

パルス着磁における超伝導バルク内部の温度測定に関する研究

平成17年度入学 古田大樹

1. 序論

バルク超伝導体は T_c 以下で永久磁石よりも強力な擬似的永久磁石としての様々な応用が期待されている。一般的にバルクを着磁する方法として磁場中冷却着磁(Field Cooled Magnetizing FCM)がある。これは、超伝導転移温度 T_c 以上の温度で磁場を印加し、 T_c 以下に冷却して磁束を捕捉する方法であるが、高価な大型の超伝導マグネットを用いるため、実用的ではない。そこでバルクを着磁する方法としてパルス着磁(Pulsed Field Magnetization)法が現在盛んに研究されている。この着磁法の利点は装置が小型で安価なため実験装置に容易に組み込めることにある。しかしパルス着磁法は磁束がピンニング力や粘性力に逆らって急激に運動することで発熱が生じ、超伝導バルク体の捕捉磁場が減少する。これまで本研究室ではバルク表面に熱電対を貼り付け、パルス着磁におけるバルク表面での温度上昇を明らかにしてきた。また、温度上昇のシミュレーション解析を行い、バルク内部での発熱源や温度分布を推定したが、推測の域を出なかった。そこで本研究ではバルク内部に細い穴をあけ、熱電対をセットし、パルス着磁法による超伝導バルク内部の温度測定を行い、実際に内部での温度上昇を確認し、発熱源の形状を考察するとともに捕捉磁場との関係を実験的に明らかにする。

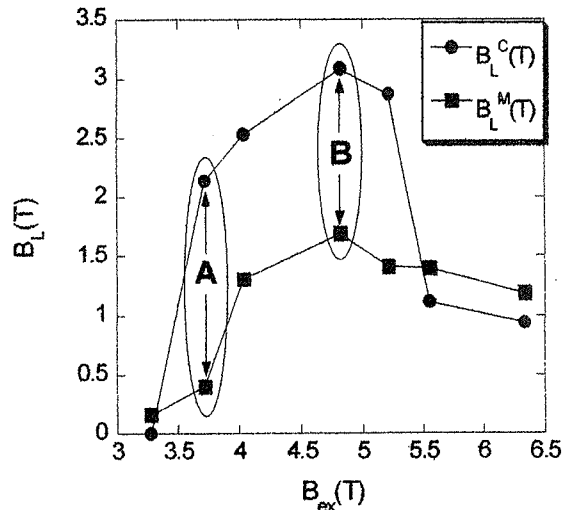


図1 40Kにおける局所磁場の印加磁場依存性

2. 実験方法

使用したバルクはSmBaCuOバルク超伝導体(同和鉱業製)でバルクの直径は45mm、厚さは15mmである。使用した熱電対はクロメル・コンスタンタン熱電対(76 μ m)でバルクの内部に貼り付けた。穴の直径は1mmで、エッジ(T3, T4, T5)の穴は貫通しており、ミドル(T1, T2)の穴の深さは約10mmである。また局所的な磁場を測定するためにホールセンサをバルクの内中心 B_L^C と中心から10mm離れたミドル B_L^M にそれぞれ図2の挿入図のように貼り付けた。バルクの初期温度 $T_s = 20.40$ K、パルスの立ち上がり時間は12msで磁場はc軸方向に印加した。印加磁場は3.27T~6.39Tとした。本実験で行ったパルス着磁プロセスとして同一強度パルス実験(SPA: Successive magnetic Pulse Applications with the same strength)を用い、計3回印加した。(No.1~No.3パルス)

3. 実験結果

図1に40Kでの捕捉磁場 B_L^C 、 B_L^M の印加磁場依存性を示す。印加磁場が3.7Tを越えると磁場が中心まで侵入し、4.8Tのときピークを迎え中心で3Tに達した。その後は印加磁場の増大と

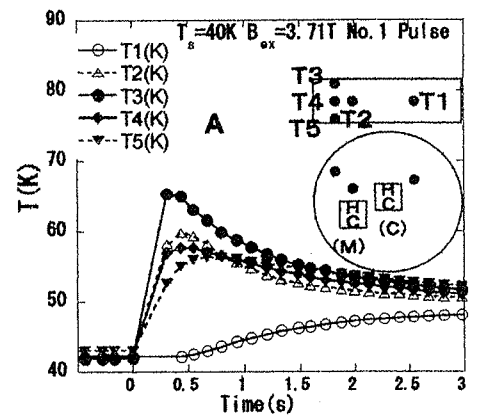


図2(a)温度上昇の時間依存性 (No.1パルス)

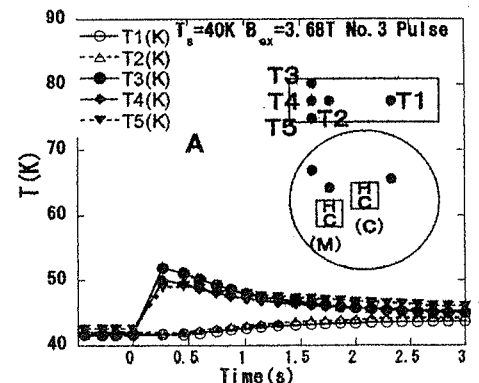


図2(b)温度上昇の時間依存性 (No.3パルス)

もに捕捉磁場も減少し、中心よりもミドルのほうで捕捉磁場が大きくなった。そこで中心に磁場が侵入し始めた3.71T(図1のA)とピークを示した4.82T(図1のB)の温度上昇を考察した。

図2(a)(b)に比較的低磁場 $B_{ex}=3.71T$ における超伝導バルクの温度変化の時間依存性を示す。No.1パルスではバルクのエッジで表面T3、内部T4、底面T5の順に温度が早く立ち上がっているのがわかる。これはバルク表面に近い方が発熱が大きいことを示している。また、T2の立ち上がりが速く、T4とほぼ等しいことが観察される。バルクのミドル T1 では立ち上がりのピークが最も遅い。これはバルクに磁束が異方的に侵入しているため、この場所からは磁束の侵入が少ないことを示している。No.3パルスでは温度上昇は減少した。特に T2での温度上昇が減少した。

図3(a)(b)は図2の結果を厚さ方向の時間ごとの温度変化として表している。0.3~0.5Sのときが図2における温度の立ち上がり部分である。このとき表面、内部、底面で温度に差があり、その後時間経過で温度に変化はなくなる。(b)に示すNo3パルスでは磁束の侵入が抑制されたため温度変化が小さくなった。

図4(a)(b)は比較的高磁場 $B_{ex}=4.82T$ における超伝導バルクの温度変化の時間依存性を示す。低磁場印加のときと比べるとすべての場所で温度上昇が大きくなった。また、バルクのミドル T1 の温度の立ち上がりがより速くなった。これは高磁場印加により中心付近で熱の発生が増加したためと考えられる。No.3パルスでは温度上昇が抑制された。特に T1 と T2 の温度上昇の減少が顕著に現れた。

図5(a)(b)に比較的高磁場印加のときの厚さ方向の時間ごとの温度変化を示す。低磁場印加のときと比べると0.3~0.5Sの温度の立ち上がり部分において表面、内部、底面での温度変化がより大きい。No.3パルスにおいても温度変化が大きかったが時間経過とともに表面、底面、内部の温度に差はなくなり、3~5S後には一定になった。

4. 結論

SmBaCuOバルク超伝導体に細い穴をあけ内部の温度測定を行った。その結果、バルクのエッジではパルス磁場を印加すると表面、内部、底面の順に発熱が大きいことがわかった。バルクのミドルでも場所の違いによって温度の立ち上がりには差がみられた。また、高磁場を印加すると温度差 ΔT が低磁場のときと比べ大きくなった。繰り返し磁場を印加することにより磁束の侵入が減るため、比較的低磁場ではエッジの温度上昇は小さいが高磁場ではミドルT1、T2の温度上昇が小さく、エッジの温度上昇は低磁場に比べ大きい。今後はさらにシミュレーション解析を行い、内部の温度上昇を解析する。

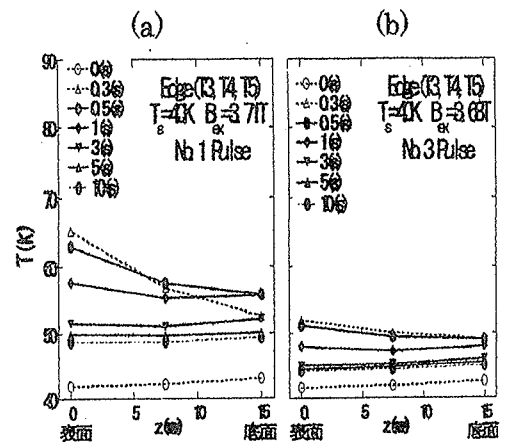


図3 厚さ方向の時間ごとの温度変化

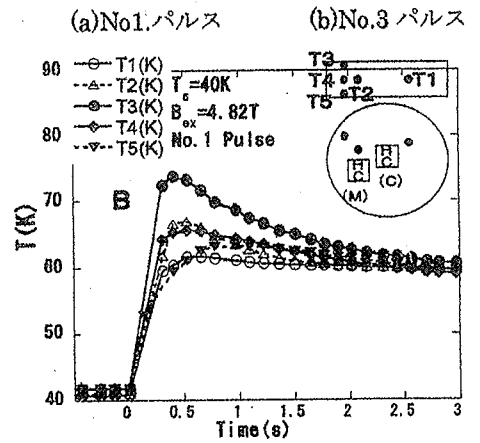


図4(a)温度上昇の時間依存性 (No.1パルス)

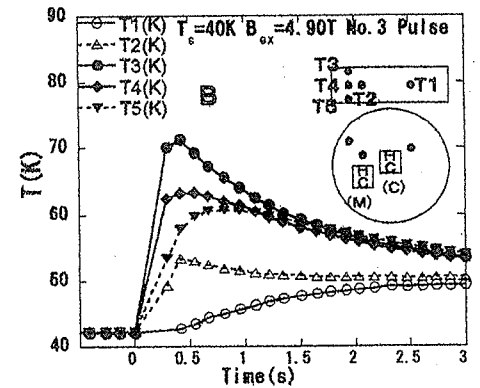


図4(b)温度上昇の時間依存性 (No.3パルス)

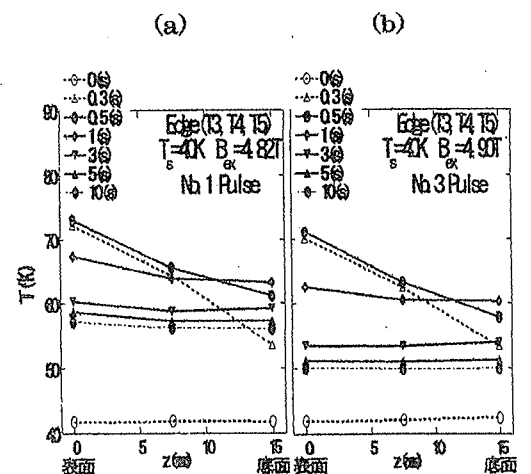


図5 厚さ方向の時間ごとの温度変化

(a)No.1パルス (b)No.3パルス