

C-1

## 単一パルス光照射による全光型磁化反転形成磁区と光吸収量の相関検討

### Correlation between magnetic domains formed by all-optical magnetization switching using single-pulse light irradiation and optical absorption

○若林達也<sup>1</sup>, 吉川大貴<sup>2</sup>, 笠谷雄一<sup>2</sup>, 塚本新<sup>2</sup>\*Tatsuya Wakabayashi<sup>1</sup>, Hiroki Yoshikawa<sup>2</sup>, Yuichi Kasatani<sup>2</sup>, Arata Tsukamoto<sup>2</sup>

Abstract : In this report, to clarify the correlation between the AOS phenomenon and the amount of optical absorption, we confirmed the correspondence between the size of the magnetic domains deterministically formed by a single pulse and the spatial distribution of the amount of optical absorption. As a result, we confirmed that the size of the AOS-formed magnetic domains, which change nonlinearly with the optical intensity, corresponds to the diameter of the cross section of the spatial Gaussian distribution of the amount of optical absorption above a certain threshold, demonstrating that the AOS phenomenon manifests in a manner that is strongly dependent on the amount of optical absorption.

#### 1. 背景

全光型磁化反転 (All Optical Magnetization Switching : AOS) 現象は、数十 fs 程度の光を磁性薄膜に照射することで外部磁場なしに磁化反転可能な現象である<sup>[1]</sup>. AOS 現象における決定論的磁化反転は、超短パルス光照射による加熱が磁場駆動による磁化反転をアシストする熱アシスト磁気記録とは根本的に異なり、光吸収に起因すると考えられている<sup>[2]</sup>. 超短パルス光吸収から AOS が発現するまでの物理的起源解明に向けさまざまな現象・効果については多く検討・報告されているが、一方で AOS 現象により形成される磁区と磁性薄膜の実効的光吸収量そのものとの対応については間接的説明に留まる. 主な理由として、AOS 現象において超短パルス光の多重照射では蓄熱効果や熱磁気的作用も重畳し<sup>[3]</sup>, 単一パルスにおいても AOS 現象は非線形かつ時間発展する熱的・光学的・磁気的効果も重畳・内包<sup>[3]</sup>するため、光吸収量も時間的に変化し AOS に寄与する量としての定量的評価が困難となることが挙げられる. そこで、本報告では種々の強度でより定量的な検討を行うために超短単一パルス光を入射し AOS により最終的に形成・記録された磁区サイズから、AOS 現象と光吸収の相関関係につき検討を行った.

#### 2. 実験方法

DC・RF マグネトロンスパッタで作製した SiN (100 nm) / Gd<sub>24.0</sub>Fe<sub>66.5</sub>Co<sub>9.5</sub> (20 nm) / SiN (5 nm) / glass sub. を用いた. 本薄膜試料の同磁化状態に対し、入射光強度を変化させながら超短単一パルス光 (中心波長  $\lambda_{\text{cent}}$ : 800 nm, FWHM  $\approx$  35 fs) を照射した際の AOS 形成磁区を磁気光学 Faraday Imaging により観察した. 光強度は超短パルス光を繰り返し周波数  $f_{\text{rep}}$  を 1kHz として Power Meter にて計測した.

#### 3. AOS 形成磁区幅の光強度依存性

一般に古典論の範囲では、実効的光吸収量は入射光強度と実効的光吸収率の積で表現される. 空間的に均一な磁性薄膜上では実効的光吸収率は一定であるため、薄膜平面上での光吸収量空間ガウス分布は入射光強度空間ガウス分布と線形な関係を示す. ここで、AOS 現象は超短パルス光吸収を起因とし光吸収エネルギー量に応じて閾值的に発現すると考えられており、光吸収量空間ガウス分布に対応して形成磁区サイズが変化すると考えられる. すなわち、入射光強度が大きくなる (小さくなる) と AOS 閾値を超える光吸収量空間分布の面積が広がり (狭まり)、それに伴って形成される磁区サイズも大きくなる (小さくなる). Fig. 1 に光強度に対する形成磁区幅の平均値をプロットし、各光強度における形成

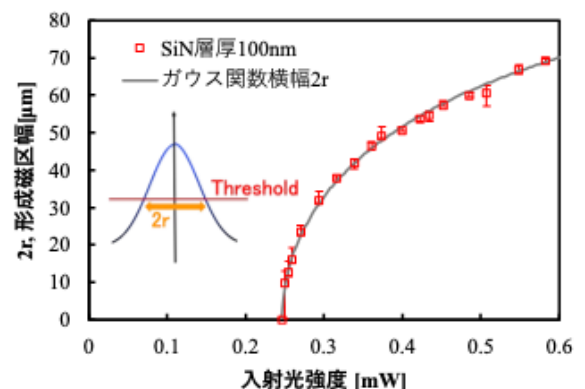


Figure 1. Dependence of the width of a spatially Gaussian light beam at a certain intensity and magnetic domain width on the incident light intensity

1: 日大理工・院 (前)・電子 2: 日大理工・教員・電子

磁区幅の最大値と最小値をエラーバーにて表した. Fig. 1 より, 光強度 0.2465 mW 以上で AOS により磁区が形成され, 光強度に応じて形成される磁区幅が変化することが確認でき, この変化は光吸収量空間分布が変化したと捉えることで説明可能である.

#### 4. 閾値を超える空間ガウス分布の径の入射光強度依存性

AOS が光吸収エネルギー量を起因として閾値的に発現するのであれば, 光吸収量空間分布の閾値を超える面積と超短単一パルス照射による形成磁区面積が一致すると考えられる. ある入射光強度空間ガウス分布が特定の閾値  $I_{th}$  を超える断面積の径  $2r$  を考えたとき, 入射光強度を変化すると, それに応じて閾値を超える断面積が変化し  $2r$  も変化する. ガウス関数を  $r$  を変数として式 (1) で表現される. ここで,  $\omega$ : スポット径,  $I_0$ : 空間ガウス分布の中心光強度を表す.

$$I(r) = I_0 \exp \{-r^2/2\omega^2\} \quad \dots (1)$$

特定値  $I(r) = I_{th}$  の時の光強度空間ガウス分布断面積の径  $2r$  は, 式 (1) の左辺を  $r$  の式に直すことで, (2) のように表される.

$$2r = 2\omega \sqrt{0.5 \ln (I_0/I_{th})} \quad \dots (2)$$

ここで, 空間ガウス分布の無限平面における積分 (すなわち全空間における光強度の総和  $I_{all}$ ) は, 中心光強度  $I_0$  に比例する ( $I_{all} \propto I_0$ ). 受光部がスポット径 (光強度が中心光強度の  $1/e^2$  になる時の径) よりも大きい Power Meter にて計測した光強度  $I_{meas.}$  を全空間における光強度とみなすと, 閾値  $I_{th}$  は定数なので,  $I_{meas.} \propto I_0 \Rightarrow I_{meas.} \propto I_0/I_{th}$  として表すことができる.  $I_0/I_{th} = 1$  となる時の計測光強度  $I_{meas.}$  を AOS 可能な光強度の閾値 (0.2465 mW) となるよう横軸を調整し,  $\omega = 105 \mu\text{m}$  にフィッティングすると Fig. 1 の実線のようにガウス分布の径  $2r$  は変化した. Fig. 3 に示すように, 光強度を変化させた時の非線形に変化するガウス分布の径  $2r$  (実線) と形成磁区幅 (プロット) が全体的によく一致する結果を示すことを確認した.

#### 5. 考察

熱アシスト磁気記録においても光強度に依存して形成磁区サイズも変化するが, 入射光強度そのものに依存ではなく光照射による空間的な温度分布とそれに伴う磁気特性分布, そして外部磁場の強度や分布により形成される磁区サイズが定まる. また, 一般に形成される磁区サイズは, 磁性薄膜の磁気異方性エネルギー, 交換エネルギー, 周辺磁区の漏れ磁場によるエネルギーのバランスによって定まり各々が熱的に変化する (すなわち時間変化に応じて各々の大きさが変化する). 多重照射により上記の熱磁気的作用・蓄熱効果が重畳してしまうため, 本検討では単一パルス光を用いた. 閾値を超えるガウス関数の断面積サイズが光強度に対して非線形に変化するにも関わらず, 実験的に種々の光強度における AOS 形成磁区サイズと比較することで, 熱アシスト磁気記録とは異なり AOS 現象が光吸収量そのものに強く一致することを明示した. また, 閾値を超えるガウス分布の断面積サイズが AOS 形成磁区サイズの理論値として表現できることから, スポット径がわかれば AOS 閾値となる光強度が推定可能であることを示した.

#### 6. まとめ

本報告では, AOS 現象と光吸収量の相関関係を明らかにするために, 多重照射による蓄熱効果・熱磁気的作用が重畳しない単一パルスにて, 決定論的に形成された磁区のサイズから光吸収量空間分布の対応を確認した. 結果として, 光強度に対して非線形に変化する AOS 形成磁区が, ある閾値を超える光吸収量空間ガウス分布の面積における直径と対応をとることを確認し, AOS 現象が特に光吸収量に強く依存して発現することを明示した. また, このことからスポット径と, ある光強度の形成磁区サイズの情報があれば AOS 閾値となる光強度が推定可能であることを示した.

#### 7. 参考文献

- [1] C. D. Stanciu et al. : *Phys. Rev. Lett.* 99, 047601 (2007).
- [2] I. Radu et al. : *Nature* 274, 205-208 (2011).
- [3] H. Yoshikawa et al. : *J. Magn. Soc. Jpn.* 38, 139-142 (2014).