

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 23 日現在

機関番号：13903

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2011～2013

課題番号：23686094

研究課題名(和文)電気磁気効果増幅型エンジニアードマルチフェロイクス材料の創製

研究課題名(英文)Preparation of engineered multiferroic material showing enhanced magneto-electric effect

研究代表者

横田 壮司(Yokota, Takeshi)

名古屋工業大学・工学(系)研究科(研究院)・助教

研究者番号：10402645

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 21,600,000円、(間接経費) 6,480,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、電界(磁界)によって磁界(電界)を誘起することが出来る電気磁気効果(ME効果)薄膜結晶成長技術を用いて作成した人工超格子構造によって実現することを目指したものである。そのような背景を元にCr2O3/LiNbO3/Cr2O3エピタキシャル積層膜を作製した。LiNbO3の層厚と外場(電場・磁場)によって磁性・誘電性を多様に制御できることを明らかにし、またその変化量を単相のCr2O3に対して6倍大きくすることに成功した。

研究成果の概要(英文)：This research was focused on a preparation of artificial magneto-electric materials, which can be controlled their magnetic or ferroelectric properties can be controlled by an external electric or magnetic field, prepared using thin film crystal growth technics. In this purpose, we prepared Cr2O3/LiNbO3/Cr2O3 epitaxial multilayer. We revealed that magnetic or electric properties of the multilayer can be controlled by an external electric or magnetic field. The tenability is about 6 times larger than that of Cr2O3 film.

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：電気磁気効果 マルチフェロイック エピタキシャル成長 磁性 誘電性

### 1. 研究開始当初の背景

現在、**マルチフェロイクス**と呼ばれる強磁性・強誘電性を共存した物質が盛んに研究されている。これらは、主に電気磁気効果 (ME) によってその磁性や誘電性を制御するものである。その中でも  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  は 70 年代から研究がなされており、**室温において ME 効果が発現すると理論的にも実験的にも報告されている**。しかしながら、得られる**磁気モーメントが非常に小さいこと**や**バルクによる報告のみであったこと**から応用を視野に入れた材料としての注目度は極めて低かった。その中で、我々は、 $\text{Cr}_2\text{O}_3$  において薄膜化によって電圧に対し極めて大きな電界が薄膜に印加されることを利用して、低電圧でも室温で顕著な磁気の変化が得られることを最近明らかにした。また、酸素欠損相である  $\text{Cr}_2\text{O}_{3-x}$  も同時に電圧によってその磁気状態を変調できることを明らかにしてきた。

### 2. 研究の目的

本研究は、上述の  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  中に極薄の強誘電体層を挿入し、新しい動作原理によって電界誘起の磁気情報が不揮発な人工マルチフェロイクス材料を作製することを目的として実験を進めた。新しい動作原理実現のためには、以下に示す物性を明らかにする必要がある。

- (1) 電界によって誘起された  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  の磁気モーメントの情報が、トンネル効果によって伝搬可能すること
- (2) 挿入した強誘電体層が自発分極すること
- (3) 1. のトンネル効果が発現するのに十分強誘電体層を薄くすること

これらを踏まえて、 $\text{Cr}_2\text{O}_3/\text{LiNbO}_3/\text{Cr}_2\text{O}_3$  エピタキシャル積層膜を作製し、磁気特性・誘電特性・ME 特性の評価を行った。また、 $\text{Cr}_2\text{O}_3$  単相と比較して ME 変調率の比較とその発現メカニズムを考察した。

### 3. 研究の方法

目的で挙げた 3 項目に対して以下の実験を行った。その方法を示す。

- (1)  $\text{Cr}_2\text{O}_3/(\text{Cr}_2\text{O}_{3+x})/\text{LiNbO}_3/(\text{Cr}_2\text{O}_{3+x})/\text{Cr}_2\text{O}_3$  **エピタキシャル薄膜の作製**

In-site 高速反射電子回折装置 (RHEED) を有する圧多元スパッタリング法により作製する。RHEED・及び原子間力顕微鏡 (AFM) を用いて、結晶初期核の形成 (2 次元・3 次元成長) 過程を明らかにし、原子レベルで平坦かつエピタキシャル成長した薄膜作製条件を明らかにする。

- (2)  $\text{Cr}_2\text{O}_3/(\text{Cr}_2\text{O}_{3+x})/\text{LiNbO}_3/(\text{Cr}_2\text{O}_{3+x})/\text{Cr}_2\text{O}_3$  **エピタキシャル薄膜の磁気誘電特性**

上記で作製した薄膜の  $\text{Cr}_2\text{O}_3 \cdot \text{LiNbO}_3$  の各層厚に対する基礎的な電気・磁気特性を探索

する。(1)で得られた試料はエピタキシャル応力によって電界印可前に応力ひずみを生じていることが予想される。必要に応じてそれぞれの単相膜を作製しその物性をフィードバックする。

- (3)  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Cr}_2\text{O}_{3+x}$ 、 $\text{LiNbO}_3$  **それぞれの層厚と電気磁気特性の探査と理論的アプローチ**

(1)、(2)で得られた試料作製条件、単相膜、積層膜の物性を元に  $\text{LiNbO}_3$  層厚の変化に対する磁場 (電場) に対する誘電性 (磁性) の応答を系統的に探査する。リーク電流密度解析によりトンネル効果と ME 効果・磁気輸送特性との関係を明らかにする。

### 4. 研究成果

上記の各目的・方法に従って結果を示す。  
(1) 連続成膜かつ in-situ での RHEED (反射型高速電子線回折) による結晶構造・方位観察可能な RF マグネトロンスパッタリング装置を設計し、各薄膜 ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Cr}_2\text{O}_{3+x}$ ,  $\text{LiNbO}_3$ ) の成膜条件探査を行った。スパッタリングのワット数の増加に伴い、結晶性が向上することが明らかになった。また、スパッタリングガスの Ar:O 比に対して 8:1 から  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  が主相として成長し始め、4:1 において単相かつ結晶性が最も優れることが分かった。8:1 以下の酸素分圧では、 $\text{Cr}_2\text{O}_3$  が酸素欠損した安定して  $\text{Cr}_3\text{O}_4$  が形成されることがわかった。一方  $\text{LiNbO}_3$  においては、スパッタリングのワット数に組成が大きく影響を受けることがわかった。低いワット数においては、Li 過剰の薄膜 (Nb 欠損) が形成されることがわかった。これは、Nb 原子が比較的軽くスパッタリングされにくいためだと考えられる。しかしながら、高いワット数においては Li 欠損することがわかった。また、ガス比に関しては、Ar:O 比に対して 4:1 が、もっとも結晶性が良いことがわかった。以上の条件を用いて積層膜を作製した結果、 $\text{c-Al}_2\text{O}_3$  基板上に下部電極である Pt を含めてエピタキシャル成長した薄膜を作製することに成功した。(Fig.1)

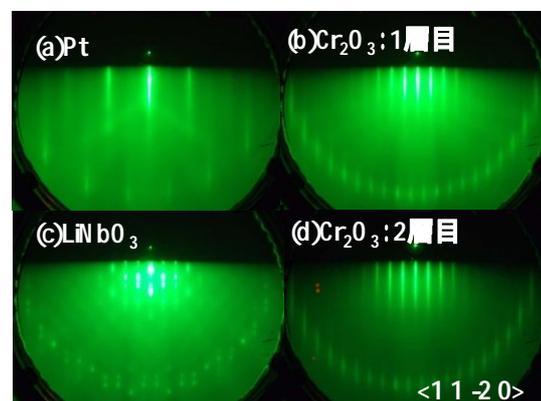


Fig.1  $\text{c-Al}_2\text{O}_3$  基板上に作製した (a)Pt/(b) $\text{Cr}_2\text{O}_3$ /(c) $\text{LiNbO}_3$ /(d) $\text{Cr}_2\text{O}_3$  積層膜の RHEED パターン

(2) (1)で得られた試料に関する磁気・誘電特性評価を行った。積層膜の磁気特性を測定したところ室温において電界を印加しない状態で強磁性を示すことが明らかになった。 $(\text{Cr}_2\text{O}_3)$ は反強磁性体)この原因を明らかにするために(a) $\text{Cr}_2\text{O}_3/\text{Pt}$ 、(b) $\text{Cr}_2\text{O}_3/\text{LiNbO}_3$ の二種類の薄膜

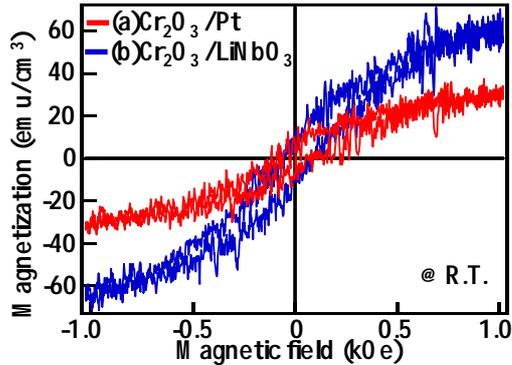


Fig.2 (a)エピタキシャル Pt 上に作製した  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  薄膜及び(b)エピタキシャル  $\text{LiNbO}_3$  上に作製した  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  の磁気特性

を作製し、磁気特性を評価した。(Fig.2)

単位体積当たりの磁化値が違うことからこれらの強磁性は、エピタキシャル歪に起因しているものと予想される。そこで、これらの試料の面内・面直からのX線回折による格子状数を探査したところ、試料(a)ではポアソン比3.17の圧縮応力、(b)ではポアソン比1.51の引っ張り応力がかかっていることが明らかになり、(a)の試料では、 $5.96 \text{ kV/cm}$ (b)の試料では、 $9.76 \text{ kV/cm}$ の電界印可に相当する磁性が発現していることがわかった。これらの結果は、積層膜の室温における強磁性が、エピタキシャル歪に起因して発言していることを裏付けるものである。次に、積層膜の試料の誘電特性を評価するために分極電圧測定及び圧電応答性を探査した。その結果を、Fig.3(a)、(b)に示す。Fig.3(a)に示すように積層膜は、強誘電体 $\text{LiNbO}_3$ の物性を反映してヒステリシス曲線を描くことがわかった。またFig.3(b)に示すように、その電圧に対する変位は通常の $\text{Cr}_2\text{O}_3$ 単相と比較して5倍大きくなっていることがわかった。

これより、作製した $\text{Cr}_2\text{O}_3/\text{LiNbO}_3/\text{Cr}_2\text{O}_3$  積層膜が室温において強磁性・強誘電性を示し、電界・磁界に対して大きな応答性を有する人工マルチフェロイック材料であることが明らかになった。

(3) 上記(1)、(2)より積層膜作製に必要な成膜条件、積層膜及びそれぞれ各層の基礎物性が明らかになった。以上を踏まえて、 $\text{Cr}_2\text{O}_3(30 \text{ nm})/\text{LiNbO}_3(6 - 14 \text{ nm})/\text{Cr}_2\text{O}_3(30 \text{ nm})$ の膜厚の積層膜を作製し  $\text{LiNbO}_3$  層厚の変化に対する ME 効果の変調を探査し、その変調メカニズムを磁気輸送特性の観点から考察を行った。初めに、ME 効果と  $\text{LiNbO}_3$  膜厚の関係を明らかにするために磁場中で

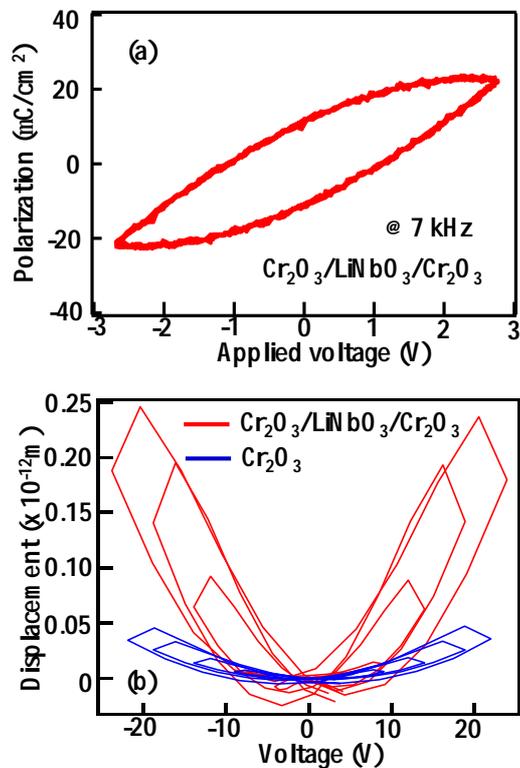


Fig.3 (a)  $\text{Cr}_2\text{O}_3/\text{LiNbO}_3/\text{Cr}_2\text{O}_3$  積層膜の分極-電圧曲線(b)積層膜及び  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  薄膜の変位-電圧曲線

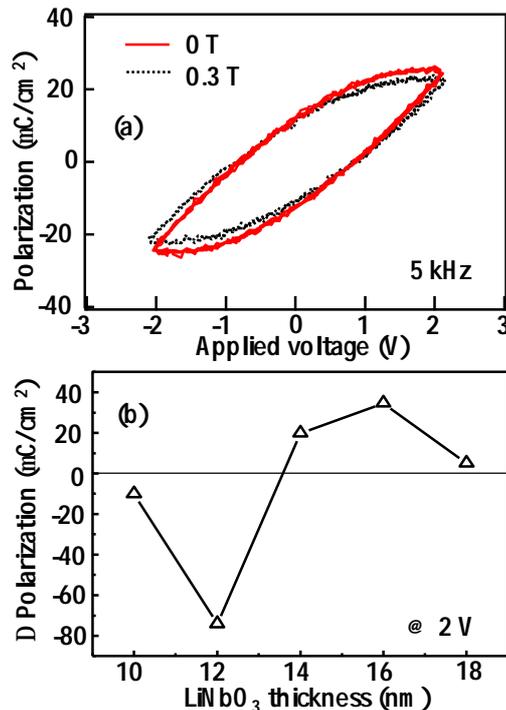


Fig.4 (a)  $\text{Cr}_2\text{O}_3/\text{LiNbO}_3(10 \text{ nm})/\text{Cr}_2\text{O}_3$  積層膜の磁場前後における分極-電圧曲線(b)分極量変化に対する  $\text{LiNbO}_3$  膜厚依存性

分極-電圧測定を行い磁場印可前後の分極量変化を探査した。Fig. 4(a) に  $\text{LiNbO}_3$  膜の膜厚が  $10 \text{ nm}$  の時の磁場印可前後の分極電圧曲線 (b) に  $\text{LiNbO}_3$  膜厚に対する磁場に対する分極値の変化量をプロットしたものと

を示す。

Fig.4 (a)に示されるように LiNbO<sub>3</sub> が 10 nm の試料では、磁場の印加に伴って分極量の減少が確認された。その分極量の変化を LiNbO<sub>3</sub> の膜厚に対してプロットすると Fig.4(b)に示すように増減を示し、膜厚に対する一定の法則は見受けられなかった。この現象をより詳細に探究するためにそれぞれの膜厚に対するリーク電流を Fowler-Nordheim (FN)-Tunnel

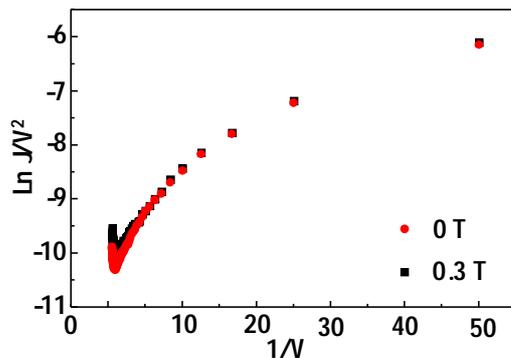


Fig.5 FN-Tunnel 機構を用いてプロットした電流 電圧曲線及び磁場印可後の電流 - 電圧曲線

機構を用いて解析したトンネル電流の存在の有無を探究した。また、そのリーク電流の磁場に対する応答性を探究した。Fig.5 に FN-Tunnel 機構を用いてプロットした電流電圧曲線を示す。高電圧側でグラフの傾きが負になることから、FN-Tunnel 機構でトンネル電流が存在することがわかる。また、磁場の印加に伴い電流密度の増加が確認され、その現象は FN-Tunnel 機構が支配的な領域で顕著に表れることがわかる。Fig.4(b)と同様にこの FN-Tunnel 機構が支配的な領域における磁場に対する電流密度変化 (磁気抵抗) をプロットした図を Fig.6 に示す。

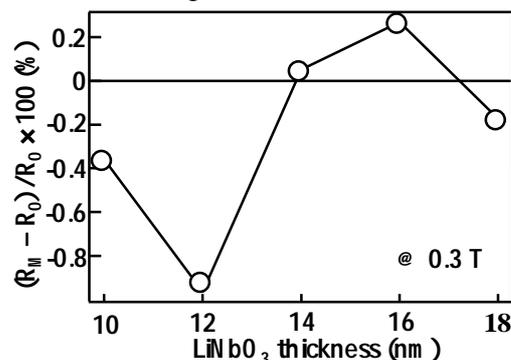


Fig.6 Cr<sub>2</sub>O/LiNbO<sub>3</sub>/Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 積層膜の LiNbO<sub>3</sub> の膜厚に対する磁気抵抗変化

Fig.6 の結果より、Fig.4(b)と同様の傾向を示すことがわかる。このことから、次のようなメカニズムが考えられる。ME 効果によって LiNbO<sub>3</sub> 前後の Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 中に磁化 (磁気モーメント) が誘起される。そのトンネル電流は LiNbO<sub>3</sub> を流れる為、Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 前後の磁気モーメントの関係が平行・反平行によってトンネル電流は磁気抵抗変化を正・負に変化させる。その結果、LiNbO<sub>3</sub> に印可される電圧が変化

し、LiNbO<sub>3</sub> の分極量が変化するものと考えられる。したがって、負の磁気抵抗が現れる時には、分極量が減少し正の磁気抵抗が現れる時には、分極量が増加するという Fig.4 及び Fig.6 の現象が説明できることが明らかになった。また、磁場印可による分極量変化は、Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 単体と比較し 6 倍程度大きくなることから Fig.3(b)の電圧による変位量とほぼ同程度であることも明らかになった。

以上を踏まえて、Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> に極薄の LiNbO<sub>3</sub> 薄膜の膜厚を変えて挿入することにより、電場・磁場に対して多様に ME 効果を変調できる人工マルチフェロイック材料の作製に成功したと言える。

この結果の多様性は、メモリ・センサー・論理回路などの電子材料だけでなく、電界による磁性変化によるエントロピー変化などのエネルギー材料への応用も期待でき、その可能性は計り知れない。

## 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 18 件)

1. K. Ichikawa, T. Yokota, and M. Gomi  
"Electric and Magneto-electric properties of Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> thin films", e-journal of Surface Science and Nanotechnology Vol. 12 (2014) in press (査読有)
2. T. Yokota, S. Kito, and M. Gomi,  
"Detailed analyses of electric field-induced resistance switching behavior of SrFeO<sub>3-x</sub> film" Japanese Journal of Applied Physics, 53,(2014) P. 02BC17-1-5 (査読有)  
DOI:10.7567/JJAP.53.02BC17
3. T. Yokota, K. Ichikawa, S. Murata, and M. Gomi  
"Injected charge modulation using magnetic filtering effect in Au/Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/FeCr/CeO<sub>2</sub>/Si capacitor", e-journal of Surface Science and Nanotechnology Vol. 11 (2013) p. 122-126 (査読有)  
DOI: 10.1380/ejssnt.2013.122
4. T. Yokota, S. Murata, and M. Gomi  
"Spin-charge multi injection mechanism of a magneto-electric capacitor", Journal of Ceramic Society of Japan (Express Letter) 121[12] (2013)1-4 (査読有)  
DOI:  
<http://dx.doi.org/10.2109/jcersj2.121.1008>
5. T. Yokota, K. Ichikawa, and M. Gomi  
"Epitaxial growth and magnetoelectric properties of magnetoelectric multilayers: Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/ LiNbO<sub>3</sub>/ Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> thin films", e-journal of Surface Science and Nanotechnology (Super express Letter) Vol. 11 (2013) p. 89-92 (査読有)  
DOI: 10.1380/ejssnt.2013.89
6. T. Yokota, S. Murata, and M. Gomi

- “Electric field-induced magnetic changes in  $\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{MnO}_3$  thin film using electric field-induced resistance phenomenon”, Appl. Phys. Lett. 102, (2013) 152404 (査読有)  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1063/1.4802483>
7. T. Yokota, S. Murata, and M. Gomi  
“Influence of density of state of ferromagnetic filter layer in charge injection properties of Si metal-insulator-semiconductor capacitor with a magneto-electric gate insulator”, Journal of Ceramic Society of Japan 121[6]1 (2013) pp.512 - 515 (査読有)
8. T. Yokota, R. Aoyagi, M. Gomi  
“Thermoelectric properties of Co doped  $\text{BiFeO}_3$  and  $\text{Bi}_{24}\text{CoO}_{37}$  -  $\text{BiFeO}_3$  compound system”, Journal of Ceramic Society of Japan, Vol.121 (2013) pp.675 - 678 (査読有)
9. R. Aoyagi, M. Maeda, T. Yokota, M. Gomi  
“Effects of Heat Treatment after Poling on Dielectric and Piezoelectric Properties in  $\text{Li}_{0.06}\text{Na}_{0.94}\text{NbO}_3$  Ceramics”, Japanese Journal of Applied Physics 52(2013) 09KD12 8 (査読有)  
DOI: [10.7567/JJAP.52.09KD12](http://dx.doi.org/10.7567/JJAP.52.09KD12)
10. J. Yan, M. Gomi, T. Hattori, T. Yokota, H. Song  
“Effect of excess Bi on structure and ferroelectric properties of polycrystalline  $\text{BiFeO}_3$  thin films”, Thin Solid Film, 542 (2013) 150-154 (査読有)  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tsf.2013.07.004>
11. J. Yan, M. Gomi, T. Yokota, H. Song.  
“Phase transition and huge ferroelectric polarization observed in  $\text{BiFe}_{1-x}\text{Ga}_x\text{O}_3$  thin films”, Appl. Phys. Lett. 102 (2013) 222906 (査読有)  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1063/1.4809955>
12. T. Yamada, R. Aoyagi, T. Yokota, M. Gomi  
“High-temperature thermoelectric properties of  $\text{BaFe}_x\text{Ti}_{1-x}\text{O}_{3-\delta}$  ceramics”, Journal of Ceramic Society of Japan, Vol.121 (2013) pp.706 - 709 (査読有)
13. K. Yamaguchi, M. Gomi, Y. Shimizu, T. Yokota,  
“Sputter-epitaxy and electric properties of multiferroic  $\text{Bi}_{m+1}\text{Fe}_{m-3}\text{Ti}_3\text{O}_{3m+3}$  thin films”. Thin Solid Film, 519 (2011) 8330-8333 (査読有)  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tsf.2011.03.069>
13. Y. Shimizu, M. Gomi, K. Yamaguchi, T. Yokota, K. Mibu,  
“Preparation and magnetic properties of  $\text{Bi}_{m+1}\text{Fe}_{m-3}\text{Ti}_3\text{O}_{3m+3}$  thin films with magnetic order above room temperature”, Thin Solid Film, 519(2011)8334-8337 (査読有)  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tsf.2011.04.025>
14. T. Yokota, Y. Tsuboi, R. Imura, S. Kito, and M. Gomi  
“Influence of magneto-electric coefficient for magnetic and electric charge injection properties in magneto-electric MIS capacitors”, Materials Science and Engineering **18** (2011) 092003-1-4 (査読有)  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1088/1757-899X/18/9/092003>
15. T. Tsuboi, T. Yokota, S. Kito, R. Imura, and M. Gomi,  
“Room Temperature Magneto-electric Effect of  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  /  $\text{Cr}_2\text{O}_{3+x}$  /  $\text{LiNbO}_3$  /  $\text{Cr}_2\text{O}_{3+x}$  /  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  Hetero structure”, Materials Science and Engineering, 18, 92022-1-3 (査読有)  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1088/1757-899X/18/9/092022>
16. T. Yokota, Y. Tsuboi, S. Murata, S. Kito, and M. Gomi  
“Relationship between the crystallinity and magnetic properties of  $\text{Cr}_2\text{O}_3/\text{LiNbO}_3/\text{Cr}_2\text{O}_3$  multi layer” Electroceramics in Japan XIII, Key Engineering Materials, (2011) 485, 233 - 236 (査読有)
17. S. Kito, T. Yokota, Y. Tsuboi, R. Imura, and M. Gomi  
“Magnetic and electric field induced resistance change in  $\text{SrFeO}$  thin film”, Materials Science and Engineering, **18** (2011) 092042-1-4 (査読有)  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1088/1757-899X/18/9/092042>
18. S. Kito, T. Yokota, Y. Tsuboi, S. Murata, and M. Gomi,  
“Relationship between the resistance modulation and magneto-electric direction in  $\text{Cr}_2\text{O}_3/\text{ultra-thin (La,Sr)O}_3$  hetero interface” e-journal Surface Science and Nanotechnology Vol. 9 (2011) 138-141 (査読有)
- [学会発表](計 30 件)
- 市川幸治、横田壮司、五味學、  
“人工電気磁気効果物質：  $\text{Cr}_2\text{O}_3/\text{LiNbO}_3/\text{Cr}_2\text{O}_3$  における磁気輸送特性”、IEEE Magnetics Society 名古屋支部若手研究会、名古屋大学、愛知、(2014/2/7)
  - 市川幸治、横田壮司、五味學、  
“室温電気磁気効果物質薄膜  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  における強誘電体トンネル層挿入が電気磁気効果に及ぼす効果”、平成 25 年度日本セラミックス協会東海支部学術研究発表会、名城大学、愛知、(2013/12/7)
  - T. Yokota, K. Ichikawa, and M. Gomi,  
“Electric properties of epitaxial multilayer:  $\text{Cr}_2\text{O}_3/\text{LiNbO}_3/\text{Cr}_2\text{O}_3$  thin films”, The 30th Japan-Korea international seminar on ceramics, Kitakyushu International Conference Center, JAPAN, (2013/11/20 - 2013/11/23)
  - T. Yokota, K. Ichikawa, and M. Gomi,  
“Magnetic and magneto-electric properties

- of epitaxial  $\text{Cr}_2\text{O}_3/\text{LiNbO}_3/\text{Cr}_2\text{O}_3$  multi-layer", The 58th Annual Magnetism and Magnetic Materials, Denver, Colorado, (2013/11/04-2013/11/08)
5. K. Ichikawa, T. Yokota, M. Gomi, "Electrical and Magneto-electric properties of  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  thin film", 12th International Conference on Atomically Controlled Surfaces, Interfaces and Nanostructures, Tsukuba International Congress Center, Tsukuba, Japan, (2013/11/04-2013/11/08)
  6. 横田壮司、市川幸治、五味學、"電気磁気エピタキシャル積層膜  $\text{Cr}_2\text{O}_3/\text{LiNbO}_3/\text{Cr}_2\text{O}_3$  における磁気輸送特性"、日本セラミックス協会第 26 回秋季シンポジウム、信州大学、長野 (2013/9/4-2013/9/6)
  7. K. Ichikawa, T. Yokota, M. Gomi, "Epitaxial growth and electrical properties of magneto-electric material:  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ", The 2nd International GIGAKU Conference in Nagaoka, Nagaoka University of Technology, JAPAN, (invited), (2013/6/21-2013/6/23)
  8. T. Yokota, K. Ichikawa, and M. Gomi, "Magnetic and magneto-electric properties of  $\text{Cr}_2\text{O}_3/\text{LiNbO}_3/\text{Cr}_2\text{O}_3$  thin films", The 2nd International GIGAKU Conference in Nagaoka, Nagaoka University of Technology, JAPAN, (invited), (2013/6/21-2013/6/23)1
  9. T. Yokota, K. Ichikawa, and M. Gomi, "Epitaxial growth of magneto-electric multilayer:  $\text{Cr}_2\text{O}_3/\text{LiNbO}_3/\text{Cr}_2\text{O}_3$  thin films", 7th International Conference on the Science and Technology for Advance Ceramics, Mielparque Yokohama, JAPAN, (2013/6/19-2013/6/20)
  10. K. Ichikawa, T. Yokota, M. Gomi, "Crystal growth study of  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  thin films on Pt and electrical properties", The 4th International Symposium on Organic and Inorganic Electronic Materials and Related Nanotechnologies, ISHIKAWA ONGAKUDO, JAPAN, (2013/6/17 - 2013/6/20)
  11. T. Yokota, S. Kito, and M. Gomi, "Detailed analyses of electric field-induced resistance switching behavior of  $\text{SrFeO}_{3-x}$  film", "The 4th International Symposium on Organic and Inorganic Electronic Materials and Related Nanotechnologies, ISHIKAWA ONGAKUDO, JAPAN, (2013/6/15 - 2013/6/17)
  12. T. Yokota, K. Ichikawa, and M. Gomi, "Thermoelectric Properties and the doping effects of Bi-based magnetic oxide", "10th Pacific Rim Conference on Ceramic and Glass Technology", Sandiego, USA, (2013/6/3 - 2013/6/7)
  13. K. Ichikawa, T. Yokota, M. Gomi, "Hetero epitaxial growth of  $\text{Cr}_2\text{O}_3/\text{LiNbO}_3/\text{Cr}_2\text{O}_3$  multilayer", 10th Pacific Rim Conference on Ceramic and Glass Technology, Sandiego, USA, (2013/6/2-2013/6/7)
  14. K. Ichikawa, T. Yokota, R. Imura, A. Osvet, M. Batentschuk, M. Gomi, C. J. Brabec, "The relationship between Seebeck coefficient and Conductivity of A-site doped  $\text{BiFeO}_3$  bulk ceramic", 2nd international Symposium on ceramics Nanotune, NITech, Japan, (2013/3/6 - 2013/3/8)
  15. T. Yokota, R. Imura, A. Osvet, M. Batentschuk, M. Gomi, and C. Brabec, "Thermoelectric Properties of Fe-based ferroelectric materials", 2nd German-Japanese Seminar on Advanced Ceramic Materials, Germany, 2011 年 11 月
  16. T. Yokota, R. Imura, K. Ichikawa, and M. Gomi, "Electric field induced resistance changes in  $\text{CaFeO}_{3-x}$  thin film", 4th International Congress on Ceramics (ICC4), 2012 年 7 月 15-19 日 (Chicago, USA)
  17. 横田壮司  
"電気磁気効果を用いたスピン状態密度エンジニアリングによるマルチビットデジタル記憶素子の作製"、粉体操作に伴う諸現象に関する勉強会(静岡) 2012 年 8 月 2 日 - 3 日(招待講演)
  18. T. Yokota, R. Imura, A. Osvet, M. Batentschuk, M. Gomi and C. J. Brabec, "Thermoelectric properties of d-block elements doped  $\text{BiFeO}_3$  bulk ceramics" IWAC5, 2012 年 9 月 10.-11 日
  19. T. Yokota, K. Ichikawa, A. Osvet, M. Batentschuk, M. Gomi and C. J. Brabec, "Thermoelectric Properties of A, B site co-doped  $\text{BiFeO}_3$  ceramics", 日本セラミックス協会年会, 2013.03.17-2013.03-19, 東京工業大学
  20. R. Imura, T. Yokota, K. Ichikawa. and M. Gomi, "Investigation for electrical transport properties of multi-bit type magneto electric capacitor", ICAUMS2012 2012 年 10 月 2 ~ 5(Nara, Japan)
- 〔図書〕(計 0 件)
- 〔産業財産権〕  
出願状況(計 0 件)
- 取得状況(計 0 件)
- 〔その他〕  
ホームページ等
6. 研究組織  
(1)研究代表者  
横田 壮司 (YOKOTA, Takeshi)  
名古屋工業大学・大学院工学研究科・助教  
研究者番号: 10402645