

論文の内容の要旨

1 申請者

防衛大学校 阿部 洋平

2 論文題目

反転薄型シリコンダイオードを用いたリアルタイム中性子個人被ばく線量計の開発

3 論文の内容の要旨 (博士:2,000 字程度)

放射線や放射性物質は原子力発電所などのエネルギー分野を始め、医療、産業など幅広い分野で利用されている。近年では、医療分野における BNCT 治療や、産業分野における非破壊検査、原子力発電所の再稼働や六ヶ所再処理工場の稼働などにより中性子発生を伴う放射線利用機会が増加しているため、中性子に対する被ばく線量測定的重要性が増している。中性子個人被ばく線量計は中性子エネルギー $0.025\text{eV}\sim 15\text{MeV}$ まで幅広い範囲の測定が求められる。富士電機(株)製の線量計は、シリコンダイオードを用いた速中性子センサーと熱中性子センサーを使用してこの広いエネルギー範囲を測定している。しかし、中性子エネルギー $100\text{keV}\sim 1\text{MeV}$ の範囲におけるエネルギー応答特性は国際放射線防護委員会が定める 1cm 線量当量換算係数に対して過小評価である。この過小評価により個人線量計が利用される放射線環境 (中性子エネルギースペクトル) によっては正確な被ばく線量を測定できない恐れがあり、放射線被ばく管理者から改善が求められている。本研究の目的は、中性子エネルギー $100\text{keV}\sim 1\text{MeV}$ において中性子個人被ばく線量計のエネルギー応答特性の 1cm 線量当量換算係数に対する過小評価を改善することである。そのために新たに開発した反転薄型シリコンダイオードを速中性子センサーと熱中性子センサーに適用した。

中性子は常にガンマ線との混在場となるため、中性子測定ではガンマ線の影響を取り除く必要がある。ガンマ線により生成される 2 次電子は阻止能が小さくセンサーへ付与するエネルギーも小さいが、空乏層を除くシリコン母体部におけるファネリング効果により想定よりも大きなエネルギーが付与されることがある。新たに開発した反

転薄型シリコンダイオードは、薄型化によりシリコン母体部を小さくすることでファネリング現象を抑え、ガンマ線の感度を低下させることができる。これにより速中性子センサーにおけるガンマ線弁別のためのディスクリレベルを下げ、より低いエネルギーの中性子を測定できるようになった。また、中性子とラジエータの原子核反応で発生する 2 次荷電粒子のセンサー入射面を薄くすることで、反転薄型シリコンダイオードへの 2 次荷電粒子の入射過程で起こるエネルギー損失を減らし、中性子感度を上げることをできた。

新型速中性子センサーでは反転薄型シリコンダイオードを使用することで、ガンマ線感度を従来型センサーの 7.1%~13%に抑えることができた。中性子照射実験では、中性子とポリエチレンラジエータとの原子核反応 ${}^1\text{H}(n, p)$ で発生した反跳陽子のエネルギーロスに従来型センサーに対して半分以下に抑えることができた。これらの効果により従来型センサーでは測定できなかった中性子エネルギー1MeV 以下の中性子を500keV から測定できるようになった。検出効率に従来型センサーの最大9.3倍に大きくなり、測定における統計精度を向上させることができた。モンテカルロシミュレーションは、実験結果を±21%で再現でき、中性子エネルギー500keV~15MeV の幅広い範囲で、中性子応答特性を評価できた。また、ガンマ線弁別のためのディスクリレベルに加えて、上限ディスクリを設定することでエネルギーの高い反跳陽子の成分を取り除き、中性子エネルギー780keV~2.5MeV で個人線量計の国際規格 IEC61526 が定める1cm 線量当量換算係数に対する許容範囲-35%~+122%を満足することができた。上限下限ディスクリを設定することで、放射線利用環境の中性子場(中性子エネルギースペクトル)に合わせた感度調整が可能であることがわかった。

新型熱中性子センサーでは、中性子エネルギー100keV 以上で応答特性が低下しないよう、リチウム-6を95%濃縮したフッ化リチウムラジエータを使用した。リチウム-6は、中性子との原子核反応 ${}^6\text{Li}(n, t){}^4\text{He}$ の核反応断面積で中性子エネルギー250keV に共鳴ピークを持ち、このピークを活用することで、中性子エネルギー100keV 以上の応答特性低下を防ぐことができた。また、中性子入射方向に炭化ホウ素ゴムやカドミウムの遮蔽を配置することで、ファントムで散乱される中性子を検出し、従来型センサーで過大評価となっていた中性子エネルギー10keV 以下の応答特性を±25%の差異で

1cm 線量当量換算係数に近づけることができた。モンテカルロシミュレーションは、実験結果を 6~14%の差異で再現でき、中性子エネルギー0.025eV~565keV までの幅広い範囲で、中性子応答特性を評価できた。

新型速中性子センサーと新型熱中性子センサーを組み合わせた評価では、それぞれのセンサーへ感度調整係数を乗じることで中性子エネルギー0.025eV~15MeV までの幅広い範囲で従来型センサーよりも 1cm 線量当量換算係数に近づけることができた。3箇所の放射線場において線量当量を評価した結果、従来型個人線量計を新型中性子個人被ばく線量計に置き換えることにより、真の線量当量に対して 20%以内の不確かさで 1cm 線量当量を測定できるようになった。

反転薄型シリコンダイオードを使用することで中性子個人被ばく線量計の中性子エネルギー応答特性を改善することに成功した。

4 キーワード（5個程度）

リアルタイム中性子個人被ばく線量計、中性子、ガンマ線、シリコンダイオード、モンテカルロシミュレーション