

分光感度シミュレーションによる高効率 $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{Pb}(\text{I},\text{Br})_3/\text{Cu}(\text{In},\text{Ga})\text{Se}_2$ 2 端子タンデム型太陽電池のデバイス設計

Device design of highly efficient $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{Pb}(\text{I},\text{Br})_3/\text{Cu}(\text{In},\text{Ga})\text{Se}_2$ two-terminal tandem solar cells based on quantum efficiency simulation

岐阜大学 電気電子・情報工学科 ○玉腰 正人, 藤本 祥平, 藤関 健正, 藤原 裕之

Gifu University, ○Masato Tamakoshi, Shohei Fujimoto, Takemasa Fujiseki, Hiroyuki Fujiwara

E-mail: fujiwara@gifu-u.ac.jp

【はじめに】 $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ 太陽電池では、20%程度の高い変換効率が得られるが、大気中の水分により劣化する大きな欠点がある。一方、Br を 20%程度加えた $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{Pb}(\text{I},\text{Br})_3$ 太陽電池では、大気中での安定性が大きく向上するが、Br 組成を増加させると、バンドギャップ(E_g)増加により、単接合太陽電池の変換効率は低下することが予想される。そこで本研究では、 $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{Pb}(\text{I},\text{Br})_3$ を 2 端子タンデム型太陽電池のトップセルへ適用することを考え、大気中で高い安定性を示す超高効率太陽電池のデバイス設計を行った。タンデム型太陽電池のボトムセルには、Ga 組成による E_g 制御が可能な $\text{Cu}(\text{In},\text{Ga})\text{Se}_2$ (CIGS)太陽電池を使用し、これまでに開発した分光感度シミュレーション技術²⁾を用いて、最も高い効率が得られる(Br, Ga)組成およびデバイス構造を決定した。

【計算方法】分光感度の計算には、図 1(a)に示す光学モデルを仮定し、ラフネスによる光散乱の影響を考慮して、各層の光吸収を算出した²⁾。特に CIGS 太陽電池に対して、3 段階法を使用した多元同時蒸着により形成される V 字型の Ga 組成変化を厳密にモデル化して計算を行った。 $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{Pb}(\text{I},\text{Br})_3$ 層の光学定数は、我々が決定した $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ ³⁾および報告されている $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbBr}_3$ ⁴⁾の誘電関数にエネルギーシフトモデル⁵⁾を適用して計算した。また CIGS の E_g は、Ga 組成により変化させた⁶⁾。変換効率の計算では、 $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{Pb}(\text{I},\text{Br})_3$ トップ層の E_g ($E_{g,\text{top}}$)および CIGS ボトム層の E_g ($E_{g,\text{bottom}}$)から、まず各単セルの V_{oc} を $E_{g,\text{top}}/q - 0.5$ V および $E_{g,\text{bottom}}/q - 0.35$ V として求め、次に逆飽和電流密度 J_0 を用いた関係式から、それぞれの分光感度スペクトルから計算される J_{sc} に対応した V_{oc} を計算した。なお、FF は 80% と仮定した。

【結果】図 1(a)は、 $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{Pb}(\text{I},\text{Br})_3/\text{CIGS}$ タンデム型太陽電池において、トップ層の膜厚を $d_{\text{top}}=600$ nm として、Br 組成 $x=\text{Br}/(\text{Br}+\text{I})$ を 0 から 0.5 まで変化させた時の EQE スペクトル変化を示している。 x の増加に伴い、 $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{Pb}(\text{I},\text{Br})_3$ 層の吸収端は低波長側へシフトし、対応する CIGS 層の EQE は増加する。図 1(b)は、 $E_{g,\text{top}}$, $E_{g,\text{bottom}}$ および d_{top} を独立に変化させた時のタンデム型太陽電池の変換効率を示している。図に示される様に、 $d_{\text{top}}=600$ nm の膜厚で 27.3%の高い効率が得られ、 $d_{\text{top}}=1000$ nm では、 $E_{g,\text{top}}=1.73$ eV($x=0.28$)および $E_{g,\text{bottom}}=1.10$ eV の時に非常に高い効率 28.6%が得られた。以上の結果は、 $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{Pb}(\text{I},\text{Br})_3$ を適用することにより、大気劣化を示さず、かつ 27%以上の極めて高い変換効率を示す太陽電池が作製可能であることを示している。但し、ペロブスカイト層の吸収係数が比較的低く³⁾、厚膜が必要であるため、テクスチャー構造の導入が必要であることが示唆された。

1) Noh et al., Nano Lett. **13**, 1764 (2013), 2) Hara et al., Phys. Rev. Applied **2**, 034012 (2014), 3) Shirayama et al., Phys. Rev. Applied (2016): in press (arXiv:1507.08824), 4) Park et al., J. Phys. Chem. Lett. **6**, 4304 (2015), 5) Snyder et al., J. Appl. Phys. **68**, 5925 (1990), 6) Minoura et al., J. Appl. Phys. **117**, 195703 (2015).

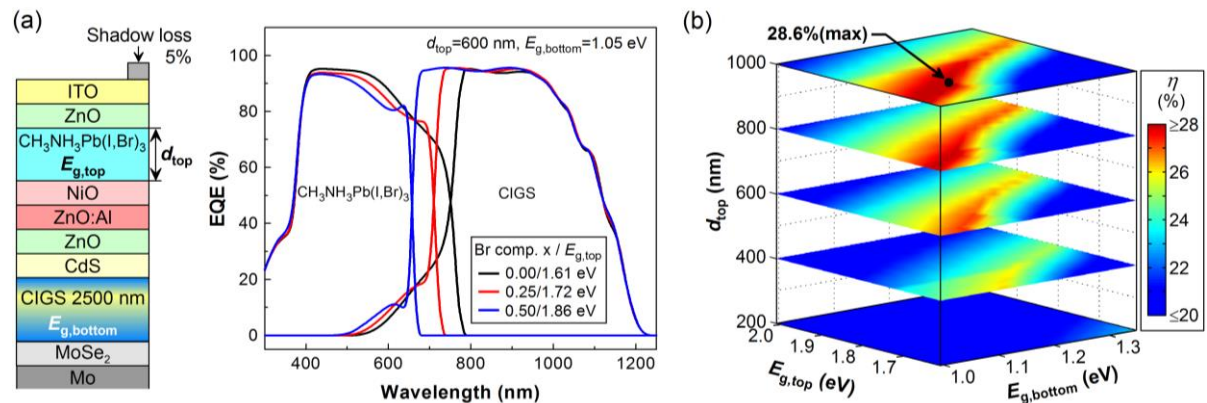


Figure 1. (a) Optical model and EQE spectra of the $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{Pb}(\text{I},\text{Br})_3/\text{CIGS}$ tandem solar cells with different Br compositions and (b) Efficiency (η) of the $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{Pb}(\text{I},\text{Br})_3/\text{CIGS}$ tandem solar cells with different $E_{g,\text{top}}$, $E_{g,\text{bottom}}$ and d_{top} .