

はじめに 十分広い超伝導薄膜の表面上で小さなコイルに  $I_0 \cos \omega t$  の電流を流し、表面に対して垂直な磁界を加えると、コイルに  $V_3 \cos(3\omega t + \theta_3)$  の第三高調波電圧が誘導されることが知られている。この  $I_0$ - $V_3$  の関係は臨界状態モデルを用いて超伝導薄膜に加わる磁界が遮蔽電流のため表面に平行になると仮定して、近似的に導くことができる。しかし、実際には超伝導薄膜の表面に対して平行でない磁界を持つ領域も存在しており、先程の仮定が結果にどのように影響するか分からない。また、実際にこれらの影響を考慮して解析的に計算することは非常に困難である。そこで本研究ではこれらの現象を有限要素法 (FEM) を用いて数値計算を行い、この数値計算による結果を理論により求めた結果および実際の YBCO 薄膜による実験結果と比較及び検討する。

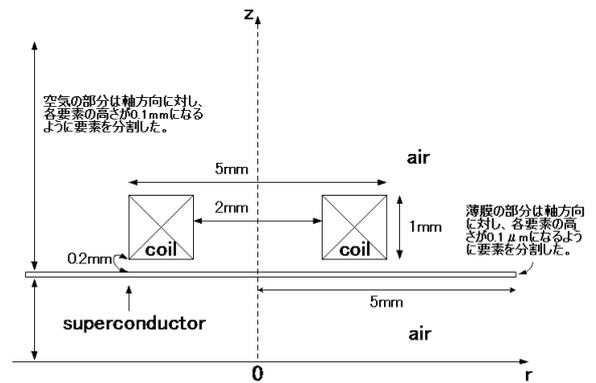


Fig. 1. Geometrical arrangement for numerical calculation.

**数値計算** 有限要素法を用いてコイル及び超伝導体の磁束密度分布を求める。モデルは馬渡ら<sup>1)</sup>の実験に合わせて超伝導体の厚さが  $0.6 \mu\text{m}$  の薄膜モデルを用いた。薄膜モデルは磁束が超伝導体を突き抜けるのを観察するため超伝導層の下に空気層を仮定した。モデルの断面図を Fig. 1 に示す。但し実際の数値計算では計算時間を短縮するために、方位角方向の対称性から 360 分の 1 モデルを用いた。また、コイルの巻き数は 400 回とし、臨界電流密度が磁界に依存性しないという Bean モデルを仮定した。

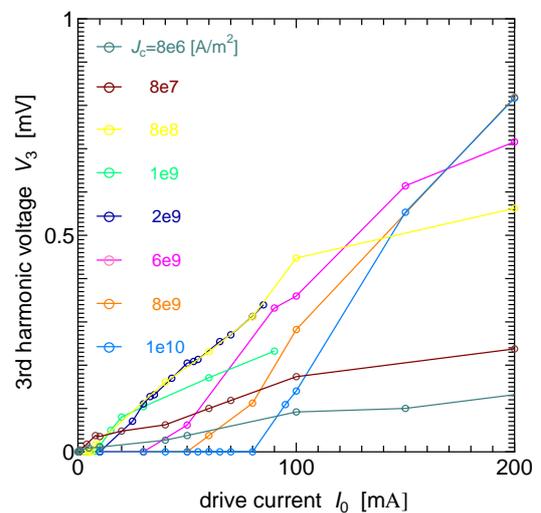


Fig. 2. Drive-current amplitude  $I_0$  dependence of harmonic voltage amplitude  $V_3$ .

第三高調波電圧に対する超伝導薄膜の臨界電流密度  $J_c$  及びコイルに流す電流  $I_0$  の依存性を調べるために様々な  $J_c$  及び  $I_0$  における第三高調波電圧を求めた。また、欠陥を模擬して、薄膜に一部臨界電流密度が異なる領域が存在するとき、それが第三高調波電圧に与える影響についても調べた。

**結果及び検討** Fig. 2 に有限要素法における数値計算により得られた第三高調波電圧-輸送電流特性を示す。すべての臨界電流密度において  $I_0$  がある閾値電流  $I_{c0}$  を越えると第三高調波電圧が誘導されていることがわかる。ここで閾値電流  $I_{c0}$  は有限要素法による数値計算の出力によって決定した。また、薄膜の臨界電流密度を下げると閾値電流  $I_{c0}$  も下がっていることが分かる。また、 $J_c$  と  $I_{c0}$  には比例関係が成り立っておりこれは理論による予想と一致している。

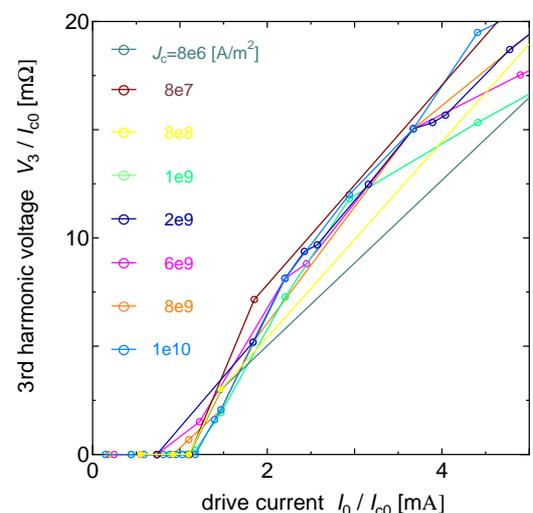


Fig. 3. Scaled curves of  $V_3/I_{c0}$  vs  $I_0/I_{c0}$ .

また、Fig. 3 に  $I_{c0}$  と  $V_3$  を  $I_{c0}$  で規格化した第三高調波電圧-輸送電流特性を示す。理論によるとこの第三高調波を  $I_{c0}$  で規格化するとスケールが成り立つ。図から分かるように 1 桁にわたる臨界電流密度領域でスケールがほぼ成り立っていることが分かる。一方で、 $J_c$  を空間的に一部変えたモデルではスケールが成り立たなかった。

【参考文献】

- 1) Y. Mawatari, H. Yamasaki, Y. Nakagawa : *Appl. Phys. Lett.* 81, 2424 (2002)