

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 27 年 6 月 9 日現在

機関番号：12601

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2013～2014

課題番号：25887016

研究課題名(和文) 磁性の電界制御を用いた光学特性の制御およびそれを利用した新規光学素子への展開

研究課題名(英文) Electrical control of optical properties in ferromagnetic materials

研究代表者

小山 知弘 (Koyama, Tomohiro)

東京大学・工学(系)研究科(研究院)・助教

研究者番号：60707537

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、電気的に磁石の性質を操ることでその光学応答を制御し、新しい原理で動作する光スイッチ素子への展開を目指した。平成25年度には、ファラデー効果測定系を立ち上げた。また、室温付近に強磁性転移温度を持つコバルト超薄膜を安価なガラス基板上に作製すること成功するなど、予定以上の進展があった。平成26年度には試料作製条件の最適化を行い、構築したファラデー効果測定系を用いて電界効果の観測を試みた。その結果、室温において磁性の明瞭な変化が観測された。これにより、ファラデー効果のスイッチングを観測できたと考えているが、結果の解釈については今後注意深く検討していく必要がある。

研究成果の概要(英文)：The goal of this work is the control of the optical properties of the ferromagnetic materials by electric field effect. In the first year, we have set up a measurement system and succeeded in depositing cobalt ultra-thin film on a commercially available glass substrate. In the second year, we have optimized the condition of the film deposition. Then, we have started measuring the electric field effect using the optical measurement system. As a result, we have observed clear change in the magnetic properties at room temperature. This suggests that the Faraday effect in cobalt thin film can be tuned by the electric field effect.

研究分野：スピントロニクス

キーワード：スピントロニクス 磁性の電界制御 磁気光学効果

### 1. 研究開始当初の背景

近年、強磁性体薄膜に絶縁膜を介して電界を印加することにより、その磁性を制御する試みが盛んに研究されている。これまでに、コバルト超薄膜の磁力そのものをオンオフできることが示されている。一方、物質の磁性は光学特性とも密接な関係がある。上述した現象に伴い光学特性も変化していると考えるのが自然である。つまり、電界効果を用いれば、磁場を一切用いず物質の磁気光学特性を自在に制御できる可能性がある。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は、電氣的に磁石の性質を操ることでその光学応答を制御し、全く新しい原理で動作する光スイッチ素子への展開を目指すことである。特に、電界による強磁性相転移を引き起こすことで、ファラデー効果を誘起もしくは消失できることを示す。

### 3. 研究の方法

本研究は、磁性の電界制御と光学特性の関係を調査する。具体的には、光学測定系の構築、試料作製、電界印加下におけるファラデー効果の測定 of 3 段階に分けて行う。

- (1) 強磁性超薄膜に対応できるファラデー効果測定系を初年度に構築する。
- (2) 試料については、光を透過できる透明基板上に強磁性薄膜をスパッタ製膜して作製する。所望の特性を得られるまで、製膜 特性評価を繰り返す。
- (3) 上記の結果を用いて、コバルト超薄膜の電界効果を観測する。初めは、磁性の電界制御の実績があるコバルト超薄膜を用いる。

### 4. 研究成果

研究期間中に得られた結果を以下に示す。

- (1) 初年度にファラデー効果測定系を構築した。差動測定を採用することにより、超薄膜からの微小なシグナルを検出可能になった。実際にコバルト超薄膜のヒステリシスカーブが得られることを確認した。
- (2) 試料作製については、当初はメンブレン基板上に作成予定であったが、安価かつ扱いやすい、一般的なガラス基板上においてもコバルト超薄膜を作製できることがわかった。これにより、試料作製を効率よく行うことができるようになった。
- (3) さらに、コバルトの膜厚を変えながら製膜 特性評価を繰り返し、室温付近に強磁性転移温度を持つコバルト超薄膜をガラス基板上に製膜するための条件を見出した。この条件出しの中で、コバルト製膜時に下地として用いている、非磁

性体であるプラチナ層の膜厚が系の磁気特性に大きく寄与することを発見した。これについて論文雑誌に発表した。

- (4) ガラス基板上のコバルトにおいても電界による磁性制御が可能であることを電気測定により確かめた。別の基板ではあるが、電界効果の符号が製膜条件で変わりうることを発見し、論文雑誌に発表した。
- (5) 構築したファラデー効果測定系を用いて、コバルトの磁気相転移の観測を試みた。その結果、室温において電界を印加することにより磁性の明瞭な変化を観測することができた。

これらの結果により、電界によるファラデー効果のスイッチングを観測できたと考えており、本研究の目的はほぼ達成されたといえる。ただし、得られた実験結果の解釈についてはまだ議論の余地があるため、今後慎重に検討していく必要がある。

### 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6件:全て査読有)

1. T. Koyama, A. Obinata, Y. Hibino, D. Chiba, "Sign Reversal of Electric Field Effect on Coercivity in MgO/Co/Pt system", *Applied Physics Express* **6**, 123001 (2013).
2. T. Koyama, A. Obinata, Y. Hibino, A. Hirohata, B. Kuerbanjiang, V. Lazarov, D. Chiba, "Dependence of Curie temperature on Pt layer thickness in Co/Pt system", *Applied Physics Letters* **106**, 132409 (2015).
3. H. Tanigawa, T. Suzuki, K. Suemitsu, N. Ohshima, T. Kitamura, T. Ohkouchi, M. Kotsugi, T. Kinoshita, T. Koyama, D. Chiba, Y. Yoshimura, K. Ueda, T. Ono, E. Kariyada, "Operating principle of a three-terminal domain wall device with perpendicularly magnetized Ta/CoFeB/MgO free layer and underlying hard magnets", *Japanese Journal of Applied Physics* **53**, 063002 (2014).
4. M. Kawaguchi, T. Moriyama, T. Koyama, D. Chiba, T. Ono, "Layer thickness dependence of current induced effective fields in ferromagnetic multilayers", *Journal of Applied Physics* **117**, 17C730 (2015).
5. Y. Yoshimura, T. Koyama, D. Chiba, Y. Nakatani, S. Fukami, M. Yamanouchi, H.

- Ohno, K.-J. Kim, T. Moriyama, T. Ono, "Effect of spin Hall torque on current-induced precessional domain wall motion", Applied Physics Express 7, 033005 (2014).
6. S. Fukami, M. Yamanouchi, Y. Nakatani, K.-J. Kim, T. Koyama, D. Chiba, S. Ikeda, N. Kasai, T. Ono, H. Ohno, "Distribution of critical current density for magnetic domain wall motion", Journal of Applied Physics 115, 17D508 (2014).
- [学会発表](計 16 件)
7. T. Koyama, A. Obinata, Y. Hibino, D. Chiba, "Effect of rf sputtering power on electric field modulation of coercivity in Co ultra-thin films", 第 18 回半導体スピン工学の基礎と応用 (PASPS18), 大阪大学豊中キャンパス (2013).
8. 小山知弘, 大日方絢, 日比野有岐, 千葉大地, 「Co 薄膜における電界による保磁力変化の符号反転」, 第 61 回応用物理学会春季学術講演会、青山学院大学相模原キャンパス (2014).
9. 小山知弘, 大日方絢, 日比野有岐, 千葉大地, 「電界を用いた Co 超薄膜における保磁力制御の符号反転」, 第 69 回日本物理学会年次大会、東海大学湘南キャンパス (2014).
10. T. Koyama, A. Obinata, Y. Hibino, D. Chiba, "Dependence of Curie temperature on Pt underlayer thickness in Co/Pt system", 2014 Magnetism & Magnetic Materials Conference, Honolulu, Hawaii, USA (2014).
11. 小山知弘, 大日方絢, 日比野有岐, 千葉大地, 「垂直磁化 Co/Pt 系におけるキュリー温度の下地 Pt 膜厚依存性」, 日本物理学会 2014 秋季大会、中部大学春日井キャンパス(2014).
12. 大日方絢, 日比野有岐, 小山知弘, 三輪一元, 小野新平, 千葉大地, 「Pd(Pt)/Co/Pt 積層構造における磁性の Co 膜厚依存性」, 第 61 回応用物理学会春季学術講演会、青山学院大学相模原キャンパス (2014).
13. 日比野有岐, 大日方絢, 小山知弘, 三輪一元, 小野新平, 千葉大地, 「Pd/Co/Pt 積層構造における磁性の Pd 膜厚依存性」, 第 61 回応用物理学会春季学術講演会、青山学院大学相模原キャンパス (2014).
14. H. Kakizakai, K. Yamada, M. Kawaguchi, T. Koyama, D. Chiba, T. Ono, "Magnetic domain structure deformation induced by electric field", 2014 Magnetism & Magnetic Materials Conference, Honolulu, Hawaii, USA (2014).
15. K. Yamada, H. Kakizakai, T. Koyama, M. Kawaguchi, T. Moriyama, D. Chiba, T. Ono, "Electric field modulation of magnetization in MgO/Co/Pt system", 2014 Magnetism & Magnetic Materials Conference, Honolulu, Hawaii, USA (2014).
16. A. Obinata, D. Hayakawa, Y. Hibino, T. Koyama, K. Miwa, S. Ono, D. Chiba, "Electric field control of magnetism in Pd/Co/Pt multilayer", 2014 Magnetism & Magnetic Materials Conference, Honolulu, Hawaii, USA (2014).
17. Y. Hibino, A. Obinata, T. Koyama, K. Miwa, S. Ono, D. Chiba, "Voltage-controlled magnetic anisotropy in a perpendicularly magnetized Pd/Co/Pt system", 2014 Magnetism & Magnetic Materials Conference, Honolulu, Hawaii, USA (2014).
18. 山田貴大, 柿塚悠, 小山知弘, 河口真志, 森山貴広, 千葉大地, 小野輝男, 「Electric field modulation of magnetization in MgO/Co/Pt structure」第 75 回追うよう物理学会秋季学術講演会、北海道大学札幌キャンパス (2014).
19. 大日方絢, 早川大智, 日比野有岐, 小山知弘, 三輪一元, 小野新平, 千葉大地, 「Electric Field control of magnetism in Pd/Co/Pt multilayer」第 75 回追うよう物理学会秋季学術講演会、北海道大学札幌キャンパス (2014).
20. 日比野有岐, 大日方絢, 小山知弘, 三輪一元, 小野新平, 千葉大地, 「Electric field control of magnetic anisotropy in Pd/Co/Pt」第 75 回追うよう物理学会秋季学術講演会、北海道大学札幌キャンパス (2014).
21. 柿塚悠, 山田貴大, 河口真志, 小山知弘,

千葉大地、小野輝男、「電界による磁壁駆動の試み(II)」日本物理学会 2014 秋季大会、中部大学春日井キャンパス(2014)。

22. 河口真志、森山貴広、小山知弘、千葉大地、小野輝男、「強磁性金属多層膜における電流誘起有効磁場の電場効果」日本物理学会 2014 秋季大会、中部大学春日井キャンパス(2014)。

〔その他〕

ホームページ等

<http://chiba-lab.t.u-tokyo.ac.jp/>

6 . 研究組織

(1)研究代表者

小山 知弘 (KOYAMA, Tomohiro)

東京大学・大学院工学系研究科・助教

研究者番号：60707537