異方性を考慮した 3 次元量子磁束構造のシミュレーション

Simulation of 3D quantized magnetic flux structure considering anisotropy

九工大 [1]，産総研 [2]，有明高専 [3] ○閻 洪 [1]，川畑 唯一 [1]，小田部 荘司 [1]，馬渡 康徳 [2]，松野 哲也 [3]

Kyushu Inst. of Tech.[1], AIST[2], Natl. Inst. of Tech. Ariake Coll.[3],

°Hong Yan [1], Yuito Kawabata [1], Edmund Soji Otabe[1], Yasunori Mawatari[2], Tetsuya Matsuno[3]

1. はじめに

第 2 種超伝導体の臨界電流密度J_cは異方性に大きく依存することが実験で確認されている。さらに、超伝導体内の磁束線を留めるピンについての様々な条件の違いよってJ_cが変化することが知られている。しかし、理論的に確認したケースが少ない。そこで、本研究では 3 次元の Time-Dependent Ginzburg-Landau (TDGL)方程式を数値的に解くことで、超伝導体内の量子化磁束線の動きを可視化し、これを用いて異方性と様々な条件のピンにおけるJ_cの関係を調べた。

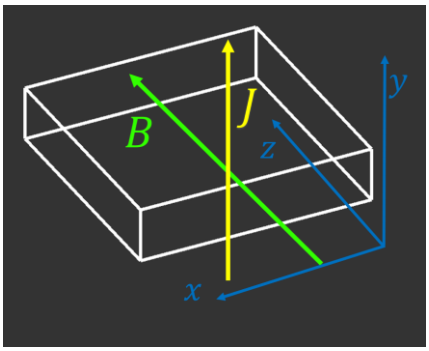

Fig. 1: Superconducting rectangular and directions of current and field.

2. 計算手法

本研究では 3 次元の TDGL 方程式を用いた計算を行った。真空中の超伝導細線はコヒーレンス長ξで規格化したサイズにおいて、辺の長さが$40\xi, 10\xi, 40\xi$の直方体を仮定する。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。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。

計算する超伝導体の様子を Fig. 1 に示す，電流をy軸と平行に流し磁界をx軸と平行に印加する。ここでは規格化された外部磁界$B = 0.1, 0.11, \cdots, 0.2$、規格化された電流密度$J = 0.01, 0.02, \cdots, 0.25$、$z$軸の異方性パラメータ$\gamma_z = 256, 512$を用いて計算を行った。

3. 結果

様々な形状のピンを導入した超伝導体におけるJ_c-B特性の調査を行った。Fig. 2 に異方性がない場合の面状ピン、z軸に沿った柱状ピン、y軸に沿った柱状ピン、球状ピンおよびピンがない超伝導体におけるJ_c-B特性を示す。面状ピンが最も高いJ_cを示している。y軸柱状ピン，球状ピンおよびピンがない場合Bが大きくなるにつれてJ_cが減少し、$B = 0.15$の時、J_cがほぼ0 になる。これが超伝導体と真空の境界面によるピンの影響と考えられる。つまりBが0.17より大きくなると境界面によるピンの影響がないと考えられる。

Fig. 3 に異方性パラメータ$\gamma_z = 512$の場合におけるJ_c-B特性を示す。球状ピンとy軸柱状ピンはピンがない超伝導体と同じJ_c-B特性を示している。z軸柱状ピンと面状ピンにおけるJ_c-B特性は異方性がない場合とほぼ変わらない。つまり、z軸柱状ピンと面状ピンにより異方性の効果を抑制することができることが分かる。

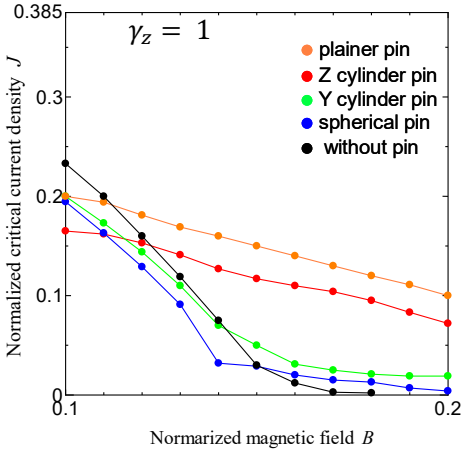

Fig. 2: Magnetic field dependence of critical current density in the absence of anisotropy.

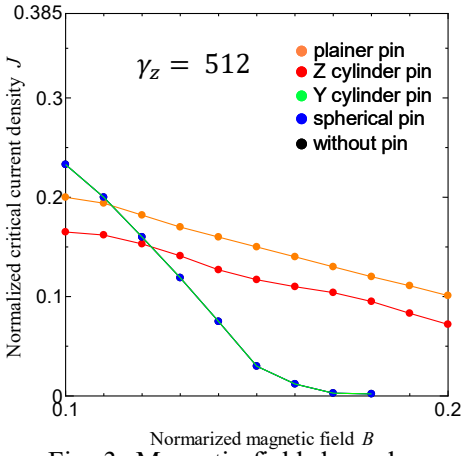

Fig. 3: Magnetic field dependence of critical current density in the case of $\gamma_z = 512$.

謝辞

この研究は科研費(19H00771)の助成を受けている。