

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 27 日現在

機関番号：82110

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23350071

研究課題名(和文) マルチフェロイック鉄酸化物電子強誘電体の応用へ向けた新規相探索

研究課題名(英文) Search for a new phase of multiferroic ferroelectric RFe2O4 aimed at practical applications

研究代表者

吉井 賢資 (Yoshii, Kenji)

独立行政法人日本原子力研究開発機構・原子力科学研究部門・量子ビーム応用研究センター・研究主幹

研究者番号：90354985

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 8,600,000円、(間接経費) 2,580,000円

研究成果の概要(和文)：代表者らが発見した電子強誘電体RFe2O4(R：希土類)につき、室温でのマルチフェロイック性の発現を目指して研究を行った。元素置換等では、本系の磁気転移温度は250Kから大きくは変動しなかった。しかし、関連物質R2Fe3O7を合成したところ、転移温度が20K高い270Kであることが判明し、更なる転移温度上昇へのヒントが得られた。また、磁化の安定化である交換バイアスや、電流印加による磁気異方性の増大など、応用可能性を示唆する結果も得られた。

研究成果の概要(英文)：In search of multiferroicity at room temperature, we have conducted the research work on electronic ferroelectric RFe2O4 (R: rare earths). The magnetic transition temperature was not drastically changed by a few kinds of attempts, such as R- and Fe-sites substitutions. However, it was found that the related system R2Fe3O7 shows a magnetic transition at 270 K, which is 20 K higher than that of RFe2O4. As R2Fe3O7 was reported to be ferroelectric at room temperature, this system is multiferroic below 270 K. This result offers a possible increase in transition temperature up to room temperature. In addition, we have revealed several new phenomena of RFe2O4, such as exchange bias and enhancement anisotropy induced by electrical current, which may be used to fabricate new multiferroic devices.

研究分野：機能物質化学

科研費の分科・細目：電気・磁氣的機能

キーワード：マルチフェロイック 室温動作素子 電子強誘電体 磁気転移温度 交換バイアス

1. 研究開始当初の背景

2005年に我々は、希土類-鉄酸化物 $R\text{Fe}_2\text{O}_4$ (R : 希土類)が、新規な機構で強誘電体となることを見出した。この物質は構成イオンが各々三角格子構造を持って積層する2次元構造を有する。鉄は平均価数 $\text{Fe}^{2.5+}$ を持つため Fe^{2+} と Fe^{3+} が等量存在する。 Fe^{2+} と Fe^{3+} は330Kにおいて、長周期の電荷整列状態を発現する。この状態は、隣り合う三角格子間で電荷の不均一分布状態を有するため電気双極子を伴い、結果的に強誘電性を発生する。この強誘電性の機構は、通常見られるイオン変位型とは異なる新規なものである。また応用的には、イオンと比べ遙かに軽い電子に由来する強誘電性であることから、高速なメモリ素子の開発可能性を提示する。

この系の更なる特徴としては、250K以下で Fe^{2+} と Fe^{3+} のスピンのフェリ磁性に整列することが挙げられる。すなわち、この温度以下で強誘電性と磁気秩序が共存するマルチフェロイック状態となる。このような系は、磁場による誘電性の制御ができるなどの特徴を持ち、新規なメモリ素子の開発可能性があることから、世界中で盛んに研究されている。

2. 研究の目的

この系のマルチフェロイック温度は上記の通り室温直下 250K であるが、応用を考えた場合、磁気転移温度が高いほうが好ましい。このことを鑑み、本系の磁気転移温度を上昇させることを目的に探索研究を行う。このため、元素置換や高温高压合成、薄膜化といった手法を用いる。

$R\text{Fe}_2\text{O}_4$ では、 R サイトを置換すると物性が変化する。即ち、 R^{3+} を大きくすると磁気転移温度が上昇する傾向を持つ。 R^{3+} を大きくすると a 軸は伸び c 軸方向は縮まる異方的な化学的圧力が加わるが、これを模擬するため、 c 軸方向に物理的圧力を印加し物性測定を行うことも試みる。さらに応用を意識し、物性の制御を行う目的で、 R 置換による化学的圧力下での物性変化についての知見を得る。

$R\text{Fe}_2\text{O}_4$ には $R\text{FeCuO}_4$ 等の Fe サイト置換系が存在する。これらの系は、母体物質に比べ電気抵抗率が高くエネルギー損失が少ない利点があるため、これらの物質についても新規相探索を行い、さらにエネルギー損失の少ない相の合成を試みる。

置換系ではないが関連系として、 Fe 三角格子挿入系も合成する。 $R\text{Fe}_2\text{O}_4$ は、一般式 $R_n\text{Fe}_{2n}\text{O}_{3n+1}$ で表される系であり $n=1$ に相当する。本系で $n \geq 1$ の系では、 Fe の三角格子が余分に挿入された構造を持つが、物性の報告例は少ない。そこでこれらの系の合成や物性測定も行う。

3. 研究の方法

(1)試料合成

上述通り R^{3+} を大きくすると磁気転移温度

が上昇する傾向があるため、最も大きい R^{3+} を含む系 YFe_2O_4 に、更に大きい希土類 (Dy より原子番号の小さい希土類)を置換することを第一に試行する。試料合成は、これまで行ってきた常圧下の還元固相反応法を中心に、高圧合成法やパルスレーザー体積法を用いた薄膜法も試行する。

これと同様の方法で、 $R\text{FeCuO}_4$ 等の置換系や $R_n\text{Fe}_{2n}\text{O}_{3n+1}$ も合成する。作製した試料は、所有する粉末 X線回折(XRD)測定によって単相か否かを判断する。さらに、所有する磁化測定装置に本予算で購入する高圧セルを用いて高圧下磁化測定を行う。また、本予算で購入した誘電率測定装置で誘電率測定を行う。

(2)放射光吸収分光測定

本系では、 R サイトの他希土類置換を試みる。試料の純良性の判断は、 $\text{Cu-K}\alpha$ 線を用いた粉末 XRD 測定により行う。しかしながら、この測定では、不純物が存在する場合、その体積分率が 10% 以下程度は検出できない可能性がある。即ち、XRD パターンが見かけ上 $R\text{Fe}_2\text{O}_4$ 相の単相であっても、導入した希土類イオンが別の不純物相に入っている可能性もある。このため、放射光を用いた吸収分光(EXAFS)により、置換した希土類イオン周囲に特化した局所構造を求める。

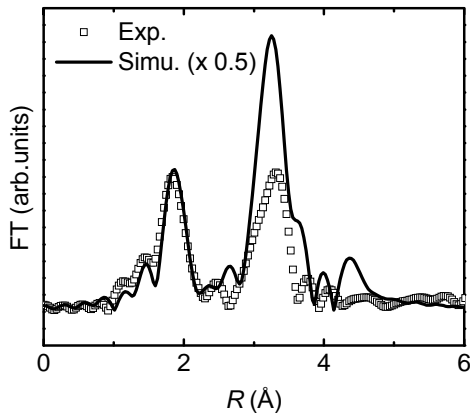
測定は、代表者らが所属する日本原子力研究開発機構が SPring-8 で所有する放射光ビームライン BL14LB1 にて行う。置換した希土類の L_3 吸収端(7-8 keV)において、試料の光吸収を測定することで、それら希土類周囲の配位元素と配位数といった局所構造の情報を得る。これをシミュレーションと比較し、置換元素が実際に $R\text{Fe}_2\text{O}_4$ 構造の中に存在するかどうかを判断する。

4. 研究成果

(1) $R\text{Fe}_2\text{O}_4$ の磁気転移温度の高温化

上記の通り YFe_2O_4 の Y^{3+} を、更にイオン半径の大きい Gd^{3+} - Dy^{3+} に置換した。常圧下における固相反応により合成を行ったところ、 $\text{CO}:\text{CO}_2$ 比 1:3-5 近傍において、 $R\text{Fe}_2\text{O}_4$ 構造を持つ試料が合成された。しかし XRD 測定から見たところ、他の希土類が固溶する範囲は、 Y の 10-20%であった。上述の通り、XRD 測定は、不純物の体積分率が 10%以下程度は、検出できない可能性がある。即ち、導入した希土類イオンが別構造を持つ不純物相に入っている可能性がある。

そこで図の通り、放射光 EXAFS 測定により希土類イオン周囲の局所構造を求めた。データの一つを図に示す。 Dy-L_3 吸収端において、スペクトルを測定し、そのフーリエ変換を示したものである(Exp.)。これは、 Dy イオンからのある距離に、周囲元素がどれぐらい存在するかを示す。実線は、 Dy が $R\text{Fe}_2\text{O}_4$ 構造に含まれるとしたときの再現シミュレーションである。



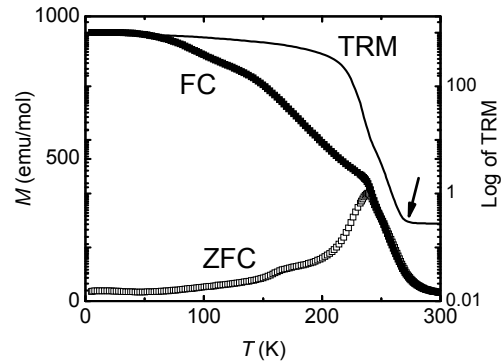
2Å 付近の第一ピークは Y の周囲の第一隣接 O に由来するものであり、3.5Å の第二ピークは第 2 隣接の O に由来する。シミュレーションは、強度にずれはあるものの、実験データの傾向を定性的に再現しており、大きな希土類 Dy^{3+} は実際に Y^{3+} サイトに入っていることを示す。これらの実験は、 $R=Gd, Tb$ においても行い、同様の結果を得た。

得られた試料につき、磁化測定を行ったところ、 $R=Dy$ のみで、磁気転移温度が数度程度上昇している傾向が見られた。誘電性については、これまで報告した RFe_2O_4 と大きな変化はなく、室温で 1000-10000 程度の誘電率が観測された。これらのデータについては、2014 年の国際会議等で発表する予定である (ICTMC-19)。

磁気転移温度上昇の試みとしては、高压合成や薄膜作製も行ったが、いずれも RFe_2O_4 相は得られなかった。また GPa 程度の物理的圧力下での磁化測定を行い磁気転移温度の上昇を試みたが、有意な変化は見られていない。さらに、 $RFeCuO_4$ 等の Fe サイト置換系についても新規相探索の目的で Fe サイトに Cu を多く置換するなど試みたが、現在のところ単相試料は得られていない。

(2) 関連系 $R_2Fe_7O_{17}$ の高い磁気転移温度

一般式 $R_nFe_{2n}O_{3n+1}$ で表される $n=2$ である $R_2Fe_3O_7$ を合成した ($R=Yb, Lu$)。合成は RFe_2O_4 同様、還元雰囲気中での固相反応である。CO:CO₂ 比が 1:20 程度の場合、 $R_2Fe_3O_7$ が単相で得られた。試料の磁化測定を行ったところ、磁気転移温度が $n=1(RFe_2O_4)$ に比べ 20K 程高い、270K であることが分かった。図は $Lu_2Fe_3O_7$ の磁化データである。FC, ZFC, TRM は磁場中冷却、無磁場中冷却、熱残留磁化である。TRM の屈曲点である矢印が 270K の磁気転移温度を示す。交流磁化率測定から、 RFe_2O_4 同様、強磁性 (FM) 相互作用と反強磁性 (AFM) 相互作用が共存していることも分かった。なお、過去の論文から、 $R_2Fe_3O_7$ は室温で強誘電性を示すことが報告されているので、この物質は 270K 以下でマルチフェロイックである。誘電性は RFe_2O_4 と同様、室温での誘電率が 1000-10000 程度であり、活性化エネルギーなどの解析から、 RFe_2O_4 類似の Fe

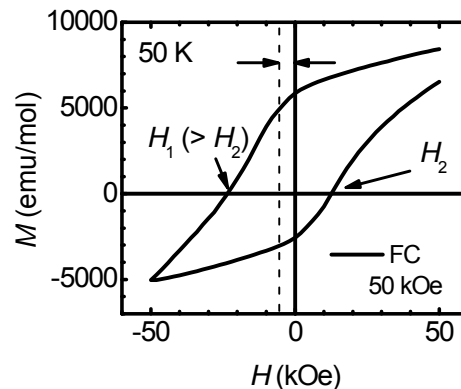


イオンの電荷秩序由来の誘電性であると示唆された。

なお本結果は、上記一般式において、 n を更に大きくすると磁気転移温度も更に上昇することを示唆しており、今後この方向で研究を継続する。

(3) 新物性と物性制御

本研究では、興味深い新現象を見出した。図は、 $YbFe_2O_4$ について、外部磁場 50kOe 中で測定温度まで冷却した後に測定した、磁化—磁場 (MH) 曲線である。縦点線の通り、ヒステリシスループの中心が左にずれている。これは、交換バイアス効果と呼ばれる現象で、磁化の安定化に利用される、応用的に重要な現象である。ループのずれは 5kOe 近傍と、これまでに報告された様々な系の中でも大きい値を持っており、磁化が強力に安定化されていることを示す。

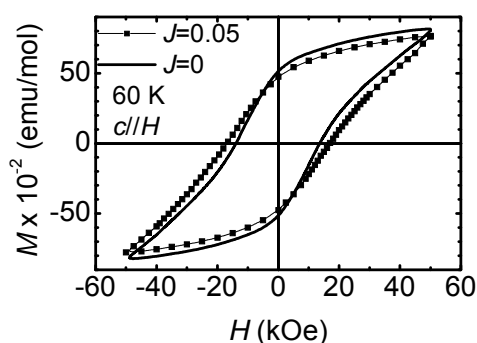


本現象につき、 R を様々に変えて測定を行ったところ、イオン半径を小さくするほど交換バイアスが大きくなる、即ち、ループの左方向へのずれが大きくなることも見出した。イオン半径を小さくすると a 軸は縮まり、 c 軸方向は伸びる化学的圧力が加わる。よってこの結果は、本系の物性を化学的に制御できることを示し、他の物性への展開を示唆する。

交換バイアスは、FM と AFM の 2 種類の磁気ドメインの存在に由来することから、上述通り、FM 相互作用と AFM 相互作用の共存を示す。この状況は、近年報告されている、複雑な磁気相の存在と一致すると共に、さらに隠された相の存在をも示唆する。交換バイア

スは $R_2\text{Fe}_3\text{O}_7$ でも観測され、鉄三角格子の存在が本質的であることが分かった。

FM-AFM ドメインの共存は、電流印加冷却後の磁性の変化からも観測された。YbFe₂O₄ 単結晶において、磁気転移温度近傍 200-250K のみで $J \sim 0.05$ mA/mm² の微弱電流を印加し、さらに低温に冷却すると、磁化が 10-20% 減少する。これと共に、抗磁力が 10-20% 増強する（下図 $J=0.05$; $J=0$ は電流無しの場合）。この現象の起源として、抗磁力の大きい反強磁性ドメインの体積分率が強磁性ドメインのそれより大きくなったことが考えられる（J.Phys.Soc.Jpn.印刷中）。本現象は、交換バイアスのように磁場印加するのではなく、電流印加によって磁気異方性を増強する新しい手法であり、物理的摂動により磁性が制御できることを示す。



$R\text{Fe}_2\text{O}_4$ の物性測定からは、磁気熱量効果も報告した。この効果は、効率の良い冷凍法である磁気冷凍に用いられ、近年注目されている。 $R\text{Fe}_2\text{O}_4$ では、磁気転移温度 250K 近傍を中心に温度幅 100K 近傍での磁気熱量効果が見出されており、広い冷凍温度を持つ興味深い物質である。磁気冷凍温度は、 $R_2\text{Fe}_3\text{O}_7$ では、磁気転移温度が上昇することと一致し、磁気熱量効果の中心温度が 20K 程高い 270K であり、上記の通り $R_n\text{Fe}_{2n}\text{O}_{3n+1}$ の n を増やすことで室温冷凍物質の開発可能性があることを示唆する。

(4)他の物質系の物質探索

鉄系の物質探索から、2011 年に発見された新規強磁性体 BaFeO₃ が、キュリー温度 111K 近傍において大きな磁気熱量効果 $5.8 \text{ J kg}^{-1}\text{K}^{-1}$ を示すことを見出した。磁気熱量物質は通常エントロピー変化の大きい希土類モメントを含むが、非希土類系としては最も大きいエントロピー変化を示す。この系の鉄イオンは通常見られない大きい原子価 Fe^{4+} を持っている。放射光測定からは Fe^{4+} は実効的に Fe^{3+} となっており、軌道角運動量を持たないため磁気異方性が小さく、ヒステリシス損が少ない冷凍物質であることが分かった。

また、代表者が 10 年ほど前から研究を行っているペロブスカイトクロム酸化物 $R\text{CrO}_3$ 系 ($R=\text{La}_{1-x}\text{Pr}_x\text{Tm}$) において、通常見られない負の磁性に伴う交換バイアスを報告した。

$R=\text{La}_{1-x}\text{Pr}_x$ 系では交換バイアスが起る温度が 200K 近傍と比較的高いため、新規メモリ開発可能性など、応用的に興味深い。

なお代表者は、以上及びこれまでの $R\text{Fe}_2\text{O}_4$ の研究から、(公財) 関記念財団より第一回関博雄記念賞を受賞した(“新規鉄酸化物系マルチフェロイック物質の開発”, 吉井賢資, 2013 年 11 月 6 日、東京會館)。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 17 件)

(1) “Multiferroic Character and Magnetic Phase of LuFe_2O_4 ”, D. Ohishi, H. Hayakawa, H. Akahama, N. Ikeda, T. Kambe, Y. Matsuo, N. Kimizuka, J. Kano and K. Yoshii, *Ferroelectrics*, **415**, 51-56 (2011), 査読有
DOI: 10.1080/00150193.2011.577371

(2) “Resonant inelastic X-ray scattering at Ba-L₃ edge in BaTiO_3 ” K. Yoshii, I. Jarrige, D. Matsumura, Y. Nishihata, C. Suzuki, Y. Ito, T. Mukoyama, T. Tochio, H. Shinotsuka and S. Fukushima, *Jpn. J. Appl. Phys.* **50**, 09NE03(1-4) (2011), 査読有
DOI: 10.1143/JJAP.50.09NE03

(3) “Local Structure Analysis of $\text{Bi}(\text{Mg}_{0.5}\text{Ti}_{0.5})\text{O}_3$ Grown by High Pressure Synthesis”, Y. Yoneda, H. Saitoh and K. Yoshii, *Jpn. J. Appl. Phys.* **50**, 09NE06(1-6) (2011), 査読有
DOI: 10.1143/JJAP.50.09NE06

(4) “X-ray Absorption Spectra in Pyrochlore Niobates”. S. Torigoe, Y. Ishimoto, N. Hanasaki, Y. Nogami, D. Matsumura, K. Yoshii, Y. Yoneda and Y. Nishihata, *J. Phys.: Conf. Ser.* **320**, 012078(1-4) (2011), 査読有
doi:10.1088/1742-6596/320/1/012078

(5) “Collapsing processes of charge ordered structure in charge- and spin- frustrated ferrite YbFe_2O_4 ”, K. Matsumoto, T. Koyama, S. Mori, K. Yoshii, and N. Ikeda, *J. Phys.: Conf. Ser.* **320**, 012085(1-5) (2011), 査読有
doi:10.1088/1742-6596/320/1/012085

(6) “Doping effect on charge ordered structure in Mn-doped YbFe_2O_4 ”, K. Matsumoto, T. Koyama, S. Mori, K. Yoshii, T. Kambe and N. Ikeda, *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* **18**, 092047(1-4) (2011), 査読有
doi:10.1088/1757-899X/18/9/092047

(7) “Positive exchange bias from magnetization reversal in $\text{La}_{1-x}\text{Pr}_x\text{CrO}_3$ ($x \sim 0.7-0.85$)”, K. Yoshii, *Appl. Phys. Lett.* **99**, 142501(1-3) (2011), 査読有
doi:10.1063/1.3644473

(8) “Magnetic and dielectric study of Bi_2CuO_4 ”, K. Yoshii, T. Fukuda, H. Akahama, J. Kano, T. Kambe and N. Ikeda, *Physica C*, **471**, 766-769 (2011), 査読有。

doi:10.1016/j.physc.2011.05.049
(9) "Exchange bias in multiferroic $R\text{Fe}_2\text{O}_4$ ($R = \text{Y}, \text{Er}, \text{Tm}, \text{Yb}, \text{Lu}, \text{and In}$)", K. Yoshii, N. Ikeda, Y. Nishihata, D. Maeda, R. Fukuyama, T. Nagata, J. Kano, T. Kambe, Y. Horibe and S. Mori, *J. Phys. Soc. Jpn.* **81**, 033704(1-4) (2012)、査読有。
DOI: 10.1143/JPSJ.81.033704
(10) "Probing the Ba 5d states in BaTiO_3 and BaSO_4 : A resonant x-ray emission study at the Ba- L_3 edge", K. Yoshii, I. Jarrige, C. Suzuki, D. Matsumura, Y. Nishihata, Y. Yoneda, T. Fukuda, K. Tamura, Y. Ito, T. Mukoyama, T. Tochio, H. Shinotsuka, S. Fukushima, *J. Phys. Chem. Solids*, **73**, 1106–1110 (2012)、査読有。
<http://dx.doi.org/10.1016/j.jpccs.2012.04.009>
(11) "Structural investigation of AgNO_3 phase using high-energy X-ray diffraction", Y. Yoneda, K. Yoshii and S. Kohara, *Trans. Mater. Res. Soc. Jpn.* **37**, 73-76 (2012)、査読有。
<http://dx.doi.org/10.14723/tmrj.37.73>
(12) "X-ray emission spectroscopy of Ta-related oxides" Y. Yoneda, K. Yoshii and C. Suzuki, *Trans. Mater. Res. Soc. Jpn.* 579-582 (2012)、査読有。
<http://dx.doi.org/10.14723/tmrj.37.579>
(13) "Magnetization reversal in TmCrO_3 ", K. Yoshii, *Mater. Res. Bull.* **47**, 3243-3248 (2012)、査読有。
<http://dx.doi.org/10.1016/j.materresbull.2012.08.005>
(14) "Magnetic properties of single crystalline YbFe_2O_4 ", K. Yoshii, M. Mizumaki, K. Matsumoto, S. Mori, N. Endo, H. Saitoh, D. Matsumura, T. Kambe and N. Ikeda, *J. Phys.: Conf. Ser.* **428**, 012032 (1-5) (2013)、査読有。
doi:10.1088/1742-6596/428/1/012032
(15) "Magnetocaloric effect of field-induced ferromagnet BaFeO_3 ", M. Mizumaki, K. Yoshii, N. Hayashi, T. Saito, Y. Shimakawa, and M. Takano, *J. Appl. Phys.* **114**, 073901(1-6) (2013)、査読有。
<http://dx.doi.org/10.1063/1.4818316>
(16) "Magnetic properties of $R_2\text{Fe}_3\text{O}_7$ ($R = \text{Yb}$ and Lu)", K. Yoshii, N. Ikeda, R. Fukuyama, T. Nagata, T. Kambe, Y. Yoneda, T. Fukuda and S. Mori, *Solid State Commun.* **173**, 34-37(2013)、査読有。
<http://dx.doi.org/10.1016/j.ssc.2013.08.030>
(17) "Electronic structure of BaTiO_3 using resonant X-ray emission spectroscopy at Ba- L_3 and Ti-K absorption edges", K. Yoshii, Y. Yoneda, I. Jarrige, T. Fukuda, Y. Nishihata, C. Suzuki, Y. Ito, T. Terashima, S. Yoshikado and S. Fukushima, *J. Phys. Chem. Solids* **75**, 353-358 (2014)、査読有。
<http://dx.doi.org/10.1016/j.jpccs.2013.10.002>

〔学会発表〕(計 20 件)

(1) "BaTiO₃におけるBa-L₃吸収端での共鳴非弾性X線散乱", 吉井賢資, イニヤス・ジャリツジ, 松村大樹, 鈴木知史, 伊藤嘉昭, 朽尾達紀,

向山毅, 篠塚寛志, 福島整, 第28回強誘電体応用会議(FMA28)、2011年5月25日、京都。
(2) "Bi(Mg_{0.5}Ti_{0.5})O₃の高温圧相転移", 米田安宏, 斎藤寛之, 吉井賢資, 2011年5月26日、京都。
(3) "パイロクロア型ニオブ酸化物における幾何学的電荷フラストレーション", 鳥越秀平, 花咲徳亮, 野上由夫, 松村大樹, 吉井賢資, 米田安宏, 西畑保雄, 日本物理学会 2011年秋季大会、2011年9月23日、富山。
(4) "X線発光分光法を用いた吸収端評価", 伊藤嘉昭, 重岡伸之, 大橋浩史, 朽尾達紀, 福島整, 寺澤倫孝, 藤井達生, 蔭山博之, 吉井賢資, 米田安宏, 二澤宏司, 日本物理学会 2011年秋季大会、2011年9月23日、富山。
(5) "高分解能2結晶分光器を用いたFe酸化物におけるFeK $\alpha_{1,2}$ スペクトル", 伊藤嘉昭, 福島整, 林直顕, 藤井達生, 蔭山博之, 寺澤倫孝, 吉井賢資, 米田安宏, 第47回 X線分析討論会、2011年10月28日、福岡。
(6) "Determination of Co and Fe K absorption edge using the high-resolution X-ray fluorescence emission spectra", Y. Ito, N. Shigeoka, H. Ohhashi, T. Tochio, S. Fukushima, M. Terasawa, T. Fujii, H. Kageyama, K. Yoshii, Y. Yoneda and A. Nisawa, European Conference on X-Ray Spectrometry, 2012年6月18日、ウイーン。
(7) "Probing the Ba 5d states in BaTiO_3 and BaSO_4 : A resonant x-ray emission study at the Ba- L_3 edge", K. Yoshii, I. Jarrige, D. Matsumura, Y. Nishihata, C. Suzuki, Y. Ito, T. Mukoyama, T. Tochio, H. Shinotsuka and S. Fukushima, 2012年6月18日、ウイーン。
(8) "Quantitative Determination of the Oxidation state of Fe in Fe_3O_4 by High-resolution X-ray Fluorescence Spectroscopy", S. Fukushima, Y. Ito, T. Fujii, T. Tochio, M. Terasawa, K. Yoshii and Y. Yoneda, 2012年6月18日、ウイーン。
(9) "Magnetic properties of single crystalline YbFe_2O_4 ", K. Yoshii, K. Matsumoto, S. Mori, N. Endo, H. Saitoh, D. Matsumura, T. Kambe, N. Ikeda, XXIst International Symposium on the Jahn-Teller Effect, 2012年8月26-31日、つくば。
(10) "Cu K $\alpha_{1,2}$ スペクトルの非対称性に関する考察", 伊藤嘉昭, 朽尾達紀, 大橋浩史, 福島整, 吉井賢資, 米田安宏, 寺澤倫孝, 日本物理学会 2012年秋季大会、2012年10月18日、横浜。
(11) "三角格子系鉄複合酸化物における電荷秩序構造", 森茂生, 堀部陽一, 永田知子, 吉井賢資, 池田直, 日本物理学会 2012年秋季大会、2012年10月18日、横浜。
(12) "強磁性ペロブスカイト BaFeO_3 の磁気熱量効果と電子状態測定", 水牧仁一朗, 吉井賢資, 林直顕, 齊藤高志, 島川祐一, 竹内弥生, 高野幹夫, 2013年3月26日、広島。
(13) "Structural Phase Transition Accompanying with Charge Reordering in Mixed-Valence Ferrites, $R\text{Fe}_2\text{O}_4$ ", S. Mori, Y. Horibe, K. Yoshii, T. Nagata, N. Ikeda, The 11th International

Conference on Ferrites (ICF11), 2013 年 4 月 16 日, 沖縄.

(14) “Ti K および Ba L₃ 吸収端における BaTiO₃ の共鳴 X 線発光”, 吉井賢資, 米田安宏, ジャリッジ・イニヤス, 鈴木知史, 伊藤嘉昭, 吉門進三, 福島整, 第 30 回強誘電体応用会議, 2013 年 5 月 24 日, 京都.

(15) “Magnetic properties of single crystalline Lu₂Fe₃O₇”, K. Yoshii, N. Ikeda, R. Fukuyama, T. Nagata, T. Kambe, Y. Yoneda, T. Fukuda, S. Mori, The International Conference on Strongly Correlated Electron Systems 2013, 2013 年 8 月 8 日, 東京.

(16) “Rare earth substitution effects in multiferroic RFe₂O₄ (R: rare earths)”, K. Yoshii, D. Matsumura, N. Endo, H. Saitoh, Y. Yoneda, Y. Nishihata, T. Funae, H. Ejiri, J. Kano, T. C. Kobayashi and N. Ikeda, Light and Particle Beam in Materials Science 2013, 2013 年 8 月 29-30 日, つくば.

(17) “放射光を利用した表面分析相談”, 吉井賢資, 第 56 回 表面科学基礎講座「表面・界面分析の基礎と応用」, 2013 年 10 月 16 日, 大阪.

(18) “BaFeO₃ の磁気熱量効果”, 吉井賢資, Fe⁴⁺ 酸化物研究会, 2013 年 10 月 19 日, 京都.

(19) “BaTiO₃ の Ba L₃ および Ti K 吸収端における共鳴発光を用いた電子状態観測”, 吉井賢資, 米田安宏, イニヤス・ジャリッジ, 鈴木知史, 福田竜生, 西畑保雄, 伊藤嘉昭, 吉門進三, 福島整, 第 23 回日本 MRS 年次大会, 2013 年 12 月 9 日, 横浜.

(20) “新規強磁性体 BaFeO₃ 及びその鉄サイト置換系の磁性と局所構造観測”, 吉井賢資, 林直顕, 松村大樹, 草野翔吾, 水牧仁一朗, 水木純一郎, 高野幹夫, 日本物理学会第 69 回年次大会, 2014 年 3 月 27 日, 湘南.

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

取得状況 (計 2 件)

名称: 超伝導ホウ素化合物 MgB₂ 薄膜の作成方法

発明者: 吉井賢資, 水木純一郎, 阿部英樹, 北澤英明

権利者: 物質・材料研究機構, 日本原子力研究開発機構

種類: 特許

番号: 4792597

取得年月日: 2011 年 8 月 5 日

国内外の別: 国内

名称: 物質中の電子密度を双極子状に分布させることで誘電体特性を実現する方法および材料

発明者: 池田直, 吉井賢資, 森茂生

権利者: 岡山大学, 日本原子力研究開発機構, 岡山大学

種類: 特許

番号: 4953121

取得年月日: 2012 年 3 月 23 日

国内外の別: 国内

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

吉井賢資 (Kenji Yoshii)

日本原子力研究開発機構・原子力科学研究部門・量子ビーム応用研究センター・研究主幹

研究者番号: 90354985

(2) 研究分担者

齋藤寛之 (Hiroyuki Saitoh)

日本原子力研究開発機構・原子力科学研究部門・量子ビーム応用研究センター・研究副主幹

研究者番号: 20373243

池田直 (Naoshi Ikeda)

岡山大学・理学部・教授

研究者番号: 00222894

松村大樹 (Daiju Matsumura)

日本原子力研究開発機構・原子力科学研究部門・量子ビーム応用研究センター・研究副主幹

研究者番号: 30425566

(3) 連携研究者

村岡祐治 (Yuji Muraoka)

岡山大学・自然科学研究科・准教授

研究者番号: 10323635

森茂生 (Shigeo Mori)

大阪府立大学・工学系研究・教授

研究者番号: 20251613

米田安宏 (Yasuhiro Yoneda)

日本原子力研究開発機構・原子力科学研究部門・量子ビーム応用研究センター・研究主幹

研究者番号: 30343924

西畑保雄 (Yasuo Nishihata)

日本原子力研究開発機構・原子力科学研究部門・量子ビーム応用研究センター・研究主幹

研究者番号: 90218181