

電子励起損傷に伴う安定化ジルコニアの微細構造発達

Microstructure development in YSZ induced by high density electronic excitation

*山口 芳明¹, 山本 知一², 吉岡 聡², 安田 和弘², 松村 晶², 高木 聖也³, 石川 法人³

¹九州大学大学院工学府, ²九州大学工学研究院,

³日本原子力研究開発機構原子力基礎工学研究センター

高速重イオンを照射した安定化ジルコニア(YSZ)のイオントラック構造を透過電子顕微鏡法を用いて観察した。イオントラック中心領域では原子数密度が低下するものの、蛍石構造は保持されていることが分かった。しかしながら、同一の蛍石構造を有する CeO_2 と比べると、トラックサイズおよび回復影響領域は小さく、形成効率は著しく低いことが明らかになった。

キーワード: イオントラック, 高密度電子励起損傷, 蛍石型酸化物, 電子顕微鏡

1. 緒言

優れた耐照射損傷性を有する蛍石型酸化物セラミックスは、軽水炉燃料としての実績があり、核変換処理材料として期待されている。これらの材料中には核分裂片によって高密度電子励起損傷が誘起され、柱状の照射欠陥(イオントラック)が形成される。イットリア添加安定化ジルコニア(YSZ)は CeO_2 と同じ立方晶蛍石構造を有し、長寿命核種核変換母相材料として期待されているが、酸素構造空孔の存在および低い熱伝導度により、イオントラック構造や形成過程は CeO_2 ^{(1),(2)}と異なることが予想される。本研究では高速重イオンを照射した YSZ のイオントラック構造を透過型電子顕微鏡を用いて観察し、その原子構造と蓄積過程を明らかにした。

2. 実験方法

9.8 mol% Y_2O_3 を添加した YSZ 単結晶、8 mol% Y_2O_3 の YSZ 粉末から作製した焼結体を試料とし、これに日本原子力研究開発機構のタンデム加速器を用いて 200 MeV Xe^{14+} イオンおよび 100 MeV Kr^{8+} イオンを室温にて $3 \times 10^{11} \sim 1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$ まで照射した。この試料を九州大学超顕微解析研究センターの電子顕微鏡(JEOL, ARM-200F および JEM-2100HC)を用いて観察した。

3. 実験結果

YSZ 中のイオントラックはデフォーカス量に応じてコントラストが白黒反転するフレネルコントラストとして観察された。200 MeV Xe^{14+} を照射した YSZ 中のイオントラックサイズは直径 1.5 nm であり、 CeO_2 のトラックサイズ(2.2 nm)に比べて小さいことが分かった。また、イオントラック数密度は低照射量域では照射量に比例して増加し、高照射量域で飽和した。このことは、高照射量域ではイオントラックの形成と回復が平衡していることを示している。一方、イオントラック蓄積過程の解析から評価したトラック形成効率は、 CeO_2 の 0.62 に対して YSZ では 0.07 と極めて小さく、また飽和数密度は、YSZ($8.6 \times 10^{11} \text{ cm}^{-2}$)の方が CeO_2 ($4.7 \times 10^{11} \text{ cm}^{-2}$)の 2 倍程度高い値となった。この飽和数密度と形成効率に基づいて、YSZ および CeO_2 の回復影響領域をそれぞれ直径 4.6 nm、および 13.2 nm の柱状領域と評価した。以上の結果は、YSZ の方が CeO_2 よりも電子励起損傷からの回復が起こりやすいことを示している。

参考文献

[1] S. Takaki et al., Prog. Nucl. Energy, 92 (2016) 306.

[2] 永石大誠: “修士学位論文” (九州大学, 2017).

*Yoshiaki Yamaguchi¹, Tomokazu Yamamoto¹, Kazuhiro Yasuda¹, Syo Matsumura¹, Seiya Takaki² and Norito Ishikawa²

¹Kyushu Univ., ²Japan Atomic Energy Agency.