

令和 6 年 6 月 17 日現在

機関番号：34315

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2021～2023

課題番号：21H01018

研究課題名(和文)光とテラヘルツ波を用いたコヒーレントなフォノン角運動量状態の創成と新規物性の開拓

研究課題名(英文) Generation of coherent phonon-angular-momentum state by using light and terahertz wave

研究代表者

是枝 聡肇 (Koreeda, Akitoshi)

立命館大学・理工学部・教授

研究者番号：40323878

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)：水晶における自然円偏光ラマン散乱実験の結果、実際に光子と角運動量を授受するラマン過程が許容となるフォノンモードが多数見いだされ、光子とフォノンとが角運動量を授受し、ラマン選択則において角運動量保存則が必要であることを見いだした。テラヘルツ波の波面制御ではモアレ構造による光渦配列の発生や集光光学系においたカイラル構造により光がトポロジカルチャージを獲得することなどを実験的に確認した。後進波パラメトリック過程を用いて0.3THz帯のサブテラヘルツ波の超高感度検出やカスケード波長変換に関する基幹技術を確認できた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

角運動量(擬角運動量)を持つフォノンはカイラルフォノンと呼ばれるようになった。カイラルフォノンは磁場を感じると考えられるため、物質中に電子由来の磁気モーメントや磁氣的秩序が存在すれば、これらと強く相互作用することが期待され、フォノン物性の立場から、電気・磁気・スピン・熱デバイス応用に対するまったく新しい原理的アプローチを提案できると考える。非磁性体でのコヒーレントフォノン角運動量状態の励振を端緒とし、スピンのand/or軌道的フォノンとスピン波(マグノン)との相互作用を通じた、誘電的・磁氣的秩序の制御などへとつながる基礎的知見を収集できたと思う。

研究成果の概要(英文)：As a result of spontaneous circularly polarized Raman scattering experiments in alpha-quartz, many phonon modes were found that they exchange angular momenta with photons. We found that photons and phonons actually exchange angular momenta, and that the law of conservation of angular momentum is necessary in the Raman selection rules. In controlling the wavefront of terahertz waves, it was experimentally confirmed that an optical vortex arrangement is generated by moire structures, and that light acquires a topological charge due to a chiral structure in a focusing optical system. Using backward parametric processes, we were able to establish core technologies for ultra-high sensitivity detection and cascade wavelength conversion of sub-terahertz waves in the 0.3 GHz band.

研究分野：固体物性

キーワード：フォノン コヒーレントフォノン カイラルフォノン ラマン散乱 テラヘルツ波

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

物質中の原子の振動の量子であるフォノンとは、これまでエネルギーと結晶運動量のみを担うものと考えられてきた。しかし、最近の研究によって、フォノンがスピンや軌道の角運動量を持ち、非磁性体においてもフォノンが磁性を担うと考えられるようになってきた。

フォノンのスピンや軌道角運動量は、光のスピン(円偏光)や軌道角運動量(光渦)と交換をすることで考えられるため、フォノンに共鳴する円偏光・光渦のテラヘルツ波や、円偏光・光渦を用いた誘導ラマン過程によって、角運動量を持ったフォノンのコヒーレントに励振できるものと期待される。フォノンスピンやフォノン渦は磁性体における電子スピン(マグノン)と結合するため、コヒーレントフォノン・スピン/渦の励振によって、スピントロニクス材料に対するフォノンによるスピンゼーベック効果の制御などに応用できるものと期待される。

物体の変形は、「歪み成分」(対称テンソル)と「回転成分」(反対称テンソル)に分離されるが、線形・調和近似のもとでは回転成分が無視されるので、格子振動の第二量子化(フォノン描像)では、回転変形に由来する自由度についてはほとんど注意が払われてこなかった。

量子化された回転変形の角運動量、すなわちフォノン角運動量は、まず2014年にZhangとNiu [1]によって提唱された。物質におけるミクロな視点での回転変形では、質量および電荷を持ったイオンが回転(+振動)をしているため、基準振動(フォノンモード)の中には角運動量を伴うものが存在する。さらに、イオンの回転運動は電流を生じるため、非磁性体であってもフォノン角運動量状態には磁気モーメントが伴う場合があると理解できる。

2. 研究の目的

本研究は、まずフォノンが角運動量を持つことを実験的に明らかにすることを目的とし、さらに、光とテラヘルツ波を駆使して、フォノンスピン、フォノン渦のコヒーレント励振をすることを次の目的とした。

すでによく知られているように、光(電磁波)はスピンおよび軌道角運動量を持つ。すなわち、光の角運動量は、(i)スピン角運動量 \hbar 円偏光(偏波面の回転);(ii)軌道角運動量 $m\hbar$ 光渦(等位相面のらせん)である。光のスピンは $\pm\hbar$ の二つの値を取り、円偏光、すなわち偏波面の回転状態に対応する。また、光の軌道角運動量は \hbar の整数倍の値を取り、いわゆる光渦(light vortex)、すなわち等位相面のらせん状態に対応する。可視光領域では、円偏光や光渦は実験的に容易に生成・制御できるが、テラヘルツ波に対しては円偏波や、渦状態の発生は可視光ほど容易ではなく、本研究でも分担者の大野、野竹の技術的研究テーマとして目的に含めた。

ここでフォノン角運動量と光の角運動量の対応について検討する。フォノンには光子との類似性が多く、光子に縦波のモードがないことを除いては、ほぼ光子での議論をフォノンに適用することが可能である。この意味において、フォノンの角運動量については下記のような描像が適用されるはずである：

フォノンの角運動量

- (i) スピン角運動量 \hbar 振動偏波面の回転(円偏波的フォノンモード)
- (ii) 軌道角運動量 $m\hbar$ フォノン伝搬軸回りのイオン公転モード(フォノン渦状態)

本研究では、まず、このようなフォノンスピンや、フォノン軌道角運動量を実験的に見出すことを目的とした。次にこれらのフォノン角運動量状態を「コヒーレントフォノン」として物質内部に励振することを計画した。ある特定のスピンの and/or 軌道的なフォノンモードを選択的かつコヒーレントに強制振動させた場合には、非磁性の試料においてさえもフォノンによる磁気モーメント(磁気分極)を発生させることが可能であると期待される。高強度テラヘルツ波の円偏光や光渦を駆使すれば、光子とフォノンとの対応から、フォノンポラリトン励振によって、フォノン角運動量状態をコヒーレントに準備することができるはずである。大振幅で励振されるコヒーレントフォノンの持つ角運動量(スピン and/or 軌道)の総和は非常に大きくなる。そのため、物質中に電子由来の磁気モーメントや磁気的秩序が存在すれば、これらと強く相互作用することが期待され、フォノン物性の立場から、電気・磁気・スピン・熱デバイス応用に対するまったく新しい原理的アプローチを提案できると考えた。

3. 研究の方法

(1)代表者と分担者の藤井は立命館大学にて自然ラマン散乱の実測を行った。具体的には、図1に示すように、試料に円偏光状態のレーザー光を入射し、後方に散乱される逆回りの円偏光ラマ

入射光と散乱光が円偏光のラマン散乱

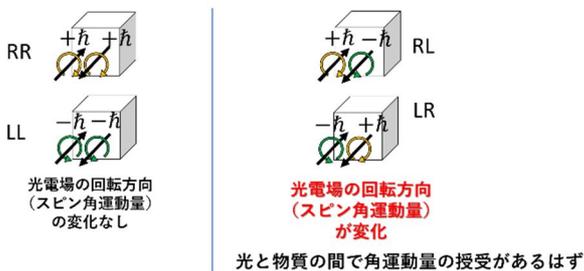


図 1：円偏光ラマン散乱

ン散乱光を検出することを試みた。もし、あるフォノンモードに対してこのラマン過程が許容であれば、入射光子と散乱光子ではスピン角運動量の値が異なることとなり、光子からフォノンに、あるいはフォノンから光子に、角運動量が渡されていることになる。試料としては、代表的なカイラル結晶である水晶を用いた。水晶にはらせん軸が右巻きであるものと左巻きであるもの（鏡像異性体：左水晶・右水晶）が存在し、いずれも良質の単結晶が市販されているため、比較のために左右の水晶を実験に使用した。

(2) 分担者の大野（東北大学）と野竹（石巻専修大）は、主にフォノンポラリトン励振に用いるための光源として、テラヘルツ波の波面制御・位相制御技術の開拓、テラヘルツ波ベクトルビームの発生、および高強度テラヘルツ波パルスの発生と信号光としてのテラヘルツ波の高感度検出技術の開発を担当した。

4. 研究成果

(1) カイラル結晶 水晶におけるフォノン角運動量の選択的観測

水晶における自然円偏光ラマン散乱実験の結果、実際に光子と角運動量を授受するラマン過程が許容となるフォノンモードが多数見いだされた。図 2 のそのうちの 4 つのモードに対するスペクトルを示す。RL および LR は図 2 の右下に示すような入射光と散乱光の円偏光の関係性（変化）を表しており、上段が左水晶、下段が右水晶における結果となっている。いずれの結晶においても、RL と LR では、ピーク位置にわずかな違いが見いだされた。さらに、上段と下段を見比べると、そのずれ方が RL と LR で互いに逆になっていることもわかった。この結果は 2022 年に Ishito らが報告した真のカイラルフォノンの特徴およびフォノンの擬角運動量による説明と一致するものであり、ピーク位置のずれはカイラルフォノンのカイラリティの違いを反映しているものと考えられている。本研究では、水晶において初めて擬角運動量を持つカイラルフォノンを選択的に観測できたと言える。この研究成果は[3]の論文にて発表し、Editor's Suggestion に選出された。

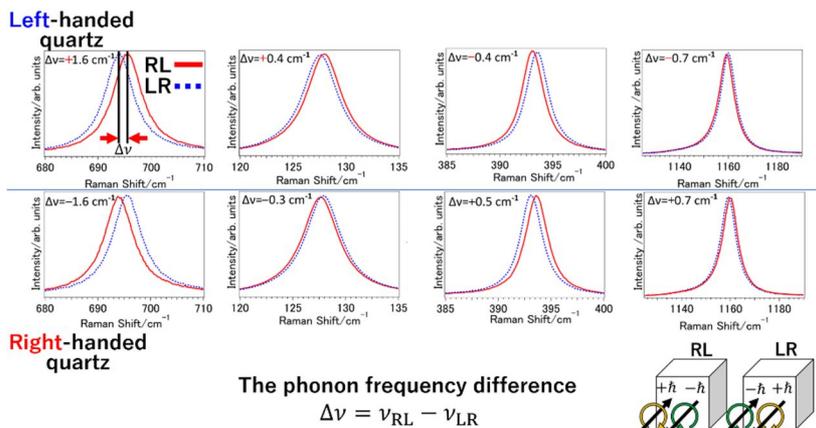


図 2：水晶における円偏光ラマン散乱スペクトル

いっぽう、誘導ラマン過程を用いたコヒーレントフォノンの励振については、熊本大学の小澄大輔准教授の協力のもと、直線偏光したフェムト秒パルスレーザーによるインパルス励起を水晶において実験的に確認できた。しかし、円偏光励起によるカイラルコヒーレントフォノン状態については実験条件を模索している段階で研究期間の終了を迎えた。

(2) テラヘルツ波の技術的開発

テラヘルツ波の波面制御ではモアレ構造による光渦配列の発生や集光光学系に置いたカイラル構造により光がトポロジカルチャージを獲得することなどを実験的に確認した。後進波パラメトリック過程を用いて 0.3Thz 帯のサブテラヘルツ波の超高感度検出やカスケード波長変換に関する基幹技術を確立できた。これらの研究成果は本報告書の「5. 主な発表論文等」にて発表済みである。これらの基幹技術を応用することにより、水晶をはじめとするカイラル結晶におけるカイラルフォノンポラリトンの発生の実現に近づけるものと期待される。

参考文献

[1] L. Zhang and Q. Niu. "Angular Momentum of Phonons and the Einstein-de Haas Effect".

Phys. Rev. Lett., 112(8), 85503, (2014).

[2] Kyosuke Ishito, Huiling Mao, Yusuke Kousaka, Yoshihiko Togawa, Satoshi Iwasaki, Tiantian Zhang, Shuichi Murakami, Jun-ichiro Kishine, and Takuya Satoh. “Truly chiral phonons in α -HgS”. Nature Physics **19**, 35-39 (2023)

[3] Eiichi Oishi, Yasuhiro Fujii, and Akitoshi Koreeda. “Selective observation of enantiomeric chiral phonons in α -quartz”. Phys. Rev. B **109**, 104306 (2024)

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 1件 / うちオープンアクセス 8件）

1. 著者名 Oishi Eiichi, Fujii Yasuhiro, Koreeda Akitoshi	4. 巻 109
2. 論文標題 Selective observation of enantiomeric chiral phonons in -quartz	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 104306
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.109.104306	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 Nema Hirofumi, Fujii Yasuhiro, Oishi Eiichi, Koreeda Akitoshi	4. 巻 16
2. 論文標題 Observation of low-frequency Raman peak in layered WTe2	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Applied Physics Express	6. 最初と最後の頁 115501
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1882-0786/ad03d4	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 Ishida Hiromu, Oishi Eiichi, Fujii Yasuhiro, Koreeda Akitoshi, Satoh Takuya, Ito Toshimitsu	4. 巻 62
2. 論文標題 Brillouin scattering of multiferroic BiFeO3	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SM1014
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/ace5b8	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 Tsukada Shinya, Fujii Yasuhiro, Kanagawa Akari, Akishige Yukikuni, Ohwada Kenji	4. 巻 6
2. 論文標題 Polarization behavior in a compositionally graded relaxor-ferroelectric crystal visualized by angle-resolved polarized Raman mapping	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Communications Physics	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s42005-023-01219-8	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 Iwase Hiroaki, Ohno Seigo	4. 巻 31
2. 論文標題 Direct generation of a terahertz vector beam from a ZnTe crystal excited by a focused circular polarized pulse	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Optics Express	6. 最初と最後の頁 26923-26934
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OE.494366	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 Nishida Mio, Notake Takashi, Takida Yuma, Hirokawa Kenichi, Ohata Nobuo, Minamide Hiroaki	4. 巻 124
2. 論文標題 High-repetition-rate injection-seeded terahertz-wave parametric generation pumped by a 1.5 μm sub-nanosecond laser	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 121105
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0192587	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 Oishi Eiichi, Fujii Yasuhiro, Koreeda Akitoshi, Satoh Takuya, Ito Toshimitsu	4. 巻 61
2. 論文標題 Observation of quasi-elastic light scattering in BiFeO ₃	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SN1021 ~ SN1021
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/ac83cd	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 Okada Kyoko, Kajinami Akihiko, Kugai Fumiko, Obata Seizou, Kato Aimi, Fujii Yasuhiro, Koreeda Akitoshi, Umesaki Norimasa, Sato Keizo, Sakurai Yoshiharu	4. 巻 130
2. 論文標題 Needle-like forms with a few tens of nanometer in diameter and more than a few tens of micrometer length, and specific oxygen state during In-flight glass melting	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of the Ceramic Society of Japan	6. 最初と最後の頁 S1 ~ S6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2109/jcersj2.22021	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 縄田 耕二、瀧田 佑馬、野竹 孝志、南出 泰垂	4. 巻 91
2. 論文標題 バックワード・テラヘルツ波パラメトリック発振におけるカスケード波長変換	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 応用物理	6. 最初と最後の頁 32 ~ 36
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11470/oubutsu.91.1_32	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 Takida Yuma, Nawata Kouji, Notake Takashi, Otsuji Taiichi, Minamide Hiroaki	4. 巻 30
2. 論文標題 Optical up-conversion-based cross-correlation for characterization of sub-nanosecond terahertz-wave pulses	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Optics Express	6. 最初と最後の頁 11217 ~ 11227
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OE.452310	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 Notake T., Iyoda T., Arikawa T., Tanaka K., Otani C., Minamide H.	4. 巻 11
2. 論文標題 Dynamical visualization of anisotropic electromagnetic re-emissions from a single metal micro-helix at THz frequencies	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 3310/1-7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-020-80510-y	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 Zhong Junlan, Nakagawa Shin, Kaczmarska Karolina, Terao Wakana, Grabowska Beata, Fujii Yasuhiro, Koreeda Akitoshi, Kohara Shinji, Tanimoto Hisanori, Tokoro Hiroko, Ohkoshi Shin-ichi, Ko Jae-Hyeon, Duan Yu, Mori Tatsuya	4. 巻 266
2. 論文標題 Investigation of the vibrational density of states of sodium carboxymethyl starch glass via terahertz time-domain spectroscopy	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy	6. 最初と最後の頁 120414 ~ 120414
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.saa.2021.120414	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 Kanagawa Akari, Fujii Yasuhiro, Ohwada Kenji, Akishige Yukikuni, Tsukada Shinya	4. 巻 60
2. 論文標題 Morphotropic phase boundaries of (1-x)Pb(Zn1/3Nb2/3)O3-xPbTiO3 probed by Raman spectroscopy at high temperature	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SFFA04 ~ SFFA04
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/ac0c6d	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 Masai Hirokazu, Fujii Yasuhiro, Kitamura Naoyuki, Yamawaki Masato	4. 巻 576
2. 論文標題 Relationship between the elastic properties and structure of BaO-TiO2-GeO2-SiO2 glasses	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Non-Crystalline Solids	6. 最初と最後の頁 121248 ~ 121248
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jnoncrysol.2021.121248	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 Sasai Ryo, Fujimura Takuya, Sato Hiroaki, Nii Eisaku, Sugata Mako, Nakayashiki Yuto, Hoashi Hirokazu, Moriyoshi Chikako, Oishi Eiichi, Fujii Yasuhiro, Kawaguchi Shogo, Tanaka Hiroshi	4. 巻 95
2. 論文標題 Origin of Selective Nitrate Removal by Ni ²⁺ -Al ³⁺ Layered Double Hydroxides in Aqueous Media and Its Application Potential in Seawater Purification	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Bulletin of the Chemical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 802-812
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/bcsj.20220032	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50件（うち招待講演 10件 / うち国際学会 11件）

1. 発表者名 Yasuhiro Fujii
2. 発表標題 Investigating Anion Exchange Selectivity through Probing Interlayer Molecular Dynamics in Layered Double Hydroxides
3. 学会等名 Joint International Workshop of WFF & WFSM 2024 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Yasuhiro Fujii
2. 発表標題 Spectroscopic investigation on the dynamics of interlayer molecules in layered double hydroxides
3. 学会等名 International Conference on Functional Layered Nanomaterials 2023 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 三国宏樹, 平岡利輝, 倉本卓実, 藤井康裕, 是枝聡肇, 佐藤琢哉
2. 発表標題 磁化補償温度をもつ2副格子フェリ磁性体における磁気共鳴周波数の温度依存性
3. 学会等名 日本物理学会 2024年春季大会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 石田野々花, 藤井康裕, 大石栄一, 是枝聡肇, 藤村卓也, 笹井亮
2. 発表標題 硝酸イオン型Ni/Al-層状複水酸化物に対する重水置換効果
3. 学会等名 日本物理学会 2024年春季大会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 根間裕史, 藤井康裕, 是枝聡肇
2. 発表標題 フラーレンが添加されたプロモアダマンタンの低振動数ラマン分光
3. 学会等名 日本物理学会 2024年春季大会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 是枝聡肇
2. 発表標題 レーザー - 分光とフォノン物理：コヒーレント熱波動～フォノン角運動量
3. 学会等名 レーザー学会学術講演会第44回年次大会（招待講演）
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 N. Ishida, Y. Fujii, S. Ittogi, E. Oishi, A. Koreeda, T. Fujimura, R. Sasai
2. 発表標題 Response of N03-Ni/Al-layered double hydroxide to the ambient humidity
3. 学会等名 International Conference on Functional Layered Nanomaterials 2023（国際学会）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 草野雄伍, 大石栄一, 藤井康裕, 是枝聡肇
2. 発表標題 水晶の円偏光ハイパーラマン散乱
3. 学会等名 日本物理学会 第78回年次大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 岡田貴裕, 大江秀明, 藤井康裕, 是枝聡肇
2. 発表標題 熱波動と音波のファノ干渉
3. 学会等名 日本物理学会 第78回年次大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 石田啓, 藤井康裕, 是枝聡肇, 大石栄一, 佐藤琢哉, 伊藤利充
2. 発表標題 マルチフェロイック物質BiFeO3のブリルアン散乱の温度依存性
3. 学会等名 日本物理学会 第78回年次大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 大江秀明, 岡田貴裕, 藤井康裕, 是枝聡肇
2. 発表標題 SrTiO3における第二音波の結晶方位依存性
3. 学会等名 日本物理学会 第78回年次大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 石田野々花, 藤井康裕, 一藤木聡, 大石栄一, 是枝聡肇, 藤村卓也, 笹井亮
2. 発表標題 硝酸イオン型Ni/Al-層状複水酸化物の湿度変化への応答
3. 学会等名 日本物理学会 第78回年次大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 石田啓, 藤井康裕, 是枝聡肇, 大石栄一, 佐藤琢哉, 伊藤利充
2. 発表標題 マルチフェロイック物質 BiFeO3のブリルアン散乱
3. 学会等名 第40回強誘電体会議
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 大江 秀明, 岡田 貴裕, 藤井 康裕, 是枝 聡肇
2. 発表標題 SrTiO ₃ におけるコヒーレント熱波動の励振
3. 学会等名 第40回強誘電体会議
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Yuma Takida, Mio Nishida, Takashi Notake, Kenichi Hirose, Nobuo Ohata, Hiroaki Minamide
2. 発表標題 1.5- μ m Laser-Pumped Injection-Seeded Terahertz-Wave Parametric Generator With 0.14-mW Average Output Power
3. 学会等名 The 12th Asia-Pacific Laser Symposium (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 野竹孝志
2. 発表標題 非線形光学結晶によるテラヘルツ電磁波の発生と検出
3. 学会等名 核融合科学研究所研究会「ギガヘルツ・テラヘルツ帯電磁波の生成と計測およびプラズマ加熱への適用」
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 大野誠吾
2. 発表標題 テラヘルツ波偏光状態の制御とそれを用いた機能性の創出
3. 学会等名 テラヘルツ波科学技術と産業開拓 第182委員会 最終研究会 (招待講演)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 岩瀬弘明, 大野誠吾
2. 発表標題 非線形分極の縦成分を利用したテラヘルツ波発生の検討
3. 学会等名 第71回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 大野誠吾
2. 発表標題 メタ表面・人工構造を用いた電磁波制御技術
3. 学会等名 R&D・研究開発の技術セミナー（招待講演）
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 大野誠吾
2. 発表標題 トポロジカルテラヘルツ光の発生と物質探査の可能性
3. 学会等名 一般社団法人レーザー学会学術講演会第44回年次大会（招待講演）
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 岩瀬 弘明, 大野 誠吾
2. 発表標題 テラヘルツ時間領域分光・偏光イメージング測定系におけるファイバー温度の安定化
3. 学会等名 シンポジウム「テラヘルツ科学の最先端X」
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 岩瀬 弘明, 大野 誠吾
2. 発表標題 結晶の対称性に伴う実空間トポロジーを利用したTHzベクトルビーム発生法の開拓
3. 学会等名 第70回応用物理学会秋季学術講演会 (招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 大野誠吾
2. 発表標題 幾何学的位相に基づくテラヘルツ光渦発生
3. 学会等名 テラヘルツ光科学の最新トレンド2023 (招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Seigo Ohno, Hiroaki Iwase
2. 発表標題 Observation of Terahertz vector beam generated directly in ZnTe crystal
3. 学会等名 IRMMW-THz 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 大石栄一, 藤井康裕, 是枝聡肇, 佐藤琢哉, 伊藤利充
2. 発表標題 マルチフェロイック物質BiFeO ₃ の広帯域光散乱分光
3. 学会等名 第39回強誘電体応用会議
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 岡田貴裕, 大江秀明, 藤井康裕, 是枝聡肇
2. 発表標題 量子常誘電体における熱波動と LA モードの関係
3. 学会等名 第39回強誘電体応用会議
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kenya Ishida, Yasuhiro Fujii, Akitoshi Koreeda, and Makoto Tachibana
2. 発表標題 Temperature dependence of the quasielastic light-scattering of relaxor ferroelectric (Na ^{1/2} Bi ^{1/2})TiO ₃
3. 学会等名 The 13th Korea Japan Conference on Ferroelectricity (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Hideaki Oe, Takahiro Okada, Hasuhiro Fujii, and Akitoshi Koreeda
2. 発表標題 Temperature and wave-vector dependences of the second sound in SrTiO ₃
3. 学会等名 The 13th Korea Japan Conference on Ferroelectricity (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 平岡利輝, 倉本卓実, 藤井康裕, 是枝聡肇, 佐藤琢哉
2. 発表標題 2副格子LLG方程式を用いた希土類鉄ガーネットのマグノン光散乱の解析
3. 学会等名 日本物理学会 2023年春季大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 大江秀明, 岡田貴裕, 藤井康裕, 是枝聡肇
2. 発表標題 SrTiO ₃ における第二音波の温度および波数依存性II
3. 学会等名 日本物理学会 2023年春季大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Yuma Takida, Kouji Nawata, Takashi Notake, Taiichi Otsuji, Hiroaki Minamide
2. 発表標題 Optical Up-Conversion-Based Cross-Correlation of Terahertz-Wave Pulses
3. 学会等名 CLEO 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kouji Nawata, Yuma Takida, Takashi Notake, Hiroaki Minamide
2. 発表標題 High-dynamic-range nondestructive testing promoted by 200 W peak-power backward terahertz-wave parametric oscillator
3. 学会等名 CLEO PR 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yuma Takida, Kouji Nawata, Takashi Notake, Hiroaki Minamide
2. 発表標題 Injection-seeded backward terahertz-wave parametric oscillators at 0.3 and 0.5 THz bands for nondestructive imaging applications
3. 学会等名 SPIE Photonics Europe 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Seigo Ohno
2. 発表標題 Terahertz vector beam generation via focused pump beam into nonlinear crystals
3. 学会等名 IRMMW-THz 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大野誠吾, 宮本克彦
2. 発表標題 テラヘルツ波面・偏光計測装置の構築と 0.5THz ベクトルビームの測定
3. 学会等名 第83回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大野 誠吾
2. 発表標題 幾何学的位相に基づくTHz波制御素子の開拓
3. 学会等名 令和4年度 日本表面真空学会東北・北海道支部学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 岩瀬弘明, 大野誠吾
2. 発表標題 ZnTe結晶の円偏光励起によるTHzベクトルビームの発生
3. 学会等名 第70回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 倉本卓実, 芦田康平, 藤井康裕, 是枝聡筆, 平岡利輝, 佐藤琢哉
2. 発表標題 磁性ガーネットのマグノンブリルアン散乱
3. 学会等名 日本物理学会第77回年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大石栄一, 藤井康裕, 是枝聡筆, 佐藤琢哉, 伊藤利充
2. 発表標題 マルチフェロイック物質BiFeO ₃ の準弾性光散乱の温度依存性
3. 学会等名 日本物理学会第77回年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 藤井康裕, 大石栄一, 是枝聡筆, 吉瀬みのり, 佐藤琢哉, 伊藤利充
2. 発表標題 共焦点顕微ラマン分光によるピスマスフェライトの磁気ドメインイメージング
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 大石栄一, 藤井康裕, 是枝聡筆, 佐藤琢哉, 伊藤利充
2. 発表標題 BiFeO ₃ におけるマグノンの円偏光ラマンスペクトルの温度依存性
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 門野広大, 藤井康裕, 是枝聡肇
2. 発表標題 タンデム型ファブリーペロー干渉計の新しいオフセットスタビライズ法を用いたリラクサー-PMN-PTの高分解能ブリルアン散乱分光
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 石田拳也, 藤井康裕, 是枝聡肇, 橘信
2. 発表標題 リラクサー強誘電体Na _{1/2} Bi _{1/2} TiO ₃ の準弾性散乱の温度依存性
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 段誉, 藤井康裕, 土屋博之, 気谷卓, 是枝聡肇, 川路均, 中川真, 山本洋平, 森龍也
2. 発表標題 テラヘルツ時間領域分光によるケイ酸ソーダガラスの振動状態密度の評価II
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 中川真, Soo Han Oh, 藤井康裕, 気谷卓, 川路均, 是枝聡肇, Jae-Hyeon Ko, 山本洋平, 森龍也
2. 発表標題 塩化リチウム水溶液の赤外光振動結合定数に関するテラヘルツ分光研究
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 野竹孝志, 北中道大, 縄田耕二, 瀧田佑馬, 南出泰垂
2. 発表標題 後進波パラメトリック過程を用いた300GHz帯電磁波の超高感度検出
3. 学会等名 電子情報通信学会テラヘルツ応用システム研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大野 誠吾, 石原 照也
2. 発表標題 集光光学系においたカイラル構造により獲得する光のトポロジカルチャージ
3. 学会等名 第82回応用物理学会秋期学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大野 誠吾, 南出 泰垂
2. 発表標題 空間と立体的に結合した導波構造の作製と導波モード間の相対位相制御性の実証
3. 学会等名 第69回応用物理学会春期学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大野 誠吾
2. 発表標題 モアレによる光渦配列の発生と波面制御技術への応用
3. 学会等名 時空間光工学研究会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大野 誠吾
2. 発表標題 人工構造の立体性に基づくテラヘルツ波制御
3. 学会等名 電子情報通信学会ED研・THz研研究会（招待講演）
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 藤井康裕ほか，執筆者：63名	4. 発行年 2022年
2. 出版社 技術情報協会	5. 総ページ数 405
3. 書名 ラマン分光スペクトルデータ解析事例集	

〔産業財産権〕

〔その他〕

立命館大学・理工学部 是枝研究室のホームページ https://www.kore-lab.org/ 立命館大学・理工学部・物理科学科のホームページ https://www.phys.ritsumeai.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	藤井 康裕 (Fujii Yasuhiro) (50432050)	立命館大学・理工学部・講師 (34315)	

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	野竹 孝志 (Notake Takashi) (70413995)	石巻専修大学・理工学部・准教授 (31308)	
研究分担者	大野 誠吾 (Seigo Ohno) (70435634)	東北大学・理学研究科・助教 (11301)	

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