

令和 2 年 6 月 5 日現在

機関番号：12701

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2016～2019

課題番号：16H06010

研究課題名(和文) 探針増強テラヘルツ電場を用いたナノ構造制御

研究課題名(英文) Ultrafast control of nanostructure using tip-enhanced terahertz electric field

研究代表者

片山 郁文 (Katayama, Ikufumi)

横浜国立大学・大学院工学研究院・教授

研究者番号：80432532

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 18,900,000円

研究成果の概要(和文)：原子や分子の大きさに対応するナノスケールではこれまで、その時間的な変化を観測し制御することは極めて難しかった。特に、ナノスケールにおける原子分子の運動はピコ秒程度と極めて短く直接観察すら難しい。そこで、本研究ではフェムト秒程度という極めて短いパルス幅のレーザーを用いて発生させたテラヘルツ領域の電磁波を用いることで、ナノスケールかつ超高速の分光を行う新しい技術を開発した。その結果、ナノスケールかつピコ秒の電子トンネリングの制御や、ナノスケールの光相変化の誘起など、新しい現象を見出すことができた。これらの結果は今後ナノエレクトロニクス分野への応用が期待される。

研究成果の学術的意義や社会的意義

テラヘルツ時間領域分光法と走査型トンネル顕微鏡という超高速の時間スケール、かつ微細な空間スケール(ナノスケール)での分光を可能にする技術を組み合わせることによって、従来は不可能であったナノスケールでの物質層の制御や観測が可能となった。この結果によって、電子の授受を伴う表面化学反応や、超高速デバイスの新動作原理、ナノスケールの相変化ダイナミクスなどにおいて新しい研究ツールとなる技術が開発された。これらの分野の研究を通して、ダイナミクスの理解が進むことによって、反応の効率化やデバイス設計、物質設計などに新たな知見をもたらすことが期待される。

研究成果の概要(英文)：Visualization and control of atomic and molecular motions in the nanometer scale has been very difficult because the dynamics associated with the nanoscale is in the range of picoseconds or femtoseconds. To investigate such a ultrafast timescale in the nanoscale, we combined the scanning tunneling microscope with the terahertz spectroscopy. As a result, we succeeded in observing the picosecond and femtosecond electron tunneling in the nanogap and the photoinduced phase change at the nanoscale. These results could be very useful for the future nano-electric devices.

研究分野：光物理学・表面科学

キーワード：テラヘルツ 走査トンネル顕微鏡 電子トンネリング 光相変化 超高速ダイナミクス

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

研究開始当初、高強度のテラヘルツ波を発生・検出する手法が発展し、さまざまなテラヘルツ電場誘起の非線形現象の研究が行われ始めていた。例えば、テラヘルツ電場誘起の高次高調波発生や、非線形トンネル現象などである。これらの現象はテラヘルツ波をエレクトロニクスへと応用する際の基盤的な情報を与えるため、現在に至るまでさまざまな研究グループが盛んに研究を行っている。研究代表者のグループでも、金属薄膜にテラヘルツ波を照射することによって、電子のトンネル現象が発生し、それによってテラヘルツ波の透過強度が変化する現象を見出し、それが、金属薄膜のナノギャップ内を電子がトンネルすることによって生じることを明らかにしてきた。しかし一方で、テラヘルツ波の波長は $300\ \mu\text{m}$ と極めて長く、単純に光を照射しただけでは、空間的な分解能は mm 程度になり、より小さなナノスケールの物質応答や、デバイス応答などを検出することが難しかった。

そのような中、カナダ・アルバータ大学のグループが、テラヘルツ分光技術と、走査型トンネル顕微鏡 (STM) とを組み合わせ、テラヘルツ波によりトンネル電流の変調が可能であることを見出した。この研究はこれまでの超短パルスレーザーを用いた超高速 STM 研究と比べて次の点で大きく異なる。まず、これまでの研究では、ピコ秒程度の時間分解能を付与するために、超短パルスレーザーを直接 STM に照射しており、その際のトンネル電流量の変化を検出していたが、これは基本的には光励起であり、向きを持たない励起となっている。一方で、テラヘルツ電場を用いた励起では、モノサイクルの電場パルスを利用することになるため、トンネル電流の向きは、パルス電場の向きを制御することによって変化させることができる。このことはトンネル電流の励起によって、物質中に電子を注入したり、抽出したりすることが可能になることを意味する。

さらに、この時起こる電子のトンネル現象は極めて非線形な現象であるため、パルス電場の最も高い時間において瞬間的に誘起される。すなわち、照射しているテラヘルツ波のパルス幅はピコ秒程度であるが、実際に誘起されるトンネル電流はより短い時間スケールで起こっている可能性があるわけである。研究代表者らはこれらの点に着目し、このようなトンネル現象の性質について、実験的な検証が明快には行われていないことから、その実証を行い、それを物質制御へと応用することを目指して研究を行った。

2. 研究の目的

以上の背景により、本研究ではまず、STM にテラヘルツ電磁波を照射し、それによって誘起されるトンネル電流を計測するとともに、電子トンネルの向きや量を自在に制御できることを実証することを目指した。さらに、この手法によってナノスケールの電子トンネリングを制御できることから、相変化材料などの物質系に適用し、ナノスケールの物性制御へと応用することを目的とした。

3. 研究の方法

図 1 に本研究で用いた実験装置の概略図を示す。実験では、Ti:sapphire ベースの再生増幅レーザーを用いて、中心波長 $800\ \text{nm}$ 、パルス幅 $130\ \text{fs}$ 、パルスエネルギー $2\ \text{mJ}$ 、繰り返し周波数 $1\ \text{kHz}$ 程度の光を発生させた。この光を回折格子によってパルス面を傾斜させた後、LiNbO₃ 単結晶プリズムに照射し、斜め方向にテラヘルツ波を発生させた。発生したテラヘルツ光は放物面鏡で平行光としたのちに、STM 探針に集光し、それによって誘起されるトンネル電流を計測した。また、テラヘルツ波の波形は、レンズ対や連続的に位相を変化させることのできる CEP シフターなどによって絶対位相を制御した。これによって、自在に \sin 型から \cos 型にかけて、パルスの

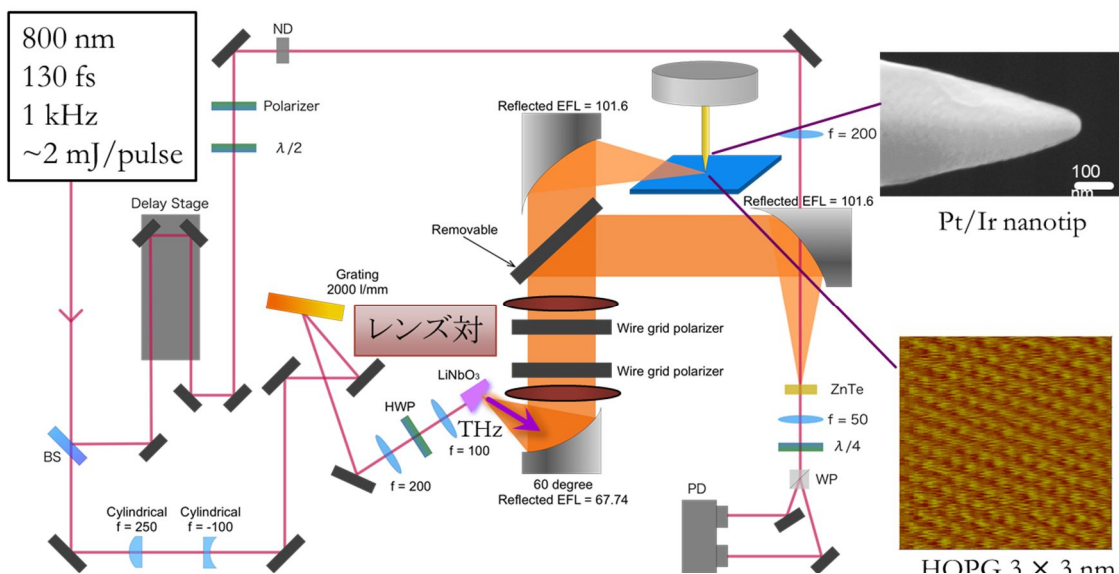


図 1: 実験装置の概略図。原子像が取得可能な STM 装置にテラヘルツ波を照射した。

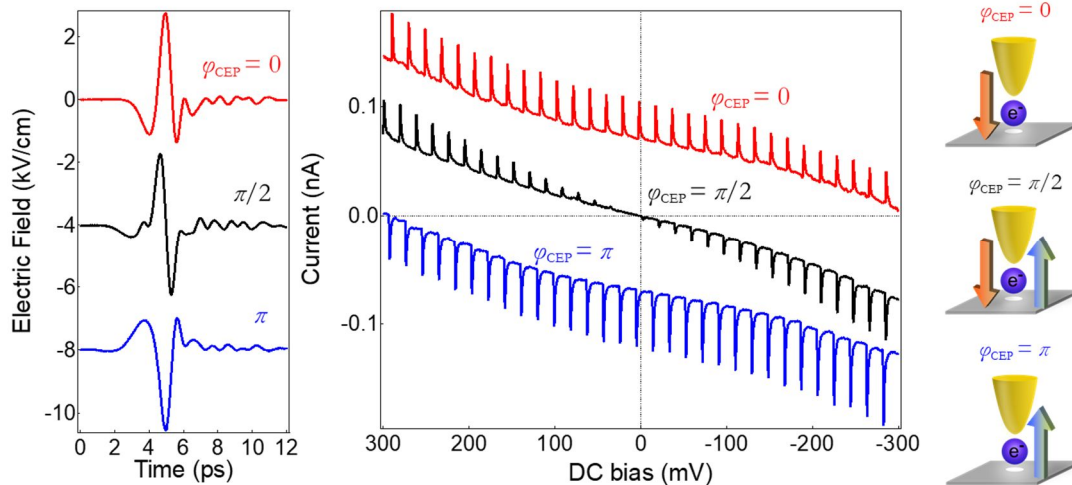


図 2: 照射したテラヘルツ波形(左)と、バイアス電圧を変化させながらテラヘルツ波を照射した結果。1 kHz のテラヘルツパルスの繰り返しと同じタイミングで、電流スパイクが表れている。照射した電場パルスの位相に応じて、トンネルする向きが右図のように異なっていることが見て取れる。

位相を変化させることができる。これらのパルスを STM に照射した。

試料としては電子トンネリングの実証実験にはグラファイトを用いた。探針は Pt/Ir 探針を利用している。また、光相変化材料として知られる $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$ (GST) 薄膜や、BiTeI などのトポロジカル絶縁体におけるテラヘルツ誘起トンネリングの研究も行った。GST はマグネトロンスパッタ法によって薄膜を作成し、BiTeI は、単結晶をへき開することによって表面原子構造を得た。実験ではまず、表面の原子構造を STM で観測した後、テラヘルツ波を照射することによるトンネル電流の増減を計測した。

4. 研究成果

まず、図 2 に、照射したテラヘルツ波の波形と、その際に観測されたトンネル電流の変化を示す。図中にスパイク上の信号が見られるが、これはバイアス電圧が横軸の値になった時点でテラヘルツパルスが当たり、その点で電流値が大きく変わったことを示している。このスパイクは CEP が 0 の場合は上向き、CEP が π では下向きに観測されていることから、電場の向きによって、トンネル電流の向きが変化していることを示唆している。このことはテラヘルツ電場がトンネリングを駆動している明かな証拠であり、局所的な電子の注入や抽出が可能であることを実証した成果であるといえる。実際にトンネル電流の量はバイアスで電圧の値にも大きく依存しており、例えば、CEP が 0 の場合にはバイアスが正である際に、トンネル電流が大きくなっており、CEP が π の場合はその逆である。また、sin 型の電場波形の場合は、トンネル電流が上向きと下向きでキャンセルし、バイアス 0 V では、トンネル電流が観測されていない。これらの結果は、電子のトンネリングを考える Simmons モデルと呼ばれるモデルで定量的に解析することが可能であり、右図のようにトンネル過程の超高速な制御がテラヘルツ電場で可能であることを示す重要な結果である。

なお、この研究において、トンネル電流量を記述する Simmons モデルでは、パラメータとして、探針と試料の間のギャップ長、仕事関数、および電場増強度を求めることができる。これらのパラメータを、図 2 の左図にあるような電場波形でシミュレーションすることで求めたところ、ギャップ長は約 1 nm、仕事関数は 3.8 eV、電場増強度は 10^5 となった。このように、テラヘルツパルスの位相を変化させたことで、トンネリングに関連する電場強度を得ることができる点は、本手法の大きな魅力であるといえる。また、ダブルパルスを用いた系も構築し、トンネル現象は 100fs オーダーの非常に短い時間範囲で起こっていることも見出した。このように研究期間当初においては、探針試料間で起こるトンネリング現象の解明に力点があった。

次にそれまでの研究における CEP 依存性の実験が、 $\pi/2$ 刻みでしか位相を変えることができなかった点に着目し、それを連続的な CEP 変化が可能で、テラヘルツ広帯域位相シフターに変更することで、より詳細に局所場の評価を行う系を導入した。その結果を図 3 に示す。

図 3 では、テラヘルツ波長ように設計されたフレネルロム的一种である四半波長板 (QWP) と、半波長板 (HWP) を用いて円偏光位相を任意に回転させ、偏光子によって必要な偏光の成分のみを切りだすことによって位相を変える CEP シフターを利用した。ここで、中央の HWP を回転させることによって、円偏光の回転位相が変わるため、偏光子で変更をカットした電磁場は、CEP を連続的に変えることができるようになる。この CEP シフターは浜松ホトニクス社の開発したものである。このデバイス位相差は、Si のテラヘルツ領域の屈折率のみできまっており、Si の透過領域という極めて広帯域な高感度検出が可能となっている。特にここで注目すべきは、観測されたトンネル電流が最大となる CEP の値が 0 からずれていることである。ここでいう CEP=0 は cos 型のパルスを指しているが、この結果は、遠方場でたとえトンネル CEP が 0、すなわち cos 型であったとしても、トンネル電流量が最大とはならない場合があるということを示している。

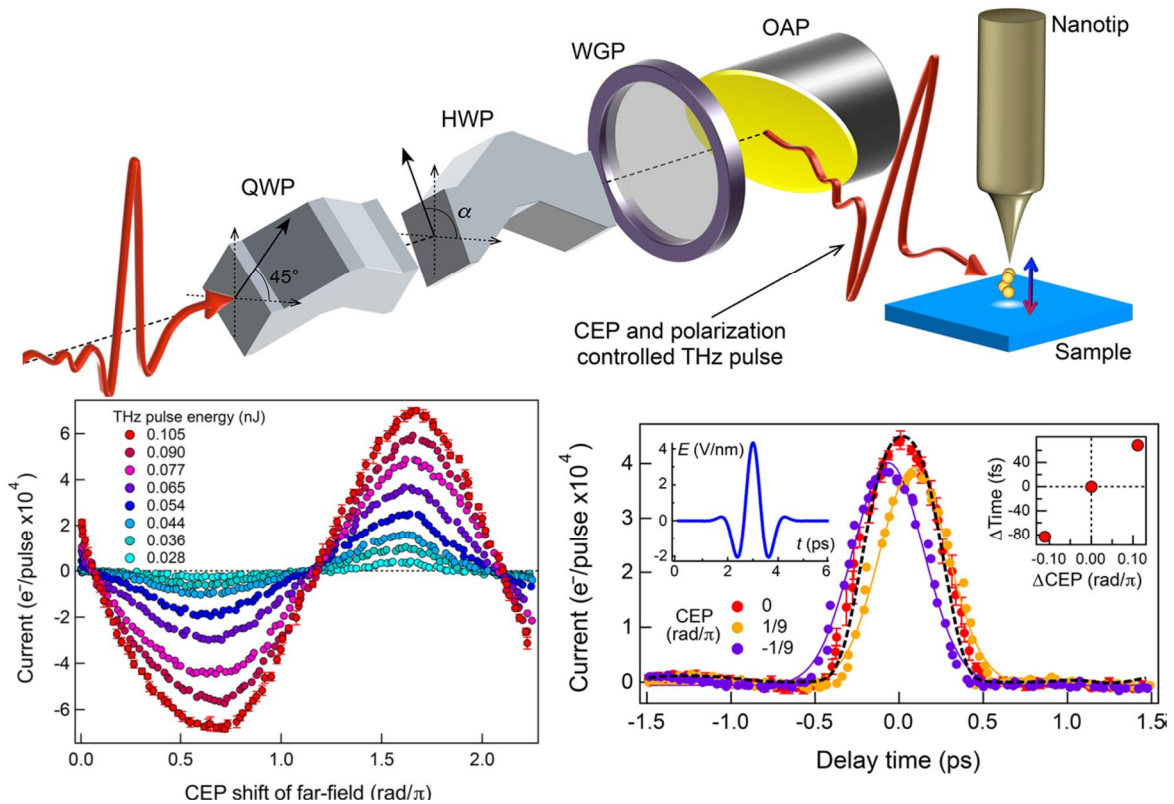


図 3: (上) CEP シフターの概念図。(左下) CEP シフト量とトンネル電流量の依存性。(右下) cos 型のテラヘルツパルスをダブルパルスとし、片方のパルスの CEP を変化させつつパルス間に遅延をつけて測定した。トンネル電流量の遅延時間依存性

る。そこで、この現象の起源を明らかにするために、さまざまな形状の探針に対して電磁場のシミュレーションを行い、探針のマイクロメートルスケールの形状によって局所場のスペクトルが、遠方場とは大きく変わってくるを見出した。したがって、探針増強電場を用いてナノスケールの物性制御を行うためには、針の形状の評価や、局所場の評価が極めて重要となることがわかる。さらに、テラヘルツパルスをダブルパルスとし、トンネル電流量の遅延依存性を測定した結果、トンネリングは、1 ps 以下の極めて短い時間で誘起されることが改めてあきらかとなった。

これまでに示したように、テラヘルツ STM の実験では、電子のトンネリングの向きや量を、テラヘルツパルスの電場波形で大きく変化させることが可能であり、かつ、電子の注入・抽出をナノスケールで行うことができることが分かった。そこで以下では、このようなテラヘルツ STM を物性の制御に適用した例について述べる。

テラヘルツ誘起のトンネリング電子によって、物質相をナノスケールで変化させるための実験として、まず光相変化材料として、CD や DVD などにも用いられている、Ge₂Sb₂Te₅ (GST) に着目した。GST は、単純立方晶であるが、Ge の位置がランダムであり、4 配位の位置に入るか、6 配位の位置に入るかによって光学定数や電気抵抗などの物性値が大きく変化する物質として知られている。特に 6 配位の場合が結晶相と呼ばれており、ギャップが小さいが、4 配位などのいわゆるアモルファス相においては、バンドギャップが大きくなり、共有結合性が増すことによって、光学定数などが大きく変化するという仕組みである。

まず、過去の研究より、GST 系においては、水に液浸したうえでアニールすることで、酸化膜のキャップ層を除去することが可能であり、それによって、原子像の観測が可能となることが報告されていた。そこで、本研究では、同様の手法によって結晶相の原子像を得たうえで、光を照射し、探針によって増強された場によって、相変化が誘起できないかと考えた。次ページに示した図 4 は、その結果得られた結晶相の表面原子像と、そこに光照射した場合の STM 像を示したものである。図 4 に示したように結晶相においては、原子像が得られており、ステップの高さや、原子間の距離が GST のそれに近いことから、良い試料が形成されていることが示唆される。ここに光を照射すると、表面が一部盛り上がり、試料表面の状態が少し変化していることが示唆された。

そこで、今回観測された変化の起源を明らかにするために、バイアス電圧を変化させてトンネル電流量の変化を測定する実験を行った。観測される電流量は試料の状態密度を反映することから、電流の増加量 (dI/dV) を計測した。その結果、光照射後の位置では、 dI/dV 曲線の立ち上がり幅が広がり、バンドギャップが大きくなっていることが分かった。このことを実験的に明らかにするために、 I/V 曲線のマッピングを行った結果も図 4 に示した。図 4 では、ギャップが変化

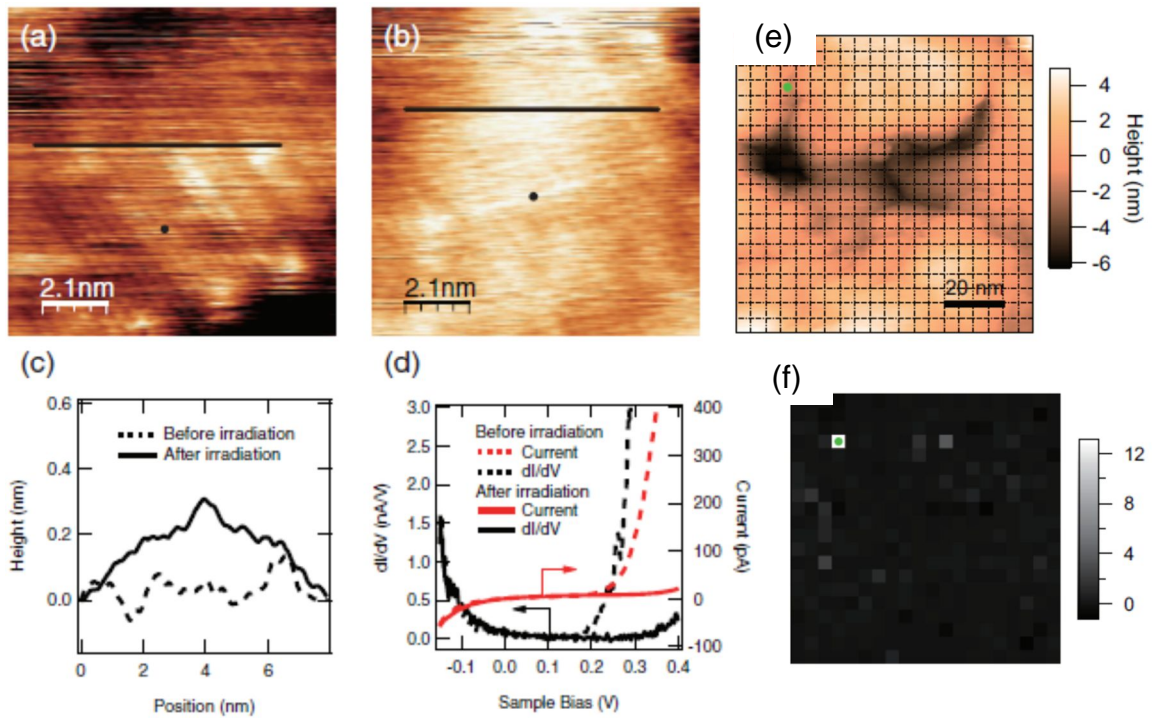


図 4: (a)光照射前の結晶表面像。(b)光照射後の結晶表面像。(c)光照射による表面形状の変化。(d)光照射位置での電流電圧曲線と、 dI/dV 曲線。点線よりも実践の方が高バイアス側で上昇し始める。(e)マッピング測定に使用したグリッド。(f)-200mV と 600mV における電流の比のマッピング画像。左上の点のみが大きな値をとっていることがわかる。

することによって現れる変化が最も検出しやすい電圧で比をとった結果である。その結果、光照射によっておこった相変化は数 nm の極めて小さい領域でのみ起こっていることが分かった。このことは、金属探針の局所場によっておこる相変化がナノスケールの極めて小さい領域でも可能であることを示しており、今後の相変化記録材料の開発への応用などが期待される成果であるといえる。

以上のように、本研究を通して、テラヘルツ電場によって誘起される電子トンネリングの物理と、トンネル現象誘起手法に関する重要な知見が得られたといえる。また、金属探針による局所場の増強は、光相変化材料のナノスケールの書き込みにも利用できることも、本研究を通して明らかにすることができた。このようなテラヘルツ分光法と、STM とを組み合わせた研究は、これら以外にも分子系の振動分光や、半導体表面状態の検出など、さまざまな系へと広がりを見せており、今後さらに広がりを見せていくものと考えられる。研究代表者のグループでも、テラヘルツ電場誘起の発光現象や、トポロジカル絶縁体 BiTeI における特異なトンネリング現象など、新しい物理現象が見つかり始めており、これらを追求することで、超高速かつナノスケールの分光技術が確立されてゆき、時空間のダイナミクスを見る新たな技術につながってゆくものと考えている。

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 4件／うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 I. Morohashi, I. Katayama, M. Kirigaya, Y. Irimajiri, N. Sekine, and I. Hosako	4. 巻 44
2. 論文標題 High Precision Frequency Measurement of Terahertz Waves using Optical Combs from a Mach-Zehnder-Modulator-Based Flat Comb Generator	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Opt. Lett.	6. 最初と最後の頁 487-490
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1364/OL.44.000487	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 M. Kobayashi, Y. Arashida, G. Yamashita, E. Matsubara, M. Ashida, J. A. Johnson, and I. Katayama	4. 巻 44
2. 論文標題 Fast-Frame Single-shot Pump-Probe Spectroscopy with Chirped-Fiber-Bragg Gratings	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Opt. Lett.	6. 最初と最後の頁 163-166
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1364/OL.44.000163	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 H. Mashiko, Y. Chisuga, I. Katayama, K. Oguri, H. Masuda, J. Takeda, and H. Gotoh	4. 巻 9
2. 論文標題 Multi-Petahertz Electron Interference in Cr:Al ₂ O ₃ Solid-State Material	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Nat. Commun.	6. 最初と最後の頁 1468: pp. 1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1038/s41467-018-03885-7	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 J. Wolfson, T. Shin, S. W. Teitelbaum, I. Katayama, T. Kawano, J. Takeda, and K. A. Nelson	4. 巻 98
2. 論文標題 Long-Lived Photoinduced Response Observed under Extreme Photoexcitation Densities in a One-Dimensional Peierls Insulator	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Phys. Rev. B	6. 最初と最後の頁 054111: pp. 1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1103/PhysRevB.98.054111	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 T. Kuribayashi, T. Motoyama, Y. Arashida, I. Katayama, and J. Takeda	4. 巻 123
2. 論文標題 Anharmonic Phonon-Polariton Dynamics in Ferroelectric LiNbO3 Studied with Single-Shot Pump-Probe Imaging Spectroscopy	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 J. Appl. Phys.	6. 最初と最後の頁 174103: pp. 1-8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1063/1.5021379	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 K. Yoshioka, I. Katayama, Y. Arashida, A. Ban, Y. Kawada, K. Konishi, H. Takahashi, and J. Takeda	4. 巻 18
2. 論文標題 Tailoring Single-Cycle Near-Field in a Tunnel Junction with Carrier-Envelope Phase-Controlled Terahertz Electric Fields	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Nano Lett.	6. 最初と最後の頁 5198-5204
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.nanolett.8b02161	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 Y. Arashida, K. Murakami, I. Katayama, and J. Takeda	4. 巻 11
2. 論文標題 Ultrafast Optical Control of Multiple Coherent Phonons in Silicon Carbide Using a Pulse Shaping Technique	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Appl. Phys. Exp.	6. 最初と最後の頁 122701: 1-4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.7567/APEX.11.122701	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 Y. Kawada, K. Yoshioka, Y. Arashida, I. Katayama, J. Takeda, and H. Takahashi	4. 巻 26
2. 論文標題 Simultaneous Acquisition of Complex Transmittance and Birefringence with Two Counter-Rotating Circularly Polarized THz Pulses	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Opt. Exp.	6. 最初と最後の頁 30420-30434
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1364/OE.26.030420	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 I. Katayama, H. Kawakami, T. Hagiwara, Y. Arashida, Y. Minami, L.-W. Nien, O. S. Handegard, T. Nagao, M. Kitajima, and J. Takeda	4. 巻 98
2. 論文標題 Terahertz-Field-Induced Carrier Generation in Bi1-xSbx Dirac Electron Systems	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Phys. Rev. B	6. 最初と最後の頁 214302: 1-5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1103/PhysRevB.98.214302	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 Maekawa Keisuke, Yanagi Kazuhiro, Minami Yasuo, Kitajima Masahiro, Katayama Ikufumi, Takeda Jun	4. 巻 97
2. 論文標題 Bias-induced modulation of ultrafast carrier dynamics in metallic single-walled carbon nanotubes	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 75435
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1103/PhysRevB.97.075435	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 Takeda Jun, Yoshioka Katsumasa, Minami Yasuo, Katayama Ikufumi	4. 巻 51
2. 論文標題 Nanoscale electron manipulation in metals with intense THz electric fields	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Physics D: Applied Physics	6. 最初と最後の頁 103001 ~ 103001
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1088/1361-6463/aaa8c7	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 武田 淳、片山郁文、吉岡克将	4. 巻 52
2. 論文標題 高強度テラヘルツ波によるナノ空間電子制御	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 固体物理	6. 最初と最後の頁 439-446
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 -

1. 著者名 G. T. Noe, I. Katayama, F. Katsutani, J. J. Allred, J. A. Horowitz, D. M. Sullivan, Q. Zhang, F. Sekiguchi, G. L. Woods, M. C. Hoffmann, H. Nojiri, J. Takeda, and J. Kono	4. 巻 24
2. 論文標題 Single-Shot Terahertz Time-Domain Spectroscopy in Pulsed High Magnetic Fields	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Optics Express	6. 最初と最後の頁 30328-30337
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OE.24.030328	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 K. Yoshioka, I. Katayama, Y. Minami, M. Kitajima, S. Yoshida, H. Shigekawa, and J. Takeda	4. 巻 10
2. 論文標題 Real-Space Coherent Manipulation of Electrons in a Single Tunnel Junction by Single-Cycle Terahertz Electric Fields	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Nature Photonics	6. 最初と最後の頁 762-765
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/nphoton.2016.205	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 M. Kobayashi, Y. Minami, C. L. Johnson, P. D. Salmans, N. R. Ellsworth, J. Takeda, J. A. Johnson, and I. Katayama	4. 巻 6
2. 論文標題 High-Acquisition-Rate Single-Shot Pump-Probe Measurements Using Time-Stretching Method	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 37614
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/srep37614	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計59件 (うち招待講演 8件 / うち国際学会 29件)

1. 発表者名 I. Katayama, M. Kobayashi, J. A. Johnson
2. 発表標題 Multi-timescale pump-probe spectroscopy using time-encoding and time-stretching methods
3. 学会等名 SPIE Photonics West-LASE 2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1 . 発表者名 Y. Minami, T. D. Dao, T. Nagao, M. Kitajima, J. Takeda, and I. Katayama
2 . 発表標題 Carrier Multiplication in Bismuth Investigated with Intense THz pump-THz Probe Spectroscopy
3 . 学会等名 The Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO 2018) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 G. T. Noe, X. Li, J. A. Horowitz, K. Yoshioka, F. Katsutani, N. Yuan, M. Xiang, K. Xu, Z. Jin, S. Cao, H. Nojiri, I. Katayama, J. Takeda, D. Turchinovich, and J. Kono
2 . 発表標題 Coherent Terahertz Excitation of Magnons to 30 T
3 . 学会等名 The Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO 2018) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 M. M. Haque, M. E. Schmidt, M. Muruganathan, I. Katayama, J. Takeda, S. Ogawa, and H. Mizuta
2 . 発表標題 Phononic Bandgap Engineering in Single Nanometer Graphene Nanomesh
3 . 学会等名 The 16th International Conference on Phonon Scattering in Condensed Matter (Phonons 2018) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 Y. Chisuga, H. Mashiko, K. Oguri, I. Katayama, A. Suda, J. Takeda, and H. Gotoh
2 . 発表標題 Electric Dipole Oscillation in Solids Characterized by Fourier Transform Extreme Ultraviolet Attosecond Spectroscopy
3 . 学会等名 International Conference on Ultrafast Phenomena 2018 (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 H. Mashiko, Y. Chisuga, K. Oguri, I. Katayama, J. Takeda, and H. Gotoh
2 . 発表標題 Petahertz Electronic Oscillation in Cr:Al2O3 Solid Characterized by Fourier Transform Extreme Ultraviolet Attosecond Spectroscopy
3 . 学会等名 The 9th Asian Workshop on Generation and Application of Coherent XUV and X-ray Radiation (9th AWCXR) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 J. Takeda, K. Yoshioka, Y. Arashida, and I. Katayama
2 . 発表標題 Nanoscale Electron Manipulation Using Phase-controlled THz Near-fields
3 . 学会等名 The Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO 2018) (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 I. Katayama, H. Kawakami, K. Araki, Y. Arashida, Y. Minami, L-W. Nien, O. S. Handegard, T. Nagao, M. Kitajima, and J. Takeda
2 . 発表標題 Ultrafast Carrier Generation in Bi1-xSbx Thin Films Induced by Intense Monocycle Terahertz Pulses
3 . 学会等名 International Conference on Ultrafast Phenomena 2018 (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 K. Yoshioka, I. Katayama, Y. Arashida, A. Ban, Y. Kawada, H. Takahashi, and J. Takeda
2 . 発表標題 Sub-Cycle Manipulation of Electrons in a Tunnel Junction with Phase-controlled Single-Cycle THz Near-Fields
3 . 学会等名 International Conference on Ultrafast Phenomena 2018 (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 I. Katayama, Y. Minami, Y. Arashida, O. S. Handegard, T. Nagao, M. Kitajima, and J. Takeda
2 . 発表標題 Nonlinear Terahertz Dynamics of Dirac Electrons in Bi Thin Films
3 . 学会等名 SPIE Optics + Photonics 2018 (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 Y. Kawada, K. Yoshioka, Y. Arashida, I. Katayama, J. Takeda, and H. Takahashi
2 . 発表標題 Spectroscopic Measurement of Birefringent Materials By Simultaneous Acquisition of Two-polarization State THz Pulse Responses
3 . 学会等名 43rd International Conference on Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves (IRMMW-THz 2018) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 J. Takeda, K. Yoshioka, Y. Minami, Y. Arashida, and I. Katayama
2 . 発表標題 THz-Field-Driven Electron Tunneling On The Nanoscale
3 . 学会等名 43rd International Conference on Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves (IRMMW-THz 2018) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 K. Yoshioka, I. Katayama, Y. Arashida, A. Ban, Y. Kawada, K. Konishi, H. Takahashi, and J. Takeda
2 . 発表標題 In-situ Tailoring of Single-Cycle Near Field in a Tunnel Junction Using Phase-Controlled THz-STM
3 . 学会等名 14th International Conference on Atomically Controlled Surfaces, Interfaces and Nanostructures (ACSIN-14) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1. 発表者名 片山郁文
2. 発表標題 超短パルスレーザー駆動テラヘルツ光源とナノスケール電子制御
3. 学会等名 日本物理学会第74回年次大会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 千菅雄太、増子拓紀、小栗克弥、増田裕行、片山郁文、武田 淳、後藤秀樹
2. 発表標題 ベタヘルツ周波数を伴うアルミナ（?-Al ₂ O ₃ ）電子系の多重振動応答
3. 学会等名 応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 増子拓紀、千菅雄太、浅賀浩司、西川正、片山郁文、武田 淳、小栗克弥、後藤秀樹
2. 発表標題 アト秒位相干渉分光に向けた極端紫外干渉光学系の構築
3. 学会等名 第66回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 奈良脩平、嵐田雄介、小野頌太、井ノ上泰輝、千足昇平、丸山茂夫、長尾忠昭、北島正弘、武田 淳、片山郁文
2. 発表標題 サブ10 fsポンプ・プローブ分光によるグラフェンの超高速運動量緩和
3. 学会等名 日本物理学会2018秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 吉岡克将、片山郁文、嵐田雄介、伴 篤彦、河田陽一、小西邦昭、高橋宏典、武田 淳
2. 発表標題 位相制御THz-STMを用いたTHz近接場とトンネル電子のサブサイクル制御
3. 学会等名 第79回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小林真隆、嵐田雄介、武田 淳、片山郁文
2. 発表標題 高繰り返しシングルショット分光によるSi のキャリア生成・長寿命緩和の同時計測
3. 学会等名 第79回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 嵐田雄介、石原正輝、鈴木貴之、本山竜央、佐和孝嘉、溝手翔太、羽田真毅、仁科勇太、片山郁文、武田 淳
2. 発表標題 シングルショット過渡吸収分光法による酸化グラフェンの光還元ダイナミクス
3. 学会等名 第79回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小林真隆、嵐田雄介、武田 淳、片山郁文
2. 発表標題 高繰り返しシングルショット分光を用いたSiのマルチタイムスケール測定
3. 学会等名 レーザー学会学術講演会第39回年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 奈良脩平、嵐田雄介、小野頌太、井ノ上泰輝、千足昇平、丸山茂夫、長尾忠昭、北島正弘、武田 淳、片山郁文
2. 発表標題 sub-10fsポンププローブ分光を用いたグラフェンの超高速エネルギー・運動量緩和
3. 学会等名 レーザー学会学術講演会第39回年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 吉岡克将、片山郁文、嵐田雄介、伴 篤彦、河田陽一、小西邦昭、高橋宏典、武田 淳
2. 発表標題 位相制御THz-STMによるトンネル電子のナノ空間超高速サブサイクル制御
3. 学会等名 第66回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小野百合子、嵐田雄介、南不二雄、中村一隆、渡邊幸志、片山郁文、武田 淳
2. 発表標題 高密度励起されたダイヤモンド超格子の時間分解PL測定
3. 学会等名 第66回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 谷口将太郎、片山郁文、嵐田雄介、吉岡克将、吉田昭二、重川秀実、桑原正史、武田 淳
2. 発表標題 カルコゲナイド合金Ge ₂ Sb ₂ Te ₅ におけるナノスケール光誘起相変化
3. 学会等名 第66回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 増子拓紀、千菅雄太、浅賀浩司、西川正、片山郁文、武田 淳、小栗克弥、後藤秀樹
2. 発表標題 アト秒位相干渉分光に向けた極端紫外干渉光学系の構築
3. 学会等名 第66回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 泉 健一、嵐田雄介、武田 淳、片山郁文
2. 発表標題 チャープパルスを用いたテラヘルツ波の非共軸シングルショット検出
3. 学会等名 第66回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 吉岡克将、X. Li、萩原俊雄、田岡裕貴、嵐田雄介、O. S. Handegard、片山郁文、長尾忠昭、河野淳一郎、武田 淳
2. 発表標題 トポロジカル絶縁体Bi _{1-x} Sb _x におけるテラヘルツ磁気光学応答
3. 学会等名 日本物理学会第74回年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 吉岡克将、G. T. Noe、X. Li、野尻浩之、萩原俊雄、田岡裕貴、嵐田雄介、O. S. Handegard、長尾忠昭、河野淳一郎、武田 淳、片山郁文
2. 発表標題 トポロジカル絶縁体Bi _{1-x} Sb _x 薄膜のパルス強磁場下テラヘルツ応答
3. 学会等名 日本物理学会第74回年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 嵐田雄介、本山竜央、石原正輝、佐和孝嘉、羽田真毅、仁科勇太、片山郁文、武田 淳
2. 発表標題 シングルショット過渡吸収分光における酸化グラフェンの光還元の高起密度依存性
3. 学会等名 日本物理学会第74回年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 I. Katayama
2. 発表標題 Nonlinear Terahertz Response of Dirac Semimetals
3. 学会等名 Progress in Electromagnetics Research Symposium (PIERS 2017) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 I. Katayama, R. Xu, Y. Minami, K. Yanagi, M. Kitajima, and J. Takeda
2. 発表標題 Chirality Dependent Coherent Phonon Dynamics in Carbon Nanotube Solutions
3. 学会等名 Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO 2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 T. Kuribayashi, Y. Arashida, I. Katayama, and J. Takeda
2. 発表標題 Ferroelectric Phonon-Polariton Dynamics in a Wide Temperature Range Revealed via Single-Shot Spectroscopy
3. 学会等名 Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO 2018) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1 . 発表者名 H. Mashiko, K. Oguri, Y. Chisuga, H. Masuda, I. Katayama, J. Takeda, and H. Gotoh
2 . 発表標題 Petahertz Electron Dynamics with Wide-Bandgap Semiconductor
3 . 学会等名 The 6th International Conference on Attosecond Physics (ATT02017) (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 H. Mashiko, K. Oguri, Y. Chisuga, H. Masuda, T. Yamaguchi, A. Suda, I. Katayama, J. Takeda, and H. Gotoh
2 . 発表標題 Petahertz Optical Drive with Wide-Bandgap Materials
3 . 学会等名 IEEE Photonics Conference (IPC2017) (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 K. Yoshioka, I. Katayama, Y. Arashida, Y. Minami, M. Kitajima, S. Yoshida, H. Shigekawa, and J. Takeda
2 . 発表標題 Coherent Manipulation of Electrons in a Tunnel Junction with Carrier-Envelope Phase Controlled THz Electric Fields
3 . 学会等名 Nonlinear Optics (NLO 2017) (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 M. Kobayashi, Y. Arashida, Y. Minami, J. Takeda, J. A. Johnson and I. Katayama
2 . 発表標題 High-Repetition-Rate Single-Shot Spectroscopy of Photoinduced Phase-Change Materials
3 . 学会等名 Congress of the International Commission for Optics (ICO-24) (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1. 発表者名 K. Yoshioka, I. Katayama, B. Atsuhiko, Y. Arashida, Y. Kawada, H. Takahashi, and J. Takeda
2. 発表標題 Sub-cycle THz control of electrons in a tunnel junction with a carrier-envelope phase shifter
3. 学会等名 The 8th International Symposium on Terahertz Nanoscience (TeraNano 8) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 K. Yoshioka, I. Katayama, A. Ban, Y. Arashida, Y. Kawada, H. Takahashi, and J. Takeda
2. 発表標題 Sub-cycle control of THz near-field and electrons in a single tunnel junction
3. 学会等名 Gordon Research Conference and Seminar (GRC/S), Ultrafast Phenomena in Cooperative Systems (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 片山郁文
2. 発表標題 位相制御テラヘルツパルスによるナノスケールトンネル電流制御
3. 学会等名 レーザー学会学術講演会第38回年次大会 (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 千菅雄太、増子拓紀、小栗克弥、増田裕行、片山郁文、武田 淳、後藤秀樹
2. 発表標題 ペタヘルツ周波数を伴うアルミナ (-Al ₂ O ₃) 電子系の多重振動応答
3. 学会等名 応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 南 康夫、片山郁文、武田 淳、末元 徹
2. 発表標題 Naベータアルミナ内のTHz波誘起イオン伝導
3. 学会等名 応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 南 康夫、片山郁文、武田 淳、末元 徹
2. 発表標題 テラヘルツ波によるイオン電導体内の超高速イオン伝導
3. 学会等名 日本物理学会2017秋季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 M. E. Schmidt, M. Haque, M. Muruganathan, I. Katayama, J. Takeda, S. Ogawa, and H. Mizuta
2. 発表標題 Suspension of Large, Electrically Contacted Graphene for Sub-15-nm Phononic Crystal Patterning
3. 学会等名 第65回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 増子拓紀、小栗克弥、千菅雄太、片山郁文、須田 亮、武田 淳、後藤秀樹
2. 発表標題 固体電子系のペタヘルツ超高周波動作
3. 学会等名 日本物理学会第73回年次大会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 伴 篤彦、吉岡克将、片山郁文、嵐田雄介、河田陽一、高橋宏典、武田 淳
2. 発表標題 キャリアエンベロープ位相制御テラヘルツパルスによるトンネリング電子制御
3. 学会等名 日本物理学会2017秋季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 田岡裕貴、神島悠司、奈良脩平、嵐田雄介、小川 真一、M. Haque, M. E. Schmidt, M. Muruganathan、水田 博、片山郁文、武田 淳
2. 発表標題 広帯域顕微コヒーレントフォノン分光法の開発
3. 学会等名 第65回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 奈良脩平、嵐田雄介、井ノ上泰輝、千足昇平、丸山茂夫、北島正弘、武田 淳、片山郁文
2. 発表標題 コヒーレントフォノン顕微分光による単結晶グラフェンの超高速ダイナミクス
3. 学会等名 第65回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 本山竜央、栗林知憲、嵐田雄介、片山郁文、武田 淳
2. 発表標題 シングルショット分光による強誘電体フォノンポラリトンの非調和ダイナミクス解明
3. 学会等名 第65回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 鈴木貴之, 片山郁文, 嵐田雄介, 南 康夫, 須藤祐司, 進藤怜史, 斎木敏治, 武田 淳
2. 発表標題 フェムト秒レーザーパルスによる相変化材料GeCu ₂ Te ₃ の光誘起相転移
3. 学会等名 第65回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 片山郁文, 井上慶一, 嵐田雄介, 北島正弘, 武田 淳
2. 発表標題 グラフェンにおける超高速応答のフェルミレベル依存性
3. 学会等名 日本物理学会第73回年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 吉岡克将, 伴 篤彦, 片山郁文, 嵐田雄介, 河田陽一, 高橋宏典, 武田 淳
2. 発表標題 単一トンネル接合におけるTHz近接場を用いたサブサイクル電子制御
3. 学会等名 日本物理学会第74回年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Katsumasa Yoshioka, Ikufumi Katayama, Yasuo Minami, Masahiro Kitajima, Shoji Yoshida, Hidemi Shigekawa, and Jun Takeda
2. 発表標題 Ultrafast Manipulation of Electron Transfer in a Tunnel Junction using Carrier-Envelope Phase Controlled THz-STM
3. 学会等名 24th International Colloquium on Scanning Probe Microscopy (ICSPM24), (国際学会)
4. 発表年 2016年

1 . 発表者名 I. Katayama, M. Kobayashi, Y. Minami, J. Takeda, C. L. Johnson, P. D. Salmans, N. R. Ellesworth, and J. A. Johnson
2 . 発表標題 Single-shot Terahertz Detection Using a GHz Bandwidth Oscilloscope
3 . 学会等名 41st International Conference on Infrared, Millimeter and Terahertz Waves (IRMMW-THz 2016) (国際学会)
4 . 発表年 2016年

1 . 発表者名 T. Kuribayashi, Y. Shiozawa, Y. Minami, I. Katayama, and J. Takeda
2 . 発表標題 Real-Time Mapping of High-Frequency Phonon-Polariton Dispersions in Ferroelectric LiNbO3
3 . 学会等名 41st International Conference on Infrared, Millimeter and Terahertz Waves (IRMMW-THz 2016) (国際学会)
4 . 発表年 2016年

1 . 発表者名 K. Yoshioka, I. Katayama, Y. Minami, M. Kitajima, S. Yoshida, H. Shigekawa, and J. Takeda
2 . 発表標題 Coherent Control of the Motion of Electrons in a Tunnel Junction via Single-Cycle THz Electric Field
3 . 学会等名 41st International Conference on Infrared, Millimeter and Terahertz Waves (IRMMW-THz 2016) (国際学会)
4 . 発表年 2016年

1 . 発表者名 M. Kobayashi, J. A. Johnson, Y. Minami, C. L. Johnson, P. D. Salmans, N. R. Ellsworth, J. Takeda, I. Katayama
2 . 発表標題 Fast-Frame Single-Shot Acquisition of Ultrafast Waveforms
3 . 学会等名 International Conference on Ultrafast Phenomena 2016 (国際学会)
4 . 発表年 2016年

1. 発表者名 I. Katayama, K. Maekawa, Y. Minami, M. Kitajima, K. Yanagi, J. Takeda
2. 発表標題 Femtosecond Carrier Dynamics of Metallic Single-Walled Carbon Nanotubes under Applied Bias-Voltage
3. 学会等名 International Conference on Ultrafast Phenomena 2016 (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 K. Yoshioka, I. Katayama, Y. Minami, M. Kitajima, S. Yoshida, H. Shigekawa, J. Takeda
2. 発表標題 Real-Space Control of the Electron Transfer in a Tunnel Junction with Single-Cycle THz Electric Field
3. 学会等名 Ultrafast Dynamics at the Nanoscale 2016 (国際学会)
4. 発表年 2016年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計2件

産業財産権の名称 トンネル電流制御装置およびトンネル電流制御方法	発明者 武田淳, 片山郁文, 嵐田雄介, 吉岡克将, 河田陽一, 高橋宏典	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2017-160104	出願年 2017年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 トンネル電流制御装置およびトンネル電流制御方法	発明者 武田淳, 片山郁文, 嵐田雄介, 吉岡克将, 河田陽一, 高橋宏典	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2017-160107	出願年 2017年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

武田・片山研究室HP http://www.ultrafast.ynu.ac.jp/index.html YNU研究拠点「光ナノ計測」 http://www.laser-nanoscience.ynu.ac.jp/ja/
--

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
--	---------------------------	-----------------------	----