

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 5 年 5 月 24 日現在

機関番号：82401

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2020～2022

課題番号：20H02625

研究課題名(和文) 先端増強時間分解テラヘルツ顕微分光法の開拓

研究課題名(英文) Development of tip-enhanced and time-resolved THz nanospectroscopy

研究代表者

早澤 紀彦 (HAYAZAWA, NORIHIKO)

国立研究開発法人理化学研究所・開拓研究本部・専任研究員

研究者番号：90392076

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,500,000円

研究成果の概要(和文)：高空間分解能走査プローブ顕微鏡(SPM)と高時間分解能THz分光の融合により、高空間分解能高時間分解能を有す近接場THz分光法の開発を行った。1) ナノレーザーTHz発光分光(nano-LTEM)、2) ナノTHz時間領域分光(nano-THz-TDS)、その融合した3) ナノ光励起THzプローブ分光(nano-OPTP)を統合開発した。SPMとしてqPlus方式(金探針接着)非接触AFMを開発した。金探針の試料垂直方向への励振により近接場THz信号に変調を与え、これをロックイン検出し、近接場THz-TDS信号検出に成功した。THz-TDS信号取得時間の向上を行い、従来より100倍以上高速化した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

超高速分光法と言われる技術は光技術を中心にフェムト秒に到る手法が数多ある。しかし、それら技術では空間分解能を犠牲としており、測定対象が均一であると仮定した平均値を検出する。超解像技術も光学技術、走査プローブ顕微鏡や電子顕微鏡などナノテクに寄与してきた技術が数多存在する。しかし、測定対象が微小化することに伴う信号微弱化のため時間分解能は犠牲となっている。半導体デバイス・分子デバイスの他あらゆるデバイスは、その機能を他種との分子レベルでの相互作用及び過渡的励起状態を介して発現している。本研究課題では超解像と超高速を両立した顕微分光手法の新たな「目」を社会に提供し、物質機能の本質的な理解に貢献する。

研究成果の概要(英文)：We have developed near-field THz spectroscopy with high spatial resolution and high temporal resolution by combining high spatial resolution scanning probe microscopy (SPM) and high temporal resolution THz spectroscopy. 1) nano laser THz emission spectroscopy (nano-LTEM), 2) nano THz time-domain spectroscopy (nano-THz-TDS), and 3) nano optical-pump THz-probe spectroscopy (nano-OPTP) were integrated in a mini metallic chamber. We have developed non-contact AFM as SPM based on qPlus sensor attached with a gold probe tip and accommodated it into the same chamber. We succeeded in detecting the near-field THz-TDS signal by modulating the near-field THz signal by oscillating the gold probe tip in the vertical direction of the sample and performing lock-in detection. We improved the THz-TDS signal acquisition time, making it more than 100 times faster than before. We were able to detect an oscillating signal with frequencies up to 10 kHz, using 1  $\mu$ s integration time per point.

研究分野：近接場光学

キーワード：先端増強 テラヘルツ分光 近接場 時間分解 顕微分光

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

## 1. 研究開始当初の背景

「持続可能な社会」の達成において、デバイス分野では「資源が限られる中、消費と利便性を維持するため、エネルギー効率を向上させる」との課題に解釈される。太陽電池やバッテリー及び有機 EL デバイス等、あらゆるデバイスにおいてそのエネルギー変換・散逸過程は、物質界面において発生する。即ち、デバイス開発に向けた物質科学において新規な機能性物質の設計及び高効率化には、階層的根幹となるサブナノメートルスケールでの表面界面物性かつその超高速ダイナミクスを評価する基盤技術が必要である。そこで本研究の背景として、従来に無い分析計測技術を開発し、サブナノメートル時間分解能かつサブピコ秒オーダーの時間分解能を実現したいという要求があった。

一方、従来の分析計測機器は概ね以下の三種に分類されてきた。

- (1) 高い化学感度を有するが、空間分解能に劣る分析計測機器。
- (2) 高い時間分解能を有するが、空間分解能に劣る分析計測機器。
- (3) 高い空間分解能を有するが、化学感度と時間分解能共に劣る分析計測機器。

(1)の代表例は、光を用いた振動分光技術(ラマン・赤外吸収分光等)である。(2)の代表例は、ポンプ-プローブ法等多くの非線形分光技術が存在する。(3)の代表例は、走査プローブ顕微鏡(AFM, STM 等)である。(1)(2)の手法群の代表格は光学的な分光手法であり、空間分解能は波動性による回折限界のため、サブミクロン程度に制限される。(3)は高い空間分解能を有する一方、その情報は概ね構造由来であり、化学的感度に劣る。さらに、微小領域の微弱な信号を扱うため定常的な状態を観ることに特化し、時間分解能はない。

つまり、高い化学感度・時間分解能・空間分解能の全てを満たす分析計測機器は可能か？という問いが常在していた。よって、(1)(2)(3)の各計測データを包括的に取得し、多様な実データから所望の情報を引き出す分野(AI, ビッグデータ等)との連携が重要となりつつある状況であった。

## 2. 研究の目的

「サブナノメートルオーダーかつサブピコ秒オーダーの超高速現象を観る新たな目」の開発を目的とする。この「目」は、先端増強時間分解テラヘルツ顕微分光法として開発し、研究代表者の有する先端増強分光技術に基づき、新たに開発する(1)先端増強レーザーテラヘルツ発光顕微鏡(TE-LTEM: Tip-Enhanced Laser THz Emission Microscopy)と(2)先端増強テラヘルツ時間領域分光法(TE-THz-TDS: Tip-Enhanced THz Time Domain Spectroscopy)の融合により実現させる。それぞれの手法特長と開発目標を下記にまとめる。

- (1) **TE-LTEM**: サブナノメートル局所でのテラヘルツ発光特性を評価できる。特に、低温成長ヒ化ガリウム(LT-GaAs)に注目し、界面及び欠陥・ドーパント局所での THz 発光特性を顕微可視化する。
- (2) **TE-THz-TDS**: サブナノメートル局所でのキャリア密度分布が評価できる。装置開発においては2次元材料特にグラフェンに注目し、キャリア密度分布を分光可視化する。
- (3) **先端増強時間分解テラヘルツ顕微分光**: (1)(2)を融合し、(1)をポンプ光とし LT-GaAs のフォトキャリア励起を行い、(2)をプローブ光としてサブナノメートル局所でのキャリアダイナミクスを可視化する。

### 3. 研究の方法

本研究課題では、研究代表者の有する先端増強分光技術と時間分解テラヘルツ分光法を融合することにより、従来に無かった時間分解能を先端増強分光法に付与する。具体的には、(1)TE-LTEM により、THz 発光特性を顕微可視化し、(2)TE-THz-TDS により、キャリア密度を可視化できる分光技術とし、これら(1)(2)を融合した(3)先端増強時間分解テラヘルツ顕微分光により、キャリアダイナミクスを可視化できるシステムとして確立させる。

### 4. 研究成果

高空間分解能走査プローブ顕微鏡 (SPM)と高時間分解能 THz 分光の融合により、高空間分解能高時間分解能を有す近接場 THz 分光法の開発を行った。(1) ナノレーザーTHz 発光分光 (nano-LTEM)、(2) ナノ THz 時間領域分光 (nano-THz-TDS)、その融合した (3) ナノ光励起 THz プローブ分光 (nano-OPTP)を統合開発した。(1) ~ (3) の装置を同一チャンバーシステムに構築する設計を行った。図1に開発したシステムの装置写真を示す。本システムは、福井大学遠赤外領域開発研究センター (令和元年度より本課題に関連する共同研究契約を締結) で開

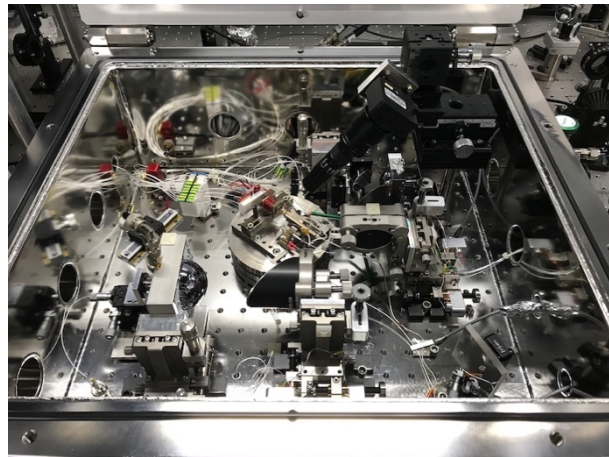


図1: 開発した先端増強時間分解テラヘルツ顕微分光システム。SPM, THz 発生器・検出器を環境制御用チャンバーに内包し、真空や窒素パージ可能とした。

発した光伝導アンテナ (PCA) を THz 発光及び検出素子として用いた THz-TDS と、qPlus センサー方式 (金探針を接着) の非接触 AFM により構成した。qPlus センサーへの金探針接着の顕微鏡下でのプロトコルを構築し、qPlus センサーを繰り返しリサイクル使用可能とした (図2)。また、通常の THz-TDS では、光チョッパーを用いた照射光の変調によりロックイン検出を行うが、本システムでは、qPlus 方式金探針の試料垂直方向への励振により近接場 THz 信号に変調を与え、これをロックイン検出するとし、近接場 LTEM 信号及び THz-TDS 信号検出に成功した。

さらに、パルス列の MHz オーダーの繰り返し返し周波数をロックイン検出に用いることを提案し従来法に比べて100倍以上の高速 THz-TDS 取得に成功し、ロックイン時定数  $1\mu\text{s}$  でのリアルタイム THz 検出が可能であると示した。本提案手法は、パルスレーザーの繰り返し周波数を信号変調に用いるため、より高繰り返しのパルスを用いることでさらなる高速化が可能である。また、PCA-THz 発生器の場合、AC バイアス電圧の高速変調が MHz オーダーで可能であるが、本提案手法では、PCA 発生器以外のあらゆる THz 波発生機構に適応可能である。

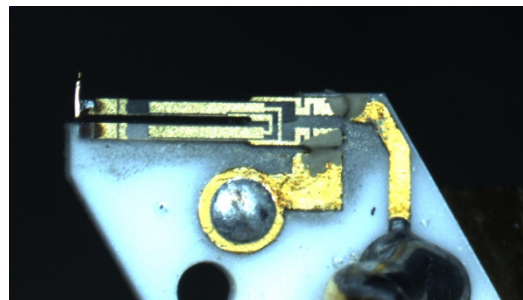


図2: 100  $\mu\text{m}$  直径の金探針を接着した自作 qPlus センサー。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計15件（うち査読付論文 15件／うち国際共著 5件／うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Balgos Maria Herminia M., Escano Mary Clare S., Jaculbia Rafael B., Quang Nguyen Tien, Prieto Elizabeth Ann P., Estacio Elmer S., Salvador Arnel A., Somintac Armando S., Tani Masahiko, Hayazawa Norihiko, Kim Yousoo	4. 巻 未定
2. 論文標題 Atomically Precise Delineation of As Antisite Defect States from Undoped Gallium Arsenide Host Lattice by Scanning Tunneling Microscopy and Spectroscopy Measurements and Density Functional Theory Calculations	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 physica status solidi (b)	6. 最初と最後の頁 2100652 ~ 2100652
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/pssb.202100652	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Dasallas Lean, Jaculbia Rafael, Balois-Oguchi Maria Vanessa, Garcia Wilson, Hayazawa Norihiko	4. 巻 39
2. 論文標題 Effect of detection angle and substrate in the polarization analysis of 1D dipole emission	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of the Optical Society of America B	6. 最初と最後の頁 307 ~ 307
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/JOSAB.442109	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Yokota Yasuyuki, Wong Raymond A., Hong Misun, Hayazawa Norihiko, Kim Yousoo	4. 巻 143
2. 論文標題 Monatomic Iodine Dielectric Layer for Multimodal Optical Spectroscopy of Dye Molecules on Metal Surfaces	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of the American Chemical Society	6. 最初と最後の頁 15205 ~ 15214
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/jacs.1c06303	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Catalan Francesca Celine I., Anh Le The, Oh Junepyo, Kazuma Emiko, Hayazawa Norihiko, Ikemiya Norihito, Kamoshida Naoki, Tateyama Yoshitaka, Einaga Yasuaki, Kim Yousoo	4. 巻 33
2. 論文標題 Localized Graphitization on Diamond Surface as a Manifestation of Dopants	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Advanced Materials	6. 最初と最後の頁 2103250 ~ 2103250
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/adma.202103250	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Hong Misun, Yokota Yasuyuki, Wong Raymond A., Hayazawa Norihiko, Kazuma Emiko, Kim Yousoo	4. 巻 125
2. 論文標題 Underpotential Deposition of Silver on Gold for Surface Catalysis of Plasmon-Enhanced Reduction of 4-Nitrothiophenol	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry C	6. 最初と最後の頁 16569 ~ 16575
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.1c05887	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Olaya Cherrie May, Hayazawa Norihiko, Balois-Oguchi Maria Vanessa, Hermosa Nathaniel, Tanaka Takuo	4. 巻 21
2. 論文標題 Molecular Monolayer Sensing Using Surface Plasmon Resonance and Angular Goos-Hanchen Shift	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Sensors	6. 最初と最後の頁 4593 ~ 4593
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/s21134593	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Zhang Chi, Jaculbia Rafael B., Tanaka Yusuke, Kazuma Emiko, Imada Hiroshi, Hayazawa Norihiko, Muranaka Atsuya, Uchiyama Masanobu, Kim Yousoo	4. 巻 143
2. 論文標題 Chemical Identification and Bond Control of $\alpha$ -Skeletons in a Coupling Reaction	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of the American Chemical Society	6. 最初と最後の頁 9461 ~ 9467
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/jacs.1c02624	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Cadatal-Raduban Marilou, Yoshino Masao, Yokota Yuui, Yoshikawa Akira, Hayazawa Norihiko, Asano Daizo, Shinohara Keito, Shimizu Toshihiko, Sarukura Nobuhiko, Yamanoi Kohei	4. 巻 46
2. 論文標題 Mid-infrared imaging through up-conversion luminescence in trivalent lanthanide ion-doped self-organizing optical fiber array crystal	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Optics Letters	6. 最初と最後の頁 941 ~ 941
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OL.416717	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Olaya Cherrie May, Hayazawa Norihiko, Hermosa Nathaniel, Tanaka Takuo	4. 巻 125
2. 論文標題 Angular Goos-Hanchen Shift Sensor Using a Gold Film Enhanced by Surface Plasmon Resonance	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry A	6. 最初と最後の頁 451 ~ 458
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpca.0c09373	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Yokota Yasuyuki, Hong Misun, Hayazawa Norihiko, Yang Bo, Kazuma Emiko, Kim Yousoo	4. 巻 124
2. 論文標題 Self-Consistent Tip Conditioning for Tip-Enhanced Raman Spectroscopy in an Ambient Environment	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry C	6. 最初と最後の頁 23243 ~ 23252
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.0c07579	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Jaculbia Rafael, Hayazawa Norihiko, Imada Hiroshi, Kim Yousoo	4. 巻 74
2. 論文標題 EXPRESS: Controlling the Resonance Raman Effect in Tip-Enhanced Raman Spectroscopy Using a Thin Insulating Film	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Applied Spectroscopy	6. 最初と最後の頁 1391~1397
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1177/0003702820938366	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Hong Misun, Yokota Yasuyuki, Hayazawa Norihiko, Kazuma Emiko, Kim Yousoo	4. 巻 124
2. 論文標題 Homogeneous Dispersion of Aromatic Thiolates in the Binary Self-Assembled Monolayer on Au(111) via Displacement Revealed by Tip-Enhanced Raman Spectroscopy	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry C	6. 最初と最後の頁 13141 ~ 13149
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.0c01507	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Balgos M. H., Hayazawa N., Tani M., Tanaka T.	4. 巻 94
2. 論文標題 Megahertz repetition rate-based lock-in detection scheme for rapid data acquisition in terahertz time domain spectroscopy	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Review of Scientific Instruments	6. 最初と最後の頁 043002 ~ 043002
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0138938	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Balois-Oguchi Maria Vanessa, Hayazawa Norihiko, Yasuda Satoshi, Ikeda Katsuyoshi, Nguyen Tien Quang, Escano Mary Clare, Tanaka Takuo	4. 巻 127
2. 論文標題 Probing Strain and Doping along a Graphene Wrinkle Using Tip-Enhanced Raman Spectroscopy	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry C	6. 最初と最後の頁 5982 ~ 5990
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.2c08529	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yokota Yasuyuki, Hong Misun, Hayazawa Norihiko, Kim Yousoo	4. 巻 77
2. 論文標題 Electrochemical tip-enhanced Raman Spectroscopy for microscopic studies of electrochemical interfaces	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Surface Science Reports	6. 最初と最後の頁 100576 ~ 100576
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.surfrep.2022.100576	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計29件 (うち招待講演 6件 / うち国際学会 14件)

1. 発表者名 Mary Clare Escano, Maria Herminia Balgos, Tien Quang Nguyen, Elizabeth Ann Prieto, Elmer Estacio, Arnel Salvador, Armando Somintac, Rafael Jaculbia, Norihiko Hayazawa, Yousoo Kim, Masahiko Tani,
2. 発表標題 Direct identification and imaging of the true bulk defects in GaAs(110) by first-principles calculations and STM/STS measurements
3. 学会等名 Interdisciplinary Surface Science Conference (ISSC-23) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Norihiko Hayazawa
2. 発表標題 nano-Raman in ambient and the beyond
3. 学会等名 2021 RIKEN-NCHU Joint Symposium (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Norihiko Hayazawa
2. 発表標題 nano-Raman in ambient and the beyond
3. 学会等名 11th Asian Photochemistry Conference (APC2021) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 早澤紀彦
2. 発表標題 プラスモン増強ラマン分光を用いた単一分子イメージングと多様な環境への展開
3. 学会等名 日本分光学会 赤外・ラマン分光部会シンポジウム「超高感度振動分光の最前線」(招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Cherrie May Olaya, Norihiko Hayazawa, Nathaniel Hermosa, and Takuo Tanaka,
2. 発表標題 Enhancement of Angular Goos-H nchen Shift by Surface Plasmon Resonance for Sensing Applications
3. 学会等名 The 10th Advanced Lasers and Photon Sources (ALPS2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年



1. 発表者名 Maria Vanessa Balois Oguchi, Norihiko Hayazawa, and Takuo Tanaka,
2. 発表標題 Tip-enhanced Raman spectroscopy for as-fabricated nanoscale characterization
3. 学会等名 SPIE Optics+Photonics 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yasuyuki Yokota, Misun Hong, Norihiko Hayazawa, Emiko Kazuma and Yousoo Kim
2. 発表標題 Development of Tip-Enhanced Raman Spectroscopy as an Analytical Tool for Electrochemical Interfaces
3. 学会等名 The 9th International Symposium on Surface Science (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Maria Vanessa Balois-Oguchi, Norihiko Hayazawa, and Takuo Tanaka,
2. 発表標題 Analyzing sub-nanometer strain in monolayer graphene via tip-enhanced Raman spectroscopy
3. 学会等名 Global Nanophotonics 2022 (Core-to-Core Symposium GNP2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Norihiko Hayazawa
2. 発表標題 Tip-enhanced Raman and THz nanospectroscopy
3. 学会等名 38th Samahang Pisika ng Pilipinas (SPP) Physics Conference (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名	Maria Vanessa Balois, Norihiko Hayazawa, Satoshi Yasuda, Katsuyoshi Ikeda, Bo Yang, Emiko Kazuma, Yasuyuki Yokota, Yousoo Kim, and Takuo Tanaka,
2. 発表標題	Imaging of Sub-nanometer Strain Variation in Monolayer Defect-Free Graphene using Tip-Enhanced Raman Spectroscopy
3. 学会等名	JSAP-OSA Joint Symposia 2020 (国際学会)
4. 発表年	2020年

1. 発表者名	Cherrie May Olaya, Norihiko Hayazawa, Nathaniel Hermosa, and Takuo Tanaka,
2. 発表標題	Surface plasmon resonance-induced Goos-Hanchen shift due to gold film
3. 学会等名	JSAP-OSA Joint Symposia 2020 (国際学会)
4. 発表年	2020年

1. 発表者名	R. B. Jaculbia, H. Imada, N. Hayazawa, Y. Kim,
2. 発表標題	Tip-enhanced Raman spectroscopy and imaging of a single molecule in ultrahigh vacuum and low temperature environments
3. 学会等名	The Philippine-American Academy of Science and Engineering (招待講演) (国際学会)
4. 発表年	2020年

1. 発表者名	横田泰之, M. Hong, 早澤紀彦, 楊波, 数間恵弥子, 金有洙,
2. 発表標題	大気中探針増強ラマン分光測定における増強効果失活過程の検証と対策
3. 学会等名	2020年日本表面真空学会学術講演会
4. 発表年	2020年

1. 発表者名 早澤紀彦
2. 発表標題 テラヘルツ電場誘起超高速走査トンネル分光法の開拓
3. 学会等名 理研エンジニアリングネットワークセミナー
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 早澤紀彦
2. 発表標題 チップ増強ラマン分光を用いた超高感度分子イメージングと多様な環境への展開
3. 学会等名 多次元細胞計測ワークショップ
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 早澤紀彦
2. 発表標題 テラヘルツ電場を利用した顕微分光イメージング手法の開発
3. 学会等名 福井大学遠赤外領域開発研究センター共同研究成果報告会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 M. Hong, 横田泰之, R. A. Wong, 早澤紀彦, 数間恵弥子, 金有洙,
2. 発表標題 Ag underpotential deposition at thiolate/Au interface on surface-enhanced Raman spectroscopy
3. 学会等名 2021年電気化学会第88回大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 横田泰之, M. Hong, 早澤紀彦, 楊波, 数間恵弥子, 金有洙,
2. 発表標題 大氣中探針增強ラマン分光における自己収束の探針先端加工: 增強効果とSTM像への影響
3. 学会等名 2021年電気化学会第88回大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Akihiro Izumi, Mary Clare Escano, Maria Herminia Balgos, Tien Quang Nguyen, Elizabeth Ann Prieto, Elmer Estacio, Arnel Salvador, Armando Somintac, Rafael Jaculbia, Takashi Furuya, Hideaki Kitahara, Norihiko Hayazawa, Yousoo Kim, Masahiko Tani,
2. 発表標題 Direct identification of point defects in LT-GaAs by STM/STS measurements and DFT calculations for THz device applications
3. 学会等名 40th Samahang Pisika ng Pilipinas (SPP) Physics Conference (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Maria Vanessa Balois-Oguchi (invited), Norihiko Hayazawa, Satoshi Yasuda, and Takuo Tanaka,
2. 発表標題 Analyzing Strain and Doping in Monolayer Graphene Wrinkles by Tip-Enhanced Raman Spectroscopy
3. 学会等名 JSAP-OSA Joint Symposia in The 83rd JSAP Autumn Meeting (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Maria Vanessa Balois-Oguchi (invited), Norihiko Hayazawa, and Takuo Tanaka,
2. 発表標題 Analyzing Strain and Doping in Monolayer Graphene Wrinkles by Tip-Enhanced Raman Spectroscopy
3. 学会等名 SPIE Optics + Photonics (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 早澤紀彦
2. 発表標題 プラズモン増強ラマンによる多様な環境下におけるナノスケール界面分光
3. 学会等名 日本化学会 第73回コロイドおよび界面化学討論会(招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Cherrie May Olaya, Norihiko Hayazawa, Nathaniel Hermosa, Takuo Tanaka,
2. 発表標題 Surface Plasmon Resonance-enhanced Angular Goos-Hanchen Shift sensor in multiple environments
3. 学会等名 日本化学会 第73回コロイドおよび界面化学討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 横田 泰之, Raymond A. Wong, Misun Hong, 早澤 紀彦, 金 有洙,
2. 発表標題 金属電極近傍の蛍光色素の分光測定: 蛍光と共鳴ラマンの同時計測
3. 学会等名 第83回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 横田 泰之, Raymond A. Wong, Misun Hong, 早澤 紀彦, 金 有洙,
2. 発表標題 色素/スペーサー/金属電極界面における蛍光と共鳴ラマンの同時計測
3. 学会等名 第16回分子科学討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Maria Vanessa Balois, Norihiko Hayazawa, and Takuo Tanaka,
2. 発表標題 Analyzing the strain and doping in graphene wrinkles via tip-enhanced Raman spectroscopy in ambient
3. 学会等名 理研シンポジウム 第10回「光量子工学研究-ポストコロナ時代の新しい光科学」
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Maria Herminia Balgos, Norihiko Hayazawa, Masahiko Tani, and Takuo Tanaka,
2. 発表標題 Megahertz frequency lock-in detection scheme for rapid data acquisition in terahertz time domain spectroscopy
3. 学会等名 理研シンポジウム 第10回「光量子工学研究-ポストコロナ時代の新しい光科学」
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Cherrie May Olaya, Norihiko Hayazawa, and Takuo Tanaka,
2. 発表標題 High sensitivity sensor based on surface plasmon resonance-enhanced angular Goos-Hanchen shift
3. 学会等名 理研シンポジウム 第10回「光量子工学研究-ポストコロナ時代の新しい光科学」
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 早澤紀彦
2. 発表標題 テラヘルツ波を利用した時間分解ナノ分光イメージング手法の開発
3. 学会等名 福井大学遠赤外領域開発研究センター共同研究成果報告会
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 日本表面真空学会	4. 発行年 2021年
2. 出版社 朝倉書店	5. 総ページ数 576
3. 書名 図説 表面分析ハンドブック	

〔産業財産権〕

〔その他〕

代表者ホームページ <a href="https://sites.google.com/site/hayazawa/">https://sites.google.com/site/hayazawa/</a>
--

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関		
フィリピン	フィリピン大学ディリマン校		