

銅酸化物超伝導体の照射耐性についての考察

イオン半径の観点から

大野 直子

横浜国立大学 大学院工学研究院

商用核融合炉の実現を考える際に炉の小型化は必須であり、RE-123系銅酸化物超伝導体 ($\text{REBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$: REBCO) などの高温超伝導体によるプラズマの制御がキーテクノロジーであるといえる。核融合炉用超伝導マグネットは、ブランケットの後方に漏れる中性子によって損傷を受ける。これまでにYBCOや幾つかのREBCOにおいては超伝導体の特性が失われる中性子照射量がおおよそ 10^{22}n/m^2 以上であることが報告されている[1]。ITERやDEMO炉であれば、この程度の損傷量でも30年の運転寿命が期待できるが、小型化によって必然的にブランケット壁の厚さが薄くなる商用炉においては、超伝導マグネットの寿命が致命的な課題となり得る[2, 3]。

核融合炉の産業化を見据え、照射に強いハイエントロピー合金(HEA)の概念を部分的に導入したREBCOの開発が進んでいる[4-7]。REサイトをハイエントロピー化したHE-REBCOは、元素の組み合わせ次第で優れた照射耐性を示すことが最新の実験からわかってきており、特性向上のメカニズムを明らかにすることが重要であるといえる。しかし、照射損傷に対するREBCOの構造安定性は最先端のトピックであり、1種類のRE元素をもつREBCOについてすら未だ不明な点が多い。

本研究では、それぞれのRE元素をもつREBCO (RE = Y, La, Nd, Sm, Eu, Gd, Dy, Ho, Er, Tm, Lu) に照射損傷導入後の緩和過程で発生する複数種類の欠陥を仮定し、第一原理計算により結晶構造安定性を評価した結果を主に報告する。REBCOの $3\times 3\times 1$ スーパーセルを出発構造とし、酸素空孔とアンチサイト欠陥を別々に導入し、絶対零度において構造緩和を実施し、欠陥形成エネルギーと欠陥周辺の原子の移動性を評価した。アンチサイト欠陥形成エネルギーはイオン半径の増加とともに減少することが示されたが、酸素空孔形成エネルギーに大きな違いは見られていない。このような欠陥形成エネルギーの傾向に関わらず、REサイトにEuよりもイオン半径の大きな元素が置換された場合、緩和後の欠陥周辺の原子の移動はより小さくなる傾向が見られている。

参考文献

- 1) D.X. Fischer et al., Supercond. Sci Technol., 31, 044006 (2018).
- 2) F. Moro et al., Fusion Eng. Des., 160, 111833 (2020).
- 3) J.W. Bae, E. Peterson, J. Shimwell, Nucl. Fusion, 62, 066016 (2022).
- 4) Y. Shukunami et al., Phys. C Supercond. Appl., 572, 1353623 (2020).
- 5) A. Yamashita et al., Jpn. J. Appl. Phys., 61, 050905 (2022).
- 6) A. Yamashita et al., R. Soc. Open Sci., 9, 211874 (2022).
- 7) Y. Suzuki et al., Jpn. J. Appl. Phys., 62, 033001 (2023).