

超伝導-強磁性複合体中での自発渦糸相の実験的観察

Observation of spontaneous vortices in superconductor/ferromagnet nanocomposites

神戸大理¹ ○(M1)寺町 七海¹, 瀬戸 雄介¹, 櫻井 敬博¹, 太田 仁¹, 内野 隆司¹

Kobe Univ.¹, °N. Teramachi¹, Y. Seto¹, T. Sakurai¹, H. Ohta¹, T. Uchino¹

E-mail: 201s210s@stu.kobe-u.ac.jp

【緒言】超伝導体中に存在する強磁性成分は、外部磁場の非存在下でも自発渦糸相を形成する可能性があるとして理論上予測されている[1]。しかし、自発渦糸相を磁化測定により実験的に観察した例は、まだ報告されていない。これは、強磁性の平行スピン配列によって超伝導の反平行スピン対が破壊されるためだと考えられる。そこで本研究では、近年我々が報告した常伝導 Mg/MgO 母体中に超伝導体 MgB₂ をフラクタル的に分散させた系[2]に、新たに強磁性体 α'-MnB を取り込み、超伝導体と強磁性体が空間的に分離した複合体を作製した。この複合体を用いて、自発渦糸相の形成及び転移挙動を実験的に観察した。

【実験】Mg, B₂O₃, MnCO₃ の粉末をモル比 5 : 1 : 0.01 で十分混合したのち、アルゴン雰囲気下 700 °C で加熱し、Mg/MgO/MgB₂/α'-MnB からなるナノ複合粉末を作製した。この粉末試料を、放電プラズマ焼結(SPS)法によって焼結した試料について、XRD 測定、磁化測定、磁気抵抗測定を行った。

【結果と考察】Fig. 1 に 50 K, 10 K での磁化の磁場依存性を示す。それぞれ 50 K では強磁性、10 K では超伝導に特徴的なヒステリシスが観測された。これは試料中に強磁性体が存在していても、バルク的な超伝導が複体内に誘起されたことを示している。また磁気抵抗測定から、本試料の超伝導転移温度は 36 K, 上部臨界磁場 H_{C2} は 54 kOe であることがわかった。Fig. 2 は α'-MnB の強磁性に由来する正の残留磁化を与えた試料をゼロ磁場の状態で冷却し、2 K で長時間保持した磁化の時間変化を示す。残留磁化はマイスナー効果により時間と共に徐々に減衰することがわかった。これは、強磁性成分に由来するループ状の自発渦糸[1]が、マイスナー効果により、強磁性体内に閉じ込められる過程 (Fig. 2 の下部挿入図参照) を示していると考えられる。しかし、マイスナー効果によって系の磁化が負になった後、微弱な外部磁場 ($H = 0.1$ Oe) を印加すると、大きな正の自発磁化が観測されることがわかった。これは、磁場摂動により、ループ状の渦糸が開裂し (Fig. 2 の上部挿入図参照), よりエネルギーの低い線状の渦糸状態へと転移したことを示している。この転移は理論計算[1]でも予測されていることから、本結果は、超伝導-強磁性複合体の自発渦糸相の形成、転移挙動を実験的に観察した最初の例であると考えられる。

[1] M. M. Doria, A.R.de C. Romaguera *et al.*, *EPL*, **79**, 47006 (2007).

[2] T. Uchino, N. Teramachi, and R. Matsuzaki *et al.*, *Phys. Rev. B* **101**, 035146 (2020).

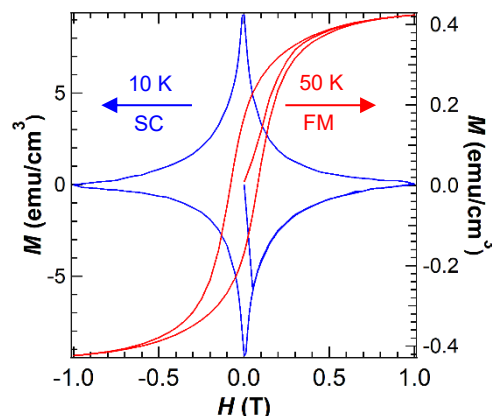


Fig. 1. Magnetic field dependence of magnetization for the superconductor(SC) / ferromagnet(FM) composite sample observed at different temperatures.

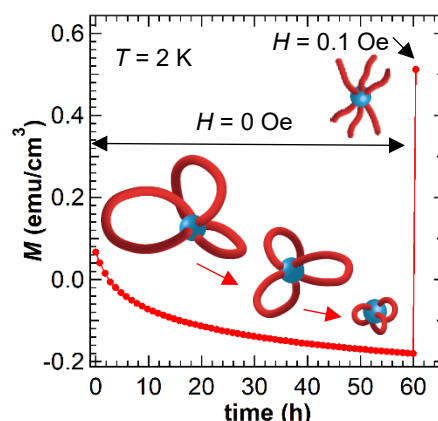


Fig. 2. Time variation of magnetization under zero applied field for the SC / FM composite sample at 2 K. After 60 h under zero field, a small magnetic field of 0.1 Oe was applied, leading to a large positive jump in M . Insets show schematic pictures of the confinement of vortex loops (lower) and the transition to the broken loop state (upper).