

超伝導 YBCO-coated 線材の臨界電流特性の膜厚依存性

01232092 小田部研究室 吉田 貴昭

はじめに 超伝導体は臨界温度 T_c 以下に冷却すると直流電気抵抗がゼロとなることからその応用が期待されている。この応用において重要なパラメータが、電気抵抗を発生させることなく流すことのできる電流密度の最大値である臨界電流密度 J_c である。 T_c が高い高温超伝導線材として注目されているのが Bi 系線材と Y 系線材である。Y 系線材の $\text{YBa}_2\text{Ca}_3\text{O}_{7-\delta}$ (以下 YBCO)-coated 線材は Bi 系線材に比べ、 J_c がゼロとなる磁界である不可逆磁界 B_i が高く、高磁界での J_c が高いことが知られており、磁界中での応用にきわめて有望な線材として注目されている。YBCO-coated 線材は、様々な厚さの試料において測定されているが、薄い超伝導線材の J_c は低磁界において優れた特性を示す一方、高磁界においてはその特性は急激に劣化し、厚い線材に比べてかなり小さくなる¹⁾。従って、目的に応じた最適な厚みを設計するために、線材の臨界電流特性に対する厚みの影響を調べ、その機構を明らかにする必要がある。

本研究では膜厚の異なる 3 つの YBCO-coated 線材の臨界電流密度を評価し、膜厚依存性について議論した。また、その結果を磁束クリープ・フロー・モデルにより考察を行った。

実験 本研究では、超伝導工学研究所名古屋より提供された IBA (Ion Beam Assisted Deposition)/PLD (Pulsed Laser Deposition) 法により作製した膜厚の異なる YBCO-coated 線材を用いた。各試料の厚さ及び T_c は表 1 に示すとおりである。臨界電流密度 J_c の評価には SQUID 磁力計による直流磁化法及び 6T マグネットによる直流四端子法 (4 probe method) を行った。測定の際に、磁界は c 軸に対して平行に印加し、不可逆磁界 B_i は直流磁化法では $J_c = 1.0 \times 10^8 \text{ A/m}^2$ 、直流四端子法では $J_c = 3.0 \times 10^8 \text{ A/m}^2$ に減少した磁界により決定した。

表 1. 試料一覧

試料	$d(\mu\text{m})$	T_c -SQUID (K)	T_c -4probe (K)
#1	0.5	88.4	87.2
#2	1.0	88.2	87.1
#3	1.5	88.4	87.9

結果及び検討 図 1 に直流磁化法による 0.1 T での広い温度範囲での J_c の厚さ依存性を示す。図の実線は 2次元集合的ピンニングの機構²⁾が予測する $J_c \propto d^{-1/2}$ の関係であり、薄い試料は広い温度範囲でこれに従っているように見える。しかし、得られた J_c から求めた #3 のピンニング相関距離 l_{44} が両測定法で共に膜厚よりはるかに短いため、ピンニングは 3次元であることが分かる。よって、得られた厚さ依存性はピンニング機構によるものではなく、膜厚が厚くなるにつれて一般的に PLD 線材で確認されているように超伝導組織が劣化しているためだと考えられる。また厚さ依存性が温度によって変化しないこともこの仮定を裏付けている。

図 2 に 77.3 K における直流磁化法及び直流四端子法での B_i の膜厚依存性を示す。直流磁化法は電界領域が約 $1.0 \times 10^{-8} \text{ V/m}$ 以下の超低電界領域なのに対し、直流四端子法の電界領域は約 $1.0 \times 10^{-4} \text{ V/m}$ 以上の低電界領域であるため、 B_i に大きな差が出ている。直流磁化法においては膜厚の厚い試料の B_i が高いのに対し、直流四端子法においては全く逆の結果が得られた。これは磁束クリープ・フロー・モデルにおけるピン・ポテンシャル U_0 及び磁束バンドルを構成する磁束線の本数である g^2 により説明される。詳しい解析結果については当日発表する。

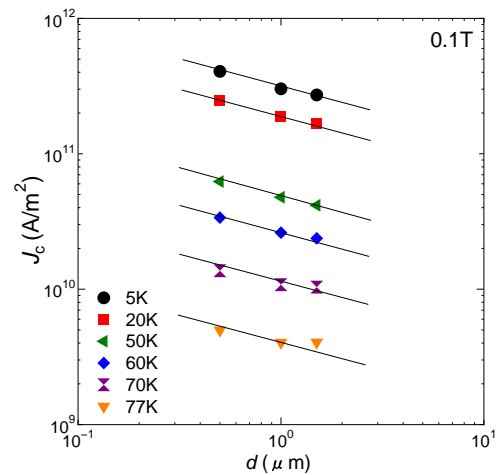


図 1：直流磁化法における 0.1 T での臨界電流密度の膜厚依存性。

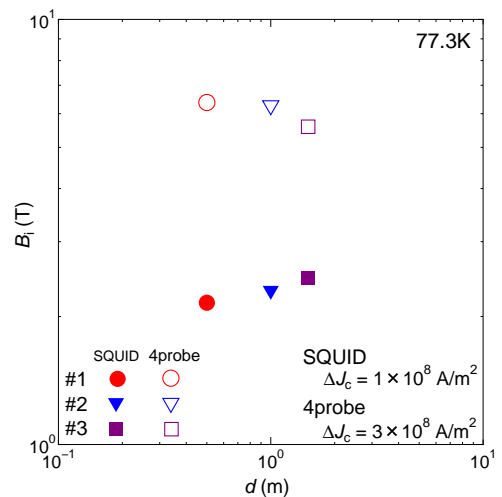


図 2：77.3 K における不可逆磁界の膜厚依存性。

【参考文献】

- 1) 渡辺ら：第 52 回応用物理学関係連合講演会 講演予稿集 30 p-ZA-15
- 2) R. Wördenweber *et al.* : Supercond. Sci. Technol. **12** (1999) R86.

【研究業績】

- 応用物理学学会九州支部学術講演会 (2005)