

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 28 日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2014

課題番号：25790054

研究課題名(和文)原子層制御による反強磁性ハーフメタル酸化物の合成と特性評価

研究課題名(英文) Synthesis and characterization of half-metallic antiferromagnetic materials by atomic-layer control

研究代表者

近松 彰 (Chikamatsu, Akira)

東京大学・理学(系)研究科(研究院)・助教

研究者番号：40528048

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：反強磁性ハーフメタル物質は、第一原理計算により多くの物質が予測されているが、未だ完全な反強磁性ハーフメタル物質の合成例はない。本研究では、反強磁性ハーフメタル実現に向けて、反強磁性ハーフメタル候補物質LaSrVMoO₆・Sr₂CrRuO₆の高品質なエピタキシャル薄膜を作製し、輸送・磁気特性と電子状態を実験的に明らかにした。また、シード層として期待されるBサイト配列Sr₂MgMoO₆エピタキシャル薄膜の作製にも成功した。

研究成果の概要(英文)：Half-metallic antiferromagnet (HMAF) compounds have been theoretically predicted in many structural systems by first-principles calculations, but none of them could be experimentally synthesized thus far. In this study, epitaxial thin films of LaSrVMoO₆ and Cr-doped SrRuO₃, which are predicted to be possible HMAF candidates, were fabricated by pulsed-laser deposition method, and investigated their physical properties and electronic states. It was found that the resistivity of the fabricated LaSrVMoO₆ thin films was lower than that of the polycrystalline samples. In particular, the resistivity at 5 K of the LaSrVMoO₆ thin films showed 2×10^{-4} cm, being due to the improvement in the crystallinity and the ordering of V and Mo ions. It was also found that in the SrRu_{0.9}Cr_{0.1}O₃ films, the Cr 3d_{t_{2g}} orbital is strongly hybridized with the Ru 4d_{t_{2g}} one. Furthermore, the perfect B-site ordered Sr₂MgMoO₆ epitaxial thin films, which can be used as a seed layer, were successfully fabricated.

研究分野：固体化学

キーワード：薄膜・表面界面物性 酸化物エレクトロニクス 薄膜新材料

1. 研究開始当初の背景

スピンと電荷を同時に利用するスピントロニクス技術は、トンネル磁気抵抗素子として既に実用化されているだけでなく、次世代の高速・低消費電力デバイスとして期待されている。この分野の更なる発展には、完全にスピン偏極した電流を供給するハーフメタル材料の開発が必要不可欠である。現在作製可能なハーフメタル材料はすべて磁気モーメントを持っているが、磁気モーメントがゼロであるハーフメタル、すなわち反強磁性ハーフメタルの存在が様々な結晶構造系で理論計算により予測されている。この反強磁性ハーフメタルが開発されれば、外部磁場を要しないスピン偏極電流の供給源として利用できるため、従来の設計構想と全く異なるデバイス作製が可能となる。

反強磁性ハーフメタルの理論予測の中で、ダブルペロブスカイト型酸化物 ($AA'BB'O_6$) に着目すると、表 1 のようにまとめられる。この表から、反強磁性ハーフメタルの設計に重要なのは、 B サイトの d 電子配置にあることが分かる。すなわち、 B サイトの適切な選択が反強磁性ハーフメタル実現の鍵を握っている。しかしながら、未だ完全な反強磁性ハーフメタルの合成に成功した実験例はない。この理由として、ハーフメタル特性を出現させるには、元素を交互に配列させる原子レベルでの制御が必要であり、合成が非常に難しいことが挙げられる。また、理論予測されたダブルペロブスカイト型反強磁性ハーフメタルには、構成元素に Os (酸化物が猛毒)・Tc (放射性同位体) が入っていたり、 Mo^{3+} ・ Rh^{6+} ・ W^{3+} ・ Re^{2+} ・ Re^{3+} など不安定で価数制御できない元素が含まれているなど、実際に合成するのが困難なものも多く含まれているからである。

一方で、 B サイト元素はそのままに d 電子配置を変化させる方法として、 A サイトを置換する方法以外に、酸素サイトを他の陰イオン (窒素やフッ素) に置換する方法も考えられる。酸化物に対して陰イオン置換を制御よく行うことができれば、反強磁性ハーフメタル実現に向けて大いに貢献する。ところが、 A サイト置換が固相合成で容易に出来るのに対して、陰イオン置換は一般的に結晶構造が壊れるほどの高温・高圧が必要であったり、有毒で扱いにくいアンモニアガス (窒素置換) やフッ素ガス (フッ素置換) を必要とするなど技術的な困難を伴う。陰イオン置換の新手法の開発が期待される。

2. 研究の目的

本研究では、表 1 に示した反強磁性ハーフメタル候補の中で、 $LaSrVMoO_6$ ・ Sr_2CrRuO_6 に注目した。これらは、 B サイトイオンである V^{3+} と Mo^{4+} および Cr^{3+} と Ru^{5+} の磁気モーメントが相殺されて磁化を持たず、片方の陽イオンのみ伝導キャリアを供給すると予測されている[2,9]。これらの高品質な単結晶薄膜

表 1. 理論予測されたダブルペロブスカイト型反強磁性ハーフメタル

予測された物質	電子配置
$La_2V^{3+}Mn^{3+}O_6$ [1]	$V^{3+}:3d^2, Mn^{3+}:3d^4$
$La_2V^{4+}Cu^{2+}O_6$ [1]	$V^{4+}:3d^1, Cu^{2+}:3d^9$
$La_2Mn^{3+}Co^{3+}O_6$ [1]	$Mn^{3+}:3d^4, Co^{3+}:3d^6$
$Sr_2Cr^{3+}Os^{5+}O_6$ [2]	$Cr^{3+}:3d^3, Os^{5+}:5d^3$
$Sr_2Cr^{3+}Ru^{5+}O_6$ [2]	$Cr^{3+}:3d^3, Ru^{5+}:4d^3$
$Sr_2Ni^{2+}Os^{6+}O_6$ [3]	$Ni^{2+}:3d^8, Os^{6+}:5d^2$
$K_2Mn^{4+}Rh^{6+}O_6$ [4]	$Mn^{4+}:3d^3, Rh^{6+}:4d^3$
$La_2Cr^{3+}W^{3+}O_6$ [4]	$Cr^{3+}:3d^3, W^{3+}:5d^3$
$La_2V^{3+}Tc^{3+}O_6$ [5]	$V^{3+}:3d^2, Tc^{3+}:4d^4$
$La_2V^{4+}Re^{2+}O_6$ [6]	$V^{4+}:3d^1, Re^{2+}:3d^6$
$LaSrV^{4+}Ru^{3+}O_6$ [7]	$V^{4+}:3d^1, Ru^{3+}:4d^6$
$LaSrV^{3+}Os^{4+}O_6$ [7]	$V^{3+}:3d^2, Os^{2+}:5d^4$
$LaSrMo^{3+}Tc^{4+}O_6$ [7]	$Mo^{3+}:4d^3, Tc^{4+}:4d^3$
$LaSrMo^{3+}Re^{4+}O_6$ [7]	$Mo^{3+}:4d^3, Re^{4+}:5d^3$
$LaSrW^{4+}Tc^{3+}O_6$ [8]	$W^{4+}:5d^2, Tc^{3+}:4d^4$
$LaSrW^{4+}Re^{3+}O_6$ [8]	$W^{4+}:5d^2, Re^{3+}:5d^4$
$LaSrV^{3+}Mo^{4+}O_6$ [9]	$V^{3+}:3d^2, Mo^{4+}:4d^2$

を作製し物性と電子状態を明らかにできれば、反強磁性ハーフメタル実現への道筋が見えてくる。

そこで、高品質な単結晶薄膜の作製が可能なパルスレーザー堆積 (PLD) 法を用いて、ペロブスカイト型酸化物 $LaSrVMoO_6$ および Cr ドープ $SrRuO_3$ 単結晶エピタキシャル薄膜を作製し、輸送・磁気特性の評価および電子状態を明らかにすることを目的とした。また、 B サイトが規則的に配列するダブルペロブスカイト Sr_2MgMoO_6 をシード層として導入することを検討するため、 Sr_2MgMoO_6 薄膜の作製を試みた。さらに、新しい陰イオン置換の方法としてトポタクティック合成に注目し、薄膜作製とトポタクティック合成を組み合わせることで、酸化物薄膜の陰イオン置換を行った。

3. 研究の方法

(1) $LaSrVMoO_6$ 薄膜の作製と輸送・磁気特性

$LaSrVMoO_6$ 薄膜は、 $(LaAlO_3)_{0.3}$ ・ $(SrAl_{0.5}Ta_{0.5}O_3)_{0.7}$ (LSAT) (100) および LSAT(111)基板上に堆積させた。製膜は 1.0 mTorr の Ar 雰囲気下で行い、基板温度を 600–800°C で変化させて結晶形成に与える影響を調べた。結晶構造は X 線回折 (XRD)、電気抵抗率は四端子抵抗率測定、磁化特性はス

クイッド磁束計によりそれぞれ評価した。また、比較のため多結晶体についても合成および測定を行った。

(2) Cr ドープ SrRuO₃ 薄膜の作製と評価

SrRu_{0.9}Cr_{0.1}O₃ エピタキシャル薄膜を PLD 法により SrTiO₃ (STO) (100) 基板上に作製した。作製した薄膜の電子状態は、共鳴軟 X 線光電子分光 (PES) および X 線吸収分光 (XAS) で測定した。

(3) 完全に B サイト配列したダブルペロブスカイト Sr₂MgMoO₆ 薄膜の作製

Sr₂MgMoO₆ 薄膜は PLD 法により STO(111) 基板上に作製した。作製条件は、基板温度 (T_s)・酸素分圧 (P_{O_2}) を (T_s, P_{O_2}) = (700°C, 1×10^{-4} Torr), (700°C, 1×10^{-9} Torr), (800°C, 1×10^{-4} Torr), (800°C, 1×10^{-9} Torr) の 4 条件に設定した。薄膜の結晶構造は XRD で、電気抵抗率は四端子抵抗率測定によりそれぞれ評価した。

(4) トポタクティック合成法による酸化物薄膜への陰イオン置換手法の開発

まず前駆体である SrFeO_{2.5} 薄膜を PLD 法により STO(001) 基板上に作製した。次に、水素置換・フッ素置換を行うために、前駆体薄膜と水素・フッ素源の試薬とをそれぞれ反応させた。水素置換では、前駆体薄膜を水素化カルシウム粉末とともに真空封入し、250–280°C の温度で加熱した。フッ素置換では、ポリフッ化ビニリデンとともにアルゴン雰囲気下で 150–250°C、24 時間加熱した。得られた薄膜の結晶構造は XRD により確認した。組成分析には二次イオン質量分析法、エネルギー分散型 X 線分析法、核反応分析法を用いて行った。

4. 研究成果

(1) LaSrVMoO₆ 薄膜の作製と輸送・磁気特性

ダブルペロブスカイト構造を持つ導電性酸化物 LaSrVMoO₆ は反強磁性と高いスピンドル分極率 ($P \sim 0.5$) を持ち、未だ実現されていない反強磁性ハーフメタルに近い物質として報告されている[9]。一方で LaSrVMoO₆ の反強磁性および高スピンドル分極率を否定する報告例も存在する[10]。しかしながら、これらの議論はすべて多結晶の結果に基づいており、精密な物性の議論を行うためには高品質な LaSrVMoO₆ 単結晶試料が必要不可欠である。本研究では、PLD 法を用いることで LaSrVMoO₆ 単結晶エピタキシャル薄膜の作製に成功し、多結晶試料よりも低い電気抵抗率を示すことを見出した。

XRD により、いずれの基板上においても LaSrVMoO₆ 薄膜のエピタキシャル成長を確認した。図 1 に LaSrVMoO₆ 薄膜における電気抵抗率の温度依存性を示す。LSAT(100) 基板上に堆積させたものの電気抵抗率は、基板温度の上昇につれ半導体的から金属的に変

化した (図 1(a))。これは高い基板温度により結晶性が改善されたためと考えられる。また、800°C で製膜したものの室温での電気抵抗率の値は、多結晶体に比べ大幅に減少した (図 1(b))。特に(111)基板上に堆積した薄膜は、(100)基板上よりわずかに低い残留抵抗を示し、低温での抵抗率は $2 \times 10^{-4} \Omega\text{cm}$ 程度まで低下した。これは、(111)配向したことで (V, Mo) サイトの配列が向上したものと考えられる。また、5 K において磁化の外部磁場依存性を測定したところ、いずれの試料もヒステリシスを示さなかったことから、作製した薄膜が強磁性でないことが確かめられた。一方で、磁化の温度依存性では、多結晶 LaSrVMoO₆ は反強磁性を表すカusp が 104 K に観測されたものの、薄膜では薄膜由来のシグナルが弱くカusp は確認されなかった。磁気特性の正確な評価が今後の課題である。

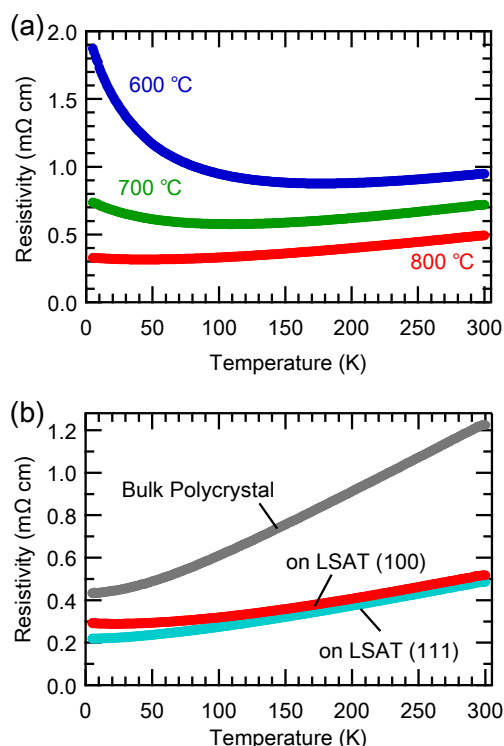


図 1. LaSrVMoO₆ 薄膜の電気抵抗率—温度曲線の(a)基板温度・(b)基板面方位依存性

(2) Cr ドープ SrRuO₃ 薄膜の作製と評価

ペロブスカイト型ルテニウム酸化物 SrRuO₃ はキュリー温度 (T_C) が 166 K の強磁性金属であり、酸化物電極材料として利用されている。前述したように、SrRuO₃ の B サイトを Cr に 50% 置換したものは反強磁性ハーフメタルとして予測されており、また Cr を 10% 置換した SrRu_{0.9}Cr_{0.1}O₃ は T_C が 188 K になることがバルク体で報告されている[2,11]。同様に、SrTiO₃ (STO) (100) 基板上の薄膜においても T_C は SrRuO₃ 薄膜で 152 K、SrRu_{0.9}Cr_{0.1}O₃ 薄膜で 165 K と増加している[12]。このような Cr ドープによる T_C の増加は、Cr $3d_{t_2g}$ 軌道と Ru $4d_{t_2g}$ 軌道の混成によるものと考えられているが、実際に電子状態を観測した例はな

い。本研究では、PLD 法により STO(100)基板上に $\text{SrRu}_{0.9}\text{Cr}_{0.1}\text{O}_3$ エピタキシャル薄膜を作製し、共鳴 PES および XAS を用いて、 $\text{SrRu}_{0.9}\text{Cr}_{0.1}\text{O}_3$ 薄膜の電子状態を測定した。

図 2 に $\text{SrRu}_{0.9}\text{Cr}_{0.1}\text{O}_3$ 薄膜の Cr $2p$ - $3d$ 共鳴 PES スペクトルと Cr L 端 XAS スペクトルを示す。Cr L 端 XAS スペクトルは Cr L_3 端と Cr L_2 端にいくつかのピークを持っており、579 eV に最も高いピークを持つ。図中の点線で示した入射エネルギーで測定した価電子帯スペクトルが図 4 (左) の共鳴 PES スペクトルである。これを見ると、1-3 eV と 6-9 eV の状態密度が Cr $2p$ - $3d$ 共鳴が強くなるにしたがって増大しているのが見て取れる。これは、この結合エネルギーの範囲に Cr $3d$ 軌道が寄与していることを示している。 SrRuO_3 の価電子帯における 0-3 eV と 5-9 eV の結合エネルギーはそれぞれ Ru $4d$ および Ru $4d$ -O $2p$ 混成軌道であるので[13]、Cr $3d_{t_2g}$ 軌道が Ru $4d_{t_2g}$ 軌道の混成していることが実験的に明らかになった。

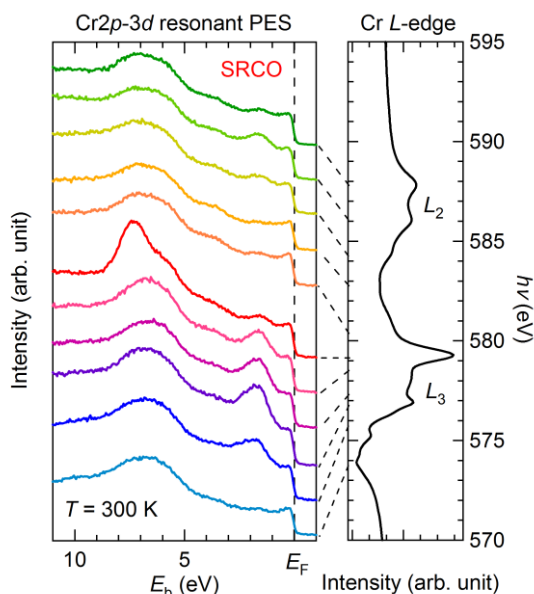


図 2. (左) $\text{SrRu}_{0.9}\text{Cr}_{0.1}\text{O}_3$ 薄膜の Cr $2p$ - $3d$ 共鳴 PES スペクトルと (右) Cr L 端 XAS スペクトル

(3) 完全に B サイト配列したダブルペロブスカイト $\text{Sr}_2\text{MgMoO}_6$ 薄膜の作製

ダブルペロブスカイト $\text{Sr}_2\text{Mg}^{2+}\text{Mo}^{6+}\text{O}_6$ は、 B サイトの価数・イオン半径の差が非常に大きく、容易に Mg, Mo の秩序配列を形成する[14]。この $\text{Sr}_2\text{MgMoO}_6$ を酸化物基板と反強磁性ハーフメタル候補のダブルペロブスカイト薄膜との間に挿入すれば、挿入した $\text{Sr}_2\text{MgMoO}_6$ 層 (シード層) からエピタキシャル力が働き、薄膜の B サイト秩序配列を促すと考えられる。そこで、完全に B サイト配列した $\text{Sr}_2\text{MgMoO}_6$ 薄膜が作製できるかを確かめるために、STO(111)基板上に様々な条件で $\text{Sr}_2\text{MgMoO}_6$ 薄膜を作製し、その結晶構造と電気特性を調べた。

図 3 に作製した $\text{Sr}_2\text{MgMoO}_6$ 薄膜の面直方向の XRD パターンを示す。4 つ全ての条件で、(111)と(333)の超格子ピークが観察され、 B サイト配列していることが分かった。一方で、(800°C, 1×10^{-4} Torr)で作製した薄膜のみ SrMoO_4 の不純物ピークが見られた。図 4 には電気抵抗率の温度依存性を示す。(800°C, 1×10^{-4} Torr)で作製した試料は $> 10 \text{ } \Omega\text{cm}$ の絶縁体であったが、(700°C, 1×10^{-4} Torr), (700°C, 1×10^{-9} Torr), (800°C, 1×10^{-9} Torr)で作製した薄膜では電気抵抗率の温度依存性が 10-300 K で半導体的であり、300 K にて $2.7\text{-}6.6 \times 10^{-2} \text{ } \Omega\text{cm}$ であった。この電気伝導の起源は、酸素欠損によるものと考えられる。そこで、(700°C, 1×10^{-9} Torr)の酸素欠損した $\text{Sr}_2\text{MgMoO}_6$ 薄膜を大気中 500°C、1 時間ポストアニールすることで、 $\text{Sr}_2\text{MgMoO}_6$ 単相の絶縁体薄膜、すなわち酸素欠損のない $\text{Sr}_2\text{MgMoO}_6$ 薄膜を得ることに成功した。したがって、シード層に適する単相かつ酸素欠損のない $\text{Sr}_2\text{MgMoO}_6$ 薄膜を得るためには、ポストアニールが重要であることが分かった。

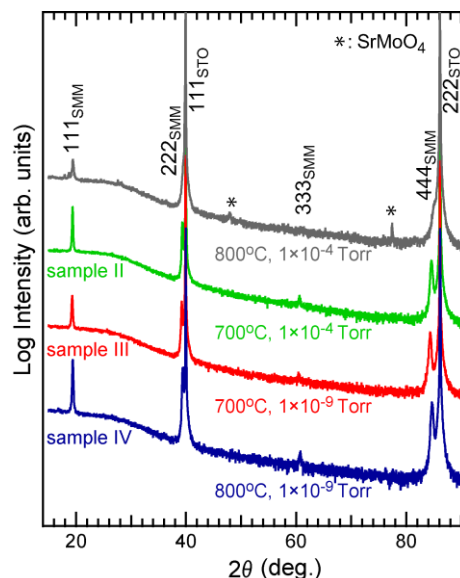


図 3. $\text{Sr}_2\text{MgMoO}_6$ 薄膜の面直方向の XRD パターン

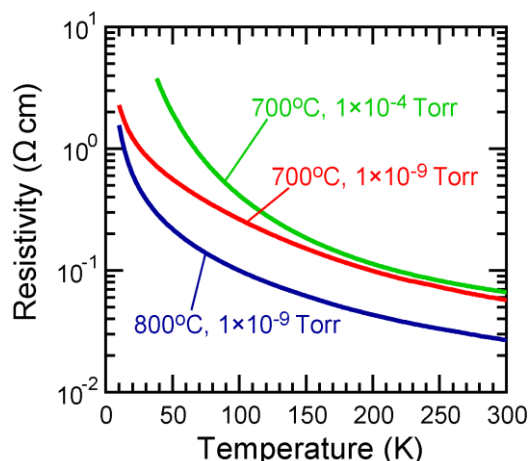


図 4. $\text{Sr}_2\text{MgMoO}_6$ 薄膜の電気抵抗率の温度依存性

(4) トポタクティック合成法による酸化物薄膜への陰イオン置換手法の開発

最近簡便な酸化物の陰イオン置換の方法として注目されているのが、有機分子合成の分野で使われている反応剤を固体酸化物へ適用させたトポタクティック合成法である。トポタクティック合成とは、化合物の基本構造を反応前後で保ったまま元素を出入りさせられる手法である。例えば、チタン酸バリウム BaTiO_3 に水素化カルシウムを用いることで酸水素化物 $\text{BaTiO}_{2.4}\text{H}_{0.6}$ へと変化させたり、層状鉄酸化物 $\text{Sr}_3\text{Fe}_2\text{O}_{7-x}$ にテフロンを用いて $\text{Sr}_3\text{Fe}_2\text{O}_{5+x}\text{F}_{2-x}$ へと変化させる報告が最近なされている[15,16]。本研究では、酸化物薄膜にトポタクティック合成を適用させることで、遷移金属酸水素化物・酸フッ化物エピタキシャル薄膜の合成に成功した。

酸水素化物薄膜の合成では、水素化カルシウムを $\text{SrFeO}_{2.5}$ 薄膜に反応させて行った。その結果、無限層構造 SrFeO_2 に二次元鉄平面を保ったまま水素イオンを大量 ($\sim 4 \times 10^{21} \text{ cm}^{-3}$) にドーピングすることに成功した。これに伴い、絶縁体相から金属相への転移も見出した。また酸フッ化物薄膜の合成では、フッ素源としてポリフッ化ビニリデンを選択し、 $\text{SrFeO}_{2.5}$ 薄膜のフッ素ドーピングに成功した。特にこの合成では、フッ素ドーピング前後でのエピタキシャル成長保持とバルク体と比較してより低温でフッ素ドーピングが進行するという薄膜ならではの特長も見出した。これらの結果は、トポタクティック合成法による陰イオン置換が新奇物性の発現に極めて有効な戦略であることを示している。

<引用文献>

- [1]. W. E. Pickett, Phys. Rev. B **57**,10613 (1998).
- [2]. K.-W. Lee and W. E. Pickett, Phys. Rev. B **77**, 115101 (2008).
- [3]. W. Song, E. Zhao, J. Meng, and Z. Wu, J. Chem. Phys. **130**, 114707 (2009).
- [4]. V. Pardo and W. E. Pickett, Phys. Rev. B **80**, 054415 (2009).
- [5]. Y. K. Wang, P. H. Lee, and G. Y. Guo, Phys. Rev. B **80**, 224418 (2009).
- [6]. S. H. Chen, Z. R. Xiao, Y. P. Liu, P. H. Lee, and Y. K. Wang, J. Magn. Magn. Mater. **323**, 175-179 (2011).
- [7]. Y. K. Wang and C. Y. Guo, Phys. Rev. B **73**, 064424 (2006).
- [8]. S. H. Chen, Z. R. Xiao, Y. P. Liu, and Y. K. Wang, J. Appl. Phys. **108**, 093908 (2010).
- [9]. H. Gotoh, Y. Takeda, H. Asano, J. Zhong, A. Rajanikanth, and K. Hono, Appl. Phys. Exp. **2**, 013001 (2009).
- [10]. S. Jana, V. Singh, S. D. Kaushik, C. Meneghini, P. Pal, R. Knut, O. Karis, I. Dasgupta, V. Siruguri, and S. Ray, Phys. Rev. B **82**, 180407(R) (2010).
- [11]. L. Pi, A. Maignan, R. Retoux, and B. Raveau, J. Phys. Condens. Matter. **14**, 7391 (2002).
- [12]. E. V. Ramana, H. W. Park, C. U. Jung, IEEE Trans. Magn. **46**, 2228 (2010).
- [13]. M. Takizawa, D. Toyota, H. Wadati, A. Chikamatsu, H. Kumigashira, A. Fujimori, M. Oshima, Z. Fang, M. Lippmaa, M. Kawasaki, and H. Koinuma, Phys. Rev. B **72**, 060404 (2005).
- [14]. C. Bernuy-Lopez, M. Allix, C. A. Bridges, J. B. Claridge, and M. J. Rosseinsky, Chem. Mater. **19**, 1035 (2007).
- [15]. Y. Kobayashi, O.J. Hernandez, T. Sakaguchi, T. Yajima, T. Roisnel, Y. Tsujimoto, M. Morita, Y. Noda, Y. Mogami, A. Kitada, M. Ohkura, S. Hosokawa, Z. Li, K. Hayashi, Y. Kusano, J.E. Kim, N. Tsuji, A. Fujiwara, Y. Matsushita, K. Yoshimura, K. Takegoshi, M. Inoue, M. Takano, and H. Kageyama, Nat. Mater. **11**, 507 (2012).
- [16]. Y. Tsujimoto, J. J. Li, K. Yamaura, Y. Matsushita, Y. Katsuya, M. Tanaka, Y. Shirako, M. Akaogi, and E. Takayama-Muromachi, Chem. Commun. **47**, 3263 (2011).

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計5件)

- ① Tsukasa Katayama, Akira Chikamatsu, Yasushi Hirose, Tomoteru Fukumura, and Tetsuya Hasegawa, "Topotactic reductive fluorination of strontium cobalt oxide epitaxial thin films", J. Sol-Gel Sci. Technol. **73**, 527-530 (2015). DOI 10.1007/s10971-014-3499-x, 査読有
- ② Xi Shen, Akira Chikamatsu, Kei Shigematsu, Yasushi Hirose, Tomoteru Fukumura, and Tetsuya Hasegawa, "Metallic transport and large anomalous Hall effect at room temperature in ferrimagnetic Mn_4N epitaxial thin film", Appl. Phys. Lett. **105**, 072410-1-3 (2014). DOI: 10.1063/1.4893732, 査読有
- ③ K. Shigematsu, A. Chikamatsu, T. Fukumura, S. Toyoda, E. Ikenaga, and T. Hasegawa, " $\text{Sr}_2\text{MgMoO}_{6-\delta}$ thin films fabricated using pulsed-laser deposition with high concentrations of oxygen vacancies", Appl. Phys. Lett. **104**, 261901-1-4 (2014). DOI: 10.1063/1.4886136, 査読有
- ④ T. Katayama, A. Chikamatsu, Y. Hirose, R. Takagi, H. Kamisaka, T. Fukumura and T. Hasegawa, "Topotactic fluorination of strontium iron oxide thin films using polyvinylidene fluoride", J. Mater. Chem. C

2, 5350-5356 (2014). DOI: 10.1039/c4tc00558a, 査読有

- ⑤ Tsukasa Katayama, Akira Chikamatsu, Yasushi Hirose, Hiroshi Kumigashira, Tomoteru Fukumura, and Tetsuya Hasegawa, "Metallic conductivity in infinite-layer strontium iron oxide thin films reduced by calcium hydride", *J. Phys. D: Appl. Phys.* **47**, 135304-1-6 (2014). DOI:10.1088/0022-3727/47/13/135304, 査読有

[学会発表] (計 11 件)

- ① 山田佳補、近松彰、重松圭、福村知昭、長谷川哲也、「 $\text{SrRu}_{0.5}\text{Cr}_{0.5}\text{O}_3$ エピタキシャル薄膜の作製及び物性評価」、第 62 回応用物理学会春季学術講演会、東海大学湘南キャンパス (神奈川県秦野市)、2015 年 3 月 11 日、(口頭)
- ② 近松彰、「トポタクティック合成法による酸化物薄膜へのアニオンドーピング」、放射光セミナー、東京大学物性研究所 (千葉県柏市)、2015 年 1 月 13 日、(招待講演・口頭)
- ③ 小野塚智也、近松彰、片山司、福村知昭、長谷川哲也、「水素ドーピングに伴う NdNiO_3 薄膜の構造変化」、第 75 回応用物理学会秋季学術講演会、北海道大学札幌キャンパス (北海道札幌市)、2014 年 9 月 18 日、(口頭)
- ④ 河原佳祐、近松彰、片山司、小野塚智也、福村知昭、長谷川哲也、「 $\text{Sr}_{n+1}\text{Ru}_n\text{O}_{3n+1}$ 薄膜へのポリフッ化ビニリデンによるトポタクティックフッ素ドーピング」、第 75 回応用物理学会秋季学術講演会、北海道大学札幌キャンパス (北海道札幌市)、2014 年 9 月 18 日、(口頭)
- ⑤ 片山司、近松彰、神坂英幸、廣瀬靖、福村知昭、長谷川哲也、「ペロブスカイト構造を有するコバルト系ヒドリド酸化物薄膜の作製」、第 75 回応用物理学会秋季学術講演会、北海道大学札幌キャンパス (北海道札幌市)、2014 年 9 月 17 日、(口頭)
- ⑥ A. Chikamatsu, T. Katayama, Y. Hirose, H. Kamisaka, T. Fukumura, and T. Hasegawa, "Topotactic reaction of iron oxide thin films", 2014 Collaborative Conference on Materials Research, Incheon/Seoul, South Korea, 2014 年 6 月 25 日、(Invited, Oral)
- ⑦ Tsukasa Katayama, Akira Chikamatsu, Yasushi Hirose, Tomoteru Fukumura, and

Tetsuya Hasegawa, "Topotactic Fluorination of $\text{SrFeO}_{2.5}$ and $\text{SrCoO}_{2.5}$ Thin Films by Using Polyvinylidene Fluoride", E-MRS 2014 SPRING MEETING, Lille, France, 2014 年 5 月 27 日、(Poster)

- ⑧ 片山司、近松彰、廣瀬靖、福村知昭、長谷川哲也、「PVDF を用いた $\text{SrCoO}_{2.5}$ 薄膜のトポタクティックフッ素化反応」、第 61 回応用物理学会春季学術講演会、青山学院大学相模原キャンパス (神奈川県相模原市)、2014 年 3 月 17 日、(ポスター)
- ⑨ A. Chikamatsu, T. Katayama, R. Takagi, Y. Hirose, T. Fukumura, and T. Hasegawa, "Carrier doping into infinite-layer iron oxide thin films by rare-earth substitution", SPIE Photonics WEST, San Francisco, USA, 2014 年 2 月 2 日、(Invited, Oral)
- ⑩ 片山司、近松彰、廣瀬靖、高木亮介、神坂英幸、福村知昭、長谷川哲也、「トポタクティック反応による SrFeO_x 薄膜のフッ素置換」、第 74 回応用物理学会秋季学術講演会、同志社大学京田辺キャンパス (京都府京田辺市)、2013 年 9 月 18 日、(口頭)
- ⑪ 小野塚智也、近松彰、片山司、福村知昭、長谷川哲也、「ポリフッ化ビニリデンを用いた RNiO_3 ($R = \text{La}, \text{Nd}$) 薄膜へのフッ素ドーピング」、第 74 回応用物理学会秋季学術講演会、同志社大学京田辺キャンパス (京都府京田辺市)、2013 年 9 月 18 日、(口頭)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

近松 彰 (CHIKAMATSU, Akira)
東京大学・大学院理学系研究科・助教
研究者番号：40528048