

高エントロピー化した銅酸化物超伝導体の照射影響評価

Evaluation of irradiation effects on high entropy cuprate superconductors

*櫻井洸太¹、大野直子¹、山下愛智²、水口佳一²、藪内聖皓³、橋富興宣³

¹横浜国大、²都立大、³京大

超伝導体 YBa₂Cu₃O_{7-δ}(YBCO)と Y サイトをハイエントロピー(HE)化した REBCO に 1MeV-He⁺イオンを最大 70mdpa 室温照射した。照射後、YBCO の超伝導特性は劣化したが、HE-REBCO の特性は僅かに向上した。

キーワード：ハイエントロピー、超伝導マグネット、照射欠陥、磁束ピン止め

1. 目的

銅酸化物系高温超伝導体は、約 10²²n/m² 以上の中性子照射では超伝導特性が劣化する。そこで、我々は近年開発されたハイエントロピー合金(HEA)型超伝導体¹に着目している。HEA は 5 種類以上の金属元素がほぼ等モル比で 5-35 at%で含まれる合金で、照射損傷を抑制する原子力材料として期待されている。HEA 型の超伝導体は、HEA と同様に耐照射性を持つ可能性がある。本研究では、銅酸化物超伝導体 YBa₂Cu₃O_{7-δ}(YBCO) の Y サイトを HE 化した超伝導体にイオン照射を施した影響を YBCO と比較し、HEA 型超伝導体の核融合炉への応用可能性を探ることを目的とした。

2. 実験方法

試料は多結晶の YBCO と、YBCO の Y サイトを 3 元素に置換した Y_{0.39}Sm_{0.31}Eu_{0.30}Ba₂Cu₃O_{7-δ} (ME-REBCO) および 6 元素に置換した Y_{0.18}La_{0.24}Nd_{0.14}Sm_{0.14}Eu_{0.15}Gd_{0.15}Ba₂Cu₃O_{7-δ} (HE-REBCO)である。幅約 1 mm×長さ約 2 mm×厚さ約 1 mm の試験片に対して、京都大学エネルギー理工学研究所の DuET 施設にて、1MeV-He⁺イオンを 45° の入射角で室温照射した。SRIM から見積もった損傷量は 600 nm で 10 mdpa, 1.5 μm では 70 mdpa である。照射後の試験片に SQUID 磁束計による磁化測定を行い、超伝導特性の変化を評価した。照射前後の微細組織変化を、透過型電子顕微鏡(TEM)による格子像と電子回折パターンから評価した。

3. 結果及び考察

80K での規格化磁化の温度変化を評価すると、損傷領域の体積が試料の 1/1000 以下であるため、超伝導転移温度は変化しなかった。しかし、YBCO と ME-REBCO では照射後の磁化の下降が鈍化し、超伝導特性の劣化を示唆する結果となった。HE-REBCO では逆に超伝導特性が向上する傾向を示した。格子像からは、全ての試料において数 nm 程度のアモルファスと思われる照射欠陥が多数観察された。Fig.1 に深さ 600 nm における欠陥の大きさと数密度の分布を示す。3nm 以下の欠陥数密度は HE-REBCO の方が多かったが、YBCO と ME-REBCO ではより大きな欠陥が多く見られた。この傾向は損傷の大きい 1.5 μm の深さでも同様であった。YBCO の特性を向上させる最適な磁束ピン止めのサイズは 77 K では 2-4 nm とされている²ため、HE-REBCO では効率的な磁束ピン止めがはたらし、特性を向上させていると考えられる。

参考文献

[1] Y. Shukunami et al. Phys C: Supercond App. 572(2020)1353623.

[2] T. Haugan et al. Nature 430(2004) 867-870.

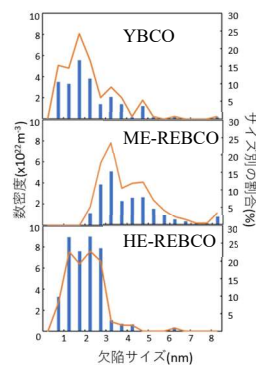


Fig. 1 欠陥サイズの数密度

*Kota Sakurai¹, Naoko Oono¹, Aichi Yamashita², Yoshikazu Mizuguchi², Kiyohiro Yabuuchi³, Okinobu Hashitomi³

¹Yokohama Natl. Univ., ²Tokyo Metropolitan Univ., ³Kyoto Univ.