

垂直磁界中の超伝導薄膜の磁化緩和による誘導電界に関する研究

04232063 松下研究室 野中 政男

1. はじめに 超伝導体の特徴の一つは、臨界温度 T_c 以下に冷却することによって電気抵抗がゼロで電流を流せるということであり、その応用が期待されている。この応用において、電気抵抗を発生させることなく流すことの出来る電流密度の最大値である臨界電流密度 J_c が重要なパラメータとなる。しかし、実際には超伝導電流は時間と共に減衰していくため真の永久電流ではなく、その緩和特性を調べる必要がある。現在、応用が期待される高温超伝導体の代表的なものの一つが $\text{YB}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ (YBCO)-coated 線材であり、磁界中での電流の緩和特性が調べられている。こうした緩和特性は超伝導体内の磁束運動に基づく電圧-電流特性 (E - J 特性) で表される。通常、磁化緩和測定において磁化から電流密度 J を、緩和率から電界 E を求めるのであるが、超伝導試料の形状の影響のため、正確な電界 E の値を求めるのは容易ではない。これまでは超伝導薄膜面に垂直に磁界を加えた場合の電界 E を求めるのに、細い線で作製した1ターンコイルのインダクタンスを用いて近似的に求めていた。ここでは具体的な試料形状に対して、ビオ・サバルの法則から正しい電界 E を求めることを目的とする。

2. 計算 今回の計算では、ビオ・サバルの法則から磁束 Φ を求め正しい補正係数を求めていく。試料の具体的な形状は、半径 a 、厚さ d の超伝導円盤型薄膜を考える。これに流れる電流が I 、自己インダクタンスが L であれば、電界 E は

$$E = \frac{L}{\pi l} \cdot \frac{dI}{dt} \quad (1)$$

となる。従来の方法では、 L を計算するのに半径 d の導線で作製した直径 l の1ターンの、円環状コイルで近似して、

$$L = a\mu_0 \left(\log \frac{8l}{d} - \frac{7}{4} \right) \quad (2)$$

としていた¹⁾。

ここでは現実の超伝導薄膜の半径 a に対して、厚み d が限りなく小さい場合、ビオ・サバルの法則より自己インダクタンス L は

$$L' = \frac{\mu_0 a}{2} \quad (3)$$

$$\times \int_0^1 \int_0^1 \int_0^{2\pi} \frac{xy(x-y\cos\psi)}{(x^2+y^2-2xy\cos\psi)^{3/2}} dx dy d\psi$$

$$= 0.52\mu_0 l \quad (4)$$

と求められる。

例えば、 $l/2 = 5.0 \text{ mm}$ 、 $d = 1.0 \text{ }\mu\text{m}$ の場合、 $L' = 5.3 \times 10^{-3} \mu_0$ となるのに対して、 $L = 4.8 \times 10^{-2} \mu_0$ となる。得られた二つの値は大きく異なっており、(2)式から求まる L では厚さ d が小さくなると過大

評価されてしまう。この過大評価の原因は、(3)式から求まる L' は電流が一樣に分布しているため、内部の磁束は打ち消しあうが、(2)式の L は電流が外側に集中し、磁束が打ち消しあわないため L が過大評価される。

3. 結果および検討 今回求めた計算結果を実験結果に適用する。ここで用いる測定データはYBCO-coated 線材のものである。超伝導体の厚さ $d = 2.50 \times 10^{-7} \text{ m}$ で、 $T = 77.3 \text{ K}$ 、自己磁場中での臨界電流密度は $J_c = 1.10 \times 10^{11} \text{ A/m}^2$ である。この試料の磁化緩和の測定データに(2)式、(3)式を適用させて E - J 特性を求めた。図1にその結果を示す。この結果から(2)式に比べて(3)式による電界 E の方が 10^{-1} ほど小さな値になっていることがわかる。

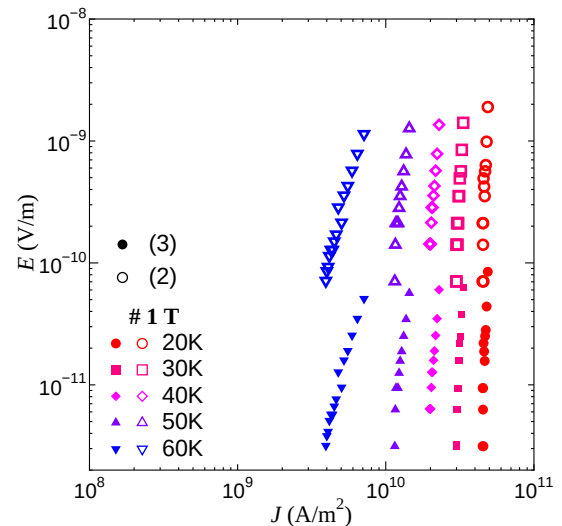


図1. (2)式と(3)式を用いて評価した1 Tの垂直磁界中でのYBCO超伝導薄膜の E - J 特性

4. まとめ 従来の方法では、自己インダクタンス L を計算するのに円環状コイルで近似していたため、電流が外側に集中してしまい磁束が打ち消しあわなくなって過大評価されていた。しかし、現実には超伝導体内部には電流が一樣に流れ、磁束が打ち消しあっており、ビオ・サバルの法則を用いることにより正しい電界 E を求めることができた。

【参考文献】

- 1) Fukumoto *et al.*: Physica C **412–414** (2004) 1036–1040