

令和 4 年 6 月 17 日現在

機関番号：82502

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19H02623

研究課題名(和文) 強電界下における固体の電子状態の解明

研究課題名(英文) Investigation of strong-field optoelectronics in solids

研究代表者

石井 順久 (Ishii, Nobuhisa)

国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構・関西光科学研究所 光量子科学研究部・主幹研究員

研究者番号：40586898

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,600,000円

研究成果の概要(和文)：高出力Ybレーザーを励起光源とした、中心波長3000nmの光パラメトリック増幅器を開発した。これら光源は可視・近赤外領域における極短パルスを生ずる機構を備え(最短6.5 fs)、長波長光源に同期可能であり、サブサイクル分光やアップコンバージョン分光が可能となった。理論的研究では、有機無機ハイブリッドペロブスカイトからの高次高調波発生過程をシミュレーションした。複数の電子軌道の寄与をあらわに分解した初めての結果を得るとともに、主たる生成起源が価電子帯であるという、直観に反した結果を理論的に示した。また、緩和の時定数に依存して変化する高調波のスペクトルについても詳細な理論的研究を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

長波長の高出力レーザー光源開発は、電波を用いる5Gの通信に続く、ポスト(ビヨンド)5Gの通信(6G)を担うために必要不可欠なものである。またアイセーフレーザー、長距離ライダー、ソフトマテリアルの非熱加工など、これから主眼になってくるであろう研究テーマを先取りし、世界に先駆けたレーザー光源開発となる成果を上げている。

また次世代太陽電池候補と考えられている有機無機ハイブリッドペロブスカイトのMAPbCl₃結晶からの高次高調波発生過程の理論的研究によって、光とペロブスカイトの相互作用における素過程の研究開発への第一歩となり、エネルギー問題を解決するような成果につながると確信している。

研究成果の概要(英文)：Optical parametric amplifiers pumped by high-power Yb-based lasers were developed at a central wavelength of 3000 nm. These light sources have a function to generate visible-to-near-infrared ultrashort laser pulses, that can be synchronized with the long-wavelength light sources, enabling experiments such as sub-cycle and up-conversion spectroscopy. High harmonic generation processes from organic-inorganic hybrid perovskite were investigated theoretically. From this investigation, we obtained the first result that resolves the contribution to high harmonic generation from multiple electron orbitals explicitly. The analytical method revealed that the main contribution of high harmonic generation comes from a valence band that is different from a conduction band thought to dominate the process historically. In addition, the high harmonic spectra dependent on the time constant of the decay of the electron orbital were investigated.

研究分野：超高速高強度場物理

キーワード：超高速レーザー 高強度レーザー 高強度場物理 高次高調波発生 半導体ブロッホ方程式 第一原理計算

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

本研究の背景として挙げられるのが、2000年代から盛んにおこなわれてきた、気体における高強度電場下の分光研究である。原子や分子からの高次高調波スペクトルや光電子スペクトルの解析により、電子のダイナミクスや最外殻電子の軌道情報の再構築が可能となっている。また、2011年以降、赤外レーザー技術の発展と共に固体のバンドギャップを越える光子エネルギーを持った高次高調波が観測され [1]、固体からの高調波の発生機構と固体内の電子状態についての研究が盛んにおこなわれつつある。

2. 研究の目的

本研究では、高強度長波長光源単独の実験系や超高速プローブ光を同期させた実験系を開発し、強電界下の固体における電子波束ダイナミクスを解明する。研究代表者が実験を担当し、高強度長波長光源とそれに同期した超高速プローブ光の開発を行う。開発した光源を用いて、高次高調波発生、過渡吸収やアップコンバージョン等の分光手法を用いることで、固体内の電子波束運動を再構築可能にする実験結果を得る。

研究分担者は、半導体プロックホ方程式に基づくモデル計算や第一原理計算によって電子の数フェムト秒レベルのダイナミクスのシミュレーションを行う。モデル計算と第一原理計算では、実験結果との比較により、固体と強電界の相互作用における既存の理論的枠組みの妥当性を検証することが可能であり、強電界下での多体効果が果たす役割についても評価する。

3. 研究の方法

3-1. 実験方法

高強度長波長光源の開発には、高出力 Yb レーザーを励起光源とした光パラメトリック増幅器による波長変換を用いる。

第一ステップとして、波長 1030 nm における高出力 Yb レーザーを開発する。高出力 Yb レーザーの開発後、それを励起光源とした光パラメトリック増幅器を開発し、高強度電場を印加するための長波長光源とする。

第二ステップとして、高強度電場を印加するための長波長光源の周期より十分に短いパルス幅を持つ極短パルス光源を開発し、長波長光源と同期させる。

最後にこれらの光源を用いることで、固体内における高強度電場物理実験(高次高調波発生分光、過渡吸収分光やアップコンバージョン分光)を行う。

3-2. 理論手法

研究分担者は、第一原理計算の一つである密度汎関数理論によって評価した電子状態を用いて、量子系の時間発展を一体の密度行列を用いて評価する時間依存密度行列法(TD-DM)の開発を進める。TD-DMは電子状態の評価にのみ第一原理計算を用いることで、時間依存密度汎関数理論と同程度の微視的な情報を含みながら、計算コストを数十から百分の一に削減した理論的枠組みである。固体の量子ダイナミクスを評価するデファクトスタンダードである半導体プロックホ方程式と異なり、速度ゲージを用いているため、断熱極限で系が基底状態に留まる条件を満たすように緩和時間近似を拡張した緩和項を導入する。この緩和項を導入した量子系の時間発展を解く時間発展アルゴリズムの検討と数値計算コードへの実装を行い、実験的な評価がなされている、有機無機ハイブリッドペロブスカイトと GaSe 結晶からの高次高調波発生を調べる。

4. 研究成果

4-1. 実験成果

まず初めに、波長 1030 nm における高出力 Yb レーザーを開発した。高出力 Yb レーザーの研究開発結果を図 1 にまとめた。高出力 Yb レーザーを励起光源とした光パラメトリック増幅器を開発し、高強度電場を印加するための長波長光源を開発した [2]。光パラメトリック増幅器の中心波長は 2000 nm 程度であり、やや短めとなった。

より波長が長い光源を開発するため、非線形光学結晶を交換し、異なる種類の光パラメトリック増幅器を構築した [3, 4]。これらにより、中心波長は 3000 nm 程度と、固体における高強度場物理実験に適したものとなった。これらの光源では、可視・近赤外領域における極短パルスを生ずる機構を備えており(最短 6.5 fs)、更にこの極短パルスは長波長光源と同期することが可能である。これにより、サブサイクル分光やアップコンバージョン分光が可能となった。

開発した光源を用いて、世界に先駆けた高強度場物理実験を行い、解説論文にまとめた [5]。

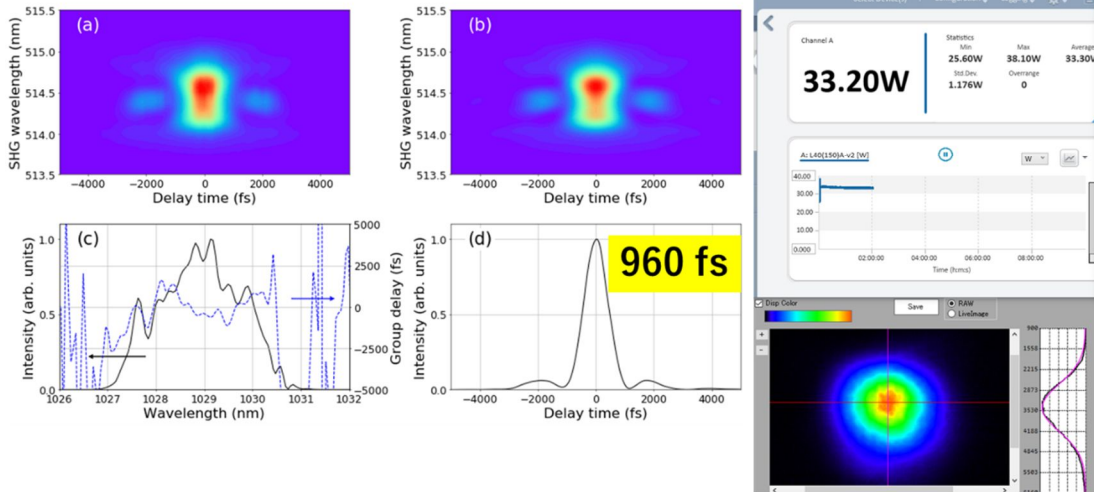
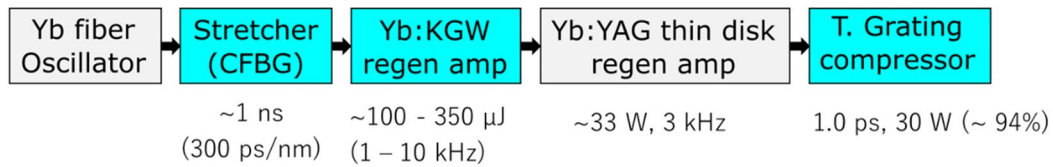


図1：高出力 Yb レーザー開発のまとめ。
 レーザー構成（上図）、パルス幅の測定結果（左下図）、平均出力、空間プロファイルの計測結果（右下図）

4-2. 理論成果

発表した原著論文[6, 7]では、次世代太陽電池候補と考えられている、有機無機ハイブリッドペロブスカイトの MAPbCl_3 結晶からの高次高調波発生過程を理論的に研究した。理論シミュレーションでは、 MAPbCl_3 結晶と類似の電子状態を持つ CsPbCl_3 を対象に TD-DM を用いて高次高調波発生の評価を行った。TD-DM で得られたカレント密度をバンド内成分とバンド間成分に分解し、 CsPbCl_3 の高次高調波においては、バンド内成分が支配的であることを示した。さらに、このバンド内成分を、バンドを構成する原子軌道の性質ごとにまとめたものに分解して、価電子帯トップの塩素原子の p 軌道由来の寄与が支配的であることを示した。本結果は、結晶における複数の電子軌道のうち、各軌道の寄与をあらわに分解した初めての結果であり、伝導帯ではなく価電子帯が主たる生成起源となっているという、直観に反した結果を理論的に示した、非常に有意義な成果である。

さらに緩和の時定数に依存して変化する高調波のスペクトルについても調査した。先行研究で、実験では観測されていない、スペクトルの整数次周波数以外に現れる非周期成分を削減するには、数 fs 程度の極めて短い緩和時間が必要であることが報告されている。本研究においても、短い緩和時間を採用することで、非周期成分が大きく削減されることを確認した一方で、バンド内遷移由来の高調波成分の強度には殆ど影響を与えていない事実を確認した。これは、バンド内遷移由来の電流密度の高調波振動成分は、緩和で模擬される多体効果には強く影響を受けていないことを示唆している。原著論文[8]では、 GaSe 結晶に 0.6 eV の光子エネルギーの高強度光を照射した際に深紫外領域まで放射される高調波スペクトルの起源について、TD-DM を用いて調査した。 GaSe のバンドギャップよりも高い光子エネルギーの放射スペクトルにおいては、バンド間遷移由来の成分が支配的であることを示した。緩和時間を変化させたところ、高調波の非周期成分が変化することに加え、照射電場の偏極ベクトルと結晶の相対角依存性が顕著に変わることを示した。緩和時間を 10 fs にとることで、この相対角依存性が実験で得られる結果と一致することを示した。

引用文献

- [1] S. Ghimire, *et al.*, *Nature Physics* **7**, 138 (2011).
- [2] N. Ishii, *et al.*, *Opt. Express* **29**, 17069 (2021).
- [3] N. Ishii, *et al.*, *Opt. Express* **27**, 11447 (2019).
- [4] Y. Sanari, N. Ishii, *et al.*, *Opt. Lett.* **46**, 5280 (2021).
- [5] 石井 順久、他、*レーザー研究* **48**, 168 (2020).
- [6] H. Hirori, Y. Shinohara, N. Ishii, *et al.*, *APL Materials* **7**, 041107 (2019).
- [7] Y. Sanari, Y. Shinohara, N. Ishii, *et al.*, *Phys. Rev. B* **102** 041125(R) (2020).
- [8] K. Imasaka, Y. Shinohara, N. Ishii, *et al.*, *Opt. Continuum* **1**, 1157 (2022).

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計19件（うち査読付論文 19件 / うち国際共著 4件 / うちオープンアクセス 13件）

1. 著者名 Imasaka Kotaro, Shinohara Yasushi, Kaji Tomohiro, Kaneshima Keisuke, Ishii Nobuhisa, Itatani Jiro, Ishikawa Kenichi L., Ashihara Satoshi	4. 巻 1
2. 論文標題 High harmonic generation from GaSe in a deep-UV range well above the bandgap	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Optics Continuum	6. 最初と最後の頁 1232 ~ 1247
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OPTCON.451394	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 1.石井 順久、金島 圭佑、夏 沛宇、斎藤 成之、金井 輝人、板谷 治郎	4. 巻 48
2. 論文標題 中赤外光パルスを用いた固体高次高調波発生とその偏光特性	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 レーザー研究	6. 最初と最後の頁 168 ~ 173
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 Ishii Nobuhisa, Maruyama Momoko, Nagashima Keisuke, Ochi Yoshihiro, Itakura Ryuji	4. 巻 29
2. 論文標題 Generation and compression of an intense infrared white light continuum in YAG irradiated by picosecond pulses	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Optics Express	6. 最初と最後の頁 17069 ~ 17076
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OE.423671	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 Nagashima Keisuke, Itakura Ryuji, Ishii Nobuhisa	4. 巻 46
2. 論文標題 Broadband operation of a synchronously pumped optical parametric oscillator with a spatially dispersed beam	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Optics Letters	6. 最初と最後の頁 4414 ~ 4417
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OL.435039	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 Xia Peiyu, Tamaya Tomohiro, Kim Changsu, Lu Faming, Kanai Teruto, Ishii Nobuhisa, Itatani Jiro, Akiyama Hidefumi, Kato Takeo	4. 巻 104
2. 論文標題 High-harmonic generation in GaAs beyond the perturbative regime	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 L121202
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.104.L121202	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 Sanari Yasuyuki, Sekiguchi Fumiya, Nakagawa Kotaro, Ishii Nobuhisa, Kanemitsu Yoshihiko, Hirori Hideki	4. 巻 46
2. 論文標題 Generation of wavelength-tunable few-cycle pulses in the mid-infrared at repetition rates up to 10 kHz	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Optics Letters	6. 最初と最後の頁 5280 ~ 5283
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OL.440228	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 Saito Nariyuki, Douguet Nicolas, Sannohe Hiroki, Ishii Nobuhisa, Kanai Teruto, Wu Yi, Chew Andrew, Han Seunghwoi, Schneider Barry I., Olsen Jeppe, Argenti Luca, Chang Zenghu, Itatani Jiro	4. 巻 3
2. 論文標題 Attosecond electronic dynamics of core-excited states of N2O in the soft x-ray region	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review Research	6. 最初と最後の頁 43222
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevResearch.3.043222	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 Morimoto Yuya, Shinohara Yasushi, Ishikawa Kenichi L, Hommelhoff Peter	4. 巻 24
2. 論文標題 Atomic real-space perspective of light-field-driven currents in graphene	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 New Journal of Physics	6. 最初と最後の頁 33051
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1367-2630/ac5c18	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 Tani Mizuki, Otobe Tomohito, Shinohara Yasushi, Ishikawa Kenichi L.	4. 巻 104
2. 論文標題 Semiclassical description of electron dynamics in extended systems under intense laser fields	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 75157
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.104.075157	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 Morimoto Yuya, Shinohara Yasushi, Tani Mizuki, Chen Bo-Han, Ishikawa Kenichi L., Baum Peter	4. 巻 8
2. 論文標題 Asymmetric single-cycle control of valence electron motion in polar chemical bonds	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Optica	6. 最初と最後の頁 382 ~ 387
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OPTICA.414213	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 Sanari Yasuyuki, Hirori Hideki, Aharen Tomoko, Tahara Hirokazu, Shinohara Yasushi, Ishikawa Kenichi L., Otobe Tomohito, Xia Peiyu, Ishii Nobuhisa, Itatani Jiro, Sato Shunsuke A., Kanemitsu Yoshihiko	4. 巻 102
2. 論文標題 Role of virtual band population for high harmonic generation in solids	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 041125(R)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.102.041125	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 Suzuki Takeshi, Shinohara Yasushi, Lu Yangfan, Watanabe Mari, Xu Jiadi, Ishikawa Kenichi L., Takagi Hide, Nohara Minoru, Katayama Naoyuki, Sawa Hiroshi, Fujisawa Masami, Kanai Teruto, Itatani Jiro, Mizokawa Takashi, Shin Shik, Okazaki Kozo	4. 巻 103
2. 論文標題 Detecting electron-phonon coupling during photoinduced phase transition	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 L121105
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.103.L121105	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 Morimoto Yuya, Shinohara Yasushi, Tani Mizuki, Chen Bo-Han, Ishikawa Kenichi L., Baum Peter	4. 巻 8
2. 論文標題 Asymmetric single-cycle control of valence electron motion in polar chemical bonds	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Optica	6. 最初と最後の頁 382 ~ 387
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OPTICA.414213	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 Kanda Natsuki, Ishii Nobuhisa, Itatani Jiro, Matsunaga Ryusuke	4. 巻 29
2. 論文標題 Optical parametric amplification of phase-stable terahertz-to-mid-infrared pulses studied in the time domain	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Optics Express	6. 最初と最後の頁 3479 ~ 3489
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OE.413200	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 Hirori Hideki, Xia Peiyu, Shinohara Yasushi, Otobe Tomohito, Sanari Yasuyuki, Tahara Hirokazu, Ishii Nobuhisa, Itatani Jiro, Ishikawa Kenichi L., Aharen Tomoko, Ozaki Masashi, Wakamiya Atsushi, Kanemitsu Yoshihiko	4. 巻 7
2. 論文標題 High-order harmonic generation from hybrid organic?inorganic perovskite thin films	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 APL Materials	6. 最初と最後の頁 041107 ~ 041107
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5090935	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 Ishii Nobuhisa, Xia Peiyu, Kanai Teruto, Itatani Jiro	4. 巻 27
2. 論文標題 Optical parametric amplification of carrier-envelope phase-stabilized mid-infrared pulses generated by intra-pulse difference frequency generation	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Optics Express	6. 最初と最後の頁 11447 ~ 11447
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OE.27.011447	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 Suzuki Takeshi, Imori Takushi, Ahn Sung Joon, Zhao Yuhao, Watanabe Mari, Xu Jiadi, Fujisawa Masami, Kanai Teruto, Ishii Nobuhisa, Itatani Jiro, Suwa Kento, Fukidome Hirokazu, Tanaka Satoru, Ahn Joung Real, Okazaki Kozo, Shin Shik, Komori Fumio, Matsuda Iwao	4. 巻 13
2. 論文標題 Ultrafast Unbalanced Electron Distributions in Quasicrystalline 30° Twisted Bilayer Graphene	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 ACS Nano	6. 最初と最後の頁 11981 ~ 11987
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsnano.9b06091	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 Mizuno Tomoya, Takeuchi Kengo, Kaneshima Keisuke, Ishii Nobuhisa, Kanai Teruto, Itatani Jiro	4. 巻 2
2. 論文標題 Resonant-Like Field Enhancement by Nanoscale Grating-Coupled Propagating Surface Plasmons and Localized Surface Plasmons in the Mid-Infrared Range: Implications for Ultrafast Plasmonic Electron Sources	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 ACS Applied Nano Materials	6. 最初と最後の頁 7067 ~ 7073
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsanm.9b01597	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 Saito Nariyuki, Sannohe Hiroki, Ishii Nobuhisa, Kanai Teruto, Kosugi Nobuhiro, Wu Yi, Chew Andrew, Han Seunghwoi, Chang Zenghu, Itatani Jiro	4. 巻 6
2. 論文標題 Real-time observation of electronic, vibrational, and rotational dynamics in nitric oxide with attosecond soft x-ray pulses at 400 eV	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Optica	6. 最初と最後の頁 1542 ~ 1542
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OPTICA.6.001542	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 -

〔学会発表〕 計19件 (うち招待講演 5件 / うち国際学会 6件)

1. 発表者名 石井 順久、圓山 桃子、永島 圭介、越智 義浩、板倉 隆二
2. 発表標題 Ybレーザーを用いた高強度極短赤外光源フロントエンド開発
3. 学会等名 第69回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 石井 順久、圓山 桃子、永島 圭介、越智 義浩、板倉 隆二
2. 発表標題 ピコ秒光源を用いた高強度赤外フェムト秒白色光発生とそのパルス圧縮
3. 学会等名 レーザー学会学術講演会第42回年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 森本裕也、篠原康、谷水城、 Bo-Han Chen、 石川顕一、Peter Baum
2. 発表標題 極性固体中価電子の非対称単一サイクルコントロール
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 篠原康、今坂光太郎、 芦原聡、 石川顕一
2. 発表標題 線形偏光電場による高次高調波角度依存性の時空間対称性による記述
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 篠原康、今坂光太郎、 芦原聡、 石川顕一
2. 発表標題 直線偏光電場に対する高調波の角度依存性の時空間対称性による記述
3. 学会等名 第82回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 石井 順久
2. 発表標題 Yb:YAGレーザー励起赤外光パラメトリック増幅器開発
3. 学会等名 4th RIKEN-RAP and QST-KPSI Joint Seminar
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 栗本 悠太郎、齋藤 成之、石井 順久、金井 輝人、板谷 治郎、斉田 謙一郎、武次 徹也、関川 太郎
2. 発表標題 軟X線吸収分光による環状分子の光開環ダイナミクスの研究
3. 学会等名 第81回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 水野 智也、楊 添淇、石井 順久、金井 輝人、Tolstikhin Oleg I、森下 亨、板谷 治郎
2. 発表標題 ハーフサイクルカットオフ近傍の光電子収量と断熱理論を用いた後方弾性散乱断面積の導出とその定量性評価
3. 学会等名 第81回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 石井 順久
2. 発表標題 レーザー軟X線光源の進展とフェムト秒吸収分光への応用
3. 学会等名 第81回応用物理学会秋季学術講演会（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kakeru Sasaki, Yasushi Shinohara, Kenichi L. Ishikawa
2. 発表標題 Theoretical study on nonlinear optical absorption of crystalline solids via two-color laser from first-principles
3. 学会等名 ICALEO 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yasushi Shinohara
2. 発表標題 A microscopic theory for selection rules of solid-state high-harmonic generation based on time-dependent Schrodinger equation
3. 学会等名 High-brightness Sources and Light-driven Interactions Congress (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Nobuhisa Ishii, Peiyu Xia, Changsu Kim, Faming Lu, Teruto Kanai, Hidefumi Akiyama, and Jiro Itatani
2. 発表標題 High Harmonic Generation in Reflection and Transmission from Gallium Arsenide
3. 学会等名 Conference on Lasers and Electro-Optics (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 石井 順久、齋藤 成之、板谷 治郎
2. 発表標題 レーザー軟X線パルス源によるフェムト秒吸収分光
3. 学会等名 第67回応用物理学会春季学術講演会 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 神田 夏輝、石井 順久、板谷 治郎、松永 隆佑
2. 発表標題 高周波テラヘルツ帯における光パラメトリック増幅
3. 学会等名 第80回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 7.夏 沛宇、Faming Lu、石井 順久、金井 輝人、板谷 治郎
2. 発表標題 中赤外極短パルスの強電場下における固体のサブサイクル分光
3. 学会等名 第80回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 N. Ishii, P. Xia, T. Kanai, and J. Itatani,
2. 発表標題 Optical parametric amplification of CEP-locked mid-infrared pulses produced by intra-pulse difference frequency generation using multiple plate pulse compression
3. 学会等名 第80回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yasushi Shinohara
2. 発表標題 Real-time ab-initio simulations for crystalline solids driven by strong laser pulse
3. 学会等名 The 22nd Asian Workshop on First-Principles Electronic Structure Calculations (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yasushi Shinohara
2. 発表標題 Theoretical study on solid-state high harmonic generation: from a one-dimensional model to an ab-initio three-dimensional approach
3. 学会等名 Mini-Workshop on Nonlinear Response in Laser-Matter Interaction (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Nobuhisa Ishii
2. 発表標題 Selection rules and nonlinear propagation in HHG from solids
3. 学会等名 Mini-Workshop on Nonlinear Response in Laser-Matter Interaction (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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	篠原 康 (Shinohara Yasushi) (90775024)	日本電信電話株式会社NTT物性科学基礎研究所・フロンティア機能物性研究部・リサーチスペシャリスト (92704)	

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