

平成 22 年 6 月 8 日現在

研究種目：若手研究 (B)  
 研究期間：2008 ~ 2009  
 課題番号：20760196  
 研究課題名 (和文) 自然超格子による超高速・巨大光磁気応答物質の創成  
 研究課題名 (英文) Fabrication of Natural Supperlattices with Ultrafast and Giant Magneto-Optical Response  
 研究代表者  
 関 宗俊 (SEKI MUNETOSHI)  
 東京大学・大学院工学系研究科・助教  
 研究者番号：40432439

研究成果の概要 (和文) : パルスレーザー堆積法を用いて、自然超格子構造を有する希土類ガーネット型フェライト  $R_3Fe_5O_{12}$  および二次元三角格子フェライト  $RFe_2O_4$  の単結晶薄膜を作製した。 $R_3Fe_5O_{12}$  薄膜においては、エピタキシャル歪を導入して薄膜の結晶構造の中心対称性を破ることによって、自発分極を発現させることに成功した。また、 $Fe^{3+}$  イオンの一部を  $Ti^{4+}$  イオンで置換することによって、光誘起磁性が発現することを見出した。また、二次元三角格子フェライト  $InFe_2O_4$  薄膜のエピタキシャル成長にも世界で初めて成功した。

研究成果の概要 (英文) : Thin films of garnet ferrite  $R_3Fe_5O_{12}$  and two-dimensional triangular antiferromagnet  $RFe_2O_4$  were fabricated using a pulsed laser deposition (PLD). We found that an epitaxial strain in the  $R_3Fe_5O_{12}$  film causes the spontaneous electric dipole moment in the films. It was also found that the Ti-substituted  $R_3Fe_5O_{12}$  film shows the photoinduced magnetization. The multiferroic  $InFe_2O_4$  epitaxial thin films were successfully grown by a PLD for the first time.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008 年度	2,100,000	630,000	2,730,000
2009 年度	1,300,000	390,000	1,690,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学、電子・電気材料工学

キーワード：電気・電子材料、機能性酸化物薄膜、パルスレーザー堆積法、磁気光学効果、スピン電荷競合系、フェリ磁性体、自然超格子構造

## 1. 研究開始当初の背景

トップダウン型的手法による半導体デバイスの微細化・高性能化が極限にまで進みつつあり、デバイス動作の物理的限界を迎えようとしている。このような状況から、近年特に、

従来にはない高次機能や新規物性を発現する材料の開発がのぞまれている。そこで本研究では、省エネルギー、高集積化、高速演算を可能にする次世代エレクトロニクス有望な基幹材料として、電気双極子秩序（強誘電

性)とスピン秩序(強磁性)を単一相の中で融合したマルチフェロイック物質や、光(フォトン)により室温で磁化を制御可能な光磁気融合材料の創製を目的として実験を推進した。

## 2. 研究の目的

自然超格子構造を有するガーネット型フェライトおよび二次元三角格子型フェライトの単結晶薄膜の作製し、光・磁気・電子機能融合デバイスへと応用することが本研究の目的である。

## 3. 研究の方法

パルスレーザー堆積法(PLD法)を用いて、自然超格子構造を有する希土類ガーネット型フェライト  $R_3Fe_5O_{12}$  および二次元三角格子フェライト  $RFe_2O_4$  の単結晶薄膜を作製し、その物性評価を行った。

## 4. 研究成果

$R_3Fe_5O_{12}$  薄膜においては、基板との格子不整合に由来するエピタキシャル歪みを導入して薄膜の格子を面内に圧縮し、結晶構造の中心対称性を破ることによって、室温で自発分極を発現させることに成功した。また、 $Fe^{3+}$  イオンの一部を  $Ti^{4+}$  イオンで置換することによって、光誘起磁性が発現することを見出した。分光測定により、この光磁性は、 $Ti^{4+}$  イオンと、電荷補償効果によって生成する  $Fe^{2+}$  の間の光誘起電子移動によって起こされることを見出した。また、二次元三角格子フェライト  $TmFeCuO_4$  薄膜のエピタキシャル成長に初めて成功した。薄膜の結晶構造および組成は、基板温度や成膜後の熱処理条件に大きく依存し、特に  $1000^\circ C$  以上のアニーリングで、構成元素の  $Fe$  の蒸発が著しく組成ずれが顕著になることが分かった。また、PLD法により、スピン電荷競合系  $InFe_2O_4$  薄膜のエピタキシャル成長にも成功した。この薄膜は、還元雰囲気中で基板温度を  $600^\circ C$  以上まで上げた場合に結晶性が良くなるが、製膜中の  $In$  の再蒸発が著しいため、 $In$ -rich 組成のターゲットを用いることにより化学量論組成の  $InFe_2O_4$  薄膜を得た。透過型電子顕微鏡観察を行い、 $InO$  層と  $FeO$  層が交互に積層した自然超格子構造が形成されていることを初めて確認した。また磁気測定では、二次元三角格子面内のスピン相互作用に由来する大きな面内磁気異方性が観測された。X線回折では観測できないナノサイズの  $Fe_3O_4$  相の寄与により、室温以上でも強磁性的挙動が見られるが、このような不純物相は磁気異方性を持たないため、面直/面内方向の磁化を測定することにより、試料中の不純物相の有無を判別できることが分かった。その結果、磁性不純物フリーの  $InFe_2O_4$  薄膜の成

長には、ターゲットの  $In/Fe$  原子数比を 0.8 以上にする必要のあることを見出した。

## 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 5 件)

1. M. Seki, F. Iwamoto, Y. Ono, T. Osone, and H. Tabata, "Growth of  $TmFeCuO_4$  thin films by pulsed laser deposition" Journal of Crystal Growth, 312 (2010) 2273-2278

2. M. Kobayashi, M. Seki, H. Tabata, Y. Watanabe, and I. Yamashita, "Fabrication of Aligned Magnetic Nanoparticles Using Tolviruses" Nano Letters 10 (2010) 7773-7776

3. T. Saito, M. Seki, and H. Tabata "Self-organized ZnO nano-rod with photo oxidative cell membrane perforation enables large scale non-disruptive cell manipulation" Anal. Bioanal. Chem. 391 (2008) 2513-2519

[学会発表] (計 11 件)

1. Munetoshi Seki, "Optical and electronic properties of self-organized oxidized nanostructures" Sweden-Japan Workshop on Nanophotonics and Related Technologies, 29<sup>th</sup> of June 2009, KTH Stockholm, Sweden.

2. Munetoshi Seki, "Optical and electronic properties of self-organized oxidized nanostructures" Finland-Japan Workshop on Nanophotonics and Related Technologies, 1st of July 2009, VTT Micronova Espoo, Finland.

3. M. Seki, M. Mikami, and H. Tabata, "Magnetic Field Control of Dielectric Properties in Strained Garnet Ferrite Thin Films" The 15th International Workshop on Oxide Electronics (WOE-15), Sep.15-17, 2008, Colorado, USA

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者

関 宗俊 (SEKI MUNETOSHI)

東京大学・大学院工学系研究科・助教

研究者番号：40432439