

学生番号	18676128	氏名	米塚 里奈
論文題目	時間依存ギンツブルグ-ランダウ方程式による 異方性を考慮した超伝導体内の磁束運動の研究		

1. 背景及び研究目的

超伝導体の応用例として、核磁気共鳴器(NMR)や磁気共鳴画像(MRI)がある。応用にあたり更なる臨界電流密度 J_c 特性の向上が求められており、高特性の超伝導材料開発が課題となっている。

第2種超伝導体の臨界電流密度 J_c はピンの形状や磁束線とピンの位置関係に大きく依存することが知られている。しかし、理論的に確認されたケースは少ない。そこで、本研究では3次元の時間依存ギンツブルグ-ランダウ(Time-Dependent Ginzburg-Landau: TDGL)方程式を数値的に解くことで、横磁界下での超伝導体内の磁束線の動きをシミュレーション空間内に再構成し、これを用いて様々な形状のピンによる磁束線のピン留め効果を系統的に調査した。

2. 計算方法

本研究では、真空中に囲まれた $20\xi \times 10\xi \times 10\xi$ の超伝導体を仮定した (ξ はコヒーレンス長)。結晶構造上の a, b, c 軸をシミュレーション上の x, y, z 軸とする。電流と磁界は Fig. 1(a)に示す方向にそれぞれ印加するものとした。そして、超伝導体から真空へ電流が流入及び流出しないという境界条件を与えている。また、ピン内部では強制的に超伝導電子密度が0となるようにした。ピンの形状は Fig. 1に示すように、球状ピン・yz面状ピン・z-axis柱状ピン・y-axis柱状ピンの4種類である。

規格化された外部磁界 $B = 0.1, 0.2, \dots, 0.6$ 、電流密度 $J = 0.01, 0.02, \dots, 0.385$ 、z軸の異方性パラメータ $\gamma_z = 1, 8, 64, 512$ で計算を行った。

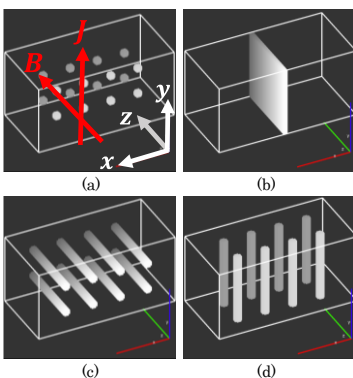


Fig. 1 様々な形状のピンを有する超伝導体
(a)球状ピン, (b)yz面状ピン,
(c)z-axis柱状ピン, (d)y-axis柱状ピン

3. 計算結果及び考察

Fig. 2に、z-axis柱状ピンの J_c - B 特性を示す。臨界電流密度 J_c は、磁界 B が増加するにつれて減少していく。 γ_z による差はあまり見られなかった。また、 $B = 0.4$ でピークが出現している。これはピンの間隔 d と磁束線格子間隔 a_f が一致するピーク効果によるものである。

Fig. 3に、 $B = 0.1$ における J_c - γ_z 特性を示す。最も高い J_c

はyz面状ピン、最も低い J_c はz-axis柱状ピンであった。低磁界： $B = 0.1$ では、ピンの面積が少ないほど高特性となる。ピンの面積が同じz-axis柱状ピンとy-axis柱状ピンで J_c に差があるのは、低磁界において出現する磁束線の本数が少ない為、確実に交差できるy-axis柱状ピンの方がピン留めされやすいことが原因である。その様子を Fig. 4に示す。磁束線の出現位置はランダムで、x軸方向に運動する。その為、z-axis柱状ピンは磁束がすり抜ける確率が高い。一方で、y-axis柱状ピンは必ず交差する。よって J_c が向上した。

球状ピンとy-axis柱状ピンは、 γ_z が大きくなるにつれて J_c が増加している。これは、 γ_z が大きくなるとx軸方向に磁束が繋がるためである(Fig. 5)。また、球状ピンとy-axis柱状ピンの特性がよく似た傾向であった。これは磁束とピンの鎖交体積が一致しているためである。yz面状ピンとz-axis柱状ピンは、 γ_z が増加しても J_c はあまり変わらなかった。これは、ピンと磁界が平行になっているためである。

このように、異方性を持つ超伝導体のピン留め効果を明らかにした。

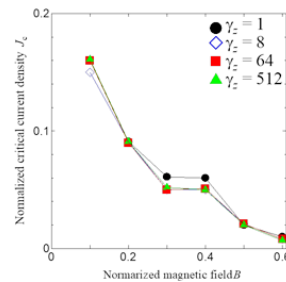


Fig. 2 z-axis柱状ピンの J_c - B 特性

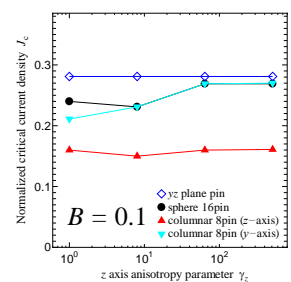


Fig. 3 $B = 0.1$ における J_c - γ_z 特性

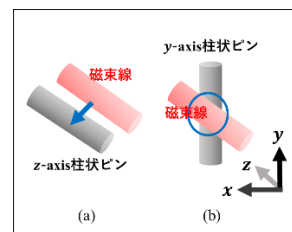


Fig. 4 ピンと磁束線の様子
(a)z-axis柱状ピン, (b)y-axis柱状ピン

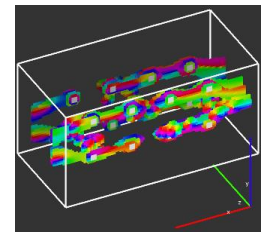


Fig. 5 $B = 0.1$ における
球状ピン($\gamma_z = 512$)

4. 研究業績

- R. Yonezuka, et al.: Journal of Physics Conference Series 1293 (2019) 012018
- R. Yonezuka, et al.: 31st International Symposium on Superconductivity, Tsukuba International Congress Center, December 12, 2018
- R. Yonezuka, et al.: 32nd International Symposium on Superconductivity, Miyako Messe Kyoto, December 5, 2019
- R. Yonezuka, et al.: 10th ACASC/ 2nd Asian-ICMC/ CSSJ Joint Conference, Okinawa Convention Center, January 8, 2020