

佐久川 露*, 小田部 荘司*, 馬渡 康徳**

*九州工業大学大学院情報創成工学専攻 **産業総合技術研究所

1. 緒言

第二種超伝導体では、磁場や電流密度が増加するとマイスナー状態から混合状態を経て常伝導状態へ移行する。マイスナー状態を維持できる最大の電流密度は臨界電流密度 J_c 、超伝導状態を維持できる最大値は対破壊電流密度 J_d とされる。本研究では、横磁場・縦磁場を印加した超伝導薄膜のマイスナー状態における臨界電流特性を解析し、臨界電流密度を高める条件を検討した。

2. 解析手法

本研究では、超伝導体における電流密度の限界を理解するために、Ginzburg-Landau (GL) 方程式を用いて、臨界電流密度が膜厚および外部磁場の強さにどのように依存するかを理論的に導出した。特に、臨界状態近傍における空間分布の変化や、磁場による超伝導特性の抑制効果に着目した。また、得られた理論式に基づいて、非線形 London 方程式を数値的に解くことで、実際の超伝導薄膜における振る舞いをシミュレートした。ここで、横磁場は電流方向と垂直に、縦磁場は電流方向と平行に印加されるものと定義し、それぞれの構成において臨界電流密度への影響を評価した。^[1]

3. 計算結果

ゼロ磁場中では、膜厚が薄いほど J_c および過熱磁場 B_{sh} は高くなる傾向があった (Fig. 1)。横磁場印加時の結果 (Fig. 2(a)) では、薄膜で磁場依存性が弱く、厚膜で依存性が強い。縦磁場印加時 (Fig. 2(b)) も同様に、薄膜では J_c の減少が緩やかであった。両場合とも理論式とよく一致し、解析の妥当性が確認された。また、縦磁場の方が J_c は常に高く、より有利であることが分かった。

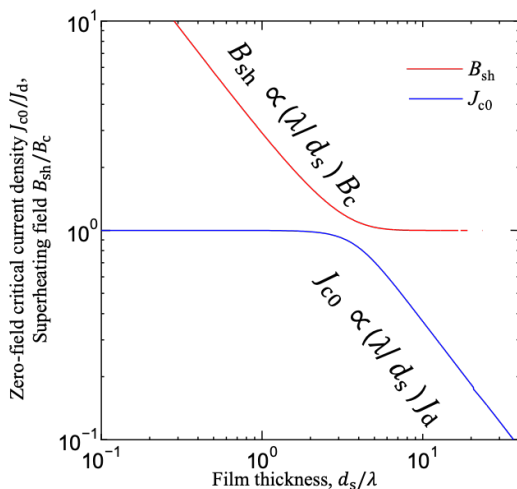


Fig. 1 Dependence of the zero-field critical current density J_{c0} and the superheating field B_{sh} on the film thickness d_s

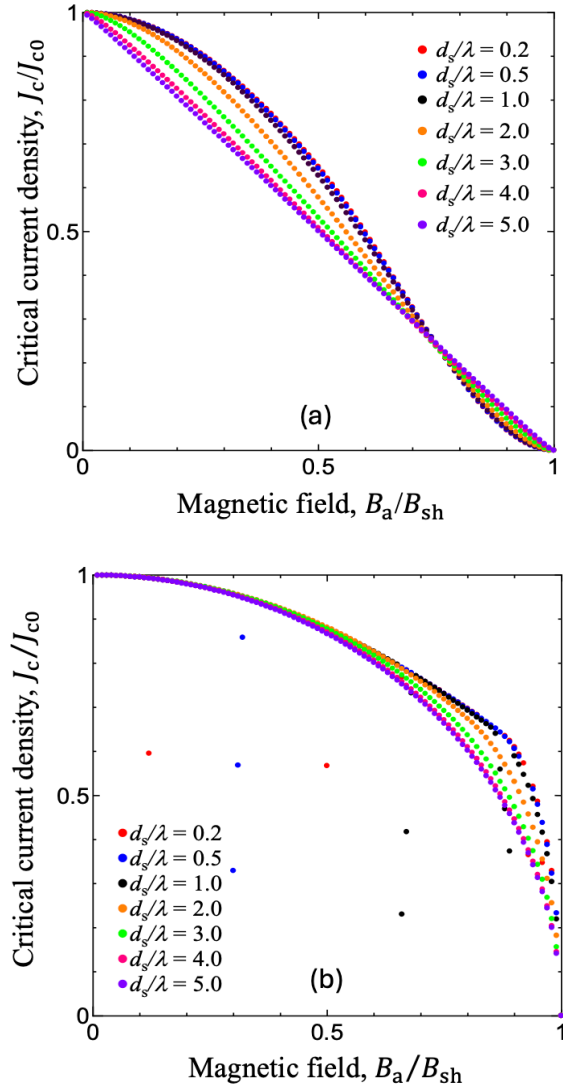


Fig. 2 Dependence of the critical current density J_c on the (a) transverse and (b) longitudinal magnetic field B_a , where J_c is scaled by J_{c0} and B_a is scaled by B_c

4. 結言

臨界電流密度を高めるためには、超伝導薄膜の膜厚をできる限り薄くし、さらに電流と平行な方向に縦磁場を印加することが有効であることが明らかとなった。これは、磁場の方向と膜厚が超伝導状態の安定性に大きく関与していることを示しており、超伝導薄膜デバイスの性能向上や臨界電流密度の最適化に向けた設計指針として有用な知見となる。

参考文献

[1] P. G. de Gennes, Solid Stat. Commun, 3, 127 (1965)