学生番号	12232066	氏　名	久野昌隆
論文題目	時間依存性 Ginzburg-Landau 方程式を用いた超伝導体内の磁束線評価		

1. はじめに

Time-Dependent Ginzburg-Landau 方程式(TDGL 方程式)は超伝導と常伝導の相転移を現象的にとらえるためにオーダーパラメータについて議論している Ginzburg-Landau 方程式(GL 方程式)を時間発展させたものである。オーダーパラメータ$\varPsi$の絶対値の二乗と超伝導電子密度n_sは比例関係にあるため、$\varPsi$の大小で超伝導状態を把握できる。今回は TDGL 方程式をオーダーパラメータの実部、虚部の時間をずらして、解く Finite-Difference Time-Domain 法(FDTD 法)を用いることにより、時間変化における量子化磁束線の動きの変化の様子を計算し、考察する。シミュレーションは電流に対して磁界を垂直に与える横磁界と、電流に磁界を平行に与える縦磁界の 2 つの場合において実行した。

2. 計算方法

解くべき方程式は、GL 方程式のオーダーパラメータ$\varPsi$と超伝導電流Jに関する式を規格化した以下のような式となる。

$$\frac{\partial\varPsi}{\partial t}+\mathrm{i}V\varPsi+(-\mathrm{i}\nabla-\boldsymbol{A})^2\varPsi-\varPsi+|\varPsi|^2\varPsi=0$$

$$\sigma\nabla^2 V=\frac{1}{2}(\varPsi^*\nabla^2\varPsi-\varPsi\nabla^2\varPsi^*)-\nabla\cdot(|\varPsi|^2\boldsymbol{A})$$

ここで、$\varPsi$はオーダーパラメータ、Vはスカラーポテンシャル、$\boldsymbol{A}$はベクトルポテンシャル、σは常伝導状態の導電率となっている。

また、今回は磁場侵入長より細い超伝導体を仮定したため、オーダーパラメータは外部磁界のみに依存する変数となる。具体的には、横磁界の場合は

$$\boldsymbol{A}\ =\ B_{\mathrm{ext}}x\boldsymbol{i}_y$$

となる。また、縦磁界の場合は

$$\boldsymbol{A}\ =\frac{B_{\mathrm{ext}}z\boldsymbol{i}_x}{2}+\frac{B_{\mathrm{ext}}x\boldsymbol{i}_z}{2}$$

で与えられる。B_{ext}は外部磁界、$\boldsymbol{i}_x,\boldsymbol{i}_y,\boldsymbol{i}_z$はそれぞれ$x,y,z$軸の単位ベクトルである。

3. 結果および考察

2 次元における数値解析と 3 次元における数値解析結果をそれぞれ Fig. 1, 2 に示す。

Fig. 1 の左図は位相を、右図はオーダーパラメータの分布を表している。右図の黒点になっている部分を見ると、オーダーパラメータが低くなっていて量子化磁束が侵入しているということが分かる。左図と対応させると、磁束線の中心部分で位相の特異点があるということが分かる。

Fig. 2 は磁束密度Bを$B=0.40$、電流密度Jを$J=0.20$の状態でシミュレーションしたものである。時間が推移して(a)から(b)になるにつれて磁束線の回転により位相がずれていることと、磁束線のねじれがなくなって磁束線が安定してきていることがわかる。

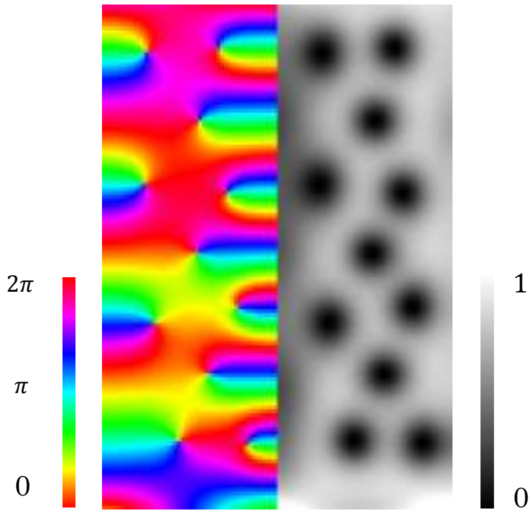
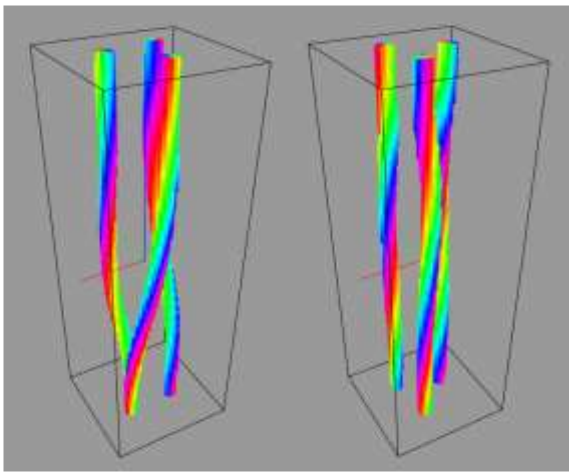


Fig. 1: (a) Phase and (b) amplitude of order parameter of superconductor in transverse magnetic field.



(a) (b)

Fig. 2: Fluxoid in longitudinal magnetic field for (a) $t=150$, (b) $t=250$, at $|\varPsi|^2\leq\ 0.1$.