

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 8 日現在

機関番号：32665

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25420295

研究課題名(和文)ヘテロ接合界面によって可能となる磁化反転および強誘電性強磁性特性の室温電界制御

研究課題名(英文)Control of magnetization reversal and ferroelectric/ferromagnetic properties with electric field applied in a hetero epitaxial film

研究代表者

岩田 展幸 (IWATA, Nobuyuki)

日本大学・理工学部・准教授

研究者番号：20328686

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：電界印加のみにより磁気特性制御および磁化反転を可能とするため[Pt/Co]Pt//r面配向Cr₂O₃積層膜および酸化物人工超格子[BiMO₃/CaBO₃(M=Mn, Fe, B=Fe, Mn)の作製を試みた。積層膜では、電場磁場冷却の磁場方向を反転することで、交換バイアス磁場(HEB)は5Kにおいてプラス2200eからマイナス5100eへ大きく変移することを確認した。人工超格子は弱強磁性を示し、そのキュリー温度は室温を遥かに超える温度を確認した。反強磁性体を積層させた人工超格子においては、室温においてその界面に強磁性的結合が発生していることを確かめた。いずれも電界印加磁化反転に通じる結果を得た。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this research is to control and/or reverse the magnetization with electric field applied. In the [Pt/Co]Pt//r-oriented Cr₂O₃ multilayer, large exchange bias field (HEB) is observed. The HEB reverses after magnetoelectric field cooling changing the direction of magnetic field from plus to minus. In the [BiMO₃/CaBO₃(M=Mn, Fe, B=Fe, Mn) superlattices, high quality films are synthesized by pulsed laser deposition method using highly dense targets prepared by Pechini method. The superlattices are weak ferromagnetic materials although the used materials are antiferromagnetic. The origin of the ferromagnetic coupling is identified at the interface of the superlattices. These results are quite important achievement to lead to the magnetization reversal with electric field applied.

研究分野：電気電子材料、スパッタ法やPLD法、CVD法を用いた特殊な多機能性薄膜作製

 キーワード：電気磁気効果 マルチフェロイック 酸化物積層膜 スパッタ法 パルスレーザー堆積法 ヘテロ界面
 電界印加型磁気特性制御 新規物質設計

1. 研究開始当初の背景

【構想(1)】サファイア基板 r 面(1-102)および c 面(0001)上では Cr_2O_3 薄膜は表面にステップテラス構造を示し、エピタキシャル成長する。しかし、 r 面配向膜ではグレイン間に溝が発生し、 c 面配向膜では 10~20% の双晶を含んでいることがわかった。これらは格子ミスマッチが原因で発生する。 Cr_2O_3 は電気磁気(ME)効果を示す反強磁性(AFM)絶縁体であることから、[強磁性(FM)金属/Pt]/ r 面および c 面配向 Cr_2O_3 積層膜において FM スピンとヘテロ界面 Cr スピンの磁気的交換相互作用が原因で発生する交換バイアス磁場(H_{EB})によって FM 金属の磁化曲線は、磁場方向に平行移動することは知られている。 H_{EB} を大きくし、電場印加によってのみ磁化反転させるためには、界面 Cr スピンが強磁性的に配列していることが重要である。 r 面最表面の Cr スピンが 2 次元強磁性配列すること、 c 面配向膜の双晶の割合が 10~20% であることを突き止めた点(他グループでは約 50%)においてアドバンテージを持っている。電場印加磁化反転デバイス作製には次の 3 つの課題を解決する必要がある。1) r 面配向膜に発生する溝の抑制、2) サファイア基板の格子定数より大きな値を持つ基板上にエピタキシャル成長させることによる下部電極探索の容易化、3) AFM ドメインの単一化である。AFM ドメインが単一化されていないと ME 効果によって達成できる電場印加磁化反転が不可能となることが予想できるが、詳細な議論はいまだなされていない。

【構想(2)】【構想(1)】は強誘電性(FE)が発現しない点においてアドバンテージが少ない。よって、[BiMO_3 (材料 B 群)/ CaBO_3 (材料 A 群)]人工超格子($M=\text{Mn, Fe, B}=\text{Fe, Mn}$)を作製し、 BiMO_3 の AFM と FM 状態を電場印加によってスイッチできる多機能強誘電性強磁性(FE-FM)マルチフェロイック特性を有する物質創生を行ってきた。しかしながら、世界的に研究の初期段階であり、作製が困難であることもわかっている。ただし、AFM \leftrightarrow FM の電界スイッチにより最大で約 600 emu/cm^3 の磁化変化(Giant-ME 効果)、 $80 \mu\text{C/cm}^2$ 以上の自発分極を有する可能性があるため、多機能 FE-FM マルチフェロイック材料は非常に魅力的である。構想②における課題は、原子レベルで平坦なヘテロ界面を作製し、界面を通じた電子移動を電界制御して磁気特性変化を明らかにすることである。具体的には、1) ペッチーニ法を用いた超高密度ターゲットの作製による堆積速度の均一化、2) BiMO_3 が理論上最も大きな飽和磁化の変化(AFM \leftrightarrow FM の電界スイッチ)を示す人工超格子および成長方向の探索である。

2. 研究の目的

本研究の目的は、【構想(2)】[FM/Pt]/ r 面および c 面配向 Cr_2O_3 積層膜において、電界印加によって FM 金属の磁化を反転させること、

および【構想(2)】[$\text{BiMO}_3/\text{ABO}_3$]人工超格子($M=\text{Mn, Fe, A}=\text{Ca, Sr, B}=\text{Fe, Mn, Cr}$)において、 BiMO_3 の AFM と FM 状態を電界によってスイッチできる多機能強誘電性強磁性(FE-FM)マルチフェロイック特性を発現させることである。

3. 研究の方法

【構想(1)】においては、DC-RF マグネトロンスパッタ法を用いて、[FM 金属/Pt]/ Cr_2O_3 積層膜を *in-situ* にて作製した。 r 面、 c 面サファイア基板をアセトンにて超音波洗浄し 1050°C 、12h、空気中にてアニール処理を施した。格子定数がより大きい YAlO_3 (YAO)(001)基板の場合、NaOH で表面エッチングした後、 1000°C 、1h、空気中でアニールした。基板温度 580°C 、 O_2/Ar 流量を $2/8\text{sccm}$ とし、 0.3Pa の圧力下で 2 時間成膜を行った。ターゲットには Cr 金属を用い、DC 電流 0.3A 、RF 電力 80W を投入した。膜厚は約 200nm である。成膜後ただちに酸素 1 気圧を導入し室温まで冷却した。その後、Pt、Co 薄膜を約 1nm 交互に 3 回スパッタを繰り返した。

【構想(2)】においては、ターゲットをペッチーニ法にて作製した。 LaFeO_3 を例として説明する。1) La_2O_3 、 $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ を純粋と混ぜ合わせる。2) La_2O_3 の場合には硝酸を少量加えながら完全に溶解させる。3) 二つの溶液を所望のモル比になるように混合する。4) クエン酸を加えると、La、Fe のキレート錯体が生成される。5) エチレングリコールを加えるとキレート錯体が高分子となり、La、Fe が原子レベルで均一なネットワークを作る。6) 送風により発火させて有機物を蒸発させる。7) 残留した粉末を粉砕する。8) 完全に有機物を除去するために仮焼きを行う。固相反応法では炭酸塩を除去するために約 900°C で仮焼きを行う。ペッチーニ法の場合、 500°C の仮焼きですでに LaFeO_3 が結晶化する。9) 粉末 X 線回折を行い所望の物質が作製されているか確認する。10) 粉砕・仮焼きを 1~2 回繰り返して、本焼成する。

基板は SrTiO_3 (STO)を用いた。電気測定用途に合わせて、ノンドープ、Nb ドープ基板を用意した。面方位は(001)および(110)である。バッファード弗酸(BHF)でエッチングした後アニール処理を施した。堆積量を制御するために、 LaFeO_3 (LFO)バッファ層、もしくは STO バッファ層を用いた。あらかじめ LFO、STO と各「材料 A、B」との積層膜を作製することで、堆積速度比を算出した。STO 薄膜を除き、ヒーター温度 670°C 、酸素分圧 20Pa の条件下で、パルスレーザー堆積(PLD)法による酸化物単相膜、積層膜、人工超格子の作製を行った。バッファ層を人工超格子作製直前に堆積させ、先の堆積速度比を用いて、超格子各相を希望のユニット数積層させるための照射パルス数を算出した。成膜中、反射型高速電子線回折(RHEED)パターンおよ

び反射強度の時間依存性を観察した。成膜後、RHEED パターンを取得した後、直ちに酸素 1 気圧として、約 10°C/min の速度で室温まで冷却した。冷却後、10⁻⁴Pa 以下の真空下で電子線の入射角を変えながら RHEED パターンを取得した。

走査型プローブ顕微鏡(SPM)を用いて、作製した薄膜、積層膜、超格子の表面形状像を観察した後、X 線回折装置(Bruker D8 Discover)を用いて、X 線反射(XRR)、2 θ - θ 、ロックンガープ、逆格子マッピング(RSM)測定を行った。物理特性測定装置(カンタムデザイン PPMS)を用いて面内電気抵抗、磁気特性測定装置(カンタムデザイン MPMS3)を用いて磁気特性を測定した。面直、面内方向電気測定には KEITHLEY 6430、6221、2182A、7001+7012、2000、GS200(YOKOGAWA)等を用いた。

4. 研究成果

構想(1)の成果報告を行う。図 1 に[FM 金属/Pt]*r* 面配向 Cr₂O₃ 積層膜の 5K で測定した磁化曲線を示す。■は磁場を-H(0.5T)、電場を-E(1.1kV/cm)印加し、●は磁場を+H(0.5T)、電場を-E(1.1kV/cm)印加した条件で、Cr₂O₃ のネール温度(T_N)以上に昇温し電場磁場冷却した結果である。交換バイアス磁場(H_{EB})はそれぞれ、2210e、-5100e であった。300K においては、460e、-970e であった。*r* 面配向膜を用いて、室温においてもこれほど大きな H_{EB} を観測したのは我々が初めてである。

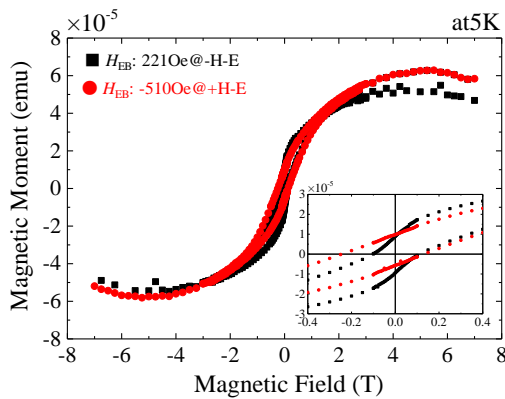


図 1 : 5K で取得した[Pt/Co]₃/Pt/*r*-Cr₂O₃ 積層膜の磁化曲線。

5M でエッチング、アニール処理を施した YAO(001)基板には *r* 面配向 Cr₂O₃ 薄膜がエピタキシャル成長した。溝の発生を抑制することはできなかったが、一つのグレイン表面に注目すると、明瞭なステップ-テラス構造が確認できた。

Orthorhombic(*O*)構造を有する YAO 面指数、pseudo-cubic(*pc*)に変換した場合の等価面指数、コランダム構造(hexagonal:*h*)を有する Cr₂O₃ を *pc* 構造と仮定した場合の等価面指数の対応関係を表 I に示す。各面指数の下付き文字は、それぞれ、orthorhombic、

pseudo-cubic(*pc*)、hexagonal 構造に対する面指数を表現していることを意味する。(c) (206)_o に等価なコランダム構造(hexagonal:*h*) に等価な面は存在しない。

表 I : Orthorhombic、pseudo-cubic、corundum 構造の等価な面

	orthorhombic (YAO)	pseudo-cubic	corresponding crystal plane in hexagonal (Cr ₂ O ₃) assuming <i>pc</i>	
(a)	(0 2 6) _o	(1 1 3) _{pc}	(2 -2 0 10) _h	(-2 0 2 10) _h (0 2 -2 10) _h
(b)	(0 -2 6) _o	(-1 -1 3) _{pc}	(4 -4 0 2) _h	(-4 0 4 2) _h (0 4 -4 2) _h
(c)	(2 0 6) _o	(1 -1 3) _{pc}	(4 -2 -2 6) _h	(-2 -2 4 6) _h (-2 4 -2 6) _h
(d)	(-2 0 6) _o	(-1 1 3) _{pc}	(2 -4 2 6) _h	(-4 2 2 6) _h (2 2 -4 6) _h

図 2 に(a)YAO(026)_o、(b)YAO(0-26)_o、(c)YAO(206)_o、(d)YAO(-206)_o 周辺の RSM を示す。(a, b)においては、(2 -2 0 10)_h、(4 -4 0 2)_h 両者のピークが観測された。(c, d)では、(2 -4 2 6)_h のピークが観測された。ピーク位置から Cr₂O₃ 薄膜はストレスフリーで成長していることがわかった。また、表 I を参照すると、各基板面においては対応する一つの面に起因する Cr₂O₃ ピークのみが観測されるはずである。これは、YAO[010]_o//±Cr₂O₃[-111]_h の関係で二種類のグレインが成長していることを意味している。また、(c, d)の両者において、(2 -4 2 6)_h に対応するピークが観測されたのも同じ理由である。一方、YAO[100]_o//±Cr₂O₃[-111]_h の関係で Cr₂O₃ 薄膜が成長する場合、破線で囲った位置に示した面指数に対応するピークが観測されるはずである。以上の結果より、YAO(001)基板上では、面内で Cr₂O₃[110]_h//YAO[100]_o、± Cr₂O₃[-111]_h//YAO[010]_o、面直で YAO(001)// Cr₂O₃(1-102)の関係を満たしてエピタキシャル成長していることがわかった。このように二種類のグレインが成長していたとしても、*r* 面最表面の Cr スピンの配列には影響は無いため、2 次元的な強磁性配列が実現していることを推察できる。

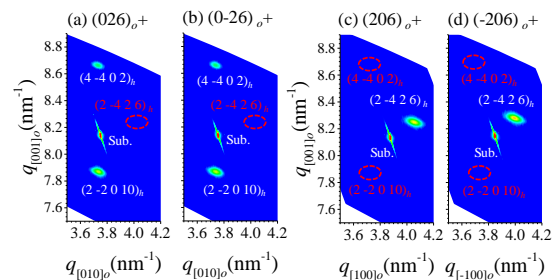


図 2: YAO(001)基板上に成膜した *r* 面配向 Cr₂O₃ 薄膜に関する逆格子マップ(a)YAO(026)_o 周辺、(b)YAO(0-26)_o 周辺、(c)YAO(206)_o 周辺、(d)YAO(-206)_o 周辺を測定した結果である

Cr₂O₃ 薄膜のグレイン間に数十 nm の溝が発生し、それを抑制するための導電性バッファ層を探索する問題は残ったものの、疑似立方晶系の単結晶基板にコランダム構造を有する Cr₂O₃ が *r* 面配向して、エピタキシャル成長することを立証した。導電性バッファ

一層探索の困難さを大きく低減でき、電場誘起型の強磁性体磁化反転素子実現に向けて大きな成果を得た。

構想(2)の成果報告を行う。材料「A」として、 CaFeO_x (CFO)、 CaMnO_3 (CMO)、 LaMnO_3 (LMO)、材料「B」として LaFeO_3 (LFO)、 BiFeO_3 (BFO)、 $\text{BiFe}_{1-x}\text{Mn}_x\text{O}_3$ (BFMO)をペッチーニ法によって得た粉末を用いてターゲットを作製した。それぞれ、96.4%、81.5%、81.7%、95.5%、95.2%、96.6%の超高密度を達成した。CMO、LMO の Mn 系酸化物ターゲットは期待したほど高密度とはならなかった。ただし、アブレーション前後のターゲット表面に違いは見られなかった。

STO(001)基板に直接成長した単層膜について述べる。LFO は基板と面内で格子整合し Tetragonal で成長した。BFO は 2θ - θ 、RSM 測定結果から $\langle 110 \rangle$ 方向に傾いた monoclinic ($a=0.5489$ nm, $b=0.5525$ nm, $c=0.4071$ nm, and $\beta=89.03^\circ$)であることがわかった。BFMO は結晶面が基板面から約 2° 傾いた Orthorhombic、もしくは Rhombohedral であった。CFO は、面内[100]に基板格子整合し、[110]方向には整合しない双晶構造であった。また、初期 3~4units は、 CaFeO_3 であったが、その後面直方向に周期性が 2 倍の $\text{Ca}_2\text{Fe}_2\text{O}_5$ となって成長した。CMO は格子ミスマッチが大きいため、完全に格子緩和した CMO 薄膜が成長した。格子歪みは残留していたが表面はステップ-テラス構造を示した。LMO はブラッグピークが現れず結晶構造の同定は出来なかったが、ステップ-テラス構造を示したことから Tetragonal 成長していると予想している。特に LFO 薄膜においては、高速電子線回折(RHEED)の反射強度振動が成膜終了時(135units)まで観測でき、成膜速度のばらつきは 3.98%と非常に均一であった。表面像はステップ-テラス構造を示し、RHEED 強度振動と併せて Layer-by-Layer 成長していることがわかった。STO(110)基板上では、BFO、BFMO 単層膜は共に $[00\pm 1]$ 方向に傾いた monoclinic 構造を持つことがわかった。 $[00\pm 1]$ 方向に $2\mu\text{m}$ 以上、 $[1-10]$ 方向に約 100nm と縦横比 20 以上の強い異方性を持つ短冊状グレインが成長した。各グレイン表面表面ではユニットステップ、バンチングステップの両者を確認した。逆格子マップ(RSM)でのピーク強度比から、 $[001]$ もしくは $[00-1]$ 方向に傾いたグレインが支配的であることがわかった。

人工超格子作製時には、電子密度や表面状態が大きく変化するために、RHEED 反射強度振動を明瞭に観測して 1 層ごとに異なる材料を堆積させることは非常に困難である。よって、LFO もしくは STO 7 ユニットのエピタキシャル成長させた後、超格子の各材料を成膜した 2 層膜を作製した。膜厚を XRR で求めることで成長速度比を算出した。STO(001)基板上では[CFO/LFO]、[CFO/BFO]、[CFO/BFMO]、[CMO/LFO]、[CMO/BFO]、[CMO/BFMO]、[LMO/LFO]、[LMO/BFO]、

[LMO/BFMO]の 9 種類、STO(110)基板上では [CFO/BFO]、[CFO/BFMO]、[CMO/BFO]、[CMO/BFMO]の 4 種の人工超格子を作製した。

STO(001)基板上に成膜した CFO シリーズ超格子[CFO/LFO]、[CFO/BFO]、[CFO/BFMO]について説明する。2 θ - θ 回折結果より全ての超格子において、サテライトピーク、ラウエ振動を確認し、超構造が形成され、試料全体にわたって表面が平坦で均一な膜厚分布をしていることがわかった。[CFO/BFO]では、-4~+5 までサテライトピークが明瞭に確認できた。また、この超格子に限り、CFO ユニット数は 6.94 と 0.84%のエラーの範囲内で堆積できた。しかしながら、その他の相は 5.3~6.3 ユニットと 7 ユニットから大きく堆積量が減少した。[CFO/BFMO]超格子に関する Rocking Curve の半値全幅(FWHM)は 0.0572° と非常に結晶性が優れていることも確認した。磁化曲線による飽和磁化の温度特性から(弱)強磁性キュリー温度を見積もった。それぞれ、520K、620K、450K といずれも室温以上であった。[CMO/BFMO]超格子では、弱強磁性転移温度が約 390K と室温以上で、飽和磁化がバルク BFMO の約 4 倍であることがわかった。[CMO/LFO、BFO、BFMO]では界面に強磁性・反強磁性的結合が共存し、CMO 層で伝導するキャリアが強磁性領域にトラップされながら伝導するマグネティックポーラロン伝導を示唆する結果を得た。マグネティックポーラロン伝導が発現する温度は超格子の組み合わせに依存しており、その違いは、材料「A」の結晶対称性の良さ、界面の清浄性に起因すると考えている。

STO(110)基板上では、BFO、BFMO 単相膜の $[001]$ 方向に強い異方性を持った短冊状のグレイン成長を反映し、超格子表面では、ステップ-テラス構造は確認できたものの $[001]$ 方向に強い異方性を持った針状のグレインを観測した。2 θ - θ 、RSM 測定では薄膜に起因するピークは確認できたが、超格子反射のピーク強度は非常に小さく、超格子構造の形成が不十分であることを示唆する結果となった。一方、XRR 測定では膜全体と超格子形成を示唆する振動を観測した。LFO をバッファ一層として成長させた場合、各層を 7 層堆積させることが困難であることもわかった。

一方、強誘電性の影響を取り除き、電界印加による磁気特性変化を確認することに主眼を置き、また、高度な堆積膜厚制御を行うために、 $[(\text{CFO})_n/(\text{LFO})_m]$ 人工超格子を作製した。 n は堆積ユニット数、 m は超格子構造の繰り返し堆積数である。高度な堆積膜厚制御は以下の様に行った。まず基準となる $(n, m)=(7, 14)$ を作製し、XRR 測定により各層の膜厚をフィッティングにより求めた。その後、ミラー、ターゲット等の成膜に関わる全てのセッティングを変更せずに連続して成膜を行った。その際、フィッティングによって求めた膜厚から $n=7$ になるように次に成膜する必要照射パルス数を計算した。これを繰り返

し行い堆積量の精度を高めた。 $(n, m)=(5, 20)$ においては誤差 2.5%以内に納めることができた。また、磁化特性の結果から、 n を減少させるにつれ、 H_C 、 H_{EB} ともに減少したことから、界面に誘起された強磁性的結合が、界面間にも発生していると考えられる。つまり、CFO、LFO両者とも反強磁性絶縁体であるが、[CFO/LFO]人工超格子界面においては、 $Fe^{3+}-O^{2-}-Fe^{4+}$ における超交換相互作用が強磁性的成分を含んでいることを意味している。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 6 件)

1. Takaaki Inaba, Yuta Watabe, Keisuke Oshima, Chun Wang, Shohei Ohashi, Huaping Song, Hirota Matsuyama, Tomoko Nagata, Takuya Hashimoto, Kouichi Takase, Hiroshi Ishida, Yoshiki Takano, Kousaku Shimizu, Hiroshi Yamamoto, and Nobuyuki Iwata, "Electric and Magnetic Properties of $BiFe_{1-x}Mn_xO_3$ Thin Films and $CaFeO_x/BiFe_{1-x}Mn_xO_3$ Superlattices", *Trans. Mater. Res. Soc. Jpn.* (2016) accepted.
2. Peter K. Greene, Julia Osten, Kilian Lenz, Jürgen Fassbender, Catherine Jenkins, Elke Arenholz, Tamio Endo, Nobuyuki Iwata and Kai Liu, "Tuning perpendicular anisotropy gradient in Co/Pd multilayers by ion irradiation", *Appl. Phys. Lett.* 105, 072401-1~5 (2014); <http://dx.doi.org/10.1063/1.4893569>
3. Nobuyuki Iwata, Yuta Watabe, Takahiro Oikawa, Kouichi Takase, Mark Huijben, Takaaki Inaba, Keisuke Oshima, Guus Rijnders, and Hiroshi Yamamoto, "In-plane electric properties of $[CaMnO_3/REMO_3]$ (RE=Bi, La M=Fe, $Fe_{0.8}Mn_{0.2}$) superlattices grown by pulsed laser deposition method", *Jpn. J. Appl. Phys.* **53** (2014) 05FB20-1~5
4. Yuta Watabe, Nobuyuki Iwata, Takahiro Oikawa, Takuya Hashimoto, Mark Huijben, Guus Rijnders and Hiroshi Yamamoto, "Fabrication and Crystal Structure of $[ABO_3/REMO_3]$ (A=Ca, La, B=Fe, Mn, RE=Bi, La, M=Fe, $Fe_{0.8}Mn_{0.2}$) Superlattices Grown by Pulsed Laser Deposition Method", *Jpn. J. Appl. Phys.* **53** (2014) 05FB12-1~8
5. Akira Okada, Kenichi Uehara, Miyoshi Yokura, Masahito Matsui, Katsuhiko Inaba, Shintaro Kobayashi, Kazuhiro Endo, Nobuyuki Iwata, Shunichi Arisawa, Jayan Thomas, "Double-layer fabrication of cubic-manganites/hexagonal-ZnO on various substrates by ion beam sputtering, and variable electrical property", *Jpn. J. Appl. Phys.* **53** (2014) 05FB10 (9pages)
6. Shogo Sato, Hiroaki Ichkawa, Nobuyuki Iwata, and Hiroshi Yamamoto, "Synthesis and characterization of intercalated few-layer graphenes", *Jpn. J. Appl. Phys.* **53** (2014) 02BD04-1~4.

[学会発表] (計 118 件)

関連の深い国際会議のみを示す。

1. H. Song, Y. Watabe, T. Inaba, K. Oshima, C. Wang, Q. Zhang, S. Ohashi, T. Nagata, K. Takase, T. Hashimoto, H. Yamamoto, N. Iwata, "Structural and Magnetic Properties of $[CaFeO_3/REMO_3]$ (RE=La, Bi, M=Fe, $Fe_{1-x}Mn_x$) Superlattices Grown on $SrTiO_3$ (001) by Pulsed Laser Deposition Method", 25th Annual Meeting of MRS-J (2015), A1-O10-010, 20151210, Yokohama Media and Communications Center, Naka-ku, Yokohama-shi, Kanagawa, Japan
2. T. Inaba, Y. Watabe, K. Oshima, W. Chun, S. Ohashi, H. Song, H. Matuyama, Q. Chang, K. Takase, T. Hashimoto, T. Nagata, H. Yamamoto, N. Iwata, "Electric and Magnetic Properties of $BiFe_{1-x}Mn_xO_3$ Thin Films and $CaFeO_x/BiFe_{1-x}Mn_xO_3$ Superlattices", 25th Annual Meeting of MRS-J (2015), A1-P9-017, 20151209, Yokohama Media and Communications Center, Naka-ku, Yokohama-shi, Kanagawa, Japan
3. T. Sumida, K. Hashimoto, S. Fukui, T. Nagata, H. Yamamoto, N. Iwata, "Magnetic Properties of Ferromagnetic Metal/ $r-Cr_2O_3$ Multilayer", 25th Annual Meeting of MRS-J (2015), A1-P9-014, 20151209, Yokohama Media and Communications Center, Naka-ku, Yokohama-shi, Kanagawa, Japan
4. K. Hashimoto, T. Sumida, S. Fukui, T. Nagata, H. Yamamoto, N. Iwata, "Deposition and Crystal Structure Analysis of Cr_2O_3 Thin Film on Surface Treated $YAlO_3(001)$ Substrates with Different Conditions", 25th Annual Meeting of MRS-J (2015), A1-P9-015, 20151209, Yokohama Media and Communications Center, Naka-ku, Yokohama-shi, Kanagawa, Japan
5. Q. Zhang, T. Inaba, K. Oshima, Y. Watabe, C. Wang, S. Ohashi, H. Song, T. Nagata, H. Yamamoto, N. Iwata, "Crystal Structure and Magnetic/Electric Properties of $CaMnO_3$ Single Layer and Related Superlattices Normal to the Surface", 25th Annual Meeting of MRS-J (2015), A1-P9-007, 20151209, Yokohama Media and Communications Center, Naka-ku, Yokohama-shi, Kanagawa, Japan
6. S. Ohashi, K. Oshima, Y. Watabe, T. Inaba, C. Wang, Q. Zhang, K. Takase, T. Hashimoto, T. Nagata, H. Song, Y. Hiroshi, and N. Iwata, "Crystal Structure of $[(CaFeO_x)_n/(LaFeO_3)_n]$ (n=1, 3, 5, 7) Artificial Superlattices", 25th Annual Meeting of MRS-J (2015), A1-P8-014, 20151208, Yokohama Media and Communications Center, Naka-ku, Yokohama-shi, Kanagawa, Japan
7. C. Wang, K. Oshima, T. Inaba, Q. Zhang, S. Ohashi, H. Song, Y. Watabe, T. Nagata, K. Takase, T. Hashimoto, H. Yamamoto, N. Iwata, "Influence of the Pechini Bi-excess $BiFeO_x$

Target on Growth of BiFeO₃ Thin Films ", 25th Annual Meeting of MRS-J (2015), A1-P8-015, 20151208, Naka-ku, Yokohama-shi, Yokohama Media and Communications Center, Kanagawa, Japan

8. T. Sumida, K. Hashimoto, S. Fukui, T. Nagata, H. Yamamoto, N. Iwata, "Crystal Structure and Magnetic Properties of Ferromagnetic Metal / c-oriented Cr₂O₃ Multilayer Including Twin Structure ", 25th Annual Meeting of MRS-J (2015), A1-P8-016, 20151208, Yokohama Media and Communications Center, Naka-ku, Yokohama-shi, Kanagawa, Japan

9. K. Oshima, Y. Watabe, T. Inaba, S. Ohashi, C. Wang, Q. Zhang, H. Song, K. Takase, T. Hashimoto, T. Nagata, H. Yamamoto, N. Iwata, "Electric and magnetic property of [CaFeO_x/LaFeO₃] artificial superlattice", 25th Annual Meeting of MRS-J (2015), A1-P8-018, 20151208, Yokohama Media and Communications Center, Naka-ku, Yokohama-shi, Kanagawa, Japan

10. Nobuyuki Iwata, Kousuke Hashimoto, Takashi Sumida, Tomoko Nagata, Hiroshi Yamamoto, "Corundum Cr₂O₃ Thin Films Grown on Orthorhombic YAlO₃(001) Substrate", The 5th International Symposium on Organic and Inorganic Electronic Materials and Related Nanotechnologies (EM-NANO 2015), P3-81, 20150618, TOKI MESSE Niigata Convention Center, Tyuuou-ku, Niigata-shi, Niigata, Japan

11. Takaaki Inaba, Yuta Watabe, Keisuke Oshima, Chun Wang, Huaping Song, Qi Chang, Tomoko Nagata, Takuya Hashimoto, Kouichi Takase, Hiroshi Ishida, Kousaku Shimizu, Hiroshi Yamamoto, Nobuyuki Iwata, "Electric and Magnetic Properties of BiFe_{1-x}Mn_xO₃ Thin Films and CaFeO_x/BiFe_{1-x}Mn_xO₃", The 5th International Symposium on Organic and Inorganic Electronic Materials and Related Nanotechnologies (EM-NANO 2015), P2-18, 20150617, TOKI MESSE Niigata Convention Center, Tyuuou-ku, Niigata-shi, Niigata, Japan

12. Nobuyuki Iwata, Keisuke Oshima, Yuta Watabe, Takaaki Inaba, Chun Wang, Huaping Song, Qi Chang, Tomoko Nagata, Takuya Hashimoto, Kouichi Takase, Hiroshi Ishida, Kousaku Shimizu, Hiroshi Yamamoto, "Experimental Results and Density Functional Theory Approach of CaFeO_x/LaFeO₃ Superlattice", The 5th International Symposium on Organic and Inorganic Electronic Materials and Related Nanotechnologies (EM-NANO 2015), OB1-O-2, 20150617, TOKI MESSE Niigata Convention Center, Tyuuou-ku, Niigata-shi, Niigata, Japan

13. Yuta Watabe, Takaaki Inaba, Keisuke Oshima, Takahiro Oikawa, Huaping Song, Mark Huijben, Guus Rijnder, Kouichi Takase, Hiroshi

Yamamoto, Nobuyuki Iwata, "Fabrication and Electric / Magnetic Properties of [CaBO₃/BiFe_{1-x}Mn_xO₃] (B=Fe, Mn) Superlattices Grown on the SrTiO₃(110) Substrates", 21st International Workshop on Oxide Electronics (WOE21), 20140930, The Sagamore Resort, on Lake George in Bolton Landing, NY, The United States of America

14. Nobuyuki Iwata, Yutaro Hayashi, Takashi Sumida, Takumi Nakamura, Kosuke Hashimoto, and Hiroshi Yamamoto, "Crystal Growth of r-oriented Corundum Cr₂O₃ Thin Films on Orthorhombic YAlO₃(001) Substrate", 21st International Workshop on Oxide Electronics (WOE21), 20140930, The Sagamore Resort, on Lake George in Bolton Landing, NY, The United States of America

15. Nobuyuki Iwata, Yuta Watabe, Takaaki Inaba, Keisuke Oshima, Kouichi Takase, Mark Huijben, Guus Rijnders, Takahiro Oikawa, Takuya Hashimoto and Hiroshi Yamamoto, "Fabrication and Electric/Magnetic Properties of Bi-Related Perovskite Films and Superlattices Grown by Pulsed Laser Deposition Method", International Union of Materials Research Societies - The 15th IUMRS International Conference in Asia (IUMRS-ICA2014), 20140828, Fukuoka University, Jounan-ku, Fukuoka-shi, Fukuoka, Japan

[その他]

ホームページ等

<http://yamanoya.ecs.cst.nihon-u.ac.jp/>

6. 研究組織

(1)研究代表者

岩田 展幸 (IWATA, Nobuyuki)
日本大学・理工学部・准教授
研究者番号：20328686

(2)研究分担者

山本 寛 (YAMAMOTO, Hiroshi)
日本大学・理工学部・教授
研究者番号：90130632

(3)研究分担者

橋本 拓也 (HASHIMOTO, Takuya)
日本大学・文理学部・教授
研究者番号：20212136

(4)研究分担者

高瀬 浩一 (TAKASE, Kouichi)
日本大学・理工学部・教授
研究者番号：10297781

(5)連携研究者

塚本 新 (TSUKAMOTO, Arata)
日本大学・理工学部・教授
研究者番号：30318365