

令和 3 年 5 月 27 日現在

機関番号：63903

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2019～2020

課題番号：19K23430

研究課題名（和文）放射光X線を用いた強磁性体の光誘起磁性ダイナミクスの元素選択的観察

研究課題名（英文）Element-selective observation of photo-induced magnetization dynamics in ferromagnetic materials using synchrotron radiation x-rays

研究代表者

山本 航平（Yamamoto, Kohei）

分子科学研究所・物質分子科学研究領域・助教

研究者番号：30844823

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 1,900,000円

研究成果の概要（和文）：磁化の光による制御は理学的視点のみならず記録媒体などへの応用面からも強い注目を集めている。特に複数の磁性元素を含む系において光誘起磁化反転などが報告されており、光誘起過渡状態の元素選択的測定は重要である。我々は軟X線自由電子レーザービームラインSACLA BL1 (SXFEL)において、物質吸収端に光エネルギーを合わせた磁気光学カー効果の測定装置を立ち上げ、様々な実験を実施してきており、Co/Pt薄膜を用いた測定によりすでにその元素選択的な測定に成功した。また、励起レーザー依存性に関する実験も行い、それらの元素依存性を明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

人類の扱う情報量は計算機や通信機の技術の発達により増大し続けている。それらの情報を保存する主要な媒体の一つが磁性体である。そのため磁性体の磁化の高速かつ高効率な制御法の開発は重要であり、光学的な制御法が期待されている。その意味で光と磁性体との関連を明らかにすることはそれらの開発に寄与し得る。われわれは特に、複数の磁性元素を含むような磁性体において、それらの光によって誘起される過渡状態を超高速かつ元素選択的に測定する手法を確立し、それを用いて磁性体の元素依存的なふるまいを見出した。

研究成果の概要（英文）：The control of magnetization by light has attracted strong attention not only from the viewpoint of science but also from the application to recording media. In particular, photo-induced magnetization reversal has been reported in systems containing different magnetic elements, and element-selective measurement of photo-induced transient states is important. We have established a magneto-optical Kerr effect measurement system at the soft x-ray free electron laser beamline SACLA BL1 (SXFEL) by matching the optical energy to the absorption edge of the material, and have been conducting various experiments. We have already succeeded in the element-selective measurement using Co/Pt thin films. We have already succeeded in the element-selective measurement of the effect using Co/Pt thin films. We have also conducted experiments on the excitation laser dependence of the effect and clarified their elemental dependence.

研究分野：放射光

キーワード：磁性

1. 研究開始当初の背景

磁性体に対する光照射の効果の研究は強磁性 Ni 薄膜の超高速な消磁の発見に始まり、最近では磁性の光制御にむけた研究も盛んに行われている。その中で、合金の磁性体中の元素依存した光誘起ダイナミクスが注目を集めている。例えば、全光学的磁化反転 (all-optical switching, AOS) は、磁場を用いずに光のみで磁化を制御でき、応用が期待される現象である。反強磁性的に結合した 2 種類の磁性元素を持つ面直磁化フェリ磁性体の AOS において、複数の磁性元素は、元素依存した磁化ダイナミクスを示すことが実験的に明らかにされ、この振る舞いが AOS に本質的な役割を果たしていることが理論的に示されている。フェリ磁性体での元素依存した磁化ダイナミクスの役割が理解されてきた一方で、強磁性体 FePt や Co/Pt でも同様に AOS が発見され、強磁性体の AOS の詳細な観察が待たれていた。これらの物質は高い垂直磁気異方性をもつ高密度記録媒体の候補物質であり、この点でも光応答の解明の需要も高い。

2. 研究の目的

本研究の目的は放射光 X 線を用いた時間分解磁気光学効果測定により元素選択的に光誘起の磁性ダイナミクスを観察し、強磁性体内部における異なる磁性サイトの相互作用を明らかにすることである。

複数の磁性元素を持つ磁性体で光によって発現する強磁性や磁化の反転なども報告されている。これらの現象には各磁性元素の異なるダイナミクスとそれらの相互作用が重要である。本研究では光誘起の磁性ダイナミクスがどのような機構で決定されるのか？という問題に取り組む。申請者は X 線自由電子レーザーを用いた元素選択的時間分解測定に独自性を持っている。それらの手法の駆使・発展により、磁性ダイナミクスの詳細な理解を試みる。

3. 研究の方法

今回我々が調べる対象とした試料は Co/Pt 多層膜である。これはレーザーに誘起された全光学的磁化反転が起きることが知られている物質である。

実験方法は磁気光学カー効果測定であり、X 線自由電子レーザーから得られる超短パルスの X 線を試料に入射した際の反射光のカー回転角を、多層膜ミラーを用いた回転エリプソメトリ法で偏光解析した。具体的な実験セットアップは図 1 に示す。ポンプレーザーは波長 800 nm の Ti:Sapphire レーザーであり、磁場印可下、室温で行った。

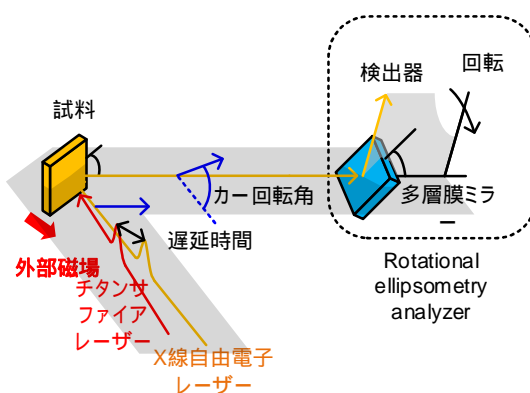


図 1 : 実験セットアップ。

4. 研究成果

極端紫外領域での X 線自由電子レーザーを用いた反射配置での時間分解磁気光学カー効果の時間分解測定に成功し [1]、3d と 5d における元素依存したふるまいを見出した (図 2)。極端紫外領域では様々な元素の吸収端が存在していることから幅広い元素をターゲットにした元素選択的な時間分解磁気ダイナミクス測定が可能になる。とくにカー効果を利用しているため、円偏光を利用する磁気円二色性に対してより多くの放射光施設で利用可能な手法となっており、また反射配置であることから X 線を透過する基板を用いる必要がないなど高い汎用性を持つ。

また励起レーザーのフルーエンスから励起強度を系統的に下げていったところ、両元

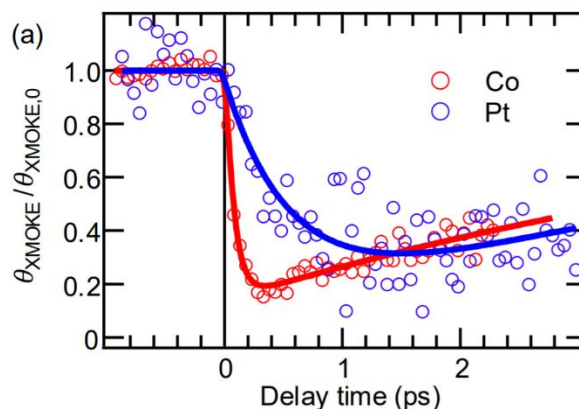


図 2 : Pt N 及び Co M 吸収端における Co/Pt 薄膜のカー回転角のダイナミクス。

素の吸収端で消磁の大きさが小さくなっていく様子が見られたが、さらに Co 吸収端ではその kinetics が一定であるように見えるのに対して、Pt 吸収端においては振る舞いの変化するように観察された。Pt での測定結果を図 3 に示す。FePt 系などにおいてもフルエンスでしきい値が存在し、振る舞いの変化する報告などがあるので、それらと比較して解析を行う予定である。

< 引用文献 >

[1] K. Yamamoto, S. E. Moussaoui, Y. Hirata, S. Yamamoto, Y. Kubota, S. Owada, M. Yabashi, T. Seki, K. Takanashi, I. Matsuda, and H. Wadati "Element-selective tracking ultrafast demagnetization process in Co/Pt multilayer thin films by the resonant magneto-optical Kerr effect" Appl. Phys. Lett. 116, 172406 (2020)

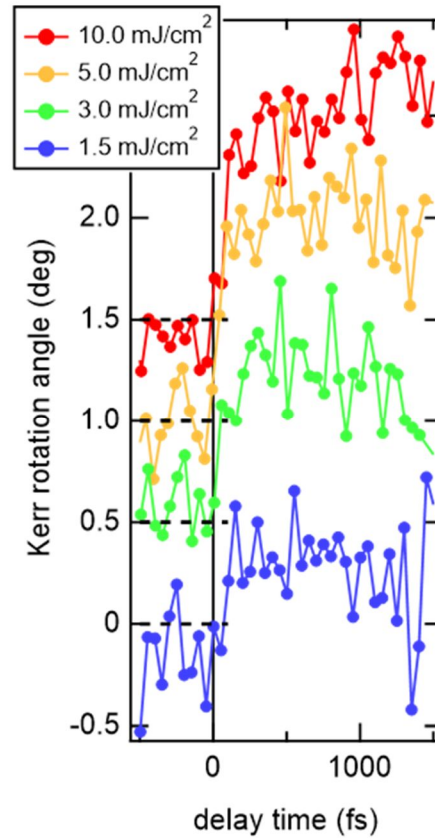


図 3 : Pt N 吸収端における Co/Pt 薄膜のカー回転角のダイナミクスの励起レーザーのフルエンス依存。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Yamamoto Kohei, Moussaoui Souliman El, Hirata Yasuyuki, Yamamoto Susumu, Kubota Yuya, Owada Shigeki, Yabashi Makina, Seki Takeshi, Takanashi Koki, Matsuda Iwao, Wadati Hiroki	4. 巻 116
2. 論文標題 Element-selectively tracking ultrafast demagnetization process in Co/Pt multilayer thin films by the resonant magneto-optical Kerr effect	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 172406 ~ 172406
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1063/5.0005393	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 山本航平, SoulimanEl Moussaoui, 久保田雄也, 大和田成起, 富樫格, 矢橋牧名, 三浦紘大, 安部弘隆, 岡井啓輔, 松田巖, 横山利彦, 関剛斎, 高梨弘毅, 和達大樹
2. 発表標題 X線自由電子レーザーによる時間分解共鳴磁気光学カー効果測定でみるCo/Pt薄膜の光誘起磁化ダイナミクスの励起強度依存性
3. 学会等名 物理学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山本航平
2. 発表標題 X線の時間構造を使ったスピンドイナミクスの研究
3. 学会等名 応用物理学会（招待講演）
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------