

MgB₂バルク超伝導体の磁束ピンニング特性に関する研究

Flux pinning properties in MgB₂ bulks

九工大・情報工 木内 勝
 東大・工 山本 明保
 東北大・金研 淡路 智

M. Kiuchi¹, A. Yamamoto² and S. Awaji³

¹Department of Computer Science and Electronics, Kyushu Institute of Technology

²Department of Applied Chemistry, University of Tokyo

³Institute for Materials Research, Tohoku University

1. はじめに

MgB₂ は金属超伝導体と酸化物超伝導体の中間の臨界温度 T_c を持ち、複雑な作製手法を必要としないことから、様々な応用機器への利用が期待されている[1,2]。一方で応用機器設計において重要なパラメータの一つとなる臨界電流密度 J_c はまだ十分な値が得られていない。しかし MgB₂ の充填率を上げ、結晶界面に存在する酸化膜の排除によって大幅な特性向上が可能であることも明らかになってきた[3,4]。

他方で磁束ピンニング機構から、この MgB₂ は基本的に結晶粒界ピンニングであることが明らかにされている。したがって結晶の粒径の微細化や、結晶を歪ませるなどの手法により特性向上が期待できる。但し、この特性向上には磁束ピンニングを決定する要素的ピン力の強化ばかりでなく、上部臨界磁界 B_{c2} の増加に伴う不可逆磁界 B_i の向上の影響も含まれる。また、動作温度領域の違いや MgB₂ の生成温度や C 添加でもこの磁束ピンニング特性が変化することが報告されている[5]。したがって、今後の更なる特性改善のためにも、磁束ピンニング機構からの臨界電流密度の決定機構の解明が必要である。

本研究は、様々な手法及び条件で作製された MgB₂ バルク試料の臨界電流密度を測定し、工学的に重要な特性である臨界電流密度を磁束ピンニング機構から解明し、この材料の基礎理論確立と共に特性改善の指針を得ることが目的である。

2. 測定

測定に用いた MgB₂ は 600°C の低温で生成した試料、B₄C 及び SiC を添加した 3 つの試料で、いずれも PICT 法[6]で作製し、シース材を剥離し、およそ 1.5mm × 1.5mm × 0.5mm に成形した試料である。仕込み組成、焼成条件及び臨界温度 T_c を Table 1 に示す。C を添加することにより T_c が 3 K 程度低下

Table 1: Specifications of specimens

	仕込み組成	焼成条件	臨界温度 T_c [K]
#2	MgB ₂	600°C, 24h	38.2
#3	MgB _{1.50} (B ₄ C) _{0.10}	850°C, 3h	35.4
#4	MgB _{1.80} (SiC) _{0.20}	850°C, 3h	35.5

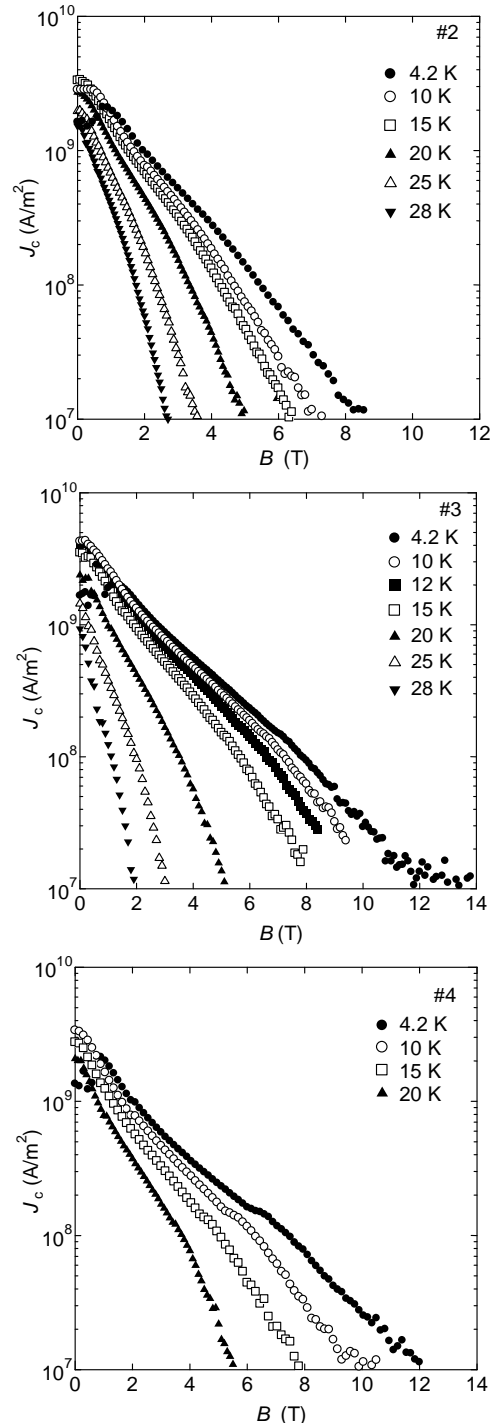


Fig. 1 Critical current density of specimens (a) #2, (b) #3 and (c) #4.

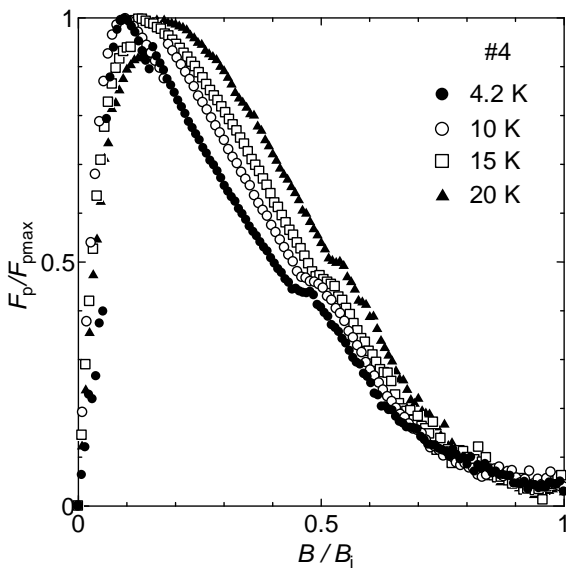
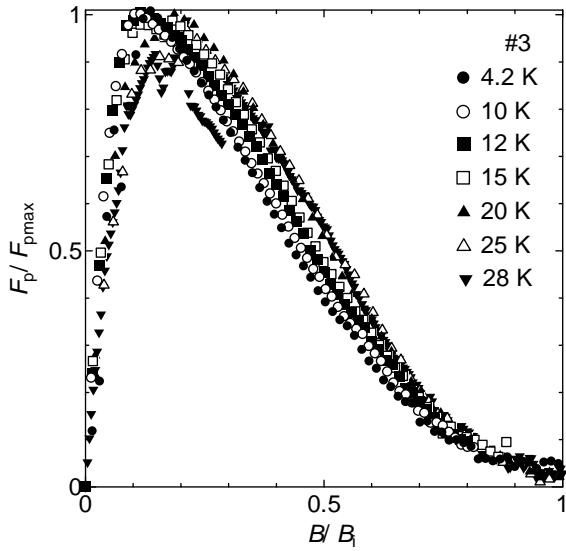
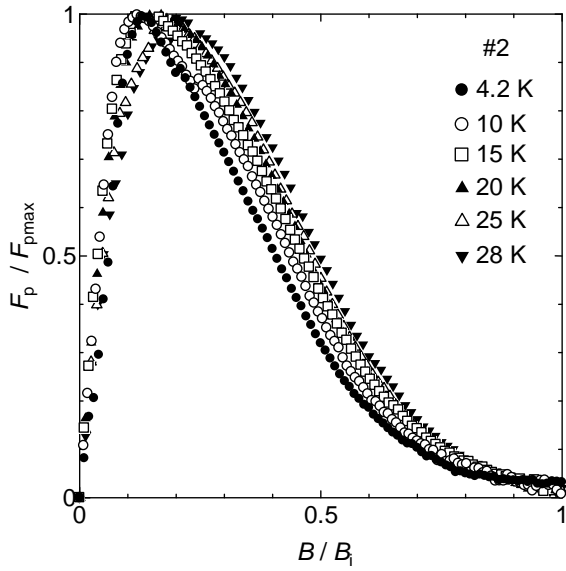


Fig. 2 Scaling law of the pinning force density of specimens (a) #2, (b) #3 and (c) #4.

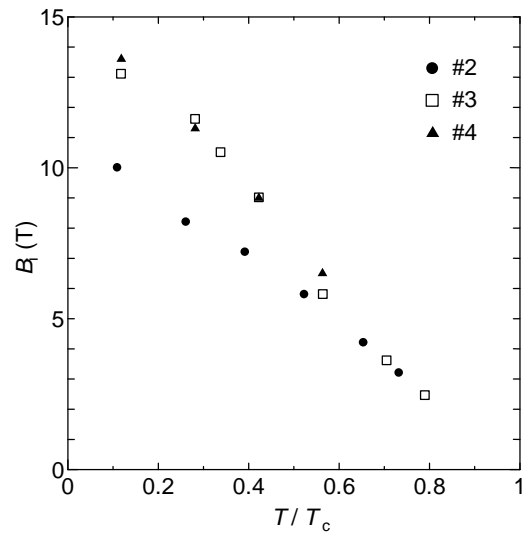


Fig. 3 Temperature dependence of the irreversibility field.

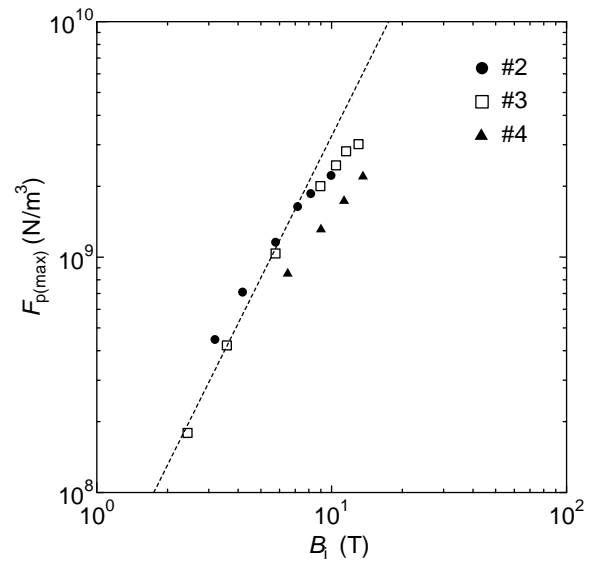


Fig. 4 Relationship between the maximum pinning force density $F_{p(max)}$ and the irreversibility field B_i .

している。

臨界電流密度は東北大学強磁場超伝導材料研究センターの18T-SMと組み合わせた引き抜き法磁化測定装置を用いて、4.2~28 K、 $-5 \sim 15$ Tの範囲の直流磁化から求めた。また、不可逆磁界はピン力密度がゼロとなる磁界で定義した。

3. 結果及び検討

図1に3つの試料の臨界電流密度の磁界依存性を示す。#2 ノンドープ低温生成試料に比べてC添加の2つの試料#3及び#4の臨界電流密度が大きく向上していることがわかる。また、C添加試料においても、#3は低-中磁界の特性が優れていることがわかり、この領域ではSiCよりも B_4C 添加の方が有効である

ことがわかる。

図2に3つの試料のピン力密度の温度スケール則を示す。特に高温領域のピン力密度はこの結晶界面ピンニングの磁界依存性で説明できることが報告されており[1]、今回の測定でも同様な結果となった。一方で温度の低下と共にピン力密度の最大値 F_{pmax} が低磁界側に移動し、全体のピンニング特性もユニバーサルな曲線から外れることがわかる。また、この振る舞いは3つの試料でも異なり、中でも#4の F_{pmax} は低磁界側へ大きく移行していることがわかる。このような振る舞いはスケールする高温領域の磁束ピンニングと低温領域の磁束ピンニングが異なることを示している。

図3に不可逆磁界 B_i の温度依存性を示す。#2 ノンドープ 600 度熱処理試料に比べて、カーボンドープの#3 と#4 の B_i が大きく、高温領域での不可逆磁界の温度依存性は3つの試料でほぼ同じである。一方で $T/T_c = 0.5$ 前後から#2のみが異なる温度依存性が示すことがわかる。また、図4にピン力密度の F_{pmax} と B_i の関係を示す。点線は高温領域の依存性で $F_{pmax} \propto B_i^2$ を表す。この結果から、動作温度の低下と共に F_{pmax} の B_i の依存性が小さくなっていることがわかる。もし、温度の低下と共に磁束ピンニングが効率のよい点状ピンニングなどへ変化したとすると、 F_{pmax} と B_i の両方の特性向上が期待できるが、結果は F_{pmax} の増加よりも B_i の増加が大きいことを示している。したがって、この特性は単純な効率のよい磁束ピンニングへの変化によるものでない。一方で B_i の決定で重要なパラメータとして、上部臨界磁界 B_{c2} があるが、 MgB_2 はマルチギャップ超伝導体であるため、 B_{c2} が高温領域と低温領域で異なる磁束ピンニング特性になっていると考えられ、低温領域ではこの影響を顕著に受けている可能性がある。

4. まとめ

MgB_2 の広い温度及び磁界領域の磁束ピンニング特性を調べるために、15T の磁界下での磁化測定を行い、臨界電流密度を評価した。低温生成に比べて C 添加 MgB_2 の臨界電流密度が低温領域まで優れた特性を示すことがわかった。また、上記の結果からピン力密度のスケール則を評価し、高温では比較的1つの特性で表すことができるが、温度の低下と共にその特性が大きくずれることがわかった。

今後は不可逆磁界決定で重要なパラメータとなる上部臨界磁界 B_{c2} を測定し、不可逆磁界 B_i 及びピン力密度の関係を調べ MgB_2 の磁束ピンニング機構の決定機構を明らかにしていく予定である。

参考文献

- [1] K. Tanaka, *et al.*, *Advances in Cryogenic engineering*, **52B** (2006) 662.
- [2] M. Takahashi, *et al.*, *Supercond. Sci. Technol.*, **18** (2005) 373.
- [3] T. Matsushita, *et al.*, *Physica C*, **468** (2008) 1833

[4] T. Matsushita, *et al.*, *Supercond. Sci. Technol.*, **21** (2008) 015008 (7pp)

[5] M. Kiuchi, *et al.*, *Physica C*, **445-448** (2006) 474-477.

[6] A. Yamamoto, *et al.*, *Supercond. Sci. Technol.*, **17** (2004) 921.