

令和 2 年 9 月 12 日現在

機関番号：12601

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2018～2019

課題番号：18K19030

研究課題名（和文）ナノスケールの固体物質における高次高調波発生

研究課題名（英文）High harmonic generation in solids at nanometer scale

研究代表者

芦原 聡（ASHIHARA, Satoshi）

東京大学・生産技術研究所・准教授

研究者番号：10302621

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,900,000 円

研究成果の概要（和文）：高次高調波発生(HHG)とは、超短パルスの強い光電場によって物質から次数の高い高調波が発生する現象である。本研究では、プラズモニクスによる光のナノ局在を用いて、固体物質のナノ空間からのHHGを実現すること、また、HHGを用いた物性計測法の創出に資する知見を得ることを目的とした。前者に関しては、誘電体結晶中に強い増強電場が形成されるような金属-誘電体素子を設計・作製し、ナノ増強場によるHHGを実現した。後者に関しては、GaSe結晶を用いてバンドギャップを大きく超える波長域のHHG観測に成功し、理論解析を通して発生機構および高調波波形に関する知見を得た。

研究成果の学術的意義や社会的意義

固体物質における高強度場現象は、光電場に追従するほどの超高速性と、バンド構造に由来する応答の多彩さおよび巨大さゆえ、21世紀の非線形光学として豊かな学術分野を形成し、新規光源や超高速光エレクトロニクスなどの応用を生み出すと期待される。

本研究で得られた知見は、固体物質における高強度場現象の学理構築に貢献するとともに、固体物質の電子状態・結晶構造の全光学的計測法の創出に資するものである。また、プラズモンナノ増強場によるHHGの達成は、広帯域な超短パルス・ナノ光源やHHGの小型化・高繰り返し化への道筋を示した点で応用上も重要である。以上の通り、本研究成果は学術的および応用上も大きな意義を有する。

研究成果の概要（英文）：High-order harmonic generation (HHG) is induced in solids when illuminated by a strong field of an ultrashort pulse. In this study, we aimed at observing HHG from a nano-scale space in solid materials by utilizing plasmonic field localization of infrared pulses, and gaining knowledge essential for HHG spectroscopy on band/crystal structure. Regarding the former, we designed and manufactured a metal-dielectric element that creates a strong electric field in the dielectric crystal, and realized HHG by an enhanced near-field. Regarding the latter, we succeeded in observing HHG in the wavelength region that greatly exceeds the band gap using GaSe crystal, and obtained the knowledge about the generation mechanism and the harmonic waveform through theoretical analysis. We also developed an optical system that enables HHG observation from a very small area.

研究分野：量子エレクトロニクス

キーワード：高次高調波発生 超短パルスレーザー 非線形光学 強電場現象 プラズモニクス

1. 研究開始当初の背景

中赤外～テラヘルツ波長域の超短パルスレーザーの高強度化により、固体物質を破壊せずにクーロン電場に匹敵するほど強い電場を印加することが可能となり、非摂動論的な光学応答を顕在化させることが可能となった。固体に特有の電子バンド構造に起因して、さまざまな光応答が予測されるため、こうした「固体の非摂動論的な光学応答」は「21世紀の非線形光学」として豊かな学術を形成するとして注目が高まりつつある。

高次高調波発生 (High-order harmonic generation: HHG) は、非摂動論的な光学応答の一つであり、超短パルスの強い光電場が物質に作用することによって次数の高い高調波が発生する現象である。この現象は、真空紫外～極端紫外域のアト秒パルスを生み出すメカニズムとして期待される。さらには、HHG過程を利用して逆に固体物質の性質そのもの(電子状態や結晶構造)を全光学的に計測する可能性も興味深い。

その際、駆動源であるフェムト秒パルスをナノメートルスケールに局在させることにより、いくつかの革新がもたらされると期待される。まず、電場増強効果により高次高調波発生の駆動光源の出力が大幅に低減され、システムの小型化・高繰り返し化もたらされとともに、「赤外から紫外機にわたる超広帯域・超短パルス・ナノサイズ光源」というユニークな光源が生み出されると期待される。また、微結晶あるいはナノ物質の電子状態や結晶構造を全光学的に計測する手法の創出につながると期待される。

2. 研究の目的

上記背景を踏まえ、本研究では、以下を目的とした。

- (1) ナノスケールのプラズモン増強場による固体の高次高調波発生の実現
- (2) 高次高調波発生による微小物質の電子状態・結晶構造の計測可能性の探求

3. 研究の方法

- (1) ナノスケールのプラズモン増強場による固体の高次高調波発生の実現

ナノメートルスケールの太さをもつ金属の棒状構造(ロッド)はその長軸方向に偏光した光に対してダイポールアンテナとして働き、ロッドの長さに応じた周波数で共鳴的な吸収・散乱を示す。このアンテナ共鳴は、局在型表面プラズモンの共鳴励起として理解できる。アンテナが共鳴的に励起される時、ロッド先端近傍で顕著な電場増強が起こる。この局在した増強電場による固体の高次高調波発生に取り組んだ。厚さ0.5 mmのZnO単結晶のa面上に、図1に示す金アンテナの二次元アレイを作製した。ここで、アンテナが励起パルスの中心波長である2 μmにおいて共鳴を示すよう設計した。

- (2) 高次高調波発生による微小物質の電子状態・結晶構造の計測可能性の探求

固体の高次高調波の性質から、微小物質の電子状態・結晶構造を計測する手法を生み出すため、実験および理論解析を通して、発生機構を探るとともに、物質の電子状態・結晶構造がどのように高調波の性質に焼き付けられるかの理解を試みた。

具体的には、GaSe結晶を対象として広範な波長域・次数のHHGの観測、そして理論計算による解釈に取り組んだ。理論計算は、研究協力者である東京大学の石川顕一教授および篠原康特任講師と協力して行った。具体的には、第一原理計算により求めたGaSeのバンド情報を基に、3次元の半導体ブロッホ方程式を解き、物質内の電流密度からHHGの電場を求めた。また、微小物質からのHHGを観測するため、(1)として記したプラズモン増強場によるHHGを達成するとともに、微小領域から発生するHHGの観測を可能とする光学系を開発した。

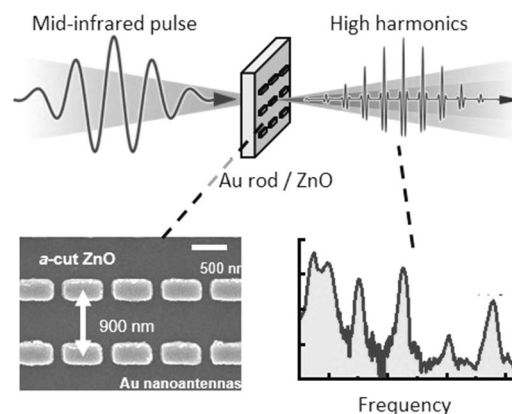


図1 High harmonic generation from a ZnO crystal patterned with Au nanoantenna arrays.

4. 研究成果

(1) ナノスケールのプラズモン増強場による固体の高次高調波発生の実現(雑誌論文[3,4,7])

図3(a)の消衰スペクトルが示す通り、このアンテナアレイは波長 $2 \mu\text{m}$ に共鳴をもつ。その線幅は入射するフェムト秒パルスのスペクトル(点線)よりも十分に広いため、増強場のスペクトル狭窄化は起こらず、入射パルスの電場波形が忠実に保たれたまま増強される。電磁場の理論解析により予測された近接場の電場分布は図3(b)の通りであり、固体内部での増強度は約80倍と見積もられた。

ZnO結晶(点群6mm)のa軸と直交する面内では、反転対称性の保たれたm軸と反転対称性の破れたc軸とが直交している。我々は、アンテナ長軸がm軸およびc軸のそれぞれと平行になるようアンテナアレイを作製し、それぞれ試料IおよびIIとした。

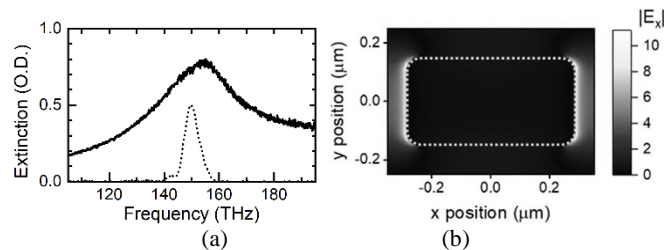


図2 (a) The measured extinction spectrum of the antenna array on a ZnO crystal (solid) and the input pulse spectrum (dotted). (b) The magnitude of the field enhancement inside ZnO (2 nm beneath the interface) for the component parallel to the longer axis.

入射パルス(中心波長 $2 \mu\text{m}$, 時間幅 100 fs)はアンテナ長軸に平行な直線偏光とした。入射強度 $0.1 \text{ TW}/\text{cm}^2$ (電場振幅 $0.87 \text{ V}/\text{nm}$) のとき、試料I, IIから発生した高調波のスペクトルを図3(a)(b)に実線で示す。

試料Iでは9次光(波長 222 nm)に至る奇数次のピーク H5, H7, H9 が観測され、試料IIでは奇数次と偶数次のピーク H5, H6, H7, H8, H9 が観測された(バンド間遷移に対応する蛍光 FL も観測された)。つまり、全く同じ金のアンテナアレイを用いたにもかかわらず、スペクトル選択則に明瞭な差異が現れた。この差異は ZnO 結晶の対称性に起因するとして理解できる。すなわち、試料Iでは増強された光電場が反転対称性の保たれた m 軸と平行に向くため、奇数次の高調波しか発生しない。一方の試料IIでは増強光電場が反転対称性の破れた c 軸と平行に向くため、奇数・偶数両方の次数が現れるのである。このように『プラズモニック増強場を用いても固体結晶に特有のスペクトル選択則が現れた』ことから『高調波は金アンテナではなく ZnO から発生している』ことが示された。

アンテナの無い部分、すなわちバルク結晶から発生した高調波(図3の点線)と比べると、試料Iでは H5 と H7 がアンテナによって増大し、H9 と FL が新たに発生している。試料IIでは、H5, H6, H7 が増大し、H8, H9, FL が新たに発生している。ノイズレベルを考慮すると、試料IIにおいては、H8 および H9 がアンテナによって 1-2 桁のオーダーで増大したと結論づけられる。プラズモニック増強場(ホットスポット)の体積を考慮すると、局所的には 3-5 桁の割合で高効率化されたと見積もられる。

各次数 H5~H9 の入射光強度依存性を計測したところ、アンテナの存在により、HHG がより低強度領域から立ち上がり、その傾きも非摂動論的過程を示唆するものとなっている。このことから、プラズモニックアンテナによって低い励起強度で非摂動論な HHG を実現した、と結論づけられる。

以上に述べた通り、プラズモニック電場増強効果を用いた深紫外に至る高次高調波発生を達成し、固体物質の光電場駆動にプラズモン励起が有効に働くことを実証した。高調波が金アンテナではなく ZnO から発生すること、ZnO の結晶対称性が反映される点も応用へ向けて重要な性質である。

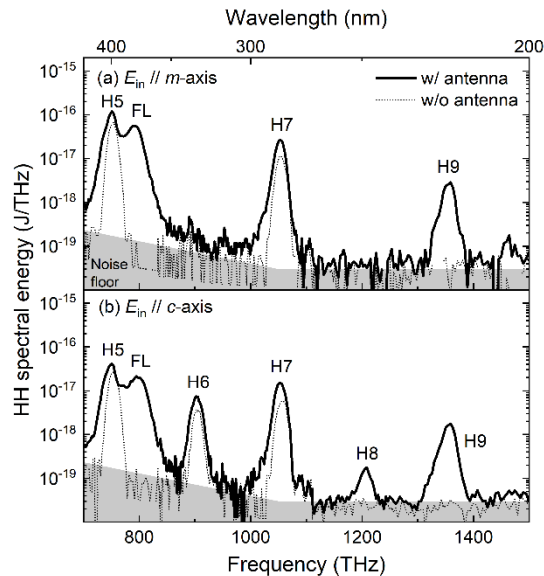


図3 The high harmonic spectrum measured at input intensity of 0.10 TW/cm^2 (an electric field of 0.87 V/nm) (a) for the sample I ($E_{in} // m\text{-axis}$) and (b) for the sample II ($E_{in} // c\text{-axis}$). The solid (dotted) lines indicate the spectra for ZnO with (without) antennas.

(2) 高次高調波発生による微小物質の電子状態・結晶構造の計測可能性の探求(雑誌論文[8])

GaSe 結晶における HHG の理論・実験研究を通して、以下の成果を得た。まず、波長 $2.1 \mu\text{m}$ のフェムト秒光パルス励起による GaSe の HHG を観測し、GaSe としては最短波長である波長 210 nm (バンドギャップエネルギーの 3 倍に相当) の 10 次高調波の観測に成功した。励起光強度依存性の測定より、非摂動的領域での現象と結論づけた。また、結晶方位に対する HHG の依存性を観測し、その方位依存性は点群対称性からユニバーサルに説明できることを見出した。以上の観測結果は理論計算とよく一致することを確認した。

従来観測されてきたバンドギャップ以下の周波数領域では、HHG の主たる発生機構がバンド内電流であると理解されてきたが、本研究の理論解析より、バンドギャップを大きく超える領域では HHG が主としてバンド間分極機構によって放射されることを見出した。さらには、この発生機構の違いにより、高調波の時間波形が異なることを見出した。この時間波形には固体物質の電子状態すなわちバンド構造の情報が反映されていることが示唆される。

以上の通り、HHG を利用した固体物質の電子状態・結晶構造の計測法の創出に資する知見が得られた。

微小物質からの HHG を観測するため、微小領域から発生する HHG の観測を可能とする光学系を開発し、それを可能とした。具体的には、HHG 過程の方位依存性を空間分解して計測するシステムを開発し、微小物質の HHG 解析の基盤を確立した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計9件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 D. Okazaki, H. Arai, A. Anisimov, E. I. Kauppinen, S. Chiashi, S. Maruyama, N. Saito, and S. Ashihara	4. 巻 44
2. 論文標題 Self-starting mode-locked Cr:ZnS laser using single-walled carbon nanotubes with resonant absorption at 2.4 μm	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Optics Letters	6. 最初と最後の頁 1750-1753
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1364/OL.44.001750	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 I. Morichika, K. Murata, A. Sakurai, K. Ishii, and S. Ashihara	4. 巻 10
2. 論文標題 Molecular ground-state dissociation in the condensed phase employing plasmonic field enhancement of chirped mid-infrared pulses	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Nature Communications Vol. 10, 3893 (2019)	6. 最初と最後の頁 3893
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41467-019-11902-6	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 芦原聡, 今坂光太郎	4. 巻 48
2. 論文標題 プラズモニックアンテナを用いた固体の高次高調波発生	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 レーザー研究	6. 最初と最後の頁 174-178
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 無
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. Imasaka, T. Kaji, T. Shimura, and S. Ashihara	4. 巻 205
2. 論文標題 Antenna-enhanced high harmonic generation in a wide-bandgap semiconductor ZnO	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 EPJ Web of Conference, XXI International Conference on Ultrafast Phenomena 2018	6. 最初と最後の頁 2024
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1051/epjconf/201920502024	査読の有無 無
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. Morichika, A. Sakurai, and S. Ashihara	4. 巻 205
2. 論文標題 Antenna-enhancements of molecular vibrational responses in ultrafast infrared spectroscopy	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 EPJ Web of Conference, XXI International Conference on Ultrafast Phenomena 2018	6. 最初と最後の頁 3002
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1051/epjconf/201920503002	査読の有無 無
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 A. Sakurai, K. Ando, and S. Ashihara	4. 巻 205
2. 論文標題 Ultrafast proton/deuteron dynamics in solid oxide probed with infrared pump-probe spectroscopy	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 EPJ Web of Conference, XXI International Conference on Ultrafast Phenomena 2018	6. 最初と最後の頁 4024
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1051/epjconf/201920504024	査読の有無 無
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 Imasaka Kotaro, Kaji Tomohiro, Shimura Tsutomu, Ashihara Satoshi	4. 巻 26
2. 論文標題 Antenna-enhanced high harmonic generation in a wide-bandgap semiconductor ZnO	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Optics Express	6. 最初と最後の頁 21364 ~ 21364
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OE.26.021364	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 Kaneshima Keisuke, Shinohara Yasushi, Takeuchi Kengo, Ishii Nobuhisa, Imasaka Kotaro, Kaji Tomohiro, Ashihara Satoshi, Ishikawa Kenichi L., Itatani Jiro	4. 巻 120
2. 論文標題 Polarization-Resolved Study of High Harmonics from Bulk Semiconductors	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Review Letters	6. 最初と最後の頁 243903
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevLett.120.243903	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 Sakurai Atsunori, Ando Koji, Ashihara Satoshi	4. 巻 149
2. 論文標題 Ultrafast proton/deuteron dynamics in KTaO ₃ observed with infrared pump-probe spectroscopy: Toward understanding of proton conduction mechanism in solid oxides	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 The Journal of Chemical Physics	6. 最初と最後の頁 104502 ~ 104502
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5040063	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38件 (うち招待講演 5件 / うち国際学会 9件)

1. 発表者名 I. Morichika and S. Ashihara
2. 発表標題 Bond-breaking and adsorption of molecules at plasmonic hot-spots initiated by infrared vibrational excitation
3. 学会等名 The 7th Optical Manipulation and Structured Materials Conference (国際学会)
4. 発表年 2019年 ~ 2020年

1. 発表者名 I. Morichika, A. Sakurai, S. Ashihara
2. 発表標題 Vibrational ladder-climbing and molecular ground-state dissociation driven by mid-infrared chirp-pulsed plasmonic near-fields
3. 学会等名 CLEO/Europe-EQEC 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年 ~ 2020年

1. 発表者名 D. Okazaki, H. Arai, E. I. Kauppinen, S. Chiashi, S. Maruyama, and S. Ashihara
2. 発表標題 Mode-locked Oscillation of Cr:ZnS Laser using a Single Walled Carbon Nanotube Film with Resonant Absorption at 2.4 μ m
3. 学会等名 CLEO/Europe-EQEC 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年 ~ 2020年

1. 発表者名 D. Okazaki, H. Arai, E. I. Kauppinen, S. Chiashi, S. Maruyama, and S. Ashihara
2. 発表標題 Carbon Nanotube Mode-Locked Cr:ZnS Laser with 400 nm Tuning Range
3. 学会等名 The 8th Advanced Lasers and Photon Sources (国際学会)
4. 発表年 2019年～2020年

1. 発表者名 I. Morichika, A. Sakurai, and S. Ashihara
2. 発表標題 Manipulation of molecular ground-state photodissociation on a gold nanoantenna surface
3. 学会等名 The 6th Optical Manipulation and Structured Materials Conference (国際学会)
4. 発表年 2019年～2020年

1. 発表者名 I. Morichika and S. Ashihara
2. 発表標題 Ultrafast Vibrational Spectroscopy and Vibrationally Mediated Reaction Control Using Infrared Plasmonics
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 2019年～2020年

1. 発表者名 岡崎大樹, 荒井隼人, Kauppinen Esko, 千足昇平, 丸山茂夫, 芦原 聡
2. 発表標題 単層カーボンナノチューブフィルムを用いたCr ²⁺ :ZnS中赤外モード同期レーザー III
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 2019年～2020年

1. 発表者名 芦原聡
2. 発表標題 中赤外プラズモニクスを活用した非線形振動分光と分子反応制御
3. 学会等名 レーザー学会学術講演会第40回年次大会 シンポジウム「中赤外～テラヘルツ光の新展開」(招待講演)
4. 発表年 2019年～2020年

1. 発表者名 芦原聡
2. 発表標題 赤外超高速プラズモニクスで拓く分光計測と化学反応制御
3. 学会等名 Optics&Photonics Japan 2019 シンポジウム「赤外・テラヘルツ域の光波シンセシスの新潮流」(招待講演)
4. 発表年 2019年～2020年

1. 発表者名 芦原聡
2. 発表標題 中赤外フェムト秒プラズモニクスと振動分光への応用
3. 学会等名 電子情報通信学会超高速光エレクトロニクス特別研究会第1回研究会(招待講演)
4. 発表年 2019年～2020年

1. 発表者名 Govind Dayal, Ikki Morichika, and Satoshi Ashihara
2. 発表標題 Vibrational strong coupling in ultra-compact nanogap patch antenna cavity
3. 学会等名 第67回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2019年～2020年

1. 発表者名 西澤広貴, 芦原聡
2. 発表標題 高調波発生の結晶方位依存性に基づく5次非線形感受率の測定
3. 学会等名 第67回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2019年～2020年

1. 発表者名 岡崎大樹, 荒井隼人, Kauppinen Esko, 千足 昇平, 丸山 茂夫, 芦原 聡
2. 発表標題 直径制御されたSWCNTを用いたCr:ZnS中赤外モード同期レーザー
3. 学会等名 レーザー学会学術講演会第40回年次大会
4. 発表年 2019年～2020年

1. 発表者名 Govind Dayal, Ikki Morichika, and Satoshi Ashihara
2. 発表標題 Strong coupling in the sub wavelength limit using a plasmonic nanocavity
3. 学会等名 レーザー学会学術講演会第40回年次大会
4. 発表年 2019年～2020年

1. 発表者名 芦原 聡, 北出修大, 森近一貴
2. 発表標題 表面フォノンポラリトンの非線形応答の観測
3. 学会等名 レーザー学会学術講演会第40回年次大会
4. 発表年 2019年～2020年

1. 発表者名 西澤広貴, 芦原聡
2. 発表標題 固体結晶の高調波発生における高次非線形過程の影響
3. 学会等名 レーザー学会学術講演会第40回年次大会
4. 発表年 2019年～2020年

1. 発表者名 岡崎大樹, 荒井隼人, Kauppinen Esko, 千足昇平, 丸山茂夫, 芦原聡
2. 発表標題 単層カーボンナノチューブフィルムを用いたCr ²⁺ :ZnS中赤外モード同期レーザー II
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～2020年

1. 発表者名 森近一貴, 村田慧, 櫻井敦教, 石井和之, 芦原聡
2. 発表標題 赤外フェムト秒プラズモニック増強場による化学反応制御(III)
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～2020年

1. 発表者名 Govind Dayal, Ikki Morichika, and Satoshi Ashihara
2. 発表標題 Vibrational strong coupling between molecular vibration and sub wavelength plasmonic cavity supporting gap plasmon mode
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～2020年

1 . 発表者名 K. Imasaka, T. Kaji, T. Shimura, S. Ashihara
2 . 発表標題 Antenna-enhanced high harmonic generation in a wide-bandgap semiconductor ZnO
3 . 学会等名 XXI International Conference on Ultrafast Phenomena (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 I. Morichika, A. Sakurai, S. Ashihara
2 . 発表標題 Antenna-enhancements of molecular vibrational responses in ultrafast infrared spectroscopy
3 . 学会等名 XXI International Conference on Ultrafast Phenomena (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 A. Sakurai, S. Ashihara
2 . 発表標題 Ultrafast Proton/Deuteron Dynamics in Solid Oxide Observed with Infrared Pump-Probe Spectroscopy
3 . 学会等名 XXI International Conference on Ultrafast Phenomena (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 K. Imasaka, T. Kaji, T. Shimura, S. Ashihara
2 . 発表標題 High harmonic generation in solids driven by plasmonically enhanced near-fields
3 . 学会等名 OSJ-OSA Joint Symposia in Optics & Photonic Japan (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1. 発表者名 森近一貴, 櫻井敦教, 芦原聡
2. 発表標題 プラズモン増強場を利用した超高速振動分光
3. 学会等名 第12回分子科学討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 櫻井敦教, 森近一貴, 安藤耕司, 芦原聡
2. 発表標題 赤外ポンプ・プローブ分光法を用いた固体酸化物中プロトン伝導メカニズムの解明
3. 学会等名 第12回分子科学討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 北出修大, 森近一貴, 芦原聡
2. 発表標題 金属ナノ構造を用いた表面フォノンポラリトンの伝搬ダイナミクス計測
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 岡崎大樹, 芦原聡
2. 発表標題 Cr ²⁺ :ZnS を用いた中赤外モード同期レーザーの開発
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 今坂光太郎, 梶智博, 志村努, 芦原聡
2. 発表標題 共鳴アンテナの埋め込み構造を用いた固体の高次高調波発生
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 森近一貴, 櫻井敦教, 芦原聡
2. 発表標題 赤外フェムト秒プラズモニック増強場による化学反応制御
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 北出修大, 森近一貴, 櫻井敦教, 芦原聡
2. 発表標題 グレーティング構造を用いた表面フォノンポラリトンの励起およびダイナミクス計測
3. 学会等名 日本光学会年次学術講演会 OPJ2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 岡崎大樹, 芦原聡
2. 発表標題 Cr ²⁺ :ZnS 中赤外レーザーのモード同期発振とその特性評価
3. 学会等名 日本光学会年次学術講演会 OPJ2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 森近一貴, 櫻井敦教, 芦原聡
2. 発表標題 プラズモン増強赤外フェムト秒パルスによる超高速振動分光・化学反応制御
3. 学会等名 日本光学会年次学術講演会 OPJ2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 森近一貴, 櫻井敦教, 芦原聡
2. 発表標題 赤外共鳴ナノアンテナを利用した化学反応制御
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 岡崎大樹, 芦原 聡
2. 発表標題 Cr ²⁺ :ZnS 中赤外レーザーのフェムト秒発振特性
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 Govind Dayal and Satoshi Ashihara
2. 発表標題 Fano resonant metasurfaces for surface enhanced infrared absorption spectroscopy
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 北出修大, 森近一貴, 芦原聡
2. 発表標題 表面フォノンポラリトンの超高速非線形応答の観測
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 森近一貴, 櫻井敦教, 芦原聡
2. 発表標題 赤外フェムト秒プラズモニック増強場による化学反応制御
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 岡崎大樹, 荒井隼人, Kauppinen Esko, 千足 昇平, 丸山 茂夫, 芦原 聡
2. 発表標題 単層カーボンナノチューブフィルムを用いたCr ²⁺ :ZnS中赤外モード同期レーザー
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

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

芦原研究室ホームページ
<http://www.ashihara.iis.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
研究協力者	石川 顕一 (Ishikawa Kenichi)		
研究協力者	篠原 康 (Shinohara Yasushi)		
研究協力者	町田 友樹 (Machida Tomoki)		