

熱回収型太陽電池の温度特性と熱起電力効果

Temperature characteristics and thermoelectric effect in heat recovery (HERC) solar cell

産総研¹, 東大物性研², OPERANDO-OIL³, ○上出健仁¹, 望月敏光¹, 秋山英文^{2,3}, 高遠秀尚¹

AIST¹, ISSP, Univ. of Tokyo², OPERANDO-OIL³, °K. Kamide¹, T. Mochizuki¹, H. Akiyama^{2,3},

and H. Takato¹, E-mail: kenji.kamide@aist.go.jp

結晶シリコン太陽電池の変換効率は既存の理論限界(SQ 限界[1])に近い値に到達した(非集光 Si の最高報告値は 26.7%)。我々は最近、「詳細釣り合い」が成立しない非平衡な状況を利用することで SQ 限界を超える高い変換効率が得られる熱回収型太陽電池(HERC solar cell)のコンセプトを提案している [2,3]。熱回収型太陽電池は熱緩和より素早いキャリア取り出しを必要としない為、ホットキャリア太陽電池[4]と異なりシリコン単一の吸収体で実現できることが大きなメリットとなっている。今回、熱回収型太陽電池において高温の吸収体がなぜ効率を改善できるのかについて理解が進んだのでこれについて解説する。

熱回収型太陽電池は吸収体格子温度が電極よりも高い状況を利用する (図 1 (a), $T_{PH} > T_C$)。またキャリアを正負電極に取り出す際、エネルギー障壁(E_b)を利用しそれより高いエネルギーのキャリアのみ選択的に通過させる (図 1 (a), $E_b > 0$)。この二つの条件が満たされる場合に、 E_b に比例する開放電圧の上昇が得られ、取り出し律速により短絡電流が減少する臨界値まで変換効率も増大する (図 1 (b), (c))。開放電圧(V_{oc})の増加が変換効率改善に直結している。通常の太陽電池は負の温度特性 ($d(V_{oc})/dT < 0$) を示すが、なぜ熱回収型では正の温度特性 ($d(V_{oc})/dT > 0$) を示したのか? この理解には、吸収体と電極に温度差があり吸収体内部のフェルミレベル分離(V_{oc}^{cell})が電極間電位差(V_{oc})と異なる点に留意する必要がある。簡単な解析から熱回収型では微小な補正項を除き

$$\frac{dV_{oc}^{cell}}{dT} = -\frac{E_g/q - V_{oc}}{T}, \quad \frac{d(V_{oc} - V_{oc}^{cell})}{dT} = \frac{E_g/q - V_{oc}}{T} + \frac{2E_b/q}{T}$$

が成立することが判明した。吸収体の温度上昇($dT > 0$)に伴い内部電圧 V_{oc}^{cell} は従来型と等しく低下するが、吸収体と電極間の温度差($dT > 0$)により大きな熱起電力($d(V_{oc} - V_{oc}^{cell})$)が生じ開放電圧を上昇させるのである($dV_{oc} > 0$, 図 1 (d))。従来型は温度差がない為熱起電力部分を損するのである (図 1 (e))。従来型においても太陽電池の冷却は電極部分のみ行えば良いという示唆に富む結論を得た。

【文献】 [1] W. Shockley, and H. J. Queisser, J. Appl. Phys. **32**, 510 (1961). [2] 上出他、第 65 回応用物理学会春季学術講演会(2018). [3] K. Kamide et al., WCPEC-7 (2018). [4] R.T. Ross, and A. J. Nozik, J. Appl. Phys. **53**, 3813 (1982).

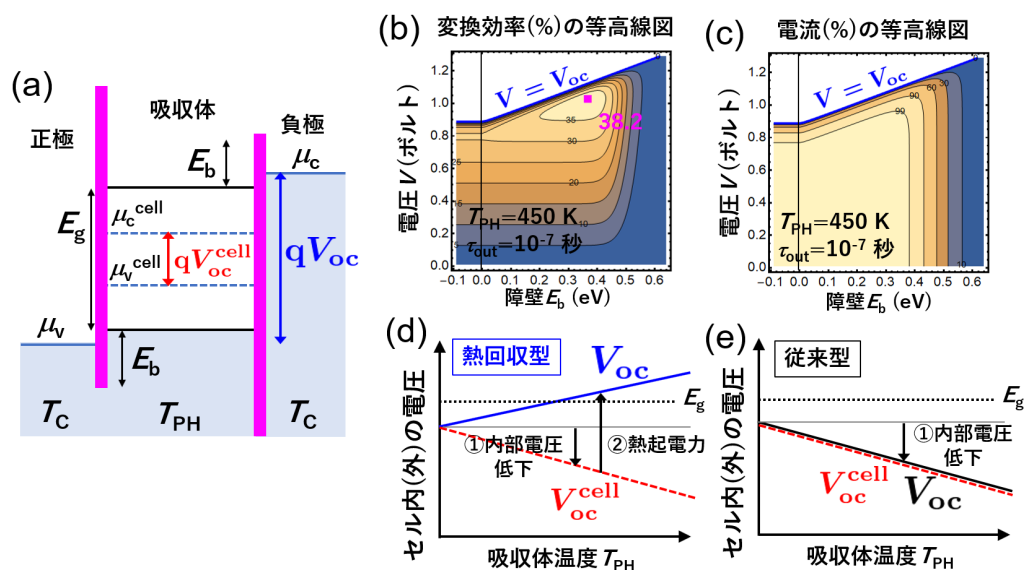


図 1. (a) 熱回収型太陽電池のエネルギーバンド図 (開放条件) (b,c) 熱回収型太陽電池の変換効率と電流(最大値で規格化)の等高線図(非集光 Si, AM0, 厚み=100 μ m, E_g =1.12 eV, 取り出し時間 10^{-7} 秒, 吸収体温度 450 K) (d,e) 熱回収型($T_{PH} > T_C$)と従来型($T_{PH} = T_C$)のセル内外の開放電圧の温度特性