

GdFeCo 薄膜における磁気円二色性由来偏光依存光吸収率の波長依存性
Wavelength dependence of polarization-dependent optical absorption rate derived from magnetic circular dichroism in GdFeCo thin film

○若林達也¹, 北澤楓太², 吉川大貴³, 塚本新³

Tatsuya Wakabayashi¹, Fuuta Kitazawa², Hiroki Yoshikawa³, Arata Tsukamoto³

Abstract: With the development of information technology, increasing the speed of information recording has become an important issue. To solve this issue, we have been researching the HD-AOS, which forms magnetic domains uniquely dependent on the helicity of irradiated light in an extremely short action time. The direction of the formed magnetization corresponds to helicity, which is largely related to magnetic circular dichroism. The irradiation light that induces HD-AOS has fluctuations in pulse intensity. Although it is desired to increase the optical absorption difference for applications such as HD-AOS magnetic recording, it is still small and is also only a few percent at most. Therefore, in this study, we measured the optical absorption of HD-AOS-induced GdFeCo at two wavelengths with the aim of increasing the optical absorption difference for applications such as magnetic recording devices.

1. はじめに

情報記録の高速化に向け、非常に短い作用時間で磁化反転が誘起可能である全光型磁化反転 (All Optical magnetization Switching : AOS) 現象^{[1][2]}に関する研究が精力的に行われている。AOS 現象は、外部からの磁界印加を必要とせず、フェムト秒オーダーのパルスレーザー光の光照射のみで垂直磁気異方性を有する希土類遷移金属フェリ磁性薄膜に磁区形成が可能となる。AOS 現象のうち、照射光のヘリシティに対応した磁区を形成する偏光依存型全光型磁化反転 (Helicity Dependent All Optical magnetization Switching : HD-AOS) 現象がある^[1]。希土類遷移金属合金系のHD-AOSにおけるヘリシティの対応関係 (双対性) は、右回り円偏光と左回り円偏光の光吸収率差である磁気円二色性 (Magnetic Circular Dichroism : MCD) が要因となっている^[3]。MCDにより左右円偏光のエネルギー吸収量に差が生じ、その中間値に磁化反転を誘起するのに要する閾値となるよう光量を調整することでHD-AOSが発生する。しかし、MCDは材料固有の物性にに基づき、希土類遷移金属合金系では典型値で約2~3%程度と小さく、光制御の観点ではフェムト秒パルスレーザーの一般的強度変動と同等の大きさであるためその増大が求められている^{[3][4]}。我々はこれまでに、特定波長の入射光に対し光学干渉を用いてこのMCDによる吸収率差を実効的に増大することを試みている。この実効的なMCD効果増大を検討する為、本研究では実効的MCD効果の波長依存性に注目し、2つの波長に対してHD-AOS誘起可能なGdFeCo薄膜の光吸収率測定を行った。

2. 実験方法

測定試料はAOS現象が誘起可能だと確認されているGdFeCo薄膜とし、マグネトロンスパッタ法にて作製した。試料の層構成はSiN (5 nm) / Gd₃FeCo (20 nm) / SiN (5 nm) / カバー glass sub.である。今回は実効的MCD効果増大に向けた光学干渉構造については主として磁性体とSiN層の界面での反射のみの寄与を意図し、SiN厚を5 nmとした。Fig. 1には本報告で用いた光吸収率の計測システムを示す。本実験では波長の異なる光源 He-Ne レーザー ($\lambda = 632 \text{ nm}$), 半導体レーザー ($\lambda = 780 \text{ nm}$) を使用した。反射の際に、振幅の反射率および位相の変化を表すフレネル係数が、入射角の大きさによりS偏光およびP偏光でそれぞれ変化する。このフレネル係数の変化を最小限とするために、垂直入射に近い入射角2.5 deg.となるように配置した。上向き磁化 (+M), 下向き磁化 (-M) のそれぞれの磁化状態に対して左右円偏光を入射し、入射光強度, 反射光強度, 透過光強度を測定し、光吸収率を算出した。

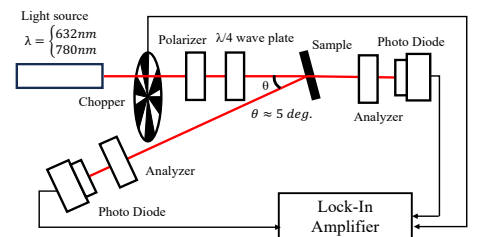


Figure 1. Measurement set-up of absorption rate for left and right circularly polarized light

3. 実験結果と考察

Table 1に+M, -Mのそれぞれの磁化状態における632 nmおよび780 nmの二つの波長を持つ光源による直線偏光 (LP), 右回り円偏光 (RC), 左回り円偏光 (LC) の光吸収率を示す。Table 1より光吸収率は波長変化に伴い偏光状態および磁化状態が同じ条件でも、1.38倍程度変化することを確認した。また、同じ波長では偏光状態および磁化状態で、それぞれ±0.2%の変化があることがわかる。

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

Table 1. Light absorption rate for linearly polarized light, right-handed circularly polarized light, and left-handed circularly polarized light ($\lambda = 632 \text{ nm}$ and 780 nm)

	LP+M [%]	LP-M [%]	RC+M [%]	RC-M [%]	LC+M [%]	LC-M [%]
632 nm	60.51	60.53	60.53	60.26	60.37	60.60
780 nm	83.31	83.29	83.42	83.09	83.13	83.62

Table 1 の結果から、同じ偏光状態のときの+M と-M の差を Fig. 2 に示す。Fig. 2 より、+M と-M の光吸収率差は波長に依らず、左右円偏光では0.2%以上であったのに対し、直線偏光が最小となりその値は0付近 (-0.02 ~ 0.01 %) である。これは偏光状態によって、磁化状態に対する光吸収率が変化するを意味し、MCD 由来の応答であることが確認される。また、直線偏光のとき完全に 0 にならなかった理由として理想的な偏光状態でなかったことが原因だと考えられる。また、左円偏光では波長の変化により、2.13 倍変化していることがわかる。次に、同じ磁化状態において左右円偏光の光吸収率差をそれぞれ Fig. 3, Fig. 4 に示す。いずれの磁化状態でも、光吸収率差の絶対値は 780 nm の方が大きく、632 nm と比較して 1.65 ± 0.2 倍であった。本実験結果から、光吸収率差は磁化状態、偏光状態に依らず 780 nm の方が大きくなり、波長を変化させることで光吸収率を増大させることができることを確認した。しかし、増大量は予想される材料固有の MCD よりも大きく^[5]、これまでに議論されている光学干渉も含む結果であると推察される。保護膜内での光学干渉効果の小さい SiN 保護膜 5 nm においても同一磁性体、膜構造で使用波長を変えることで光吸収率が大きくなり、内因的な MCD による増大の他に磁性体層等での光学干渉による増大も生じていると考えられる。

4. まとめ

本研究では、MCD に由来する光吸収率差を増大することで HD-AOS 現象の感受特性向上を目的とし、GdFeCo 薄膜が磁気光学スペクトルを持つことから 2 つの波長で左右円偏光の光吸収率差の変化の測定を行った。結果、 $\lambda = 780 \text{ nm}$ の方が 632 nm に比べて光吸収率および左右円偏光の光吸収率差は 0.2 %程度増大していることを確認した。同一磁性体、膜構造においても内因的 MCD および光学干渉効果の波長依存性により、実効的 MCD は数十%のオーダーで変化し得ることが明らかとなった。今後、SiN 保護膜を光学干渉構造化することで、更なる実効的 MCD 値の増大が期待される。

5. 参考文献

[1] C. D. Stanciu, F. Hanssteen, A. V. Kimel, A. Kirilyuk, A. Tsukamoto, A. Itoh, and Th. Rasing : Phys. Rev. Lett. 99, 4, 047601, 2007.
 [2] H. Yoshikawa, S. Kogure, S. Toriumi, T. Sato, A. Tsukamoto, and A. Itoh : J. Magn. Soc. Jpn. 38, 3-2, 139-142, 2014.
 [3] S.Kogure, A. Tsukamoto, A. Itoh : MAG-13-67, 2013.
 [4] K. Vahaplar, AM. Kalashnikova, AV. Kimel, S. Gerlach, D. Hinzke, U. Nowak, R. Chantrell, A. Tsukamoto, A. Itoh, A. Kirilyuk, Th. Rasing : Phos. Rev. B, 85, 10, 10442, 2013.
 [5] T. Ohkochi, H. Fujiwara, M. Kotsugi, A. Tsukamoto, K. Arai, S. Isogami, A. Sekiyama, J. Yamaguchi, K. Fukushima, R. Adam, CM. Schneider, T. Nakamura, K. Kodama, M. Tsunoda, T. Kinoshita, S. Suga : Jpn. J. Appl.Phys., 51, 073001, 2012.

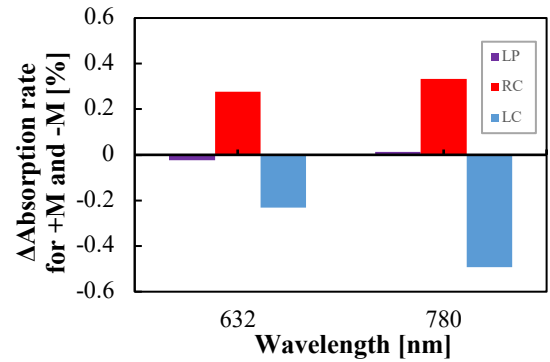


Figure 2. Difference between light absorption rate for +M and light absorption rate for -M ($\lambda=632 \text{ nm}$ and 780 nm)

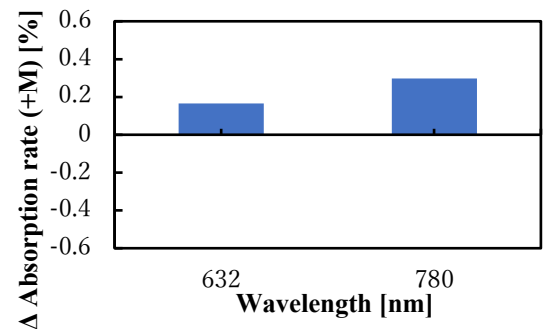


Figure 3. Difference in light absorption between left and right polarized light at wavelengths 632 nm and 780 nm

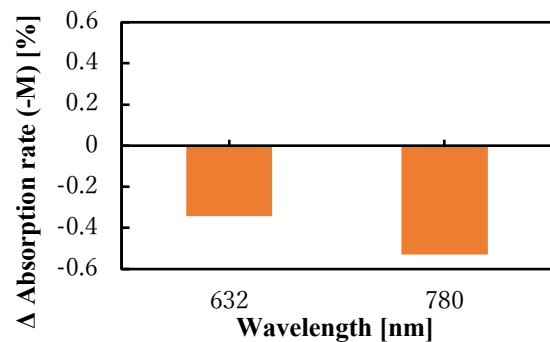


Figure 4. Difference in light absorption rate between left and right polarized light at wavelengths 632 nm and 780 nm