

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 4 年 6 月 23 日現在

機関番号：15301

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19H01827

研究課題名(和文)酸化鉄系電子誘電体の精密合成と精密光・誘電応答の研究

研究課題名(英文) Precise study on the optical and dielectric response of the stoichiometric iron based electronic ferroelectrics

研究代表者

池田 直 (IKEDA, NAOSHI)

岡山大学・自然科学学域・教授

研究者番号：00222894

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究によって、電子強誘電体物質が常温に安定に実在することを、世界で初めて示すことができた。更に研究の進展により、この電子相は薄膜試料に存在することも世界で初めて示すことができた。電子強誘電体の電子分布だけで構成される電気分極は、今まで知られている変位型強誘電体のそれに比べ、著しく高速に応答することが期待されていたが、本研究により世界で初めて超高速応答を見出すことができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

電子型強誘電体は、電子応答だけが誘電応答を示すため、既存の強誘電体に比べ、3桁程度早く、また低エネルギーで応答することが可能であると期待されている。本研究によるその実在の確認は、現状に比べ情報密度や省エネルギー性が3桁向上した、将来の超高速情報通信社会形成のために、重要な基盤材料を提示できたと考えられる。

この材料が産業利用に整合するためには、多くの精査が必要であろうが、本研究はその第一歩となった。

研究成果の概要(英文)：This research has demonstrated for the first time in the world that an electron ferroelectric material exists stably at room temperature. Furthermore, we were able to show that this electronic phase also exists in thin film samples. The electric polarization consisting of only the electron distribution in the electron ferroelectric material is expected to respond significantly faster than that in the displacement-type ferroelectric material, which has been known until now.

A new dielectric relaxation analysis method using single crystals was developed for the electric polarization of electronic ferroelectrics, which inevitably involves the electric resistivity. As a result, we were able to experimentally show for the first time that in fine charge-ordered domains, charge-ordered nanoregions with larger capacitance have higher electrical resistance.

研究分野：誘電体

キーワード：電子強誘電体 RFe2O4 LuFe2O4 YbFe2O4 YFe2O4

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

近未来の電子回路技術に必要な、超高周波回路や超小型誘電体材料に対応した、新たな強誘電体の開発として、我々が世界に先駆けて発見した電子強誘電体を持つ新奇で高速な誘電特性の解明・開拓を行うことを目的とした。

電子強誘電体は今までの強誘電体と異なり、イオン変位ではなく電子の偏った分布から強誘電性が現れるため、超高速動作や、省エネルギー動作が期待された。本研究において、精密結晶合成技術と超高速光応答測定技術を駆使し、電子型強誘電体を持つ新奇で高速な誘電特性の解明・開拓を行うことができた。

2. 研究の目的

結晶中の電子分布が双極子を形成する電子強誘電体は、分極形成の起源が格子変位にない新しいタイプの誘電体である。複電荷鉄化合物 $R\text{Fe}_2\text{O}_4$ (R: 希土類) は室温より高い相転移温度や磁性との共存がある電子強誘電体候補としてこの 10 年間世界的な研究が行われたが、統一した結論がなかった。

我々は、イオン欠陥の精密制御により初めて化学当量の正確な単結晶合成に成功し、第 2 次高調波という強誘電性を示す結果を世界で初めて報告することができた。本研究では、良質な結晶合成技術をベースに鉄欠損量や希土類イオンを系統的に制御した一連の試料を合成し、それらの基礎誘電特性、磁気特性、および高速レーザ光源を駆使した非線形光学特性や電子遷移にともなう高速分光を遂行し、電子型強誘電体にこそ期待される新奇な誘電特性の解明・開拓を行うことを目的とした。

3. 研究の方法

結晶成長手法については、校正された蛍光 X 線分析手法を開発し、結晶成長を安定化させ単結晶合成条件を精密に求めた。得られた単結晶が示す誘電緩和特性を、新たに逆インピーダンス分光法で評価する技術を開発した。単結晶が持つ電荷秩序構造について、非線形光学応答や X 線回折実験により確認評価を行った。単結晶育成技術は薄膜材料合成にもフィードバックされ、良質な単結晶薄膜の合成を可能とした。

低温スピン構造とその相転移について、磁化測定に加え、中性子回折実験を行い評価した。中性子回折実験は、米国テネシー州のオークリッジ国立研究所の原子炉を用いた。中性子回折により、スピン構造が電荷秩序構造と密接に相関することを確認した。

非線形光学応答実験は、時間分解手法も行われ、電子強誘電体固有の超高速応答の存在を見出すことができた。良質な単結晶薄膜においても、非線形光学特性や SHG 応答を確認し、電子強誘電性が 100nm の薄膜にも存在することを確認できた。

4. 研究成果

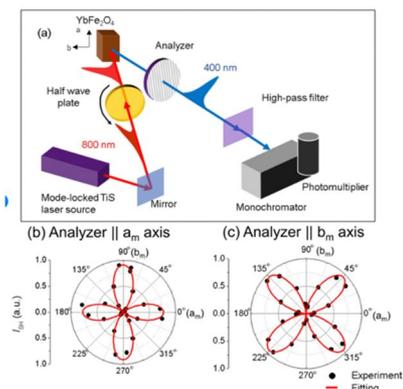
本研究により、電子強誘電体物質が常温に安定に実在することを、世界で初めて提示することができた(論文発表 2 件、国際会議 4 件、国内学会発表 2 件)。このうち、K. Fujiwara, et al., *Scientific Reports*, 2021, 11(1), 4277 の論文は、右図に示すような、SHG 信号の異方性テンソルの解析によって、電荷秩序超格子の空間群を決定するものとなった。この信号の温度変化を中性子回折実験で追跡し、この超格子構造が、電気分極を持つ電子秩序構造の秩序変数となることを確かめることができた。

この成果はいくつかのメディア広報が行われた。特に、[Scientific Reports 誌の editors choice](#) に選定された。

また良質な単結晶薄膜合成において、化学当量性を、Rf スパッタ法で精密に制御する技術を開発し、その結果世界で初めて、常温で極性な電荷秩序を示す、薄膜材料の合成に成功した。この結果は、論文発表 1 件、国内学会 3 件で発表した。

これらの結果、良好な単結晶材料の合成が可能になったために、電子強誘電体の特異な応答の研究が行われた。

そのうちたとえば、電子分布だけで構成される電気分極は、今まで知られている変位型強誘電体のそれに比べ、著しく高速に応答することが期待されていた。この着目点に基づき、単結晶試料の THz 電磁波への応答の調査が開始された。その結果、psec スケールでの超高速応答を確認することができた。注目すべきは、この時間スケールでの THz 波応答が、かつて見られたどの



材料よりも飛躍的に大きなことである。時間分解 SHG 観測も実施された結果、この応答は、psec スケールで、電子が集団的に応答していることが明らかとなった。こういった現象は今まで知られておらず、現在、理論グループも合流して詳細な解析が行われている。この結果は速報として、国際会議 1 件、国内学会 3 件に報告した。

さらに電子強誘電体の磁場応答について、精密観測が行われた。電子の極性な分布に起源を持つ電気分極では、電気抵抗率を必然的に持つと考えられるが、これについて、精密な解析方法を考案し解析した。新しい誘電緩和解析方法では、逆インピーダンス法という技術を用いた解析が有効であることを示した。この解析においては、対数正規分布を持つ緩和時間分布と、誘電緩和が示すコール円の形状の関連について、初めて解析的な説明を報告することができた。これは誘電緩和解析技術の発展において重要な結果となったと考えている。これらの解析の結果、微細な極性な電荷秩序ドメインは、静電容量が大きい電荷秩序ナノ領域ほど高い電気抵抗を持つということを実験的に初めて明らかにすることができた。この結果は論文 3 件、国際会議 3 件、国内学会 3 件に報告した。このうち Yukimasa Fukada and Naoshi Ikeda, *J. Phys. Soc. Jpn.* 90, 113705 (2021)は、日本物理学会欧文誌の 2021 年 10 月の Most Downloaded Article に選ばれた。

このように本研究において、電子型強誘電体の実在が確定し、さらに電子強誘電体が生ずると期待されている新物性が、多く明らかにすることができた。こういった電子型強誘電性においては、内部電場と電子分布が相関した新たな物性とそのダイナミクスが期待されている。一方で通常の強誘電体においても、そのような、電気分極を持つ内部電場とそれに相関する新たな物性という着目点は、実はまだ未開拓な領域が多い。このため我々は変位型強誘電体を取り上げ、その電気分極によって引き起こされるバンド構造の傾斜や、接合金属ナノ粒子の電位挙動などを明らかにする研究も遂行した。これは論文発表 3 件、国内学会 3 件として発表している。

こういった一連の興味深い電子強誘電性が現れる RFe_2O_4 系は、三角格子上の電荷間相互作用が競合することで、極性な電荷秩序形成の駆動力となると理解されている。こういった、電子強誘電性形成のメカニズムそのものを制御する方法を探る試みを行った。その結果、Li イオンの電気化学的ドーピング方法を着想し、実際に Li イオンドーピングで Fe^{2+} と Fe^{3+} の比を制御できることを実験的に確かめることができた。この成果は、論文発表 1 件、学会発表 3 件として報告した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計10件（うち査読付論文 10件／うち国際共著 1件／うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Fukada Yukimasa, Fukuyama Ryota, Fujiwara Kosuke, Yoshii Kenji, Shigematsu Kei, Azuma Masaki, Ikeda Naoshi	4. 巻 90
2. 論文標題 Analysis of Glass Behavior of Lu ₂ Fe ₃ O ₇ with Distributed Equivalent Circuit Model	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of the Physical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 024710 ~ 024710
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.90.024710	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 Fujiwara K., Fukada Y., Okuda Y., Seimiya R., Ikeda N., Yokoyama K., Yu H., Koshihara S., Okimoto Y.	4. 巻 11
2. 論文標題 Direct evidence of electronic ferroelectricity in YbFe ₂ O ₄ using neutron diffraction and nonlinear spectroscopy	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 4277-7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-021-83655-6	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 Fujii Saya, Kano Jun, Oshime Norihiro, Higuchi Tohru, Nishina Yuta, Fujii Tatsuo, Ikeda Naoshi, Ota Hiromi	4. 巻 129
2. 論文標題 Light reflectance and photoelectron yield spectroscopy enable acceptor level measurement in p-type Ba _{1-x} Ti ₃ semiconductor	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 084105 ~ 084105
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0033761	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 Oshime Norihiro, Kano Jun, Ikenaga Eiji, Yasui Shintaro, Hamasaki Yosuke, Yasuhara Sou, Hinokuma Satoshi, Ikeda Naoshi, Janolin Pierre-Eymeric, Kiat Jean-Michel, Itoh Mitsuru, Yokoyama Takayoshi, Fujii Tatsuo, Yasui Akira, Osawa Hitoshi	4. 巻 10
2. 論文標題 Skewed electronic band structure induced by electric polarization in ferroelectric BaTiO ₃	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 10702-7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-020-67651-w	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 Fukaya Ryo, Yamaya Nao, Ishikawa Tadahiko, Koshihara Shin-ya, Okimoto Yoichi, Onda Ken, Isayama Akira, Sasagawa Takao, Horigane Kazumasa	4. 巻 22
2. 論文標題 Picosecond dynamics in layered cobalt perovskites studied by time-resolved Raman spectroscopy	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Comptes Rendus. Physique	6. 最初と最後の頁 1~8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5802/crphys.35	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 Yu Hongwu, Takubo Kou, Ishikawa Tadahiko, Koshihara Shin-ya, Hada Masaki, Asaka Toru, Ozawa Keita, Shigematsu Kei, Azuma Masaki, Okimoto Yoichi	4. 巻 89
2. 論文標題 Ultrafast Nonlinear Spectroscopy in (111) Oriented Bismuth Ferrite Oxide	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of the Physical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 063401 ~ 063401
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.89.063401	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 Nishikubo Takumi, Ogata Takahiro, Venkataraman Lalitha Kodumudi, Isaia Daniel, Pan Zhao, Sakai Yuki, Hu Lei, Kawaguchi Shogo, Machida Akihiko, Watanuki Tetsu, Yu Hongwu, Okimoto Yoichi, Koshihara Shin-ya, Mori Shigeo, Rudel Jorgen, Azuma Masaki	4. 巻 33
2. 論文標題 Polarization- and Strain-Mediated Control of Negative Thermal Expansion and Ferroelasticity in BiInO3-BiZn1/2Ti1/2O3	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Chemistry of Materials	6. 最初と最後の頁 1498 ~ 1505
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.chemmater.0c04049	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 Fukuda Masayuki, Nishikubo Takumi, Pan Zhao, Sakai Yuki, Zhang Mao-Hua, Kawaguchi Shogo, Yu Hongwu, Okimoto Yoichi, Koshihara Shin-ya, Itoh Mitsuru, Rudel Jorgen, Azuma Masaki	4. 巻 59
2. 論文標題 Enhanced Spontaneous Polarization by V4+ Substitution in a Lead-Free Perovskite CaMnTi2O6	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Inorganic Chemistry	6. 最初と最後の頁 11749 ~ 11756
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.inorgchem.0c01697	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 Fujiwara Kosuke, Karasudani Tomoyuki, Kakurai Kazuhisa, Lee Wai Tung, Rule Kirrily C., Studer Andrew J., Ikeda Naoshi	4. 巻 88
2. 論文標題 Stabilization of Spin and Charge Ordering in Stoichiometric YbFe2O4	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of the Physical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 044701 ~ 044701
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.88.044701	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 Murase S., Yoshikawa Y., Fujiwara K., Fukada Y., Teranishi T., Kano J., Fujii T., Inada Y., Katayama M., Yoshii K., Tsuji T., Matsumura D., Ikeda N.	4. 巻 162
2. 論文標題 Valence control of charge and orbital frustrated system YbFe2O4 with electrochemical Li+ intercalation	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Physics and Chemistry of Solids	6. 最初と最後の頁 110468 ~ 110468
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jpcs.2021.110468	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25件 (うち招待講演 3件 / うち国際学会 13件)

1. 発表者名 H. Yu, K. Takubo, T. Ishikawa, S. Koshihara, Y. Fukada, R. Seimiya, G. Nishida, N. Ikeda, K. Fujiwara, R. Ohta, T. Sakagami, T. Fujii, A. Kishida, H. Itoh, S. Iwai, and Y. Okimoto
2. 発表標題 Electronic ferroelectric LuFe2O4 crystal Time-resolved SHG measurement
3. 学会等名 MRM2021, Dec 16, (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Naoshi Ikeda, Kosuke Fujiwara, Hongwu Yu, Yukimasa Fukada, Tatsuo Fujii, Yoichi Okimoto
2. 発表標題 Electronic Ferroelectricity from the Polar Charge Ordering of RFe2O4
3. 学会等名 MRM2021, Dec 16, (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kosuke Fujiwara, Yukimasa Fukada, Ginichi Nishida, Yohei Okuda, Naoshi Ikeda, Kazuhisa Kakurai, Matthias Frontzek
2. 発表標題 Short-Range Spin Ordering near Room Temperature in Stoichiometric LuFe2O4
3. 学会等名 MRM2021, Dec 16, (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 H. Yu, Y. Fukada, R. Kiyomiya, N. Ikeda, H. Itoh, S. Iwai, T. Ishikawa, S. Koshihara, and Y. Okimoto
2. 発表標題 Time-resolved Nonlinear Spectroscopy of the Electronic Ferroelectric iron oxide Lu Fe2O4
3. 学会等名 Photoinduced Phase Transitions and Cooperative Phenomena, 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 于洪武, 田久保耕, 石川忠彦, 腰原伸也, 藤原孝将, 深田幸正, 西田銀一, 池田直, 沖本洋一
2. 発表標題 電子強誘電体Lu Fe2O4結晶の時間分解SHG測定
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 藤原孝将, 清宮僚人, 深田幸正, 西田銀一, 亀井朝日, 鈴木孝義, 池田直
2. 発表標題 化学当量的なYFe2O4の特異な電荷秩序相の発見
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 于洪武, 田久保耕, 石川忠彦, 腰原伸也, 阪上拓巳, 大田怜佳, 藤井達生, 深田幸正, 藤原孝将, 池田直, 沖本洋一
2. 発表標題 電子強誘電体YbFe2O4薄膜結晶の非線形光学測定
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 深田幸正, 西田銀一, 藤原孝将, 狩野旬, 藤井達生, 池田直
2. 発表標題 緩和時間分布を考慮したLuFe2O4の磁場中逆容量解析
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 藤原孝将, 深田幸正, 清宮僚人, 亀井朝日, 鈴木孝義, 池田直
2. 発表標題 鉄欠損抑制によるRFe2O4 (R=Yb, Lu)の3次元電荷秩序温度の向上
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LuFe2O4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 R. Seimiya, K. Yu, Y. Okimoto, C. Kojima, Y. Fukada, K. Fujiwara, K. Kakurai, N. Ikeda
2. 発表標題 Low-temperature phase transition of YFe ₂ O ₄ single crystal of low iron deficiency
3. 学会等名 第30回 日本MRS年次大会 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 K. Sato, K. Nobuoka, Y. Aoyagi, Y. Fukada, M. Mori, Y. Nishina, J. Kano and N. Ikeda
2. 発表標題 Synthesis of Carbon Nano Walls from Solid Carbon with Gas Induced Plasma
3. 学会等名 第30回 日本MRS年次大会 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 藤井 沙耶, 狩野 旬, 那須 駿平, 押目 典宏, 藤井 達生, 池田 直, 太田 弘道
2. 発表標題 Ba欠損を導入した強誘電体BaTiO ₃ のバンド構造
3. 学会等名 金研ワークショップ, 強誘電体関連物質の機能発現に関する構造科学の新展開
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大内崇弘, 糸島 遼, 中西 真, 狩野 旬, 藤井達生, 池田 直
2. 発表標題 スパッタ法による YbFe ₂ O ₄ /Fe ₃ O ₄ 多層膜の作製
3. 学会等名 ヤングセラミスト・ミーティングin 中四国
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中井一樹、吉木幸宏、中西 真、狩野 旬、藤井達生、池田 直
2. 発表標題 YbFe204 のリチウムイオンドーブ効果
3. 学会等名 ヤングセラミスト・ミーティングin 中四国
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Naoshi Ikeda
2. 発表標題 Successive Charge Ordering, Polar Charge Order and Electronic Ferroelectricity in Mixed Valences Iron Compound RFe204
3. 学会等名 Seminar of Universidad de Sonora (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Y. Aoyagi, M. Yokoyama, K. Sato, M. Kobata, A. Tominaga, N. Shimode, A. Yoshigoe, S. Yamaguchi, M. Mori, Y. Nishina, J. Kano and N. Ikeda
2. 発表標題 Electric Properties of Doped Carbon Nanowalls with the Microwave PVD Method
3. 学会等名 29th annual meeting of Material Research Society of Japan (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 R. Seimiya, K. Yu, Y. Okimoto, Y. Satake, Y. Fukada, K. Fujiwara, N. Ikeda
2. 発表標題 Low-Temperature Phase Transition of Stoichiometric YFe204 Single Crystal
3. 学会等名 29th annual meeting of Material Research Society of Japan (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Y.Fukada, R. Fukuyama, K. Fujiwara, K. Yoshii and N. Ikeda
2. 発表標題 The analysis of physical property of Lu ₂ Fe ₃ O ₇ using impedance spectroscopy
3. 学会等名 29th annual meeting of Material Research Society of Japan (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 阪上 拓巳, 西村 和泰, 中西 真, 狩野 旬, 池田 直, 藤井 達生
2. 発表標題 スパッタ法による YbFe ₂ O ₄ /Fe ₃ O ₄ 多層膜の作製と磁気特性
3. 学会等名 粉末冶金協会2019 年度秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 S. Murase, Y. Yoshikawa, K. Fujiwara, Y. Fukada, T. Teranishi, J. Kano. T. Fujii, Y. Inada, M. Katayama, K. Yoshii, T. Tsujii, D. Matsumura and N. Ikeda
2. 発表標題 Valence Control of Charge and Orbital Frustrated System YbFe ₂ O ₄ with Electrochemical Li ⁺ intercalation.
3. 学会等名 International conference on Strongly Correlated Electron Systems 2919 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yukimasa FUKADA, Kenji YOSHII, Kosuke FUJIWARA, Naoaki HAYASHI, Tatsuo FUKUDA, Masaichiro MIZUMAKI, Kei SHIGEMATSU, Masaki AZUMA, Masayasu TAKEDA, and Naoshi IKEDA
2. 発表標題 Magnetic and Dielectric Properties of Lu ₂ Fe ₃ O ₇
3. 学会等名 International conference on Strongly Correlated Electron Systems 2919 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 深田幸正, 吉井賢資, 藤原孝将, 福山諒太, 池田直
2. 発表標題 インピーダンス分光法を用いたRFe2O4系の電気磁気相関現象の解析
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 于洪武, 横山景祐, 石川忠彦, 腰原伸也, 沖本洋一, 深田幸正, 藤原孝将, 清宮僚人, 池田直
2. 発表標題 電子強誘電体LuFe2O4の非線形分光測定
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 Naoshi IKEDA
2. 発表標題 Recent research progress on the electronic ferroelectric material RFe2O4
3. 学会等名 ISEAS-VII, workshop on frontiers in material sciences, Tamkang university (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〕

<p>室温で結晶内の電子秩序が強誘電性を生み出すことを発見 - 超高速電子材料の実現へ - https://www.okayama-u.ac.jp/tp/release/release_id812.html 室温で結晶内の電子秩序が強誘電性を生み出すことを発見 https://www.titech.ac.jp/news/2021/049042.html https://journals.jps.jp/page/jpsj/most_downloaded_2021_10 https://www.nature.com/collections/jbdaihgidg</p>

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	沖本 洋一 (OKIMOTO YOUICHI) (50356705)	東京工業大学・理学院・准教授 (12608)	

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