

低ガンマ線感度を有するリアルタイム中性子個人被ばく線量計用高速中性子センサーの実験とシミュレーションによる応答関数の評価

Experimental and Simulated Fast Neutron Response Functions of Thin Neutron Silicon Sensors with Low Gamma-Ray Sensitivity Applied for Active Neutron Personal Dosimeters

*高田 真志^{1,2}, 布宮 智也³, 松本 哲郎², 増田 明彦², 青山 敬³, 中村 尚司^{3,4}

¹防衛大学校 応用物理学科, ²産業技術総合研究所, ³富士電機, ⁴東北大学 CYRIC

低ガンマ線感度を有する薄型シリコンセンサーを用いた高速中性子センサーを開発し、その高速中性子応答関数を実験とシミュレーションにより評価した。その結果、シミュレーションは実験結果をよく再現できたが、生成 2 次荷電粒子の取扱に関する問題点が明らかになった。本センサー利用により、中性子検出の下限エネルギーが 0.8MeV まで下がり、中性子エネルギー応答特性が線量当量換算係数によく一致した。

キーワード：高速中性子，シリコン半導体センサー，モンテカルロシミュレーション，中性子標準場，中性子応答関数，ガンマ線，中性子線量当量換算係数，中性子個人被ばく線量計，MCNP6 コード

1. 緒言

宇宙陽子線による中性子誤計測を無くした、国際線などに搭乗するパイロットや添乗員らの中性子被ばく線量計測の実現、さらにガンマ線による中性子誤計測を無くした、核テロなどの放射線災害活動に従事する初動対応者の中性子被ばく線量計測を実現するため、低ガンマ線感度を有する薄型シリコン半導体センサーを利用した高速中性子センサーを開発した [1]。本シリコンセンサーの厚さを 60 μm まで薄くしたことで、高ガンマ線量率 (253mGy/h) の環境下でも正常に動作し、陽子線による Funneling 現象も発生しないことが分かった [2]。高速中性子検出用にシリコンセンサー前面に厚さ 100 μm のポリエチレンラジエーターが用いられている。また薄型シリコンセンサーを利用することで、高速中性子センサーの中性子検出の下限エネルギーを 0.8MeV まで下げることができた [3]。

本研究では、中性子センサーの高速中性子に対する応答関数を、中性子線源と国家標準中性子ビームを用いた実験、さらに MCNP6 コードを用いたモンテカルロシミュレーションにより評価した。

2. 実験とシミュレーション

産業技術総合研究所に整備された国家標準中性子場で、6 点の中性子エネルギー (0.8, 1.1, 2.5, 5, 8, 15MeV) と中性子線源 ^{252}Cf について本中性子センサーの高速中性子に対する応答関数を実験的に評価した。さらに、中性子核反応により生成された 2 次荷電粒子を追跡でき、荷電粒子エネルギー付与による波高分布をシミュレーションできる MCNP6 コードを用いて高速中性子の応答関数を評価した。中性子核データには ENDF-B/VII が用いられた。これまでシリコンセンサーのエネルギー収集効率の非直線性のためシミュレーションと実験結果には不一致な点が見られたが、実験で得られた非直線性データを用いることでシミュレーションを改善し、全中性子エネルギーに対して MCNP6 コードは実験結果をよく再現できた。

3. 結果と結論

シミュレーション結果は全中性子エネルギー点において実験結果をよく再現できたが、中性子エネルギー 8MeV の応答関数の実験結果から、これまで明確になっていなかった不一致な点が明らかになった。中性子エネルギー 8MeV の応答関数の実験結果には、 $^{28}\text{Si}(n,\alpha)^{25}\text{Mg}$ (Q 値 = -2.654MeV) 反応による生成 2 次荷電粒子の全エネルギー吸収ピークを明瞭に確認できるが、MCNP6 コードはこのピークをシミュレーションできていないことが分かった。このピークは Si(n, α)反応により生成されたアルファ線と生成核 (^{25}Mg) の飛程がセンサー厚さよりも短く、シリコンセンサーに全エネルギーが付与されるため形成される。しかし、MCNP6 コードはこの 2 次荷電粒子をそれぞれ別々に扱い、生成 2 次荷電粒子のエネルギーバランスが成立していないためこの全エネルギー吸収ピークを再現できなかった。この問題点は Event Generator 機能を有する Phits コードを利用して応答関数をシミュレーションすることにより改善できると考える。

次に、波高分布を重み付けして中性子線量を評価することで、中性子エネルギー 2.5MeV から 100MeV の幅広いエネルギー範囲において中性子エネルギー応答関数は中性子線量当量換算係数に対してファクター 2 で一致することができた。従来の熱中性子センサーと組み合わせれば、高エネルギー中性子場でもリアルタイムに個人被ばく線量を計測できると考えられる。

参考文献

[1] M. Takada et al., *Radiat. Prot. Dosim.*, **161**(1/4), pp. 295-298 (2014). [2] M. Takada et al., *Radiat. Prot. Dosim.* **170** (1/4), pp. 213-217 (2016). [3] M. Takada et al., *Solid State Dosimetry (SSD18)*, ID: 315, Munich, Germany (2016).

*Masashi Takada^{1,2}, Tomoya Nunomiya³, Tetsuro Matsumoto², Akihiko Masuda², Kei Aoyama³ and Takashi Nakamura^{3,4}

¹National Defense Academy of Japan, ²National Metrology Institute of Japan, ³Fuji Electric Co. Ltd., ⁴Cyclotron and Radioisotope Center, Tohoku Univ.