YBCO薄膜の磁束ピン止め特性に及ぼす微細Y_2O_3ナノ析出物のサイズ効果

Size effect of Y_2O_3 nano-precipitates on the flux-pinning properties of YBCO thin films

○山崎 裕文[1]、松井 浩明[2]（1. 産総研）

○Hirofumi Yamasaki[1], Hiroaki Matsui[2] (1. AIST), E-mail: h.yamasaki@aist.go.jp

はじめに (RE)BCO テープ線材の実用化を加速するため、YBCO 薄膜の臨界電流密度 J_c の磁界角度依存性 $J_c(H, \theta)$ 測定と透過電顕（TEM）観察による磁束ピン止め機構の解明を進めている。共蒸着法で作製した YBCO/CeO_2/Al_2O_3 薄膜では H // ab 中心の富士山型の J_c ピークが観測され、高濃度の微細ナノ析出物によることを示した [1]。今回、それが Y_2O_3 析出物であることを解明するとともに、粒子サイズがピン止め特性に及ぼす効果を調べた。[文献 [1] H. Yamasaki et al: Supercond. Sci. Tech., **21** (2008) 125011.]

実験結果と考察 通常よりも低温度で成膜した共蒸着法 YBCO 薄膜Aについて、$J_c(H, \theta)$と$\varepsilon(\theta) = (\cos^2\theta + \sin^2\theta/\gamma^2)^{1/2}$（$\gamma$ は YBCO の異方性で $\gamma = 7$）によるスケール則を図１に示す。B = 0.1–2 T の各曲線が一本の曲線としてつながり、小さなランダムピン（点欠陥）によってピン止めされていることがわかるが、TEM 観察と制限視野電子回折像から、微細 Y_2O_3 析出物によることがわかった（図２）。通常の温度で成膜した商用薄膜 B と比較したところ、薄膜Aの J_c は、60 K 以上では低いものの、20 K 等の低温度で高くなることがわかった（図３）。薄膜 A、薄膜 B のプランビュー TEM 写真で、高濃度の微細 Y_2O_3 ナノ析出物のうち輪郭がはっきりしているものについて番号を付して断面積測定を行った。400 個以上のナノ粒子について測定した断面積の統計分布を図４に示す。断面積の最頻値は、薄膜 A が 10–20 nm^2、薄膜 B が 20–30 nm^2 で、薄膜 A の方がより微細であることがわかった。体積 V のナノ粒子の径がコヒーレンス長$\xi(T)$の２倍よりも小さい場合、要素的ピン止め力は$f_p = \mu_0 H_c^2 V/2\xi$（H_cは熱力学的臨界磁界）と表される。薄膜 B のナノ粒子の体積の大きい効果で、$\xi(T)$の大きな高温度ではその J_c が高くなるが、$\xi(T)$が小さくなる低温度では上式から外れて体積効果が小さくなり、粒子濃度の大きい薄膜 A の方が J_c が高くなると説明できる。

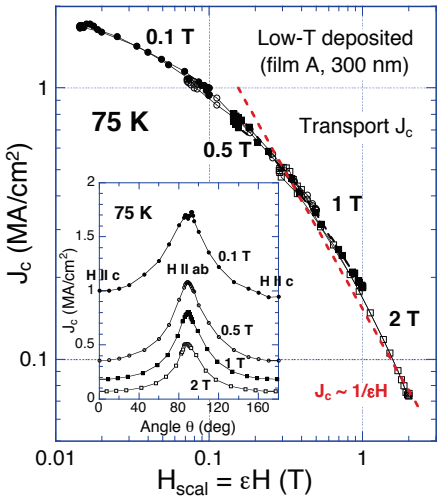

図１ YBCO 薄膜Aの $J_c(H, \theta)$（挿入図）と $H_{scal} = \varepsilon H$ によるスケール則

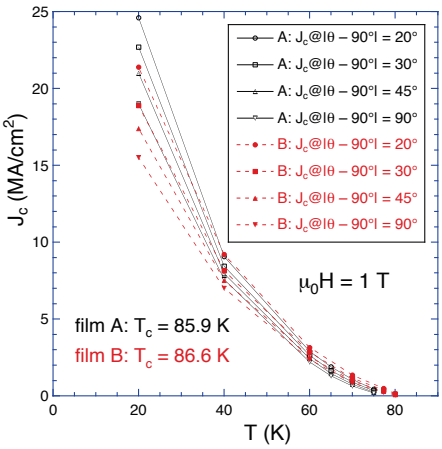

図３ 薄膜A, B の $J_c(B$=1T, $\theta)$ の比較

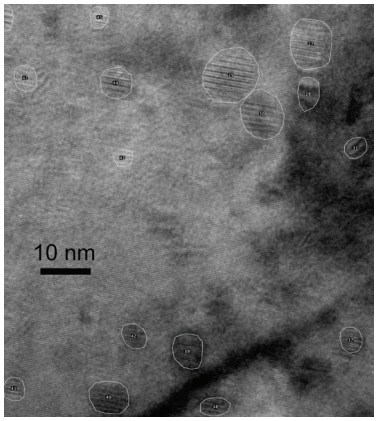

図２ 薄膜 A の平面 TEM 写真

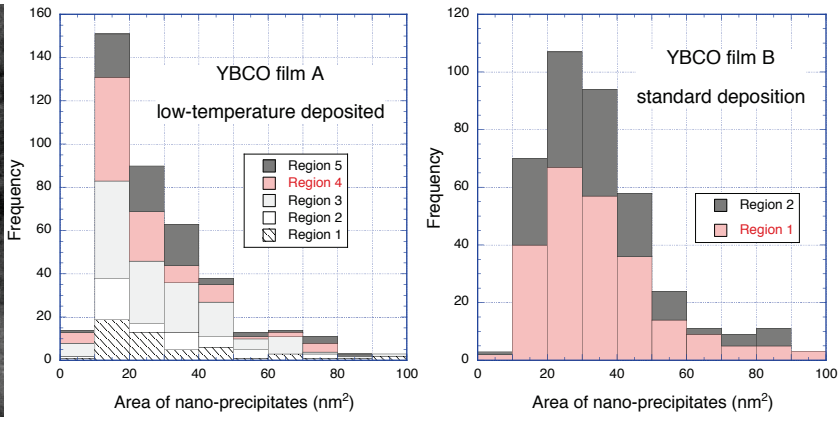

図４ 低温成膜薄膜 A、通常成膜薄膜 B のナノ粒子断面積分布

© 2016年 応用物理学会