2段階フォトンアップコンバージョン太陽電池における理論変換効率の入射光スペクトル形状依存性

Spectral sensitivity of conversion efficiency of two-step photon up-conversion solar cells

○原田 幸弘、松尾 哲弘、朝日 重雄、喜多 隆 (神戸大院工)
○Y. Harada, T. Matsuo, S. Asahi, and T. Kita (Kobe Univ.)
E-mail: y.harada@eedept.kobe-u.ac.jp

【はじめに】2段階フォトンアップコンバージョン太陽電池（TPU-SC）では、ワイドギャップ半導体（WGS）とナローギャップ半導体（NGS）におけるバンド間遷移と、WGS と NGS のヘテロ界面におけるバンド内遷移を利用することで Shockley–Queisser 限界を超える高変換効率の実現が期待できる [1,2]。NGS において吸収率の高いバンド間遷移を利用できるため、ヘテロ界面におけるバンド内遷移の吸収率 α が数十%の領域において TPU-SC では中間バンド型太陽電池（IBSC）を超える変換効率を達成することが可能となる [3]。一方、NGS とヘテロ界面における電流整合条件を満たす必要があるため、TPU-SC における最適なバンドギャップエネルギーの組み合わせは集光倍率 X と α に強く依存する [3]。本研究では、入射光スペクトル形状（太陽の表面温度 T_{sun}）に対する、TPU-SC の理論変換効率のロバスト性を明らかにすることを目的とした。

【計算方法】太陽表面および太陽電池（T_{cell} = 300 K）からの輻射には Planck の式を用い、ヘテロ界面における吸収率 α、太陽の表面温度 T_{sun}、集光倍率 X を考慮した変換効率を詳細平衡モデルによって計算した。ヘテロ界面でのアップコンバージョンの吸収率のみを変化させ、WGS と NGS における吸収率は 100%と仮定した。また、各遷移の吸収スペクトルに重なりはないこと、価電子帯オフセットの存在しない理想的な TPU-SC であること、伝導帯オフセットは NGS のバンドギャップエネルギーよりも小さいことを仮定した。

【結果と考察】図 1(a) と 1(b) に、T_{sun} = 6000 K、α = 50% における TPU-SC の変換効率と最適なバンドギャップエネルギーの X 依存性の計算結果を示す [3]。変換効率は X の増加に伴って単調に増加し、1000 倍集光下では 50%を超える。また、X の増加に伴って WGS と NGS の最適なバンドギャップエネルギーは単調に減少する。入射光スペクトル形状に対する TPU-SC の理論変換効率のロバスト性を明らかにするために、T_{sun} = 6000 K において最適化したバンドギャップエネルギーを用いて、変換効率の T_{sun} 依存性（5000 K ≤ T_{sun} ≤ 7000 K）を求めた。図 2(a) と 2(b) に、α_{opt} = 100% と 50%、X = 1000 においてバンドギャップエネルギーを最適化した場合の計算結果を示す。実線（青線）と破線（赤線）はそれぞれ、TPU-SC と IBSC における結果である。α_{opt} = 100%（図 2(a)）では、TPU-SC と IBSC の計算結果は α = 100% において一致する [2]。一方、α < 100% では、すべての T_{sun} と α において TPU-SC の方が IBSC よりも高い変換効率を示している。図 2(a) より、α_{opt} = 100% のとき、TPU-SC は IBSC よりも入射光スペクトル形状と吸収率の変化に対する変換効率のロバスト性が高いことが明らかになった。しかし、α_{opt} = 50%（図 2(b)）では $\alpha_{\mathrm{opt}} \ll \alpha$ の領域において TPU-SC の変換効率のロバスト性が IBSC よりも低下する。この結果は、TPU-SC では $\alpha_{\mathrm{opt}} \ll \alpha$ の時にバンドギャップエネルギーの最適条件から顕著に外れるため、α の増加に伴う変換効率の増加量が低下することに起因する。

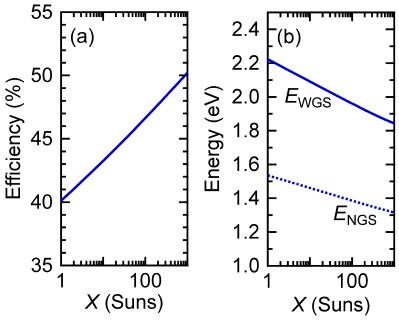

Fig. 1. X dependence of the (a) limiting conversion efficiency and (b) band gap energies in the TPU-SC at T_{sun} = 6000 K and α = 50%.

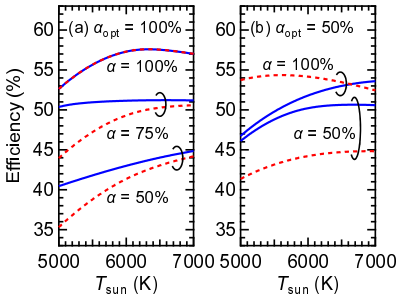

Fig. 2. T_{sun} dependence of the conversion efficiency for the band gap energies optimized at T_{sun} = 6000 K, X = 1000, and (a) α_{opt} = 100% and (b) α_{opt} = 50%. The solid and dashed lines indicate the results for the TPU-SC and IBSC, respectively.

【参考文献】[1] S. Asahi *et al.*, Nat. Commun. **8**, 14962 (2017). [2] S. Asahi *et al.*, Sci. Rep., **8**, 6457 (2018). [3] 原田 他, 第 65 回応用物理学会春季学術講演会, 18a-F310-3 (2018).

© 2018年 応用物理学会