

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 4 年 5 月 23 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19H01817

研究課題名(和文)モノサイクル高強度テラヘルツ磁場発生技術開拓とワイル磁性制御

研究課題名(英文)Control of Weyl magnets by intense monocycle terahertz magnetic field

研究代表者

松永 隆佑 (Matsunaga, Ryusuke)

東京大学・物性研究所・准教授

研究者番号：50615309

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)：ワイル反強磁性体Mn₃Snは、反強磁性秩序に由来してテラヘルツ周波数帯で高速にスピンの歳差運動が生じ、かつ外場に対して強磁性体並みに巨大な応答を示すという特性を持つ。そのため次世代の高速スピントロニクス情報処理の候補物質として期待されている。本研究ではテラヘルツ周波数帯の磁場および電場によって物質を高速に制御して磁気情報を書き込み、かつ高速に読み出すための技術開発を進めた。テラヘルツ異常ホール効果によって反強磁性磁気秩序を電流ベースで読み出すことに初めて成功し、さらにその超高速ダイナミクスを時間分解計測して調べることで、非平衡下では電子温度の急上昇が大きく影響を与えることを初めて見出した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ワイル反強磁性金属Mn₃Snの高速電磁応答は、スピントロニクス情報処理技術をテラヘルツ周波数帯へ高速化するという応用面で非常に重要であるとともに、多極子秩序やトポロジ由来した電磁応答という点で基礎物理学的にも非常に興味深い。本研究では、先端的な光技術の開発によって、基礎と応用の両面において重要なMn₃Snのテラヘルツ電磁応答とそのダイナミクスを初めて明らかにすることに成功し、国内外に大きなインパクトを与える成果が得られた。さらに関連するトポロジカル半金属の非線形応答や光制御といった研究にも派生させ、今後の更なる発展が見込める筋道を得た。

研究成果の概要(英文)：Weyl antiferromagnet Mn₃Sn has been attracting much attention as a candidate material for ultrafast spintronic information storage devices because of the fast spin precession motion at terahertz frequencies and the large anomalous Hall effect comparable to ferromagnets. Therefore, ultrafast control and readout of the antiferromagnetic order in Mn₃Sn is highly anticipated.

We have conducted the development of techniques to control the antiferromagnetic order by using both intense terahertz magnetic field and electric field. We have realized ultrafast electrical readout of the antiferromagnetic order by using anomalous Hall effect. In addition, we also revealed that the ultrafast dynamics of the anomalous Hall effect in Mn₃Sn is dominated by an increase of electron temperature rather than the change of spin texture.

研究分野：光物性物理学

キーワード：テラヘルツ 反強磁性 ワイル半金属 トポロジカル半金属 超高速ダイナミクス

1. 研究開始当初の背景

磁性体を高速かつ強力な電磁場によって人為的に制御する技術は、非平衡下で現れる新奇物質相の探索や非線形応答の解明のほか、高速磁気制御によるメモリ開発としての応用面でも非常に重要である。特に近年、反強磁性金属 Mn_3Sn が、カゴメ格子上で磁化が打ち消し合っただけでなく、反強磁性体であるにもかかわらず、強磁性体並みに巨大な異常ホール効果を室温で示すことが示された。この物質は反強磁性秩序に由来してスピン歳差運動がテラヘルツ帯で生じ、磁気秩序を強磁性体よりも 2,3 桁早く駆動させることが可能であると考えられ、かつ漏れ磁場の影響もほとんどないため、次世代の高速スピントロニクス情報処理において磁気情報を高速に制御しさらにその情報を高速に読み出すことを可能にする有力候補物質として期待されている。この特性は、クラスター磁気秩序という特殊な秩序によって時間反転対称性が破れていることに加えて、フェルミエネルギー近くに存在する質量ゼロのワイル粒子というトポロジカルな性質が大きく関与すると考えられる。近年このようなワイル半金属及びディラック半金属を総称したトポロジカル半金属と呼ばれる物質群の性質が大きく注目されており、これらの物性を高速かつ強力に制御する技術が必要とされている。

2. 研究の目的

本研究では、ワイル反強磁性体 Mn_3Sn を高速かつ強力な電磁場で制御し、かつ電流ベースで磁気秩序を高速に読み出す技術を開発することを目的とする。反強磁性スピンはテラヘルツ周波数帯で駆動するため、テラヘルツ電磁場による制御及びテラヘルツ周波数帯における磁気情報読み出しに注目し、テラヘルツ帯の線形応答・非線形応答と超高速ダイナミクスを明らかにすることを旨とする。さらにワイル半金属と同じくトポロジカル半金属に分類されるディラック半金属にも注目し、テラヘルツ帯の電磁応答を明らかにする研究を進める。

3. 研究の方法

手法として以下に示すように、主に 4 通りの手段を用いて研究開発を進めた。

(1)ワイル反強磁性体 Mn_3Sn における磁気秩序の読み出し技術の開発

高感度な偏光分解テラヘルツ時間領域分光システムを開発し、 Mn_3Sn が示す異常ホール効果をテラヘルツ周波数帯で調べる研究を進めた。さらに非平衡下における異常ホール効果のダイナミクスを調べるために、光ポンプ-テラヘルツ偏光回転プローブ光学系を立ち上げ、低温磁場中における異常ホール効果のダイナミクスを調べる実験を行った。

(2)ワイル反強磁性体 Mn_3Sn における磁気秩序の磁場による高速制御技術の開発

モノサイクル的な高強度磁場成分を使ったゼーマントルクによって磁化を制御する技術開発に向けて、半導体基板上に金属を蒸着したメタマテリアル構造を作製し、さらに電磁解析シミュレーションを行った。

(3)ワイル反強磁性体 Mn_3Sn における磁気秩序の電場による高速制御技術の開発

Mn_3Sn 及び重金属によるヘテロ膜構造に対して高強度電場を印加することで、電流によって誘起されるスピン軌道トルクを利用して磁化を高速に制御する実験を進めた。

(4)トポロジカル半金属 Cd_3As_2 及び WTe_2 におけるテラヘルツ非線形応答

ワイル反強磁性体と関連の深いトポロジカル半金属としてディラック半金属 Cd_3As_2 及びワイル半金属 WTe_2 に注目し、高強度テラヘルツ電場を照射して非線形応答を調べる実験を進めた。さらにマルチテラヘルツ帯(10-50 THz)における極めて高精度な時間領域分光システムを開発し、光励起非平衡ダイナミクスやフロッケエンジニアリングによる光制御に関する実験を行った。

4. 研究成果

(1)ワイル反強磁性体 Mn_3Sn における磁気秩序の読み出し技術の開発

Mn_3Sn が示す異常ホール効果をテラヘルツ周波数帯で高速に計測するために、0.5-1.5 THz 帯において偏光回転角スペクトルを 0.05 mrad 以下の精度で計測できる高感度な偏光分解テラヘルツ時間領域分光システムを開発した。これによって 6 THz 以上の広帯域に渡って異常ホール伝導度スペクトルを初めて計測することに成功し、テラヘルツ帯においても DC とほぼ同様の非常に大きな異常ホール効果が現れること、1 THz 程度の周波数まではほぼ無散逸に Hall 電流が流れること、数 THz より高周波領域ではワイル点周りのバンド間遷移によると思われる散逸が生じることなどを見出した。本成果により、磁化がほぼゼロの反強磁性秩序の情報を 1 ps 以下の時間スケールで分解して高速に電流として読み出す手法が初めて実現した。

さらに外場によって磁気秩序を変化させた非平衡状態における異常ホール伝導の高速ダイナミクスを調べるため、光ポンプ-テラヘルツ偏光回転プローブ測定系を構築し、 Mn_3Sn の異常ホール伝導の時間分解計測を行った。異常ホール効果が最大となる温度 220 K において、光励起から 100 fs 以内に異常ホール効果が 40%ほど急激に減少する現象を観測した。このように磁気光学応答が光励起によって高速に変化する現象は、これまで Ni や Co といった強磁性体を中心に多数の研究が報告されており、その多くがスピン系の温度が高速に情報したことによる消磁(脱

磁)によって説明している。しかし興味深いことに、 Mn_3Sn における光励起実験を 150 K においても行ったところ、220 K と同様に 100 fs 以内に急激に異常ホール効果が減少し、その後数ピコ秒以内に今度は異常ホール効果が上昇へ転じることを見出した。150 K 付近において Mn_3Sn はワイル磁性相からヘリカル相へと磁気再配置相転移を起こすため、この温度領域では高温ほど異常ホール効果が大きくなるという、通常の磁性体とは真逆の振る舞いを示す。この温度領域においても光励起直後に異常ホール伝導が小さくなったということは、光励起によって起こるこの超高速の変化はスピン温度上昇では説明できないことを意味している。我々は第一原理計算の結果とも組み合わせることで、この超高速の変化は、格子系とスピン系がほぼ変化しないまま電子系の温度のみが上昇したと考えることでよく説明できることを明らかにした。そして電子系が冷却されたのちに磁気秩序を反映した異常ホール効果が現れるという実験結果から、高速磁化制御及びその読み出しを実現するためには、電子温度を上昇させずに磁化を制御することが重要であることがわかった。

さらに、このように磁性体の異常ホール効果の時間分解測定を行うことで、異常ホール効果の微起源が内因性、外因性のいずれであるかを判別することができることも初めて見出した。これは異常ホール伝導の微視的メカニズムを探る新たな手法として今後重要な実験ツールとなることが期待される。

(2)ワイル反強磁性体 Mn_3Sn における磁気秩序の磁場による高速制御技術の開発

モノサイクル的な高強度磁場成分を使ったゼーマントルクによって磁化を制御する技術開発に向けて、半導体基板上に金属を蒸着したメタマテリアル構造を作製し、さらに電磁解析シミュレーションを行って電場増強及び空間分布を評価した。ただしテラヘルツ帯で強力な磁場を印加する場合、それ以上に強力な電場も発生するため、それが試料に損傷を与えるなどの影響が懸念されることが分かった。さらに以下に示すように、DC 領域において磁場ではなく電流によって Mn_3Sn の磁化を制御する技術が 2020 年春に中辻知教授らによって明らかにされた。磁化を制御する現実的なデバイスにおいては磁場よりも電流によって磁化を制御する方が重要性が非常に大きいため、本研究においてもテラヘルツ磁場成分よりもテラヘルツ電場成分を利用して磁化を制御する技術を優先して進めることにした。なおテラヘルツ磁場を利用した制御については、京都大学の廣理英基准教授及び金光義彦教授のグループと連携して引き続き研究を進めることになった。

(3)ワイル反強磁性体 Mn_3Sn における磁気秩序の電場による高速制御技術の開発

Mn_3Sn 薄膜に対して Pt や W といった重金属と接合させたヘテロ膜構造を作製し、高強度電場を印加することで、電流によって誘起されるスピン軌道トルクを利用して磁化を高速に制御することを目指して実験を進めた。繰り返し測定によってポンププローブ信号を得るためには、高強度テラヘルツ電場ポンプによって変調されたスピンを 1 ms ごとにリセットさせるための電流パルスを用いるための条件を確認した。現在は微小試料に対するカー回転角信号を精密に計測するための工夫を加えながら光学システムを改良し、実験システムを構築中である。

(4)トポロジカル半金属 Cd_3As_2 及び WTe_2 におけるテラヘルツ非線形応答

ワイル半金属と同様に質量ゼロの電子が現れるディラック半金属 Cd_3As_2 薄膜における高強度テラヘルツ波を用いた制御にも取り組み、高強度テラヘルツ電場でディラック電子を運動量空間で揺さぶることで、テーブルトップ光源で初めてテラヘルツ帯高次高調波発生を観測し、さらにそのダイナミクスを調べることで非線形性の起源がディラック電子のバンド内加速であることを見出した。さらに空間反転対称性の破れたワイル半金属である層状物質 WTe_2 に注目し、室温でテラヘルツ第 2 高調波が発生することを初めて観測することに成功した。

また、さらにもうひとつ桁高周波領域であるマルチテラヘルツ帯 (10-50 THz) の電磁応答を明らかにするために技術開発を進めた。250 fs の超短パルスレーザーを 11 fs まで圧縮して非線形結晶 GaSe でパルス内差周波発生を行うことで、極めて位相安定な時間領域分光によってマルチテラヘルツ帯で広帯域かつ高時間分解能 (30 fs) で複素応答関数スペクトルを計測するシステムを実現した。これを用いて Cd_3As_2 における光励起キャリアの熱平衡化ダイナミクス及び緩和ダイナミクス、それに伴う広帯域応答関数の変化を明らかにした。さらに光励起によってプラズマ周波数の上昇により赤外屈折率が劇的に減少すること、これを利用してフロッケエンジニアリングにより誘導レイリ 散乱を巨大に引き起こすことが出来ることなどを明らかにした。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 4件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Takuya Matsuda, Natsuki Kanda, Tomoya Higo, N. P. Armitage, Satoru Nakatsuji, Ryusuke Matsunaga	4. 巻 11
2. 論文標題 Room-temperature terahertz anomalous Hall effect in Weyl antiferromagnet Mn ₃ Sn thin films	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 909-1-909-8
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41467-020-14690-6	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 該当する
1. 著者名 Bing Cheng, Natsuki Kanda, Tatsuhiko N. Ikeda, Takuya Matsuda, Peiyu Xia, Timo Schumann, Susanne Stemmer, Jiro Itatani, N. P. Armitage, Ryusuke Matsunaga	4. 巻 124
2. 論文標題 Efficient Terahertz Harmonic Generation with Coherent Acceleration of Electrons in the Dirac Semimetal Cd ₃ As ₂	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review Letters	6. 最初と最後の頁 117402-1-6
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1103/PhysRevLett.124.117402	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 Chorsi Hamid, Cheng Bing, Zhao Bo, Toudert Johann, Asadchy Viktor, Shoron Omor F., Fan Shanhui, Matsunaga Ryusuke	4. 巻 32
2. 論文標題 Topological Materials for Functional Optoelectronic Devices	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Advanced Functional Materials	6. 最初と最後の頁 2110655 ~ 2110655
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1002/adfm.202110655	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 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 Cd ₃ As ₂ 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 松田 拓也、肥後 友也、神田 夏輝、松永 隆佑	4. 巻 90
2. 論文標題 ワイル反強磁性金属Mn ₃ Sn薄膜の室温テラヘルツ異常ホール効果	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 応用物理	6. 最初と最後の頁 752 ~ 756
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11470/oubutsu.90.12_752	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33件 (うち招待講演 19件 / うち国際学会 10件)

1. 発表者名 神田夏輝, 室谷悠太, Timo Schumann, Susanne Stemmer, 吉信淳, 松永隆佑
2. 発表標題 3次元ディラック半金属Cd ₃ As ₂ 薄膜の中赤外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 Ryusuke Matsunaga
2. 発表標題 Efficient terahertz harmonic generation in Dirac and Weyl semimetals
3. 学会等名 CEMS Topical Meeting Online "Topology in photon-matter interaction" (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Ryusuke Matsunaga
2. 発表標題 Terahertz nonlinear responses and harmonic generation in topological semimetals
3. 学会等名 CATS workshop on Nonlinear Electromagnetic Dynamics of Topological Semimetals (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Ryusuke Matsunaga, Natsuki Kanda, and Takuya Matsuda
2. 発表標題 Efficient terahertz frequency conversion in a Dirac semimetal Cd ₃ As ₂ and terahertz anomalous Hall effect in a Weyl antiferromagnet Mn ₃ Sn
3. 学会等名 The 44th Annual Conference on MAGNETICS in Japan, Symposium "Electromagnetic responses in wideband from GHz to visible light region" (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 松永隆佑, 神田夏輝, 松田拓也
2. 発表標題 ワイル反強磁性体Mn ₃ Snの室温テラヘルツ異常ホール効果
3. 学会等名 日本磁気学会第229回研究会「テラヘルツ領域におけるスピントロニクス研究の現状と展望」(招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 松田拓也, 神田夏輝, 池田達彦, 松永隆佑
2. 発表標題 空間反転対称性の破れたワイル半金属WTe ₂ のテラヘルツ非線形応答
3. 学会等名 日本物理学会2020年秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 池田達彦, 神田夏輝, Bing Cheng, 松田拓也, 夏沛宇, Timo Schumann, Susanne Stemmer, 板谷治郎, N. P. Armitage, 松永隆佑
2. 発表標題 ディラック半金属におけるテラヘルツ高次高調波の発生機構と電子の散乱・緩和時間依存性
3. 学会等名 日本物理学会2020年秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 神田夏輝, Bing Cheng, 池田達彦, 松田拓也, 夏沛宇, Timo Schumann, Susanne Stemmer, 板谷治郎, N. P. Armitage, 松永隆佑
2. 発表標題 3次元ディラック半金属Cd3As2薄膜における室温高効率テラヘルツ高次高調波発生と非平衡ダイナミクス
3. 学会等名 日本物理学会2020年秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Ryusuke Matsunaga, Natsuki Kanda, and Takuya Matsuda
2. 発表標題 Terahertz spectroscopy for dynamics in Dirac and Weyl semimetals toward high-speed electronics and spintronics
3. 学会等名 JSAP-OSA Joint Symposia (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Takuya Matsuda, Natsuki Kanda, Tomoya Higo, N. P. Armitage, Satoru Nakatsuji, and Ryusuke Matsunaga
2. 発表標題 Room-temperature large terahertz anomalous Hall effect in Weyl antiferromagnet Mn3Sn thin film
3. 学会等名 CLEO 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 松田拓也, 神田夏輝, 肥後友也, N. Peter Armitage, 中辻知, 松永隆佑
2. 発表標題 ワイル反強磁性体Mn3Sn薄膜の室温テラヘルツ巨大異常ホール伝導
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 Ryusuke Matsunaga
2. 発表標題 Ultrafast dynamics in superconductor and Dirac semimetal with efficient terahertz harmonic generation
3. 学会等名 Workshop for Nano- and Ultrafast Surface Sciences (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 神田夏輝, Bing Cheng, 池田達彦, 松田拓也, 夏沛宇, Timo Schumann, Susanne Stemmer, 板谷治郎, N. P. Armitage, 松永隆佑
2. 発表標題 ディラック半金属における高効率テラヘルツ高調波発生
3. 学会等名 シンポジウム テラヘルツ科学の最先端
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 神田夏輝, Bing Cheng, 池田達彦, 松田拓也, 夏沛宇, Timo Schumann, Susanne Stemmer, 板谷治郎, N. P. Armitage, 松永隆佑
2. 発表標題 ディラック半金属Cd3As2薄膜における超高効率テラヘルツ高調波発生
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 2020年

1. 発表者名 Natsuki Kanda, Bing Cheng, Tatsuhiko N. Ikeda, Takuya Matsuda, Peiyu Xia, Timo Schumann, Susanne Stemmer, Jiro Itatani, N. P. Armitage, and Ryusuke Matsunaga
2. 発表標題 Subcycle time-resolved study for efficient terahertz high harmonic generation in Dirac semimetal Cd3As2
3. 学会等名 SPIE OPTO Ultrafast Phenomena and Nanophotonics XXIV (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Ryusuke Matsunaga
2. 発表標題 Efficient Terahertz Harmonic Generation and Subcycle Time-Resolved Study in Dirac Semimetal Cd3As2
3. 学会等名 Gordon Research Conference, Ultrafast Phenomena in Cooperative Systems (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 松田拓也, 神田夏輝, 肥後友也, 是常隆, 中辻知, 松永隆佑
2. 発表標題 ワイル反強磁性体Mn3Snにおける異常ホール効果の光励起ダイナミクス
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 2020年

1. 発表者名 神田夏輝, Bing Cheng, 池田達彦, 松田拓也, 夏沛宇, Timo Schumann, Susanne Stemmer, 板谷治郎, N. P. Armitage, 松永隆佑
2. 発表標題 ディラック半金属Cd3As2薄膜における高効率テラヘルツ高調波発生の観測とサブサイクル分光
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 池田達彦, 神田夏輝, Bing Cheng, 松田拓也, 夏沛宇, Timo Schumann, Susanne Stemmer, 板谷治郎, N. P. Armitage, 松永隆佑
2. 発表標題 ディラック半金属におけるテラヘルツ高次高調波発生の理論
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 松田拓也, 神田夏輝, 池田達彦, 松永隆佑
2. 発表標題 空間反転対称性の破れたワイル半金属における室温テラヘルツ第二高調波発生
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 松永隆佑, 神田夏輝, 松田拓也
2. 発表標題 Yb系レーザーによるテラヘルツポンプ-テラヘルツプローブ分光系開発とディラック半金属のサブサイクル分光
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 松永隆佑, 神田夏輝, 松田拓也
2. 発表標題 トポロジカル半金属を用いたテラヘルツ高速エレクトロニクス・スピントロニクス
3. 学会等名 令和3年度テラヘルツ応用システム研究会(招待講演)
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(招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 松永隆佑
2. 発表標題 テラヘルツ光で引き出す・創る物質のトポロジーと機能性
3. 学会等名 CREST/さきがけ「トポロジー」領域連携公開シンポジウム「トポロジカル科学の現在と未来」(招待講演)
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 Cd3As2
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 Cd3As2 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 松永隆佑, 神田夏輝, 松田拓也, 室谷悠太
2. 発表標題 3次元トポロジカル半金属によるテラヘルツ高速エレクトロニクス・スピントロニクス
3. 学会等名 シンポジウム「テラヘルツ科学の最先端VIII」(招待講演)
4. 発表年 2021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 テラヘルツ駆動されたディラック半金属Cd ₃ As ₂ における誘導レイリー散乱と室温無散逸スローライト生成
3. 学会等名 シンポジウム「テラヘルツ科学の最先端VIII」(招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 松永隆佑
2. 発表標題 3次元トポロジカル半金属におけるテラヘルツ高速エレクトロニクス・スピントロニクス
3. 学会等名 第13回放射光学会若手研究会「先端的レーザー分光測定技術の進化とその応用」(招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 松永隆佑
2. 発表標題 3次元トポロジカル半金属によるテラヘルツ高速エレクトロニクス・スピントロニクス
3. 学会等名 日本学術振興会光電相互変換第125委員会第257回研究会「光とトポロジー」(招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 松田拓也, 神田夏輝, 肥後友也, 是常隆, 中辻知, 松永隆佑
2. 発表標題 ワイル反強磁性金属Mn ₃ Sn薄膜における異常ホール伝導度の光励起ダイナミクス
3. 学会等名 日本物理学会第77回年次大会(招待講演)
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 (招待講演)
4. 発表年 2022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 (招待講演)
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

反強磁性金属薄膜のテラヘルツ異常ホール効果を観測 http://www.issp.u-tokyo.ac.jp/maincontents/news2.html?pid=9919 室温でテラヘルツ周波数を高効率に変換できる物質を発見 http://www.issp.u-tokyo.ac.jp/maincontents/news2.html?pid=10191
--

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	秋山 英文 (Akiyama Hidefumi) (40251491)	東京大学・物性研究所・教授 (12601)	

6. 研究組織（つづき）

	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	中辻 知 (Nakatsuji Satoru) (70362431)	東京大学・大学院理学系研究科（理学部）・教授 (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	ジョンズホプキンス大学	カリフォルニア大学サンタバー バラ校	スタンフォード大学	他2機関