

高速重イオン照射したセラミックスのイオントラックの構造

Atomistic Structure of Ion Tracks in Ceramic Compounds Irradiated with Swift Heavy Ions

高木 聖也¹⁾ 安田 和弘¹⁾ 松村 晶¹⁾ 石川 法人²⁾ 松田 誠²⁾ 左高 正雄²⁾

Seiya TAKAKI Kazuhiro YASUDA Syo MATSUMURA Norito ISHIKAWA Makoto MATSUDA Masao SATAKA

¹⁾九州大学 ²⁾原子力機構

(概要) 200 MeV Xe イオンを照射した CeO₂ 中のイオントラック構造を種々の透過電子顕微鏡法により調べた。高角度環状検出暗視野 (HAADF)、および環状検出明視野 (ABF) 走査透過電子顕微鏡法 (STEM) を用いたイオントラックの原子レベル観察から、イオントラック損傷の中心領域においても CeO₂ の結晶構造は保たれているものの、原子密度が低下していることを示唆する結果を得た。さらに ABF-STEM 観察により、酸素イオン副格子に著しい乱れが生じていることも明らかになった。

キーワード: CeO₂, イオントラック, 電子顕微鏡法, 原子炉・核変換処理材料

(1行あける)

1. 目的

安定化ジルコニアや CeO₂ などの蛍石構造酸化物セラミックスは、次世代核燃料や核変換処理材料として期待されている。これらの材料は、中性子、イオン、電子等の複合的な放射線環境下で使用される。とりわけ、高エネルギー核分裂片の高密度電子励起に伴う照射損傷は、材料中にイオントラックと呼ばれる照射欠陥が形成することが報告されており、燃料・核変換処理材料の微細構造を大きく変化させることが懸念されている[1]。本研究では高エネルギーXe イオンを照射した CeO₂ 中のイオントラック構造、ならびにイオントラック損傷の重畳に伴う微細組織変化を明らかにすることを目的とする。

2. 方法

CeO₂ 試料は、CeO₂ 粉末 (レアメタリック社製、純度 99.99 %) を加圧成型および焼結することにより作製した。整形加工した試料に原子力機構のタンデム加速器を用いて 200 MeV Xe イオンを室温にて照射した。照射量は $3 \times 10^{15} \sim 1 \times 10^{18}$ ions/m² とした。イオン照射試料を Ar イオン研磨法により薄膜化し、イオン入射方向に垂直な方向とイオン入射方向から透過電子顕微鏡 (TEM) を用いて微細組織変化を観察した。また、高角度環状検出暗視野 (HAADF)、および環状検出明視野 (ABF) 走査透過電子顕微鏡法 (STEM) を用いて原子レベルでの微細構造観察を行った。

3. 結果及び考察

200 MeV Xe イオンを 3×10^{15} ions/m² の照射量まで照射した試料をイオン入射方向に垂直な方向から TEM 観察を行った結果、イオントラックは試料表面から 7.5 μm の領域まで形成されることがわかった。イオントラック形成に対する電子的阻止能の閾値は、SRIM2012 を用いた計算から約 14 keV/nm であることがわかった。さらに、イオン入射方向から HAADF 法によりイオントラックを観察すると、直径 2 nm 程度のイオントラック中心領域は、結晶構造は保たれているものの原子密度が著しく低下していることを示唆する結果を得た。また、[001] 方向から ABF-STEM 法により観察すると、イオントラック中心領域の酸素イオンに起因するコントラストが不明瞭になっていることが明らかになった。このことは、高密度電子励起により酸素イオン副格子の配列に乱れが生じていることを示している。今後は、イオントラック直径や面密度の照射エネルギーや照射量依存性を詳細な原子レベル観察や分析実験などを行うことにより、イオントラック損傷領域の構造とその重畳効果を明らかにすることを旨とする。

4. 引用(参照)文献等

[1] M. Kinoshita et al., *Nucl. Instr. and Meth. Phys. Res., B*, 267, (2009) 960-963.