

ナノ粒子導入による REBCO コート線材の臨界電流密度の磁界角度異方性の低減

Reduction in the anisotropy in the critical current density by intruded nanoparticles

九工大・情報工¹ ○松下照男¹, 木内勝¹

Kyushu Inst. Technol.¹ ○Teruo Matsushita¹, Masaru Kiuchi¹

E-mail: matusita@cse.kyutech.ac.jp

1. はじめに

REBCO コート線材の臨界電流密度は上部臨界磁界の異方性のために大きな磁界角度異方性をもち、 c 軸方向の磁界において小さな値をとる。このため、応用にあたってはその異方性の低減が重要で、 c 軸方向の特性を強めるためにナノ・ロッドを導入する方法と、等方的なピンニング効果をもつナノ粒子を導入して異方正を小さくする方法が取られている。ここでは、後者の場合の異方性の低減についての解析を行った。

2. 解析

自然ピンによる臨界電流密度の異方性は、 $J_c(0)$ を c 軸方向磁界下の値として

$$J_{nc}(\theta) = J_c(0)B(\cos^2\theta + k^{-2}\sin^2\theta)^{-a} \quad (1)$$

で与えられるとする。ただし、 $k = J_c(\pi/2)/J_c(0)$ である。一方、ナノ粒子の直径を D_g とし、それが面内のコヒーレンス長 ξ_{ab} の 2 倍を超える場合、磁界方向が a - b 面内でも c 軸方向でも、1 個のナノ粒子の要素的ピン力は低磁界では異方性を持たず

$$f_p = \frac{\pi B_c^2 \xi_{ab} D_g}{4\mu_0} \quad (2)$$

で与えられる。ただし、 B_c は熱力学的臨界磁界である。ナノ粒子のような強いピンニングの場合、臨界電流密度はマッチング磁界 B^* 以下では

$$J_{ac} = \eta_e N_p f_p / B^* \quad (3)$$

の線形和の形になることが知られている。ここで N_p はピン濃度であり、 η_e はピンニング効率と呼ばれる定数で、今のように強い場合には $\eta_e \cong 1/2$ 程度である。マッチング磁界を超えた場合、ピンに捕まらない磁束線が現れるため、臨界電流密度は減少することとなり、

$$J_{ac} = \eta_e N_p f_p / B \quad (4)$$

となる。
自然ピンと人工ピンが共存する場合、それぞれランダムに分布し、かつ両者の間に相関がないことから、ピン力に集合和が成立し

$$J_c = (J_{nc}^2 + J_{ac}^2)^{1/2} \quad (5)$$

となる。

3. 検討

ここでは YGdBCO 線材についての実験結果と比較してみよう。図 1(a) はナノ粒子を導入していない場合の臨界電流密度の磁界角度異方性で、 $k^2 = 49$ および $a = 0.56$ とした。一方、図 1(b) は 20 nm の BZO ナノ粒子を添加した場合 (マッチング磁界は 0.67 T) の結果で、添加により異方性が低減されていることがわかる。このようにナノ粒子の導入は異方性の低減に有効であることが示される。

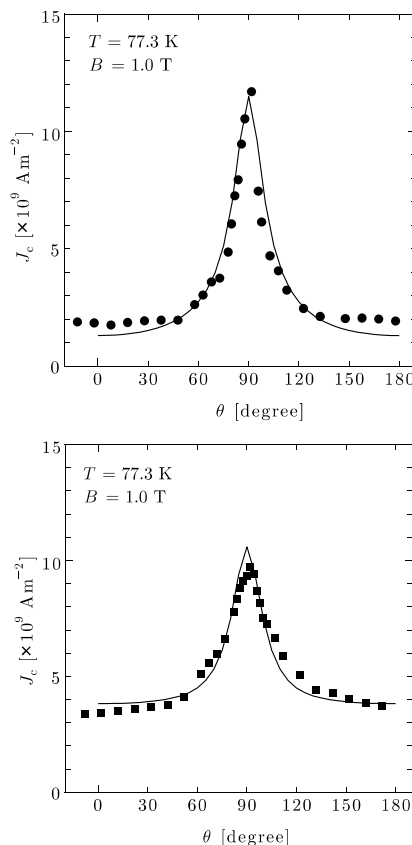


図 1. 1.0 T の磁界の下における YGdBCO 線材の磁界角度異方性。実線は理論予想を示す。(a) はナノ粒子を導入しない試料の結果で、(b) は BZO ナノ粒子を導入した試料の結果。