

YAlO₃(001)基板上での *r* 面配向 Cr₂O₃ / Ca_{0.96}Ce_{0.04}MnO₃ 積層膜の作製および評価Fabrication and Evaluation of *r*-plane oriented Cr₂O₃ / Ca_{0.96}Ce_{0.04}MnO₃ Multilayer Grown on YAlO₃(001) substrates○樫本広生¹, 久保田幸也², 舘野友優¹, 佐藤建¹, 岩田展幸³*Hiroki Kashimoto¹, Yukiya Kubota², Tomohiro Tateno¹, Takeru Sato¹, Nobuyuki Iwata³

Abstract: Ca_{0.96}Ce_{0.04}MnO₃ (CCMO) thin films are grown on YAlO₃ (001) substrate (YAO) by pulsed laser deposition (PLD) method, and Cr₂O₃ thin films are grown by DC-RF magnetron sputtering method. The surface of CCMO thin film shows many particles, far from step-terraces structure. For Cr₂O₃ thin film growth, using RF power of 80W is better to obtain smoother surface.

1 背景

本研究の目的は、強磁性体(FM)と電気磁気効果を示す反強磁性体(AFM)を組み合わせ、電場により FM の磁化を反転させることである。FM/AFM 積層膜界面における磁氣的交換相互作用により磁化曲線がシフトすることが確認されている。この磁化曲線のシフトは、交換バイアス磁場(H_{EB})と呼ばれている^[1-2]。 H_{EB} の大きさは AFM 最表面のスピンの大きさ S_{AF} に比例するため^[2]、大きな H_{EB} を得るためには S_{AF} が大きい材料が必要である。AFM 材料の多くはステップによって高さの異なるテラス上のスピンは反強磁性的に配列している。一方、Cr₂O₃ の *r* 面配向(1-102)においては、薄膜最表面にステップテラス構造を示したとしても、表面のスピンはすべて強磁性配列していることから、大きな H_{EB} が得られると考えている。また、Cr₂O₃ の電気磁気効果を利用すれば、 H_{EB} の大きさを電界によって変化させることができ、FM の磁化反転が可能となる^[3]。

本研究は、FM/AFM 積層膜に電場を印加するための電極層および AFM 層についての研究である。今回、電極層として注目した Ca_{0.96}Ce_{0.04}MnO₃(CCMO) は CaMnO₃ の Ca の一部を Ce で置換した物質である。CaMnO₃ 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体としての性質を示す。また CaMnO₃ は Cr₂O₃ との格子ミスマッチが小さい。この性質から電極層として CCMO を選択した。

2 目的

本研究の目的は以下の通りである。パルスレーザー堆積(Pulse Laser Deposition : PLD)法を用いて、YAlO₃(YAO)(001)上に電極層となる CCMO 薄膜を、ステップ-テラス構造を示す表面が得られるほど平坦な膜として成膜することである。また、得られた CCMO 薄膜上に DC-RF マグネトロンスパッタ法を用いて、*r* 面配向 Cr₂O₃ 薄膜を成長させることである。

3 実験方法・条件

YAO 基板をアセトンで 5 分、15 分、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 AlO₂ の層をエッチングするため、12M の NaOH 水溶液に 15 分、1M の NaOH 水溶液に 5 分浸漬させ、超音波を印加した。エッチング後、純水で洗浄し、エタノールで 5 分間の超音波洗浄を行った。大気中にて 1000°C で 1 時間のアニール処理を行った。この基板上に CCMO 薄膜の成膜を行った。成膜条件を表 I に示す。

表 I CCMO 薄膜の成膜条件

	Sample1
ヒーター温度[°C]	750
レーザー周波数[Hz]	4
レーザーエネルギー密度[J/cm ²]	1.5
背圧[Pa]	2.4×10 ⁻⁵
成膜時圧力(酸素分圧)[Pa]	20
成膜時間[min]	30
ターゲット-基板間距離[mm]	50

薄膜評価には走査型プローブ顕微鏡(日立ハイテク SPA400, Nanonavi Station)を用いた Dynamic Force Mode にて表面像の測定を行った。X線回折装置(BRUKER D8 DISCOVER)を用いて 2 θ - θ , Rocking Curve 測定を行った。

同条件で洗浄、エッチングした YAO 基板上に Cr₂O₃ 薄膜の成膜を行った。成膜条件を表 II に示す。

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

表 II Cr₂O₃ 薄膜の成膜条件

	Sample2	Sample3
基板温度[°C]	580	580
O ₂ /Ar[ccm]	3/12	3/12
成膜時間[min]	120	120
成膜時圧力[Pa]	0.4	0.4
ターゲット	Cr 金属:直径 2inch	
DC[A]	0.04	0.04
RF[W]	80	112

4 結果・考察

図 1 に PLD 法を用いて成膜した CCMO 薄膜の表面像を示す。走査エリアを 2×2 μm²とした。表面像より、粒子が多数生成されていることを確認した。この粒子が生成されないようにするために粒子の組成比を解析し、条件探索をする必要がある。

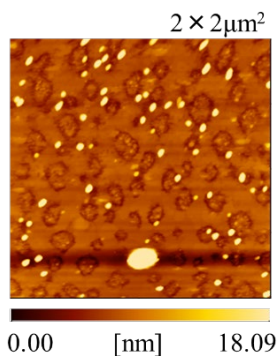


図 1 PLD 法を用いて成膜した CCMO 薄膜の表面像。走査エリアを 2×2 μm²とした。ステップテラスは確認できず、粒子が多数生成していた。

図 2 に 2θ-θ 測定結果を示す。Sample1 では基板ピーク(○)の低角側に CCMO(002)と CCMO(004)のピークを確認することができた。

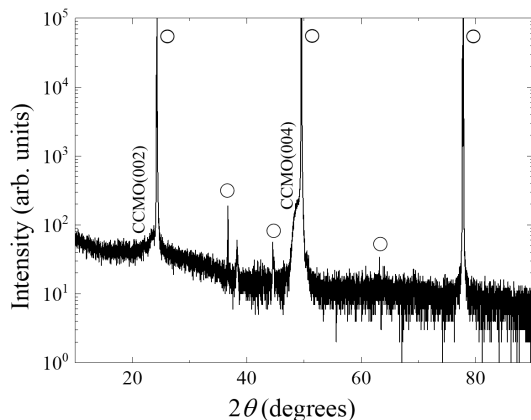


図 2 PLD 法を用いて成膜した CCMO 薄膜の 2θ-θ。基板ピーク(○)の低角側に CCMO 薄膜のピークが確認できた。

図 3 に DC-RF マグネトロンスパッタ法を用いて成膜した Cr₂O₃ 薄膜の表面像を示す。走査エリアを 2×2 μm²とした。表面像より、グレイン同士がコアレスセンスしている箇所が見られた。複数のグレインを含む平均面粗さ Ra は(a) 1.43 nm, (b) 1.95 nm であり、RF を 80W として成膜した方がより平坦な膜となった。

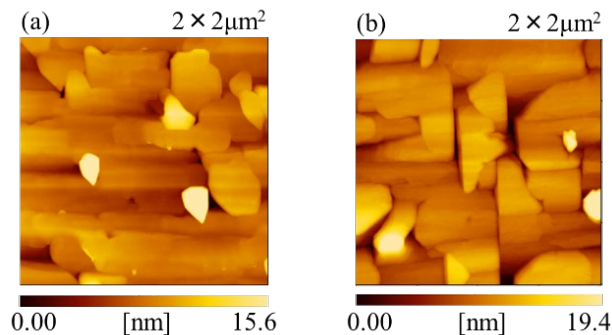


図 3 YAO(001)基板上に(a)RF=80W, (b)RF=112Wで成膜した Cr₂O₃ 薄膜の表面像。走査エリアを 2×2 μm²とした。グレイン同士がコアレスセンスしている箇所があった。複数のグレインを含む平均面粗さは(a)1.43 nm, (b)1.95 nm であった。

5 まとめ

YAO(001)基板上に PLD 法による CCMO 薄膜の作製、DC-RF マグネトロンスパッタ法による Cr₂O₃ 薄膜の作製を行った。また作製した薄膜について表面形状観察および結晶構造解析を行った。

2θ-θ 測定結果より、CCMO が成膜されていると考えられる。表面像より、粒子が存在し、平坦な膜となっていないことが分かった。

Cr₂O₃ の表面像より、グレイン同士がコアレスセンスして成長していた。複数のグレインを含む平均面粗さは 1.43 nm, 1.95 nm であり、RF を 80W にて作製した膜がより平坦であることを確認した。

6 参考文献

- [1] J.Nogues *et al.*, Phys. Rep. **422**(2005)65-117
- [2] X.Chen *et al.*, Appl. Phys. Lett. **89**(2006)202508
- [3].D.N.Astrov *et al.*Phys.JETP **11**(1960)708