

電子顕微鏡その場観察によるイオン照射下での格子間原子集合体の一次元運動

One-dimensional migration of self-interstitial atom clusters under ion irradiation by in situ observation using transmission electron microscopy

阿部 陽介¹⁾ 大久保 成彰¹⁾ 佐藤 裕樹²⁾
Yosuke ABE Nariaki OKUBO Yuhki SATOH

¹⁾原子力機構 原子力基礎工学研究センター ²⁾広島工業大学 知能機械工学科

（概要）

カスケード損傷下での格子間原子集合体の一次元(1D)運動機構を明らかにすることを目的として、TIARA照射施設における400kVイオン注入装置を備えた電子顕微鏡を用いたその場観察実験により、高純度鉄における自己イオン照射下での格子間原子集合体の1D運動挙動を調べた。その結果、1D運動を阻害し格子間原子集合体を静止させるトラップが、電子照射下では残留不純物や溶質原子であるのに対して、イオン照射下ではカスケード損傷で直接形成される欠陥クラスターによる寄与が大きいことが示唆された。また、静止状態にある格子間原子集合体の1D運動の生起要因が、電子照射下と同様に、入射ビームによるトラップの弾き出しであることが分かった。

キーワード：電子顕微鏡その場観察、格子間原子集合体、カスケード損傷

1. 目的

原子炉構造材料では、中性子照射による連鎖的な弾き出し（カスケード損傷）で形成される格子間原子集合体の1D運動により、照射脆化の要因となるミクロ組織変化が影響を受けることが知られている。しかしながら、カスケード損傷下での格子間原子集合体の1D運動機構は未解明である。我々は、超高圧電子顕微鏡を用いたその場観察実験により、カスケード損傷を生じない電子照射下では、試料内の残留不純物や溶質原子が1D運動を阻害することを明らかにした[1-3]。本研究では、イオン照射下での電子顕微鏡その場観察実験により、カスケード損傷下での格子間原子集合体の1D運動機構を明らかにすることを目的とした。

2. 実施方法

実機環境の模擬のために必要なカスケード損傷の影響を調べるため、TIARA照射施設における400kVイオン注入装置を備えた電子顕微鏡を用いて、原子炉圧力容器鋼のベース金属である純鉄に対する自己イオン照射下でのその場観察実験を行い、形成される格子間原子集合体の1D運動挙動を高感度カメラにより時間フレーム1/30sで約1500sにわたって動画撮影した。照射温度は室温とし、照射時間・入射ビーム強度の関数として、格子間原子集合体の1D運動の生起頻度および運動距離分布について解析した。

3. 結果及び考察、今後の展開等

格子間原子集合体の1D運動頻度は入射ビーム強度に概ね比例することが分かった。この結果は、「観察可能な格子間原子集合体は不純物等にトラップされて静止状態にあり、入射ビームによる不純物等の弾き出しが原因で1D運動が起こる」という電子照射下で明らかにした1D運動機構が、カスケード損傷を生じるイオン照射下でも成立することを示唆している。その一方で、電子照射下に比べてイオン照射下では1D運動距離が著しく短くなることが分かった。また、イオン照射下での1D運動距離は、照射時間とともにやや短くなる傾向が見られた。これらの結果は、電子照射下とは異なりイオン照射下では、カスケード損傷により直接形成される欠陥クラスターが1D運動の阻害に寄与することを示唆する。次年度は、入射エネルギーや入射イオン種を変化させた実験を行うとともに、不純物や溶質原子を多く含む実用鋼を用いた同様の実験との比較により、カスケード損傷下での格子間原子集合体の1D運動機構に関する知識を深化する。

4. 引用(参照)文献等

- [1] Y. Satoh, H. Matsui, T. Hamaoka., Phys. Rev. B 77 (2008) 094135.
- [2] Y. Satoh, Y. Abe et al., Philos. Mag. 96 (2016) 2219-2242.
- [3] Y. Abe, Y. Satoh et al, Philos. Mag. 100 (2020) 110-125.