

磁気光学イメージングによる磁場ベクトルの3次元分布測定

坂口穂貴、和田真羽*、松村透*、齊藤準*、石橋隆幸
(長岡技科大、*秋田大)

Three-dimensional distribution measurement of magnetic field vector by magneto-optical imaging

H. Sakaguchi, S. Wada*, T. Matsumura*, H. Saito*, T. Ishibashi
(Nagaoka Univ. of Tech., *Akita Univ.)

1. はじめに

我々はこれまでに、面内磁化を持つ磁気光学効果の大きな Bi 置換希土類鉄ガーネットをガラス基板上に作製することに成功し、MO イメージングによって磁場分布のリアルタイム観察を実現した^{1,2)}。しかし、MO イメージングで得られる磁場分布は垂直成分のみであった。今回は、測定で得られた垂直磁場から点磁極が作る磁場を表す伝達関数による計測磁場方向の変換処理を行うことによって、磁場ベクトルの3次元分布測定が可能になったので報告する。

2. 方法

偏光板を張り付けた赤色 LED 光源(ミスミ製 LEDXR120)から出た直線偏光を MO イメージングプレートに垂直入射させ、ハーフミラーを介して反射光を偏光カメラ(Baumer 社製 VCXG-50MP, 2448×2048 画素)で撮影する光学系を構築した。MO イメージングプレートには、 $\phi 75$ mm のガラス基板上に作製した Bi 置換 Nd 鉄ガーネットの上に反射膜として Ag 合金をスパッタリング法によって製膜したものを用いた。測定は、MO イメージングプレートと測定対象の距離が 0, 2, 4 mm の位置で露光時間 64 ms で 300 回計測し、積算した。得られた画像データからストークスパラメータ(s_0, s_1, s_2)を求め、 $\theta = 0.5 \tan^{-1}(s_2/s_1)$ の関係を用い回転角の画像を得た。そして、MO イメージングプレートの磁気光学効果と磁場の関係から垂直磁場分布像に変換した。さらに、フーリエ変換によって空間周波数領域で面内成分変換フィルター処理後、逆フーリエ変換を行う方法³⁾により面内方向の磁場分布像を得た。

3. 結果

Fig. 1 に試料に用いたフェライト磁石の写真、測定した垂直成分の磁場分布像、距離 0, 2, 4 mm における垂直磁場分布とフィルター処理によって得られた面内磁場成分を組み合わせて得られた3次元磁場分布を示す。測定で得られた磁場分布の垂直成分 (Fig. 1(b)) では、N 極および S 極がストライプ状になっていることがわかる。さらに、磁場ベクトルに変換したデータを見ると、磁場が N 極から S 極に向かっている様子がよく分かる。また、高さを変えた場合でも同様の磁場ベクトルの計算が得られていることが分かる。MO イメージングによる磁場ベクトルの3次元分布計測は、従来のホールプローブを使った計測技術に比べて短時間かつ高い空間分解能での測定が可能である。

参考文献

- 1) G. Lou et al., J. Appl. Phys., **117**, 17A749 (2015).
- 2) T. Ishibashi, J. Magn. Soc. Jpn., **44**, 108-116 (2020).
- 3) H. Saito et al., Abstracts of INTERMAG 2021, CQ-03 (2021).

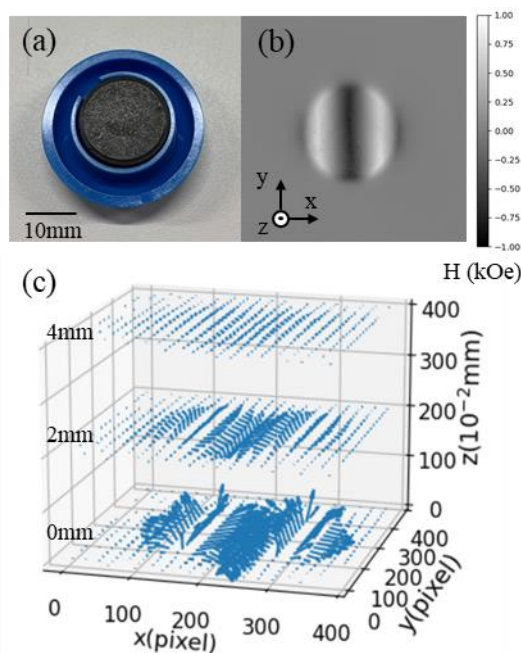


Fig. 1 (a) Digital photograph, (b) MO image, and (c) 3D magnetic field vector of the magnet measured at distances of 0, 2, and 4

磁区構造の差分画像による軟磁性体評価方法

荒木亮子・孝橋照生

(日立製作所)

Evaluation method of soft magnetic materials by difference image of magnetic domain structure.

Ryoko Araki, Teruo Kohashi

(Hitachi, Ltd.)

はじめに

モーターやソレノイド、トランスなどの電子制御部品において、電気エネルギーと磁気エネルギーの変換に使われる軟磁性体の役割は大きく、その効率化のため、軟磁性体内部の透磁率や保磁力を制御することが重要である。例えば応力を効果的に制御することで透磁率に異方性をつけてデバイス性能を向上させることや、歪のために局所的に保磁力が増加することが知られている²⁾。簡便な磁区構造解析手法³⁾により、歪等の影響による磁区構造の分布領域を解析し、特徴量を抽出できる軟磁性体の評価方法を検討した。

実験方法

φ10mm、厚さ5mmの純度99.8%の純鉄材を試料とした。磁区構造解析には面内磁区観察装置を用い、室温にて試料に磁場印加しながら磁化反転挙動を解析した。

実験結果

試料の磁区観察から得られた画像を Fig.1 に示す。0 Oe 磁場にて基準画像を取得し(Fig.1(a))、その後±180Oe 磁場印加して画像取得し、基準画像のコントラストをそれぞれ差し引き、磁化変化に起因するコントラストのみを抽出した差分画像を作製した(Fig.1(b), (c))。印加した外部磁場の向きを黒い矢印で、磁化反転した領域における磁化方向を白い矢印で示す。紙面右方向+180 Oe 印加して得られた差画像 Fig.1(b)では画像下の領域が白く磁化反転し、-180 Oe 印加して得られた差画像 Fig.1(c)では画像中央から上部にかけての広い領域が黒く反転していることがわかる。その一方で、点線で囲まれた領域では Fig.1(b)と(c)のどちらにおいても磁化が反転していないことがわかる。すなわちこれらは内部の歪等の影響のため、局所的に磁気異方性が増加した領域であると判断できる。この手法を用いることで、材料の磁区構造並びに磁化反転挙動がマイクロレベルで解析でき、軟磁性材料特性引き出すための制御指針を得られることがわかった。

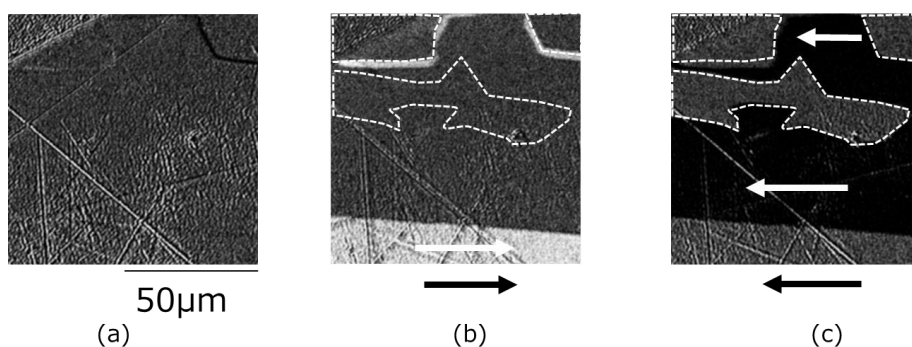


Fig.1 Magnetization analysis images of soft magnetic. (a) magnetic domain image in 0 Oe, (b) subtracted image between data in 0 Oe and that in +180 Oe, (c) subtracted image between data in 0 Oe and that in -180 Oe.

参考文献

- 1) 高宮 他：JFE 技報、p.1-5、No.36、(2015)
- 2) 千田 他：電学論 A、vol 125、No. 3、(2005)
- 3) 目黒 他：顕微鏡、vol 52、No. 3、(2017)

マイクロレンズアレイを用いた磁気光学3次元ホログラフィックディスプレイにおける再生像の高画質化

伊藤誉敏, 山岸世奉, 山本優太, 堀米秀嘉*, 後藤太一, 中村雄一,

Lim Pang Boey, 井上光輝**, 内田裕久

(豊橋技科大, *ホーリーマイン, **高専機構)

Clarification of reconstructed image in magneto-optical 3D holographic display using microlens array.

Y. Ito, S. Yamagishi, Y. Yamamoto, H. Horimai, T. Goto, Y. Nakamura, P. B. Lim, M. Inoue, H. Uchida
(Toyohashi Univ. of Tech., *Holymine, ** National Institute of Technology)

はじめに

我々は眼精疲労が生じにくいホログラフィ技術を用いたディスプレイの高視野角化を実現するため、熱磁気記録法によって磁性膜上に磁気ピクセルを形成する磁気光学3次元ディスプレイの開発を行ってきた。高視野角を得るためには微小なピクセルが必要であり、 $1\mu\text{m}$ サイズで大規模領域にピクセルを形成すること、および書き換え時間を短くすることが磁気光学3Dディスプレイの実用化への課題である。我々はこれまでにマイクロレンズアレイ(MLA)と呼ばれる微小レンズが配列された素子を用いて、微小ピクセルの書込みと像の再生を行ってきたが²⁾、再生像が十分に明瞭ではなかったことや像の欠損などが見られた。本研究では、MLAを用いた光学系により作製されたホログラムによる3次元像の再生において、高視野角で明瞭な像を再生する方法について検討する。

装置の改善および実験方法

本研究では、レーザによるコリメート光をデジタルマイクロミラーデバイス(DMD)で変調した後、各画素からの光をMLAによって $1\mu\text{m}$ に集光し、縮小したピクセルを磁気記録媒体に書き込んでホログラムを作製した。先行研究の再生像の劣化はホログラムが均一に作製できていなかったことが原因であったため、レーザ光強度の均一性およびピエゾステージの制御性を改善した。磁気記録媒体に書き込んだホログラムに、直線偏光を照射し、反射した光を検光子に通すことで空間変調された光のみを取り出し、像をカメラで撮影した。磁気記録媒体は、 $\text{SiN}(30\text{nm})/\alpha\text{-TbFe}(50\text{nm})/\text{SiN}(20\text{nm})/\text{Glass substrate}$ 構造の積層膜であり、書き込むデータは、計算機合成ホログラムである。ピクセルピッチは $1.14\mu\text{m}$ 、再生像は一辺 1mm の立方体である。

実験結果

改善した光学系を用いて、波長 532nm のレーザ光によって再生された立方体の像をFig. 1に示す。(a)は上から 5deg の角度で、左右は正面(0deg)から見たときの像であり、(b)は 14deg 右側から見たときの像である。これらの再生像は従来のものと比較して、鮮明化されており、欠損がないものが得られた。このときの視野角は約 28deg である、(b)から分かるように、大きな角度においてもコントラストが十分得られている。この視野角はピクセルピッチから計算された視野角の値と一致している。背景にある緑色の領域は、記録媒体から反射されてくる光が映り込んでいるものである。今後、さらに像の高画質化を行うとともに、再生像の動画化を目指す。



(a) 0 deg.



(b) +14 deg.

Fig. 1. Reconstructed 3D cubic frame images

参考文献

- 1) K. Nakamura, et al., Appl. Phys. Lett. 108, 022404 (2016).
- 2) 木村陽太 他, 第42回日本磁気学会学術講演会概要集 12aPS-60, (2018).

走査透過電子顕微鏡による多結晶材料中の磁区観察手法の開発

村上善樹¹、関岳人¹、木下昭人²、庄司哲也²、幾原雄一^{1,3}、柴田直哉^{1,3}

(¹東京大学大学院工学系研究科総合研究機構, ²トヨタ自動車東富士研究所先端材料技術部, ³フラインセラミックスセンターナノ構造研究所)

Development of Magnetic-Domain Imaging Techniques in Polycrystalline Materials by Scanning Transmission Electron Microscopy

Y. O. Murakami, T. Seki, A. Kinoshita, T. Shoji, Y. Ikuhara, N. Shibata

¹Institute of Engineering Innovation, The University of Tokyo, Bunkyo-ku, Tokyo, Japan, ²Advanced Material Engineering Division, Toyota Motor Corporation, Susono, Shizuoka, Japan, ³Nanostructures Research Laboratory, Japan Fine Ceramics Center, Atsuta-ku, Nagoya, Japan

はじめに：走査透過型電子顕微鏡法(Scanning Transmission Electron Microscopy: STEM)は材料の構造・組成を高い空間分解能で観察できる手法である。近年, Fig.1 に示す分割型検出器を STEM の回折面に配置し, 透過電子線のローレンツ偏向を検出し, 試料中の磁場分布を実空間で観察する微分位相コントラスト(differential phase contrast: DPC)法[1]が開発され, 磁気スキルミオン[2]の観察などが報告された。DPC-STEM 法による磁場分布観察は, 他の STEM 法による構造・組成観察と同時あるいは同一視野で行えるため, 磁性材料中の磁区構造と微細組織の相互作用の解明への寄与が期待される。そこで, 本研究では DPC-STEM 法で多結晶材料を観察する際に重量が避けられない回折コントラストの低減手法を開発した。この手法を用いて Nd-Fe-B 系熱間加工磁石の磁区を観察した結果[3]を報告する。

実験方法：焼結および熱間加工による異方性 Nd-Fe-B 系磁石に重量比 2% の NdCu を浸透させ高保持力化し, 機械・イオン研磨により TEM 試料を作製した。本試料を, 分割型検出器を搭載した透過型電子顕微鏡 JEM-2100F を用いて DPC-STEM 観察を行った。試料傾斜が回折コントラストと磁場コントラストに与える影響を考察するため, 試料ホルダーの傾斜機構を用いて, わずかに電子線入射方位を変化させた一連の DPC 像と ADF 像を取得した。一連の DPC 像を平均して磁場の信号を抽出し, 関数フィッティングにより磁壁幅を測定した。

実験結果：Fig.2 (a)(b)に ADF 像と DPC 像をそれぞれ示す。DPC 像には ADF 像と同様の歪みや結晶方位を反映したコントラストが生じており, 回折条件の変化による回折コントラストと考えられる。電子線入射方位を 0.1 度程度変化させると回折コントラストは大きく変化したため, 傾斜変化に対してランダムに変化することを仮定し, わずかに傾斜条件を変化させて取得した一連の DPC 像に位置補正を行い平均した傾斜平均 DPC 像を Fig.2(c)に示す。傾斜平均 DPC 像では回折コントラストが低減され, 左右方向の 2 つの磁区が明瞭に観察された。

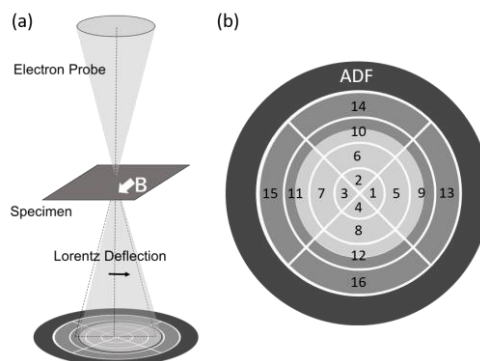


Fig. 1 (a) DPC STEM の概略図. (b) 16 分割の分割型検出器と ADF 検出器の概略図. 中心の白いディスクは透過電子ディスクを表す。

参考文献

- 1) N. Shibata *et al.*, *Acc. Chem. Res.*, 50 (2017) 1502.
- 2) T. Matsumoto *et al.*, *Sci. Adv.* 2 (2016) e1501280.
- 3) Y. O. Murakami *et al.*, *Microscopy*, 69 (2020) 312.

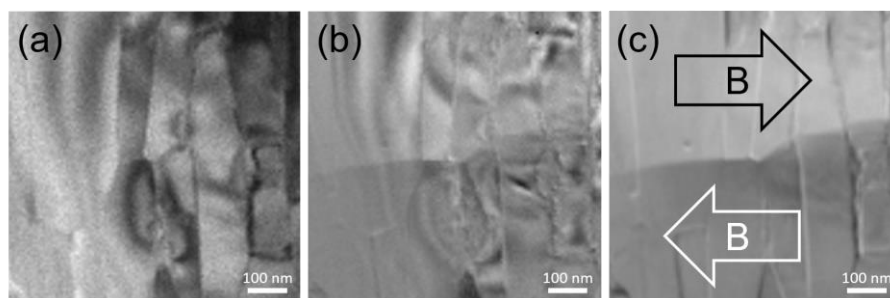


Fig. 2 (a) Nd-Fe-B 系磁石の ADF 像. (b) DPC 像. 回折コントラストが重畳している. (c) わずかに傾斜条件を変化させた 64 枚の DPC 像を平均化した傾斜平均 DPC 像. 磁壁が明瞭に観察できる。