

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 5 月 12 日現在

機関番号：32665
研究種目：若手研究(B)
研究期間：2009～2011
課題番号：21760013
研究課題名（和文） 強磁性金属膜/Cr ₂ O ₃ 積層膜による室温での巨大電気磁気効果の発生
研究課題名（英文） Induced Giant Magnetoelectric Effect in Ferromagnetic Metal / Cr ₂ O ₃ Multilayer at Room Temperature
研究代表者 岩田 展幸 (IWATA NOBUYUKI) 日本大学・理工学部・講師 研究者番号：20328686

研究成果の概要（和文）：電気磁気(ME)効果を示す *c* 面, *r* 面配向 Cr₂O₃ 薄膜をサファイア基板上に成長させた。*c* 面配向膜表面は非常に平坦であったが、双晶を含んでいた。基板との格子ミスマッチ(4%)を緩和するためと考えられる。一方、*r* 面配向膜では双晶を含まず、格子ミスマッチは粒子間に深い溝を形成することで緩和されたと考えている。双晶は逆の ME 効果を示すため、*c* 面配向膜では巨大 ME 効果を発現させるのが難しいことがわかった。一方、*r* 面配向膜では格子ミスマッチを緩和すれば原子レベルで平坦な膜が得られ、巨大 ME 効果発現が可能であることがわかった。

研究成果の概要（英文）：The magnetoelectric (ME) *c*- and *r*-oriented Cr₂O₃ films grew on sapphire substrates. The *c*-oriented film showed quite smooth surface, though included twin grain due to 4% lattice mismatch. The *r*-oriented film did not include twin grain, and showed deep trench between grains to reduce lattice strain. Since the twin grain generate an opposite ME signal, it is difficult to obtain giant ME effect in *c*-oriented film. However, it is possible to obtain giant ME effect in *r*-oriented film with atomically smooth surface by reducing the lattice mismatch.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,800,000	540,000	2,340,000
2010年度	400,000	120,000	520,000
2011年度	600,000	180,000	780,000
総計	2,800,000	840,000	3,640,000

研究分野：電気・電子材料

科研費の分科・細目：応用物理学・工学基礎、応用物性・結晶工学

キーワード：新機能材料

1. 研究開始当初の背景

電気磁気(ME)材料と強磁性体との積層膜を作製し、交換バイアス磁場(H_{EB})を利用した電界制御型磁気デバイスの研究があった。ME材料として、BiFeO₃系の材料(マルチフェロイック)薄膜とCr₂O₃単結晶バルクの*c*面が用いられていた。動作温度は室温である。BiFeO₃を用いた場合の H_{EB} は40~150Oe、Cr₂O₃を用いた場合は約340Oeであった。BiFeO₃はマルチフェロイックであるが、 H_{EB} が小さいのは、界面でFeス

ピンが逆向きになっており、磁氣的交換相互作用が効果的に働いていないと考えられる。一方、Cr₂O₃での H_{EB} は大きい、電界印加による大きな磁気特性の変化は観測されていなかった。また、単結晶バルクを用いているためエレクトロニクス応用にも適していない。

2. 研究の目的

本研究では、Cr₂O₃薄膜の配向方向による膜表面でのスピン配列を考慮し、強磁性金属

膜との最も効果的な磁気的交換相互作用を利用する。特に最表面 Cr スピオンが強磁性配列をする r 面配向膜に注目しており、単結晶ハルックで得られている値よりも大きな ME 効果 (Giant-ME)、 H_{EB} を得て、エレクトロニクス応用を可能にする。

3. 研究の方法

DC-RF マグネトンスパッタ法によりサファイア基板上に Cr_2O_3 薄膜を成長させた。原子レベルで平坦な表面をもつ r 面配向膜を得るために、基板温度を 840°C まで上昇させた。同時に酸素欠損を補うために成膜中酸素分圧を増加させた。また格子ミスマッチを低減するために、バッファ層として CrAl 合金 (モル比 1:1) をターゲットとして用いて $\text{Cr}_{1-x}\text{Al}_x\text{O}_3$ 膜を作製した。比較のために c 面配向膜も成長させた。

Cr スピオンが強磁性的に配列する r 面配向膜を得るためには、膜表面状態、成長した膜の結晶構造が非常に重要であるため、評価は主に、表面観察および高分解能 XRD 回折を用いて逆格子マッピング (RSM) を測定した。また、反射型高速電子線回折 (RHEED) 像を測定した。

4. 研究成果

X 線回折による 2θ - θ 測定において、r 面、a 面、c 面配向膜のブラッグピークはサファイア基板ピークの底角側に現れ、その面間隔はハルックの値と一致し、薄膜がストレスフリーであることがわかった。RHEED 像は基板像と一致しエピタキシャル成長を示唆していた。

図 1 に膜厚約 150 nm の r 面配向膜に関する SPM 像 ($2\ \mu\text{m} \times 2\ \mu\text{m}$) を示す。横軸は成膜温度、縦軸は O₂/Ar 流量比である。(a) では約 $300\text{ nm} \times 300\text{ nm}$ のコアレスセンスしたグレインが成長しており、グレイン間には $20\text{-}30\text{ nm}$ の深い溝を観測した。コアレスセンスした箇所では $1.5\text{-}2.0\text{ nm}$ の段差となっていた。また、一つのグレイン内では r 面に垂直方向に周期的に見られる $[\text{O}_2^{4-}\text{-Cr}_2^{6+}\text{-O}_2^{4-}\text{-Cr}_2^{6+}\text{-O}_2^{4-}]$ 1 ブロックに相当する約 0.36 nm のステップやバンディングステップを確認した。流量比を固定し基板温度を上昇させると、(b) 溝の面積が増大した。コアレスセンスした箇所では $2\text{-}3\text{ nm}$ の段差となった。しかしながら一つのグレイン表面は非常に平坦であることがわかった。(c) では、さらにコアレスセンスによってグレインの大きさが増大し、その表面では $1.0\text{-}1.5\text{ nm}$ の段差を確認した。(d) では台形型をしたグレイン形状を観測し、溝の深さは $60\text{-}80\text{ nm}$ と非常に大きな値となった。(e) ではグレインの大きさは増大し、形状は (d) とほぼ同形であった。 840°C の高温においても一つのグレイン表面は非常に平坦であることがわかった。

c 面配向膜では、溝は発生せず全温度範囲にわたって非常に平坦な膜表面を示した。

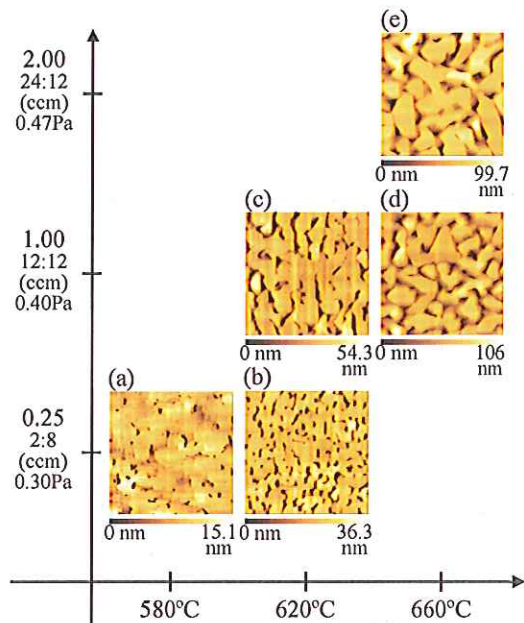


図 1 : r 面配向 Cr_2O_3 薄膜の SPM 像。基板温度の上昇とともに、結晶性は改善されたが、表面平坦性は悪化した。

図 2 に r 面配向、c 面配向膜の表面荒さ Ra およびロッキングカーブの半値幅 (FWHM) を示す。Ra の値は、c 面においては、r 面の値の $1/10$ 程度であることがわかった。c 面配向膜ではグレイン間に深い溝が存在しないためである。また、FWHM は基板温度の上昇に伴って改善され結晶性が向上していることがわかった。

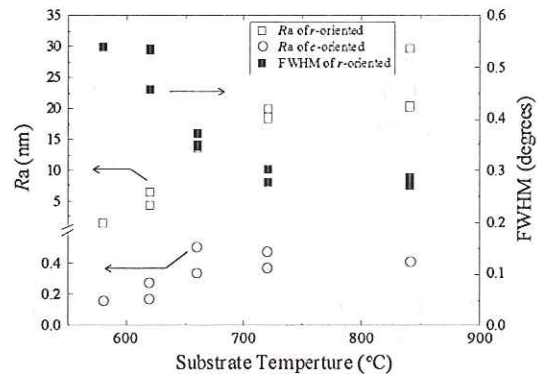


図 2 : r 面配向膜の表面荒さ Ra (□)、FWHM (■) および c 面配向膜の Ra (○)。

図 3 にサファイア及び Cr_2O_3 が属すコランダム構造の模式図を示す。

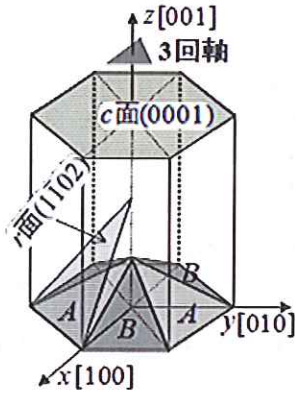


図3: コランダム構造の模式図と結晶面。[001]軸に対し3回軸が存在するため、“A”、“B”で示した面はそれぞれ異なった結晶面となる。

図4にc面配向膜の(10-110)に関するRSMを示す。(a)(10-110)は“B”に属し本来ブラッグピークが現れる面である。 ϕ を 60° 回転し同様の測定をすると、(b)膜のピークのみが観測された。“A”、“B”の結晶面はそれぞれ ϕ を 120° 回転することで周期的に同様のRSMが得られた。

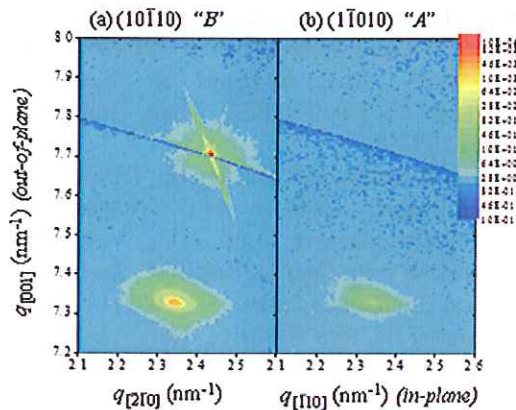


図4: c面配向 Cr_2O_3 薄膜のRSM像。図3に示した(a)“B”、および(b)“A”結晶面に関する逆格子マップである。(a)では基板、膜両者のピークが確認できるが、(b)では膜のピークのみ現れた。

図5にr面配向膜の(2-2010)、(2-208)結晶面に関するRSMを示す。(2-2010)は“A”に属しr面から ω を傾けることで得られる。一方、(20-28)は“B”に属し、r面から ω を傾けただけでは得られない。そこで、(2-208)面を測定した。ピークは観測できなかった。

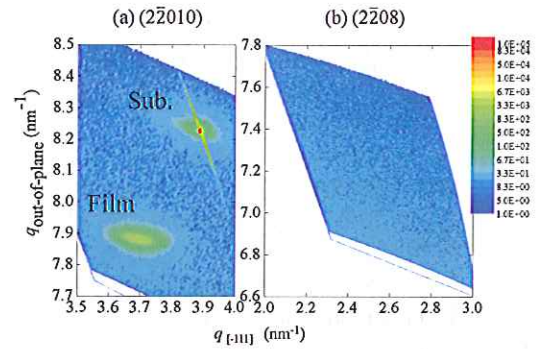


図5: r面配向 Cr_2O_3 薄膜のRSM像。(a)(2-2010)、(b)(2-208)周辺の逆格子マップである。(a)では基板、膜両者のピークが確認できるが、(b)ではピークは観測できなかった。

コランダム構造は図2に示すようにc面に垂直方向には $[\text{O}_3^{6-}-\text{Cr}_2^{6+}-\text{O}_3^{6-}-\text{Cr}_2^{6+}]$ の周期性がありいずれの結晶面においても表面エネルギーに大きな差は無い。一方r面に垂直方向には $[\text{O}_2^{4-}-\text{Cr}_2^{6+}-\text{O}_2^{4-}-\text{Cr}_2^{6+}-\text{O}_2^{4-}]$ で示される一ブロックが周期的に繰り返される。ブロックの終端面は酸素面となっておりブロック内でトータルの電荷量がゼロとなっている。そのため表面エネルギーは低く、酸素面に酸素原子が平坦性よく堆積するのは、クーロン反発力を考慮すると非常に難しいと考えられる。よって結晶構造から考えるとr面配向膜が最も平坦性の良い表面を持つ薄膜となると予想できる。しかしながらc面配向膜が最も平坦性の良い表面を示した。

RSMからc面配向膜では“A”、“B”両者の結晶面がc軸に対して 60° ごとに現れる6回軸を有し双晶が成長していることがわかった。r面配向膜では、“A”、“B”両者の結晶面を示すピークは現れず双晶は成長していなかった。サファイア基板と Cr_2O_3 の格子ミスマッチは約4%であり、それを緩和するためにc面配向膜では双晶が成長し平坦な表面が得られたと考えられる。c面では酸素原子が三角形に配列する最密構造であり、その間隙の2/3をCr原子が埋めている。残りの1/3の間隙にCr原子がディスロケーションし双晶が成長したと考えられる。一方、r面配向膜では、基板温度 580°C での成長条件に対して、より高酸素分圧で基板温度を上昇させたとき、結晶性は改善されたが、グレイン間の深い溝は残留し表面平坦性の改善は見られなかった。しかしながら、一つのグレイン内での表面は非常に平坦であった。r面の表面エネルギーが低いと考えると、双晶は成長せず基板との格子ミスマッチはグレイン間の溝で緩和されていると考えている。

本研究の目的である強磁性金属/ Cr_2O_3 積層構造によるGiant-ME効果の発現を考慮す

ると、双晶は電界印加に対して逆のMEシグナルを発生させるため存在しない方がよい。そのため、双晶の無いc面配向膜の成長、もしくは表面平坦性を改善したr面配向膜の成長条件探索が今後の課題となる。

これまでに報告された積層構造では電界による磁化制御は達成されていなかった。これは上述したように、c面配向膜では双晶を含んだ成長が起こっているからであると考えられる。本研究で明らかにした成長機構の違いがGiant-ME効果を得るためのブレイクスルーの切っ掛けとなることは間違いない。

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 19 件) (すべて査読有り)

- (1) N. Iwata, Y. Watabe, Y. Tsuchiya, K. Norota, M. Huijben, G. Rijnders, Dave H. A. Blank, and H. Yamamoto, "Growth of [CaFeOx/BiFeO3] superlattice by Pulsed Laser Deposition Method Using High Density Target Prepared by Pechini Method", *Trans. Mater. Res. Soc. Jpn.* (2012) in press
- (2) Hina Chujo, Yusuke Tada, Nobuyuki Iwata and Hiroshi Yamamoto, "Preparation of Two Layers Organic Thin Films on an ITO/PET Substrate using Alq₃/ coumarin6 and PEDOT/PSS by Spin Coat", *Trans. Mater. Res. Soc. Jpn.* (2012) in press
- (3) Keijiro Sakai, Satoshi Doi, Nobuyuki Iwata, Hirofumi Yajima, and Hiroshi Yamamoto, "Growth Position and Chirality Control of Single-Walled Carbon Nanotubes", *IEICE Trans. Electron.* **E94-C** (2011) 1861-1866.
- (4) Daiki Koide, Shouta Kato, Eri Ikeda, Nobuyuki Iwata, and Hiroshi Yamamoto "Free Electron Laser-Polymerization of C₆₀ Grown by Liquid-Liquid-Interfacial Precipitation Method", *IEICE Trans. Electron.* **E94-C** (2011) 151-156.
- (5) Daiki Koide, Nobuyuki Iwata, Hiroshi Yamamoto "Photo-polymerization of hole-Doped C₆₀ grown by liquid-liquid interfacial precipitation method", *Phys. Status Solidi C* **8** (2011) 558-560.
- (6) Atushi Noda, Nobuyuki Iwata, and Hiroshi Yamamoto, "Crystal Growth of Anthracene by Dip Coating and Application for Organic Electroluminescence Devices, *Jpn. J. Appl. Phys.* **50** (2011) 01BC10, 1-4
- (7) Keijiro Sakai, Hiroki Takeshita, Kunihide Kaneki, Hirofumi Yajima, Nobuyuki Iwata and Hiroshi Yamamoto, "Multi-Excitation-Laser Raman Analysis of Chirality-Controlled Single-Walled Carbon Nanotubes with Free Electron Laser Irradiation during Growth", *Jpn. J. Appl. Phys.* **50** (2011) 01BJ13
- (8) Nobuyuki Iwata, Daiki Koide, Shouta Kato, Eri Ikeda, Hiroshi Yamamoto "Hole or Electron Doped C₆₀ Polymer Using Free Electron Laser Irradiation", *Mater. Res. Soc. Symp. Proc.* **1284** (2011) C03-11 p.45-50.
- (9) Nobuyuki Iwata, Hiroshi Yamamoto, Mark Huijben, Guus Rijnders, Dave H. A. Blank, "Growth of CaFeO_x/LaFeO₃ Superlattice on SrTiO₃(100) Substrates", *Mater. Res. Soc. Symp. Proc.* **1292** (2011) K12-16 p.125-130.
- (10) Hiroshi Yamamoto and Nobuyuki Iwata, "C₆₀ Photo-Polymerization using Free Electron Laser", *Trans. Mater. Res. Soc. Jpn* **35** (2010) 461-466.
- (11) Keijiro Sakai, Daisuke Ishiduka, Takuya Sonomura, Hiroki Takeshita, Kunihide Kaneki, Hirofumi Yajima, Nobuyuki Iwata, Hiroshi Yamamoto, "Free Electron Laser Irradiation Effect on Single-Walled Carbon Nanotube Growth", *Trans. Mater. Res. Soc. Jpn.* **35** (2010) 343-346.
- (12) Daisuke Ishizuka, Keijiro Sakai, Nobuyuki Iwata, Hirofumi Yajima, Hiroshi Yamamoto, "Effect of Chirality by the Free Electron Laser Irradiation", *The Institute of Electrical Engineers of Japan (IEEJ) Trans, FM*, **130** (2010) 209-212.
- (13) Y Iio, K Kurihara, F Matsuyama, R Nokariya, N Iwata and H Yamamoto, "Photopolymerization of C₆₀ Crystal Synthesized from Organic Solution", *Journal of Physics: Conference Series* **159** (2009) 012019
- (14) Yasunari Iio, Ryo Nokariya, Nobuyuki Iwata and Hiroshi Yamamoto "Photopolymerization of C₆₀ Crystals Obtained from an Organic Solution", *Special Issue of Nihon University College of Science and Technology 2008 Annual Conference*, **3** (2008) 55-58
- (15) F. Matsuyama, K. Nishitani, T. Maeda, T. Oda, N. Iwata, H. Yamamoto, "Measurement of Electrical Conduction of C₆₀ Derivatives Monolayer on Au Ultrathin Film", *Trans. Mater. Res. Soc. Jpn.* **33** (2008) 131-134
- (16) Takeshi Asada, Kenjiro Nagase, Nobuyuki Iwata and Hiroshi Yamamoto, "Crystal Growth of Magnetoelectric Cr₂O₃ Thin Film on Sapphire and SrTiO₃", *Jpn. J. Appl. Phys.* **47** (2008) 546-549.
- (17) Shinji Ide, Masato Yoshikuni, Nobuyuki Iwata and Hiroshi Yamamoto, "Fabrication of Carbon Nanofiber Emitter for Excitation of Organic Phosphor Thin Films", *Jpn. J. Appl Phys.* **47** (2008) 700-702.

(18) Nobuyuki Iwata, Takeshi Asada, Shunpei Ootsuki, and Hiroshi Yamamoto, "Growth and Evaluation of Magnetoelectric Cr₂O₃ Single Crystal Thin Films", Mater. Res. Soc. Symp. Proc. **1034** (2008) K10-67.

(19) Nobuyuki Iwata, Yasunori Iio, Shingo Ando, Ryo Nokariya, and Hiroshi Yamamoto, "Polymerization of Fullerene in Solution with Free Electron Laser Irradiation", Mater. Res. Soc. Symp. Proc. **1057** (2008) II05-48.

[学会発表] (計 31 件)

(1) 渡部雄太, 野呂田健人, 土屋善人, 岩田展幸, 橋本拓也, 山本寛 「ペッチーニ法により作製したターゲットを用いた CaFeOx / BiFeO₃ 超格子の PLD 法による作製」 第 59 回応用物理学関係連合講演会, 早稲田大学 早稲田キャンパス, 20120315-18

(2) 土屋善人, 野呂田健人, 渡部雄太, 岩田展幸, 橋本拓也, 山本寛, 「ペッチーニ法によって作製した超高密度ターゲットによる LaFeO₃ 薄膜の作製」 第 59 回応用物理学関係連合講演会、早稲田大学 早稲田キャンパス、20120315-18

(3) N. Iwata, Y. Watabe, Y. Tsuchiya, K. Norota, M. Huijben, G. Rijnders, Dave H. A. Blank, and H. Yamamoto, "Growth of [CaFeOx/BiFeO₃] superlattice by Pulsed Laser Deposition Method Using High Density Target Prepared by Pechini Method", 第 21 回日本 MRS 学術シンポジウム 横浜開港記念会館, 20111219-21

(4) Y. Tsuchiya, Y. Watabe, K. Norota, N. Iwata, Takuya Hashimoto, Hiroshi Yamamoto, "Growth Difference of LaFeO₃ Thin Films by Pulsed Laser Deposition Method Using the Targets Prepared by Pechini and Conventional Solid Solution Methods", The 21th MRS-Japan Academic Symposium, 第 21 回日本 MRS 学術シンポジウム, 横浜開港記念会館, 20111219-21

(5) T. kuroda, N. Iwata and H. Yamamoto, "Investigation of Crystal Growth of the Cr₂O₃ thin films on Sapphire Substrates", The 21th MRS-Japan Academic Symposium, 横浜開港記念会館, 20111219-21

(6) 岩田展幸 「積層膜および人工超格子構造に期待する室温巨大電気磁気効果」 独立行政法人日本学振興会将来加工技術第 136 委員会 第 17 回研究会 (第 2 部会)、日本大学理工学部船橋校舎 電子線利用研究施設 2F 会議室、20111125

(7) 黒田卓司, 岩田展幸, 高瀬浩一, 山本寛 「原子レベルで平坦な r 面配向 Cr₂O₃ 薄膜の作製条件探索」、第 72 回応用物理学関係連合講演会、山形大学 小白川キャンパス、20110829-0902

(8) 渡部雄太, 野呂田健人, 土屋善人, 岩田展幸,

橋本拓也, 山本寛 「ペッチーニ法により作製したターゲットを用いた LaFeO₃ 薄膜のパルスレーザー堆積法による作製と評価」 第 72 回応用物理学学会学術講演会、山形大学 小白川キャンパス、20110829-0902

(9) Yoshito Tsuchiya, Kento Norota, Yuta Watabe, Takuji Kuroda, Nobuyuki Iwata, Takuya Hashimoto, Hiroshi Yamamoto, "PULSED LASER DEPOSITION OF LaFeO₃ THIN FILMS USING THE TARGET PREPARED BY PECHINI METHOD", 19th Annual International Conference on Composites or Nano Engineering (ICCE-19), Shanghai, China, 20110724-30

(10) Kento Norota, Yoshito Tsuchiya, Yuta Watabe, Takuji Kuroda, Nobuyuki Iwata, Takuya Hashimoto, and Hiroshi Yamamoto, "Growth of AFeOX (A = Ca, Sr) by pulsed laser deposition method at high pressure oxygen and ozone atmosphere", 19th Annual International Conference on Composites or Nano Engineering (ICCE-19), Shanghai, China, 20110724-30

(11) Nobuyuki Iwata, Takuji Kuroda, Kento Norota, Yoshito Tsuchiya, Yuta Watabe, Kouichi Takase, and Hiroshi Yamamoto, "IMPROVEMENT OF R-PLANE ORIENTED Cr₂O₃ THIN FILMS SURFACE GROWN ON SAPPHIRE SUBSTRATES", 19th Annual International Conference on Composites or Nano Engineering, (ICCE-19), Shanghai, China, 20110724-30

(12) 岩田展幸, 野呂田健人, 土屋善人, 黒田卓司, 渡部雄太, 山本寛 「積層膜および人工超格子構造に期待する室温巨大電気磁気効果」、第 41 回 ナノマグネティクス専門研究会、中央大学 駿河台記念館 560 号室、20110603

(13) Nobuyuki Iwata, Hiroshi Yamamoto, Mark Huijben, Guus Rijnders, Dave H. A. Blank "Growth of CaFeOx/LaFeO₃ Superlattice on SrTiO₃(100) Substrates", 2010 Materials Research Society Fall Meeting, 20101129-1203, Boston

(14) Nobuyuki Iwata, Yutaka Yonebayashi, Yoshito Tsuchiya, Yuuichiro Akima, Kouichi Takase, Hiroshi Yamamoto "Preparation and Evaluation of Cr₂O₃/(Cr_xAl_{1-x})₂O₃ films on sapphire substrates" 2010 Materials Research Society Fall Meeting, 20101129-1203, Boston

(15) 野呂田健人, 根本拓哉, 岩田展幸, 山本寛 「SrTiO₃(100)基板上への CaFeOX, SrFeOX 薄膜の作製」 電子情報通信学会 電子部品・材料研究会(CPM)、20101028-29、長野

(16) N. Iwata, H. Yamamoto, M. Huijben, G. Rijnders, Dave H. A. Blank "Preparation of CaFeOx/LaFeO₃ Superlattice on SrTiO₃(100) Substrates", 17th Workshop on Oxide Electronics, 20100919-22、淡路

(17)N. Iwata, Y. Yonebayashi, Y. Tsutiya, H. Yamamoto "Preparation and Evaluation of Cr₂O₃/(Cr_xAl_{1-x})₂O₃ films on sapphire substrates", 17th Workshop on Oxide Electronics, 20100919-22、淡路

(18)岩田展幸、野呂田健人、根本拓哉、土屋善人、山本寛「パルスレーザー堆積法によるCaFeO₃、SrFeO₃薄膜の作製と評価」2010年秋季第71回応用物理学学会学術講演会、20100914-17、長崎

(19)岩田展幸、米林豊、土屋善人、秋間祐一郎、高瀬浩一、山本寛、「r面サファイア基板上Cr₂O₃/(Cr_{1-x}Al_x)₂O₃積層膜の作製」2010年秋季第71回応用物理学学会学術講演会、20100914-17、長崎

(20)米林豊、岩田展幸、山本寛、「Preparation and Evaluation of Cr₂O₃/(Cr_{1-x}Al_x)₂O₃ Multilayer」電子情報通信学会 電子部品・材料研究会(CPM)、20100531-0604、長野

(21)境恵二郎、石塚大祐、園村拓也、竹下弘毅、金木邦英、矢島博文、岩田展幸、山本寛、「Raman Analysis with Multi Excitation Laser of Single-Walled Carbon Nanotubes Grown with Free Electron Laser Irradiation during Growth」第38回フラーレン・ナノチューブ総合シンポジウム、名城大学共通講義棟北館、20100302-04

(22)岩田展幸、石塚大祐、境恵二郎、園村拓也、竹下弘毅、金木邦英、矢島博文、山本寛、「自由電子レーザー照射により制御されたSWNTのカイラリティ」第70回応用物理学学会学術講演会、富山大学 五福キャンパス 20090908-11

(23)米林豊、大月俊平、石塚大祐、岩田展幸、山本寛、「Synthesis of Single-Walled Carbon Nanotube on Single Crystal Cr₂O₃ Thin Films」第19回日本MRS学術シンポジウム 横浜市開港記念会館、20090901-03

(24)境恵二郎、石塚大祐、金木邦英、矢島博文、岩田展幸、山本寛、「単層カーボンナノチューブ成長中の自由電子レーザー照射効果」第19回日本MRS学術シンポジウム、横浜市開港記念会館、20090901-03

(25)竹下弘毅、境恵二郎、石塚大祐、園村拓也、矢島博文、岩田展幸、山本寛、「還流法を用いて作製した触媒微粒子による単層カーボンナノチューブの成長」第19回日本MRS学術シンポジウム、横浜市開港記念会館、20090901-03

(26)岩田展幸、石塚大祐、境恵二郎、園村拓也、竹下弘毅、金木邦英、矢島博文、山本寛、「成長中自由電子レーザー照射による特定のカイラリティを持った単層カーボンナノチューブの選択成長」第37回フラーレン・ナノチューブ総合シンポジウム、つくば国際会議場(エポカルつくば)、20090901-03

(27)岩田展幸、石塚大祐、境恵二郎、園村拓也、竹下弘毅、金木邦英、矢島博文、山本寛

「可視及び近赤外自由電子レーザー励起による単層カーボンナノチューブの成長中カイラリティ制御」、電子情報通信学会 電子部品・材料研究会(CPM)、弘前大学 工学部 1号館2階 大会議室、20090810-11

(28)境恵二郎、石塚大祐、金木邦英、矢島博文、岩田展幸、山本寛、「自由電子レーザー照射による単層カーボンナノチューブの成長中カイラリティ制御」、電子情報通信学会有機エレクトロニクス研究会、(財)加藤科学振興会軽井沢研修所、2009.07.23

(29)Shumpei Otsuki, Nobuyuki Iwata, Hiroshi Yamamoto, "Crystal Growth of Magnetoelectric Cr₂O₃ Sputtered Thin Film on CeO₂-Buffered SrTiO₃", ISSP 2009 Committee, 金沢国際ホテル(金沢), 20090708-10

(30)Hiroshi Yamamoto, Daisuke Ishizuka, Nobuyuki Iwata, Keiji Sakai, Katsumi Uchida, and Hirofumi Yajima, "Possibility of SWNT Chirality Control by Free Electron Laser Irradiation during Alcohol Catalytic Chemical Vapor Deposition", ICMAT & IUMRS-ICA 2009 Suntec Singapore, 2009.06.31-07.05

(31)境恵二郎、石塚大祐、岩田展幸、山本寛「FEL照射による半導体SWNTのカイラリティ制御」、第56回応用物理学関係連合講演会、筑波大学、筑波キャンパス 2009.03.30-04.02

〔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)

日本大学工学部・講師

研究者番号：20328686