ナノロッド導入 (RE)BCO 薄膜の低温 $J_c(\theta)$ 特性についての新解釈

A new interpretation on the low-temperature $J_c(\theta)$ of (RE)BCO thin films with nanorods

産総研[1] ○山崎 裕文[1]

AIST[1] ○Hirofumi Yamasaki[1]

E-mail: h.yamasaki@aist.go.jp

はじめに (RE)BCO 薄膜に導入した $BaZrO_3$ (BZO) 等のナノロッドは c 軸相関ピンであり、臨界電流密度の磁界角度依存性 $J_c(H, \theta)$ において、77 K 等の高温度において大きな $J_c(\theta)$ ピークを示す。しかし、30 K 以下の低温度では c 軸方向の $J_c(\theta)$ピークが目立たなくなり、4.2 K ではほとんど出現しない。従来、この現象は、低温度においてのみ有効な点欠陥によるピンニングに帰されていたが [1–3]、磁界中 J_c が 65 K と 4.2 K で良い相関を示すという最近の報告 [4] などから、その解釈が疑問視される。今回、イントリンシック・ピンニングに基づく新解釈を提案する。

実験結果と考察 Xu らは、7.5 at.% BZO を含む $Y_{0.6}Gd_{0.4}Ba_2Cu_{2.3}O_x$ 薄膜 (T_c = 90.7 K、マッチング磁界 ~2.6 T) の幅広い温度・磁界範囲における J_c 特性を測定した [1]。50 K 以上で顕著な c 軸方向の $J_c(\theta)$ピークが観測されたが、30 K 以下で消失した。4.2 K における $J_c(\theta)$ 曲線を、図 1 の実線 (solid symbol) で示す。彼らは、BZO ナノロッド導入によって生じた歪みが高濃度の点欠陥をもたらし、その弱いピンが低温度で有効になって c 軸中心 $J_c(\theta)$ピークが消失したと推論している [1]。しかし、低温度では (RE)BCO の層状構造に起因するイントリンシック・ピンニングが有効であるので [5]、それによる説明の方が合理的である。

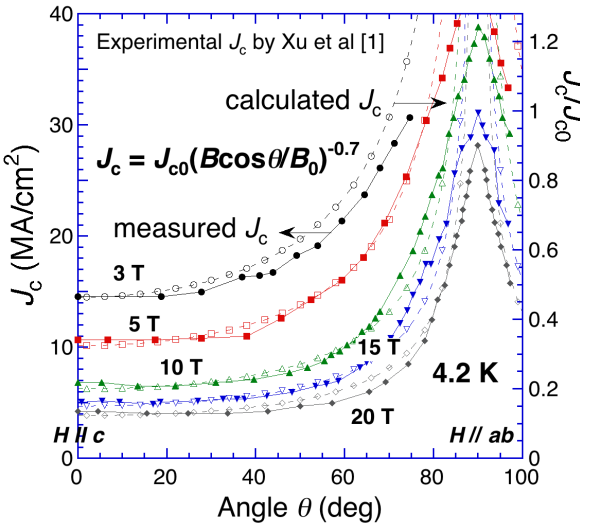


図 1 BZO ナノロッド導入 (Y, Gd)BCO 薄膜の 4.2 K における $J_c(\theta)$ 曲線。

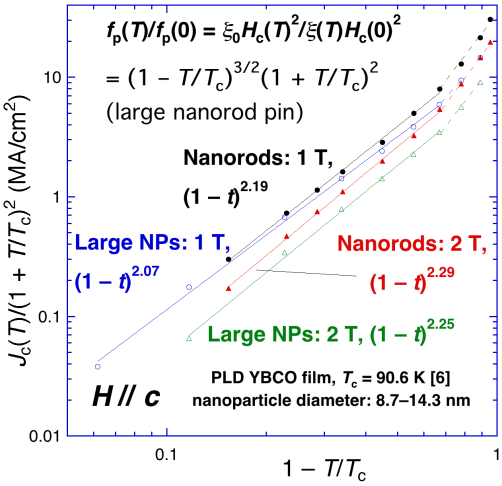


図 2 図 1 の薄膜とナノ粒子を含む YBCO 薄膜 [6] の $J_{c\perp}/(1 + T/T_c)^2$ vs $1 - T/T_c$ プロット。

4.2 K ではイントリンシックピンが強く働くため、ナノロッド導入 (RE)BCO 膜に c 軸から角度 θ の方向に磁界 B を印加すると、磁束は階段状に侵入する [5]。磁束ピン止め現象を ab 平面に平行な磁束部分と c 軸に平行な磁束部分とに分離して考えることができ、イントリンシックピンの濃度とピン止め力が大きいため、後者のみで $J_c(\theta)$ が決まる。 c 軸に平行な磁界中の $J_{c\perp} = J_{c0}(B_\perp/B_0)^{-0.7}$ であったため [1]、角度 θ の場合でも同様に c 軸方向の磁界成分で J_c が決まるとすると、$J_c(\theta) = J_{c0}(B\cos\theta/B_0)^{-0.7}$ (1) となる。(1) 式によって計算した結果を図 1 の破線 (open symbol) で示すが、実験結果とかなり良い一致を示す。微細な点欠陥の存在を疑問視する結果は、$J_{c\perp}$の温度依存性からも得られる。磁束のコア径よりも大きな円筒状のピンでは、$J_{c\perp}(T) \sim (1 - T/T_c)^m(1 + T/T_c)^2$, m =1.5 (2) が予想されるが [6]、熱励起磁束運動の効果などから、m は 2 以上となった (図 2)。30 K 以下の低温度で J_c が向上してプロットから外れるが、臨界磁界 H_c が、想定する $H_c(T) \sim 1 - (T/T_c)^2$ より低温で向上するからである。全体的に、同時にプロットしている比較的大きなナノ粒子 (nanoparticle, NP) を含む YBCO 膜 [6] と同様の結果である。

文献 [1] A. Xu et al.: Phys. Rev. B, **86** (2012) 115416. [2] 淡路他：低温工学, 49 (2014) 155. [3] S. Miura et al.: Supercond. Sci. Tech., **30** (2017) 084009. [4] V. Selvamanickam: ISS2018 WB1-1-INV. [5] M. Tachiki & S. Takahashi: Solid State Commun., **72** (1989) 1083. [6] H. Yamasaki & H. Yamada: Physica C, **542** (2017) 46.

© 2019年 応用物理学会