

誘導法による薄膜超電導体の J_c 測定及び スケーリング則に基づく n 値の評価

Application of an inductive technique to the measurement of J_c of thin film superconductors
and the evaluation of n -value based on a scaling law

超電導工学研究所 中尾公一, 荒木猛司, 田島節子, 平林泉
K.Nakao, T.Araki, S.Tajima and I.Hirabayashi
Superconductivity Research Laboratory, ISTE
E-mail: nakao@istec.or.jp

1.はじめに

超電導体表面に交流磁場を印加し、誘導される電流を測定する、いわゆる誘導法は非接触的に超電導体の臨界電流値を測定する方法として広く行なわれている [1,2]。誘導法により臨界電流値を測定する原理は、印加磁場が完全に遮蔽される限りにおいては誘導電流の時間変化は印加電流（正弦波）に比例するが、臨界電流によっても遮蔽が不可能になると誘導電流の時間変化が正弦波的でなくなり、高調波成分があらわれるというものである。

誘導法の解析は、これまで殆ど臨界状態モデルに即して行なわれてきた。それらの解析は膜厚方向に臨界状態が成立しているという仮定から出発している。しかし我々の考えではこの仮定はいくつかの問題を含んでいる。通常の実験条件のもとでは膜に平行な磁束密度の値は 100 G 程度であるがその時量子化磁束間の距離は 0.4 ミクロン程度である。従って、外部磁場が無い場合膜圧方向にはほんの数本の量子化磁束が存在するだけであって、多数の量子化磁束の存在を前提とし、その密度勾配が一定であるとする臨界状態モデルが良い近似になっているとは考えにくい。また臨界状態モデルの範囲では測定結果は印加する交流磁場の周波数には依存しないはずであるが、実際には大きな周波数依存性があるという問題もある。

ところで超電導体の電流電圧特性は多くの場合 $V \propto I^n$ のようなべき乗則で表わされることが経験的に知られている。指数 n が n 値と呼ばれる量で超電導体の特性を表わす重要なパラメータとみなされている。 n 値が無限大になった極限が臨界状態モデルに相当すると考えることも出来る。我々は誘導法の解析に際しても臨界状態モデルでなく、このような電流電圧特性から出発するべきであると考え。電流電圧特性がべき乗則になるメカニズムはここでは問わない。また問題になる周波数領域では電流電圧特性自体は周波数依存性を持たないと仮定する。

2.実験

使用した試料は単結晶基板上に TFA-MOD 法により成長させた YBCO 薄膜である。膜厚は 150 nm であった。交流磁場を印加するためのドライブコイルと信号を検出するためのコイルを別にする 2-コイル法を採用した。可変相互インダクタンスを介在させることにより 2つのコイルの直接の結合による基本波成分を極力小さくした。周波数は 15 Hz から 960 Hz の間で変化させ、第 3 高調波成分はロックインアンプ (SR830) によって測定した。

3.実験結果と解析

Fig.1 に測定結果の一例を示す。縦軸は第 3 高調波成分を周波数で割ったもの、横軸はドライブコイルの電流振幅である。周波数が低い程高調波成分は早めに現われる。

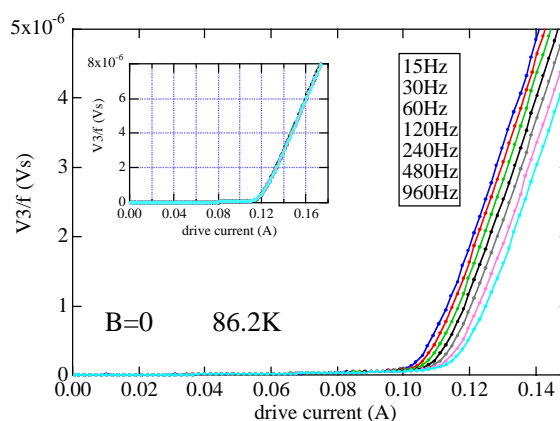


Fig.1 Third harmonic component divided by frequency plotted against the drive current.

Inset shows scaled curves.

べき乗則に従う電流電圧特性を仮定することにより、超電導体に誘起される電流は次の方程式の解として表わされる。

$$2\pi r c I(r, t)^n = -d \int_0^{\infty} M(r, r') \dot{I}(r', t) dr' - M_0(r) \omega I_0 \cos \omega t$$

ここで d は膜厚、 $M(r, r')$ は半径 r と r' の円同士の相互インダクタンス、 $I(r, t)$ は r の位置に誘導された電流密度、 $M_0(r)$ はドライブコイルと半径 r の円との間の相互インダクタンス、 I_0 はドライブ電流の振幅、 ω はその角周波数である。超電導体はコイルに比べて大きいとして、試料端の影響は無視した。この方程式はある顕著なスケーリング則を満たしている [3]。すなわち他の条件を一定にして周波数のみを変えて測定した時、第 3 高調波成分を周波数で割った量とドライブ電流の振幅との関係を表わすグラフはすべて相似形となり、相似比は周波数比と n 値とで決まる。実際に Fig.1 の挿入図に示す通り、すべての曲線は適当な倍率を掛けることによりすべて重なる。このようにして決めた相似比と周波数比から Fig.1 の場合 $n = 40.7$ と求められた。

本研究は、超電導応用基盤技術研究体の研究として、新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の委託により実施したものである。

参考文献

- [1] J.H.Claassen et al.: Rev. Sci. Instrum. **62** (1991) 996.
- [2] H.Yamasaki et al.: Appl. Phys. Lett. **82** (2003) 3275.
- [3] E.H.Brandt: Phys. Rev. **B55** (1997) 14513.