

イオン照射下における $M_{23}C_6$ の非晶質化への照射温度依存性

Temperature dependence on amorphization of $M_{23}C_6$ under ion irradiation

*叶野 翔¹, 楊 会龍¹, John McGrady¹, 濱口 大², 安堂 正巳², 谷川 博康², 阿部 弘亨¹

¹ 東京大学, ² 量子科学技術研究開発機構

抄録

F82H 鋼ならびに、そのモデル鋼 (Fe-Cr-C 系) に対し、室温から 773 K までの温度域で Fe イオン照射を実施し、照射後の微細組織観察から、各照射温度における $M_{23}C_6$ の非晶質化の有無を評価した。室温照射下では、1 dpa 程度の低照射量試料においても非晶質化が確認され、また、その最高温度は 623 K と推定された。なお、いずれの照射条件においても、一部の析出物では結晶構造が維持されており、本照射条件の範囲内では、照射領域中の $M_{23}C_6$ では、非晶質相と結晶相が混在することが分かった。

キーワード: 低放射化フェライト鋼, 照射損傷, イオン照射, 非晶質化, $M_{23}C_6$

これまでに本研究 Gr では、照射下における F82H 鋼中の析出物のサイズや形態変化に着目した評価から、 $M_{23}C_6$ や MX 等の微細析出物の相安定性について報告しており、また、近年の研究成果では、サイズ変化が観察されない条件下においても、析出物の組成変化等が生じることを確認して来ている。本発表では、照射下における $M_{23}C_6$ の非晶質化に着目し、イオン加速器を用いて、照射温度と照射量を系統的に制御した照射実験により、 $M_{23}C_6$ の非晶質化の最高温度、ならびに、不安定化機構を明らかにすることを研究目的とした。

供試材として F82H 鋼ならびに、Fe-Cr-C 系のモデル合金を使用した。これらの試料を 1x3x5 mm³ 形状に加工し、機械研磨後、電解研磨によって試料表面の加工層を除去し、イオン照射実験に供した。イオン照射は東大 HIT 施設ならびに、量研 TIARA 施設を利用した。照射量は試料表面から 1.0 μ m 位置における値で定義し、室温から 773 K までの温度域において、最大 50 dpa までの照射を行った。照射後試料は FIB によって TEM 試験片に加工し、観察前に低エネルギー Ar スパッタリングを実施し、FIB 加工によって導入された照射欠陥組織ならびに試料表面の非晶質相を除去した。また、STEM-EDS 分析を実施し、照射前後における析出物や母相の濃度変化を評価した。

室温下において 1 dpa 照射した F82H 鋼では、SAD 上にハローリングが出現し、ハローリングからの DF 像観察によって $M_{23}C_6$ の非晶質化を確認した。また、一部の析出物では、SAD 上の電子線回折斑点の形成に寄与しており、これより、本照射条件の範囲内では、イオン照射領域中の $M_{23}C_6$ は、非晶質と結晶相が混在していることが分かった。また、673 K において 50 dpa 照射した試料では、 $M_{23}C_6$ の非晶質化は確認されなかったのに対し、623 K において 20 dpa 照射した F82H 鋼では、 $M_{23}C_6$ を覆い囲むようにして、析出物と母相の中間コントラスト域の形成、ならびに、SAD 上でのハローリングの出現を確認した。また、DF 像観察によって中間コントラスト域が非晶質相であることを確認し、これらより、本照射条件の範囲内では、 $M_{23}C_6$ の非晶質化の最高温度は 623 K と見積もられた。なお、析出物の EDS 分析結果より、 $M_{23}C_6$ の非晶質化が生じる温度域では、析出物の Fe/Cr 比が低下する傾向にあることが分かった。この機構については未だ明確でないが、析出物を覆い囲むようにして形成した非晶質相に依存した原子密度の低下効果、ならびに、照射促進拡散に伴う析出物構成元素の母相中への溶出影響が関連した現象と考察される。

*Sho Kano¹, Huilong Yang¹, John McGrady¹, Dai Hamaguchi², Masami Ando², Hiroyasu Tanigawa² and Hiroaki Abe¹

¹The University of Tokyo, ²QST.