

J-PARCにおける 0.4 – 3 GeV 陽子を用いた弾き出し断面積測定

Measurement of DPA cross-section of 0.4 – 3 GeV proton at J-PARC

*松田 洋樹¹、明午 伸一郎¹、前川 藤夫¹、岩元 洋介¹、吉田 誠²、長谷川 勝一¹、
牧村 俊助²、中本 建志²、石田 卓²

¹J-PARC/日本原子力研究開発機構、²高エネ研

大強度陽子加速器施設のターゲット材として使用される材料の損傷評価の高精度化のため、J-PARC において 0.4 GeV から 3 GeV 陽子入射による様々な弾き出し断面積の測定を行う。本講演では、実験装置の準備状況並びに銅を用いた断面積測定の実験結果について報告する。

キーワード：弾き出し損傷、DPA 断面積、銅、3 GeV 陽子、J-PARC

1. 諸言

弾き出し損傷 (DPA) は、入射粒子との衝突や相互作用により、原子当たり結晶中の原子が格子点から弾き出される量となり、材料損傷評価に広く用いられる指標である。大強度陽子加速器施設ではターゲットや窓等の構造材の損傷評価において重要な量となり、核内カスケードに基づくコードにより原子固有の DPA 断面積に粒子束を乗じることで導出される。しかしながら、20 MeV 以上の陽子に対し DPA 断面積の実験データは銅(Cu)、タングステン(W)の原子に対し 5 点しか無いため、コードに用いられる計算モデルの比較検討が殆どされていない。計算モデル間には W において約 8 倍の食い違いがあり、更に Cu と W において再現性のよい計算モデルはそれぞれの場合において異なっている。加速器駆動核変換システム(ADS)や核破砕中性子源の材料の損傷評価のためには、数 GeV の陽子に対するデータが重要となるが、国内で実験可能な加速器施設は J-PARC のみとなる。そこで、本実験では J-PARC の 3 GeV シンクロトロン(RCS)を用いて、0.4 ~ 3 GeV 陽子入射における様々な原子の DPA 測定を行う。

2. 実験準備

DPA 断面積は、陽子を試料に照射する際の抵抗率変化を 1 フランケル対欠損当たりの抵抗率変化で除することで得ることができる。試料の損傷を維持するためには、試料を極低温状態にする必要があるため、本実験では 2 段式 4KGM 冷凍機 (住友重機械製) の先端に照射試料を取り付けた。今回の試験では 800°C で焼鈍した銅線 (直径 0.25 mm) を用いた。温度測定のため、测温抵抗体 (Lakeshore 製 Cernox) を設置し、照射後の昇温による抵抗率の回復率測定に用いる温度制御のためヒータを設置した。

実験は 3 GeV シンクロトロン(RCS)から物質・生命実験施設(MLF)にビームを輸送する、3NBT 施設で微弱ビームを用いて行う。スペースの都合上ダンプ直前の装置設置が困難なため、大強度の陽子ビームが試料を通過する場所に実験装置を設置する。試料を熔融防止のためにビームがダンプに入射する場合のみ実験が行えるように、加速器のインターロックの変更を行い実施することとした。装置は 1 軸のステージ上に設置し、不使用時にはビームから退避させ、さらにビームロスを抑えるために、試料周辺の輻射熱シールドには、アルミの薄窓を用いることとした。試料の温度評価の結果、ダンプに入射可能な陽子ビーム強度であれば、冷凍機の冷却機能が損失しても試料の熔融が無い事を確認した。

実験装置 (図 1) は有意な真空リークが無い事を確認した。低温用に必要なグリース等のアウトガスが真空に対する影響が懸念されたため、真空試験は慎重に行った。ビームラインに設置後の真空引きにより、ビーム運転が可能な 5×10^{-6} Pa の圧力に達したので、実験を行えることとなった。装置をビームラインに設置後、試料を冷却し到達温度を測定した。到達温度は冷凍機ヘッドにおいて 4 K となったが、試料周辺は 20 K と比較的高くなった。この原因は、ヘッドとアルミの熱抵抗が大きいことや、輻射シールドからの熱流入が原因と考えられる。20 K でもビーム入射で生じた損傷は試料に維持されるため、問題なく実験が行える。

3. 予備実験

DPA 断面積導出のためには、高精度なビーム幅の測定が必要となるため、装置直前に設置したビームプロファイルモニタと放射化法によりビーム幅を測定した。この結果、両者の測定値は約 0.2mm 以内の精度で一致した。本発表ではビームプロファイルの断面積への影響について議論を行う。更に本実験は放射線変更申請許可後の 3 月に実施予定であり、発表では実験データと計算との比較検討を示す予定である。



図 1 ビームラインに設置した実験装置

*Hiroki Matsuda¹, Shin-ichiro Meigo¹, Fujio Maekawa¹, Yosuke Iwamoto¹, Makoto Yoshida², Shoichi Hasegawa¹, Shunsuke Makimura², Tatsushi Nakamoto² and Taku Ishida²

¹J-PARC/JAEA, ²KEK