

## セラミックス—金属多層膜中の重水素移行挙動

## Deuterium migration behavior in ceramics-metal multilayer coatings

\*堀越 清良<sup>1</sup>, 望月 惇平<sup>1</sup>, 胡 翠<sup>1</sup>, 大矢 恭久<sup>1</sup>, 近田 拓未<sup>1</sup><sup>1</sup>静岡大学

トリチウム透過低減被覆の研究として、セラミックス—金属多層膜中の重水素移行挙動を調べた。低放射化フェライト鋼基板上に鉄と酸化エルビウムを用いて二層または三層からなる被覆を作製し、重水素透過試験を行った。また、核反応分析により重水素を導入した多層膜中の重水素深さ分布を測定した。

**キーワード：**トリチウム、透過、被覆、セラミックス、核反応分析

**1. 緒言：**トリチウム(<sup>3</sup>H)の透過漏洩を抑制するための被覆研究において、セラミックス薄膜上に金属を被覆することによって、<sup>3</sup>H透過低減性能を保ちつつ、増殖材候補との共存性が向上されることが報告されている[1]。しかし、このような多層膜中での水素同位体透過挙動は明らかにされていない。そこで本研究では、優れた透過低減性能を有している酸化エルビウム(Er<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)および液体増殖材との共存性の高い鉄(Fe)を用いて二層または三層からなる被覆を作製し、水素同位体透過挙動を調べるとともに重水素深さ分布を求め、セラミックス—金属多層膜中の重水素の透過経路やインベントリについて検討した。

**2. 実験：**低放射化フェライト鋼 F82H 平板上に真空アーク蒸着法を用いて Er<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 膜(膜厚 1 μm 程度)を作製後、マグネトロンスパッタリング法により Fe 膜(膜厚 0.26~0.65 μm)を成膜、または鉄箔(厚さ 10 μm)で覆うことにより Er<sub>2</sub>O<sub>3</sub>—Fe の二層構造の被覆を作製し、ガス透過法によって重水素透過率を測定した。また、Er<sub>2</sub>O<sub>3</sub>—Fe 二層構造の上に Er<sub>2</sub>O<sub>3</sub> を成膜した Er<sub>2</sub>O<sub>3</sub>—Fe—Er<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 三層構造の被覆試料についても同様に透過試験を行った。試験後の試料は 600 °C、80 kPa にて透過装置内で重水素曝露し、重水素の透過量が定常に達した状態で室温まで急冷して分布を保持させ、ヘリウム3イオンビーム照射(0.69~4.0 MeV)による <sup>3</sup>He (d, p) <sup>4</sup>He の核反応で生成した陽子を検出することで、被覆中における重水素濃度の深さ分布を求めた。

**3. 結果・考察：**図に多層膜試料の各温度における重水素透過率を示す。Er<sub>2</sub>O<sub>3</sub>—Fe 二層構造中における透過は Fe 層の厚さに依存せず、Er<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 層中での拡散により制御されることが示された。Er<sub>2</sub>O<sub>3</sub>—Fe—Er<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 三層構造の被覆試料は透過率を基板の 1/10<sup>4</sup> に低減し、二つの Er<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 層がそれぞれ独立に拡散障壁として機能したことが示唆された。核反応分析による多層膜中の重水素分布からは、Fe 層中では重水素濃度が低く、Er<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 中では深さ方向を進むにつれて濃度が高くなる傾向が見られた。この傾向は過去の Er<sub>2</sub>O<sub>3</sub> のみの被覆における結果と一致しており、重水素は主に Er<sub>2</sub>O<sub>3</sub> の粒界中を拡散することが示唆された。また、二層膜中での重水素濃度は Er<sub>2</sub>O<sub>3</sub> のみの被覆と同等であったが、三層膜中にはそれらの3倍程度の重水素が保持されていたことから、膜の多層化は透過低減性能の向上に有効であるが、実用化の際はトリチウムインベントリについて考慮する必要があると考えられる。

## 参考文献

[1] T. Chikada et al., *Fusion Eng. Des.* 88 (2013) 640-643.

\*Seira Horikoshi<sup>1</sup>, Jumpei Mochizuki<sup>1</sup>, Cui Hu<sup>1</sup>, Yasuhisa Oya<sup>1</sup> and Takumi Chikada<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Shizuoka Univ.

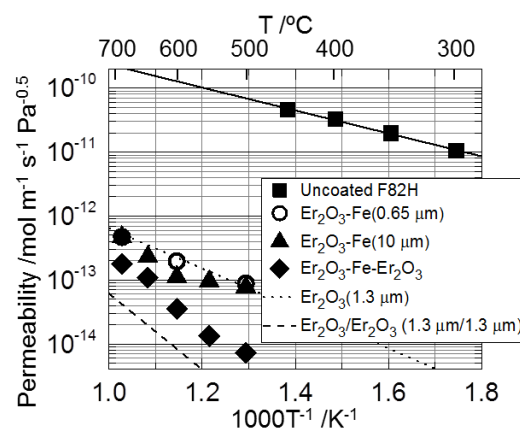


図 多層膜中における重水素透過率