

1.序論

バルク超伝導体の応用として、擬似永久磁石が注目されている。磁石化するためには、バルク超伝導体を磁化しなければならないが、最も大きな捕捉磁場を得るのに有効な方法は、磁場中冷却着磁(FCM)である。しかし、装置が高価であるため、広い範囲の応用には適さない。一方で安価な着磁法として、パルス着磁法(PFM)がある。これまでの研究で、PFM でのバルク内の発熱は高磁場を印加するほど、バルクを低温にするほど大きくなり、その結果として捕捉磁場が減少することがわかっている。そこで、発熱を抑え捕捉磁場を増加させるために本研究室で Modified Multi-Pulse technique with Step-wise Cooling (M-MPSC)法が考案された。この着磁法は二段階の PFM で、第一段階で、高温で比較的low磁場を印加することで発熱を抑制させ、その後、第二段階で第一段階より低温で、高磁場を印加する方法である。この着磁法を用いて Gd 系バルクでは PFM では世界最高記録である 5.2T を記録している。そこで本研究では、この着磁法がどのようなバルクに対しても適用可能な方法であることを確認するために、Sm 系バルクに対して M-MPSC 法を行った。

2.実験方法

本実験では、直径 45mm 厚さ 20mm の SmBaCuO バルク超伝導体(同和鉱業(株)製)を使用した。バルクには機械的強度の向上と熱容量の拡大のために、厚さ 5mm の SUSリングをバルク外周に装着した。バルク表面には温度変化の測定のために T1、T2、T3 の三箇所熱電対を貼り付けた。磁束の侵入や磁化の変化を測定するため中心から等間隔に三点[中心(C)、内側(M)、外側(E)]の位置にホールセンサーを貼り付けた。着磁後の磁場分布及び総磁束量をバルク表面から 5.7mm 上部をホールセンサーを走査させて測定した。

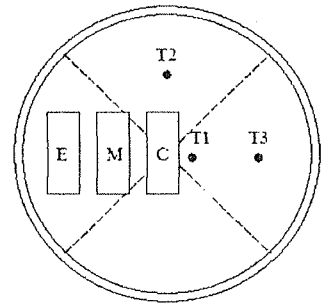


図 1 バルク表面のホールセンサーと熱電対の位置関係

実験では、M-MPSC 法とバルク温度 T_s 一定でパルス毎に印加磁場 B_{ex} を小さくさせる Iteratively Magnetizing pulsed-field operation with Reducing Amplitudes (IMRA)法も行いその効果について考察した。

3.実験結果、考察

初めに、単一 PFM での実験と、同じ強度のパルスを繰り返し印加させる Successive magnetic Pulse Applications with the same strength (SPA)の実験を行い、各印加磁場毎の振舞いについて測定した。このとき T_s は 20K, 40K で行った。

印加磁場 B_{ex} と中心の捕捉磁場 B_{LC} の関係を図 2、 B_{ex} と温度上昇 ΔT の関係を図 3 に示す。 $T_s=40K$ での捕捉磁場の振舞いは、M-MPSC の第一段階での低磁場を決定するために考察しなければならない。第一段階での低磁場の印加で、これまでの研究で

1~1.5T 程度磁場が捕捉されることが必要であることが分かっている。よって第一段階の最適な B_{ex} として 4T であると決定した。

次に第二段階 $T_s=20K$ での B_{ex} を決定するために考察する。第二段階では高磁場を印加する必要があるが、図 3 から分かるように単純に B_{ex} を増加した

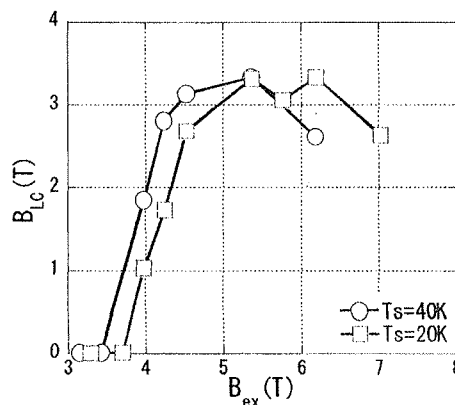


図 2 印加磁場と捕捉磁場の関係

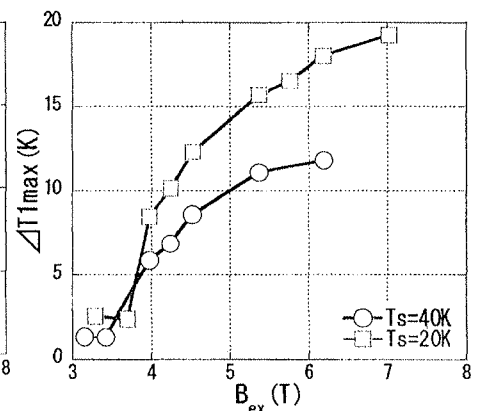


図 3 印加磁場と温度上昇の関係

だけでは大きな発熱が起り、中心での捕捉磁場 B_{LC} は逃げてしまう。よって第二段階の最適な B_{ex} は 6T であると決定した。

次に SPA について考察する。図 3、4 に SPA での No1 と No3 パルスでの B_{ex} と B_{LC} 及び総磁束量 Φ_T の関係を示す。図 3 より SPA では B_{LC} の増加がほとんど見られない。最大の B_{LC} は 3.4T で SPA の一発目から 0.1T しか増加しなかった。それに対して Φ_T はどの B_{ex} でも増加することが分かった。最大の Φ_T は SPA の三発目で $12.4 \times 10^{-4} \text{Wb}$ まで増加した。このことは、SPA により周辺部の捕捉磁場が大きく増大することを示している。

次に M-MPSC 法による結果を示す。図 5、6 に SPA と M-MPSC 法でのパルスの印加毎の B_{LC} と ΔT を示す。図 5 から分かるように、SPA では B_{LC} の増加はほとんどなかった。しかし M-MPSC 法では最大 4.3T までの増加が見られた。これは図 6 から分かるように、SPA の一発目より強い磁場を印加させても、第一段階で低磁場を印加させたことで温度上昇を抑制でき、高磁場を捕捉することができたためと考えられる。

最後に IMRA 法での B_{LC} 、 Φ_T の向上について考察する。図 7 は図 5 の M-MPSC 法に IMRA 法を組み合わせたものである。図 7 より B_{LC} の増加は IMRA 法では見られなかった。これはすでに中心で捕捉している磁場よりも弱い磁場を印加しているために、中心の磁場を動かさないと考えたためと考えられる。対して Φ_T は飛躍的に増加した。M-MPSC 法の 4 発目で $11.6 \times 10^{-4} \text{Wb}$ であったものが 35% 増の $15.7 \times 10^{-4} \text{Wb}$ まで増加させることができた。これは中心以外で磁場を捕捉できたためと考えられる。

4. 結論

本実験では M-MPSC 法の有効性について Sm 系バルクに対して行った。Sm 系のバルク超伝導体を用いても B_{LC} を単一 PFM で 3.3T から M-MPSC 法で 4.4T まで増加させることができた。また M-MPSC 法と IMRA 法を組み合わせることによって Φ_T を $11.6 \times 10^{-4} \text{Wb}$ から $15.7 \times 10^{-4} \text{Wb}$ までの増加が確認できた。M-MPSC 法が捕捉磁場を向上させるのに有効な方法であり、IMRA 法との組み合わせが総磁束量を大幅に増加させることが明らかになった。

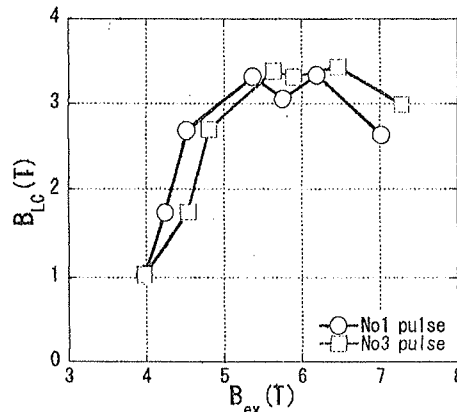


図 3 SPA での回数毎の印加磁場と捕捉磁場の関係

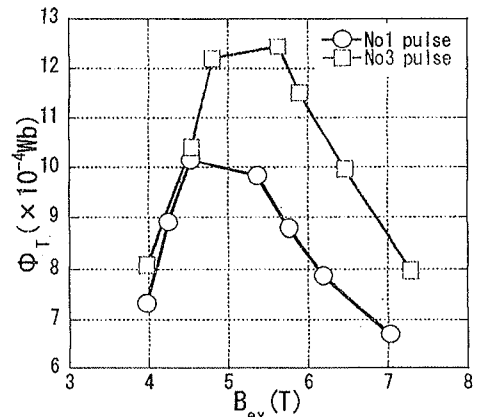


図 4 SPA での回数毎の印加磁場と総磁束量の関係

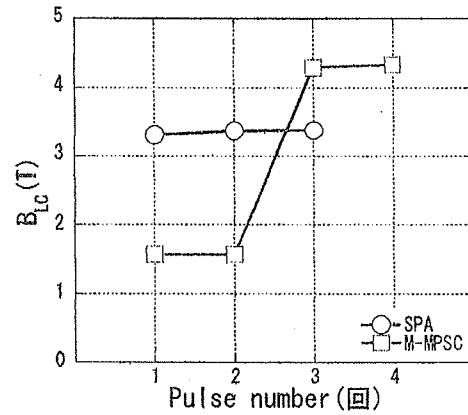


図 5 着磁回数毎の捕捉磁場の関係

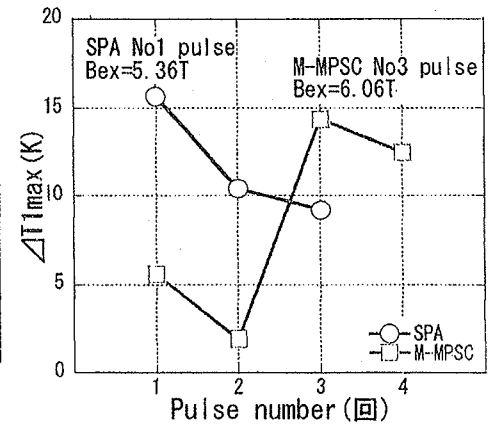


図 6 着磁回数毎の総磁束量の関係

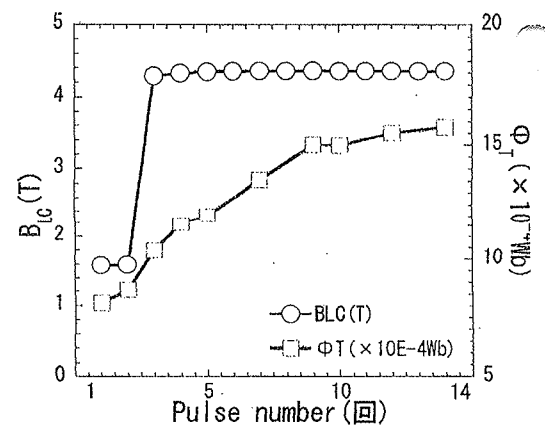


図 7 着磁回数毎の捕捉磁場と総磁束量の関係