

Dy-Ba-Cu-O 超伝導バルクの磁束ピン止め特性に対する Dy サイト置換効果

Effects of Dy-site substitution on vortex pinning properties in Dy-Ba-Cu-O superconducting bulk

岩手大・工 内藤 智之、藤代 博之
 東北大・金研 西寄 照和、小林 典男

T. Naito¹, H. Fujishiro¹, T. Nishizaki², and N. Kobayashi²

¹ Faculty of Engineering, Iwate University

² Institute for Materials Research, Tohoku University

1. はじめに

RE-Ba-Cu-O (REBCO, RE: 希土類元素) 超伝導バルクの中で DyBCO バルクは極端に低い熱伝導率を示すことが知られている[1]。現時点でその原因は明らかになっていないが、その特性を利用して電流リードなど外部からの熱流入を嫌う機器へ使用されている。これまで様々な REBCO バルクについて磁束ピン止め向上に関する研究[2]が数多く行われてきているが、DyBCO バルクに関する報告[3]は非常に少ない。理想的な第2種超伝導体の J_c は磁場の増加とともに単調に減少するが、高温超伝導体では磁束ピン止め中心の存在によりある磁場領域で J_c が増加する、いわゆるピーク効果が生じる。従って、磁束ピン止め能力を高めるには有効磁場領域の異なる複数のピン止め中心の導入によってこの J_c のピーク領域を広くすることが出来れば良いと考えられる。本研究では DyBCO バルクの磁束ピン止め特性の向上を目的として Dy サイトへの元素置換効果を検討する。

2. 実験方法

DyBCO バルクは劈開した NdBCO バルクを種結晶として溶融法で作製された。Dy サイトへは La または Pr を置換した。育成後のバルク体を 1 気圧、400°C の酸素気流中で 1 週間熱処理した。測定には、種結晶から 3mm 下の部分から切り出した薄板状試料 (2×2×1mm³ 程度) を用いた。磁化は SQUID 磁束計を用いて測定した。臨界電流密度は磁化曲線から拡張型ビーンモデルを用いて算出した。また、電気抵抗率は直流四端子法で測定した。20 テスラ超伝導マグネット (20T-SM) を使用し最大 5 テスラの磁場を c 軸に平行に印加した。

3. 結果と考察

ゼロ磁場冷却後の磁化の温度依存性 (印加磁場は 0.4 mT) から決定した超伝導転移温度 (転移の midpoint で定義) は 87–90 K であった。Fig.1 に 77 K における臨界電流密度の磁場依存性を示す。La 置換試料については、0.1% 置換試料の J_c が無置換試料に比べて向上したが、それ以上の置換量では逆に低下した。Pr 置換試料では、0.1% 置換試料の J_c が 2T 以上の磁場領域で無置換試料

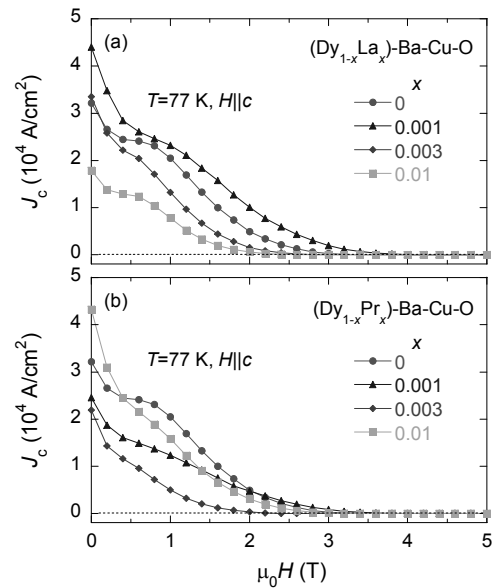


Fig.1: Magnetic-field dependence of the critical current density, $J_c(H \parallel c)$, at 77 K for the indicated bulks.

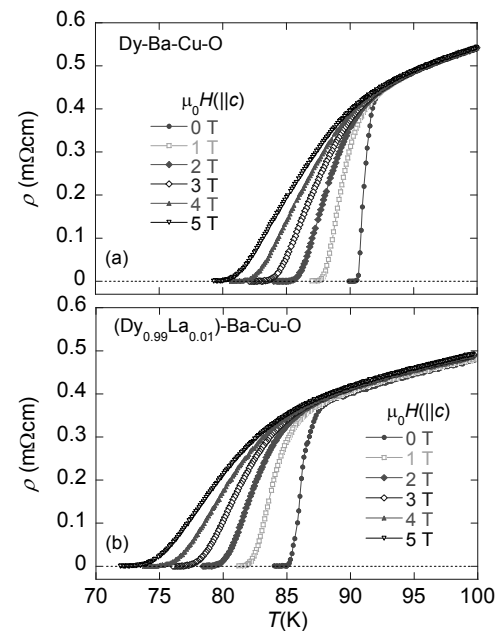


Fig.2: Temperature dependence of the resistivity of the indicated bulks under magnetic fields $H \parallel c$ -axis up to 5 T.

よりも高い値を示した。また、1%置換試料が 0.5T 以下の

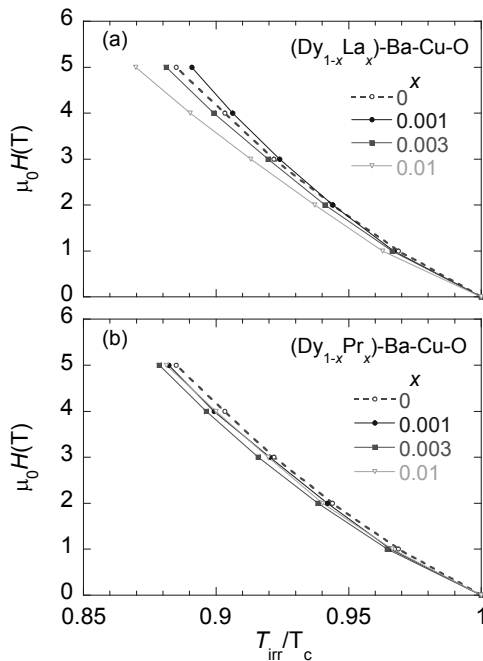


Fig.3: Magnetic-field vs. reduced irreversible temperatures for (a) (Dy,La)BCO and (b) (Dy,Pr)BCO bulks.

低磁場で高い J_c を示した。

Fig.2 に電気抵抗率測定結果の一例として無置換試料 DyBCO と La1%置換試料(Dy_{0.99}La_{0.01})BCO の結果を示す。磁場印加による転移の広がり La1%置換試料の方が僅かに大きい。Fig.3 に T_c で規格化した不可逆温度 T_{irr} と印加磁場の関係を示す。不可逆温度 T_{irr} は電気抵抗率がゼロになる温度で定義した。La 置換試料の場合、0.1%置換試料の不可逆曲線は無置換試料の高温高磁場側に位置するが、0.3%および1%置換試料の不可逆曲線は逆に低温低磁場側に位置する。この振る舞いは臨界電流密度の La 置換量依存性と矛盾しない。従って、La 置換試料の場合は0.1%が最適な置換量といえる。一方、Pr 置換試料の場合、全ての置換量において不可逆曲線は無置換試料の低温低磁場側に位置した。つまり、Pr 置換はピン止め特性の向上にほとんど寄与していないと言える。この結果は、臨界電流密度の Pr 置換依存性とは異なる。ただし各試料の T_c が異なることと不可逆温度が T_c で規格化されていることを考慮すると Pr 置換はピン止め効果を生み出していないと考えられる。

Gd よりも原子番号が小さい RE (いわゆる軽希土類元素) の場合、RE と Ba のイオン半径が近いことにより両者は固溶置換を起こし、それに伴い超伝導性が低下することが知られている[4]。従って、置換した La および Pr

は Ba サイトに置換されていると考えられる。RE と Ba が固溶置換した部分は超伝導が弱くなっており磁場誘起のピン止め中心として働く。La0.1%置換試料ではこの磁場誘起ピン止め効果が現れたと考えられる。同様の描像は Pr 置換試料でも成り立つはずであるが、Pr 置換は上述の通りピン止め効果の向上にほとんど寄与しない。この結果は現時点では説明できない。ただし、我々が以前 YBCO バルクにおいて Pr 置換効果を検討した際も同様の結果が得られており[5]、Pr イオンがピン止めに寄与しないという結果は本質的な現象である可能性がある。

4. まとめ

DyBCO バルクのピン止め特性を向上させる目的で、Dy サイトの元素置換効果を検討した。置換元素は La または Pr とした。La 置換の場合、置換量 0.1%の場合に 77K における臨界電流密度が全磁場領域(最大 5T)において無置換試料より向上し、また、電気抵抗率から決定した不可逆曲線も無置換試料の高温高磁場側に位置した。それ以上の置換量の場合、臨界電流密度は低下し、不可逆曲線も低温低磁場側に位置した。従って、0.1%が La 置換量の最適値と言え。Pr 置換の場合、77K での臨界電流密度は 0.1%置換の場合に 2T 以上、1%置換の場合は 0.5T 以下で無置換試料より大きい値を示した。一方、電気抵抗率から求めた不可逆曲線は全ての置換量で無置換試料を下回った。両者の振る舞いを考慮すれば Pr 置換はピン止め特性の向上にほとんど寄与していないと言える。La 置換と Pr 置換の差異は現時点では説明できていない。

参考文献

- [1] H. Fujishiro *et al.*, Supercond. Sci. Technol. **19** (2006) S447.
- [2] For example, G. Krabbes *et al.*, Physica C **330** (2000) 181; J. Shimoyama *et al.*, J. Phys.: Conf. Ser. **43** (2006) 235.
- [3] Y. Tazaki *et al.*, PhysicaC **460-462** (2007) 1343.
- [4] M. Murakami *et al.*, Supercond. Sci. Technol. **9** (1996) 1015
- [5] T. Naito *et al.*, Physica C **469** (2009) 1218.