

薄型シリコンセンサーを用いた中性子がん治療場における リアルタイム中性子計測への応用

Real-Time Neutron Measurement at Boron Neutron Capture Therapy Field using Thin Silicon Sensor

*高田真志¹, 上田哲郎¹, 遠藤 暁², 田中浩基³, 堀口哲男⁴, 松本哲郎⁵, 増田明彦⁵, 布宮智也⁶, 木村文洋¹, 梶本 剛², 鎌田 創⁷, 青山 敬⁶, 成田政隆⁶, 上田 治⁶, 中村尚司^{6,8}
¹防衛大学校, ²広島大学, ³京都大学, ⁴近畿大学, ⁵産総研, ⁶富士電機, ⁷海技研, ⁸東北大学

ガンマ線に対する感度が非常に低い薄型シリコン半導体センサーを用いた中性子ホウ素捕捉治療場におけるリアルタイム中性子計測実現の可能性を調べるため、近畿大学原子力研究所と京都大学原子炉実験所で中性子計測のテスト実験を行った。この実験結果からリアルタイム中性子計測の可能性が見出された。

キーワード：中性子計測, シリコン半導体, 中性子ホウ素捕捉療法, 原子炉, リアルタイム計測, モンテカルロシミュレーション, 熱中性子, ガンマ線, 粒子放出反応

1. 緒言

中性子ホウ素捕捉療法 (BNCT) 施設では金放射化法を用いてオフラインで中性子照射フルエンスを計測しているため、リアルタイムに中性子フラックスを計測可能な測定器が求められている。しかし、中性子測定器には BNCT 治療場に混在する高フラックスガンマ線と熱中性子線を弁別して計測することが要求されている。これまで高速中性子個人被ばく線量計センサーとして開発や特性評価を行ってきた薄型シリコン半導体センサー[1][2]にはガンマ線に対する感度が非常に低いという特徴が有るので、この高フラックスガンマ線が混在する BNCT 治療場でも中性子フラックスをリアルタイムに計測できると考えた。しかしシリコン半導体検出器には中性子損傷の問題点が指摘されているため、大強度ガンマ線と中性子線が混在する放射線場で実際に照射テスト実験を行い、我々の中性子センサーが BNCT 場でもリアルタイム中性子フラックス計測に利用できるかどうかを評価した。

2. 測定器と実験

中性子測定器は薄型シリコン半導体センサー (1cm 角) に厚さ数ミクロンのフッ化リチウムを貼り合わせ、 ${}^6\text{Li}(n,t){}^4\text{He}$ 核反応により放出されたトリトンを検出するものである。薄型シリコンセンサーは 0.5 Gy/h の高線量率のガンマ線も計測できている。

中性子照射テスト実験を 2 箇所の施設で行った。近畿大学原子力研究所では炉心内に本センサーを挿入して中性子 ($\phi_n \sim 1 \times 10^7$ n/cm²/s) を照射し、京都大学原子炉実験所では重水減速場で熱中性子フラックスを増減させて照射した ($\phi_n = 2 \times 10^7 \sim 1 \times 10^9$ n/cm²/s)。測定はフリーエアーで行い、センサーから得られた信号を市販の前段増幅器、主増幅器、波高分析器で処理し、波高分布を取得した。

3. 結果と結論

右図に両中性子場で計測した波高分布を示す。この波高分布は熱中性子フラックスで規格化してあり、その中性子フラックスをグラフの凡例に示してある。破線より左側はガンマ線起因、右側は中性子起因の事象が主成分と考えられる。矢印で示した 2 つのピークやエッジは中性子と ${}^6\text{Li}$ との粒子放出反応により生成されたトリトンを検出した事象である。このように両中性子場で中性子をリアルタイムに計測できていることが分かる。

今回のテスト実験の結果において、大強度のガンマ線と中性子線が混在する放射線場で中性子フラックスをリアルタイムに計測できたことから、BNCT 用リアルタイム中性子モニターとして薄型シリコンセンサーを利用できることが分かった。今後、実験を積み重ねることで中性子モニターとしての実用を目指していく。

参考文献

- [1] M.Takada, et al., “Simulated 8 MeV Neutron Response Functions of a Thin Silicon Neutron Sensor”, Rad. Prot. Dosim., (2018)
 [2] M.Takada, et al., “Neutron detection efficiency and response functions of a thin neutron silicon sensor with low gamma-ray sensitivity”, Rad. Meas. 106, pp.585-590 (2017).

*Masashi Takada¹, Tetsuro Ueda¹, Satoru Endo², Hiroki Tanaka³, Tetsuo Horiguchi⁴, Tetsuro Matsumoto⁵, Akihiko Masuda⁵, Tomoya Nunomiya⁶, Fumihiko Kimura¹, Tsuyoshi Kajimoto², So Kamada⁷, Kei Aoyama⁶, Masataka Narita⁶, Osamu Ueda⁶ and Takashi Nakamura^{6,8}

¹National Defense Academy of Japan, ²Hiroshima Univ., ³Kyoto Univ., ⁴Kinki Univ., ⁵Nat'l Inst. Adv. Sci. Technol., ⁶Fuji Electric Co., ⁷Nat'l Maritime Res. Inst., ⁸Tohoku Univ.

