

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 16 日現在

機関番号：13401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2012～2015

課題番号：24540337

研究課題名(和文)磁性体の光誘起相転移における磁気ポーラロン効果

研究課題名(英文)magnetic polaron effect in photo-induced phase transition of ferromagnets

研究代表者

牧野 哲征(Makino, Takayuki)

福井大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：70311363

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：キャリアを注入することにより強磁性常磁性転移温度が増加するEuO薄膜の光磁気特性を調べた。EuO薄膜試料表面に対し鉛直に磁場を印加しながらフェムト秒レーザー照射による過渡的な光誘起の磁化変化をモニターした。温度変化などの種々のデータを解析した所、光生成キャリアが交換相互作用を増幅し磁化増大した。また、円偏光を照射することにより磁化の歳差運動を誘発できるだけでなく偏光のヘリシティを変えることにより100フェムト秒オーダーで運動を止めたり開始したりすることを見出した。光が持つ角運動量が非熱的な歳差運動を制御するという事は、光誘起磁化と逆ファラデー効果との組合せで説明される。

研究成果の概要(英文)：The laser-induced ultrafast spin dynamics have been investigated by time-resolved pump-probe and Faraday rotation spectroscopies in ferromagnetic EuO thin films.

We demonstrate that the laser beam can enhance the magnetization on an ultrafast time scale. The decays time for the magnetization enhancement is about 1 nanosecond. In its temperature dependence, there is a maximum slightly below the Curie temperature associated with this dynamical enhancement of magnetization. It also dominates the demagnetization counterpart at 55 K. It is attributed that this transient collective ordering to the enhancement of the f-d exchange interaction as a result of photoexcitation. We also observed that the circularly polarized light can control the magnetization precession at 10 K. This takes place within the 100-fs duration of a single laser pulse, through combined contribution from two nonthermal photomagnetic effects, i.e., enhancement of the magnetization and an inverse Faraday effect.

研究分野：光物性工学

キーワード：励起子 強磁性体 スピン ファラデー効果 磁気工学 超高速レーザー 非線形分光

1. 研究開始当初の背景

研究の開始当初はフェムト秒超高速レーザーパルスを用いた磁性制御の研究は、いくつかの金属強磁性体に限られ、しかもレーザー入射による減磁であった。応用の見地からは減磁よりも光誘起磁化の増強が望ましいことから、そのような候補物質として EuO 薄膜を研究の対象とした。

2. 研究の目的

キャリア注入によるキュリー温度の増加など興味深い物性を示すことで知られるが、パルス光を照射したときの応答についてはほとんど調べられていなかった。そこでパルス光による磁気光学特性について探究することを目的とした。

3. 研究の方法

EuO 薄膜表面に対し鉛直に外部磁場をかけながらフェムト秒レーザー照射による過渡的な磁化変化をファラデー効果を通して観測した。温度変化などの種々のパラメータを慎重に解析した。

4. 研究成果

その結果、光生成キャリアが交換相互作用を増幅した結果磁化が増強された。また光がもついわば角運動量のような物理量がフェムト秒時間スケールで非熱的な歳差運動を制御できるという実用的な見地からも興味深い知見も得た。EuO の特異な物性としての磁気ポーラロン効果との相関についてもスペクトル解析の視点から検討した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 13 件)

1. “AVR マイコンによる光強度規格化制御システムの構築” 小林英一、長谷川昂輝、橋本明弘、牧野哲征、福井大学大学院工学研究科研究報告 64(1) 83-89 2016 年 03 月 査読無
2. “Polarized micro Raman scattering spectroscopy for curved edges of epitaxial graphene” Md. Sherajul Islam, A. G. Bhuiyan, S. Tanaka, T. Makino, A. Hashimoto, Appl. Phys.

Lett. 105(24) 243103-1-243103-3 2014

年 12 月 DOI:[10.1063/1.4904469](https://doi.org/10.1063/1.4904469)

3. “Magneto-tunable photocurrent in manganite-based heterojunctions” Z. Sheng, M. Nakamura, W. Koshibae, T. Makino, Y. Tokura, M. Kawasaki, Nature Commun. 5 45841-45845 2014 年 08 月 DOI:[10.1038/NCOMMS5584](https://doi.org/10.1038/NCOMMS5584)
4. “Polarized microscopic laser Raman scattering spectroscopy for edge structure of epitaxial graphene and localized vibrational mode” Md. Sherajul Islam, Daisuke Tamakawa, Satoru Tanaka, T. Makino, A. Hashimoto, Carbon 77 1071-1083 2014 年 06 月 DOI:[10.1016/j.carbon.2014.06.023](https://doi.org/10.1016/j.carbon.2014.06.023)
5. “Effect of boron and nitrogen doping with native point defects on the vibrational properties of graphene” Md. Sherajul Islam, K. Ushizima, S Tanaka, T. Makino, A. Hashimoto, Comput. Mater. Sci. 94 35-43 2014 年 04 月 DOI:[10.1016/j.commatsci.2014.01.040](https://doi.org/10.1016/j.commatsci.2014.01.040)
6. “Analysis of vibrational properties of C-doped hexagonal boron nitride (h-BN)” Md. Sherajul Islam, Kenji Ushida, Satoru Tanaka, T. Makino, A. Hashimoto, Comput. Mater. Sci. 94 225-233 2014 年 04 月 DOI:[10.1016/j.commatsci.2014.04.047](https://doi.org/10.1016/j.commatsci.2014.04.047)
7. “Magneto-photoluminescence of charged excitons from $Mg_xZn_{1-x}O/ZnO$ heterojunctions” T. Makino, Y. Segawa, A. Tsukazaki, H. Saito, S. Takeyama, S. Akasaka, K. Nakahara, M. Kawasaki, Phys. Rev. B 87(8) 0853121-0853127 2013 年 01 月 DOI:[10.1103/PhysRevB.87.085312](https://doi.org/10.1103/PhysRevB.87.085312)

8. “Impulsive optical spin orientation by Zeeman state mixing in ruby” Y. Takagi, Y. Minamihara, T. Makino, J. Magn. & Magn. Mater. 326(1) 186-196 2013 年 01 月 DOI:[10.1016/j.jmmm.2012.08.047](https://doi.org/10.1016/j.jmmm.2012.08.047)
9. “Non-degenerated photoluminescence excitation correlation spectroscopy using an optical sampling technique” T. Hasegawa, M. Masumoto, Y. Takagi, T. Makino, Rev. Sci. Instrum. 83(10) 1031081-1031085 2012 年 10 月 DOI:[10.1063/1.4759133](https://doi.org/10.1063/1.4759133)
10. “Precise calibration of Mg concentration in MgZnO thin films grown on ZnO substrates” Y. Kozuka, J. Falson, Y. Segawa, T. Makino, M. Kawasaki, J. Appl. Phys. 112(4) 043515-1-043515-5 2012 年 08 月 DOI:[10.1063/1.4748306](https://doi.org/10.1063/1.4748306)
11. “Ultrafast optical control of magnetization in EuO thin films” T. Makino, Fucui Liu, Y. Yamazaki, K. Ueno, A. Tsukazaki, T. Fukumura, Y. Kozuka, Y. F. Kong, M. Kawasaki, Phys. Rev. B 86(6) 0644031-0644034 2012 年 08 月 DOI:[10.1103/PhysRevB.86.064403](https://doi.org/10.1103/PhysRevB.86.064403)
12. “Ultrafast time-resolved Faraday rotation in EuO thin films” Fucui Liu, T. Makino, T. Yamazaki, Fukumura, K. Ueno, A. Tsukazaki, T. Fukumura, Y. Kozuka, Y. F. Kong, M. Kawasaki, Phys. Rev. Lett. 108(25) 2574011-2574015 2012 年 06 月 DOI:[10.1103/PhysRevLett.108.257401](https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.108.257401)
13. High crystallinity CuScO₂ delafossite films exhibiting ultraviolet photoluminescence grown by vapor-liquid-solid tri-phase epitaxy” Y. Matsubara, T. Makino, H. Hiraga, C. Chen, K. Ueno, Y. Kozuka, Y. Ikuhara, M. Kawasaki, Appl. Phys. Express 5(1) 0112011-0112013 2012 年 01 月 DOI:[10.1143/APEX.5.011201](https://doi.org/10.1143/APEX.5.011201)
- 〔学会発表〕(計 22 件)うち招待 7 件
- 「Cl 添加によるバンドギャップの揺らぎに対するペロブスカイト太陽電池への影響」 宮野了一、吉田清孝、伊藤省吾、橋本明弘、牧野哲征 第 63 回応用物理学会春季学術講演会 2016 年 03 月 東京都
 - “Improvement of S/N in Pump-probe Spectroscopy by the Combination of Broadband AD Converter and Delay Generator” Y. Yamaguchi, A. Hashimoto, T. Makino The 5th International Symposium on Organic and Inorganic Electronic Materials and Related Nanotechnologies 2015 年 06 月 新潟市
 - “Optical Properties and Exciton Localization in CH₃NH₃PbI₃ Thin Films” S. Kotakehaya, Y. Yamazaki, R. Miyano, K. Yoshida, S. Ito, T. Makino The 5th International Symposium on Organic and Inorganic Electronic Materials and Related Nanotechnologies 2015 年 06 月 新潟市
 - “Time-resolved laser-induced Faraday effect in EuO” T. Makino Xi'an Science and Technology University Researchers Seminar 2014 年 11 月 Xi'an (China) (招待)
 - “Time-resolved laser-induced Faraday effect in EuO films” T. Makino

- Nanyang Technological University
Physics and Applied Physics Division
Seminar 2014年11月 Singapore(招待)
6. 「広帯域 AD 変換器による時間分解ポンプ・プローブ信号検出法の改良」牧野哲征 第75回応用物理学会秋季学術講演会 2014年09月札幌市
 7. “福井大学工学部電気・電子工学科で実施している学部学生を対象とした実験系科目の紹介” 牧野哲征 2014年度電気系教員協議会 2014年08月滋賀県草津市(招待)
 8. “Ultrafast laser-induced Faraday rotation in ferromagnetic EuO films” T. Makino E-MRS Euro-Material Research Society Spring Meeting 2014 2014年06月 Lille (France)
 9. “Time-resolved magneto-optical spectroscopy in EuO thin films” T. Makino 2014 EMN Summer Meeting 2014年06月 Cancun (Mexico) (招待)
 10. “Transient Faraday Rotation and Magnetization Precession in EuO” T. Makino Oxide-based Materials and Devices V Photonics West 2014 2014年02月 San Francisco (USA) (招待)
 11. “Growth of AlN on Graphene Substrate by RF-MBE” K. Kasagi, K. Shimizu, Y. Sakagawa, T. Makino, A. Hashimoto MRS 2013 Fall Meeting 2013年12月 Boston (USA)
 12. “Al_{0.7}Ga_{0.3}N Growth on Epitaxial Graphene by RF-MBE” Y. Sakagawa, K. Shimizu, T. Makino, A. Hashimoto, MRS 2013 Fall Meeting 2013年12月 Boston (USA)
 13. “Effect of boron and nitrogen doping on the vibrational properties of graphene” Md. Sherajul Islam, 廣岡高暢, 牧野哲征, 田中悟, 橋本明弘 第74回応用物理学会秋季学術講演会 2013年09月京田辺市
 14. “Analysis of vibrational properties of C-doped hexagonal boron nitride (h-BN)” Md. S. Islam, 廣岡高暢, 牧野哲征, 橋本明弘, 田中悟 第74回応用物理学会秋季学術講演会 2013年09月京田辺市
 15. “デラフォサイト型 CuMO₂ 薄膜 (M=Sc, Cr)の励起子物性 III” 牧野哲征, 劉富才, 平賀広貴, 川崎雅司 日本物理学会 2013年秋季大会 2013年09月徳島市
 16. “Ultrafast magneto-optical control of magnetization in EuO Thin Films” T. Makino, The 2nd International Congress on Advanced Materials (AM2013) 2013年05月 Chiangsu (China) (招待)
 17. “Ultrafast magneto-optical spectroscopy in EuO thin films” T. Makino, Advances in the characterization of functional materials under relevant process conditions of the E-MRS 2013 Spring 2013年05月 Strasbourg (France)
 18. “マンガン酸化物薄膜における超高速ポンプ・プローブ分光 II” 牧野哲征, 盛志高, 中村優男, 川崎雅司, 十倉好紀 日本物理学会, 第67回年次大会 2013年03月広島市
 19. “Observation of laser-induced magnetization precession in ferromagnetic EuO” T. Makino IMS workshop on Advanced Spectroscopy of Correlated Materials (ASCM 13) 2013年08月岡崎市(招待)
 20. “Transient photo-induced transmission in manganite films” T. Makino, Z. Sheng, M. Nakamura, M. Kawasaki, Y.

Tokura FIRST QS2C Annual Meeting

2012 2012 年 06 月 和光市

21. “マンガン酸化物薄膜における超高速ポンプ・プローブ分光” 牧野哲征、盛志高、中村優男、川崎雅司、十倉好紀 日本物理学会年会 2012 年 03 月 西宮市
22. “EuO 薄膜における円偏光による超高速光磁気スイッチング” 牧野哲征、劉富才、山崎高志、上野和紀、塚崎敦、Y. Kong, 川崎雅司, 第 59 回春季応用物理学関係連合講演会 2012 年 03 月 東京都

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕
出願状況 (計 0 件)

取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等

<http://fuee.u-fukui.ac.jp/~ele/makino/makinoL.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

牧野 哲征 (MAKINO, Takayuki)

福井大学大学院・工学研究科電気・電子工学
専攻准教授

研究者番号 : 70311363