

第三高調波電圧誘導法による臨界電流密度評価に対する磁束線可逆運動の影響

03232038 松下研究室 辻田 俊介

はじめに 超伝導体は温度を臨界温度 T_c 以下まで冷却すると、抵抗がなくなってしまう物質のことであり、様々な分野での応用が期待される。応用にあたっては、抵抗ゼロの状態で流しうる最大の電流値である臨界電流密度 J_c が重要な要素であり、これを測定することは実用上非常に有意義である。今回は J_c を測定する方法の一つである第三高調波電圧誘導法による測定を行う。この方法は、超伝導薄膜の直上にコイルを置いて交流電流を通電し、ピックアップコイルに誘導される電圧の第三高調波成分から J_c を評価する方法である。コイルから発生している交流磁界が試料の反対側に突き抜ける時に第三高調波電圧が急激に大きくなるので、このときの交流電流の振幅の閾値 I_{th} から J_c が求まる。また、このときの電界 E_c は J_c を用いて決定できる。また、コイルに流す電流の周波数を変えて測定することで違った J_c および E_c が決定できるので、これから E - J 特性を評価することができる。しかし実際の応用に際しては、膜厚が交流磁界の侵入長 λ_0' と同程度の時に磁束線の可逆運動が顕著であるのに対し、完全に不可逆な現象を仮定している式を用いて J_c を求めるという従来の手法では、 J_c が過大評価される恐れがある¹⁾。

本研究では液体窒素温度以上の T_c を持ち、応用が期待される YBCO-coated 線材について膜厚の異なる試料で第三高調波電圧誘導法により E - J 特性を評価し、膜厚によりどの程度磁束の可逆運動の影響を受け、 J_c が過大評価されるのかを測定する。また、その結果について Campbell モデル²⁾ を用いて解析を行い、こうした過大評価が磁束線の可逆運動によるものであることを示すことを目的とする。

実験 試料は IBAD-PLD 法で製造された coated 線材であり、諸元を表1に示す。表1中の J_c は試料を提供していただいた機関での四端子法による測定結果で、自己磁界中での 77.3 K における値である。また用いたコイルの諸元を表2に示す。測定した周波数領域は 130~1024 Hz である。液体窒素中の 77.3 K で測定を行い、磁界は c 軸に平行に 0.1~3 T の範囲で印加した。

結果と考察 図1に #2 の試料に関して直流四端子法、磁化緩和法及び第三高調波電圧誘導法により測定した E - J 特性を示す。また図2に Campbell モデルの理論による結果と、各試料における過大評価の割合を比較して示す。ただし、直流四端子法により得られた臨界電流密度を真の J_c 、第三高調波電圧誘導法により得られた臨界電流密度を見かけの J_c' としており、電界基準をいずれも $E_c = 3.0 \times 10^{-6}$ V/m として J_c と J_c' を決定している。図2中の #1, #2 の薄い試料において、膜厚に対する交流磁界の侵入長 λ_0'/d の値が大きくなるにつれて過大評価の割合が大きくなっていることが分かる。これは膜厚が小さいほど λ_0'/d の値が大きくなり、磁束線の可逆運動がより顕著になるためである。Campbell モデルによる予想はより実測値に近づいているが、磁束線の可逆運動を正確に記述するにはまだ不十分であるため、Campbell モデルを訂正する必要がある。

表1 試料諸元

試料	膜厚 $d(\mu\text{m})$	Size(mm)	$J_c(\text{A}/\text{m}^2)$
#1	0.5	5×5	2.60×10^{10}
#2	1.0	10×10	2.02×10^{10}
#3	1.5	10×10	1.55×10^{10}

表2 コイル諸元

内径 (mm)	外径 (mm)	高さ (mm)	巻き数 (回)	コイル-試料間距離 (mm)
0.8	3.8	3.0	150	0.2

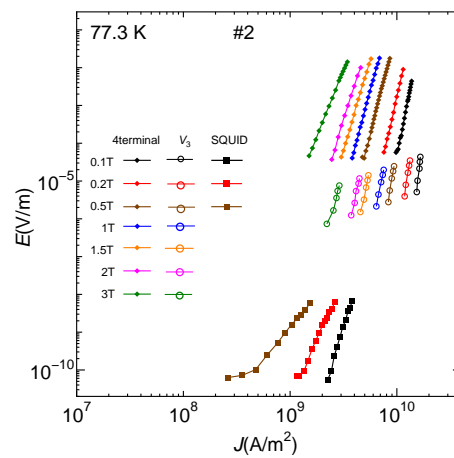


図1: 上から四端子法、第三高調波電圧誘導法、SQUID による磁化緩和法によって測定された試料 #2 の 77.3 K の E - J 特性

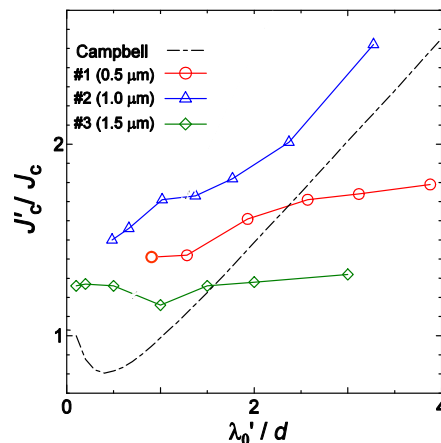


図2: 各試料における J_c の過大評価の割合の Campbell モデルの理論による予想と実験結果

【参考文献】

- 1) 福元ら: Physica C 412-414 (2004) 1026.
- 2) 松下照男著: 超伝導応用の基礎 (米田出版)p. 94-98

【研究業績】

応用物理学会九州支部学術講演会 (2006)