

3 GeV 陽子による銅の弾き出し断面積の測定

Measurement of displacement cross-section of copper for 3-GeV protons

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

¹J-PARC 原子力機構, ²J-PARC KEK

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に用いられるビーム窓の損傷評価の高度化のため、J-PARCセンターの加速器施設において、3 GeV 陽子による銅の弾き出し断面積の測定を行った。この結果、世界で初めて 3 GeV 陽子の弾き出し断面積を取得し、実験結果と計算との比較検討を行った。

キーワード： 弾き出し断面積, 3 GeV 陽子, 銅, PHITS, J-PARC

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。損傷の指標として弾き出し損傷(DPA)が用いられるが、NRT モデルに基づく弾き出し断面積と粒子束の積分により導出される。陽子の 20 MeV 以上のエネルギー領域では、弾き出し断面積の殆ど測定されていないため、計算モデルの十分な検討がされていない。一方、大強度陽子加速器施設の機器の寿命評価は DPA を基準とするため、大強度陽子加速器において DPA 評価が重要となる。本研究では、J-PARC の加速器施設において 3 GeV 陽子に対する銅の弾き出し断面積の測定を行った。

2. 実験

弾き出し断面積は、試料入射に伴う抵抗率変化を欠損あたりの抵抗率変化と陽子束で除することにより得ることができる。欠損あたり（フランケル対あたり）の抵抗率変化は、電子線を用いた研究により既知となり、抵抗率変化と陽子束の測定により導出することができる。照射による欠損を試料中に留めることが重要となるため、極低温に冷却した状態で測定することが必要となる。4 K まで冷却可能な冷凍機に試料を取り付けた真空装置を製作し、3 GeV 陽子シンクロトロン加速器施設に設置した。試料には抵抗率の低い銅(直径 0.25 mm)を用い、照射前の試料の欠損を無くするため 800℃で焼鈍した。実験に必要なビーム調整時間を減少させるため、RCS の利用運転で用いられる 3 GeV 陽子を試料に照射した。断面積の導出のためには、試料における陽子束が必要となるため、試料位置のビームプロファイルを炭化珪素製のワイヤを用いて計測した。試料の温度上昇を抑えることが望ましいものの、微弱なビームではビーム形状が不明となるので、形状が可能となる最弱な強度(3.3×10^{12} 陽子/パルス)のビームを 151 パルス用いた。

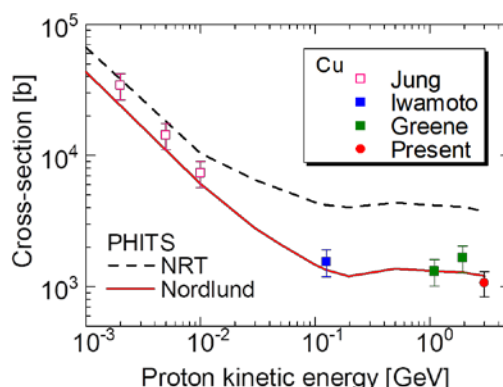


図 1 本実験による銅の弾き出し断面積、他の実験及び計算の比較

3. 結果

実験の結果、ビーム形状は単純なガウス分布となり、ビーム幅と積算電流から試料における陽子束を導出した。この結果、世界で初めて 3 GeV 陽子の弾き出し断面積を取得し、銅の弾き出し断面積は 1070 ± 230 b となった。誤差の殆どは、フランケル対あたりの抵抗率変化の分散によるものである。図 1 に本実験結果、他の実験結果、及び PHITS の計算結果を示す。PHITS の計算には、DPA 評価に一般的に用いられる NRT モデルと Nordlund により最近提案されたモデルを用いた。この結果、NRT モデルによる計算結果は、全ての実験結果において 3~4 倍程度の過大評価が示された。Nordlund によるモデルは実験とよい一致を示すことを示した。今後は、試料と陽子の運動エネルギーを変更しシステムティックな測定する予定である。

*Shin-ichiro MEIGO¹, Hiroki MATSUDA¹, Yosuke IWAMOTO², Makoto YOSHIDA², Shoichi HASEGAWA², Tatsushi NAKAMOTO², Shunsuke MAKIMURA², Fujio MAEKAWA¹, Hiroki IWAMOTO¹, Taku ISHIDA²
¹J-PARC/JAEA, ²J-PARC/KEK