングの取得に加え、グラファイトのエッチング端のみにおいて、エッジフォノンのピークが確認されたるなど、自家製の TERS 探針の性能を確かめることができた。

北陸先端大・安グループは、異なる NV センター密度のダイヤモンド結晶をイオン注入装置(30 keV)により作製した。また、NV 中心を含有するダイヤモンドをプローブとする水晶振動子型の原子間力顕微鏡(AFM)を作成し、AFM によるトポグラフィー観察と NV 中心スピンプローブによる磁場の同時イメージングが可能な装置を開発した。

#### 【代表的な原著論文】

1. Hiroyuki Mogi, Zi-Han Wang, Takafumi Banba, Yuhei Takaguchi, Naohiko Endo, Shoji Yoshida, Atsushi Taninaka, Haruhiro Oigawa, Yasumitsu Miyata, Osamu Takeuchi, and Hidemi Shigekawa, “Development of laser-combined scanning multiprobe spectroscopy and application to analysis of WSe<sub>2</sub>/MoSe<sub>2</sub> in-plane heterostructure”, Appl. Phys. Exp., vol. 12, p.045002 (2019).

## § 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

### (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

### (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

### (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