

講演番号
7P06

HEA型超伝導体の微細構造解析と照射影響評価 Microstructure analysis and evaluation of irradiation effects on HEA-type superconductors

櫻井洸太¹、大野直子¹、水口佳一²、藪内聖皓³、橋富興宣³
SAKURAI Kota¹, OONO Naoko¹, MIZUGUCHI Yoshikazu², YABUUCHI Kiyohiro³,
HASHITOMI Okinobu³

1)横浜国大、2)都立大、3)京大

1)Yokohama National Univ. 2)Tokyo Metropolitan Univ. 3)Kyoto Univ.

研究目的

銅酸化物系の核融合炉用超伝導マグネットは、およそ $\sim 10^{21}\text{n/m}^2$ 以上の中性子照射により超伝導特性が劣化する。そこで、我々は近年新たに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%の高濃度で含まれる合金で、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と同じように耐照射性を持つ可能性がある。本研究では、銅酸化物超伝導体のYBCOに着目し、 $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ のYサイトをHEA化した超伝導体にイオン照射を施し、その影響を従来型の超伝導体と比較することで、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。

研究方法

試料は多結晶の $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ (YBCO)と、YBCOのYサイトを6元素に置換した $\text{Y}_{0.18}\text{La}_{0.24}\text{Nd}_{0.14}\text{Sm}_{0.14}\text{Eu}_{0.15}\text{Gd}_{0.15}\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ (HE-REBCO)である。幅約1mm×長さ約2mm×厚さ約1mmの試験片を切り出し、 $0.05\ \mu\text{m}$ までの鏡面研磨の後、京都大学エネルギー理工学研究所のDuET施設にて、室温にて1MeV-He+イオンを 45° の入射角で照射した。シミュレーションソフト(SRIM)より計算した損傷量は、600nmで10mdpa、 $1.5\ \mu\text{m}$ では70mdpaである。照射後の試験片にSQUID磁束計を用いた磁化測定を行い、超伝導特性の変化を評価した。照射前後の試料の微細組織変化を、透過型電子顕微鏡(TEM)による格子像と電子回折パターンを観察から評価した。

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、超伝導転移温度に変化は見られなかった。しかし、YBCOでは照射後の磁化の下がり方が鈍化し、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、両方の試料において数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600nm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、より大きい欠陥はYBCOで多く見られた。この傾向は損傷の大きい $1.5\ \mu\text{m}$ の深さでも同様であった。深さ600nmと $1.5\ \mu\text{m}$ での照射欠陥の体積分率は、YBCOでは2.5%、9.8%、HE-REBCOでは2.4%、5.7%となり、欠陥が少ないHE-REBCOでは特性の劣化が少ないと考えられる。YBCOの特性を向上させる磁束ピン止めに最適なピン止め点のサイズは77Kでは2-4nmとされている²。HE-REBCOでは効率的な磁束ピン止めがはたらき、特性を向上させている可能性がある。

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.

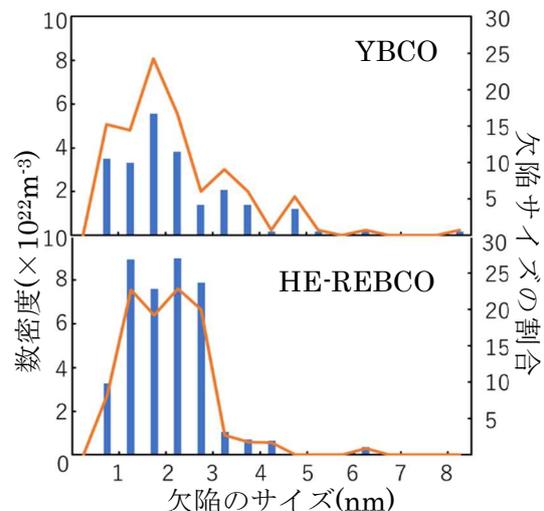


Fig.1 深さ600nm(10mdpa)における欠陥サイズの分布