中性子および陽子入射のアルミニウムの弾き出し断面積

Displacement cross-section of aluminum induced by neutrons and protons

*明午 伸一郎¹, 中野 敬太¹, 松田 洋樹¹, 岩元 洋介¹

1J-PARC 原子力機構

極低温のアルミニウムにおける 14 MeV 中性子照射に伴う抵抗率変化の実験結果から、中性子入射の弾き出し断面積を導出した。中性子入射の断面積を陽子入射における断面積、および PHITS コードによる 計算モデルと比較検討した。

キーワード:弾き出し断面積、NRT モデル、arc-dpa モデル、Al、PHITS

1. 緒言

加速器駆動核変換システム(ADS)等の大強度陽子加速器施設では、ビーム窓や標的に用いられる材料の損 傷評価が重要となる。放射線に起因する材料の弾き出し損傷は、弾き出し断面積と粒子束との積による原 子あたりの弾き出し数 (dpa)により評価される。弾き出し断面積の計算モデルの評価には、実験データが必 要となるが、20 MeV 以上のエネルギー領域における陽子入射の実験データはほとんど無かったため、発表 者らは、J-PARC 3 GeV シンクロトロン加速器および MR 加速器施設において、0.4~3 GeV、8 GeV および 30 GeV の運動エネルギーを持つ陽子を用いて弾き出し断面積を測定した¹⁾。J-PARC の物質・生命科学実験 施設(MLF)の核破砕中性子源では、アルミ合金製の陽子ビーム窓を用いている。建設計画中の ADS ターゲ ット試験施設(TEF-T)や中性子利用のための第2ターゲットステーション(TS2)では、陽子ビーム窓は MLF の6倍以上の高電流密度のビームを受けるため、さらに高い精度の弾き出し評価が必要となる。核破砕反 応で生成する中性子による窓の弾き出しの評価には、中性子入射の弾き出し断面積の比較検討が重要であ るので、極低温に冷却したアルミニウム試料に対する14 MeV 中性子の照射に伴う実験データより、中性 子入射における弾き出し断面積を導出し、陽子入射の弾き出し断面積と比較検討した。

2. 中性子入射による弾き出し断面積の導出

弾き出し断面積は、マティーセン則に従い試料の照射に伴う電気抵抗率変化を、粒子束とフレンケル対 あたりの抵抗率増加を除する事により導出できる。LLNLの回転標的中性子源施設(RTNS-II)で実施した実 験結果²⁾より、中性子入射の弾き出し断面積を導出した。この実験では、極低温(4.2 K)に冷却したアルミ ニウム試料に、D-T 反応による 14 MeV 中性子の照射に伴う抵抗率変化を測定した。陽子入射の断面積測 定と同一のフレンケル対当たりの抵抗率増加を用い、14 MeV 中性子入射の弾き出し断面積を導出した。

3. 結果

図1に陽子および中性子入射のAlの弾き出し断面積の 実験値を示し、一般的に dpa の評価に用いられる NRT モ デルと欠陥の非熱的な再結合を補正した arc (athermal recombination corrected) dpa モデルによる PHITS の計算値 と比較した。中性子入射も陽子入射と同様に、NRT モデ ルの計算は実験を過大評価し、arc-dpa モデルの計算は実 験をよく再現した。計算による中性子入射の断面積は、 20 MeV 付近で最大となり、これ以上のエネルギー領域に おいて、陽子入射の断面積とほぼ等しくなった。中性子 入射の場合では、低エネルギーの陽子において支配的な クーロン力の寄与が無い。陽子入射の高エネルギー領域 では、原子核反応による弾き出し寄与が支配的となる。 この結果、僅かなクーロン力の違いはあるものの、中性 子および陽子入射の値はほぼ等しくなったと考えられる。



図 「 中性于およい陽子入射のアルミーウムの 弾き出し断面積の実験と計算との比較

H. Matsuda, et al., *J. Nucl. Sci. and Technol.* 57, 1141 (2020)
M.W. Guinan, et al., *J. Nucl. Mater.* 133&134, 357 (1985)

^{*}Shin-ichiro MEIGO¹, Keita NAKANO¹, Hiroki MATSUDA¹, Yosuke IWAMOTO¹ ¹J-PARC/JAEA