

TSIG 法で作製した YBaCuO 系超電導バルクのパルス着磁特性

平成 27 年度入学 藤代・内藤研究室 20215019 鎌田大空

1. Introduction

超電導体は超電導転移温度 T_c 以下において電気抵抗がゼロであり、磁場を印加して超電導電流を誘起することで擬似永久磁石として利用することができる。

超電導バルクを磁石として応用するための着磁法のひとつであるパルス着磁法 (Pulsed Field Magnetization: PFM) は、銅コイルにより数ミリ秒のパルス磁場を印加する方法である。装置が小型で安価であるため実用化に適しているといわれているが、磁場を印加する際にバルクが発熱し捕捉磁場が低下するという問題を有する。また、臨界電流密度 J_c は低温ほど向上する傾向にあるが、ピン止め損失の増大や比熱の減少による温度上昇が大きくなるため、捕捉磁場が増大するとは限らない。

REBaCuO (RE は希土類元素または Y) バルクの一般的な作製方法として TSMG (Top Seeded Melting Growth) 法があげられる。TSMG 法とは、Fig. 1 (a) に示すようにペレットの上に融点の高い種結晶をのせ温度勾配下で c 軸配向させ、単一結晶バルクを作製する方法である。これは常電導相が微細分散しているため、比較的 J_c が高いバルクを作製できる。しかし、作製前後のバルクの収縮が大きいため、目的の大きさのバルク作製が困難であることや空孔が生成してしまうなどの問題がある。その問題を解決できる作製方法として、1step-TSIG (Top Seeded Infiltration Growth) 法があげられる。1step-TSIG 法とは、Fig. 1 (b) に示すようにペレット (主に RE211) の上に種結晶をのせ 1000°C 以上に加熱することで液相 (Ba-Cu-O などを混合したもの) をペレットに浸透させ単結晶バルクを作製する方法である。しかし、TSMG と比較して常電導相が微細分散していないため、TSMG より J_c が低いなど超電導特性が悪い。その後、Fig. 1 (c) に示すような 1step-TSIG を改良した加熱処理を二度行うことで、単結晶バルクを作製する 2step-TSIG 法が開発された。これは常電導相が 1step-TSIG より微細分散するため、 J_c が TSMG に匹敵するなど超電導特性が改善された [1][2]。

本実験ではパルス着磁における作製条件の異なる YBaCuO のバルクの捕捉磁場特性の比較を行うことを目的とする。

2. Experimental method

Fig. 2 に実験装置概略図を示す。試料としてそれぞれ TSMG (直径 29.5 mm、厚さ 14.3 mm)、1step-TSIG (直径 29.5 mm、厚さ 16.4 mm)、2step-TSIG (直径 29.1 mm、厚さ 14.1 mm) 法により作製した YBaCuO バルクを用いた。バルクはスタイキャストを用いて SUS リングに取り付け、伝導冷却により初期温度 $T_s = 65$ K、40 Kまで冷却した後、印加磁場 $B_{ex} = 2 \sim 6$ T、立ち上がり時間 $\tau = 13$ ms のパルス磁場をソレノイドコイルを用いて印加した。捕捉磁場はバルク表面中心においてホールセンサを用いて測定した。温度は SUS リング側面において cernox 温度計を用いて測定した。

3. Results and discussion

Fig. 3 にバルク表面中心における捕捉磁場 B_t の印加磁場 B_{ex} 依存性を示す。磁束の侵入し始めは、いずれのバルクも $T_s = 65$ K において $B_{ex} \approx 2.5$ T、 $T_s = 40$ K において $B_{ex} \approx 4.0$ T であった。低印

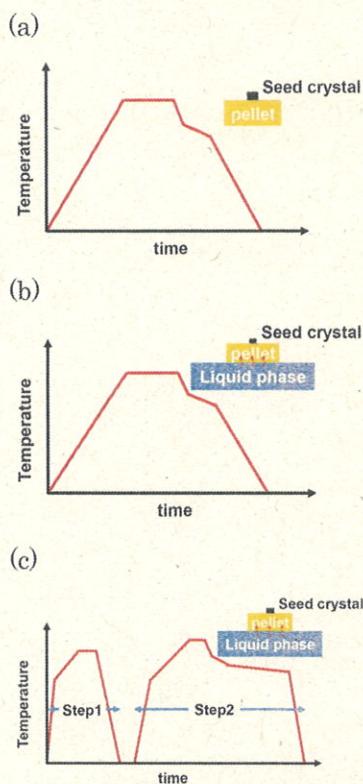


Fig. 1 (a)TSMG、(b)1step-TSIG、
(c)2step-TSIG 法の温度パターン

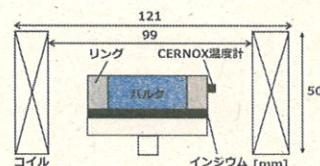


Fig. 2 実験装置概略図

加磁場で磁束が侵入しないのは、バルクの磁束遮蔽効果によるものである。また、いずれのバルクも $T_s = 65$ K と比較して $T_s = 40$ K の磁束の侵入し始めの B_{ex} が大きくなっている。最大捕捉磁場は $T_s = 65$ Kにおいて、すべてのバルクが 1.0 T 程度、 $T_s = 40$ Kにおいては TSMG と 1step-TSIG は $B_t = 1.4$ T 程度、2step-TSIG は $B_t = 2.1$ T となり、すべてのバルクの $T_s = 40$ Kにおける B_t が向上した。これらは、低温における J_c が高いためである。

Fig. 4 に SUS リング側面における最大温度上昇 ΔT_{max} の印加磁場依存性を示す。すべてのバルク、温度条件で ΔT_{max} は B_{ex} の増大に伴い上昇した。これは B_{ex} の増大に伴って、ピン止め損失や粘性損失が増大するためである。また、 $T_s = 40$ Kにおいて ΔT_{max} が大きくなったのはピン止め損失の増大や比熱の減少によるものである。

Fig. 5 に $T_s = 40$ Kにおける $B_{ex} \approx 5$ T の捕捉磁場 B_t の時間依存性を示す。ここで捕捉磁場 B_t の最大を磁束侵入量 B_{in} 、 B_{in} からの流出量を磁束流出量 B_{flow} と定義する。TSMG、1step-TSIG、2step-TSIG の B_{in} はそれぞれ 3.06 T、 3.48 T、 3.11 T であり 1step-TSIG が最大であった。これは 1step-TSIG の J_c が低く、バルクの磁束遮蔽効果が小さいためと考えられる。また、 B_{flow} はそれぞれ 1.86 T、 2.08 T、 1.01 T であり 2step-TSIG が最小であった。

Fig. 6 に $T_s = 40$ Kにおける磁束流出 B_{flow} の印加磁場 B_{ex} 依存性を示す。 B_{flow} は 2step-TSIG が最小となった。この結果より 2step-TSIG は $T_s = 40$ Kにおいて、磁場印加に伴うピン止め損失や粘性損失が最小であるため、捕捉磁場が大きいにも関わらず発熱が抑制されたと考えられる。以上より Fig. 2 の $T_s = 40$ Kにおいて、2step-TSIG の B_t が最大であることや Fig. 3 の $T_s = 40$ Kにおいて、すべてのバルクの ΔT_{max} が同程度であるという結果を説明できる。

4. Conclusion

本実験ではパルス着磁におけるサイズが同じ作製条件の異なる YBaCuO のバルクの捕捉磁場特性の比較を行うことを目的として実験を行った。

$T_s = 65$ Kにおいて B_t はいずれのバルクも同程度であったが、 $T_s = 40$ Kにおいて 2step-TSIG の B_t が最大であった。これは 2step-TSIG は $T_s = 40$ K付近において、ピン止め損失や粘性損失が最小であるためである。また、 $T_s = 40$ Kにおいて 2step-TSIG の B_t が大きいのに対して、 ΔT_{max} はすべてのバルクが同程度であることも説明できる。

以上より、 $T_s = 40$ Kにおいては、2step-TSIG のバルクが最も磁場を捕捉できるという結果が得られた。

5. Reference

- [1] Devendra K Namburi *et al.*, Supercond. Sci. Technol. 29 (2016) 095010 (11pp)
- [2] Devendra K Namburi *et al.*, Supercond. Sci. Technol. 29 (2016) 034007 (9pp)

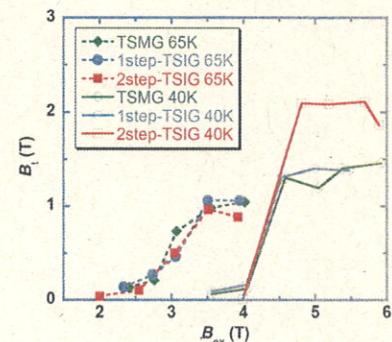


Fig. 3 バルク表面中心における捕捉磁場 B_t の印加磁場依存性

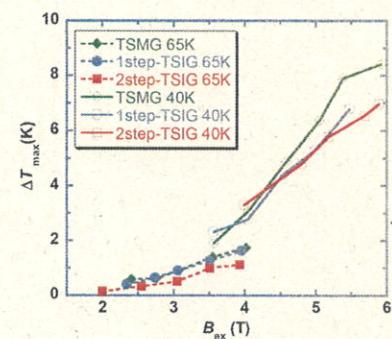


Fig. 4 SUS リング側面における最大温度上昇 ΔT_{max} の印加磁場依存性

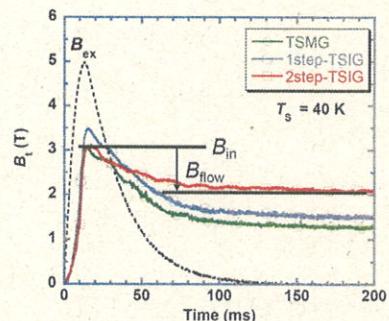


Fig. 5 $T_s = 40$ Kにおける $B_{ex} \approx 5$ T の捕捉磁場 B_t の時間依存性

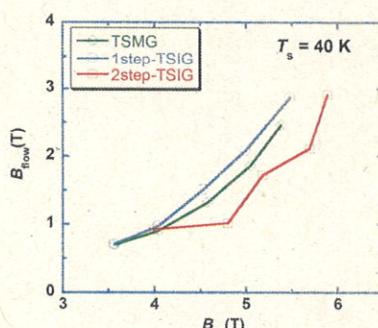


Fig. 6 $T_s = 40$ Kにおける磁束流出 B_{flow} の印加磁場 B_{ex} 依存性