

加速器線源による半導体検出器の α 線 β 線 γ 線照射挙動の解明

Investigation of α -ray, β -ray, and γ -ray irradiation behavior of semiconductor detector by accelerator radiation source

奥野 泰希¹⁾

Yasuki Okuno

¹⁾原子力機構

(概要)

福島第一原子力発電所(1F)の炉内における α 線、 β 線、 γ 線を測定することは、溶融した燃料デブリの分布や素性を明らかにするために重要である。JAEAでは、デブリからの放射線を測定するため、現在、宇宙用太陽電池素子を検出器として使用した線量計の開発を進めている。この線量計は、前年度までの研究において α 線、 β 線、 γ 線に対して感度があることが確認された。本研究では、より詳細な検出挙動を取得することにより、線量率評価の精度を明らかにすることを目的とする。今回申請を行う、3MV タンデム加速器、3MV シングルエンド加速器、2MV 電子線加速器、コバルト 60 γ 線照射施設は、原子炉内の放射性核種から放出される α 線、 β 線、 γ 線を模擬した線源を発生させることができる有効な手段である。そのため、これらの線源を用いて、太陽電池にヘリウムイオンビーム、電子線、コバルト 60 γ 線を照射することにより検出器挙動の解明を行う。具体的には、半導体検出器の電流値を in-situ で測定し、線量率およびエネルギー依存性を実験的に取得する。また既存の宇宙太陽電池劣化予測で考案されてきたモデルを α 線や γ 線の影響も加味したモデルに拡張し、その劣化予測精度を実験的に検証する。

キーワード：太陽電池、線量計、 α 線、ヘリウムイオン、放射線誘起電流

1. 目的

1Fにおいて炉内及び建屋内は事故の影響で高い線量率となっている。炉内状況や建屋内状況を調査する上で、現行の放射線測定装置では測定線量率範囲、測定線種および放射性耐性に限界がある。そのため、1Fでのニーズを踏まえた上で、画期的な放射線計測装置の開発を行う必要がある。原子炉内では、 α 線、 β 線および γ 線が高線量率で存在しており、高線量率の放射線環境を実験的に模擬するためには3MV シングルエンド加速器、2MV 電子線加速器、コバルト 60 γ 線照射施設は有力な手段である。

太陽電池は、放射線により発電することが知られており、自身の内部電解により電源レスで駆動する素子である[1]。また、表面から数 μm の厚みで検出を行うため、飛程の短い α 線および β 線でも検出できることが昨年の研究で明らかになった。原子炉での高レベル放射線環境下での使用を想定することから、本研究では、高放射線耐性を有する半導体である InGaP、CIGS、および GaTe 太陽電池を検出素子として使用する。

昨年度 γ 線によって取得した実験結果において、InGaP 太陽電池の放射線照射時の発生電流量は、線量率に応じて直線的に増加することが確認された。このことから、今年度では、InGaP 太陽電池だけでなく、検出感度や、放射線耐性の異なる CIGS および、CdTe 太陽電池を用いた γ 線照射試験を実施することにより、より 1F の環境に最適な太陽電池の探索を行う。また、ヘリウムイオンや、電子線照射時のそれぞれの太陽電池の発生電流も同様に取得する。

施設を利用した照射試験を実施し、ヘリウムイオン、電子線、コバルト 60 γ 線による放射線誘起電流の線量率およびエネルギー依存性および、誘起電流の劣化傾向を明らかにすることにより、それらの挙動を体系的に把握することができる。この得られたデータを元に線量計の測定範囲を決定できるため、1F の炉心付近での線量測定が出来るかどうかを見積もることが可能になる。

2. 実施方法

本年度では、シングルエンド加速器、食品照射棟を利用し、InGaP 太陽電池へそれぞれヘリウムイオン、および γ 線照射時の放射線誘起電流を取得した。

・QST 食品照射棟では、In-situ でデバイスの電気的特性を測定できるシステムがある。そのため、食品照射棟の導入端子を用いて、太陽電池の電流挙動を取得するシステムを導入した。また、施設では、7kGy/h 以下の線量率でコバルト 60 ガンマ線を照射することが可能であるため、1 F で想定される線量率環境下(1kGy/h 以下)を模擬することができる。そのため、10Gy/h-7kGy/h の線量率の範囲で太陽電池にガンマ線照射を行い、そのときに発生する太陽電池に電流のガンマ線線量率依存性を取得した。太陽電池は、InGaP 太陽電池が使用された。

・QST シングルエンド加速器では、In-situ における材料照射の評価に特化した MT1 チャンバーがある。そのため、MT1 チャンバーのフィードスルーを用いて、太陽電池の電流挙動を取得するシステムを導入した。また、本加速器では、3MeV のヘリウムイオンを加速することが可能であるため、1 F で想定されるデブリから放出される α 線のエネルギーに比較的近い。そのため、3MeV のヘリウムイオンを太陽電池に照射を行い、そのときに発生する太陽電池に電流のヘリウムイオンフルエンスおよびフラックス依存性を取得した。太陽電池は、InGaP 太陽電池が使用された。

3. 結果及び考察、今後の展開等

ガンマ線照射による InGaP 太陽電池の発生電流を図 1 に示す。太陽電池に発生する電流は、ガンマ線の線量率に対して線形的に増加することが確認された。また、1F 環境下で想定される最も高い線量率である 1 kGy/h においても、電流が出力されることが明らかになった。この直線的傾向は、実験により 10Gy/h まで保存することが確認されている。この結果より、InGaP 太陽電池は、1 F 環境下の線量をモニターするために有効的な検出器であることが示唆された。今後の展開として、素子の温度を変化させた際の発生電流挙動や、ガンマ線環境での耐久性に関するデータを取得する予定である。

ヘリウムイオン照射を行ったところ、InGaP 太陽電池の発生電流が安定しないことが観察された。ヘリウムイオンは、ガンマ線に比べて太陽電池に照射欠陥を生成しやすいため、電流測定中に性能が劣化していることが予測される。そのため、InGaP 太陽電池のヘリウムイオン照射時の短絡電流の劣化挙動を AMO 光源による光電流電圧特性の変化から評価を行った。その結果を、図 2 に示す。その結果、太陽電池の劣化は、 10^9cm^{-2} から始まっていることが明らかになった。

しかし、シングルエンド加速器の既存のシステムを利用したヘリウムイオン照射には、 10^9cm^{-2} 以下までフラックスを落とすことができない。今後の課題として、より低いフラックスで照射できる環境を構築し、ヘリウムイオン照射による InGaP 太陽電池の放射線誘起電流挙動を解明する。

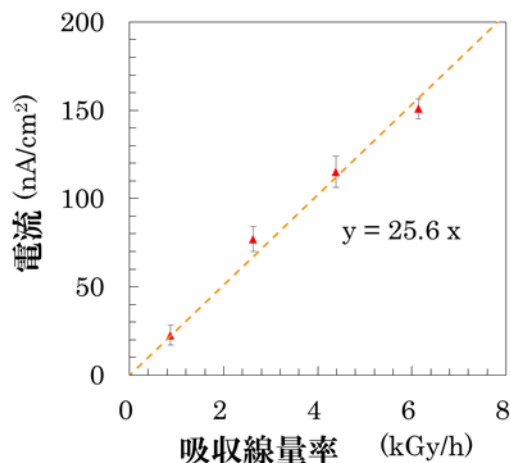


図1 ガンマ線照射による InGaP 太陽電池の発生電流

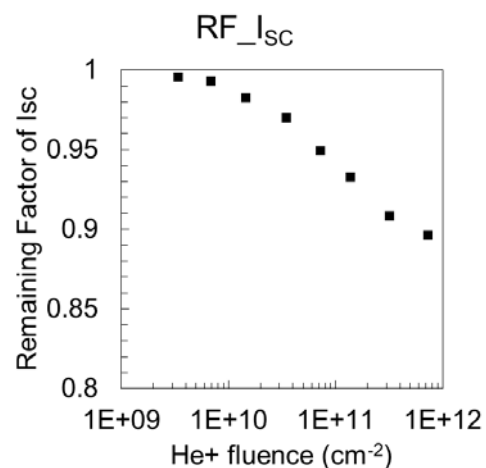


図2 ヘリウムイオン照射による InGaP 太陽電池の劣化挙動

4. 引用(参照)文献等

[1] The characteristics of solar cells exposed to γ -radiation, T. Kondo, Nuclear Instruments and Method in Physics Research A, 385 (1997), 183-188.