

定量測定可能なリアルタイム磁気光学顕微鏡の開発

石橋隆幸、湯舟秀太、小田 勝、谷 俊朗、飯村靖文、佐藤勝昭

東京農工大学大学院共生科学技術研究部

e-mail:bashi@cc.tuat.ac.jp

1 はじめに

超伝導体に進入する磁束の観察方法として磁気光学効果を使った方法は、装置構成が比較的簡単で、走査型に比べると格段に計測時間が速いという特長から注目を集めている。しかしながら、従来からの直交偏光子法は、微小な偏光の回転角を定量的に求めることは容易ではない。そこで本研究では、定量的な磁気光学像を得ることができる円偏光変調法を応用した磁気光学顕微鏡を開発している^{1,2)}。定量的な磁気光学像が得られれば、超伝導中の磁束を磁気光学薄膜に転写して得られた画像から、超伝導中に流れる電流分布を得ることも容易になる。さらに、本研究では定量かつ動的な観察を実現するためのシステムの開発も行っている。本講演では、我々の開発している顕微鏡システムの詳細と磁性ガーネットおよび超伝導体の測定例について紹介する。

2 円偏光変調法を用いた測定法の原理

本測定法では、通常用いる偏光子、検光子の他に偏光を変調させるための液晶を使った変調素子を用いる。この液晶素子に電圧を印加することで得られる、直線偏光、右回り円偏光、左回り円偏光の3つの偏光状態の画像を撮影し、3つの画像の各ピクセルの光強度から、次式を用いて回転角 θ_F と楕円率 η_F を求め、磁気光学像を得る。

$$\theta_F \approx -\frac{1}{2} \sin^{-1} \left\{ \frac{2I(0) - [I(\pi/2) + I(-\pi/2)]}{(1 - \eta_F^2)[I(\pi/2) + I(-\pi/2)]} \right\},$$
$$\eta_F \approx -\frac{1}{2} \left\{ \frac{I(\pi/2) - I(-\pi/2)}{I(\pi/2) + I(-\pi/2)} \right\} \quad (1)$$

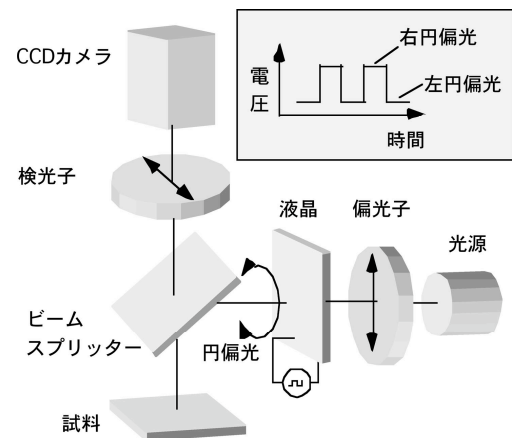


図1 円偏光変調磁気光学顕微鏡の基本構成

3 測定結果

磁気光学顕微鏡の性能を評価するために、ガラス基板上に作製した垂直磁化膜の磁性ガーネット³⁾ ($Y_2BiFe_4GaO_{12}$)の正方形パターン配列に加工した試料のファラデー回転の磁気光学像のリアルタイム測定の結果を図2に示す。対物レンズの倍率は50倍、測定波長は525nmである。この測定では、測定速度を上げるために式(1)の $[I(\pi/2) + I(-\pi/2)]$ の部分 $2I(\pi/2)$ とすることにより、2種類の画像を使って計測した。それぞれの偏光状態に対応する画像は、ノイズを低減させるためにそれぞれ10枚の平均化を行っている。この測定の露光時間は20ms、フレームレートは約1フレーム毎秒である。印加磁場は、左上から右下に向かって+5000eから-5000eまで変化させている。1フレーム毎秒の速度で磁性ガーネットのドットパター

ンが磁化反転している様子がよくわかる。

次に膜厚 400nm の面内磁化 Bi:YIG 薄膜を Bi 系高温超伝導体単結晶に重ねて観察した 6K における光学像と磁気光学像を図 3 に示す。磁場を強くしていくと単結晶の端から均一に磁場が侵入していく様子が観察された。

謝辞

本研究は、21 世紀 COE プログラム『ナノ未来材料』の一環として行われた。また本研究の一部は、科研費基盤研究(B) (No. 1630003) の助成を受けて行われた。本研究で使用した BSCCO 単結晶は、超電導工学研究所、腰塚氏より提供された。

参考文献

- [1] X. R. Zhao, N. Okazaki, Y. Konishi, K. Akahane, Z. Kuang, T. Ishibashi, K. Sato, H. Koinuma and T. Hasegawa, Appl. Surf. Sci., 223, 2004, 73.
- [2] T. Ishibashi, Z. Kuang, Y. Konishi, K. Akahane, X. R. Zhao, T. Hasegawa and K. Sato, Tran. Magn. Soc. Japan. Vol.4, No.4-2, 2004, 278.
- [3] T. Ishibashi, A. Mizusawa, M. Nagai, S. Shimizu, K. Sato, J. Appl. Phys. **97**, 2005, 013516.

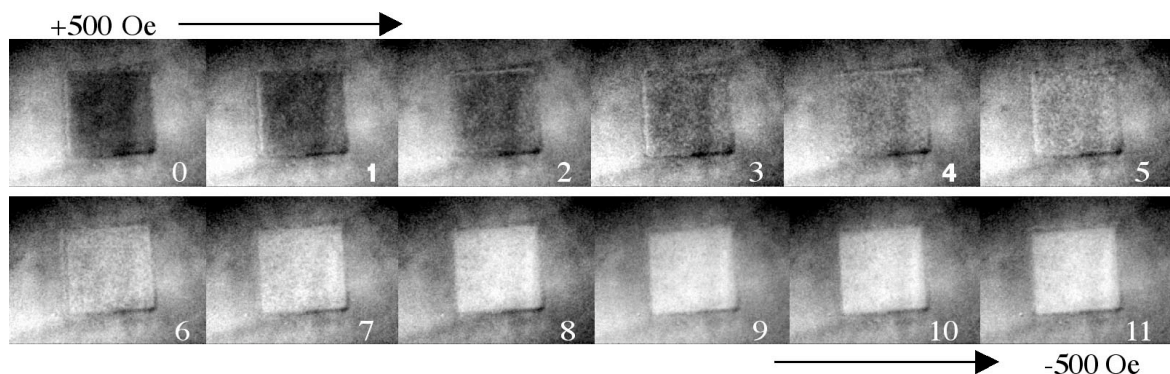


図 2 ガラス基板上に作製した $50 \mu\text{m} \times 50 \mu\text{m} \times 200 \text{nm}$ の Bi,Ga:YIG パターンのカー回転画像。印加磁場は左上から右下に向かって $+500 \text{ Oe}$ から -500 Oe まで変化させている。

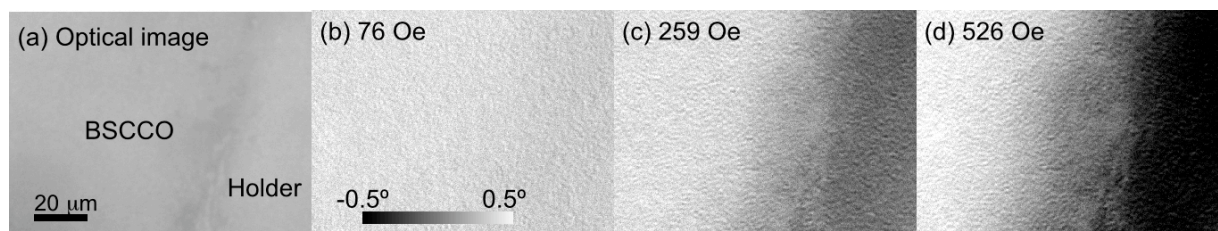


図 3 Bi:YIG 薄膜を Bi 系高温超伝導体単結晶に重ねて観察した (a)光学像と (b)-(d)磁場中の磁気光学像。測定温度は、6K。