

令和 3 年 6 月 11 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18H01144

研究課題名(和文)電子型強誘電ドメイン構造の光・テラヘルツ強電場駆動

研究課題名(英文) Study of electronic-ferroelectric domains driven by strong optical and terahertz fields

研究代表者

伊藤 弘毅 (Itoh, Hirotake)

東北大学・理学研究科・助教

研究者番号：70565978

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,000,000円

研究成果の概要(和文)：物質の巨大な光応答の開拓を目指し、強相関有機伝導体が示す電子強誘電ドメイン構造について、光・テラヘルツ分光実験を行った。(1) テラヘルツ波発生顕微鏡を構築したことで、電子強誘電ドメインはおよそ100ミクロンの典型的サイズを持つことが解った。(2) ドメインを光電場で刺激すると、分極反転や超高速テラヘルツ振動などの特異な応答を示すことが解った。(3) 高強度テラヘルツ光源を開発したことで、電子強誘電分極が巨大かつ高速に電場制御できることが解った。(4) 有機結晶の成長条件最適化により高品位・大型化が進み、また、装置開発により高感度な焦電流測定が可能となった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

強相関電子系では強誘電・強磁性・金属・超伝導など多彩な電子状態が競合しており、外部刺激によってこれらを自由に制御できれば基礎応用両面で高価値である。本研究によって、空間的に現れた相競合状態といえるドメイン壁(正負の電子強誘電分極ドメインの境界)が、巨大で高速な光・テラヘルツ応答を示すことが明らかとなった。この成果は、電子状態を光で操るための指針となるだけでなく、ドメイン壁を利用して非バルク的な物性を創り出せる可能性をも示している。

研究成果の概要(英文)：Toward tailoring gigantic optical responses of matters, terahertz (THz) and optical spectroscopies were performed on electronic-ferroelectric (e-FE) domains in strongly-correlated organic conductors. (1) By developing the terahertz-emission microscope, the e-FE domains were found to have a typical size of 100 microns. (2) e-FE domains were found to show characteristic behaviors upon photoexcitation, such as polarization inversion or ultrafast THz oscillation. (3) With the developed intense THz light source, e-FE polarization was found to show ultrafast and gigantic responses following a THz electric field. (4) The newly-developed instrument has enabled precise measurement of pyroelectric current in e-FE materials.

研究分野：強相関電子系の光物性

キーワード：電子強誘電体 電荷秩序 テラヘルツ波発生 テラヘルツ強電場 光誘起相転移

1. 研究開始当初の背景

劇的な物性の代表例である相転移は、ミクロなゆらぎがマクロに成長することで生じる。強相関電子系では電子ゆらぎが大きく、金属・絶縁体・強誘電・強磁性・超伝導など多彩な電子相が競合するため、光刺激によって相転移が生じることがある。この「光誘起相転移」は、光で物性を超高速(〜ピコ秒)に操れる現象として注目され、基礎応用両面で活発に研究されている。その探索は発見的手法に頼っているのが現状だが、通常の相転移からの類推で、「ゆらぎを光やテラヘルツ(THz)強電場で刺激すれば、巨大変化を創出できるのでは？」という設計戦略を思いつく。

2. 研究の目的

複数の物質相が拮抗するとしばしばドメインを形成する；従ってその境界であるドメイン壁は相競合(ゆらぎ)を表す空間構造とよく、巨大な光応答を示すと期待される。本研究の目的は、強相関電子がつくるドメイン構造を明らかにし、その新奇な光応答を探索することである。

3. 研究の方法

電子型強誘電体を対象物質とした。これは強相関電子(電荷秩序)によって生じる新種の強誘電体である。強誘電体では一般に電気分極が自己組織化して正負の分極ドメインを形成するため、電子強誘電体も特徴的なドメイン構造を持つと考えられ、それにより電子がつくるドメイン壁の光応答を調べることができる。

正負の強誘電ドメインは通常の顕微鏡で区別することができないので、THz 波発生を利用する[図 1]。巨視的分極にフェムト秒パルス照射すると、二次的非線形光学過程によって THz 波が発生する。THz 電場の符号は、分極の反転に伴い反転するため、電場符号を試料全体でマッピングすれば正負の分極ドメインがイメージングできる[Sotome *et al.*, Appl. Phys. Lett. (2014)]。図 1 の THz 波発生顕微鏡を構築し、電子強誘電ドメインとその光応答を調べた。

この THz 波発生は強誘電分極を直接反映するため、光励起による分極変化を超高速かつ敏感に検出することができる。このことを利用し、光ポンプ-THz 波発生プローブ分光測定を行い、分極の超高速ダイナミクスならびに光誘起相転移について調べた。

ドメイン駆動のための光源として、傾斜パルス法による高強度 THz 光源を開発した(後述)。

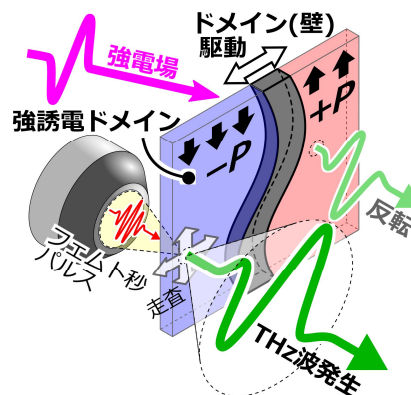


図 1 THz 波発生顕微鏡

4. 研究成果

(1) 電子強誘電ドメインのイメージングと、光照射による変化

図 2(a)(b)に示す様に、有機伝導体(TMTTF)₂AsF₆ (TMTTF: tetramethyl-tetrathiafulvalene 分子)にフェムト秒パルスを照射すると THz 波が発生するが、その電場 E_{THz} の符号は照射位置に応じて反転した[論文投稿済、査読中]。両位置で分極の符号が異なるためと考えられる。従って試料全体で E_{THz} を評価すれば分極 P の空間分布が解る。代表値として 0 ピコ秒における E_{THz} をマッピングした結果を図 2(c)に示す。赤青が正負のドメインに対応し、その境界(白)がドメイン壁である。電子強誘電ドメインは特徴的な大きさ $\sim 100 \mu\text{m}$ を持つことが解った。図 2(d)に示すように、他の電子強誘電体についても同様な測定を行い、同程度の大きさのドメインが形成されていることを確かめた。

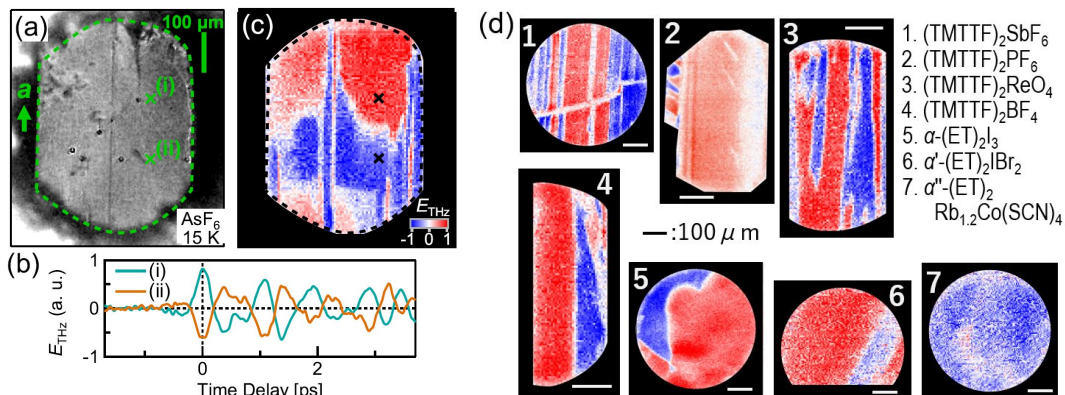


図 2 (a) 有機電子強誘電体(TMTTF)₂AsF₆ の反射像。(b) 位置(i), (ii)を光照射した際に発生した THz 電場 E_{THz} の時間波形。(c) 試料全体の E_{THz} (0 ps)の値(ラスタスキャン像)。(d) 他の有機電子強誘電体の THz 波発生イメージ。全て電荷秩序転移温度以下($T < T_{\text{CO}}$)で測定。

(TMTTF)₂AsF₆ のドメイン壁に光照射を行い、生じる変化を評価した。図 3 左に示したドメインに、30 分間の光照射(0.89 eV, 7 mJ/cm²)を行った後の結果をその右に示す。赤から青に変化した領域では、 E_{THz} 波形の符号も反転していたことから、光照射によって分極が反転したと考えられる。照射スポット(図中丸)の外側でも反転したことから、この光誘起相転移はドミノ倒しの様に協力的に成長したと考えられる。いったん転移温度より高温に上げた後に温度を下げると、光で変化した領域は「赤」に戻ったが、それ以外のドメインは変化しなかった。即ち、光で生じた変化は単なる熱効果では説明できない。照射場所によっては巨大変化が生じない場合もあった。変化の機構やダイナミクスの解明が今後の課題となる。

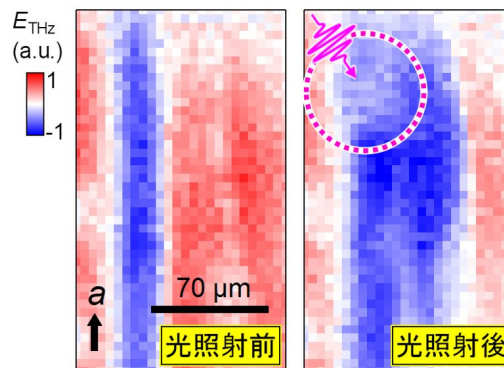


図 3 有機電子強誘電体 (TMTTF)₂AsF₆ の THz 波発生イメージ(22 K)。赤青は正負の分極ドメイン、円は照射スポット径

(2) アニオン秩序により形成されるドメインとその超高速応答

強誘電ドメイン構造は結晶欠陥や不純物などに固定化されることも多いが、アニオン秩序によってその影響を除去できることが解った。この発見は当初予期していなかったものである。

図 4(上)に、電子強誘電体(TMTTF)₂ReO₄における THz 波発生(顕微測定ではない)の温度依存性を示す。高温から温度を下げると、電荷秩序転移温度の T_{CO} 以下で TMTTF ダイマーに局所分極が生じ、それが巨視的に揃って空間反転対称性を破り、THz 発生が活性化する。ここまでは他の電子強誘電体と同様だが、特徴的なのは、さらに低温側のアニオン秩序転移温度 T_{AO} で E_{THz} が急峻に消失することであり、これは巨視的分極の消失を意味する。これまでの研究から、アニオン秩序によって四面体分子 ReO₄ が互い違いの方位に整列すると、隣りあうダイマー分極も反平行になると考えられてきたが[Pustogow *et al.*, Phys. Rev. B (2016)など]、本結果はそれを巨視的分極の相殺として直接実証できたものである。

注目すべきことに、このアニオン秩序によってドメイン構造は大きく変わる[図 4(下)]。高温から T_{CO} 以下にする冷却過程においては、符号の偏った(ほぼ青一色)ドメインが生じるが、いったん T_{AO} 以下にしてアニオン秩序を起こした後に温度を上げる加熱過程では、正負入り混じったドメイン構造が観測される。この結果は以下のように理解される。本来、正負の分極ドメインは縮退しており等確率で出現するはずだが、現実の結晶では欠陥などが実効的な外場となり縮退を破るため、ドメインは安定な方の符号に固定化される(冷却過程)。だがアニオン秩序が生じると、分極は強制的に反平行となり、正負の局所分極が同数出現する($T < T_{\text{AO}}$)。そこから $T > T_{\text{AO}}$ に温度を上げると、アニオン秩序(による拘束)が消え、同数ある逆符号分極からドメインが核成長するため、正負の巨視的分極ドメインが等確率に生じる(加熱過程)。

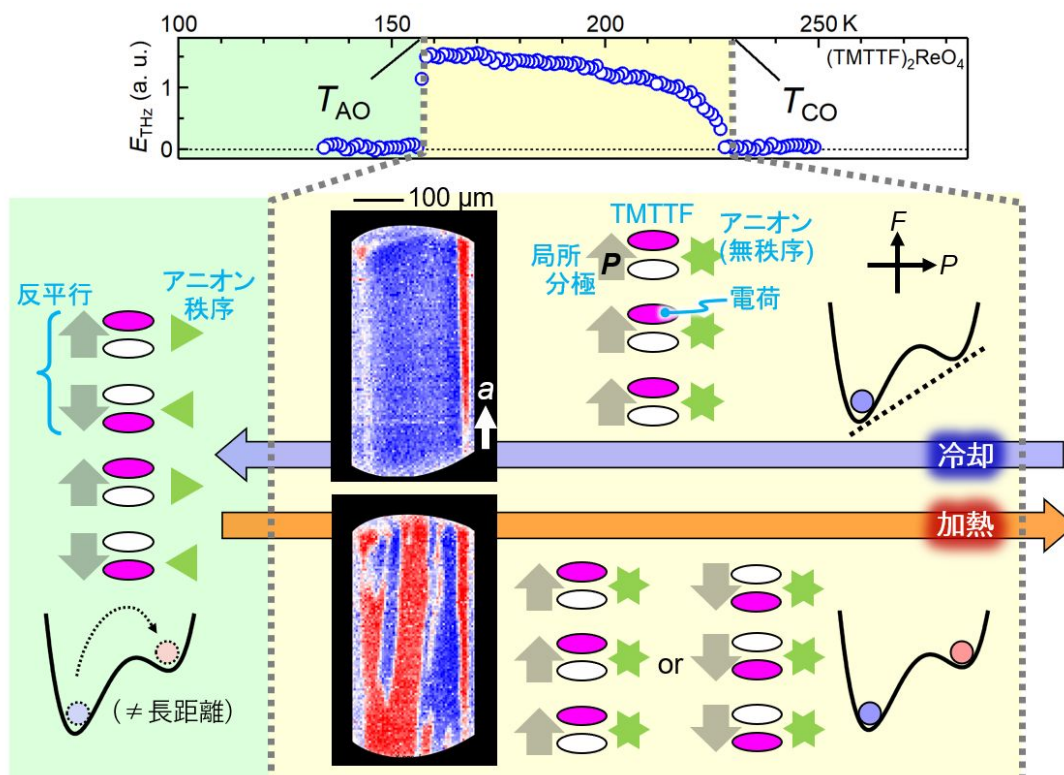


図 4 (上) (TMTTF)₂ReO₄ における THz 波発生(振幅スペクトル強度)の温度依存性。(下) 165 K における強誘電ドメイン構造。温度履歴があり、冷却時と加熱時で分布が異なる。

強誘電ドメイン壁の導入方法として、試料をいったん高温に上げる脱分極処理が知られているが、本成果は逆転の発想でいったん温度を下げるものである；電子系と格子系の相関が強い強相関電子系だからこそ可能な新しい手法と言える。そうして導入されるドメイン壁は、電子的な相互作用により偶発的に形成されているため(測定毎に異なるパターンが観測される)、外部刺激に対し敏感であると期待される。

新奇な光応答を探るため、アニオン秩序を示す(TMTTF)₂BF₄で、光ポンプ(0.89 eV, 0.3 mJ/cm²)-THz 波発生プローブ(基本波 1.55 eV, 0.02 mJ/cm²)測定を行った[図 5]。ドメインが図 4 のような温度履歴を示すことを別途確かめた上で、試料全体に光照射を行った。その結果、光励起による(a)ダイナミクスと(b)変化量がドメイン構造に応じて変化することが明らかとなった。以下、順に述べる。

(a)光励起に伴う THz 波発生強度(7-15 cm⁻¹)変化の時間発展は、ドメイン壁が存在しない冷却過程[図 5 上段]と、存在する加熱過程[中段]とで、著しく異なることを見出した。下段はその差分であり、両者の違いは周期 3.6 ピコ秒(~0.3 THz)の減衰振動で特徴づけられることが解った。この差分はドメイン壁の有無を反映すると考えるのが自然である。つまり、強相関電子で形成されたドメイン壁が超高速振動を示したと解釈できる。その空間パターンは現時点では不明だが、TMTTF 分子鎖に沿ったドメイン伸縮と推測できる；測定毎に巨視的ドメイン構造は変化するにもかかわらず、振動周波数は変化しなかったためである。この振動を THz 強電場で共鳴的に駆動すれば、劇的な応答に繋がると期待できる。

(b) THz 波発生スペクトルの全帯域(7-100 cm⁻¹)の強度は光励起直後(0.1 ピコ秒)に減少した。この挙動は電荷秩序の光融解として他の電子強誘電体でも見られるが、注目すべきことに、その変化量はドメイン壁のある加熱過程の場合の方が約 1.5 倍大きかった。この結果は、ドメイン壁が電荷秩序の光融解を促進したためと理解できる。

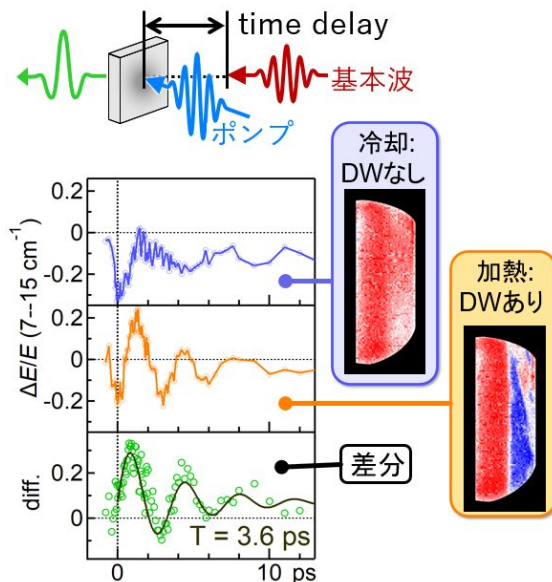


図 5 (TMTTF)₂BF₄(47 K)における THz 波発生強度の光励起時間発展。DW: ドメイン壁

(3) テラヘルツ強電場光源の開発

分極を駆動するための THz 強電場光源を開発した[図 6(上)]。LiNbO₃を用いた傾斜パルス法(チェレンコフ位相整合方式)[Hebling *et al.*, Opt. Express (2002)]を用いることで、~500 kV/cm もの強電場が得られた[図 6 下]。この値は、物質の絶縁耐力や強誘電体の抗電場より 1-2 桁も大きい一方で、デューティー比は~10⁻⁹と極めて小さいため、試料を熱損傷せずに強電場応答を探索できるようになった。さらに、ワイヤグリッド偏光子対と組み合わせることで、任意の方位への電場印加が可能となった。

層状鉄酸化物の電子強誘電体を用いて試験測定を行っところ、強誘電分極を反映する光第二高調波発生強度が、THz 電場に追従して超高速(<ピコ秒)かつ巨大(~100%)に反応することを見出した。この変化量は典型的な強誘電分極の既報値より 1 桁以上も大きく、電子強誘電体の特性であると考えられる。

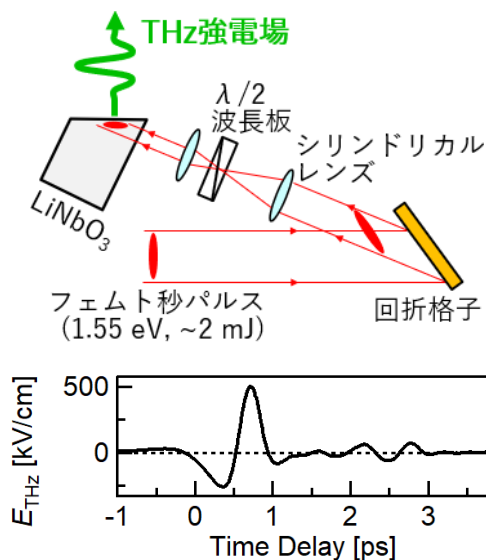


図 6 (上)傾斜パルス法による高強度 THz 光源。(下)THz 電場の時間波形

(4) 焦電流測定技術開発

ドメインの光応答を開拓するには高品質結晶が不可欠である。典型的な電子型強誘電体 α-(ET)₂I₃ (ET: bis(ethylenedithio)-tetrathiafulvalene 分子)成長条件の最適化を進め、高品質かつ大型の結晶が得られるようになった。さらに、分極値の精密評価のため、脆弱微小試料の適用に適合させた高感度焦電流測定装置を作製・完成した。本装置では試料温度を周期変調して焦電流を交流測定しており、焦電係数決定には試料温度の動的理解が必要となる。この熱解析のため一次元多層熱拡散モデルを構築し、標準試料の測定結果に適用して文献値と合理的に一致する結果を得た。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Y. Kawakami, T. Amano, H. Ohashi, H. Itoh, Y. Nakamura, H. Kishida, T. Sasaki, G. Kawaguchi, H. M. Yamamoto, K. Yamamoto, S. Ishihara, K. Yonemitsu, and S. Iwai	4. 巻 11
2. 論文標題 Petahertz non-linear current in a centrosymmetric organic superconductor	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 4138
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41467-020-17776-3	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 Kazuyuki Takahashi, Kaoru Yamamoto, Takashi Yamamoto, Yasuaki Einaga, Yoshihito Shiota, Kazunari Yoshizawa and Hatsumi Mori	4. 巻 9
2. 論文標題 High-Temperature Cooperative Spin Crossover Transitions and Single-Crystal Reflection Spectra of $[\text{FeIII}(\text{qsal})_2](\text{CH}_3\text{SO}_3)$ and Related Compounds	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Crystals	6. 最初と最後の頁 81:1-22
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/cryst9020081	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 Yohei Kawakami, Hirotake Itoh, Kenji Yonemitsu and Shinichiro Iwai	4. 巻 51
2. 論文標題 Strong light-field effects driven by nearly single-cycle 7 fs light-field in correlated organic conductors	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Physics B: Atomic, Molecular and Optical Physics	6. 最初と最後の頁 174005:1-15
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-6455/aad40a	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. Kawakami, T. Amano, Y. Yoneyama, Y. Akamine, H. Itoh, G. Kawaguchi, H. M. Yamamoto, H. Kishida, K. Itoh, T. Sasaki, S. Ishihara, Y. Tanaka, K. Yonemitsu and S. Iwai	4. 巻 12
2. 論文標題 Nonlinear charge oscillation driven by a single-cycle light field in an organic superconductor	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Nature Photonics	6. 最初と最後の頁 474-478
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41566-018-0194-4	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39件（うち招待講演 4件 / うち国際学会 7件）

1. 発表者名 伊藤弘毅, 岸田晶穂, 川上洋平, 山本薫, Martin Dressel, 岩井伸一郎
2. 発表標題 アニオン秩序を示す有機電子型強誘電体(TMTTF)2BF4におけるドメイン構造の光励起ダイナミクス
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 天野辰哉, 大橋拓純, 川上洋平, 伊藤弘毅, 今野克哉, 青山拓也, 今井良宗, 大串研也, 若林裕助, 後藤貫太, 中村優斗, 岸田英夫, 米満賢治, 岩井伸一郎
2. 発表標題 キタエフスピン液体候補物質 -RuCl_3 における超高速スピンダイナミクス III
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 大橋拓純, 天野辰哉, 川上洋平, 伊藤弘毅, 中村優斗, 岸田英夫, 佐々木孝彦, 西寄照和, 大串研也, 岩井伸一郎
2. 発表標題 高温超伝導体 $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ の超高速準粒子ダイナミクス
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 于洪武, 森田敦也, 石川忠彦, 腰原伸也, 深田幸正, 藤原孝将, 池田直, 岸田晶穂, 伊藤弘毅, 岩井伸一郎, 沖本洋一
2. 発表標題 第二次高調波発生から見た LuFe_2O_4 結晶の電子強誘電性
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 伊藤弘毅
2. 発表標題 電子型強誘電ドメイン構造が示す特異な温度履歴と光励起ダイナミクス
3. 学会等名 新学術領域研究「量子液晶の物性科学」令和2年度領域研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Hirotake Itoh, Kaoru Yamamoto, Martin Dressel, Shinichiro Iwai
2. 発表標題 Domain Structures and Photoinduced Dynamics of Electronic Ferroelectrics Investigated by Terahertz-Emission Microscopy
3. 学会等名 Asian Spectroscopy Conference 2020 (ASC2020) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 伊藤弘毅
2. 発表標題 強相関 電子がつくる電荷秩序・強誘電ドメインの形成機構解明と光機能探索
3. 学会等名 新学術領域研究「量子液晶の物性科学」公募研究キックオフミーティングシリーズD01班
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 川崎あゆみ, 立古佳与, 山本薫
2. 発表標題 微小単結晶試料のための温度変調焦電流測定装置の開発と熱解析による電気分極の定量
3. 学会等名 分子科学討論会 オンライン討論会2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kaoru Yamamoto
2. 発表標題 Temperature-Modulated Pyroelectricity Measuring for Single Crystals of Molecular Ferroelectrics and Analysis of Modulation Frequency Dependence of the Pyrocurrent using a 1D Heat Transfer Model
3. 学会等名 The 101st CSJ Annual Meeting of The Chemical Society of Japan (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 川上洋平, 天野辰哉, 伊藤弘毅, 川口玄太, 山本浩史, 中村優斗, 岸田英夫, 佐々木孝彦, 石原純夫, 米満賢治, 岩井伸一郎
2. 発表標題 6 fs単一サイクル近赤外パルスによる有機超伝導体の第2、第3高調波発生II
3. 学会等名 日本物理学会第75回年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 伊藤弘毅, 佐野聡太, 岸田晶穂, 川上洋平, 山本薫, Martin Dressel, 岩井伸一郎
2. 発表標題 アニオン秩序を示す有機電子型強誘電体(TMTTF) ₂ X (X = ReO ₄ , BF ₄)の光励起電荷ダイナミクス
3. 学会等名 日本物理学会第75回年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 天野辰哉, 赤嶺勇人, 大橋拓純, 川上洋平, 伊藤弘毅, 今野克哉, 長谷川慶直, 佐々木宏也, 青山拓也, 今井良宗, 大串研也, 若林裕助, 米満賢治, 岩井伸一郎
2. 発表標題 キタエフスピン液体候補物質 -RuCl ₃ における超高速スピンダイナミクス II
3. 学会等名 日本物理学会第75回年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 于洪武, 深田正幸, 清宮僚人, 池田直, 伊藤弘毅, 岩井伸一郎, 石川忠彦, 腰原伸也, 沖本洋一
2. 発表標題 電子強誘電体LuFe2O4の時間分解非線形分光測定
3. 学会等名 日本物理学会第75回年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 大橋拓純, 赤嶺勇人, 天野辰哉, 川上洋平, 伊藤弘毅, 中村優斗, 岸田英夫, 松野丈夫, 岩井伸一郎
2. 発表標題 ディラック半金属SrIrO3薄膜における光キャリアダイナミクス II
3. 学会等名 日本物理学会第75回年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 伊藤弘毅
2. 発表標題 有機伝導体(TMTTF)2Xにおける電荷秩序-強誘電ドメインの顕微テラヘルツ波発生による観測と光制御
3. 学会等名 第29回日本MRS年次大会(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hirotake Itoh, Kaoru Yamamoto, Martin Dressel, and Shinichiro Iwai
2. 発表標題 Domain Structures of Electronic Ferroelectrics (TMTTF)2X Investigated by Terahertz-Emission Microscopy
3. 学会等名 13th International Symposium on Crystalline Organic Metals, Superconductors and Magnets (ISCOM2019)(国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 赤嶺勇人, 大橋拓純, 天野辰哉, 川上洋平, 伊藤弘毅, 中村優斗, 岸田英夫, 松野丈夫, 岩井伸一郎
2. 発表標題 5d電子系半金属SrIrO ₃ 薄膜の超高速光応答II
3. 学会等名 日本物理学会2019年秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 伊藤弘毅, 佐野聡太, 岸田晶穂, 川上洋平, 山本薫, Martin Dressel, 岩井伸一郎
2. 発表標題 異常な温度履歴を示す電子型強誘電体(TMTTF)2BF ₄ のテラヘルツ波発生分光
3. 学会等名 日本物理学会2019年秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 川上洋平, 天野辰哉, 伊藤弘毅, 岸田英夫, 佐々木孝彦, 石原純夫, 米満賢治, 岩井伸一郎
2. 発表標題 6 fs単一サイクル近赤外パルスによる有機超伝導体の第2、第3高調波発生
3. 学会等名 日本物理学会2019年秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大橋拓純, 赤嶺勇人, 天野辰哉, 川上洋平, 伊藤弘毅, 中村優斗, 岸田英夫, 松野丈夫, 岩井伸一郎
2. 発表標題 ディラック半金属SrIrO ₃ 薄膜における光キャリアダイナミクス
3. 学会等名 日本物理学会2019年秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 伊藤弘毅, 川上洋平, 山本薫, Martin Dressel, 岩井伸一郎
2. 発表標題 電子型強誘電体(TMTTF)2X(X=PF6, AsF6, SbF6)における光誘起相転移の微視的/巨視的ダイナミクス
3. 学会等名 日本物理学会2019年秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 天野辰哉, 赤嶺勇人, 大橋拓純, 川上洋平, 伊藤弘毅, 長谷川慶直, 佐々木宏也, 青山拓也, 今井良宗, 大串研也, 岩井伸一郎
2. 発表標題 キタエフスピン液体候補物質 -RuCl3における超高速スピンダイナミクス
3. 学会等名 日本物理学会2019年秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 川上洋平, 天野辰哉, 赤嶺勇人, 伊藤弘毅, 川口玄太, 山本浩史, 岸田英夫, 佐々木孝彦, 石原純夫, 米満賢治, 岩井伸一郎
2. 発表標題 6 fs単一サイクル光強電場による有機超伝導体の非線形電荷振動III
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 伊藤弘毅, 村上泰樹, 佐野聡太, 川上洋平, 山本薫, Martin Dressel, 岩井伸一郎
2. 発表標題 アニオン秩序を示す有機電子型強誘電体(TMTTF)2X(X=ReO4, BF4)のテラヘルツ波発生分光 III
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 天野辰哉, 赤嶺勇人, 大橋拓純, 川上洋平, 伊藤弘毅, 中村優斗, 岸田英夫, 石原純夫, Laurent Cario, Etienne Janod, Benoit Corraze, Maciej Lorenc, 岩井伸一郎
2. 発表標題 V2O3多結晶薄膜における光誘起絶縁体-金属転移の超高速ダイナミクス II
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 赤嶺勇人, 天野辰哉, 大橋拓純, 川上洋平, 伊藤弘毅, 中村優斗, 岸田英夫, 松野丈夫, 岩井伸一郎
2. 発表標題 5d電子系半金属SrIrO3薄膜の超高速光応答
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 天野辰哉, 赤嶺勇人, 大橋拓純, 川上洋平, 伊藤弘毅, 長谷川慶直, 佐々木宏也, 青山拓也, 今井良宗, 大串研也, 岩井伸一郎
2. 発表標題 八二カム格子物質 -RuCl3の超高速光応答 II
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 佐野聡太, 村上泰樹, 伊藤弘毅, 川上洋平, 山本薫, Martin Dressel, 岩井伸一郎
2. 発表標題 擬一次元有機伝導体(TMTTF)2X(X=ReO4, BF4)における電子型強誘電ドメインの顕微テラヘルツ波発生分光
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 伊藤 弘毅
2. 発表標題 Domain Structures of Electronic Ferroelectrics Investigated by Terahertz-Emission Microscopy
3. 学会等名 CEMS Topical Meeting on Modern Ferroelectrics 2018 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 村上泰樹, 伊藤弘毅, 佐野聡太, 川上洋平, 山本薫, Martin Dressel, 岩井伸一郎
2. 発表標題 アニオン秩序を示す有機電子型強誘電体(TMTTF) $2X(X=ReO_4, BF_4)$ のテラヘルツ波発生分光 II
3. 学会等名 日本物理学会2018年秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 伊藤弘毅, 村上泰樹, 佐野聡太, 川上洋平, 山本薫, Martin Dressel, 岩井伸一郎
2. 発表標題 アニオン秩序を示す有機電子型強誘電体(TMTTF) $2X(X=ReO_4, BF_4)$ のテラヘルツ波発生分光 I
3. 学会等名 日本物理学会2018年秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 川上洋平, 天野辰哉, 米山雄登, 赤嶺勇人, 伊藤弘毅, 川口玄太, 山本浩史, 岸田英夫, 伊藤桂介, 佐々木孝彦, 石原純夫, 田中康寛, 米満賢治, 岩井伸一郎
2. 発表標題 6 fs単一サイクル光強電場による有機超伝導体の非線形電荷振動II
3. 学会等名 日本物理学会2018年秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 天野辰哉, 赤嶺勇人, 川上洋平, 伊藤弘毅, 長谷川慶直, 佐々木宏也, 青山拓也, 今井良宗, 大串研也, 岩井伸一郎
2. 発表標題 八二カム格子物質 -RuCl ₃ の超高速光応答
3. 学会等名 日本物理学会2018年秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 天野辰哉, 赤嶺勇人, 川上洋平, 伊藤弘毅, 中村優斗, 岸田英夫, 石原純夫, Laurent Cario, Etienne Janod, Benoit Corraze, Maciej Lorenc, 岩井伸一郎
2. 発表標題 V2O ₃ 多結晶薄膜における光誘起絶縁体 - 金属転移の超高速ダイナミクス
3. 学会等名 日本物理学会2018年秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 立古佳与, 多賀在敏, 山本薫
2. 発表標題 光照射温度変調法による -(BEDT-TTF) ₂ I ₃ の焦電係数測定
3. 学会等名 日本物理学会2018年秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 伊藤弘毅
2. 発表標題 顕微テラヘルツ波発生法の開発による電荷秩序ドメインの空間ダイナミクス解明
3. 学会等名 豊田理研異分野若手交流会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 T. Amano, Y. Kawakami, Y. Akamine, Y. Yoneyama, H. Itoh, Y. Nakamura, H. Kishida, S. Ishihara, L. Cario, E. Janod, B. Corraze, M. Lorenc, and S. Iwai
2. 発表標題 6 fs infrared spectroscopy in a Mott insulator V2O3
3. 学会等名 The 12th International Conference on Excitonic and Photonic Processes in Condensed Matter and Nano Materials (EXCON 2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hirotake Itoh, Kaoru Yamamoto, Martin Dressel, Yohei Kawakami, and Shinichiro Iwai
2. 発表標題 Photoinduced domain structures of ferroelectric charge-ordering in organic conductors observed via terahertz emission microscopy
3. 学会等名 The 12th International Conference on Excitonic and Photonic Processes in Condensed Matter and Nano Materials (EXCON 2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Y. Kawakami, Y. Akamine, T. Amano, H. Itoh, K. Yamamoto, Y. Nakamura, H. Kishida, T. Sasaki, S. Ishihara, K. Yonemitsu, and S. Iwai
2. 発表標題 Photoinduced charge-order melting triggered by 6 fs single-cycle infrared pulses in $\text{-(BEDT-TTF)}_2\text{I3}$
3. 学会等名 The 12th International Conference on Excitonic and Photonic Processes in Condensed Matter and Nano Materials (EXCON 2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

東北大学 理学研究科 物理学専攻 超高速分光研究室
<http://femto.phys.tohoku.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	山本 薫 (Yamamoto Kaoru) (90321603)	岡山理科大学・理学部・准教授 (35302)	

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