

機関番号：14401

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2008～2010

課題番号：20760014

研究課題名（和文） 新規光誘起磁性酸化物の創成とスピントロニクス素子応用

研究課題名（英文） Creation of novel photo-induced magnetic materials and their spintronic applications

研究代表者

神吉 輝夫（KANKI TERUO）

大阪大学・産業科学研究所・助教

研究者番号：40448014

研究成果の概要（和文）：本研究は、光照射により、室温で磁化が制御できる室温光誘起磁性体の有望な材料である酸化物強磁性体スピネル型フェライトに注目し、遷移金属イオン、非磁性金属イオンのドーピング量、種類を変え、室温において高効率な光磁性変調現象を起こす磁性薄膜材料を作製した。また、光誘起磁性スピネル酸化物と絶縁体とのヘテロ接合を作製し、光により磁性を制御できる光誘起型トンネル磁気抵抗素子の作製を行った。

研究成果の概要（英文）：In this research, I have noted photo-induced magnetic (PIM) materials of ferromagnetic spinel oxides and produced higher efficient PIM thin films at room temperature by varying kinds of and amount of dopants. Moreover, I have tried to make tunnel magneto resistance-typed hetero-junction with the PIM layer and insulator layer to control magneto-electronic properties by light.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008 年度	2,300,000	690,000	2,990,000
2009 年度	700,000	210,000	910,000
2010 年度	500,000	150,000	650,000
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究代表者の専門分野：酸化物エレクトロニクス

科研費の分科・細目：応用物性・結晶工学

キーワード：酸化物磁性体、スピントロニクス

1. 研究開始当初の背景

光による磁性変調の研究は、プルシアンブルー錯体などによるスピントロニクス現象がきっかけとなり、1980年代から、国内外で、遷移金属錯体分野の人たちを中心に多くの研究者たちにより研究されてきた。近年では、学術的な興味ばかりでなく、超高密度磁気記録素子の点から単分子磁石によるナノオーダーサイズでのメモリ機能を付

与できる新物質が注目されている。また、スピントロニクス分野においても、ヘテロ接合界面での光照射による電荷注入を利用した磁性変調が報告されている。この様に光を用いた磁気・電気特性の制御は、次世代の新機能性材料・素子開発に向けての大きな一つの流れになると考えられる。しかしながら、これらいずれの研究も光照射による磁化変調現象は低温での発現であり、応用に向け

た室温での変調には大きな障壁があるのが実情であった。

2. 研究の目的

本研究は、室温光誘起磁性体の有望な材料である酸化物磁性体スピネル型フェライトに注目し、遷移金属イオン、非磁性金属イオンのドーピングを通じて、室温において高効率な磁性変調現象を起こす新薄膜材料を創出し、スピントロニクス材料適応性を調べることにある。そして、その応用として、光誘起磁性スピネル酸化物をフリー層にした磁気トンネル接合を作成し、光アシスト型の新規磁気抵抗素子構築を行うことである。

3. 研究の方法

スピネル型フェライト材料は、四面体構造を持つAサイトと八面体構造を持つBサイトを有する構造（図1：例としてAl, Ru イオンをBサイトに添加した $\text{Al}_{0.5}\text{Ru}_{0.5}\text{Fe}_2\text{O}_4$ 組成を持つスピネル構造）をとっており、各サイトの中心金属は、そのイオン半径によりAサイトに入るのか、Bサイトに入るのかが決まる。構造は複雑であるが、一般的な磁気物性はAサイト遷移金属イオンとBサイト遷移金属イオン間の超交換相互作用とBサイト間の二重交換相互作用によって決まっている。

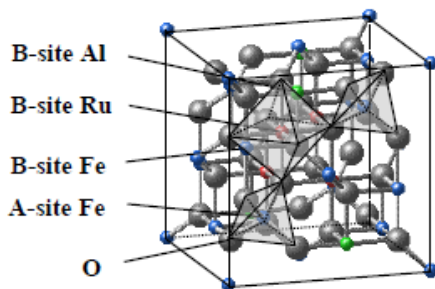


図1 スピネル構造

本研究では、母体の Fe_3O_4 に他のイオンをドーピングすることによって、スピングラス状態を作り出し、室温において、高効率で光照射により磁性状態が変調できる磁性スピネル薄膜を、パルスレーザー堆積法を用いて作製した。

そして、スピンエレクトロニクス材料としての特性予測を行うために、スピン偏極率等の計算を第一原理計算により行った。

物性測定に関しては、SQUIDによる光照射磁気測定、及びPPMSによる電気伝導測定を行った。

また、光誘起磁性スピネル酸化物をフリー層にした磁気トンネル接合を作製し、光アシスト型の新規磁気抵抗素子構築を試みた。

4. 研究成果

本研究では、主に室温光誘起磁性体の有望な材料である酸化物磁性体スピネル型フェライト(Al, Ru, Fe) $_3\text{O}_4$ に注目し、遷移金属イオン、非磁性金属イオンのドーピング量を変え、室温において高効率な磁性変調現象を起こす新薄膜材料を作製した。実際に、光照射による磁性変調実験においては、図2に挙げるように室温において $\text{Al}_{0.2}\text{Ru}_{0.8}\text{Fe}_2\text{O}_4$ 組成の薄膜が、変調効率が良いことが分かった。

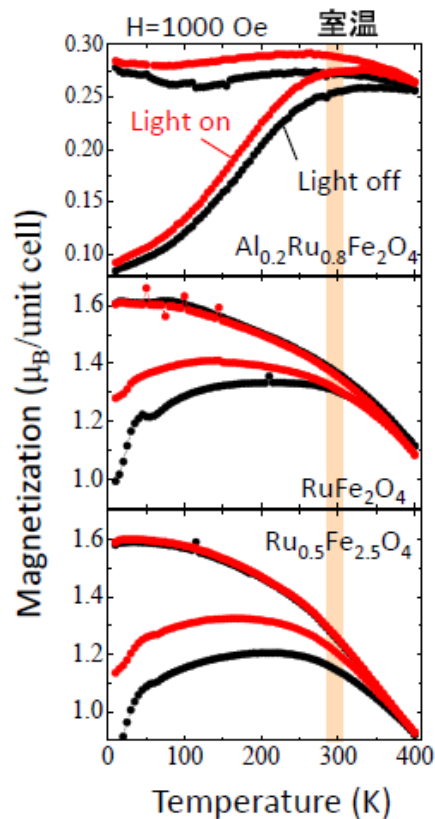


図2 (Al,Ru,Fe) $_3\text{O}_4$ 薄膜のFC-ZFC磁化曲線

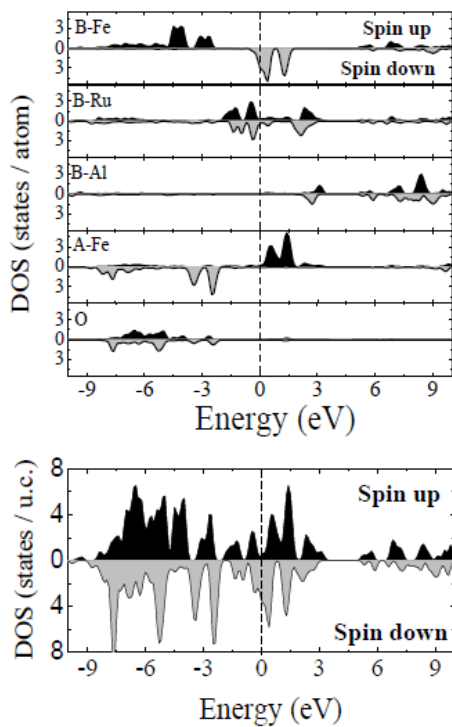


図3 (Al,Ru,Fe)₃O₄薄膜の状態密度計算結果

スピントロニクス材料応用の観点から、第一原理により電子状態密度計算を行ったところ、(Al, Ru, Fe)₃O₄において、75%以上のスピン分極率を有していることが分かった。(図3)

また、ホール効果測定の実験においては、異常ホール効果が見られ、室温においても、伝導電子と局在スピンが密接に関連していることが明らかになり、スピントロニクス材料として有望であることが分かった。(図4)

さらに、磁性Al_{0.5}Ru_{0.5}Fe₂O₄層と絶縁体層を用いた磁気抵抗素子を作製するために、

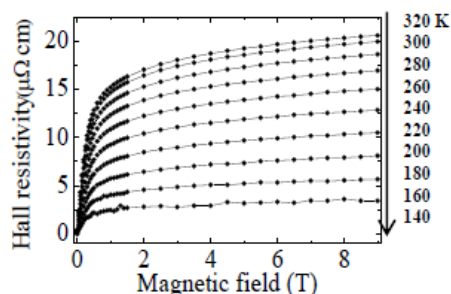


図4 (Al,Ru,Fe)₃O₄薄膜の異常ホール効果

Al_{0.5}Ru_{0.5}Fe₂O₄ 薄膜の表面ラフネスの改善を行ったところ平均ラフネスが 0.7nm のフラットな表面を得ることができた。最終的に、Al_{0.5}Ru_{0.5}Fe₂O₄/Al₂O₃/NiFe からなる磁気抵抗素子を作製した。

5. 代表的な研究成果

〔雑誌論文〕 (計5件)

- ① 山中 理、神吉 輝夫、川合 知二、田中 秀和、Enhancement of Spin Polarization in a Transition Metal Oxide Ferromagnetic Nanodot Diode、査読有、Nano Letters **11**, 343-347 (2011)
- ② Cha Nam-Goo、B. K. Lee、神吉 輝夫、H. Y. Lee、川合 知二、田中 秀和、Extremely reduced hollow metal nanomasks for direct epitaxial growth of functional oxide nanostructures、査読有、Nanotechnology **20**, 395301-395306(2011)
- ③ 五嶋 一哉、神吉 輝夫、川合 知二、田中 秀和、Giant Magnetoresistance Observed in (Fe, Mn)₃O₄ Artificial Nanoconstricted Structures at Room Temperature、査読有、Nano Letters **11**, 2772-2776 (2010)
- ④ 神吉 輝夫、堀田 育志、浅川 直紀、関 宗俊、田畑 仁、川合 知二、Room-temperature-photoinduced magnetism and spin-electronic functions of spinel ferrite with a spin-cluster structure、査読有、Applied Physics Letters **92**, 182505(3) (2008)
- ⑤ 神吉 輝夫、河原 敏夫、浅川 直紀、堀田 育志、寺井 慶和、藤原 康文、田畑 仁、川合 知二、Epitaxial Growth of Spinel Ferrite (Al, Ru, Fe)₃O₄ on a GaAs(001) Substrate Using a MgO buffer layer、査読無、Material Research Society

Symposium Proceedings **1034**, K03-41
(2008)

[学会発表] (計6件)

- ① N. G. Cha、神吉 輝夫、田中 秀和、Direct fabrication of an 80-nm Integrated $\text{Fe}_{2.5}\text{Mn}_{0.5}\text{O}_4$ (FMO) Nanocrystal Arrays in Large Area Using a Hollow Nanopillar Metal Mask for High Temperature、Material Research Society (MRS) Fall meeting, 2009. 12. 2、ハイネスコンベンションセンター (ボストン・アメリカ)
- ② 神吉 輝夫、堀田 育志、浅川 直紀、関 宗俊、田畑 仁、田中 秀和、川合 知二、Magnetic and Electronic Characters of Photo-induced Magnet $(\text{Al, Ru, Fe})_3\text{O}_4$ Spinel Ferrite Thin Films、MRS Fall Meeting 2008、2008. 12. 4、ハイネスコンベンションセンター (ボストン・アメリカ)
- ③ 神吉 輝夫、堀田 育志、浅川 直紀、関 宗俊、池永 英司、田畑 仁、田中 秀和、小林 啓介、川合 知二、Magnetic and electric properties of photo-induced magnet $(\text{Al, Ru, Fe})_3\text{O}_4$ spinel ferrite thin films、The IEEE Nanotechnology Materials and Devices Conference 2008、2008. 10. 20、京都大学 (京都府)
- ④ 神吉 輝夫、堀田 育志、浅川 直紀、関 宗俊、池永 英司、田畑 仁、田中 秀和、小林 啓介、川合 知二、高スピン分極率を有する光誘起磁性体スピネルフェライト $(\text{Al, Ru, Fe})_3\text{O}_4$ 薄膜の電子輸送特性・電子状態の基板依存性、2008年秋季 第69回応用物理学会学術講演会、2008年9月4日、中部大学 (愛知県)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

神吉 輝夫 (KANKI TERUO)
大阪大学・産業科学研究所・助教
研究者番号：40448014

(2) 研究分担者 該当なし