

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⁾

Seiya TAKAKI Kazuhiro YASUDA Syo MATSUMURA Norito ISHIKAWA Makoto MATSUDA

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

YSZ (イットリウム安定化ジルコニア) および 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。これらの材料は種々の放射線が複合に存在する環境下で使用される。このような環境下で生成する高エネルギーの核分裂片は、イオンの飛跡に沿って高密度電子励起を誘起し、材料中にイオントラックと呼ばれる柱状の照射欠陥を形成することが報告されている。本研究では核分裂片を模擬した高速重イオンを幅広いエネルギーおよび照射量にて蛍石型構造酸化物の CeO₂ や YSZ に照射し、形成されるイオントラック構造ならびにその重畳効果に関する知見を得ることを目的とする。

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。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 70~340 MeV の重イオンを照射した。照射イオンは 70 MeV Kr イオン、100 および 200 MeV Xe イオン、340 MeV Au イオンで、それぞれの試料表面における S_e は SRIM2012 を用いて計算した結果、それぞれ 16.9, 18.6, 27.4 および 39.2 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。

3. 結果および考察

200 MeV Xe イオンを 1×10^{14} ions/cm² の照射量まで照射した CeO₂ をイオン入射方向から TEM 観察を行った結果、明瞭なフレネルコントラストを呈するイオントラックが形成されており、その面密度は約 4×10^{11} /cm² で、過去に報告されている値とほぼ等しい値を示した。一方、70 MeV Kr イオンを 1×10^{14} ions/cm² の照射量まで照射した CeO₂ では、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、その面密度が約 1×10^{12} /cm² で、回復影響領域の減少を示唆する結果を得た。また、340 MeV Au イオンを 3×10^{12} ions/cm² まで照射した試料では、転位組織が発達しており、200 MeV Xe イオンを同じ照射量まで照射した CeO₂ 中の微細組織変化と比較すると、その密度が大きくなっていることがわかった。このことはイオントラック同様、高密度電子励起に起因して転位組織が発達したと考えられる。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原子レベル観察や分析実験などを行い、イオントラック損傷領域のサイズと重畳効果を物理的な損傷の意味との対応づけを目指す。

4. 引用(参照)文献等

[1] K. Yasuda, et al., Nucl. Instr. Meth. B314 (2013) 185.