

電子ビームと紫外線を帯電手法とする 太陽電池カバーガラスの表面電位測定実験

○佐々木 孝明, 豊田 和弘, 趙 孟佑 (九州工業大学), 大久保 充, 関 一義 (三菱電機)

Surface potential measurement experiment of solar cell coverglass using electron beam and ultraviolet as charging method

Takaaki SASAKI, Kazuhiro TOYODA, Mengu CHO (Kyushu Institute of Technology)

Mitsuru OOKUBO, Kazuyoshi SEKI (Mitsubishi Electric)

1. 背景および目的

宇宙環境における宇宙機故障統計によると宇宙機故障原因の過半数を帯電・放電が占めており、これらによって宇宙機が運用停止に陥る可能性がある。この宇宙機故障を防ぐためにも地上での帯電・放電実験が重要となってくるが、実験にはコストや時間がかかり、なおかつ簡単なものではない。そこでいかに地上で宇宙環境を模擬して、精度の高い実験をコストや時間を削減しつつ容易におこなえるかが重要となってくる。

現在、宇宙用太陽電池の帯電・放電実験では電子ビームが使用されており、それに代替するものとして紫外線ランプの使用を考えている。紫外線を使用するメリットとして、実験時間やコストの削減、宇宙環境での光による帯電を模擬するのに適している点が挙げられる。しかし、紫外線を使用した場合と電子ビームを使用した場合とでは放電閾値に違いがみられるため、すぐには実験に適用できない。そこで、太陽電池カバーガラスの表面電位の差に着目した実験を行うことによって、2手法における放電閾値の違いを探ろうと考えている。

2. 放電閾値測定実験

2.1 実験サンプルと実験システム

本研究をすすめるにあたって、はじめに太陽電池の放電閾値測定実験をおこなった。太陽電池クーポンはアルミハニカム基板を CFRP 基板ではさんだものをポリイミドシートで覆い、その上に太陽電池セルとカバーガラスが接着されているような構造をとっている。太陽電池セルは3直列3並列になるように、それぞれのセルがインターコネクタで接続されている。

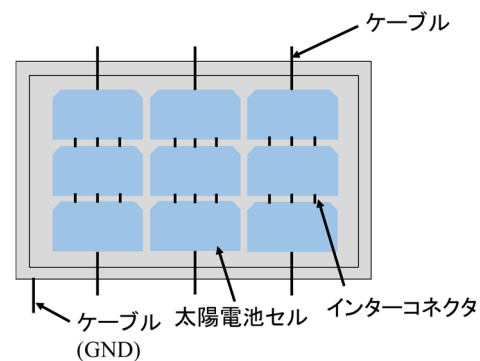


図1 太陽電池クーポンの構造

太陽電池クーポンの各セルとポリイミドに接続されたケーブルがフランジを介して外部回路と接続されている。このサンプルに紫外線または電子ビームを照射することによって放電を発生させることができる。周辺機器として表面電位計、オシロスコープ、放電箇所取得システムである QuickLook が接続されている。

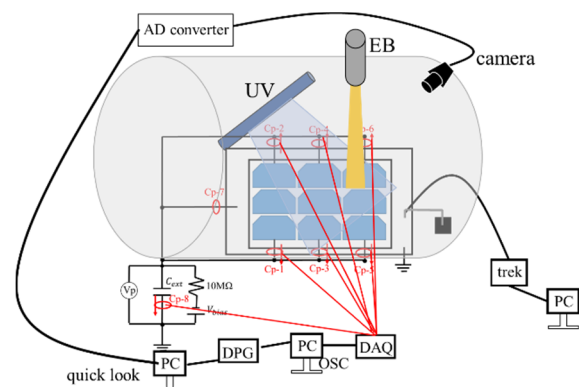


図2 実験システムの概略図

2.2 実験方法

電子ビームの場合、初めにクーポン全体を-6kV にバイアスした。カバーガラス表面が 100V ずつ帯電す

るように電子ビームを照射し、直後に表面電位を測定した。これを放電が発生するまで繰り返した。

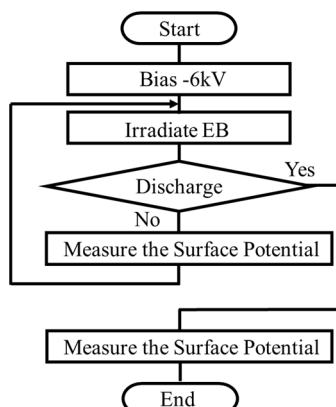


図3 電子ビーム使用時の実験フローチャート

紫外線の場合、クーポン全体を任意の電圧でバイアスし、3分ほど紫外線を照射した後に表面電位を測定した。乖離電圧がバイアスした値とほとんど同じとなり、表面電位が変化しなくなったらバイアスを100Vほど下げ、紫外線照射と表面電位測定を繰り返した。

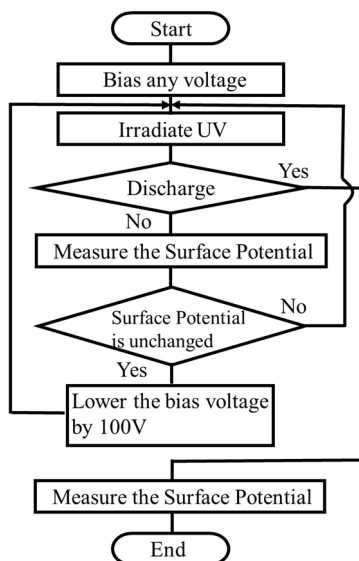


図4 紫外線使用時の実験フローチャート

2.3 評価方法

放電箇所取得システムで放電点が検出した後に、放電点に隣接しているカバーガラスについて評価をおこなった。放電前の最新の表面電位測定データから評価範囲内における表面電位最大点を割り出し、実験クーポンにかけているバイアス電圧とその表面電位最大値を放電閾値とみなした。

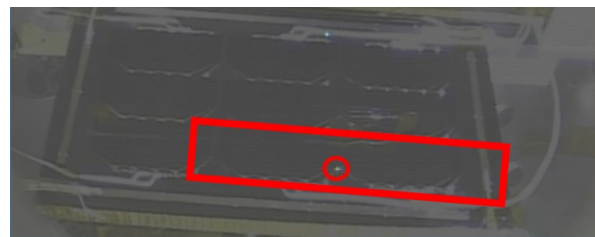


図5 放電点と評価範囲

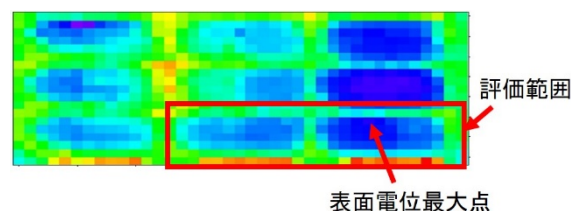


図6 表面電位測定データと表面電位最大点

2.4 実験結果

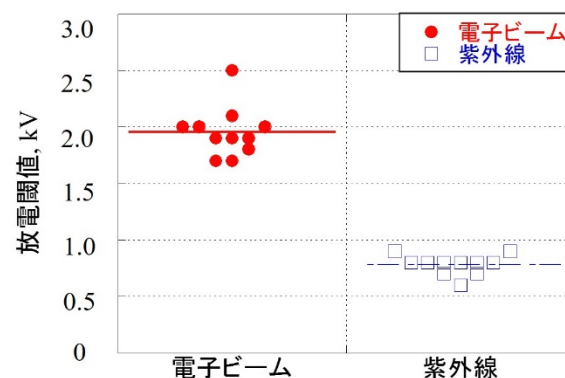


図7 太陽電池の放電閾値

電子ビーム照射時と紫外線照射時のそれぞれにおいて10回ずつ測定をおこない平均をとると、放電閾値が電子ビーム照射時は2.0kV、紫外線照射時は0.8kVという結果となり、放電閾値に1kV以上の差があることが判明した。この結果に対する考察として、カバーガラス端に発生している電界による影響を考えた。電子ビームから照射される電子は電界の影響を受け、紫外線によって照射される光子は電界の影響を受けないといった違いをもとに、次はカバーガラス端に着目した電位の測定をおこなった。

3. 表面電位測定実験

3.1 使用したサンプル

本実験では太陽電池の構造を模擬したサンプルを作製して実験を行った。下層からアルミ板、ポリイミドテープ、銅板、カバーガラスといった構造をとって

おり、カバーガラスにはホウケイ酸ガラスを使用した。図 8 に実際に作製したサンプルを、図 9 にサンプルの構造を示す。

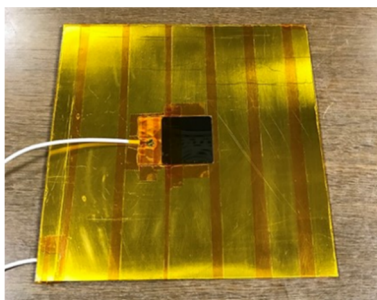


図 8 作製したサンプル

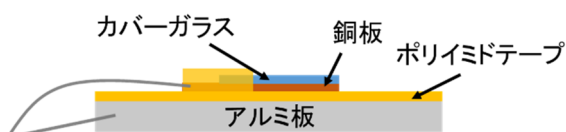


図 9 サンプルの構造

3.2 評価方法

図 10 に簡単な実験システムを示す。実験サンプルは真空チャンバー内に設置されており、銅板とアルミ板に接続されたケーブルがフランジを介して外部回路と接続されている。

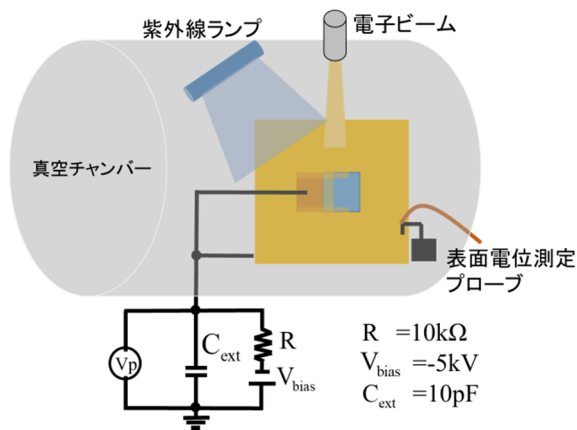


図 10 実験システム

サンプルには-5kV のバイアス電圧がかけられており、電子ビームまたは紫外線を照射して変化した表面電位を表面電位測定プローブで測定できるようになっている。

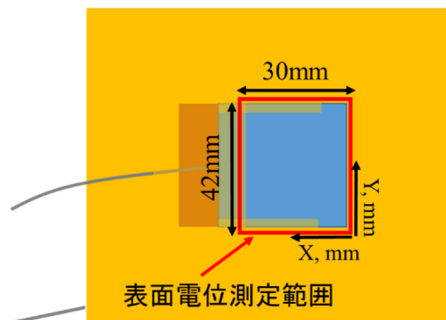


図 11 実験サンプルの表面電位測定範囲

電位の測定範囲は図 11 に示す赤枠内であり、カバーガラスが露出している部分である。具体的に評価する箇所はカバーガラスの端に該当する $X=0\text{mm}$ の箇所、カバーガラスの中央部に対してどのように帯電しているかを 2 つの帯電手法に対して評価し、比較をおこなった。

3.3 実験結果

図 12 に電子ビーム照射時のカバーガラスの表面電位データを示す。また図 13 に $Y=20\text{mm}$ の部分を抜き出した表面電位データを示す。電子ビームを照射した場合は $X=20\text{mm}$ の電位が-3.7kV であるが、そこからガラス端に向かって徐々に電位が下がり、ガラス端付近の $X=0\sim 4\text{mm}$ の箇所では急激に電位が下がるような結果が得られた。

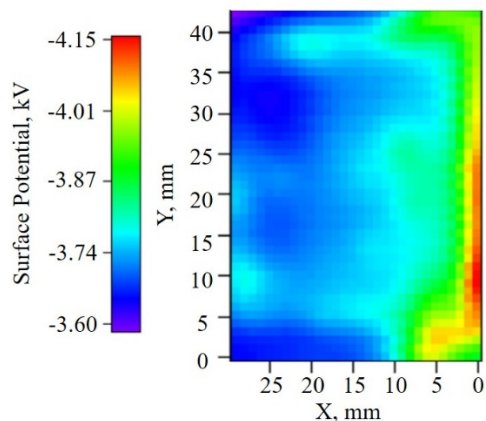


図 12 電子ビーム照射時のカバーガラスの表面電位データ

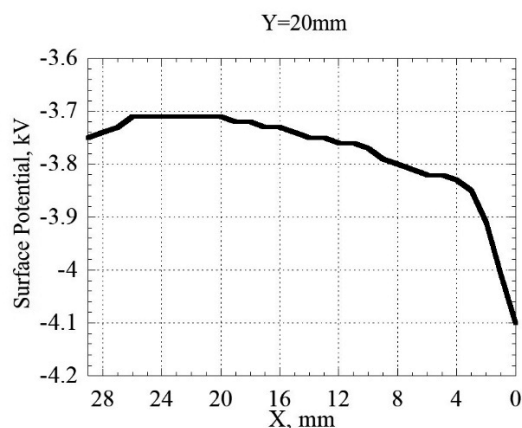


図 13 電子ビーム照射時の Y=20mm の表面電位データ

また図 14 に紫外線照射時のカバーガラスの表面電位データを、図 15 に Y=20mm の部分を抜き出した表面電位データを示す。紫外線を照射した場合は X=8~20mm の箇所の電位が-3.7kV であり、そこからガラス端にむかって急激に電位が下がるような結果が得られた。

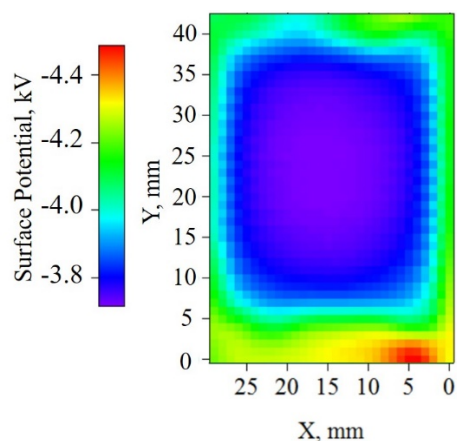


図 14 紫外線照射時のカバーガラスの表面電位データ

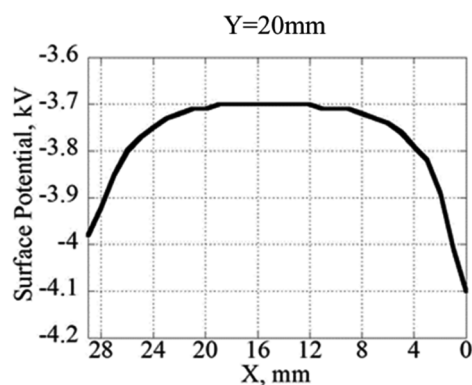


図 15 紫外線照射時の Y=20mm の表面電位データ

電子ビーム照射時と紫外線照射時の結果を比較してみるとカバーガラス中央部の帯電の様子は明らかに異なっているが、ガラス端部における帯電の違いは結果からは判明しなかった。

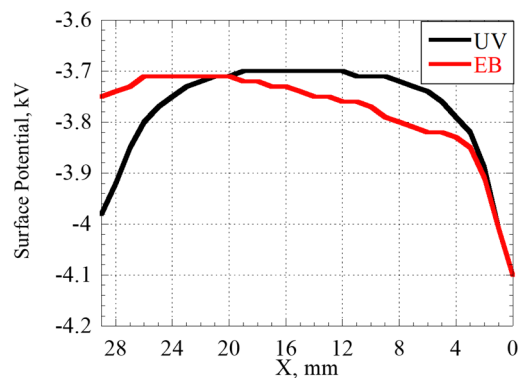


図 16 実験結果の比較

3.4 考察

本実験では表面電位計 Trek Model 341 とそのプローブである Model 3450 を使用した。測定の際には測定距離を 2mm~2.5mm としていたのでその測定スポットサイズは $\Phi 7.5\text{mm} \sim \Phi 10\text{mm}$ となる。今回着目したカバーガラス端部の対象範囲に対して、測定スポットサイズが非常に大きかったため、測定値に大きな誤差を含んでいる可能性が非常に高いことが考えられる。

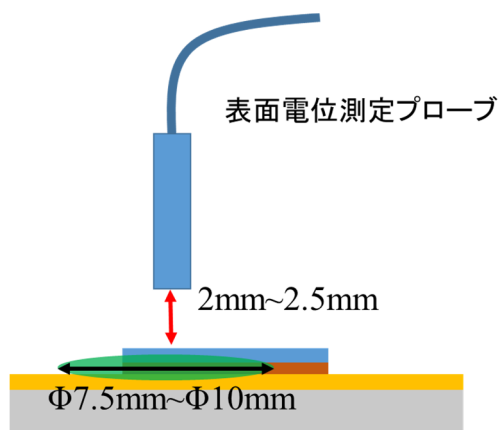


図 17 測定距離と測定スポットサイズ

4. ポッケルス効果を用いた電位測定手法の考案¹⁾

電位プローブを使用する表面電位測定法に代わるものとしてポッケルス効果を用いた表面電位測定手法の適用を考えている。ポッケルス効果とは誘電体の等方性結晶に電界をかけると、その電界に比例して素子の屈折率が変化するというものである。実験に使用するポッケルス素子は BSO 結晶（酸化ケイ素

ビスマス) であり、 $10 \times 5 \times 1$ のサイズの結晶が 4 つ平行に設置されているサンプルを使用する。

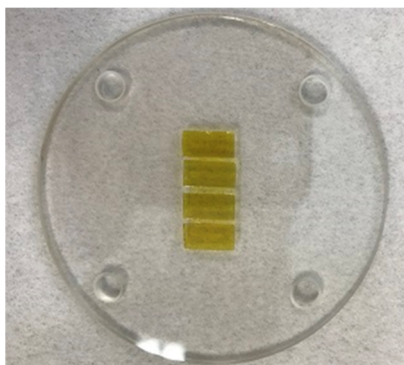


図 18 BSO 結晶を用いたサンプル

ポッケルス素子に電界が生じると屈折率が変化するため、透過光において偏光位相差が生じ、入射光と透過光で光の強度が変化する。入射光強度と透過光強度の関係は以下の式(1)のように示される。

$$I_{out} = I_{in} \{1 - \cos[(2\pi / \lambda)n_0^3\gamma_{41}Ed]\} \quad (1)$$

ここで n_0 は BSO 結晶の屈折率で $n_0 = 2.56$ 、 γ_{41} は電界による屈折率の変化を表す係数で $\gamma_{41} = 5 \times 10^{-12}$ m/V、 λ は波長、 d は BSO 結晶の厚みである。この透過光を CCD カメラで検出し、光強度と素子にかかる電界の相関を取ることによって、微小領域の帯電を精度よく測定できるようになると考えている。

5. まとめ

従来の帯電手法である電子ビームに代わる新しい帯電手法として紫外線を放電閾値測定実験に使用したところ、太陽電池の放電閾値に差が生じていることが判明した。この差を究明するためにカバーガラス端部に生じる電界の影響を考え、端部に着目した帯電評価をおこなった結果、表面電位に差があることは明らかであったが端部を正確に測定することはできていなかった。今後は表面電位測定に使用している電位プローブ法よりもさらに高精度で電位測定ができると思われるポッケルス効果を用いた電位測定手法を考案することによって、2つの帯電手法におけるカバーガラス端部の帯電の差を明らかにしようと考えている。

参考文献

- 1) Mengu Cho, Naoki Miyata and Masayuki Hikita

“Effect of Arcing on Insulator Surface Potential in Plasma: Image Observation,” Journal of Spacecraft and Rockets, Vol.37, No.1, 1999, pp150-152.