

## 強磁性/ $r$ -Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Ca<sub>0.96</sub>Ce<sub>0.04</sub>MnO<sub>3</sub> 積層膜における電界印加による磁化曲線の制御

### Control of magnetization curve by applying electric field in FM/ $r$ -Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Ca<sub>0.96</sub>Ce<sub>0.04</sub>MnO<sub>3</sub> multilayer

○久保田 幸也<sup>1</sup>, 中野 椋太<sup>2</sup>, 杉浦 太一<sup>2</sup>, 岩田 展幸<sup>3</sup>\*Yukiya Kubota<sup>1</sup>, Ryota Nakano<sup>2</sup>, Taichi Sugiura<sup>2</sup>, Nobuyuki Iwata<sup>3</sup>

Abstract:: Pt(1.5nm)/Co(0.6nm)/Pt(0.5nm)/ $r$ -Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(375nm) multilayer was grown on surface treated YAlO<sub>3</sub>(001) substrate by DC-RF magnetron sputtering method. We measured magnetization curve after ME filed cooling.  $H_{EB}$  observed a maximum value of 615 Oe at 160K. In the CCMO thin film, the CCMO peak was observed in  $2\theta$ - $\theta$  measurements

#### 1 背景

強磁性体 (Ferromagnetic : FM) と反強磁性 (Antiferromagnetic : AFM)の界面における磁氣的交換相互作用により強磁性体の磁化曲線がシフト又は保持力が増加する現象が知られている<sup>1)</sup>。このシフト量は交換バイアス磁場(Exchange bias :  $H_{EB}$ )と呼ばれている。また交換バイアス磁場の大きさは FM と AFM の界面のスピンの大きさに比例することが知られている<sup>2)</sup>。ここで電気磁気(Magnetoelectric:ME)効果を用いると電界の大きさで反強磁性体のスピンの大きさを変化させることができるので電界印加によって交換バイアス磁場の大きさを制御することが可能である。一方、Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>の  $r$ 面は、その表面がステップ-テラス構造を示したとしても、すべての面でスピンは2次元強磁性的に配列しており、大きな  $H_{EB}$  を得る可能性があり、磁化反転が確実に出来るようになると考えている<sup>3)</sup>。この交換バイアス磁場と ME 効果の2つを用いることにより、電界によって磁気記録を制御する電界印加型不揮発性メモリを作製することが本研究の最終目標である。本研究では下部電極として Ca<sub>0.96</sub>Ce<sub>0.04</sub>MnO<sub>3</sub>(CCMO)を選択した。CaMnO<sub>3</sub>は本来、絶縁体としての性質を示すが、Ceにより置換を行うことで導電性を示す<sup>4)</sup>

#### 2 目的

本研究の目的は以下の通りである。下部電極層としての CCMO 薄膜の条件探索及び電気特性を行い、その後 FM/Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/CCMO 積層膜において電界印加後の磁化曲線の応答を確認する。

#### 3 実験方法

##### 3-1 基板処理

YAO 基板をアセトンで5分間、15分間、エタノールで5分間の超音波洗浄を行った。基板最表面の AlO<sub>2</sub> の層をエッチングするため、12M の NaOH 水溶液に15分間、1M の NaOH 水溶液に5分間浸漬させ、超音波を

印加した。エッチング後、大気中にて1000°Cで1時間のアニール処理を行った。

##### 3-2 電場磁場冷却後の $H_{EB}$ の観測

アニール処理後の基板に DC- RF マグネトロンスパッタリング法により成膜した Pt(1.5nm)/Co(0.6nm)/Pt(0.5nm)/Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(375nm)積層膜の成膜条件を表Iに示す。

表I FM/Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 積層膜の成膜条件

ターゲット	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Pt	Co
基板温度(°C)	580	室温	室温
成膜時圧力(Pa)	0.4	0.4	0.4
Ar/O <sub>2</sub> 流量(sccm)	12/3	10/0	10/0
成膜時間(min)	300	1	0.25
印加交流電力(W)	80	50	50
印加直流電流(A)	0.04	0	0

成膜後、試料を350K程度まで加熱し、室温まで基板表面に垂直方向に  $E=+1.25\text{kV/cm}$ ,  $H=+0.5\text{T}$  にて電場磁場冷却後 SQUID-VSM にて測定を行った。+の方向は SQUID-VSM 装置における+磁場の方向である。

##### 3-3 CCMO 薄膜の作製

処理後の基板に DC-RF マグネトロンスパッタ法により CCMO 膜を作成した。CCMO の成膜条件を表IIに示す。

表II CCMO の成膜条件

Sample	a	b	c	d
成膜温度(°C)	600	700	600	700
成膜時圧力(Pa)	5	5	10	10
Ar/O <sub>2</sub> 流量(sccm)	2/1	2/1	2/1	2/1
印加交流電力(W)	80	80	80	80
印加直流電流(A)	0.06	0.06	0.06	0.06

1: 日大理工・院(前)・電子工学専攻 2: 日大理工・学部・電子 3: 日大理工・教員・電子

#### 4 結果

SQUID-VSMにて測定を行った保持力 $H_C$ と $H_{EB}$ の温度依存性の結果を図1を示す。 $H_{EB}$ は160Kで最大値である6150eをとり、その後、温度上昇に伴い減少し、 $Cr_2O_3$ のネール温度である307Kに近づくにつれて0に近づいた。 $H_C$ は温度上昇に伴い減少を確認した。

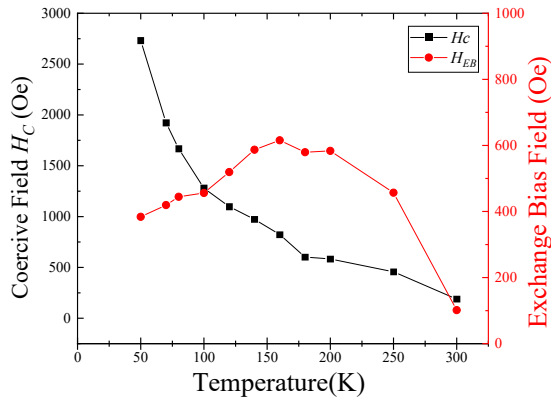


図1  $H_C$ と $H_{EB}$ の温度依存性

$H_{EB}$ は160Kで最大値である6150eをとり、その後、温度上昇に伴い減少し、一方 $H_C$ は温度上昇に伴い減少した。

図2に成膜したCCMO薄膜の $2\theta$ - $\theta$ 測定の結果を示す。○は基板ピークを示す。Sample(a)(b)(c)においてYAO(004)ピークの低角側においてCCMO(004)のピークが基板ピークと重なっていることを確認した。(d)においてYAO(004)ピークの低角側においてCCMO(004)のピークを確認した。また(a)(d)においては $38^\circ$ にCCMOではない(□)のピークを確認した。図3に成膜したCCMOの表面像を示す。操作範囲は $2 \times 2 \mu m^2$ とした。Sample(a)(d)では3次元島状グレインが成長し最大高低差がおおよそ700nmを確認した。(b)では3次元島状のグレインが減少し最大高低差が大きく減少したことを確認した。図2、3から(a)(d)において3次元島状グレインが形成時にはCCMO以外の成分が成膜されていない、もしくは配向していないことを確認した。

#### 4 まとめ

DC-RF マグネトロンスパッタ法によりYAO(001)基板上にPt(1.5nm)/Co(0.6nm)/Pt(0.5nm)/ $Cr_2O_3$ (375nm)積層膜を成膜し、電場磁場冷却後、磁化測定を行った。 $H_{EB}$ は160Kで最大値6150eを確認した。その後、下部電極であるCCMOの成膜を行い $2\theta$ - $\theta$ 測定において基板ピークの低角側にCCMOのピークを確認した。

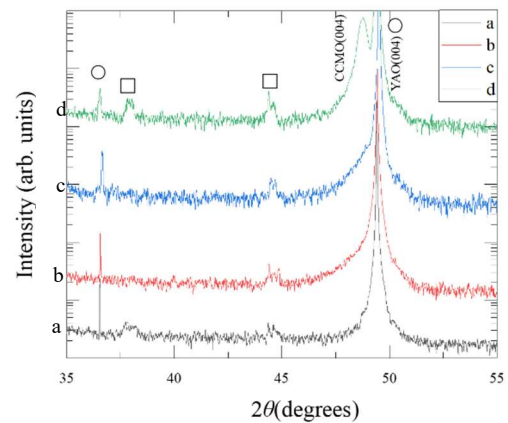


図2 CCMO 薄膜における $2\theta$ - $\theta$ 測定

○は基板ピークを示し、YAO(004)ピークの低角側においてCCMO(004)のピークを確認した。□のピークは不明。

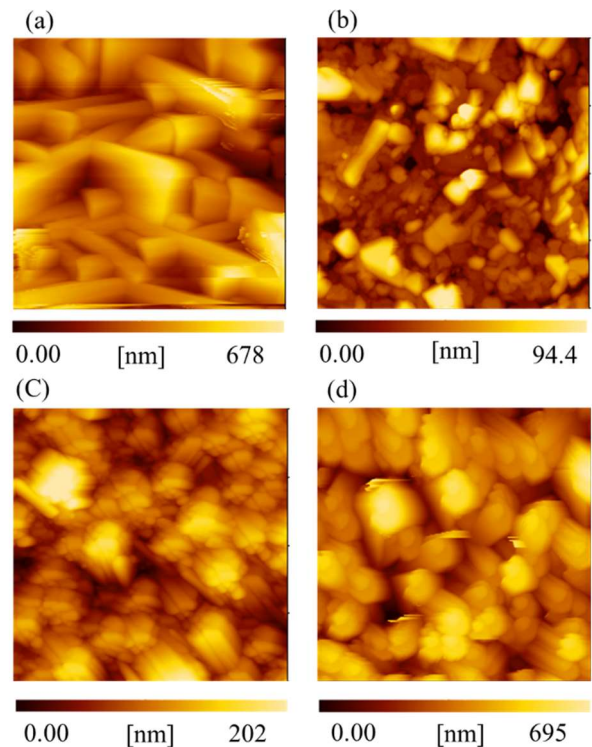


図3 CCMO 薄膜における表面像

Sample(a)(d)では3次元島状グレインが成長し最大高低差がおおよそ700nmを確認した。(b)では3次元島状のグレインが減少し最大高低差が大きく減少したことを確認した。

#### 参考文献

- [1] J.Nogues *et al.*, Phys. Rep. **422**(2005)65-117
- [2] W. H. Meiklejohn *et al.*, Phys. Rev. **105** (1957) 904
- [3] N.Iwata, *et al.*, Jpn. J. Appl. Phys. **51** (2012)11PG12
- [4] Xiang *et al.*, Appl. Phys. Lett. **94**, 062109 (2009)