

強磁性体含有ジョセフソン接合系複合体の合成と超伝導特性

Synthesis and superconducting properties of Josephson coupled nanocomposites with ferromagnetic inclusions

神戸大理¹, CROSS², KEK³, NIMS⁴ ○(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, 大井 修一⁴, 立木 実⁴, 有沢 俊一⁴, 内野 隆司¹
Kobe Univ.¹, CROSS², KEK³, NIMS⁴ ○N. Teramachi¹, Y. Seto¹, T. Sakurai¹, H. Ohta¹, K. Ohishi²,
Y. Sakaguchi², A. Koda³, S. Ooi⁴, M. Tachiki⁴, S. Arisawa⁴, T. Uchino¹

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

【緒言】近年、我々は、 MgB_2 がフラクタル的に分散した $Mg/MgO/MgB_2$ 複合体が、超伝導体である MgB_2 の体積分率が 16%と希薄であっても、39 K で系全体が超伝導を示すことを報告した[1]。これは、フラクタル的に分布した超伝導体によって、超伝導近接効果が階層的に系全体で生じることで、バルク的な超伝導が発現したことを意味している。本研究では、磁気光学 (MO) イメージング観察を行うことで、バルク的な超伝導の発現の様子を視覚的に観察することを試みた。また、この複合体を応用して、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。同複合体の磁化測定・ミュオン緩和スペクトル (μ SR) 測定などから、超伝導と磁性の相互作用の結果生じると理論的に予測されている自発渦糸相[2]について、新たな知見を得ることを目的として研究を行った。

【実験】 Mg , B , B_2O_3 , $MnCO_3$ 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、 $Mg/MgO/MgB_2/\alpha'$ - 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 (密度 2.44 g/cm³) について、磁化測定、MO イメージング観察、 μ SR 測定を行った。

【結果と考察】Fig. 1 に 5 K での $M-H$ 曲線と MO 画像を示す。 $M-H$ 曲線から下部臨界磁場 H_{C1} は 540 Oe であることがわかった。この結果と符合して、MO 画像測定より 420 Oe の印加時でも試料内に磁場は侵入せず、試料全体で完全反磁性の超伝導が達成されていることが確認できた。Fig. 2 に 40 K, 30 K, 2 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、2 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. 3 にゼロ磁場で測定した μ SR 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量的かつ質的な変化が生じたことを示している。

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

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

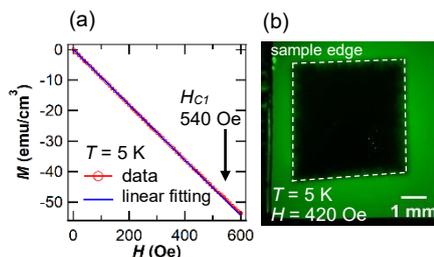


Fig. 1. (a) Magnetic field dependence of magnetization observed at 5 K. (b) An MO image in applied field at 420 Oe observed after zero-field cooling to 5 K.

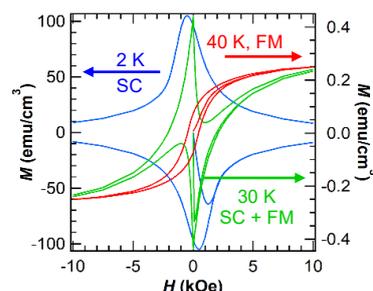


Fig. 2. Magnetic field dependence of magnetization observed at different temperatures.

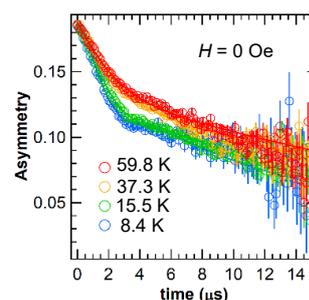


Fig. 3. Zero-field μ SR spectra measured at different temperatures.