

3次元アトムプローブで調べた鉄中の銅拡散に対する電子線照射効果

Electron-irradiation effects on diffusivity of Cu in Fe studied by 3D-AP

*外山 健¹、Zhan Can¹、下平 昌樹¹、海老澤 直樹¹、戸村 恵子¹、野中 明子¹、井上 耕治¹、永井 康介¹、義家 敏正¹

¹東北大学

310-620°Cで電子線照射した Cu-Fe 拡散対および Fe-Cu 合金中の銅拡散プロファイルおよび銅析出物をそれぞれ 3次元アトムプローブで観察し、鉄中の銅拡散に対する電子線照射効果を調べた。

キーワード：拡散係数、電子線照射、3D-AP、原子炉圧力容器鋼

1. 緒言 RPV 鋼の照射脆化の主因の一つである溶質・不純物クラスターの形成および発展を理解する上で、Fe 中の溶質・不純物原子の拡散係数は重要なパラメーターである。我々は最近、Cu-Fe 拡散対を熱時効して 3次元アトムプローブ (3D-AP) で Cu の拡散プロファイルを測定し、Fe 中の Cu の拡散係数および固溶限を従来の報告よりも約 150°Cも低い温度まで求めた[1]。ところで、原子の拡散には空孔や格子間原子が関与するため、それらが熱平衡時に比べて大量に導入される照射下では拡散が大きく促進される場合がある (照射促進拡散)。照射促進拡散は反応速度論で議論されており、照射条件 (照射速度・温度・照射量) や材料のシンク濃度に依存するとされる[2]。一方、その直接的な実験的な報告はあまり多くなく、特に RPV 鋼の照射脆化で重要な Fe 中の Cu 拡散に関する研究例はわずかである[3]。本研究では、Cu-Fe 拡散対および Fe-Cu 合金を電子線照射したのち、Cu 拡散プロファイルおよび Cu 析出物をそれぞれ 3D-AP で測定して Cu の拡散係数を求め、Fe 中の Cu 拡散に対する電子線照射効果を調べることを目的とする。

2. 実験方法 Cu-Fe 拡散対試料は、純 Fe (5N、水素焼鈍済み) 板状試料を化学研磨後に直ちに 10-5Pa 以下に真空引きし、アルゴンイオンスパッタで表面を清浄にした後に純 Cu (5N) を膜厚約 3 μm まで電子ビーム蒸着して作製した。Fe-Cu 合金は、Fe-1.0wt.%Cu、Fe-0.3wt.%Cu 合金を溶体化処理した後に氷水中に焼き入れて作製した。電子線照射は量研機構高崎研究所 1号加速器にてビームエネルギー2MeV、ビーム電流10mA、ヘリウムガス雰囲気で行なった。温度制御は熱電対およびセラミックヒーターを用いて行ない、目標温度の 1.5°C以内を保って照射した。照射温度は 310-620°C、照射時間は 1000-60000 秒である。照射後、3D-AP を用いて拡散対試料では Cu-Fe 界面からの Cu 濃度プロファイルを、Fe-Cu 合金試料では Cu 析出物をそれぞれ観察し、照射中の Cu の拡散係数 D_{irrad} を求めた。

3. 結果 Cu-Fe 拡散対から求めた D_{irrad} をその温度における熱時効時の拡散係数 $D_{thermal}$ と比較すると、620°C では D_{irrad} は $D_{thermal}$ にほぼ等しかったが、570°C では約 2 倍、530°C では約 10 倍であった。従って、低温では照射促進効果が顕著になることが分かった。なお、照射中の Cu の固溶限濃度には照射効果はほとんど見られなかった。講演ではその他の照射条件や Cu 析出から算出した拡散係数の結果も示し、拡散に対する電子線照射の影響を議論する。

参考文献 [1] T. Toyama et al., Script. Mater., 449(2014)207. [2] R. Sizman, J. Nucl. Mater., 69&70(1968)386. [3] T. N. Le et al., Scrip. Metal. Mater. 26(1992)771.

*Takeshi Toyama¹, Zhan Can, Masaki Shimodaira, Naoki Ebisawa, Keiko Tomura, Akiko Tomura, Koji Inoue, Yasuyoshi Nagai and Toshimasa Yoshiie¹

¹Tohoku Univ.