

放射線劣化した薄膜太陽電池セルの構造解析評価の試み

株式会社エイ・イー・エス 戸田和宏

1. 概要

薄膜太陽電池は、従来の太陽電池に比べて軽量、柔軟性、高効率を兼ね備えており、出力質量比を大きくすることができるため、宇宙開発ミッションの長期化や高度化に対応していくためには、不可欠な技術となっている。一方で、高価で貴重な素子であるこの半導体デバイスは宇宙放射線環境に曝されることで、TID (Total Ionization Dose) 効果による性能劣化及びSEE (Single Event Effect) と呼ばれる誤動作や故障を引き起こすことが知られている。

太陽電池セルの信頼性を高めるためには、宇宙放射線により3接合型薄膜太陽電池セル (図1) の特性劣化がどのようなメカニズムで引き起こされるのかを、結晶構造の変化の様子などから理解することが、重要な課題となっている。この課題に関連して、X線回折による逆格子空間マッピングによって結晶格子のひずみや異方性などの情報を収集できることがわかっているが、得られる構造情報は表面層のInGaPトップ層のものである。そこで、セルの劣化と関連する内部層の構造情報を得るため、中性子ビームを使うことを計画した。また、中性子ビームを利用して格子欠陥に関する情報を取得できないか評価したいと考えている。

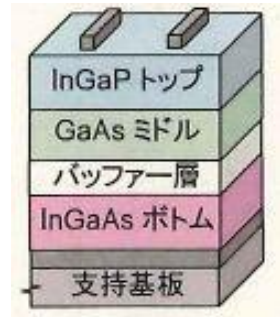


図1 3接合太陽電池の構造

以上の背景の下、本研究では宇宙環境を模擬した放射線 (陽子線等) により内部層であるGaAsミドル層を変位損傷させて性能を意図的に劣化させた3接合型薄膜太陽電池セルと放射線劣化させていない太陽電池セルを用いて、中性子ビームによる構造解析評価の可能性を調査することを目的とする。

今回の第1回実験ではトライアルユースの機会を活かして、最も基本的な構造を持つGaAs基盤 (厚さ: $450\mu\text{m}$) とInGaP層 (厚さ: 500nm) の薄膜電池セル素子 (面積: $10\text{mm}\times 10\text{mm}$) を試料として取り上げ、単結晶回折データがBL20で取得できるか、その間の中性子ビーム照射場環境によって電池の発電性能が変化しないか、の2点を確認するためのデータをとることとした。このテストによって、BL20装置の中性子ビームを使って放射線損傷無しに微量の単結晶または粉末の結晶構造解析が可能か否かを判定することとした。

2. 実験

図2は放射線劣化していないGaAs基盤とInGaP層から構成された薄膜電池セル試料のBL20への装填方法を示している。カドミウム板に空けた $12\text{mm}\times 12\text{mm}$ の窓にカプトンテープ貼り、その中央に自立している電池セルを張り付けた後に、カドミウム板をBL20の試料交換機に装填した。太陽電池セルの面方向を中性子ビーム方向に合わせるようにした。



図2 測定試料(太陽電池セルは銀蒸着メッキが白く光った部分)

実験は2020年3月1日14:00から開始し24:00に終了した。MLF加速器出力は 523kW であった。まず、試料を空気中に保持して25Hzパルス中性子ビームを1分間、6分間、20分間、40分間、100分間照射した。夫々の照射直後に試料を取り外した後太陽電池セルの発電性能を測定し、照射前のそれと比較した。次に、試料を真空へと排気しながら、背面中性子検出器を用いて単結晶回折データを取得するために中性子ビームを228分照射した。この照射後の16時間後(3月2日(月)16:00)に再度太陽電池セルの発電性能を測定した。

3. 結果

各照射後に得られた発電特性 IV カーブは下記の図 3 であり、何れの照射後も照射前からの変化は無く、BL20 装置の中性子ビーム環境下では積算時間 395 分間の照射で太陽電池セルにダメージを与えないことが判明した。これは、今後の太陽電池セルの構造解析実験における中性子ビームの健全性を保証することを示している。

空気中の照射試験および真空中の単結晶回折実験において、背面中性子検出器を用いて単結晶回折データを取得した。真空中 166 分間測定について、装置グループより単結晶回折予備解析結果 (図 4) を得た。図は中性子ビーム上流から見ている 6 枚の背面検出器群の 2 次元中性子強度データである。図の中央部を中性子ビームが検出器群平面に直交して進み、試料にあたって後方に回折された中性子が計測される。6 枚の背面検出器群のラベル付けは、試料からみて上中下段と左右の位置に対応している。主成分である GaAs の回折スポットが 10 個程度観測されており、電池セル面方向の 100 回折ピークおよびその近片の回折ピークと思われる。同様に空気中 6 分の測定でも、空気散乱の影響はあるものの、回折スポットが観測された。これらの回折スポットの詳しい解析はその環境が整い次第行う必要があるが、今回の実験結果から、放射線非照射 (未劣化) 及び照射済み (劣化済み) の 3 接合型薄膜太陽電池セルの構造変化を BL20 において解析することは、挑戦する価値があると考えられる。

4. 結論

本実験から以下のことが明らかになった。

- ① 最も基本的な構造を持つ GaAs 基盤 (厚さ: $450\ \mu\text{m}$) と InGaP 層 (厚さ: 500nm) の薄膜太陽電池素子 (面積: $10\text{mm}\times 10\text{mm}$) の単結晶回折スポットを観測した。詳しい解析はその環境が整い次第行う必要があるが、放射線非照射 (未劣化) 及び照射済み (劣化済み) の 3 接合型薄膜太陽電池セルの構造変化を BL20 において解析できる見通しを得た。
- ② BL20 装置の中性子ビーム環境下では積算時間 395 分間の照射で太陽電池セルにダメージを与えないことが判明した。これは、今後の太陽電池セルの構造解析実験における中性子ビーム場の健全性を保証することを示している。

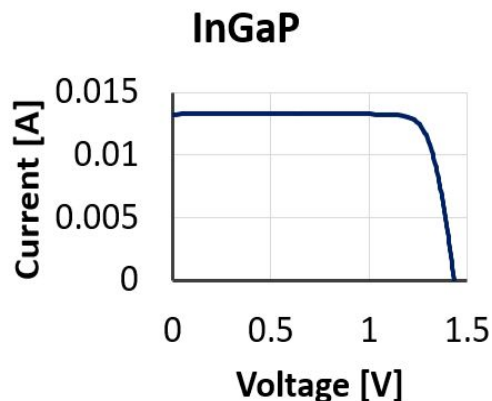


図3 InGaP 試料の IV 測定結果

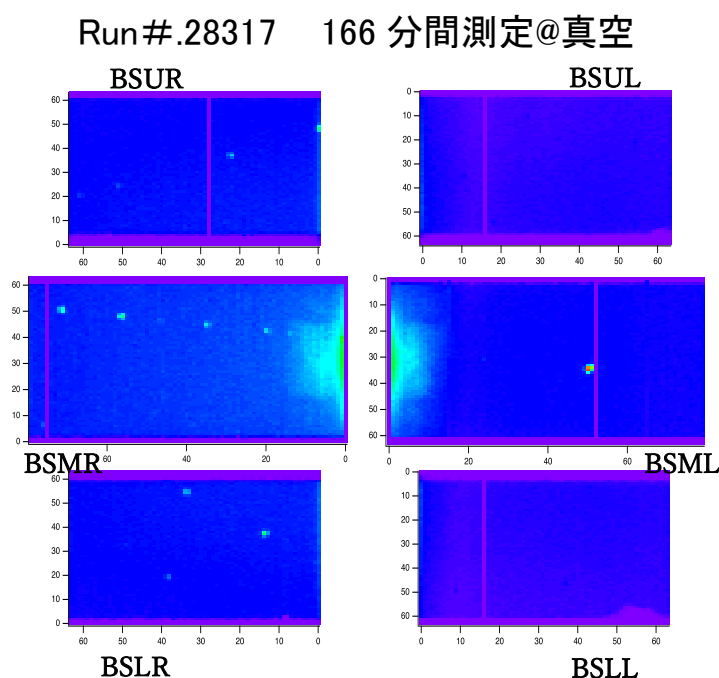


図4 InGaP の中性子回折結果