正孔のアップコンバージョンを利用した 2 段階フォトン アップコンバージョン太陽電池のバンド内遷移過程

Intraband Transition Process of Two-Step Photon Up-Conversion Solar Cells Using Hole Up-Conversion

神戸大工 [1]，ニューサウスウェールズ大 [2]，°朝日重雄 [1], M.P. Nielsen[2]，池田一真 [1], N.J. Ekins-Daukes[2]，喜多隆 [1]

[1]Grad. Sch. of Eng. Kobe Univ., [2]University of New South Wales, °S. Asahi[1], M.P. Nielsen[2], K. Ikeda[1], N.J. Ekins-Daukes[2], and T. Kita[1]

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

【はじめに】我々は単接合型太陽電池では避けられない透過損失の低減を目指した 2 段階フォトンアップコンバージョン太陽電池(TPU-SC)を提案し検討を進めている [1]。これまで *n–i–p* 構造の TPU-SC を作製し、TPU-SC 内のヘテロ界面に電子を蓄積することで、効率的な電子の 2 段階フォトンアップコンバージョンを実証した。一方、*n–i–p* 構造とは対称構造で、ヘテロ界面に正孔を蓄積する *p–i–n* 構造の TPU-SC では、追加赤外光の照射により逆に電流が減少することが分かっている。その理由は、アップコンバージョンされた正孔が高次の励起準位に留まり続け、電流として取り出されないためであることを示した[2]。その原因の裏付けを行うため、今回はアップコンバージョンによる光電流変化のバイアス依存性の測定を行った。

【結果】TPU-SC は固体ソース分子線エピタキシー法によって GaAs(001)基板上に作製した[2]。実験ではヘテロ界面に電子を蓄積する *n–i–p* 構造と、正孔を蓄積する *p–i–n* 構造の 2 種類の TPU-SC に対し、外部量子効率（EQE）測定を室温にて行った。図 1 に *n–i–p* 構造の TPU-SC に対して、750 nm の単色光と 1319 nm の追加赤外光を照射した際の EQE の電圧依存性の結果を示す。750 nm の光により電子がヘテロ界面に蓄積し、追加赤外光によりヘテロ界面に蓄積した電子が励起され、電流が増加する。また負バイアスを印加するとヘテロ界面の電界が増加し蓄積していた電子がトンネル効果により脱出するため、ヘテロ界面の電子密度が減少し、その結果ΔEQE が減少する。図 2 に *p–i–n* 構造の TPU-SC に対し同様の測定を行った結果を示す。*p–i–n* 構造ではヘテロ界面に正孔が蓄積する。追加赤外光の照射によりヘテロ界面に蓄積した正孔が高次の励起準位に励起されるが、励起された正孔の実効的な移動度の低さから、その準位から脱出せず留まるためΔEQE が低下する。また、負バイアスを印加すると、太陽電池内部の電子と正孔の分離によりヘテロ界面の正孔密度が増加し、ΔEQE がさらに減少するが、さらなる負バイアスの印加により、逆に正孔密度が減少しΔEQE が上昇、最終的にΔEQE はゼロとなる。

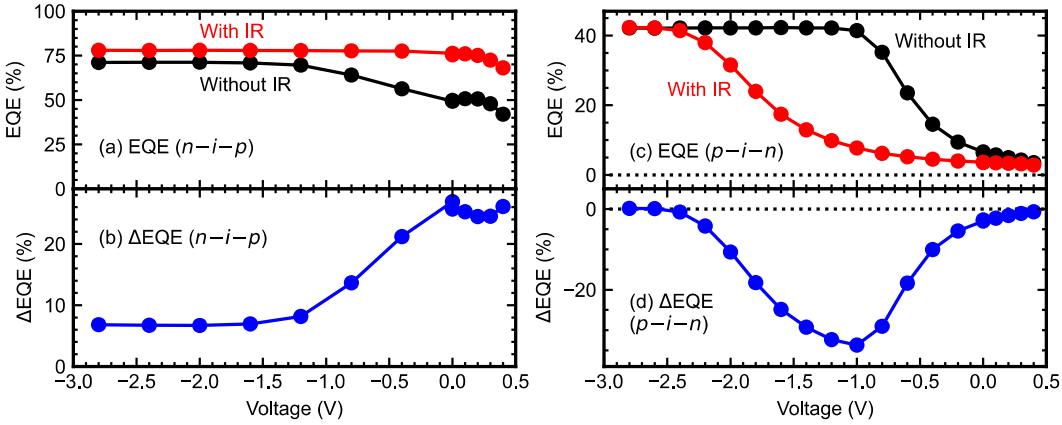

Fig. 1 Bias dependence of (a), (c) EQE and (b), (d) ΔEQE of two-step photon up-conversion solar cells with (a), (b) *n–i–p* and (c), (d) *p–i–n* structures.

[1] S. Asahi *et al.*, *Nat. Commun.* **8**, 14962 (2017), S. Asahi *et al.*, Sci. Rep. **8**, 872 (2018)
[2]朝日他, 2019 春応物 11a-W321-3 (2019) , 朝日他, 2020 秋応物 10a-Z15-8 (2020)

© 2021年 応用物理学会