

超伝導 YBCO-coated 線材の臨界電流特性の膜厚依存性

03232084 松下研究室 山下 紀子

はじめに 現在長尺線材の分野で研究されている高温超伝導体のうち、 $\text{YBa}_2\text{Ca}_3\text{O}_{7-\delta}$ -coated 線材は超伝導状態を保つことのできる臨界電流特性 J_c が高く、次世代線材として研究が進められている。これまでの研究で、最も一般的な PLD(Pulsed Laser Deposition) 法で作製された線材では膜厚が厚いと高磁界で J_c が高い反面、超伝導層が劣化し低磁界で特性が落ちることがわかっている。よって、目的の磁界下で高い J_c を得るために最適な膜厚を設計する必要がある。

本研究では、YBCO-coated 線材の臨界電流特性の膜厚依存性を調べるため、異なる磁界、電界において膜厚の違う四つの試料を測定し、その結果を比較する。

実験 今回、超伝導工学研究所(SRL)名古屋より提供された IBAD(Ion Beam Assisted Deposition)/PLD 法により作成された試料を用いて測定を行った。各試料の諸元は表1の通りである。この T_c は SQUID 磁力計で測定したもの、 I_c は SRL-名古屋より提供された 77.3 K, 自己磁界中で測定された値である。SQUID 磁力計による直流磁化法と直流四端子法により、低電界領域と通常電界領域での E - J 特性、 J_c - B 特性を測定し、不可逆磁界 B_i を求めた。

表1 試料の諸元

試料	厚さ $d(\mu\text{m})$	臨界温度 $T_c(\text{K})$	臨界電流 $I_c(\text{A})$
#1	0.25	88.6	48
#2	0.50	90.1	95
#3	0.75	87.0	134
#4	1.00	88.2	171

結果および検討 直流磁化法により求められた J_c - B 特性を図1に、不可逆磁界を図2に示す。膜厚が薄いほうが低磁界において高い特性を示すが、高磁界で急激に特性が下がる。これは、膜厚が薄いと磁束クリープという熱振動による現象の影響を強く受けて磁束線がピンから外れやすくなるためである。このため、 B_i は薄い試料のほうが低い値となっている。また、高温で膜厚の薄い #2 の B_i が高くなっているのは T_c が高いためであると考えられる。

磁束クリープ現象に大きく影響するのがピンポテンシャル U_0 であり、 U_0 は、磁束バンドルの体積に比例する。したがって、試料が薄い場合、縦方向の磁束バンドルの大きさが超伝導体の厚さで制限されることになり、厚さ依存性の原因となる。一方、横方向の磁束バンドルの大きさに対応した磁束バンドル中の磁束線数 g^2 が重要になる。

g^2 が大きいとき、磁束クリープが生じにくくなるため B_i が大きくなる。磁束クリープ理論の解析結果と実験結果の比較を行うと、 g^2 は #1 と #3 において大きくなった。これは不可逆磁界の #1 と #3 の値がより厚い試料の値に比べ大きく変わらないことによく一致している。こうした結果は g^2 が臨界電流密度を最大にするように決定するという原理によって説明される。

以上より、磁束クリープ・フロー理論で実験結果を説明することができた。薄い試料は低温低磁界に、厚い試料は高温高磁界に適している。 g^2 により特性が改善されることもあるため、厚さを設計するときには磁束クリープを決定するための様々な環境が膜厚依存性に関わってくることを考える必要がある。

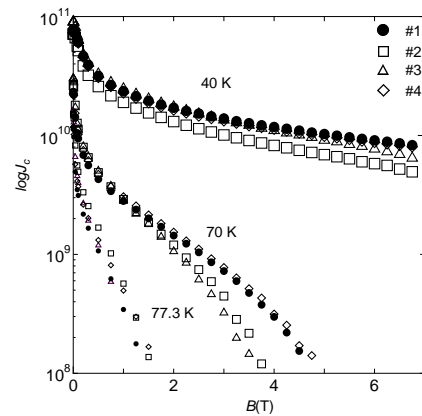


図1 臨界電流密度(直流磁化法)

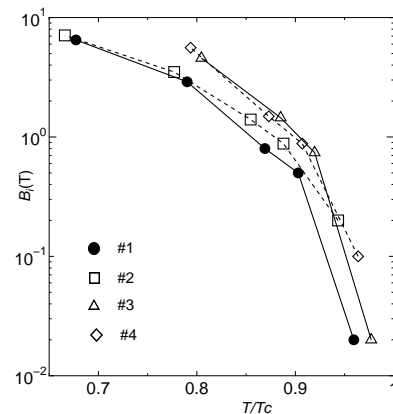


図2 不可逆磁界(直流磁化法)

【参考文献】

1) 松下照男：磁束ピンニングと電磁現象(1994)p285