

超伝導-強磁性複合体中での自発渦糸相の形成機構

Formation mechanism of spontaneous vortices in superconductor/ferromagnet nanocomposites

神戸大理¹, CROSS², KEK³ ○(M2)寺町 七海¹, 瀬戸 雄介¹, 櫻井 敬博¹, 太田 仁¹,
大石 一城², 坂口 佳史², 幸田 章宏³, 内野 隆司¹

Kobe Univ.¹, CROSS², KEK³ ○N. Teramachi¹, Y. Seto¹, T. Sakurai¹, H. Ohta¹, K. Ohishi²,
Y. Sakaguchi², A. Koda³, 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、強磁性の平行スピン配列により超伝導の反平行スピン対が破壊されるため、自発渦糸相を実験的に観察することは困難である。そこで、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。今回は、この複合体を用いて、磁化測定による自発渦糸相の観測結果を報告した[3]。本研究では、磁化測定に加え、ミュオン緩和スペクトル (μSR) 測定を行うことで、自発渦糸相の形成機構についてさらに詳しく考察した。

【実験】 Mg, B, B₂O₃, MnCO₃ の粉末をモル比 5 : 1.1 : 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バルク試料について、磁化測定、μSR 測定を行った。

【結果と考察】 Fig. 1 に 40 K, 30 K, 10 K での磁化の磁場依存性を示す。40 K では強磁性に特徴的なヒステリシスが観測された。T_c より下の 30 K では、超伝導と強磁性状態の共存したヒステリシスが観測され、10 K では、ほぼ超伝導的なヒステリシスのみが観測された。以上の結果は、30 K 以下で超伝導近接効果によるバルク的な超伝導が系内に誘起されたことを示している。 Fig. 2 は正、ゼロ又は負の残留磁化を与えた試料のゼロ磁場冷却下における磁化の温度依存性 (外部磁場 15 Oe) を示す。約 30 K 以下で残留磁化による磁気モーメントが、その極性に依って自発的に増大する挙動が見られた (Fig. 2 挿入図参照)。 Fig. 3 にゼロ磁場で測定した μSR スペクトルの温度変化を示す。T_c 以下で緩和率の増大が観察され、その変化は 30 K 以下で特に顕著であった。これらの結果は、近接効果による系全体の超伝導化に伴い、試料内の強磁性成分に由来する磁束が自発的に量子化し、自発渦糸相が形成され、試料内の磁場分布の質的な変化が生じたことを示している。

[1] A. I. Buzdin, *Rev. Mod. Phys.* **77**, 935 (2005).

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

[3] 寺町 七海, 瀬戸 雄介, 櫻井 敬博, 太田 仁, 内野 隆司, 第 50 回応用物理学会春季学術講演会, [16p-Z29-11] (2021).

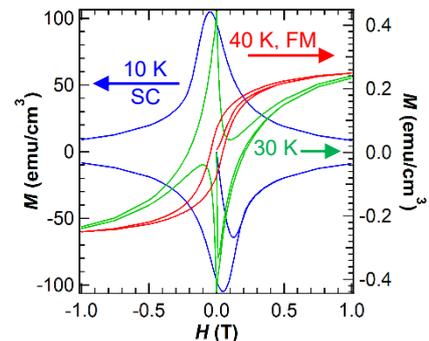


Fig. 1. Magnetic field dependence of magnetization measured at different temperatures.

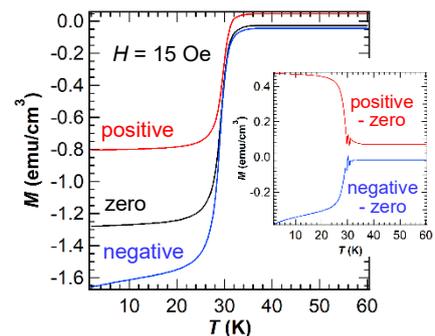


Fig. 2. Temperature dependence of the zero-field-cooled magnetization for the sample with positive, zero, and negative remanent states measured in $H = 15$ Oe. The inset shows the difference in magnetization between different remanent states indicated.

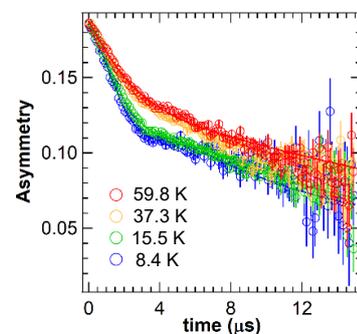


Fig. 3. Zero-field μSR spectra measured at different temperatures.