

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<br>年次報告書 |
|-----------------|

小関 泰之

東京大学大学院工学系研究科  
准教授

量子光源による超高感度分子イメージング

## § 1. 研究成果の概要

本研究では、量子光源を用いることで、標準量子限界感度を上回る超高感度性を有する誘導ラマン散乱(SRS)顕微法を実現し、複数種の小さな生体分子を、高感度性・高速性・分子識別能をもって可視化する分子イメージング法を実現する。

2020年度の研究成果の概要は以下の通りである。

小関グループでは、ピコ秒パルススキージング実験を進めるとともに、スキーズド真空場を導入しつつ SRS 信号を取得し、量子増強効果により SRS 信号の雑音低減ができることを実証した。並行して、従来の SRS 顕微鏡を用いた生体計測実験[1]やラマンプローブの実証実験[2]を進めた。また、広帯域ラマン信号取得のためのファイバーパラメトリック発振器の設計、低雑音ファイバーレーザーの開発を進めた。

山下グループでは、高安定量子光源のためのファイバーレーザー光源、特にチャープドパルス増幅器とパルス圧縮系の製作を進めた。

安井グループでは、SRS を含むマルチモーダル顕微鏡を立ち上げと、ラマン検出の可能な種々の分子の可視化実験を進めた[3]。

## § 2. 研究実施体制

(1) 小関グループ(東京大学大学院工学系研究科)

① 研究代表者:小関 泰之 (東京大学大学院工学系研究科 准教授)

② 研究項目

- ・量子増強 SRS の原理確認
- ・広帯域波長可変光源の検討
- ・SRS イメージングの生物学応用

(2) 山下グループ(東京大学大学院工学系研究科)

① 主たる共同研究者:山下 真司 (東京大学先端科学技術研究センター 教授)

② 研究項目

- ・量子光源のためのファイバーレーザーの研究

(3) 安井グループ(慶應義塾大学医学部)

① 主たる共同研究者:安井 正人 (慶應義塾大学医学部薬理学教室 教授)

② 研究項目

- ・SRS イメージングの生物学応用

【代表的な原著論文情報】

- [1] Y. Taguchi and Y. Ozeki, “Time-domain analysis on the pulsed squeezed vacuum detected with picosecond pulses,” *J. Opt. Soc. Am. B*, vol. 37, no. 5, pp. 1535–1539, 2020.
- [2] Y. Ozeki, Y. Miyawaki, and Y. Taguchi, “Quantum-enhanced balanced detection for ultrasensitive transmission measurement,” *J. Opt. Soc. Am. B*, vol. 37, no. 11, pp. 3288–3295, 2020.
- [3] N. Ochiai and Y. Ozeki, “Low-loss microscope optics with an axicon-based beam shaper,” *Appl. Opt.*, vol. 60, no. 8, pp. 2252–2262, 2021.
- [4] G. Dai, K. Katoh, and Y. Ozeki, “Reduction of excess intensity noise of picosecond Yb soliton fiber lasers in a >10-mW power regime,” *Opt. Express*, vol. 29, pp. 11702–11711, 2021.
- [5] T. Mizuguchi, M. Nuriya, M. Yasui, T. Iino, Y. Ozeki, and T. Saiki, “Sensitive detection of alkyne-terminated hydrophobic drug by surface-enhanced stimulated Raman scattering in cetyltrimethylammonium bromide-coated gold nanorod suspensions,” *Appl. Phys. Express*, vol. 14, p. 032003, 2021.
- [6] H. Fujioka, J. Shou, R. Kojima, Y. Urano, Y. Ozeki, and M. Kamiya, “Multicolor activatable Raman probes for simultaneous detection of plural enzyme activities,” *J. Am. Chem. Soc.*, vol. 142, no. 49, pp. 20701–20707, 2020.
- [7] T. Iino, K. Hashimoto, T. Asai, K. Kuchitsu, and Y. Ozeki, “Multicolour chemical imaging of plant tissues with hyperspectral stimulated Raman scattering microscopy,” *Analyst*, vol. 146, pp. 1234–1238, 2021.
- [8] Y. Ozeki, “Molecular vibrational imaging by stimulated Raman scattering microscopy: principles and applications,” *Chin. Opt. Lett.*, vol. 18, p. 12170, 2020.