

縦磁界下の超伝導細線における磁束線の運動に関する TDGL シミュレーション TDGL simulation on motion of flux lines in a thin superconducting wire in a longitudinal field

九工大¹, 産総研², 有明高専³ ◯増田 嘉道¹, 小田部 荘司¹, 木内 勝¹, 馬渡 康德², 松野 哲也³

Kyushu Inst. of Tech.¹, AIST², Ariake Natl. Coll. of Tech.

◯Yoshimichi Masuda¹, Edmund Soji Otabe¹, Masaru Kiuchi¹, Mawatari Yasunori²,
Tetsuya Matsuno³

E-mail : masuda@aquarius10.cse.kyutech.ac.jp

1.はじめに

Time-Dependent Ginzburg-Landau (TDGL)方程式は非定常状態の超伝導現象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 finite-difference time-domain (FDTD)法によって解き、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、理論的考察を行った。

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、 B_{ext} を外部磁場として、ベクトルポテンシャルは $\mathbf{A} = (-B_{\text{ext}}z/2, 0, B_{\text{ext}}x/2)$ で与える。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 は常伝導電気伝導率である。

$$\frac{d\psi}{dt} + iV\psi + (i\nabla + \mathbf{A})^2\psi - \psi + |\psi|^2\psi = 0$$

$$\sigma \nabla^2 V = \frac{1}{2i} (\psi^* \nabla^2 \psi - \psi \nabla^2 \psi^*) - \nabla \cdot (|\psi|^2 \mathbf{A})$$

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、 14×14 の正方形断面をもち、長さは40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(y 方向)にかけるものとした。また、電流と磁場は通常通り規格化した値において電流密度 $J = 0.1$ 、外部磁界 $B_{\text{ext}} = 0.2$ の一定値とした。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プロットを示す。このプロットからわかるように、全体のエネルギーはほぼ一定となっており、計算が安定していることがわかる。

次に計算結果の一例を 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、左図における左側の磁束線が右図のように斜め方向にまっすぐに移動していた。この時、磁束線のy軸に対して右ねじ方向にねじれていることがわかる。

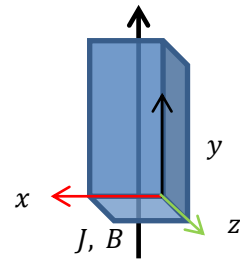


Fig. 1: Geometry of the superconducting wire, current, and magnetic field

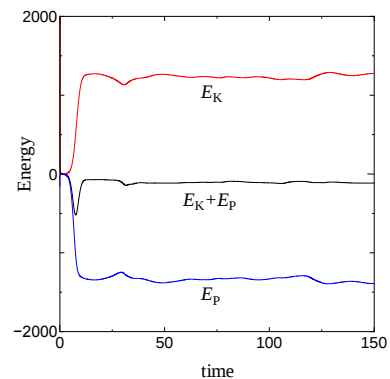


Fig. 2: Plot about kinetic and potential energy.

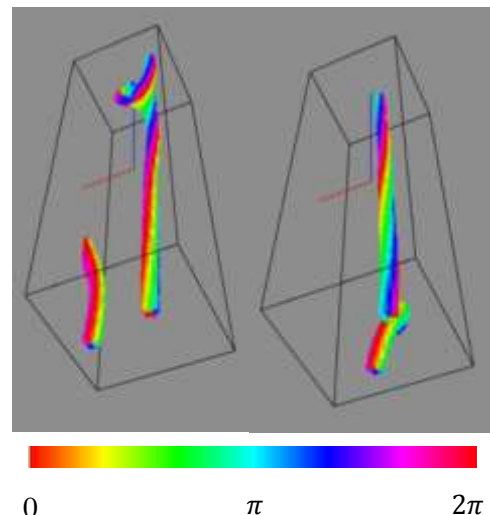


Fig. 3: Motion of flux lines in a superconducting wire.
($t = (a)34, (b)40$)