

## AFM 光熱分光法による Cu(In,Ga)Se<sub>2</sub> 太陽電池における非発光再結合の観測

### Non-radiative Recombination in Cu(In,Ga)Se<sub>2</sub> Solar Cells Observed by AFM Photothermal Spectroscopy

東大生研<sup>1</sup>, 東大ナノ量子機構<sup>2</sup>, 立命館大理工<sup>3</sup> ○浜本 寧<sup>1</sup>, 原 賢二<sup>1</sup>, 峯元 高志<sup>3</sup>, 高橋 琢二<sup>1,2</sup>  
IIS<sup>1</sup>& INQIE<sup>2</sup>, The Univ. of Tokyo, Fac. of Sci. and Eng., Ritsumeikan Univ.<sup>3</sup>  
○Yasushi Hamamoto<sup>1</sup>, Kenji Hara<sup>1</sup>, Takashi Minemoto<sup>3</sup> and Takuji Takahashi<sup>1,2</sup>

我々の研究グループでは、これまでに、光ケルビンプローブフォース顕微鏡 (P-KFM) による局所的な光起電力測定<sup>[1]</sup>や、原子間力顕微鏡 (AFM) による光熱 (PT) 分光測定<sup>[2,3]</sup>を通じて、Cu(In,Ga)Se<sub>2</sub> [CIGS]材料の諸物性を多角的に評価してきた<sup>[4,5]</sup>。本報告では、CIGS 太陽電池セルに対して、バンドギャップを超える、もしくはバンドギャップ以下のフォトンエネルギーを持った励起光の元での AFM による PT 測定を行い、非発光再結合中心の分布について考察した結果について述べる。

被測定試料としては、Mo コート SLG 基板上に成長させた厚さ約 2 μm の CIGS セルを 2 種類用いた。それらのバンドギャップエネルギー  $E_g$  は 1.13 eV および 1.28 eV である。PT 測定では、180 Hz で On-Off 変調した励起光に伴う周期的な熱膨張量を二重サンプリング法を適用した AFM (DS-AFM) によって検出して画像化している<sup>[2]</sup>。この PT 信号強度は非発光再結合によって生じる熱量に比例すると考えられる。

Figure 1 は  $E_g = 1.13$  eV の試料上での表面形状像と PT 信号像である。照射光には、(b)では中心のフォトンエネルギー  $h\nu$  が 0.89 eV の比較的にブロードなスペクトル (0.86 eV ~ 0.92 eV) を持った半導体レーザー光を、(c)では  $h\nu = 1.38$  eV の単色レーザー光を用いている。(b)においては、 $h\nu < E_g$  であるにもかかわらず明確な PT 信号のコントラストが得られており、CIGS 中に欠陥や不純物に起因する深い準位が存在していることが示唆される。同様の PT 信号のコントラストは  $E_g = 1.28$  eV の試料でも得られており、この深い準位のバンド端からの位置が Ga 濃度の変化やそれに伴う  $E_g$  の変化にあまり依存しないことがわかった。一方で、(c)では結晶粒界近傍での PT 信号の増大が見られており、(b)とは分布の様子が異なることが分かった。これまでに我々は、P-KFM 測定等を通じて、CIGS は少数キャリアである電子が粒界にたまりやすいバンド構造を有すると推定している<sup>[4]</sup>が、(c)では電子・正孔ともに自由に動けるキャリアとして励起されるために、p 型 CIGS 中において結晶粒界の欠陥準位等を介した非発光再結合が促進されているものと考えている。

本研究は、文部科学省イノベーションシステム整備事業および日本学術振興会科学研究費補助金によりサポートされた。

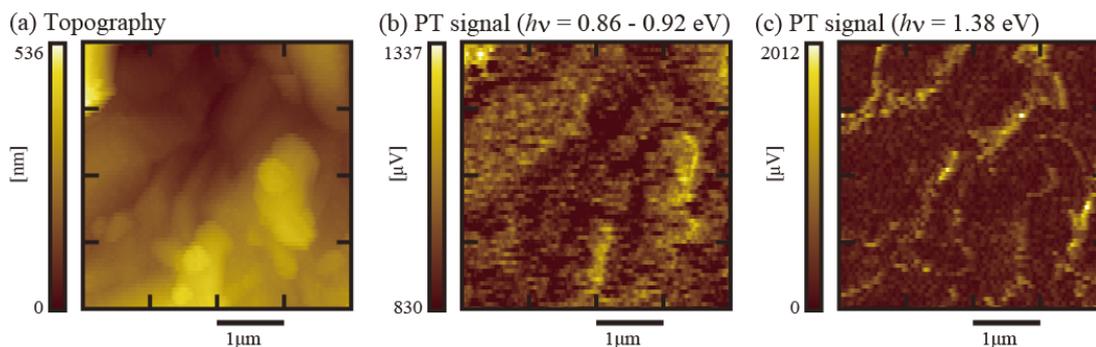


Fig. 1 (a) Topographic image of the CIGS solar cell ( $E_g = 1.13$  eV), and (b) and (c) PT signal images taken under periodical light illumination at different photon energies  $h\nu$ 's.

- [1] T. Takahashi, *Jpn. J. Appl. Phys.* **50**, 08LA05 (2011).  
 [2] K. Hara and T. Takahashi, *Jpn. J. Appl. Phys.* **48**, 08JB22 (2009).  
 [3] K. Hara and T. Takahashi, *Appl. Phys. Express* **5**, 022301 (2012).  
 [4] M. Takihara *et al.*, *Prog. Photovolt: Res. Appl.* (2011). [Published online]  
 [5] 浜本 寧 他, 第 73 回応用物理学会学術講演会, 12p-H8-15 (2012).