

変調ドーピングした二段階フォトンアップコンバージョン太陽電池における電圧上昇効果

Voltage boost effect in modulation-doped two-step photon up-conversion solar cells

神戸大院工 (M2) 渡辺航平, 朝日重雄, 喜多隆

Grad. Sch. of Eng. Kobe Univ., Kohei Watanabe, Shigeo Asahi and Takashi Kita

E-mail: asahis@people.kobe-u.ac.jp

【はじめに】単接合型太陽電池の理論変換効率を上回る太陽電池として、透過損失の低減を目指した二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、実現のための検討を進めている[1,2]。TPU-SCの二段階光励起(TPU)効率はヘテロ界面でのキャリア数とキャリアの引き抜き効率に依存し、キャリアの引き抜き効率はヘテロ界面での電界強度に依存する[2]。変調ドーピングによりヘテロ界面での電界強度を適切に調整したTPU-SCにおいて、より効率的なTPUによる電流・電圧特性を確認した[3]。今回、照射強度を変数として、TPUによって擬フェルミ準位の分裂による電圧上昇(Voltage boost)について、実験的に得られた値とデバイスのダイオード因子を考慮した計算値を比較したので、その結果について報告する。

【結果】実験で用いた変調ドーピングしたTPU-SCは、固体ソース分子線エピタキシー法によって p^+ -GaAs(001)基板上に作成した[3]。実験では1段階目のバンド間励起に800 nmの連続レーザー、2段階目のバンド内励起に1319 nmの連続レーザーをそれぞれ用いた。この1319 nmの赤外光はヘテロ界面に蓄積された電子を励起する。2段階目照射時による開放電圧の変化を ΔV_{oc} として、1段階目の励起光強度を変化させた際の ΔV_{oc} を測定した。この時、2段階目の励起光強度は 500 mW/cm^2 一定である。 ΔV_{oc} のピーク構造とVoltage boost効果について議論するために、単接合型太陽電池の詳細平衡理論により導出した以下の式、

$$\Delta V'_{oc} = n \frac{k_b T}{q} \ln \left(\frac{\Delta J_{sc}}{J_{sc} + J_0} + 1 \right) \quad (1)$$

を用いて実験値と比較する。ここで、 k_b はボルツマン定数、 T は温度、 q は電気素量、 J_0 は逆飽和電流と電流、 n はダイオード因子である。 J_0 と n は暗状態の電流電圧特性より求めた。図1(a)にダイオード因子の電圧依存性を示す。一般的に実際の太陽電池では、直列抵抗と並列抵抗が n に及ぼす影響を無視できないため、 n は印加電圧に依存する[4]。この n を式(1)に代入して求めた $\Delta V'_{oc}$ と実験的に得られた ΔV_{oc} を図1(b)に示す。照射強度の弱い領域では計算値と比べ実験値の方が明確に大きくなっており、この差はヘテロ界面で発生したVoltage boost効果によって生じた。一方で、照射強度の強い領域では計算値と実験値はほぼ一致した。これは J_{sc} と V_{oc} が大きくTPUによる擬フェルミ準位の差が相対的に小さくなったためである。この結果によってTPU-SCの特徴である明確なVoltage boost効果を確認した。

[1] S. Asahi *et al.*, *Nat. Commun.* **8**, 14962 (2017).

[2] N. Kinugawa *et al.*, *Phys. Rev. Appl.* **14**, 014010 (2020).

[3] 渡辺 他: 2020年秋季応用物理学会 10a-Z15-9.

[4] Fong, K.C *et al.*, *Prog. Photovolt: Res. Appl.*, **21**, 490 (2013).

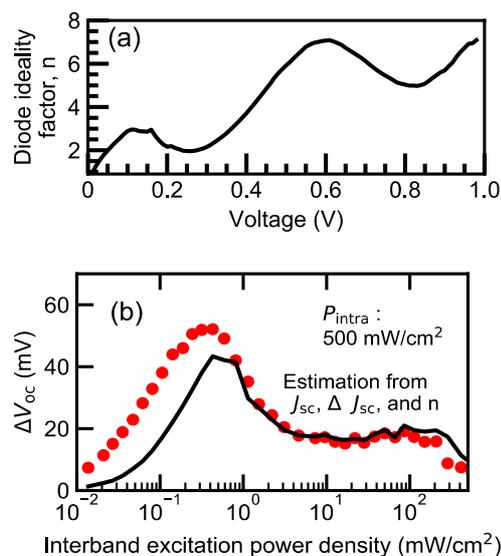


図 1: (a)ダイオード因子の電圧依存性
(b) ΔV_{oc} のバンド間励起光強度依存性