

第 46 回応用物理学会講演奨励賞を受賞して

分子科学研究所 山本 航平

このたび、2018 年 9 月に東京工業大学大岡山キャンパスで行われた第 66 回応用物理学会春季学術講演会において、「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 薄膜の磁化ダイナミクス」と題して行った講演が、応用物理学会講演奨励賞に選ばれました。この講演の主な内容は博士課程在籍時に所属した物性研究所和達研究室において行われました。この場を借りて、研究内容についてご紹介したいと思います。

光によって磁性を変化させる研究は 1980 年代にはじまり、多様な磁性体で様々な現象が発見されてきました。特に光の円偏光による磁化の向きを制御する研究は、磁気記録媒体などへの応用も期待されます。このような現象は複数の磁性元素を含むような物質で主に報告されていることから、元素選択的な磁化の光誘起ダイナミクス測定が重要な役割を果たしてきました。特に重要な磁性元素を含む 3d 遷移金属は軟 X 線により 2p → 3d 吸収端での測定ができることから、様々な放射光の技術を用いた軟 X 線パルスによるポンプ-プローブ法による時間分解測定が行われてきました。しかしながら、高い垂直磁気異方性を示し、記憶デバイスへの展開も期待される 3d 元素/5d 元素の多層膜・合金薄膜に対しては、大きい磁気シグナルが得られる 5d 元素の吸収端が軟 X 線領域に存在しないため、その元素ごとのダイナミクスは直接測定されていませんでした。

私は 5d 元素の磁性の光誘起ダイナミクスにアプローチするため、X 線自由電子レーザー-SACLA を用いた、元素の吸収端における共鳴現象をもちいた磁気光学効果の元素選択的な時間分解測定手法開発を行ってきました。SACLA では短パルス(数 10fs、通常の放射光では~50 ps)の X 線がえられ、この特徴を生かすことに高速な現象に対する時間分解測定を行うことが可能になります。硬 X 線のビームライン(BL)と真空紫外領域の BL が整備されており、共同利用に供されています。SACLA BL3 で供給される硬 X 線領域には Pt L 吸収端があり、大きな磁気円二色性を示すことが知られています。この吸収端を利用して FePt 薄膜の時間分解 X 線磁気円二色性測定をおこない、

Pt の消磁のダイナミクスを観測することに成功しました[1]。しかしながら硬 X 線領域には強い磁気由来の信号が得られる 3d 元素の吸収端がないため、複数の磁性サイトを同一セットアップで測定することが困難です。

私たちは 3d M 端と 5d N 端がえられる真空紫外領域に着目して、実験を行いました。SACLA BL1 では 150 eV 程度以下の直線偏光の X 線が得られます。これを用いて時間分解共鳴磁気光学カー効果測定を Fig. 1 のようなセットアップで行いました。本装置は松田巖研究室と共同で開発をしてきました[2]。これまで SACLA BL1 で最初の結果が得られていましたが、光誘起のダイナミクスを決定できるデータは得られていませんでした。今回、装置の制御などを見直し、また新たに BL1 に導入された XFEL パルスのジッタ補正のシステムを総合的に駆使することにより、明確なデータを得ることに成功しました[3]。実験は Co M 吸収端、Pt N 吸収端を用いて行いました。吸収端のエネルギーは現在所属している分子科学研究所の放射光施設 UVSOR において吸収スペクトルを取ることで決定しました¹。Co と Pt でことなる光誘起磁化ダイナミクスを示し、Pt のほうが消磁にかかる時定数が 6 倍程度であることを見出しました。このエネルギー領域では高次高調波レーザーなどによる報告もありますが、透過配置もしくは面内磁化膜の反射配置の磁気円二色性・カー効果測定であり、面直磁化膜の反射配置による測定は SACLA からの高強度の X 線により可能になったものです。

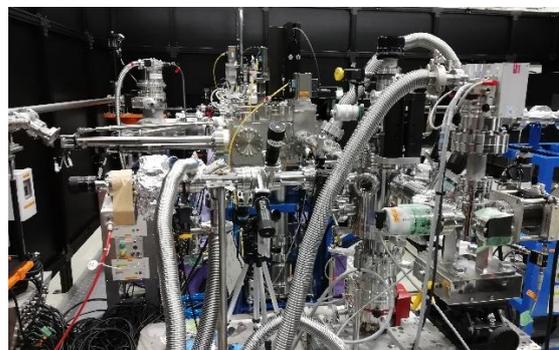


Fig. 1 SACLA BL1 に構築した時間分解磁気光学カー効果測定装置。

¹ UVSOR BL5B は、SACLA BL1 が供給する真空紫外領域の光エネルギーをカバーしており、静的な性質を押さえることができました。

今回得られた結果の説明として、以下のようなプロセスを検討しています。最初にレーザーが照射されると、状態密度の点から励起エネルギー程度の領域にある Co が優先的に励起されます。励起された Co のマジョリティスピンは super diffusive current として Pt 層に流れ込み、結果として、Co の速い消磁と Pt の遅いプロセスが実現され、最終的にはどちらも熱的に励起された状態に達するという過程を考えています。これらの影響により、異なる時定数を発現していると考えています。

SACLA BL1 におけるポンプ-プローブ法による時間分解磁気光学カー効果測定は、SACLA 基盤開発プログラムに採択され、松田巖先生を代表者として「汎用型軟 X線オプトスピントロニクス実験装置の開発」として、新しい測定装置が立ち上げられており、将来的に共用の装置として提供されるものと思われます[4]。

本研究は物性研・和達大樹氏(現・兵庫県立大)、松田巖氏、平田靖透氏(現・防衛大)、山本達氏(現・東北大)、Souliman El Moussaoui 氏、SACLA・久保田雄也氏、大和田成起氏、矢橋牧名氏と技術スタッフの協力を得て行いました。測定に用いた試料は東北大金研・関剛齋氏、高梨弘毅氏に提供いただきました。ここに記して感謝いたします。

- [1] K. Yamamoto, Y. Kubota, Y. Hirata, K. Takubo, Y. Uemura, R. Fukaya, K. Tanaka, W. Nishimura, T. Ohkochi, M. Suzuki, T. Katayama, T. Togashi, K. Tamasaku, M. Yabashi, Y. Tanaka, T. Seki, K. Takanashi, and H. Wadati "Ultrafast demagnetization of Pt magnetic moment in L10-FePt probed by hard x-ray free electron laser" *New J. Phys.* accepted (2019)
- [2] Sh. Yamamoto, Y. Kubota, K. Yamamoto, Y. Takahashi, K. Maruyama, Y. Suzuki, R. Hobara, M. Fujisawa, D. Oshima, S. Owada, T. Togashi, K. Tono, M. Yabashi, Y. Hirata, S. Yamamoto, M. Kotsugi, H. Wadati, T. Kato, S. Iwata, S. Shin, and I. Matsuda "Femtosecond resonant magneto-optical Kerr effect measurement on an ultrathin magnetic film in a soft X-ray free electron laser" *Jpn. J. Appl. Phys.* 57, 09TD02-1-4 (2018)
- [3] K. Yamamoto, S. E. Moussaoui, Y. Hirata, S. Yamamoto, Y. Kubota, S. Owada, M. Yabashi, T. Seki, K. Takanashi, I. Matsuda, H. Wadati "Element-

selective tracking ultrafast demagnetization process in Co/Pt multilayer thin films by the resonant magneto-optical Kerr effect" arXiv:1910.01556

[4] http://xfel.riken.jp/topics/sacla_basic_development_2019.html