

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 5 年 6 月 2 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2020～2022

課題番号：20H00343

研究課題名(和文)位相制御したテラヘルツパルスによるレアイベント表面プロセスの駆動

研究課題名(英文)Rare event processes at surfaces driven by THz pulses

研究代表者

吉信 淳(Yoshinobu, Jun)

東京大学・物性研究所・教授

研究者番号：50202403

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 33,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、再生増幅器およびツイン型光パラメトリック増幅器からの差周波発生による遠赤外から中赤外領域で波長可変の狭帯域テラヘルツ発生システム、及び、二色レーザー誘起エアプラズマからの放射によって数テラヘルツから中赤外にわたる超広帯域の高強度パルスを生成する光源システムを構築した。超広帯域テラヘルツによる振動共鳴和周波発生分光では、広範囲の振動スペクトルの時間分解測定が一度に可能になった。時間分解テラヘルツ分光により固体中のディラック電子が示す光励起キャリアダイナミクスなどの研究を行った。また、モデル触媒表面における吸着分子の反応ダイナミクスにおけるテラヘルツパルス照射効果について研究した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

狭帯域および超広帯域のテラヘルツパルスを発生するシステムを構築し、テラヘルツパルスによる時間分解分光や振動共鳴和周波発生分光の開発を行った。これらの分光法は、固体表面科学だけでなく、固体光物性、電気化学、触媒化学、界面科学、電子デバイス、ソフトマテリアルなど様々な対象に適用でき、応用範囲が広い。しかも、超高速現象を時間分解で観測することが可能なので、それぞれの分野で未知であったダイナミクスの解明につながると期待される。

研究成果の概要(英文)：In this study, we have constructed the wavelength-tunable narrow-band terahertz pulse generation system by difference frequency generation from a twin-type optical parametric amplifier with a regenerative amplifier. We have also constructed an intense ultra-broadband terahertz pulse system covering from sub-terahertz to mid-infrared region by using two-color laser-induced air plasma. Time-resolved wide-range vibrational sum frequency generation spectroscopy can be measured at once by using the ultra-broadband THz system. Time-resolved THz spectroscopy has been carried out to study the photo-excited carrier dynamics of Dirac electrons in solid states. The reaction dynamics of adsorbed molecules on model catalyst surfaces using THz pulses was also studied.

研究分野：表面科学

キーワード：表面 反応 振動分光 テラヘルツ 超短パルスレーザー 和周波発生 光物性

1. 研究開始当初の背景

触媒反応や化学的気相成長 (CVD) など表面における反応プロセスを自在に制御し、生成物を望み通りに合成することは、表面科学の究極の目標の一つである。通常触媒反応や CVD などの表面プロセスは熱活性化により促進されるが、反応座標に沿った活性化エネルギーを超えることができる極めて少数の分子のみが生成物に至るレアイベントでもある。そのため熱活性化が必要である。一方、光や電子により誘起された非熱的過程を探索することや、特定の結合を選択的に切断しようとする研究が行われてきた。過去の研究では、光あるいは電子を利用して非熱的過程を探索する研究や、特定の結合を切断する分解反応や脱離についての研究がほとんどであった。特定の振動モードの励起や、非占有準位に電子励起した場合、分子内結合間や分子基板間でエネルギー散逸が起こり、弱い結合が切断されやすいことがわかってきた。

2. 研究の目的

本研究では、キャリアエンベロープ位相制御 (CEP) された遠赤外から中赤外領域の高強度で波長可変な狭帯域テラヘルツ (THz) パルスシステムを構築する。さらに、二色レーザー誘起エアプラズマによるテラヘルツ放射によってサブテラヘルツから中赤外にわたる超広帯域の高強度パルスを生産する光源システムを構築する。これらのテラヘルツパルス光源を用いて、吸着分子の運動や変形を誘起し、表面反応の変調や駆動を目指す。狭帯域テラヘルツを利用したアクションスペクトロスコピーにより、吸着分子の運動と反応の関係を調べる。さらに、位相制御した THz パルスによる強電場印加による、表面プロセスの変調を調べる。光が持つ位相の自由度までを制御した最先端の高強度 THz 光を表面プロセスに適用し、熱分布のごく一部の分子が活性化障壁を超え、生成物に至るレアイベントを非摂動論的相互作用により生成系に導き、新たな物質制御の道を切り拓くことを目的とする。

3. 研究の方法

(1) 本基盤研究 A の補助金および JST-CREST プロジェクト「時空間で精密制御した輻射場による表面反応プロセス」の受託研究費による合算で、新たに再生増幅器および白色光を共有するツイン型光パラメトリック増幅器 (OPA) を導入した。白色光を共有するツイン OPA のシグナル光どうして差周波発生を行うことで、位相が固定された狭帯域の高強度テラヘルツパルス発生システムを構築し、発生を確かめた。二色レーザー誘起エアプラズマの放射によってサブテラヘルツから中赤外にわたる超広帯域の高強度パルスを生産する光源システムを構築した。このテラヘルツパルスは非対称なサブモノサイクルの形状をしており、電場ベクトルの向きを反転させることが可能である。この広帯域テラヘルツパルスの評価と応用については、研究の成果で述べる。図 1 に本研究で構築した実験システムの概略図を示す。

(2) 再生増幅器からの近赤外フェムト秒パルス (800nm) を固体表面の吸着分子に照射したときに誘起される光脱離を四重極質量分析計で飛行時間分析するシステムを構築した (上記の表面反応観測チェンバーに設置)。この計測システムとサンプルの位置を連続的にスキャンする自動移動機構を組み合わせることで、光脱離のダイナミクス (飛行時間測定) とキネティクス (光照射に対する脱離分子の時間変化) の観測を行った。

(3) 既設の Yb ベースの高安定再生増幅器を用いて、その出力を白色パルス化し 2 台の光パラメトリック増幅器に入射し、両方のシグナル光を使って差周波発生を行った。シグナル光をそれぞれ 2 枚の透過型回折格子を使ってチャープさせてから差周波発生を行うことで、光整流効果による 1THz 帯のパルス発生を抑制し、数十 THz 帯で単色性の高い高強度 THz パルスを発生させた。非線形結晶として GaSe 結晶を用いることで 16THz から 40THz 帯における中心周波数連続可変の THz パルスを生成し、さらに有機結晶を用いることで 9-17THz 帯においても CEP 制御されたパルスを生成した。このテラヘルツパルスを用いて、固体における格子振動直接励起による音響フォノン生成や、固体内のディラック電子が示す光励起キャリアダイナミクスといった超高速分光への展開を行った。

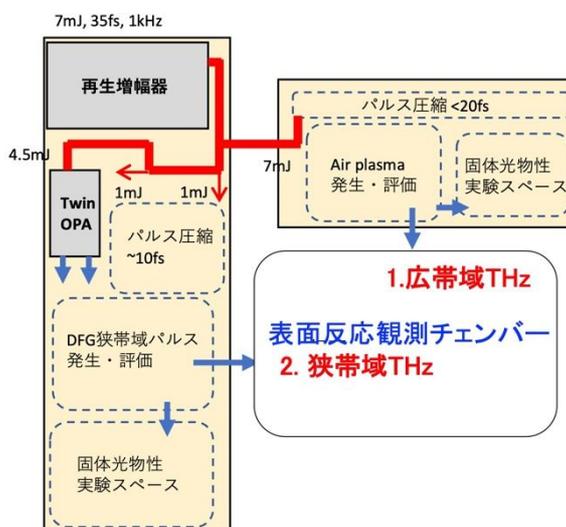


図 1 再生増幅器とツイン型 OPA による広帯域 THz パルスおよび狭帯域 THz パルス発生システムと表面反応観測チェンバーの配置図。

4. 研究成果

(1) 既設の表面分析装置を用いて、本研究で実験対象とする吸着系(金属表面における二酸化炭素/Pt(111)、メタン/Pt(997)、ギ酸/Cu(977)など)について、昇温脱離質量分析スペクトルから吸着エネルギー、赤外反射吸収分光により吸着分子の振動スペクトルを取得し、吸着量や化学状態についての情報は X 線光電子分光により定量的な知見を得た。金属表面への二酸化炭素やメタンの吸着は弱く、物理吸着であるので、理論的にこれを記述するためにはファンデルワールス相互作用を含めた第一原理計算が必要となる。Pt 表面における二酸化炭素の吸着に対して適切な汎関数は rev-vdW-DF2 と optB86b-vdW を用いた計算結果が、メタンの吸着に対しては rev-vdW-DF2 を用いた計算結果が、実験値を良く再現することがわかった。

(2) 2色レーザー誘起エアプラズマによる広帯域 THz パルスは非対称なサブモノサイクリックな波形をしているが、周波数スペクトルを観測する新たな方法として、局所発振器としての金属表面における第二高調波発生(SHG)光と、空気中の分子による THz 誘起 SHG とを干渉させることにより、THz 波のヘテロダイン検出を行うことに成功した。本方法は、基本的に物質のフォノンや位相整合条件の影響を受けずに THz 波のコヒーレント検出を実現でき、さらに高電圧や特別の電極構造も必要としない。つまり、低コストかつシンプルな光学構成で、サブ THz から数十 THz までのマルチ THz パルスをギャップレスで測定できる方法を新たに構築できた。我々はこの手法を、air-metal coherent detection (AMCD)法と名付けた。図 2(a)にこの方法で測定された THz パルスの時間波形とそのフーリエ変換した周波数スペクトルを示す。

さらに、この広帯域テラヘルツパルスと近赤外超短パルスレーザー(800nm)を使った振動共鳴和周波発生(SFG)分光法を開発した。図 2(b)は GaAs 表面に作製したポリメタクリル酸メチル(PMMA)のスペクトルを示した。これにより、遠赤外から中赤外にわたる分子振動のスペクトルが一度に測定できる。SFG は界面の情報を選択的にプローブできる分光手法であるが、今までの SFG 振動分光では一度に測定できる波数範囲が限られていた。本方法により、表面界面の分子の広範囲の振動スペクトルを一度に測定することができるようになり、様々な表面界面における分子系のダイナミクス研究に応用されることが期待できる。

(3) 近赤外フェムト秒パルス(800nm)を固体表面に吸着した分子に照射することにより誘起される光脱離を四重極質量分析計で飛行時間計測するシステムを構築し、Pt 表面における吸着系の光脱離を観測した。次に、超広帯域テラヘルツパルスを Pt(111)表面におけるいくつかの吸着系に対して照射し、テラヘルツパルスが誘起する光脱離の観測を試みた。さらに、近赤外フェムト秒パルスと超広帯域テラヘルツパルスを同期させて吸着系に照射する実験を行った。超広帯域テラヘルツパルスの照射による吸着分子の脱離は今回の対象系では観測されなかった。いくつかの吸着系に対し、近赤外 + THz パルス照射による光脱離実験を行い、THz パルスによる脱離のダイナミクスやキネティクスの変調について探索的研究を行った。

(4) 3-(3)のテラヘルツパルス光源を駆使して、10-45THz(波長 6-30 μ m)の超広帯域にわたって 30fs の時間分解で複素応答関数を精密に決定することのできる時間分解計測システムを構築し、固体における格子振動直接励起による音響フォノン生成や、固体内のディラック電子が示す光励起キャリアダイナミクスといった固体超高速分光への展開を進めた。横光学フォノンと縦光学フォノンの中間に位置するレストシュトラーレンバンドの周波数で光励起した時に最も効率よく音響フォノンが生成されるという興味深い性質が観測され、その起源を議論した。またディラック半金属に対して 30 THz の高強度テラヘルツパルスを照射することで生じる応答関数の変化を詳細に調べた。30 THz よりわずかに低周波側で巨大な吸収ピークが生じるとともに、30 THz よりわずかに高周波側では吸収が消失して利得による誘導放出が生じるという、急峻なスペクトル変化を発見した。バンド構造を取り入れた微視的理論計算とマクロが現象論的非線形光学の両面から計算し、この現象が固体特有のプラズマ振動によって屈折率が巨大に変化したことによる誘導レイリー散乱として説明されること判明した。

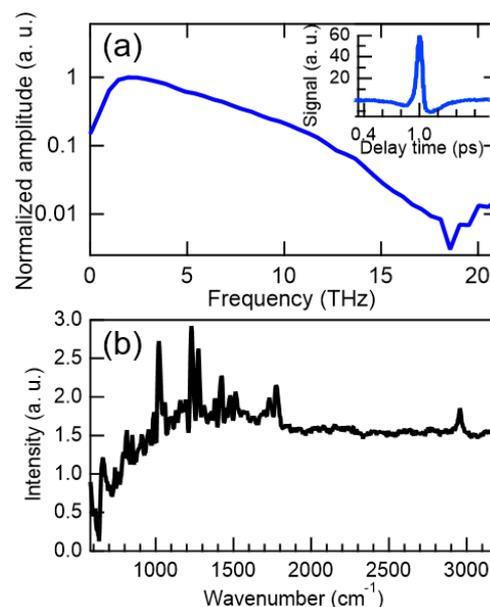


図 2(a) AMCD 法によって測定された広帯域 THz パルスの時間波形(インセット)とそのフーリエ変換による周波数スペクトル。(b)PMMA/GaAs の SFG 振動スペクトル。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 7件/うち国際共著 3件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Kanda Natsuki, Murotani Yuta, Matsuda Takuya, Goyal Manik, Salmani-Rezaie Salva, Yoshinobu Jun, Stemmer Susanne, Matsunaga Ryusuke	4. 巻 22
2. 論文標題 Tracking Ultrafast Change of Multiterahertz Broadband Response Functions in a Photoexcited Dirac Semimetal Cd3As2 Thin Film	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Nano Letters	6. 最初と最後の頁 2358 ~ 2364
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.nanolett.1c04890	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 Osada Wataru, Tanaka Shunsuke, Mukai Kozo, Choi Young Hyun, Yoshinobu Jun	4. 巻 126
2. 論文標題 Adsorption, Desorption, and Decomposition of Formic Acid on Cu(977): The Importance of Facet of the Step	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry C	6. 最初と最後の頁 8354 ~ 8363
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.2c01948	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 Osada Wataru, Tanaka Shunsuke, Mukai Kozo, Kawamura Mitsuaki, Choi YoungHyun, Ozaki Fumihiko, Ozaki Taisuke, Yoshinobu Jun	4. 巻 24
2. 論文標題 Elucidation of the atomic-scale processes of dissociative adsorption and spillover of hydrogen on the single atom alloy catalyst Pd/Cu(111)	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Physical Chemistry Chemical Physics	6. 最初と最後の頁 21705 ~ 21713
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D2CP01652D	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 Choi Young Hyun, Putra Septia Eka Marsha, Shiozawa Yuichiro, Tanaka Shunsuke, Mukai Kozo, Hamada Ikutaro, Morikawa Yoshitada, Yoshinobu Jun	4. 巻 732
2. 論文標題 The quantitative study of methane adsorption on the Pt(997) step surface as the initial process for reforming reactions	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Surface Science	6. 最初と最後の頁 122284 ~ 122284
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.susc.2023.122284	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 Ozaki Fumihiko, Tanaka Shunsuke, Osada Wataru, Mukai Kozo, Horio Masafumi, Koitaya Takanori, Yamamoto Susumu, Matsuda Iwao, Yoshinobu Jun	4. 巻 593
2. 論文標題 Functionalization of the MoS2 basal plane for activation of molecular hydrogen by Pd deposition	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Applied Surface Science	6. 最初と最後の頁 153313 ~ 153313
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.apsusc.2022.153313	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 Murotani Yuta, Kanda Natsuki, Ikeda Tatsuhiko N., Matsuda Takuya, Goyal Manik, Yoshinobu Jun, Kobayashi Yohei, Stemmer Susanne, Matsunaga Ryusuke	4. 巻 129
2. 論文標題 Stimulated Rayleigh Scattering Enhanced by a Longitudinal Plasma Mode in a Periodically Driven Dirac Semimetal Cd3As2	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Physical Review Letters	6. 最初と最後の頁 207402-1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevLett.129.207402	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 Shunsuke Tanaka, Yuta Murotani, Shunsuke A. Sato, Tomohiro Fujimoto, Takuya Matsuda, Natsuki Kanda, Ryusuke Matsunaga, and Jun Yoshinobu	4. 巻 122
2. 論文標題 Gapless detection of broadband terahertz pulses using a metal surface in air based on field-induced second-harmonic generation	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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26件 (うち招待講演 6件 / うち国際学会 6件)

1. 発表者名 亀山 理紗子、田中 駿介、松田 拓也、室谷 悠太、神田 夏輝、松永 隆佑、吉信 淳
2. 発表標題 2色レーザー誘起エアプラズマにより発生したTHzパルスを用いた振動和周波発生分光法
3. 学会等名 第70回 応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 松永隆佑
2. 発表標題 トポロジカル半金属におけるテラヘルツ非線形輸送と非平衡現象
3. 学会等名 日本物理学会2023年春季大会（招待講演）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 神田夏輝, 室谷悠太, 松田拓也, Manik Goyal, 吉信淳, 小林洋平, Susanne Stemmer, 松永隆佑
2. 発表標題 3次元ディラック半金属Cd3As2薄膜における円偏光誘起異常ホール効果の観測
3. 学会等名 日本物理学会第76回年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 室谷悠太, 神田夏輝, 池田達彦, 松田拓也, Manik Goyal, 吉信淳, 小林洋平, Susanne Stemmer, 松永隆佑
2. 発表標題 周期的光電場に駆動されたディラック半金属における誘導レイリー散乱とスローライト生成
3. 学会等名 日本物理学会第77回年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Ryusuke Matsunaga
2. 発表標題 Ultrafast terahertz and multiterahertz spectroscopy for a nonequilibrium Dirac semimetal Cd3As2 with periodic driving by light
3. 学会等名 Max Planck Quantum Matter Seminar（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 吉岡晴香, 長田渉, 向井孝三, 田中駿介, 吉信淳
2. 発表標題 原子状水素吸着Cu(997)表面におけるギ酸の反応
3. 学会等名 日本物理学会2022年秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 吉信 淳・長田 渉・吉岡 晴香・阪口 佳子・向井 孝三・田中 駿介
2. 発表標題 銅系モデル触媒によるギ酸および二酸化炭素の吸着と水素化
3. 学会等名 第130回触媒討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 長田渉・田中駿介・向井孝三・吉信淳
2. 発表標題 表面分析手法を用いたPd/Cu(977)単原子合金モデル触媒におけるホルメート水素化反応に関する研究
3. 学会等名 日本化学会第103回春季年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 W. Osada, S. Tanaka, Y. Choi, K. Mukai, J. Yoshinobu
2. 発表標題 Adsorption and surface reaction of formic acid on the Cu(977) surface with a (100) microfacet
3. 学会等名 日本化学会第102回春季年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 吉信淳
2. 発表標題 よく規定されたモデル触媒表面における水素の活性化と反応
3. 学会等名 日本MRS水素科学技術連携研究会「第1回トピックス研究会(化学分科会)」(招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Shunsuke Tanaka, Tomohiro Fujimoto, Yuta Murotani, Natsuki Kanda, Ryusuke Matsunaga, and Jun Yoshinobu
2. 発表標題 Surface electron dynamics on clean and chemisorbed Pt(111) surfaces studied by terahertz-field-induced second harmonic light
3. 学会等名 The 9th International Symposium on Surface Science (ISSS-9) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 崔永賢, 吉岡晴香, 尾崎文彦, 小坂谷貴典, 山本達, 堀尾眞史, 松田巖, 向井孝三, 田中駿介, 吉信淳
2. 発表標題 Pt(997)表面におけるメタンおよび二酸化炭素の雰囲気光電子分光: ドライリフォーミングを目指して
3. 学会等名 日本物理学会2021年秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 崔永賢, 李鴻宇, 尾崎文彦, 篠原琢朗, 小坂谷貴典, 山本達, 堀尾眞史, 松田巖, 向井孝三, 田中駿介, 吉信淳
2. 発表標題 オペランド雰囲気軟X線光電子分光によるPt(997)表面におけるメタンのドライリフォーミングの研究
3. 学会等名 日本物理学会第77回年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名	尾崎文彦, 土原悠, 長田渉, 吉岡晴香, 小板谷貴典, 山本達, 堀尾眞史, 松田巖, 向井孝三, 田中駿介, 吉信淳
2. 発表標題	Pd 蒸着 MoS ₂ 表面における水素分子活性化とスピルオーバー
3. 学会等名	日本物理学会2021年秋季大会
4. 発表年	2021年

1. 発表者名	Y. Choi, H. Yoshioka, F. Ozaki, T. Koitaya, S. Yamamoto, M. Horio, I. Matsuda, K. Mukai, S. Tanaka and J. Yoshinobu
2. 発表標題	AP-XPS Study of Methane and Carbon Dioxide for Methane Dry Reformation on a Pt(997) Surface
3. 学会等名	The 10th international workshop on Advanced Spectroscopy of Organic Materials for Electronic Applications (ASOMEA-X) (国際学会)
4. 発表年	2021年

1. 発表者名	神田夏輝, 室谷悠太, 池田達彦, 松田拓也, 吉信淳, 小林洋平, Susanne Stemmer, 松永隆佑
2. 発表標題	3次元ディラック半金属Cd ₃ As ₂ 薄膜のマルチテラヘルツ光励起コヒーレント過渡応答
3. 学会等名	日本物理学会2021年秋季大会
4. 発表年	2021年

1. 発表者名	Ryusuke Matsunaga, Natsuki Kanda, Yuta Murotani, and Takuya Matsuda
2. 発表標題	Terahertz and multiterahertz nonlinear responses in 3D Dirac semimetal Cd ₃ As ₂
3. 学会等名	9th Russia-Japan-USA-Europe Symposium on Fundamental & Applied Problems of Terahertz Devices & Technologies (招待講演) (国際学会)
4. 発表年	2021年

1. 発表者名 Ryusuke Matsunaga, Natsuki Kanda, Yuta Murotani, and Takuya Matsuda
2. 発表標題 Nonequilibrium dynamics of broadband response functions in Dirac semimetal Cd ₃ As ₂ studied by multiterahertz spectroscopy
3. 学会等名 VIII Ultrafast Dynamics and Ultrafast Bandgap Photonics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Jun Yoshinobu
2. 発表標題 In-situ observation of surface chemical processes including hydrogen on 2D materials
3. 学会等名 11th International Symposium of Gunma University Initiative for Advanced Research (GIAR) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 崔永賢、塩澤佑一朗、Septia Eka Marsha Putra、濱田幾太郎、濱本雄治、森川良忠、向井孝三、田中駿介、吉信淳
2. 発表標題 Pt(997)表面におけるメタンの吸着と昇温プロセス
3. 学会等名 Nanospec2021
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 田中駿介、藤本知宏、神田夏輝、松永隆佑、吉信淳
2. 発表標題 THzパルス光によるPt表面における第二高調波発生の変調
3. 学会等名 2020年日本表面真空学会講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 田中駿介, 藤本知宏, 神田夏輝, 松永隆佑, 吉信淳
2. 発表標題 Pt(111)表面におけるTHz光により誘起された第二高調波の観測
3. 学会等名 表面界面スペクトロスコピー2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 向井孝三、松田智貴、吉岡晴香、田中駿介、吉信淳
2. 発表標題 HREELSとLT-STMによるCu(997)表面におけるギ酸吸着とフォルメート生成の研究
3. 学会等名 日本物理学会 第76回年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 尾崎文彦・谷峻太郎・田中駿介・崔永賢・向井孝三・堀尾眞史・小坂谷貴典・山本達・松田巖・小林洋平・吉信淳
2. 発表標題 レーザー加工により作製したMoS ₂ エッジ面の放射光光電子分光による電子状態と活性サイトの研究
3. 学会等名 表面界面スペクトロスコピー2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 長田渉・田中駿介・向井孝三・吉信淳
2. 発表標題 Pd/Cu(977)モデル触媒表面におけるホルメート種と水素との相互作用
3. 学会等名 表面界面スペクトロスコピー2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 尾崎文彦・田中駿介・崔永賢・向井孝三・河村光晶・福田将大・堀尾眞史・小坂谷貴典・山本達・松田巖・尾崎泰助・吉信淳
2. 発表標題 雰囲気光電子分光を用いたMoS2基底面における硫黄欠陥生成機構の研究
3. 学会等名 日本物理学会2023年春季大会
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

物性研究所吉信研究室 https://yoshinobu.issp.u-tokyo.ac.jp 物性研究所松永研究室 https://matsunaga.issp.u-tokyo.ac.jp
--

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
研究分担者	松永 隆佑 (Matusnaga Rhyusuke) (50615309)	東京大学・物性研究所・准教授 (12601)	

	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
研究協力者	田中 駿介 (Tanaka Shunsuke) (10822744)	東京大学・物性研究所・助教 (12601)	

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			
米国	カリフォルニア大学サンタバー バラ校			