

EL による CIGS 太陽電池の電子線照射効果の評価  
Characterization of Electron Induced defects in Cu(In, Ga)Se<sub>2</sub> Thin-Film  
Solar Cells using Electroluminescence

宇宙航空研究開発機構 研究開発本部 電源グループ

川北 史朗, 今泉 充, 舩分 宏昌

産業技術総合研究所 太陽光発電工学研究センター

石塚 尚吾, 柴田 肇, 仁木 栄

大阪府立大学 放射線研究センター

奥田修一

Shirou Kawakita, Mitsuru Imaizumi and Hiromasa Kusawake  
Space Power Systems Group, Japan Aerospace Exploration Agency

Shogo Ishizuka, Hajime Shibata and Shigeru Niki

Research Center for Photovoltaic Technologies

National Institute of Advanced Industrial Science and Technology

Shuichi Okuda

Radiation Research Center, Osaka Prefecture University

**Abstract** CIGS solar cells have excellent radiation tolerance, however the origin of the radiation defects in the solar cell. Therefore, we investigated these defects in CIGS solar cells induced by low energy electrons, enabling the type of radiation defect in the solar cells to be selected. The electron-induced defects were characterized by electroluminescence (EL), which is a powerful tool to analyze radiation defects in semiconductors. After 250 keV electron irradiation of the CIGS cell, the cell illuminated uniformly compared to before the electron irradiation and the observed grains were unclear. In addition, the EL intensity rose with increasing electron fluence, meaning the change in EL efficiency may be attributable to the increased likelihood of non-irradiative recombination in intrinsic defects due to electron-induced defects. Since the phenomenon of light soaking is reported for CIGS solar cells, the 250 keV electron radiation effects for CIGS solar cells might be equivalent to the light soaking effect.

## 1. はじめに

CIGS 太陽電池は、薄膜系太陽電池の中で一番変換効率が高いこと、フレキシブル基板に形成することで軽量化かつ柔軟な構造が可能であること、宇宙環境における放射線耐性が高いことから、次世代の宇宙用太陽電池として大きく注目されている。特に、放射線耐性の高さは、地上での放射線照射試験だけでなく、実宇宙環境における実証実験においても証明されている[1]。

この CIGS 太陽電池の放射線による劣化は、CIGS 中に生成したドナーライクな  $\text{In}_{\text{Cu}}$  アンチサイト欠陥によるものであり、その回復はこの欠陥が拡散しやすい  $\text{V}_{\text{Cu}}$  欠陥と結合することで電氣的に不活性化することが、そのメカニズムとして提案されている[2]。このメカニズムに対して実験的にもいくつかの報告があるが、CIGS 中に同時に形成される他の種類 (In だけでなく、Cu, Ga および Se) のはじき出し欠陥が与える影響の有無については確認されていない。

そこで、我々は CIGS 中に選択的に欠陥を生成することができる 1 MeV 以下の電子線照射試験装置を用いた照射試験による評価を行っている。これにより、CIGS 結晶中に特定の欠陥を生成することができ、その欠陥が CIGS 太陽電池の性能に及ぼす影響を測定することにより、性能を低下させる照射欠陥の起源の解明が可能となる。これまで、銅のみの欠陥を生成することができる 250keV の電子線の照射試験を行った。この結果、CIGS 太陽電池の電気性能を低下させるような放射線源での試験結果と異なり、光電流電圧特性の向上、キャリア濃度の増加が観測されている[3]。このことから、銅が関与する欠陥は、電気性能を低下させる照射欠陥ではないと推察される。ここでは、この欠陥の性質を明らかにするために行った EL (Electroluminescence) による評価結果について説明する。

## 2. 実験方法

電子線の照射試験はコッククロフト型の電子線加速器を用いて行った。この加速器の電子線のエネルギー範囲は 60keV から 500keV である。また、照射環境は真空であり、CIGS 太陽電池の熱アニールによる性能回復を防ぐため、液体窒素によりサンプルを冷却して試験を行った。温度環境は、電子線照射前後は 120K、電子線照射中は最大 150K であった。

ここで用いた太陽電池は、CIGS 層を 3 段階法にて作製した CIGS 太陽電池であり、その構造は  $\text{ZnO}/\text{CdS}/\text{CIGS}/\text{Mo}/\text{SLG}$ 、 $[\text{Ga}]/([\text{In}]+[\text{Ga}])$  は 0.4 であった。

CIGS 太陽電池の性能評価は、先に述べた熱アニールによる影響を防ぐため、照射直後にその場にて、サンプルからの EL 光を測定する InGaAs 赤外カメラによるイメージング、および小型分光器によるスペクトルの測定を行った。

### 3. 結果および考察

電子線照射前の CIGS 太陽電池の EL 像を図 1 に示す。室温（左図）では太陽電池全体の発光となるが、低温環境下にするすることで粒状の様子が観測された。この模様について、微小領域での評価が必要になるが、おそらく CIGS の結晶粒界ではないかと考えられる。次に、電子線を照射した CIGS 太陽電池の EL 像を図 2 に示す。

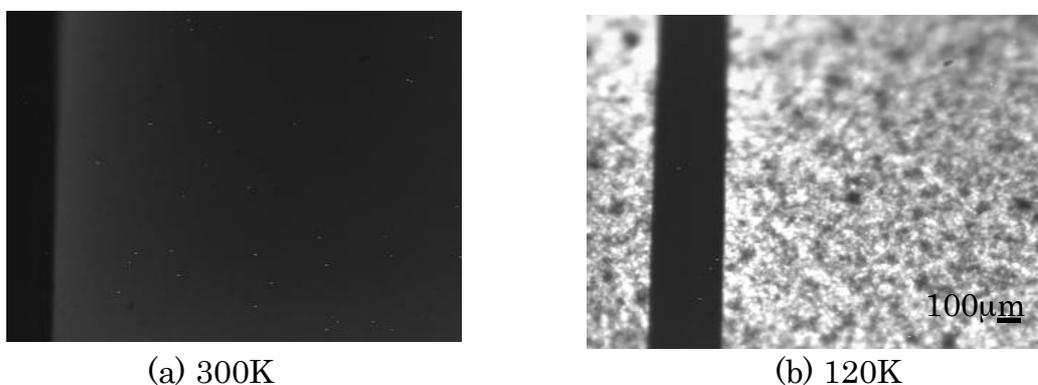


図 1 電子線未照射 CIGS 太陽電池

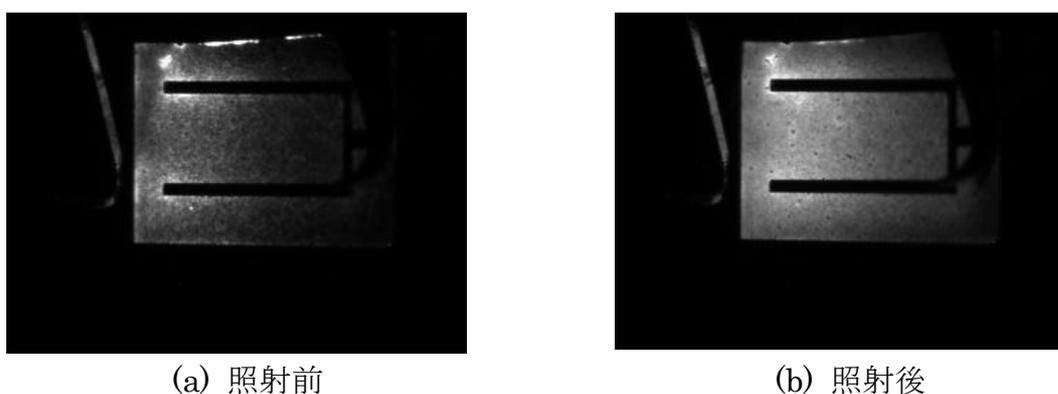


図 2 電子線照射による CIGS 太陽電池の EL 像の変化. 測定温度は 120K. 電子線の照射量は  $3 \times 10^{15} \text{cm}^{-2}$ .

電子線照射前の EL 像は、図 1 と同じく、粒状の様子が観測され、またその発光が局所的であることが分かる。それに対して、電子線を照射すると、発光が太陽電池全体に広がり、粒状の様子が不明確になっているのが分かる。また、EL

強度が電子線照射によって増加することを観測した。これは、電子線照射によって発生した欠陥が、真性の非発光再結合中心となる欠陥を補償することにより、発光性の再結合割合が増加しているものと考えられる。これまでに同エネルギーの電子線照射によって、キャリア濃度の増加および光電流電圧特性における Roll Over の改善が観測されている。ここで観測された EL 発光の増加も含めて、これらの現象は CIGS 太陽電池の光照射効果の現象と挙動が一致している。

この光照射効果は、CIGS 中の準安定欠陥である  $V_{Se}-V_{Cu}$  複合欠陥によるものと言われている[4]。この CIGS 太陽電池の光照射効果と、低温環境での 250keV 電子線照射効果の挙動が一致することから、同じメカニズムが推察される。より詳細な照射実験による定量的な評価を行い、メカニズムを解明していく。

#### 4. 結論

CIGS 太陽電池の放射線による電気性能の低下およびその回復機構のメカニズムの解明に向けて、照射欠陥を任意に選択できる 1 MeV 以下の電子線照射効果について EL 測定による評価を行った。この結果、CIGS 中の銅のみをはじき出す 250keV の電子線は、すべての欠陥を生成する 1 MeV の電子線や陽子線照射試験の結果と異なり、EL 強度が増加することが分かった。また、これまでの同エネルギーの電子線照射によって、キャリア濃度の増加や光電流電圧特性の Roll Over の改善が観測されている。これらの現象は、CIGS 太陽電池の光照射効果と挙動が一致することから、そのメカニズムは同じであることが推察される。今後は、定量的な評価に向けた実験を行い、本現象のメカニズムの解明に向けて研究を進めていく。

#### 参考文献

- [1] S. Kawakita et al., Proceeding of the 26<sup>th</sup> EUPVSEC, Humberg (2011) 210.
- [2] J. F. Guillemoles, et al., J. Phys. Chem. B. **104** (2000) 4849.
- [3] S. Kawakita et al. E-MRS, Strasburg (2012).
- [4] M. Igalson, et al., Proceedings of the 25<sup>th</sup> EUPVSEC (2010) 3436.