

運動エネルギーによる臨界電流密度の抑制効果

Suppression of Critical Current Density by Kinetic Energy

九工大情工 ○木内勝, 松下照男

Kyushu Inst. Technol., ○Masaru Kiuchi, Teruo Matsushita

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

はじめに

近年, REBCO 線材への人工ピンの導入によって, 臨界電流密度 J_c の改善がなされているが, これを対破壊電流密度 J_d に対してどこまで大きくできるかに関心が集まっている。 J_d は超伝導凝縮エネルギーの利得を消してしまう運動エネルギーの影響によって決まる。一方, ほとんどのピンニングによる J_c は凝縮エネルギーそのものにも依存しているので, 通常の J_d を決める機構とは異なる。ここでは, ピンニングを強くしていったときにどこまで J_c を大きくできるかについて理論的に考察する。

理論および検討

十分に低い磁界環境ではオーダーパラメーター $|\Psi|$ は空間的にはほとんど一定と見なせ, ϕ を Ψ の位相として $\nabla\Psi = i\Psi\nabla\phi$ とできる。G-L エネルギーは

$$F = \alpha|\Psi|^2 + \frac{1}{2}\beta|\Psi|^4 + \frac{m^*J^2}{8e^2|\Psi|^2}$$

となる。第 3 項が運動エネルギーである。この電流密度はピンニングの強さで決まる定数を k として

$$J = J_c = 2k \left(|\psi|^2 - \frac{1}{2}|\psi|^4 \right) J_d$$

で与えられる。ここで, $\psi = \Psi/|\Psi_\infty|$ であり, $J_d = H_c/\lambda$ (H_c と λ は熱力学的臨界磁界と侵入深さ) と近似する。規格化した G-L エネルギーは, $|\psi|^2 = x$ として

$$\left(\frac{1}{2}\mu_0 H_c^2 \right)^{-1} F = -2x + x^2 + k^2 x(2-x)^2$$

となり, これを最小化して解

$$x = \frac{1}{3k^2} \left[-1 + 4k^2 + (1 - 2k^2 + 4k^4)^{1/2} \right]$$

を得る。また, このときの規格化した臨界電流密度 $y = J_c/J_d$ は

$$y = \frac{2}{9k^3} \left[-1 + 2k^2 + 2k^4 + (1 - k^2)(1 - 2k^2 + 4k^4)^{1/2} \right]$$

で与えられる。ピンニングの強さ k に対する規格化したオーダーパラメーターと臨界電流密度の結果を Fig. 1 に示す。 k が十分小さい範囲では $x = 1$, $y = k$ と従来通りの結果となる。 k が大きくなるにつれ, x は 1 より大きくなり, J_c は増大して $k = 0.9152$ あたりで最高値 $0.671J_d$ をとり, それ以上の k の増加に対しては凝縮エネルギー $x - x^2/2$ の減少の影響が強く, 減少する。

結論

$|\psi|^2 = 1$ とした従来理論で $J_d = H_c/\lambda$ の 91.5%以上にピンニングを強くしても, 実際には 67.1%程度に留まることが理論的に明らかになった。

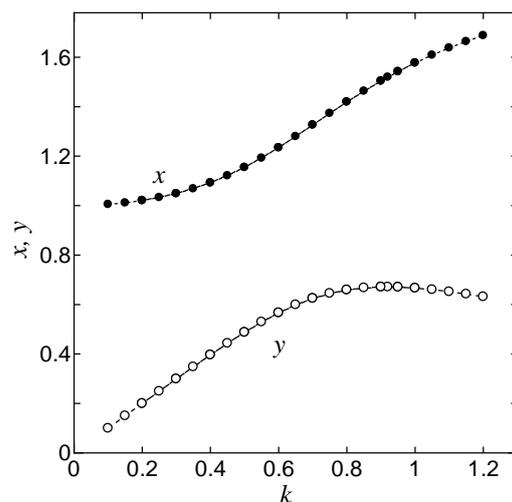


Fig. 1. Normalized order parameter (x) and critical current density (y) as a function of flux pinning strength (k).