

広帯域相関計測解析研究部門

熊谷 崇（准教授）（2021 年 4 月 1 日着任）

西田 純（助教）

LEE, Lu-Hsin（大学院生）

福富 実（大学院生）

鎌田 一輝（特別共同利用研究員）

伊藤 敦子（事務支援員）

A-1) 専門領域：物理化学，走査プローブ顕微鏡，近接場分光，単一分子科学，超高速ダイナミクス

A-2) 研究課題：探針増強近接場分光を基軸としたナノ物質科学の研究

- a) 超高真空・低温探針増強近接場分光による原子スケールの光と物質の相互作用の解明
- b) 超短パルスレーザーと探針増強近接場分光を融合したナノスケールコヒーレント分光の開発と応用
- c) 超高速探針増強顕微分光に基づく多次元・多変量ナノ顕微分光の開発と低次元ナノ物質への応用

A-3) 研究活動の概略と主な成果

- a) プラズモニックナノ接合では，局在表面プラズモン共鳴の励起を介して強く局在化した光電場を発生させることができる。この強く局在化した光電場の性質と，それによって引き起こされる光物理・光化学現象について超高真空・低温探針増強顕微分光によって調べている。最近の重要な成果として，金属単結晶表面に吸着した単一原子のラマン散乱の計測を行い，原子スケールにまで閉じ込められた光電場の存在を証明し，原子スケールの光と物質の相互作用について新しい知見を与える研究を報告している [*ACS Nano* **17**, 10172 (2023)]。
- b) 超高真空・低温走査トンネル顕微鏡のプラズモニックナノ接合に発生する強く局在化した光電場を操る技術と，超短パルスレーザーとを組み合わせるアプローチによって時空間極限におけるナノスケールコヒーレント分光の開発を行っている。最近の重要な成果として，金属単結晶表面上にエピタキシャル成長させた酸化亜鉛超薄膜においてコヒーレントフォノンをナノスケールで直接観測することに成功している [*Science Advances* **8**, eabq5682 (2022)]。
- c) 原子間力顕微鏡に基づく非開口型近接場光顕微分光と，超短パルスレーザーとを組み合わせたナノスケール非線形分光の開発を行っている。この新しい先端計測技術によって，次世代の機能性材料やデバイスの基盤となるナノ物質科学の分野へと展開している。最近の成果として，原子層物質における光誘起ダイナミクスをナノスケールで直接観察し，その微視的機構を解明した研究を報告している [*ACS Photonics* **12**, 207 (2025); *Science Advances* **11**, eadv9584 (2025)]。

B-1) 学術論文

K. KIM, L. HOU, M. ABE and T. KUMAGAI, “Real-Space Observation of Metal–Insulator Transition of Individual Anisotropic Nanodomain in VO₂/TiO₂(110) Thin Films,” *e-J. Surf. Sci. Nanotechnol.* **23(3)**, 262–269 (2025). DOI: 10.1380/ejssnt.2025-035

J. NISHIDA, K. OTSUKA, T. MINATO, Y. K. KATO and T. KUMAGAI, “Ultrafast Infrared Nano-Imaging of Local Electron–Hole Dynamics in CVD-Grown Single-Walled Carbon Nanotubes,” *Sci. Adv.* **11(25)**, eadv9584 (2025). DOI: 10.1126/sciadv.adv9584

A. SHIOTARI, J. NISHIDA, A. HAMMUD, F. SCHULZ, M. WOLF, T. KUMAGAI and M. MÜLLER, “Scattering Near-Field Optical Microscopy at 1-nm Resolution Using Ultralow Tip Oscillation Amplitudes,” *Sci. Adv.* **11(24)**, eadu1415 (2025). DOI: 10.1126/sciadv.adu1415

A. SHIOTARI, S. LIU, G. TRENINS, T. SUGIMOTO, M. WOLF, M. ROSSI and T. KUMAGAI, “Picocavity-Enhanced Raman Spectroscopy of Physisorbed H₂ and D₂ Molecules,” *Phys. Rev. Lett.* **134(20)**, 206901 (2025). DOI: 10.1103/PhysRevLett.134.206901

X. ZHANG, R. MATSUO, Y. YAHANO, J. NISHIDA, K. NAMURA and M. SUZUKI, “Configurable Vibrational Coupling in Laser-Induced Microsecond Oscillations of Multi-Microbubble System,” *Small* **21(20)**, 2408979 (2025). DOI: 10.1002/smll.202408979

B-3) 総説, 著書

T. KUMAGAI, K. MIWA and B. CIRERA, “Point-Contact Tip-Enhanced Raman Spectroscopy: Picoscale Light–Matter Interactions within Plasmonic Cavities,” *Nano Lett.* **25(43)**, 15449–15459 (2025). DOI: 10.1021/acs.nanolett.5c04045

J. NISHIDA, “Infrared Nano-Spectroscopy and Imaging on Spatially Confined Nanomaterials,” *Jpn. J. Appl. Phys.* **64(4)**, 040802 (2025). DOI: 10.35848/1347-4065/adc26e

B-4) 招待講演

熊谷 崇, 「ピコスケールのラマン分光」, 先端光科学研究の新展開, 愛知, 2026年3月.

熊谷 崇, 「Frontiers in Surface Science Opened by Advanced Nanometrology」, 現代表面科学の到達点とフロンティアを超えて, 千葉, 2026年2月.

西田 純, 「超高速赤外散乱ナノイメージングによる低次元半導体局所ダイナミクスの解明」, 表面・光融合先端計測研究会 SPARC, 岡崎, 2025年12月.

西田 純, 「単一タンパク質の赤外ナノ分光」, VUV-SX 領域の光科学による生命科学, 岡崎, 2025年10月.

熊谷 崇, 「探針増強近接場分光の最前線 単一原子・単一分子・ナノマテリアルの精密分光」, R7年度第1回合成横断技術領域ワークショップ, 東京, 2025年7月.

T. KUMAGAI, “Point-Contact Tip-Enhanced Raman Spectroscopy: Picoscale Light–Matter Interactions within Plasmonic Cavities,” AVS Taiwan Chapter Symposium, Chiayi (Taiwan), January 2026.

J. NISHIDA, “Application of ultrafast infrared nano-imaging to low-dimensional materials,” The Physical Society of Japan 2025 Annual Meeting, Hiroshima (Japan), September 2025.

T. KUMAGAI, “Ultrafast Nano-Spectroscopy of Photo-Induced Dynamics in Low-Dimensional Materials,” The 2nd Sino-German Workshop on Surface Science of Complex Systems, Changchun (China), September 2025.

J. NISHIDA, “Ultrafast mid-infrared nano-imaging of local electron–hole dynamics in low-dimensional materials,” SPIE Optics + Photonics, San Diego (USA), August 2025.

T. KUMAGAI, “Ultrafast Nano-Spectroscopy of Photo-Induced Dynamics in Low-Dimensional Materials,” The 82nd Okazaki Conference “Recent Advances and Perspectives of Interfacial Materials and Molecular Sciences lead by Next-Generation Laser Techniques and Computational Science,” Okazaki, Aichi (Japan), July 2025.

T. KUMAGAI, “Toward Atomic-Scale Scattering-Type Scanning Near-Field Optical Microscopy,” STM’25, Seoul (Korea), June 2025.

T. KUMAGAI, “Atomic-Scale Phonon Studies Using Tip-Enhanced Near-Field Optical Spectroscopy,” The 22nd International Conference on Time-Resolved Vibrational Spectroscopy (TRVS 2025), The 77th Yamada Conference, Shiga (Japan), May 2025.

B-7) 学会および社会的活動

学協会役員等

日本表面真空学会中部支部幹事 (2022–).

理科教育活動

「科学三昧 in あいち 2025」指導助言 (2025).

B-8) 大学等での講義, 客員

北海道大学, 客員准教授, 2020年4月–.

北海道大学触媒科学研究所, 招へい教員, 2024年4月–2026年3月.

大阪大学大学院基礎工学研究科, 招へい教員, 2025年4月–2026年3月.

東京大学大学院理学系研究科, 非常勤講師, 2025年4月–2025年9月.

B-10) 競争的資金

科学技術振興機構創発的研究支援事業 (受託研究), 「時空間極限における革新的光科学の創出」, 熊谷 崇 (2021年度–2027年度).

科研費学術変革領域研究(A), 「超高速・超広帯域近接場顕微分光で拓く2.5次元物質の光科学」, 熊谷 崇 (2024年度–2025年度).

科研費基盤研究(B), 「キャリア・励起子輸送の実時空間観測とナノスケール制御」, 西田 純 (2024年度–2026年度).

科学技術振興機構創発的研究支援事業, 「極低温フォノンボラリトニクスによる固体物性制御」, 西田 純 (2024年度–2027年度).

大幸財団自然科学系研究助成, 「単一分子振動コヒーレンスの赤外観測と非線形制御」, 西田 純 (2024年度–2025年度).

科研費学術変革領域研究(B), 「スマートナノ粒子プラズモン共鳴スペクトルの一粒子計測」, 西田 純 (2025年度–2027年度).

C) 研究活動の課題と展望

概要としては, 探針増強近接場分光の先端計測を研究室の柱としてナノ物質科学の新しい学際領域の形成, 革新的な光科学・光技術の創出を目指した基礎研究を展開する。超高真空・低温探針増強顕微分光の技術開発についてはほぼ完了し, 超高感度・超高分解能の顕微分光の原理についても理解が深まっている。今後はこの先端計測を応用し,

不均一触媒や光電デバイスなどの物質機能の根幹に関わる表面の局所的な構造や反応、またそれらの動態についての研究へと展開していく。現在は、これまで探針増強分光があまり応用されていなかった半導体・酸化物表面の計測を進めている。原子間力顕微鏡に基づく超高速探針増強近接場分光については、現在も技術開発要素が残されているが、ナノ物質の計測へと応用を進めることができおり、現在はナノカーボン、原子層物質、有機-無機ハイブリッドペロブスカイト、生体分子などの研究を進めている。今後は多次元・多変量ナノ顕微分光のコンセプトに基づき、ナノ物質の物性・機能について物理化学的な理解を得ることを目的とした研究を展開する。