九州工業大学大学院情報工学府　先端情報工学専攻　電子情報工学分野（小田部研究室）

学生番号	14676130	氏　名	増田　嘉道
論文題目	時間依存 Ginzburg-Landau 方程式を用いた縦磁界下の超伝導体内の磁束線に関する研究		

1.はじめに

Time-Dependent Ginzburg-Landau 方程式(TDGL 方程式)は非定常状態の超伝導を記述することができる現象論的モデルとしてよく知られており、TDGL 方程式を元にした量子化磁束線のダイナミクスに関する研究が多く存在する。一方、超伝導線材において電流に平行に磁界を印加するときに現れる縦磁界効果は、未解決の問題を含む興味ある問題である。よって本研究では、3 次元の TDGL 方程式をオーダーパラメータΨの実部と虚部の時間をずらして解く FDTD 法を用いて、縦磁界下の超伝導体内における量子化磁束線の状態・運動について、論理的考察を行った。

2.計算手法

今回の計算は 3 次元の TDGL 方程式について計算を行った。この方程式を計算するにあたり、磁場侵入長より細い超伝導細線を想定したことによって、ベクトルポテンシャル$\boldsymbol{A}$は外部磁界のみに依存し、縦磁界において

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

で与えられる。ここで、B_{ext}は外部磁界を、$\boldsymbol{i}_x$、$\boldsymbol{i}_z$はそれぞれx軸、z軸方向の単位ベクトルを表している。解くべき方程式は、規格化した形で以下の 2 式のようになり、ここで、Ψはオーダーパラメータ、Vはスカラーポテンシャル、σは常伝導状態での導電率である。

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

$$\sigma\nabla^2 V = \frac{\mathrm{i}}{2}(\Psi^*\nabla^2\Psi - \Psi\nabla^2\Psi^*) - \nabla\cdot(|\Psi|^2\boldsymbol{A})$$

考察する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、10×10 の正方形断面をもち、長さは 30 の直方体を仮定した。条件は側面からの電流の流出はなく、電流と磁場は Fig. 1 に示す通り、ともに細線の長手方向にかけるものとした。また、時間ごとの電流と磁場は通常通り規格化した値において電流密度$J = 0.2$、外部磁界$B_{\text{ext}} = 0.4$の一定値とした。今回はエネルギーの観点から計算の安定性を確認する。さらに、オーダーパラメータΨの計算結果より、$|\Psi|^2 < 0.1$において位相に準じた色をプロットすることで、磁束線の状態を判断した。

3.結果

Fig. 2 にこの計算におけるエネルギーの時間依存性を示す。この図からわかるように、$0 < \mathrm{t} < 150$において非常に不安定な状態が続いた。その後、$\mathrm{t} > 150$において全体のエネルギーはほぼ一定となっていることから、計算が安定していることがわかる。

次に磁束線の運動の計算結果の一例を Fig. 3 に示す。計算過程において、Fig. 3 左図から右図のように発展した様子が確認できた。この時、超伝導体の長手方向に沿って侵入していた磁束線の位相が、時間の経過とともに回転しながらねじれがきつくなりつつ、直線に近づいていく様子が確認できた。

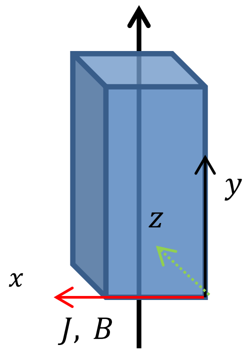

Fig. 1:Schematic view of the superconducting wire, current, and magnetic field

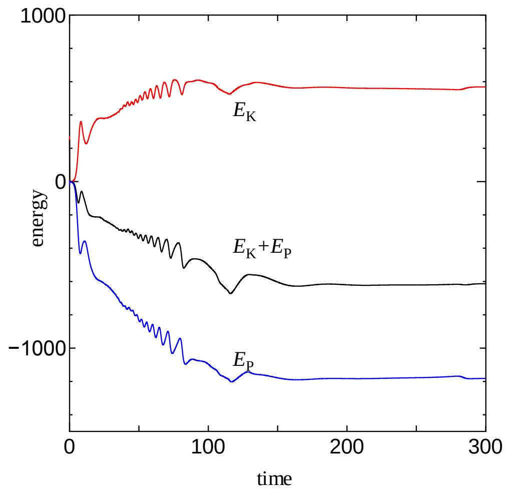

Fig. 2: Time dependences of kinectic and potencial

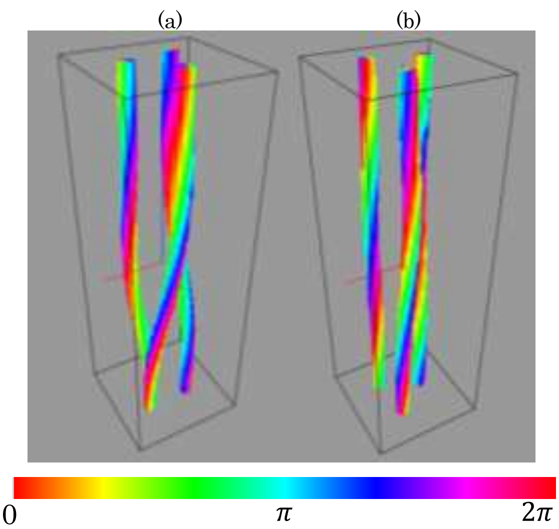

Fig. 3:Fluxoid in longitudinal magnetic field for $J = 0.2, B = 0.4$ at (a)t=150 and (b)t=230.