有限長柱状ピンによる要素的ピン止め力の評価
– 柱状ピンの偏角を考慮した計算 –

Evaluation of elementary pinning force caused by finite-long columnar pin
– Considering the polar angle of columnar pin –

○ 岡田 達典、淡路 智　(東北大金研)
○Tatsunori OKADA and Satoshi AWAJI (Institute for Materials Research, Tohoku Univ.)
E-mail: tatsunori.okada.d8@tohoku.ac.jp

PLD 成膜レートの高速化を用いて短尺/粒子様 $BaMO_3$（M: Zr, Hf）ナノロッドを $REBa_2Cu_3O_{7-\delta}$（RE: 希土類元素/Y）線材へ導入する方法が注目されている [1–3]。有限長柱状ピンでは、膜厚に亘って成長した柱状ピンの場合にネックとなる臨界電流密度 J_c の異方性の改善が期待できるため、**有限長柱状ピンによる磁束ピン止め機構の理解は J_c 特性向上に向けた重要課題**の一つである。

前回、我々は **c 軸配向した有限長柱状ピンによる要素的ピン止め力の角度依存性 $f_p(\theta) \sim J_c(\theta)$ を正確に評価**し、短尺な柱状ピンほど $f_p(B \parallel c)$ ピークが緩やかになることを報告した [4]。この傾向は、短尺（長さ $2H \simeq 10$ nm）および少し長め（$2H \simeq 20$ nm）の $BaHfO_3$ ナノロッド [1,2] における $J_c(\theta)$ と定性的に整合する。一方で、計算による $f_p(B \parallel c)$ ピークは、観測された $J_c(B \parallel c)$ ピークに比べて明らかに鋭いという定量的な不一致が残った。

今回、**現実の有限長柱状ピンには長さや配向にバラつきがある**ことを鑑み、前回パラメータとした（ピン半径 R、ピン長さ $2H$、磁場角度 θ、有効質量比 γ、コヒーレンス長 ξ_{ab}）に加え、（c 軸からの偏角 ζ、ab 面内の方位角 φ）をも考慮した有限長柱状ピンの $f_p(\theta)$ を数値評価した。

計算結果の例として、方位角 φ を 60deg. に固定し、偏角 ζ を 0 – 60deg. で変化させた場合の $f_p(\theta)$ を図示した。ζ の増大に伴ない、$f_p(\theta)$ ピークが高角シフト・ブロード化する。このような $f_p(\theta)$ の変化に伴い、**理想的に c 軸配向した短尺柱状ピンの場合（$\zeta = 0$）に比べ、傾いた柱状ピン（$\zeta > 0$）が分布しているの場合の $f_p(B \parallel c)$ ピークはブロードになる**ことが確認できる。

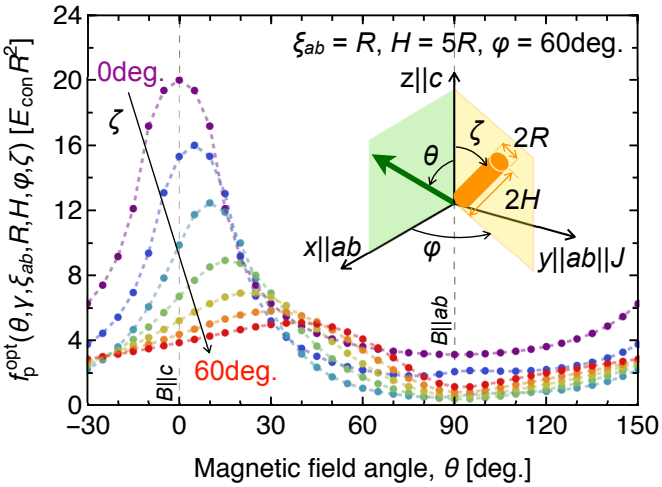

図 1: 有限長柱状ピンによる要素的ピン止め力の磁場角度依存性 $f_p(\theta)$ の例（$\gamma = 5$, $\xi_{ab} = R$, $H = 5R$, $\varphi = 60$deg.）。$\zeta = 0$deg. が c 軸配向した柱状ピン（前回報告）に当たる。

講演では、上記の数値計算結果に基づき、有限長柱状ピンによる要素的ピン止め力の角度依存性について報告・議論したい。

[1] S. Fujita *et al.*, IEEE TAS **29** (2019) 8001505.
[2] 淡路智ら、第 66 回応用物理学会春季学術講演会 (2019) 10p-S224-7.
[3] 原由子ら、第 82 回応用物理学会秋季学術講演会 (2021) 11p-N402-4.
[4] 岡田達典ら、第 82 回応用物理学会秋季学術講演会 (2021) 11p-N402-5.

© 2022年 応用物理学会