

学生番号	12232019	氏名	大瀧 敦士
論文題目	磁気光学顕微鏡を用いた超伝導体への磁束侵入の観察と臨界電流密度の評価		

## 1. はじめに

超伝導体の工学的な魅力の一つとして、電気抵抗ゼロでの電流輸送があるが、この特性には限界があり、その最大値を臨界電流及びその密度を臨界電流密度 $J_c$ という。一般に $J_c$ は四端子法や SQUID 磁力計を用いた磁化の大きさから評価することができる。しかし $J_c$ は、超伝導体内に存在するクラックや不純物のために、内部で不均一な分布となる。そのため、得られる臨界電流密度は試料全体の平均化された値であり、局所的にどのような電流が流れているかなどの情報を得ることは難しい。一方で、超伝導体内の磁束の侵入の様子を比較的容易に観測できる手法として、磁気光学顕微鏡等がある。これらの手法と四端子法や磁化法とを組み合わせることにより、臨界電流決定のより詳細な機構解明が可能になる。

したがって、本研究では、比較的容易に超伝導体内への磁束侵入の様子が評価できる磁気光学顕微鏡に注目し、その手法を確立し、超伝導バルク材への磁束の侵入の観察を行った。

## 2. 磁気光学顕微鏡

電磁波である光が磁性体に入射すると、磁化との相互作用により、反射光の電界の偏光面が回転する。これを Kerr 効果と呼ぶ。Kerr 効果には 3 種類あるが、ここでは極 Kerr 効果を用いる。この極 Kerr 効果では、偏光と偏光の入射面の法線方向に平行な磁化と相互作用により反射光の電界の偏光面が回転する。この場合の Kerr 回転角は、光の波数ベクトルと磁化ベクトルのスカラー積に比例し、垂直入射の時最大になる。[1]

今回作製した磁気光学顕微鏡を Fig.1 に示す。まず、顕微鏡横から照射した光を偏光子に通し、直線偏光を取り出す。取り出した直線偏光を顕微鏡内のビームスプリッタを用いて直角に屈折させ、試料に照射する。試料表面に置いた磁気光学インディケータで反射した光は、ビームスプリッタ、検光子の順に通過する。この検光子は偏光子とほぼ直交するように取り付けておく。検光子と偏光子をほぼ直交にすることで、試料内に磁化が存在しない場合、反射光は検光子を通過しない。しかし、試料内に磁化が存在する場合には直線偏光の偏光面が回転するので検光子を通過する。

したがって、磁化が存在する部分と存在しない部分で明暗が異なるので磁束の有無を確認することができる。

## 3. 超伝導バルクの観察

本実験では、臨界温度  $T_c = 91\text{ K}$  の GdBaCO( $\text{Gd}_1\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6.9}$ )バルクを観察した。超伝導バルクに磁界を加えるために 350 mT のネオジウム磁

石を用いた。超伝導体の冷却には液体窒素を用いた。また、Kerr 回転角の増幅のため、磁気光学インディケータとして長岡技術科学大学の石橋准教授からご提供頂いた BiYIG( $\text{Bi}_x\text{Y}_{3-x}\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ )薄膜を用いた。

## 4. 結果及び検討

本実験では、ネオジウム磁石の上に超伝導バルクを配置し液体窒素で冷却する磁場中冷却を用いた。この手法は超伝導バルクに磁界を着磁させる方法で、冷却後、バルクとネオジウム磁石を切り離し、超伝導バルクに捕捉される磁束を観察した。観察により得られた画像を Fig.2 に示す。この画像には、黄色く見える部分と赤く見える部分があり、黄色い部分は磁束量が多く、赤い部分は磁束量が少ない領域に対応する。このような不均一な磁束分布は、超伝導バルク内に不均一な電流の流れがあることを示している。そこで、色の違いが明確な部分を取り出し、SQUID 磁力計を用いて直流磁化測定により $J_c$ を評価した。その結果 350 mT の磁界中において、黄色の領域では $J_c = 1.26 \times 10^8\text{ A/m}^2$ 、赤い領域では $J_c = 3.37 \times 10^7\text{ A/m}^2$ であった。したがって、本研究で作製した磁気光学顕微鏡では、超伝導バルクの磁束分布の観察が可能であることが確認できた。

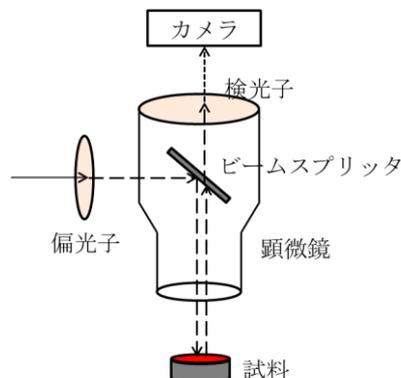


Fig.1 磁気光学顕微鏡の概要

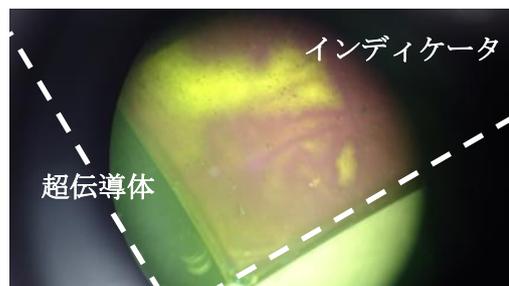


Fig.2 磁気光学顕微鏡で得られた画像

## 5. 参考文献

- [1] 日本磁気学会 編 磁気イメージングハンドブック (2010)