

科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 6 日現在

機関番号：12601

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2011～ 2012

課題番号：23656209

研究課題名（和文）生体ゆらぎに学ぶ確率共鳴現象を利用した情報処理素子の創製

研究課題名（英文） Fabrication of information processing devices
learned by bio mimetic stochastic resonance

研究代表者

田畑 仁 (TABATA HITOSHI)

東京大学・大学院工学系研究科・教授

研究者番号：00263319

研究成果の概要（和文）： 生体ゆらぎを模倣するため、スピનゆらぎを利用する「スピングラス材料」に関する開発をおこなった。まず室温スピンゆらぎ材料の開発として、室温でスピングラス（クラスターガラス）を示すスピネル型フェライト材料を活用して、その“スピンゆらぎ”を利用した、生体ゆらぎの模倣を試みた。次に磁性素子としてハードディスク等に用いられているトンネル磁気抵抗素子をモデルとして、磁性／絶縁体／スピングラス材料のスピントンネル接合素子を試作し、その基礎特性を評価した。

研究成果の概要（英文）： We have demonstrated that bio mimetic devices using spin glass materials, first of all. Room temperature operation is one of the most important functions to use them in a practical application. We have formed spin fluctuated devices at first. And then magnetic tunneling junctions, which are well used as magnetic devices such as hard disks, are fabricated with magnetic/ insulator/ spin glass tri-layers.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	3,000,000	900,000	3,900,000

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：ゆらぎ・リラクサー・スピングラス・情報処理・メモリデバイス

1. 研究開始当初の背景

情報電子 (ICT) 関連の機器が使用する電力量は、年々加速度的増大している。2006 年に総使用電力量の約 6% を占めるにすぎなかった、ICT 機器が消費する電力量は、2050 年には総電気使用量の約 60% に達すると試算されている。何らかの措置を講じることが喫緊の課題である。

2. 研究の目的

生体特有の情報処理機能である“ゆらぎ”を、物理量の揺らぎ（例えばスピングラスや、双極子ガラス（リラクサー）により置き換える事で、生体機能の模倣をすることで、超低消費電力デバイスの実現を目指す。その第一歩として、生体ゆらぎを模倣するため、スピンゆらぎを利用する「スピングラス材料」、双極子ガラスを利用する「リラクサー材料」

の2つに絞り材料開発を目指した。

3. 研究の方法

まず室温スピンゆらぎ材料の開発として、先行研究で開発した、室温でスピングラス（クラスターガラス）を示す材料：スピネル型フェライト材料（Appl.Phys.Lett. 78(2001) 512 & 76 (2000) 1179) を活用して、その“スピンゆらぎ”を利用して、生体ゆらぎの模倣を試みた。具体的な材料としては(Mg²⁺, Fe³⁺) {Mg²⁺, Fe²⁺, Fe³⁺, Ti}2O₄, (Ru, Fe³⁺) {Ru, Fe²⁺, Fe³⁺, Al³⁺}2O₄, Al_{0.5}Ru_{0.8}Fe_{1.7}O₄ などである。これらを、レーザーMBEにより、SrTiO₃, Al₂O₃ 基板上へエピタキシャル成長させた薄膜を形成し、MCD, SQUID 等による磁気物性評価、およびマイクロプローバによる輸送特性評価を行った。

次に磁性素子としてハードディスク等に用いられているトンネル磁気抵抗素子をモデルとして、磁性(100nm)/絶縁体(1~2nm)/スピングラス材料のスピントネル接合素子において入力信号パルスの強度、パルス幅を違えることにより多入力を実現し(ハミルトニアン第1項)、トンネル接合の障壁を閾値として(同第2項)、スピントネル電流を検出することにより、脳型情報処理素子実現を試みた。

4. 研究成果

具体的な材料としては(Mg²⁺, Fe³⁺) {Mg²⁺, Fe²⁺, Fe³⁺, Ti}2O₄, (Ru, Fe³⁺) {Ru, Fe²⁺, Fe³⁺, Al³⁺}2O₄, Al_{0.5}Ru_{0.8}Fe_{1.7}O₄ の薄膜を、レーザーMBEにより、SrTiO₃, Al₂O₃ 基板上へエピタキシャル成長させた。いずれも良好なエピタキシャル薄膜が形成できた。MCD, SQUID 等による磁気物性評価により、ガラス磁性を示す事が明らかになった。

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13件)

- ① “Lattice strains and polarized luminescence in homoepitaxial growth of a-plane ZnO” H. Matsui and H. Tabata, Applied Physics Letters, Vol. 101, Issue 23, 231901(2012) 査読有
- ② “Heteroepitaxial growth and characterization of ZnO films on Gd₃Ga₅O₁₂ garnet substrates” Y. Ono, H. Matsui and H. Tabata, J. Appl. Phys. Vol. 112, 103530(2012) 査読有
- ③ “Metallic mesh-based terahertz biosensing of single- and double-stranded DNA” T. Hasebe, S. Kawabe, H. Matsui and H. Tabata, Journal of Applied Physics, Volume 112, Issue 9, 094702(2012) 査読有
- ④ “Enhanced Photocurrent in Rh-Substituted α -Fe₂O₃ Thin Films Grown by Pulsed Laser Deposition” M. Seki, H. Yamahara and H. Tabata, Applied Physics Express, Vol. 5, No. 11, 115801(2012) 査読有
- ⑤ “Analysis of Sharp Dip Structures on Terahertz Transmission Spectra of Metallic Meshes” T. Hasebe, Y. Yamada, and H. Tabata, JJAP. Vol. 51, No. 4, 04DL03. (2012) 査読有
- ⑥ “The contribution of quantum confinement to optical anisotropy of a-plane Cd_{0.06}Zn_{0.94}O/ZnO quantum wells” H. Matsui and H. Tabata, Appl. Phys. Lett. 100, 171910 (2012) 査読有
- ⑦ “Epitaxial thin films of p-type spinel ferrite grown by pulsed laser deposition” M. Seki, H. Tabata, H. Ohta, K. Inaba, S. Kobayashi, Appl.Phys.Lett. 99, 242504 (3pages) (2011) 査読有
- ⑧ “Correlation between structural and

luminescent properties of Eu³⁺-doped” W. Badalawa, H. Matsui, T. Osone, N. Hasuike, H. Harima, and H. Tabata, J. Appl. Phys. 109, 053502 (2011) 査読有

- ⑨ “Epitaxial strain-induced magnetic anisotropy in Sm₃Fe₅O₁₂ thin films grown by pulsed laser deposition” H. Yamahara, M. Mikami, M. Seki, H. Tabata, J. Mag. Mat. 32, pp. 3143-3146 (2011) 査読有
- ⑩ “Optical dynamics of energy transfer from a CdZnO quantum well to a proximal Ag nanostructure” H. Matsui, W. Nomura, T. Yatsui, M. Ohtsu, and H. Tabata, Optics Letters, Vol. 36 NO. 19(2011) 査読有
- ⑪ “In-plane light polarization in nonpolar m-plane Cd_xZn_{1-x}O/ZnO quantum wells” H. Matsui and H. Tabata, Appl. Phys. Lett. 2011 Appl. Phys. Lett., 98, 261902(2011) DOI:10.1063/1.3603931 (3 pages) 査読有
- ⑫ “Surface plasmon modes guided by Ga-doped ZnO layers bounded by different dielectrics” W. Badalawa, H. Matsui, A. Ikehata, and H. Tabata, Appl. Phys. Lett. 99, 011913 (2011); DOI:10.1063/1.3608313 (3 pages) 査読有
- ⑬ “Label-free THz sensing of living body-related molecular binding using a metallic mesh” T. Hasebe, Y. Yamada, and H. Tabata, Biochem. Biophys. Res. Comm., 414, 192-198 (2011) 査読有

[学会発表] (計 44 件)

- ① “Hetero Epitaxial p-n Junctions of Spinel Type Magnetic Semiconductors and Their Polaron Conducting and Magnetic Properties (Invited)”, H. Tabata, 2012 MRS Fall Meeting, Boston,

Massachusetts, U.S.A, Nov.28 (開催期間 Nov. 25-30, 2012)

- ② “Fermi level control of spinel ferrite and their polaron properties -Toward the realization of spin Esaki diodes- (Invited)”, H. Tabata, India - Japan Conference, Bangalore, India, Oct.18,2012
- ③ “THz sensing and imaging using nanostructures (Invited)”, H. Tabata, 3rd International Symposium on Terahertz Nanoscience (TeraNano 111), Dec.11(開催期間 Dec. 10-12, 2012)
- ④ “Spin and Charge Ordering in Ferrite Related Thin Films and Their Electric and Magnetic Properties (Invited)”, H. Tabata, International Union of Materials Research Societies-International Conference on Electronic Materials 2012(IUMRS-ICEM2012 Symposium), Yokohama, Japan, Sep.24, 2012(開催期間 Sep.23-28, 2012)
- ⑤ “Room Temperature Polaron and Ferrimagnetic Properties on Spinel Type Ferrite Thin Films and their p-n Junctions (Invited)”, H. Tabata, Collaborative Conference on Materials Research (CCMR) 2012, Seoul, South Korea, Jul.27, 2012(開催期間 Jun.25-29, 2012)
- ⑥ “Hetero epitaxial p-n junctions of complex oxides based on spinel type ferrite and their polaron conducting and ferri-magnetic properties(Invited)”, H. Tabata, Villa Conference on Energy, materials, and Nanotechnology (2012 EMN Meeting), Orlando, FL, U.S.A. Apr.16, 2012
- ⑦ “Room temperature spin-polarized current in Ru-substituted spinel ferrite thin films”, M. Seki, F.

- Iwamoto, and H. Tabata, 2012 Materials Research Society Spring Meeting & Exhibit (2012 MRS Spring Meeting & Exhibit) San Francisco, CA, U.S.A. Apr.12, 2012
- ⑧ “Plasmon assisted energy transfer in metal nano dot and ZnO/ZnCdO quantum well heterostructures(Invited)”, H. Tabata, 2012 Materials Research Society Spring Meeting & Exhibit (2012 MRS Spring Meeting & Exhibit), San Francisco, CA, U.S.A., Apr.12, 2012
- ⑨ “Terahertz Surface Plasmonics for Bio-sensing (Invited)”, H. Tabata, International Symposium on Terahertz Nanoscience (TeraNano 2011) Workshop of International Terahertz Research Network (GDR-I), Osaka, Japan, Nov. 24-29, 2011
- ⑩ “Energy Conversion between Surface Plasmon and Exciton in Functional Oxide Superlattices and Quantum Wells(Invited)”, H. Tabata, Nano-S&T 2011, Dalian, China, Oct. 26, 2011 (Oct.23-26, 2011)
- ⑪ “Analysis of Sharp Dip Structures on THz Transmission Spectra of Metallic Meshes, T. Hasebe, H. Tabata, 2011 International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM 2011)”, Nagoya, Japan, Sep. 28-30, 2011
- ⑫ “Plasmon-assisted Energy Conversion of Photon to Electron and Spin in Oxide Semiconducting Quantum Wells (Invited)”, H. Tabata, The 18th International Workshop on Oxide Electronics (WOE18), Napa Valley, U.S.A., Sep. 27, 2011
- ⑬ “Energy Conversion between Photon-Electron & Spin in Oxide Semiconducting Super Lattices and Quantum Wells (Invited)”, H. Tabata *, H. Matsui and M. Seki, 24th International Conference on Amorphous and Nanocrystalline Semiconductors (ICANS 24), Nara, Japan, Aug. 21-26, 2011
- ⑭ “Spintronics and plasmonics based on oxide quantum wells (Invited), H. Tabata, The 4th Indo-Japan Seminar
- ⑮ “Electronic Structure of Novel Magnetic and Superconducting Materials”, University of Tokyo, Tokyo, Feb.01-02, 2011
- [その他]
ホームページ等
<http://www.bioxide.t.u-tokyo.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

田畑 仁 (TABATA HITOSHI)

東京大学・大学院工学系研究科・教授

研究者番号：00263319