

平成22年6月25日現在

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2007～2009

課題番号：19560686

研究課題名（和文）磁場非反転スピン偏極材料の設計と開発

研究課題名（英文）New-materials search for a antiferromagnetic half metal

研究代表者

磯部 雅朗（ISOBE MASAAKI）

独立行政法人物質・材料研究機構・超伝導材料センター・主席研究員

研究者番号：10354309

研究成果の概要（和文）：磁場非反転スピン偏極材料、即ち反強磁性ハーフメタルは、将来的なスピントロニクス基盤材料として期待されている。本研究では、超高压技術を駆使して遷移金属酸化物を中心に反強磁性ハーフメタルの物質探索を行った。その結果、 $\text{Sr}_2\text{CuRe}_{0.69-x}\text{M}_x\text{Ca}_{0.31}\text{O}_6$ ($\text{M}=\text{W}, \text{Mo}$)、 $\text{Sr}_{2-x}\text{A}_x\text{CuRe}_{0.69}\text{Ca}_{0.31}\text{O}_6$ ($\text{A}=\text{K}, \text{La}$)、 $\text{Ca}_{1-x}\text{Na}_x\text{Co}_2\text{O}_4$ 等の新規物質を合成することに成功した。現時点では反強磁性ハーフメタル特性は観測できていないが、今後の進展が期待される。

研究成果の概要（英文）：An antiferromagnetic half metal is a new concept material that is useful for spintronics in the future. In this study, we carried out new-materials search for a half metal from transition-metal oxides using high-pressure synthesis technique. We discovered new materials, $\text{Sr}_2\text{CuRe}_{0.69-x}\text{M}_x\text{Ca}_{0.31}\text{O}_6$ ($\text{M}=\text{W}, \text{Mo}$), $\text{Sr}_{2-x}\text{A}_x\text{CuRe}_{0.69}\text{Ca}_{0.31}\text{O}_6$ ($\text{A}=\text{K}, \text{La}$), $\text{Ca}_{1-x}\text{Na}_x\text{Co}_2\text{O}_4$ etc. Although half-metallic properties have not yet been achieved, these materials are still candidate for the antiferromagnetic half metals.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2008年度	900,000	270,000	1,170,000
2009年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
総計	2,800,000	840,000	3,640,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：材料工学 無機材料・物性

キーワード：スピントロニクス、強相関電子系、磁性、計算物理

1. 研究開始当初の背景

スピントロニクスは、スピンの自由度をエレクトロニクスに活用する新しい技術体系である。スピントロニクスに於ける最も基本的な素子は、トンネル磁気抵抗（TMR）素子とスピン電界効果トランジスタ（FET）である。これらの素子の基本動作特性を決める重

要な要素のひとつに、スピン偏極電流源材料の性能がある。ハーフメタルは、フェルミレベル近傍の状態密度が up スピン（又は down スピン）に完全偏極している物質であり、スピン注入源として理想的な物質である。

しかしながら、既存のハーフメタルには強磁性体しか存在しないという問題がある。例

例えば、TMR 素子を形成する多層型スピンバルブ素子構造では、強磁性層の磁化ピン留め層が必要になる。磁化ピン留め反強磁性層は、単体素子小型化に伴う極薄化に連れて交換磁気異方性 (J_R) が弱まるという欠点がある。また別の例としては、超高密度磁気記録読み取りを可能とするスピン偏極 STM 探針への適用がある。スピン偏極 STM では、強磁性体は漏洩磁界による試料磁化状態の損傷を招くため、探針として用いることができない。現状では、直接バンド遷移常磁性半導体探針への円偏光照射方式が用いられているが、この方法では偏極スピンの発生効率が低く、分解能を上げることが原理的に難しい。

このような強磁性ハーフメタルの欠点を克服する物質として、反強磁性ハーフメタルが考案された。反強磁性ハーフメタルは、外部磁場に対して非反転の高濃度スピン偏極材料として用いることができる。反強磁性体はマクロな磁化を示さないことに加え、その磁化は磁気異方性によって結晶方位、あるいは反強磁性容易化軸に対して固定されているため、適切な方位に偏極スピンを固定できるという利点がある。しかしながら、現時点では、反強磁性ハーフメタル物質の存在は必ずしも確立されていないため、新物質開発が必要となる。

研究代表者らは、以前より超高压技術を用いた新物質開発に取り組んでおり、これまでに、超伝導体を初めとする種々の新しい遷移金属酸化物を合成発見してきた。今回我々は、社会的な要請の下、自らの技術を反強磁性ハーフメタルの物質探索に適用することを思うに至った。

2. 研究の目的

本研究では、遷移金属酸化物を題材とし、超高压等の極限技術を駆使することにより、新しい反強磁性ハーフメタルを物質設計・合成探索することを目的とする。そしてこれを、将来のスピン트로ニクス材料のひとつとして利用提案することを目指すものである。

3. 研究の方法

研究代表者らが発見した新しい規則型ペロブスカイト銅酸化物 $\text{Sr}_2\text{Cu}(\text{Re}, \text{Ca})\text{O}_6$ 等の物質に着目し、元素の部分置換による電子軌道と電荷量の制御を通じて、金属化を行う。物質合成手法として 6 GPa 級の超高压合成装置を用いた探索研究を行う。さらに物質の電気・磁気特性解析を行うことで反強磁性ハーフメタルの可能性を探ると共に、結晶構造解析を通じて物質評価を行う。

$\text{Sr}_2\text{Cu}(\text{Re}, \text{Ca})\text{O}_6$ は、研究代表者らが発見した新しい規則型ペロブスカイト銅酸化物である。結晶構造 (図 1) は、A サイトが Sr で完全占有されるのに対し、B サイト位置には、

Cu, Re, Ca が、4 : 3 : 1 の比で規則的に周期配置している。そのため、基本ペロブスカイト構造の基本格子定数 $a_p \sim 4 \text{ \AA}$ に対し、 $\text{Sr}_2\text{Cu}(\text{Re}, \text{Ca})\text{O}_6$ の格子定数は、各辺がその 2 倍周期になっており、 $a \sim 8 \text{ \AA}$ である。候補の空間群は Pm-3m (No. 221) である。1a サイト (原点) には Ca が、1b サイト (体心) と 3c サイト (面心) には Cu1 と Cu2 が、3d サイトには Re が位置している。化学量論的には、安定相の Re サイトには微量の Ca が混在していることが分かっている。酸素は、各カチオンの概ね中間付近に位置しているが、正確には、Re サイト (6 配位) の周囲の酸素 (O1, O3) は、高原子価数 Re^{7+} 側に強く引きつけられている (図 2 (a))。Cu1-Cu2 間の酸素 (O2) にはそのような偏在はなく、ほぼ中点に位置する。Cu1-O₆ 八面体の対称性は高く、縮退した e_g 軌道に 2 つのスピが入り、フント結合により Cu^{3+} , $3d^8$, $S=1$ 高スピン状態 (up spin)

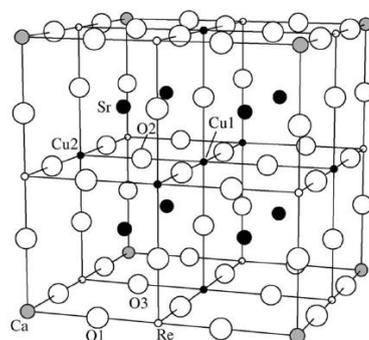


図 1 $\text{Sr}_2\text{Cu}(\text{ReCa})\text{O}_6$ の結晶構造

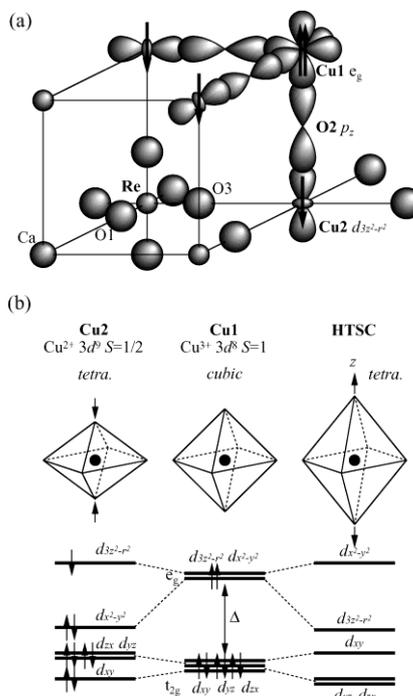


図 2 (a) Cu 原子の軌道整列と磁気構造、および、(b) Cu1, Cu2 サイトのエネルギーレベル

を取る。Cu₂-O₆八面体は、隣接するReにO3が引き寄せられるため強く歪んでおり、3d²-r²軌道に1つのスピン (down spin) が入る。Cu1とCu2のスピンはO2の2p軌道を介した強い反強磁性超交換相互作用が働いており、スピンの一部相殺によってフェリ磁性が高温 (440 K) から発生する。つまり、本系ではCuに関する軌道整列により、Cu-O-Cu結合からなる三次元ネットワークが形成されている。

研究分担者のHuらは、この系のRe⁷⁺サイトに6+イオンを置換することで酸素偏在効果、即ち、Cu-O反強磁性相関が弱められると考えた。この時、Cuサイトにホールが置換されるためハーフメタル化することを理論計算から導いた。さらに、Re⁷⁺は保持したまま、酸素サイトにホールが注入できればハーフメタル化が起り、ある平衡ドーピング量では総モーメントが完全相殺する反強磁性ハーフメタル化が起きることを理論計算的に示した。

本研究課題では、Huらの計算結果に基づき、Re⁷⁺サイトにW⁶⁺、Mo⁶⁺を固溶置換することを試みた。さらには、Sr²⁺サイトにK⁺やLa³⁺を固溶置換し、ホールと電子を注入することを試みた。

4. 研究成果

(1) Sr₂CuRe_{0.69-x}W_xCa_{0.31}O₆ (W=W, Mo)

Re サイトへのW, Mo置換体の単相試料を合成することに成功した。磁気解析の結果、W, Mo置換体は、磁気的ナノ相分離が起こるために電子状態の連続的な制御ができず、ハーフメタル化は実現できないことが判明した。WとMoとでほぼ同一の結果を得たため、以下にW置換の結果についてまとめる。

多結晶試料は、SrO₂, SrCuO₂, CuO, Ca₂CuO₃, ReO₃, WO₃, Re (metal), W (metal)粉末試薬定比混合物 (x=0-0.6)を金カプセルに封入後、6 GPa, 約1,500°Cで3時間程度高温・高圧処理することにより得られた。粉末X線解析によれば、x≤0.6の試料の全てのBragg反射は母相 (x=0)と同一指数付けが可能である。格子定数は緩やかに減少する傾向にある。x>0.6では僅かに不純物相が析出する。これにより、固溶限はx~0.6と決定された。

図3 (a)に1 kOe磁場下における磁気モーメント (M)の温度依存性を示す。母相 (x=0)のT_cは約460 Kであり、初期の報告 (T_c~440 K)よりもやや高い。これは酸素量の僅かな違いに起因する。図に示すように、強磁性 (フェリ磁性)の体積分率が置換濃度xの増加に伴って減少する。一方、T_cには殆ど変化がない。図3 (b)には、T=1.8 KにおけるH ≤ ±70 kOeまでの磁化履歴曲線を示す。母相 (x=0)は磁場印加で急激に飽和磁化に達するのに対し、置換体の履歴曲線はxに依存して緩やかになる。これは、置換体では常磁性

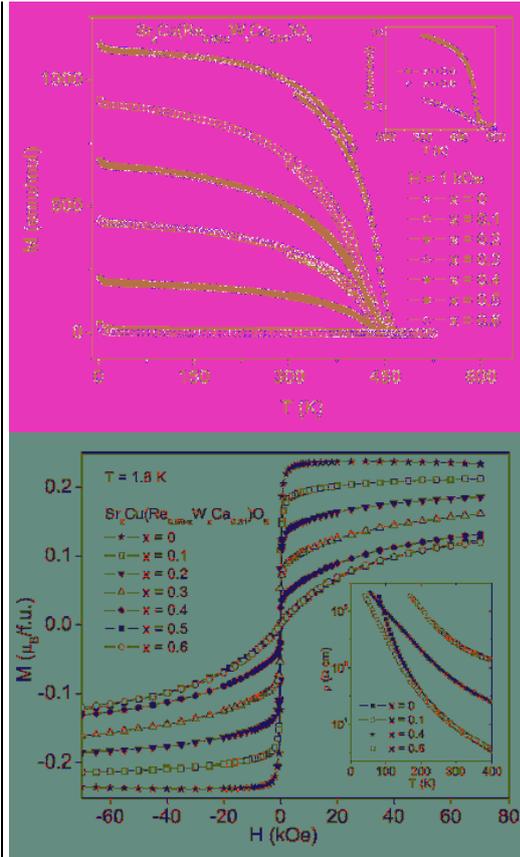


図3 Sr₂CuRe_{0.69-x}W_xCa_{0.31}O₆ (x=0-0.6)の磁気特性 ((a)モーメントの温度変化、(b)磁化曲線)。

成分が発達し、強磁性相と常磁性相の共存状態にあることを示唆する。図3 (b)の挿入図には電気抵抗率の温度依存性を示す。置換体の電気抵抗率は母相に較べて増加する傾向があり、電荷が注入された形跡は何もない。

Re⁷⁺サイトへのW⁶⁺、Mo⁶⁺置換によって発生したホールはCu2サイトに入り、Cu³⁺を形成する。この時、Cu₂-O₆八面体の強いヤーンテラー歪みのためにS=0 low spin状態を取る。これにより、三次元反強磁性ネットワークが破壊される。超交換相互作用結合の破壊は最小限に抑えた方がエネルギー的に安定であるとすれば、常磁性相は局所的に発達し、磁気的相分離が起こると考えられる。この相分離は結晶構造の変化を伴わないのでX線回折では観測されない。即ち、フィリングやバンド幅などの連続的な電子状態変化は起こらず、ハーフメタルは実現できない。

今後の課題として、ナノ相分離状態を含めた電子状態の再計算を行う必要がある。

(2) Sr_{2-x}A_xCuRe_{0.69}Ca_{0.31}O₆ (A=K, La; x≤0.3)

Sr サイトへのK, La置換体を合成することに成功した。K置換はホール、La置換は電子ドーピングに相当する。輸送特性、磁気特性解析の結果、キャリア制御による連続的な電子状態の変化が観測されたが、完全な金属化

には至らない。以下に結果詳細を示す。

試料は高压合成法を用いて作製された。原料として、 SrO_2 , CuO , Ca_2CuO_3 , ReO_3 , Re (metal) 粉末試薬を用いた。さらに、K 置換源として KReO_4 を、La 置換源として La_2O_3 を用いた。定比混合物 ($x=0-0.3$) を 6 GPa, 約 1,500°C で高温・高压処理することにより得られた。X 線解析によれば、K 置換体、La 置換体共にほぼ単一相試料である。格子定数は、ドーピング量に対して連続的に変化する。ホール系では伸びる傾向、電子系では縮む傾向が見られた。これは、Cu の反結合軌道にキャリアが注入されることを示唆している。

図 4 に $\text{Sr}_{2-x}\text{A}_x\text{CuRe}_{0.69}\text{Ca}_{0.31}\text{O}_6$ ($\text{A}=\text{K}, \text{La}$) 系の室温電気抵抗率のドーピング量依存性、図 5 に室温飽和磁化のドーピング量依存性を示す。K 置換体 (ホールドーピング系) では、理論予想に反し、ホール量に対して電気抵抗が増加する傾向が見られた。抵抗率の温度依存性は半導体的であり、三次元のホッピング伝導でよく説明できる。強磁性飽和磁化はホール量に対して緩やかに減少する。他方、La 置換体 (電子ドーピング系) では、 $x \leq 0.07$ の狭い組成領域で室温電気抵抗率の減少が見られた。 $x \geq 0.07$ では抵抗率は再び増加する。 $x \sim 0.07$ に於ける抵抗率の温度依存性は半導体的である。室温飽和磁化は電子量に対して減少する傾向にあるが、低温飽和磁化は $x \leq 0.07$ では一旦増加し、その後、急激に減少する。キャリア量の変化を通じて電気抵抗率と低温飽和磁化には明らかな相関がある。電子ドーピング量 $x \sim 0.07$ で電気抵抗率が最小になると同時に低温飽和磁化が最大になる。

$\text{Sr}_2\text{CuRe}_{0.69}\text{Ca}_{0.31}\text{O}_6$ は、フェリ磁性モデルを説明する理想組成比 $\text{SrCuRe}_{0.75}\text{Ca}_{0.25}\text{O}_6$ から僅かに化学組成がずれているため、ホールがセルフドーピングされていると考えられる。電子を僅かにドーピングすることで、この過剰ホールが補償され、最適ドーピング量になったときに最大の飽和磁化が生じると考えられる。La 置換量 $x \sim 0.07$ は恐らくそのような状態であり、Cu-O 三次元ネットワークもほぼ理想型を取ることから、電気抵抗率が最低値を示すと考えられる。しかしながら、この三次元ネットワークは、 Cu^{3+} と Cu^{2+} が完全に整列した状態であるため、エネルギー差が生じる。第一原理バンド計算によれば、フェルミレベル近傍の状態密度は主に Cu2 と O の混成軌道から成るのに対し、Cu1 の e_g 軌道はフェルミレベル直上にあることが判明した。Cu2 のヤーンテラー歪みは Cu-O 三次元ネットワークを形成する基であるが、同時に対称性の高い Cu1 サイトとのエネルギー差を生じることに繋がっている。電気抵抗率の温度変化がホッピング伝導的であるのは、軌道間の直接遷移が弱いことを示唆しており、上記の理解と整合する。

ハーフメタル化には Cu1 のエネルギーレベ

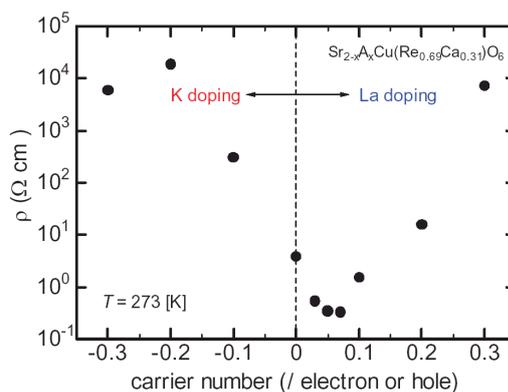


図 4 $\text{Sr}_{2-x}\text{A}_x\text{CuRe}_{0.69}\text{Ca}_{0.31}\text{O}_6$ ($\text{A}=\text{K}, \text{La}; x=0-0.3$) に於ける室温電気抵抗率のドーピング量依存性

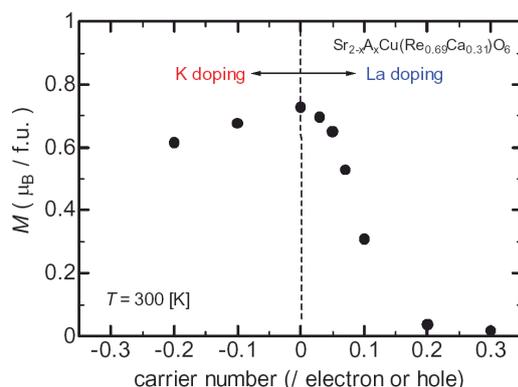


図 5 $\text{Sr}_{2-x}\text{A}_x\text{CuRe}_{0.69}\text{Ca}_{0.31}\text{O}_6$ ($\text{A}=\text{K}, \text{La}; x=0-0.3$) に於ける室温飽和磁化のドーピング量依存性

ルを Cu2 に近づける必要がある。原子の規則配列によって、Cu1-O₆ 八面体がヤーンテラー歪みを起こすような結晶構造の異方性を導入できれば実現の可能性はある。

(3) その他

$\text{Sr}_{2-x}\text{Rb}_x\text{CuRe}_{0.69}\text{Ca}_{0.31}\text{O}_6$ 相のハーフメタル化の理論予想・・・第一原理バンド計算により、Sr サイトへの Rb 置換がハーフメタル化を引き起こす可能性があることが判明した。実験的な検証は今後の課題である。

新規一次元系酸化物 CaCo_2O_4 の金属化・・・カルシウムフェライト型構造の新規物質についてナノハーフメタルの観点から検討を進めた。近年、 NaV_2O_4 が金属反強磁性を示すことが示された。隣り合う V_2O_4 一次元鎖で異なる向きにスピン偏極した電流を運ぶモデルが提案されている。この効果を検証するため、同一構造を有する他の物質を合成探索したところ、新物質 CaCo_2O_4 を発見することに成功した。さらに、Na 置換によるメタル化にも成功し、その構造・物性を詳細に明らかにした。現時点では磁気転移の発生は確認できていない。高濃度ドーピングによる磁気転移発生が今後の課題である。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計21件)

全論文査読有り

- ① M. Månsson, Y. Ikedo, H. Nozaki, J. Sugiyama, P.L. Russo, D. Andreica, M. Shizuya, M. Isobe, E. Takayama-Muromachi, "The μ^+ -OH bond in Misfit-layered Cobalt Dioxide $[\text{Ca}_{0.85}\text{OH}]^{\text{RS}}_{1.16}[\text{CoO}_2]$ ", J. Phys.: Condensed Mater., in press.
- ② M. Månsson, Y. Ikedo, H. Nozaki, J. Sugiyama, P. L. Russo, D. Andreica, M. Shizuya, M. Isobe, E. Takayama-Muromachi, "Muon spin relaxation study of misfit-layered cobalt dioxide $[\text{Ca}_{0.85}\text{OH}]_{1.16}^{\text{RS}}[\text{CoO}_2]$ ", Solid State Communications 150, 307-310 (2010).
- ③ T. Takami, M. Itoh, M. Isobe, M. Arai, T. Kawashima, E. Takayama-Muromachi, " ^{59}Co NMR study on local magnetic properties of $\text{Ca}_{1-x}\text{Na}_x\text{Co}_2\text{O}_4$ ", J. Phys.: Condensed Mater. 200 (2010) 012197(1-4).
- ④ M. Isobe, M. Arai, E. Takayama-Muromachi, "Thermoelectric Properties of the One-Dimensional Cobalt Oxide CaCo_2O_4 ", Journal of Electronic Materials 38, 1166-1170 (2009).
- ⑤ M. Isobe, M. Arai, T. Kawashima, E. Takayama-Muromachi, "Structure and properties of the one-dimensional cobalt oxide CaCo_2O_4 ", Physica C 469, 948-951 (2009).
- ⑥ Y. Ikedo, J. Sugiyama, H. Nozaki, P.L. Russo, D. Andreica, A. Amato, M. Månsson, M. Shizuya, M. Isobe, E. Takayama-Muromachi, "Paramagnetic nature of the layered cobalt dioxide with a double rocksalt-type layer", Physica B 404, 607-610 (2009).
- ⑦ Ji-Guang Li, R. Bchel, M. Isobe, T. Mori, T. Ishigaki, "Cobalt-Doped TiO_2 Nanocrystallites: Radio-Frequency Thermal Plasma Processing, Phase Structure, and Magnetic Properties", J. Phys. Chem. C 113, 8009-8015 (2009).
- ⑧ W. Wong-Ng, J. A. Kaduk, and M. Isobe, "Reference X-ray powder diffraction pattern of a high-pressure phase, CaCo_2O_4 ", Powder Diffraction 24-4, 343-346 (2009).
- ⑨ Y.-M. Nie, X. Hu, "Possible Half Metallic Antiferromagnet in a Hole-Doped Perovskite Cuprate Predicted By First-Principles Calculations", Phys. Rev. Lett. 100, 117203-1~4 (2008).
- ⑩ M. Isobe, M. Onoda, M. Shizuya, M. Tanaka, E. Takayama-Muromachi, "Structure of the monoclinic-form misfit-layer compound, $(\text{Ca}_{0.85}\text{OH})_{2\alpha}\text{CoO}_2$ ($\alpha \sim 0.57822$)", J. Am. Chem. Soc. 129, 14585-14596 (2007).
- ⑪ M. Isobe, M. Onoda, M. Shizuya, M. Tanaka, E. Takayama-Muromachi, "Modulated structure of the composite crystal $[\text{2CaOH}]_k\text{CoO}_2$ ($k=0.576$)", J. Phys. Soc. Jpn. 76, 014602-1-5 (2007).
- ⑫ M. Isobe, K. Kimoto, E. Takayama-Muromachi, "Oxygen-deficiency effect on properties for the ordered-perovskite cuprate, $\text{Sr}_2\text{Cu}(\text{Re}_{0.69}\text{Ca}_{0.31})\text{O}_y$ ($y=6.0-5.4$)", J. Magn. Magn. Mater. 312, 91-98 (2007).
- ⑬ M. Isobe, Y. Uchida, K. Kimoto, E. Takayama-Muromachi, "Magnetic origin and oxidation states of cations in the TC \sim 440 K ferrimagnet $\text{Sr}_2\text{Cu}(\text{Re}_{0.69}\text{Ca}_{0.31})\text{O}_6$ ", J. Magn. Magn. Mater. 312, 131-139 (2007).
- ⑭ M. Isobe, M. Onoda, M. Shizuya, M. Tanaka, E. Takayama-Muromachi, "Modulated crystal structure of the composite crystal $(\text{CaOH})_{1.14}\text{CoO}_2$ ", Philosophical Magazine 87, 2647-2653 (2007).
- ⑮ M. Isobe, M. Shizuya, E. Takayama-Muromachi, "Structure and properties of $(\text{CaOH})_k\text{CoO}_2$ ", Physica C 463-465, 178-181 (2007).
- ⑯ M. Isobe, M. Shizuya, E. Takayama-Muromachi, "Crystal structure and physical properties of a misfit-layered cobaltite $(\text{CaOH})_{1.14}\text{CoO}_2$ ", J. Magn. Magn. Mater. 310, e269-e271 (2007).
- ⑰ M. Isobe, M. Shizuya, E. Takayama-Muromachi, "Structural and physical properties of a novel misfit-layered cobalt oxide $(\text{CaOH})_{1.14}\text{CoO}_2$ ", Physica C 460-462, 477-478 (2007).
- ⑱ S. Balamurugan, M. Isobe, E. Muromachi, "High-pressure high-temperature synthesis and magnetic properties of ordered perovskite $\text{Sr}_2\text{Cu}(\text{Re}_{0.69-x}\text{W}_x\text{Ca}_{0.31})\text{O}_6$ ($0 \leq x \leq 0.6$)", J. Appl. Phys. 101, 09N501-1-3 (2007).
- ⑲ M. Shizuya, M. Isobe*, E. Takayama-Muromachi, "Structure and properties of the CaFe_2O_4 -type cobalt oxide CaCo_2O_4 ", J. Solid State Chem. 180, 2550-2557 (2007).
- ⑳ M. Shizuya, M. Isobe, E. Takayama-Muromachi, "Magnetic and electronic properties of misfit-layered cobalt oxide, $(\text{Ca}_{1-\delta}\text{OH})_x\text{CoO}_2$ ", J. Appl. Phys. 102, 023704-1-6 (2007).
- ㉑ M. Shizuya, M. Isobe*, Y. Baba, T. Nagai, M. Osada, K. Kosuda, S. Takenouchi, Y. Matsui, E. Takayama-Muromachi, "New misfit-layered cobalt oxide $(\text{CaOH})_{1.14}\text{CoO}_2$ ",

J. Solid State Chem. 180, 249-259 (2007).

[学会発表] (計13件)

- ① 磯部雅朗、吉田紘行、橘信、川嶋哲也、新井正男、室町英治、入澤明典、”一次元系コバルト酸化物($\text{Ca}_{1-x}\text{Na}_x$) Co_2O_4 の輸送特性”、日本物理学会第65回年次大会、2010/3/20-23、岡山大学津島キャンパス (岡山市)
- ② 入澤明典、磯部雅朗、”赤外分光法による一次元系物質($\text{Ca}_{1-x}\text{Na}_x$) Co_2O_4 の電子状態の研究”、日本物理学会第65回年次大会、2010/3/20-23、岡山大学津島キャンパス (岡山市)
- ③ 磯部雅朗、川嶋哲也、新井正男、室町英治、”一次元系コバルト酸化物($\text{Ca}_{1-x}\text{Na}_x$) Co_2O_4 の構造と物性”、日本物理学会2009年秋季大会、2009/9/25-28、熊本大学黒髪キャンパス (熊本市)
- ④ T. Takami, M. Itoh, M. Isobe, M. Arai, T. Kawashima, E. Takayama-Muromachi, ” ^{59}Co NMR study on local magnetic properties of $\text{Ca}_{1-x}\text{Na}_x\text{Co}_2\text{O}_4$ ”, International Conference on Magnetism (ICM2009), July 26-31, 2009, Karlsruhe Mussen und Kongresse, Karlsruhe, Germany
- ⑤ M. Månsson, Y. Ikedo, H. Nozaki, J. Sugiyama, P.L. Russo, D. Andreica, M. Shizuya, M. Isobe, E. Takayama-Muromachi, ”The μ^+ -OH bond in misfit-layered cobalt dioxide $[\text{Ca}_{0.85}\text{OH}]^{\text{RS}}_{1.16}[\text{CoO}_2]$ ”, International Conference on Magnetism (ICM2009), July 26-31, 2009, Karlsruhe Mussen und Kongresse, Karlsruhe, Germany
- ⑥ 高見剛、伊藤正行、磯部雅朗、新井正男、川嶋哲也、室町英治、” ^{59}Co NMR を用いた $\text{Ca}_{1-x}\text{Na}_x\text{Co}_2\text{O}_4$ の微視的磁性に関する研究”、日本物理学会第64回年次大会、2009/3/27-30、立教大学、立教池袋中学・高校 (東京)
- ⑦ M. Isobe, M. Arai, T. Kawashima, E. Takayama-Muromachi, ”Structure and Properties of the One-Dimensional Cobalt Oxide CaCo_2O_4 ”, 21st International Symposium on Superconductivity, October 27-29, 2008, Tsukuba International Congress Center, Tsukuba, Japan
- ⑧ M. Isobe, M. Arai, T. Kawashima, E. Takayama-Muromachi, ”New One-Dimensional Cobalt Oxide CaCo_2O_4 ”, The 6th International Conference on Inorganic Materials, September 28-30, 2008, Internationales Congress Center Dresden, Dresden, Germany
- ⑨ 磯部雅朗、新井正男、川嶋哲也、室町英治、” $\text{Ca}_{1-x}\text{Na}_x\text{Co}_2\text{O}_4$ の合成と物性”、日本物理学会2008年秋期大会、2008/9/20-23、岩手大学上田キャンパス (盛岡市)
- ⑩ M. Isobe, M. Arai, E.

Takayama-Muromachi, ”Thermoelectric Property of the One-Dimensional Metallic Cobalt Oxide CaCo_2O_4 ”, International Conference on Thermoelectrics, August 3-7, 2008, Oregon State University, Corvallis, Oregon

⑪ 磯部雅朗、新井正男、川嶋哲也、室町英治、”カルシウムフェライト型コバルト酸化物 CaCo_2O_4 の構造と物性”、日本物理学会第63回年次大会、2008/3/22-26、近畿大学本部キャンパス (東大阪市)

⑫ M. Isobe, M. Arai, E. Takayama-Muromachi, ”New cobalt oxide CaCo_2O_4 ; a potential thermoelectric material with the calcium-ferrite type structure”, Zing Conference 2008, Solid State Chemistry, March 10-13, 2008, The Grand Oasis Hotel, Cancun, Mexico

⑬ 磯部雅朗、静谷満幸、室町英治、” CaFe_2O_4 型構造を有する新しいコバルト酸化物 CaCo_2O_4 ”、日本物理学会第62回年次大会、2007/9/21-24、北海道大学札幌キャンパス (札幌市)

[産業財産権]

○出願状況 (計1件)

名称: 熱電変換材料

発明者: 磯部雅朗、室町英治

権利者: (独) 物質・材料研究機構

種類: 特許

番号: 特願 2007-154123

出願年月日: 2007年6月11日

国内外の別: 国内

6. 研究組織

(1) 研究代表者

磯部 雅朗 (ISOBE MASA AKI)

独立行政法人物質・材料研究機構・超伝導材料センター・主席研究員

研究者番号: 10354309

(2) 研究分担者

木本 浩司 (KIMOT KOJI)

独立行政法人物質・材料研究機構・ナノ計測センター・グループリーダー

研究者番号: 90354399

胡 暁 (HU XIAO)

独立行政法人物質・材料研究機構・国際ナノアーキテクトニクス研究拠点・MANA 主任研究者

研究者番号: 90238428

(3) 連携研究者

()

研究者番号: