

酸化物セラミックス中のイオントラックの構造とその重畳効果

Atomistic Structure and Accumulation Process of Ion Tracks in Oxide Ceramics

安田 和弘¹⁾ 高木 聖也¹⁾ 永石 大誠¹⁾ 鶴田 幸之介¹⁾ 吉岡 聡¹⁾

Kazuhiro YASUDA Seiya TAKAKI Taisei NAGAISHI Konosuke TSURUTA Satoru Yoshioka

松村 晶¹⁾ 石川 法人²⁾

Syo MATSUMURA Norito ISHIKAWA

¹⁾九州大学 ²⁾原子力機構

(概要) 電子的阻止能の異なる 70~340 MeV の高速重イオンを幅広い照射量で CeO₂ に照射し、イオントラックおよび転位組織等の微細組織の発達過程を種々の透過型電子顕微鏡法(TEM)により観察した。TEM 観察はイオンの入射する試料表面近傍で行った。CeO₂ 中に形成されるイオントラックや転位組織の発達は、電子的阻止能値(S_e)が大きく影響することを示唆する結果を得た。70 MeV Kr イオンをイオントラックが十分に重畳する照射量まで照射した CeO₂ 中には明瞭なフレネルコントラストを示すイオントラックの他に、デフォーカス量に鈍感なコントラストを示すイオントラックも観察されており、200 MeV Xe イオン照射の場合とは異なっていた。この結果は、イオントラックの回復影響領域が S_e 値に依存していることを示唆している。

キーワード: CeO₂, TEM, イオントラック, 回復影響領域

1. 目的

近年進められている原子炉燃料の高燃焼度化のために、軽水炉燃料として用いられる UO₂ の照射効果を明らかにすることは重要である。CeO₂ は UO₂ と同じ螢石構造を有しており、融点や熱伝導度などの物性も UO₂ に近い値を示すため、UO₂ の模擬材料として照射効果に関する研究が精力的に行われている。我々は、原子炉中で発生する核分裂片が及ぼす高密度電子励起効果を明らかにすることを目的とし、1 MeV/u 程度の拘束重イオンを照射した CeO₂ 中のイオントラックの構造とその蓄積過程を調べてきた。本研究では 200 MeV Xe イオン($S_e=27$ keV/nm)と 100 MeV Kr イオン($S_e=17$ keV/nm)照射に伴うイオントラック構造を透過型電子顕微鏡(TEM)法を用いて観察し、イオントラック構造の電子的阻止能依存性と微細組織変化を明らかにすることを目的とした。さらに、小角 X 線散乱(SAXS)法を用いて、CeO₂ 中のイオントラックサイズも調べた。

2. 方法

CeO₂ バルク試料は、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。また、一部の試料は SiO₂ ガラス基板上に成膜した CeO₂ 薄膜を用いた。高速重イオン照射実験は原子力機構のタンデム加速器を用いて行い、300 K で 100 MeV Kr イオン、200 MeV Xe イオンを照射した。それぞれのイオンの試料表面における電子的阻止能値を SRIM2012 を用いて計算した結果、それぞれ 18 および 27 keV/nm と評価された。照射量は $1 \times 10^{11} \sim 1 \times 10^{15}$ ions/cm² の範囲とした。イオン照射後、CeO₂ バルク試料をイオン研磨法により薄膜化し、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。SAXS 測定は高エネルギー加速器研究機構 Photon Factory (KEK-PF) BL-10C で行い、カメラ長 1 m、波長 1.5 Å に設定し、2 次元検出器(PILATUS 2M)で散乱パターンを観察した。

3. 結果および考察

200 MeV Xe イオンおよび 100 MeV Kr イオンのいずれの場合も、明視野像観察においては、イオントラックは焦点ずれに伴って白黒反転するフレネルコントラストとして観察された。イオントラックの直径はデフォーカス量+0.1 mm の条件において、2.2 nm (200 MeV Xe) および 1.3 nm (100 MeV Kr) であった。イオントラック面密度は、低照射量域では照射量に比例して増加し、高照射量域では飽和した。この蓄積過程の解析から、イオントラックの回復を与える回復影響を評価し、200 MeV Xe および 100 MeV Kr イオンにおいて、それぞれ直径 16.7 nm 回復影響領域は直径 11.9 nm と評価した。