

様々な放射線環境下における最新の非熱的再結合補正モデルを考慮した材料のDPA計算

Calculations of dpa based on new athermal recombination correction model in various environments

*岩元 洋介¹, 明午 伸一郎¹, 橋本 慎太郎¹

¹原子力機構

最新の非熱的再結合補正(arc)モデルを PHITS コード に組み込み、放射線照射による材料での原子当たりのはじき出し数(dpa)を評価し、従来の NRT モデルによる結果との比(スケーリング係数)を導出した。その結果、材料のスケーリング係数は 1.4~5.7 の範囲となり、dpa の評価に大きな影響を与えることがわかった。

キーワード: 原子あたりのはじき出し数(dpa), 非熱的再結合補正(arc), PHITS

1. 緒言 放射線施設の構造材の照射損傷量の指標として、原子あたりのはじき出し数(dpa: displacement per atom)が用いられており、従来は NRT モデルで導出されてきた。一方、2018 年に Nordlund 等は、分子動力学計算で導出された格子間原子と空孔からなる欠陥での非熱的再結合補正(arc: athermal recombination correction)を考慮した arc モデルを新たに提案した[1]。本研究では、放射線挙動解析コード PHITS を用いて、原子炉、核融合炉及び加速器施設における放射線照射下で、NRT モデル及び arc モデルにより各種材料の dpa (NRT-dpa 及び arc-dpa)を計算し、両者の比 (NRT-dpa/arc-dpa、以下「スケーリング係数」)を導出した。

2. 計算 PHITS のはじき出し損傷計算では、核反応による反跳核のターゲット原子への損傷エネルギーと原子のはじき出し数を導出する。核的損失による材料の損傷エネルギーの関数で表され、欠陥の再結合補正を考慮した欠陥生成効率(図 1)を PHITS に組み込み、arc-dpa を計算した。本研究では、様々な施設における中性子[2]、1 MeV 陽子、1 及び 50 GeV 陽子を入射粒子とし、アルミニウム、鉄、銅及びタングステンに関するスケーリング係数を導出した。また 10 MeV 鉄イオン照射による鉄中のブラッグピーク領域におけるスケーリング係数も導出した。

3. 結果 本研究で得た各施設における中性子及び陽子照射によるスケーリング係数を図 2 に示す。中性子及び 1 及び 50 GeV 陽子照射条件では、全ての材料における損傷エネルギーが約 1 keV 以上であり、図 1 の各材料の欠陥生成効率が概ね一定の値になるため、スケーリング係数は照射条件によらず、各材料のスケーリング係数は 1.9~5.7 程度であった。1 MeV 陽子照射の場合、各材料の損傷エネルギーは数百 eV であり、スケーリング係数は 1.4~1.7 の範囲であった。また、10 MeV 鉄イオン照射による鉄表面から 2 μm 付近のブラッグピーク領域において、スケーリング係数は 3 程度であった。

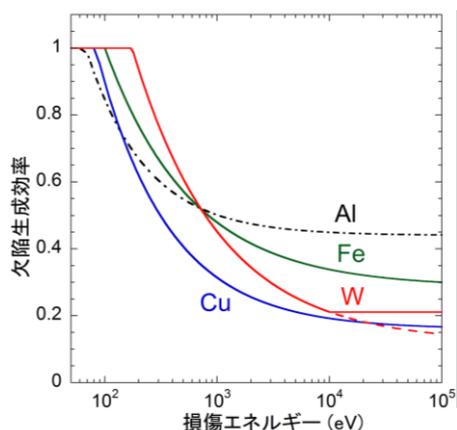


図 1 各材料の欠陥生成効率

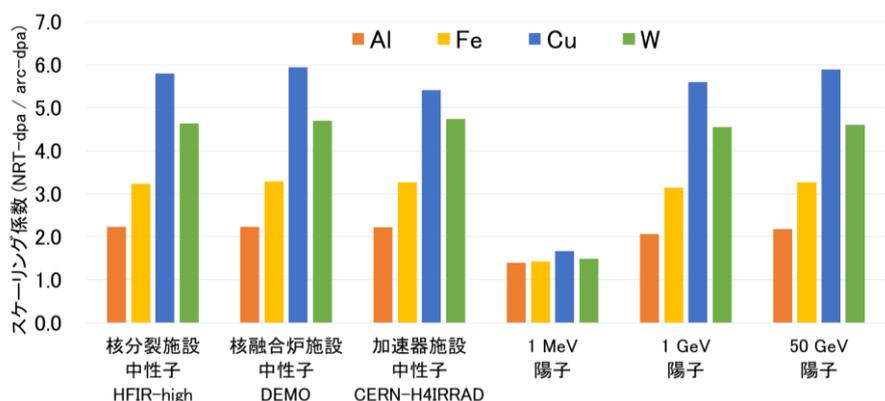


図 2 中性子及び陽子照射によるスケーリング係数

参考文献

[1] K. Nordlund et al., Nature Commun. (2018) 9, 1084. [2] Y. Iwamoto et al., J. Nucl. Mater. (2020) 538, 152261.

*Yosuke Iwamoto¹, Shin-ichiro Meigo¹ and Shintaro Hashimoto¹

¹Japan Atomic Energy Agency