

ハイエントロピー合金の材料科学と原子力材料としての可能性 High Entropy Alloys and its Possibility for Nuclear Materials

Co フリー-MEA の重照射効果

Irradiation effects on Co-free MEA

*岡 弘¹, 橋本 直幸¹, 山下 真一郎², 磯部 繁人¹

¹北海道大学, ²原子力機構

1. 緒言

近年、特異な材料特性を有するハイエントロピー合金 (HEA) 及びミディアムエントロピー合金 (MEA) を原子炉構造材料へ応用するための基礎研究が活発化している。H/MEA の照射損傷に関するこれまでの研究においては、材料構成原子の拡散挙動や欠陥形成挙動における特異性^[1]及び高温での照射損傷に関する報告^[2]も増えつつあり、一部の H/MEA には中性子照射によるデータも存在する^[3]。我々は現在、高温で耐照射性を有する低放射化 H/MEA の創製を目指し、CoCrFeMnNi 等原子量合金 (報告者の名前をとって Cantor 合金と呼ばれる^[4]) から Co を除去した低放射化 CrFeMnNi 系合金を中心に、組成最適化による積層欠陥エネルギー (SFE) の制御と照射硬化の抑制を目指した研究開発を進めている。これまでの研究により、単相 FCC 型の Cr_{0.8}FeMn_xNi_y 系 H/MEA において、Mn 及び Ni 濃度の増加に伴って SFE が増大し、電子線照射下での耐照射性向上を示唆する結果が得られている。しかしながら、H/MEA の照射データ、とりわけ 100 dpa を超える高照射量のデータは限られるのが現状である。本発表では、SFE を制御した MEA である低放射化 Cr_{0.8}FeMn_xNi_y 合金に対し 200 dpa 以上のイオン照射を行った際の組織変化について紹介する。

2. 実験方法

アーク溶解にて Cr_{0.8}FeMn_xNi_y ($x, y = 1.0 \sim 1.3$) を作製し、1160°C×24h の均質化熱処理を施したのち、圧延及び 1000°C×4h の再結晶熱処理を行った。高崎量子応用研究所 TIARA にて 500°C での Au イオン照射を行い、200~240 dpa の位置について TEM 及び STEM-EDS にて欠陥組織や析出物形成状況等を調査した。また、比較材として照射に供した 316L 及び本照射実験と同等の熱履歴を与えた HEA の組織観察も実施した。

3. ボイド形成挙動

比較材の 316L では数十 nm 程度のボイドが多数形成したのに対し、Cr_{0.8}FeMn_{1.3}Ni_{1.3} の照射後組織ではボイドのサイズは数 nm 程度と非常に微細であり、H/MEA においてボイドの成長は著しく抑制される結果となった。ことから、Cr_{0.8}FeMnNi 系 H/MEA は 200 dpa までの重イオン照射下においてスエリングに対する抵抗性が高いことが示唆される。一方、照射後の試料表面には Cr, Mn 酸化物の形成がみとめられ、試料内部には Cr 析出物の形成が確認された。照射同等熱履歴の試料では、表面酸化物層の形成は僅かであり、Cr 析出物はみられなかったことから、これらの相の形成は照射誘起または照射促進によるものと示唆される。

4. 今後に向けて

H/MEA の照射損傷過程における点欠陥の形成、移動及び拡散行程には、H/MEA の大きな格子歪み、遅い拡散効果、積層欠陥エネルギー等が影響する可能性があるが、その詳細を知るには今後の実験的データの蓄積及び計算科学的考察の進展が待たれることである。特に空孔または格子間原子の移動エネルギーや侵入型不純物元素の効果など、照射欠陥形成の要素過程に関わる物理的挙動の把握が必要と考えられる。

[1] C. Lu et al., Nat. Commun., 7 (2016) 13564.

[2] C. Parkin et al., J. Nucl. Mater., 565 (2022) 153733.

[3] C. Li et al., J. Nucl. Mater., 527 (2019) 151838.

[4] B. Cantor et al., Mater. Sci. Eng. A, 375–377 (2004), 213–218.

*Hiroshi Oka¹, Naoyuki Hashimoto¹, Shinichiro Yamashita², Shigehito Isobe¹

¹Hokkaido Univ., ²JAEA