

TbFeCo 薄膜における磁気光学カー効果の波長依存性

Dependence of magneto-optical Kerr effect on light wavelength in TbFeCo thin film

○山川慶二¹, 吉川大貴¹, 佐藤哲也², 塚本新³*Keiji Yamakawa¹, Hiroki Yoshikawa¹, Tetsuya Sato², Arata Tsukamoto³

Abstract: All-optical magnetization switching is one of methods which breaks through the switching speed limit by Ferromagnetic resonance. This switching mechanism is assumed that sublattice magnetizations of the rare earth (RE) and transition metal (TM) become parallel-state transiently by ultrashort pulse light irradiation. But this mechanism has not been investigated in detail, thus exploring the dynamics of each sublattice is an important issue. In this study, for element specific measurement by visible light, we change the composition ratio of RE and TM in TbFeCo and examine the dependence to the light wavelength of Magneto-optical Kerr effect.

1. はじめに

情報記録速度の高速化は、記録密度増大と並び重要な課題である。しかし、従来の外部磁界印加による磁気記録では磁化反転の際に歳差運動を伴い、物理的に強磁性共鳴限界が高速化の妨げとなる。一方、磁気記録媒体の一つとして用いられる GdFeCo フェリ磁性体において、外部磁界を必要とせず数十 fs オーダーの極短時間の照射のみで誘起可能な全光型磁化反転現象が報告され^{[1][2]}、超高速磁気記録への応用が期待される。本現象は現在、反平行結合した希土類磁化 M_{RE} と遷移金属磁化 M_{TM} 、2 種類の副格子を有するフェリ磁性であること自体が重要であると考えられており^[3]、磁性体内部における副格子磁化それぞれのダイナミクスを理解することが重要となる。本報告では、GdFeCo と同様にフェリ磁性を示し、高い垂直磁気異方性から記録磁区の微小化が期待できる TbFeCo に着目し、磁気光学効果の測定光波長依存性について検討した。

2. TbFeCo フェリ磁性体における磁気光学効果と測定方法

希土類遷移金属フェリ磁性体の磁気光学効果は、長波長域では 3d 軌道電子が磁性を担う M_{TM} (FeCo) の寄与が主であるが、低波長域では 4f 軌道電子が主に磁性を担う M_{RE} の寄与が増大する^[4]。重希土類である Gd や Tb の磁化は、遷移金属である FeCo の磁化と反平行結合する為、磁気光学効果への寄与も逆符号となる。測定される磁気光学効果は M_{TM} 及び M_{RE} からの寄与の合成であるが、TbFeCo においては低波長域で M_{TM} の寄与が低減するとともに M_{RE} の寄与が増大することが報告されており^[5]、副格子磁化を可視光域においても元素識別計測可能であると考えられる。Figure 1 に、磁気光学 Kerr 効果測定システムを示す。光源には放射波長 185 nm~2000 nm の Xe ランプを使用し、モノクロメーターにより任意の波長を選択できる。測定試料にはマグネトロンスパッタ法で作製した TbFeCo 薄膜を用いた。Figure 2 に試料の構成を示す。試料 A~C: SiN (60 nm) / Tb_x (Fe_{87.5}Co_{12.5})_{100-x} (20 nm) / SiN (5 nm) / glass sub. 及び試料 D: SiN (60 nm) / Tb₁₆Fe_{73.5}Co_{10.5} (20 nm) / SiN (5 nm) / AlTi (10 nm) / glass sub. としており、Tb の組成比はそれぞれ、試料 A: $x=16$ 、試料 B: $x=15$ 、試料 C: $x=14$ である。これら試料は室温において M_{TM} (FeCo) 優勢であり、 M_{RE} と M_{TM} の差分である正味磁化は M_{TM} と同じ向きである。

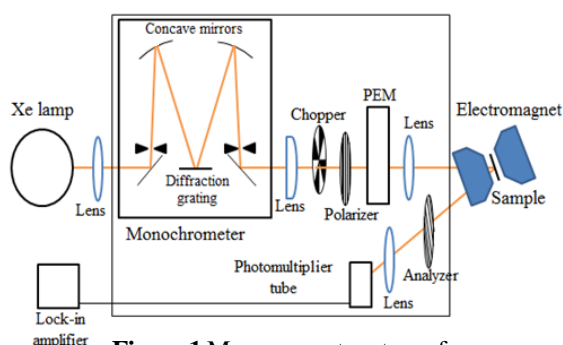


Figure 1 Measurement system of magneto-optical Kerr effect.

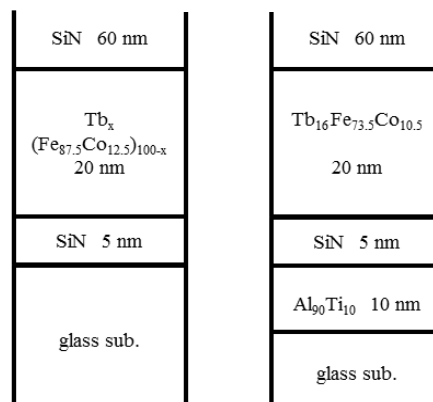


Figure 2 Layer structures design of prepared TbFeCo samples.

1: 日大理工・院(前)・電子 2: 日大理工・院(後)・電子 3: 日大理工・教員・電子

本実験では波長 300 nm~900 nm の範囲において, TbFeCo 試料のヒステリシスループから Figure 3 に示すように Kerr 回転角 θ_k を測定した。

3. 試料の層構成に対する波長依存性

Figure 4 に試料 A 及び D における θ_k の波長依存性を示す。いずれの試料においても, 低波長域にて θ_k がピークを示し, また長波長域では減少することを確認した。Tb 単体における磁気円二色性計測では, 光エネルギー 2.3 eV (波長 550 nm) 近傍で強い吸収スペクトルが現れることが報告されており^[6], 今回確認した低波長域での θ_k のピークは, 主として M_{RE} に由来するものであると考えられる。試料 A と B では, 波長 525 nm 以上の長波長域において θ_k の変化の傾向が大きく異なり, ピーク波長も異なる。磁性層は組成・膜厚ともに等しいため, 磁化状態及び $M_{RE} \cdot M_{TM}$ からの磁気光学効果への寄与も同様であるとされる。よって, この波長域における 2 試料の差異は, 下地層の AITi の有無による光学特性の違いに起因した, 多重反射・干渉による θ_k のエンハンスが主因となっていると考えられる。

4. 試料の組成に対する波長依存性

Figure 5 に試料 A, B, C における θ_k の波長依存性を示す。いずれの試料でも 525 nm 近傍で θ_k がピークを示し, 長波長域では減少していることを確認した。ピーク波長である 525 nm 近傍では Tb の組成比の変化に対してピーク値が大きく変化していることから, この波長近傍での θ_k に対する寄与は M_{RE} によるものが主であるとされる。このことから波長依存性を利用することで, 磁気光学効果で主として観測する元素を選択できる可能性も示した。

5. まとめ

本報告ではフェリ磁性体 TbFeCo の副格子磁化を元素識別計測することを目的として, 磁気光学効果の測定波長依存性について検討した。結果, 層構成による光学条件の違いから磁気光学スペクトルが変化し, ピーク波長も変化することを確認した。また Tb の組成比の変化に対して, ピーク波長近傍で θ_k が大きく変化することから, 低波長域における θ_k は Tb の磁化 M_{RE} からの寄与が主であると考えられる。

謝辞

本研究の一部は, 文部科学省私立大学戦略的基盤形成支援事業 (S1311020) の助成により行ったものである。

6. 参考文献

- [1] C. D. Stanciu, F. Hansteen, A. V. Kimel, A. Kirilyuk, A. Tsukamoto, A. Itoh and Th. Rasing: *Phys. Rev. Lett.*, Vol. 99, 047601, 2007.
- [2] T. A. Ostler, J. Barker, R. F. L. Evans, R. W. Chantrell, U. Atxitia, O. Chubykalo-Fesenko, S. El Moussaoui, L. Le Guyader, E. Mengotti, L. J. Heyderman, F. Nolting, A. Tsukamoto, A. Itoh, D. Afanasiev, B. A. Ivanov, A. M. Kalashnikova, K. Vahaplar, J. Mentink, A. Kirilyuk, Th. Rasing and A. V. Kimel: *Nature Comm.*, Vol.3, 666, 2012.
- [3] H. Yoshikawa, S. Kogure, S. Toriumi, T. Sato, A. Tsukamoto, A. Itoh: *J. Magn. Soc. Jpn.* Vol.38, 139, 2014.
- [4] T. Katayama and K. Hasegawa: *Proc. 4th Int. Conf. Rapidly Quenched Metals*, Sendai, 1981.
- [5] A. R. Khorsand, M. Savoini, A. Kirilyuk, A. V. Kimel, A. Tsukamoto, A. Itoh and Th. Rasing: *Phys. Rev. Lett.*, Vol. 110, 107205, 2013.
- [6] E. Arenholz, E. Navas, K. Starke, L. Baumgarten, and G. Kaindl: *Phys. Rev. B*, Vol. 51, 8211, 1995.

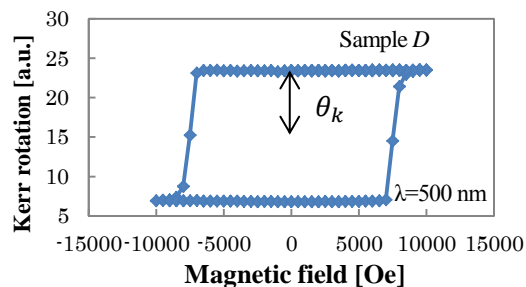


Figure 3 Magneto-optical Kerr effect Hysteresis loop.

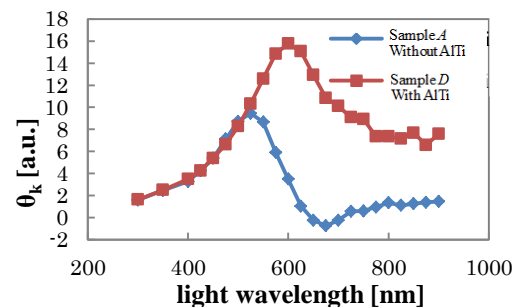


Figure 4 Dependence of θ_k on light wavelength in each layer structure.

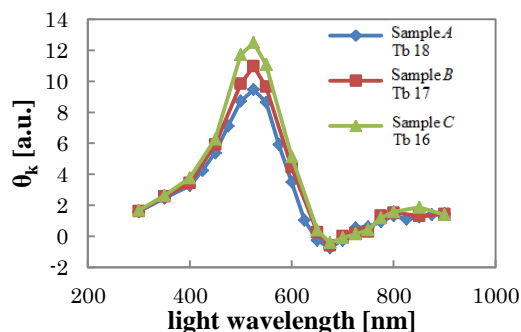


Figure 5 Dependence of θ_k on light wavelength in each composite films.