

ホットキャリア太陽電池における中間バンド効果

Intermediate-band effect in hot-carrier solar cells

豊田中研 竹田 康彦

Toyota Central R&D Labs., Inc. Yasuhiko Takeda

E-mail: takeda@mosk.tytlabs.co.jp

ホットキャリア太陽電池 (HC-SC)、中間バンド太陽電池 (IB-SC) の高効率光電変換機構を統一的に解釈し、そこから HC-SC に中間バンド効果があり得ること、その結果変換効率が向上し得ることを導いた。

HC-SC の光電変換機構を図 1(a)に模式的に示す[1]。光励起により生じたキャリアは、熱緩和 (thermalization) が生じる前にエネルギー選択性コンタクト (ESC) を通じて取り出される。キャリア取り出しにより生じるキャリアのエネルギー分布の窪みは、キャリア間の弾性散乱により直ちに埋められる。図 1(b)に示される IB-SC の光電変換機構は図 1(a)とは一見異なるものの、中間バンド (IB) から伝導帯 (CB) への 2 段階目の光励起は、非占有帯 (UB) のキャリアをホットにすると見做されるので、ホットキャリアが UB の下端ではなく高エネルギーに位置する ESC (CB) から取り出される点は共通である。一方、この機構に倣えば、HC-SC において、バンド端からの光学遷移、すなわちバンド内遷移によりキャリアが ESC 準位へ励起されるような図 1(c)の過程、謂わばバンド端が中間バンドの機能を果たす効果があり得ることがわかる。この中間バンド効果を、詳細釣り合いモデルを用いて定量的に考察した[2]。

図 2 は、各種太陽電池のエネルギー散逸機構を比べた結果である。光照射強度は 1000 sun、ホットキャリアの熱緩和時間は 1 ns である。通常の単接合太陽電池 (1J) に比べて、HC-SC (HC0) では吸収エネルギー (U_{abs}) が大きいにもかかわらずキャリアの熱緩和によるエネルギー損失 (U_{th}) が抑制される。その結果、キャリア取り出しに伴うエネルギー損失 (Q_{ext}) が大きいものの、出力 (P_{out}) は増大する。このとき、輻射によるエネルギー損失 (U_{em}) は無視できるほど小さい。IB-SC (IB) の場合は、HC0 に比べて U_{th} は大きいものの Q_{ext} は小さいので、 P_{out} はほぼ等しくなる。

HC-SC に IB 効果が加わると (HC1, HC2)、 U_{abs} が大きくなるものの吸収光子数は変わらない。そのため、最適なバンドギャップは大きく、電流密度は小さくなるので、大きい U_{abs} にもかかわらず Q_{ext} はむしろ小さくなる[3]。その結果、HC0 に比べて 6–9% 高い変換効率が得られる。

[1] Y. Takeda, “Requisites for highly efficient hot-carrier solar cells” in J. Wu and Z. M. Wang eds., Quantum dot solar cells, Springer (2014).

[2] Y. Takeda, submitted. [3] Y. Takeda and T. Motohiro, Prog. Photovolt.: Res. Appl. **21**, 1308 (2013).

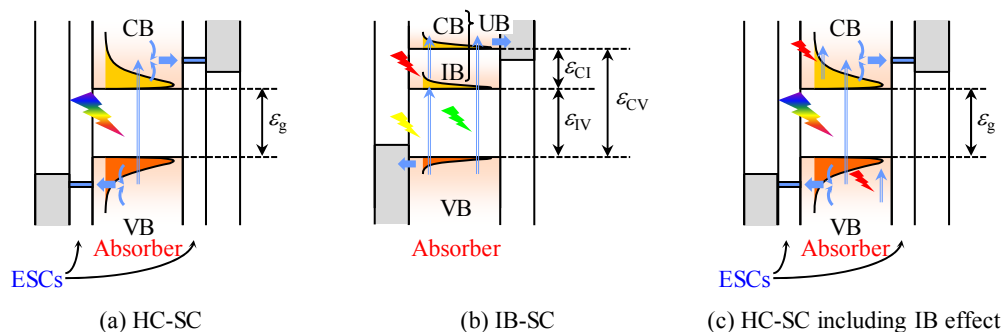


Fig. 1 Energy diagrams and operation of highly efficient solar cells.

VB: valence band, CB: conduction band, UC: unoccupied band.

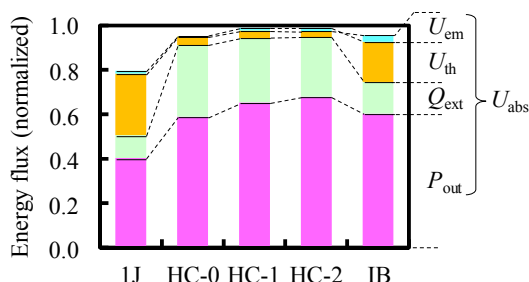


Fig. 2 Comparison of P_{out} and the energy dissipation channels in the photovoltaic processes. Each value is normalized by the incident energy, and hence P_{out} is equal to the conversion efficiency. $U_{\text{abs}} = P_{\text{out}} + Q_{\text{ext}} + U_{\text{th}} + U_{\text{em}}$ stands. 1J: conventional 1J-SC with $\varepsilon_g = 1.1$ eV. HC-0: HC-SC with $\varepsilon_g = 0.7$ eV. HC-1: HC-SC with the IB effect and $\varepsilon_g = 1.0$ eV. HC-2: HC-SC with the IB effect and $\varepsilon_g = 1.2$ eV. IB: IB-SC with $\varepsilon_{\text{CV}} = 1.2$ eV, $\varepsilon_{\text{CI}} = 0.69$ eV.