

吸収率を考慮した2段階フォトンアップコンバージョン太陽電池の理論変換効率 Conversion efficiency of two-step photon up-conversion solar cells with partial absorptivity

○ 原田 幸弘、朝日 重雄、喜多 隆 (神戸大院工)

○ Y. Harada, S. Asahi, and T. Kita (Kobe Univ.)

E-mail: y.harada@eedept.kobe-u.ac.jp

【はじめに】中間バンド型太陽電池 (IBSC) では、IB を介した2段階光吸収によって透過損失を低減させることで、Shockley-Queisser 限界を超える高変換効率の実現が期待されている [1]。量子ドットが形成するエネルギー準位を IB として利用する研究が進められているが、価電子帯 (VB) → IB と IB → 伝導帯 (CB) の2段階遷移の吸収率が小さいことが課題となっている [1]。最近、我々は IBSC とは異なる構造で透過損失を低減させる2段階フォトンアップコンバージョン太陽電池 (TPU-SC) を提案した [2]。TPU-SC はワイドギャップ半導体 (WGS) とナローギャップ半導体 (NGS) で構成され、NGS で生成された電子が WGS と NGS のヘテロ界面でアップコンバージョンされる [2]。本研究では、吸収率を考慮した TPU-SC の理論変換効率を明らかにすることを目的とした。

【計算方法】太陽表面 ($T_{\text{sun}} = 6000 \text{ K}$) および太陽電池 ($T_{\text{cell}} = 300 \text{ K}$) からの放射には Planck の式を用い、吸収率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。図 1(a) と 1(b) に、IBSC と TPU-SC の計算モデルを示す。IBSC では VB → IB と IB → CB の吸収率を変化させ、VB → CB の吸収率は 100% を仮定した。TPU-SC では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% を仮定した。また、各遷移の吸収スペクトルに重なりはないことと、 $E_{\text{ci}} < E_{\text{iv}}$ 、 $\Delta E_{\text{c}} < E_{\text{NGS}}$ 、非集光条件を仮定した。各吸収率においてバンドギャップエネルギーはグローバル最適化し、 E_{ci} と ΔE_{c} の最小値は 0.2 eV とした。

【結果と考察】図 2(a) に、変換効率の吸収率依存性の計算結果を示す。赤線は IBSC、青線は TPU-SC ($\Delta E_{\text{v}} = 0$) における結果である。吸収率が 0% における変換効率は Shockley-Queisser 限界と一致する。IBSC では吸収率が ~20%、TPU-SC では ~2% 以下の領域において、吸収率の増大に伴って変換効率が低下している。これは、IB とヘテロ界面を介した再結合電流による開放電圧の低下が、2段階光吸収やフォトンアップコンバージョンによる電流増大を上回ることに起因する [3]。さらに吸収率が増大すると電流増大によって変換効率は向上し、100% の吸収率では IBSC と TPU-SC ($\Delta E_{\text{v}} = 0$) の変換効率は一致する [4]。図 2(a) より、TPU-SC ($\Delta E_{\text{v}} = 0$) では ~50% の吸収率において 40% を超える変換効率を達成できることが明らかとなった。また、吸収率 50% では $E_{\text{WGS}} \approx 2.2 \text{ eV}$ 、 $E_{\text{NGS}} \approx 1.5 \text{ eV}$ が最適なバンドギャップエネルギーであることが図 2(b) から明らかとなった。

【参考文献】 [1] Y. Okada *et al.*, Appl. Phys. Rev. **2**, 021302 (2015). [2] S. Asahi *et al.*, Nat. Commun. **8**, 14962 (2017). [3] A. Pusch *et al.*, Prog. Photovolt: Res. Appl. **24**, 656 (2016). [4] S. Asahi *et al.*, Sci. Rep., *in press*.

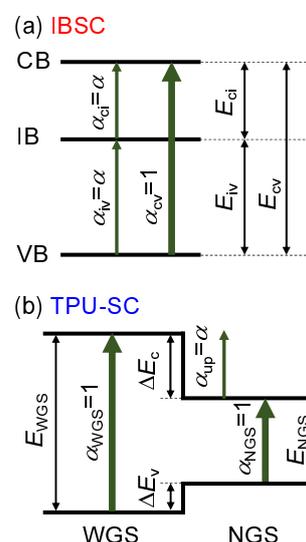


Fig. 1. Calculation framework of the (a) IBSC and (b) TPU-SC.

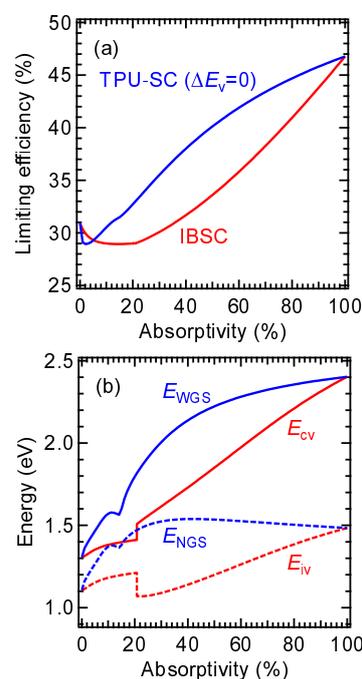


Fig. 2. Absorptivity dependence of the (a) limiting efficiency and (b) band gap energies in the IBSC and TPU-SC ($\Delta E_{\text{v}} = 0$).