

熱回収型太陽電池における非輻射再結合とバンドギャップ縮小の影響

Effects of nonradiative recombination and bandgap reduction in heat recovery solar cells

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

理論限界効率(SQ 限界)にほぼ到達した結晶シリコン太陽電池 (26.7% カネカ)のさらなる高効率化を可能とする新コンセプトとして、我々は吸収体が電極より高温化することにより高い変換効率が得られる熱回収型太陽電池 (熱回収型) を提案した(図 1(a) [1])。これまで原理的に避けられない光キャリアの輻射再結合のみを損失要因として考慮した理想モデルによりそのデバイス特性を明らかにしてきた。今回、現実デバイスにおいて損失要因となる非輻射再結合(主に SRH 機構)や、通常の太陽電池では電流を増加させ電圧を低下させるバンドギャップ縮小効果を取り入れたより現実的なモデルを用いて、それらがデバイス特性へ与える影響を数値的に評価した。

吸収体温度が 450K に上昇した場合の熱回収型の最大変換効率 (エネルギー選択層の障壁高さ E_b と電圧 V を最適化した値) が温度上昇なし(=300K)の値 (図 1(b))からどれだけ増加するかその増分 $\Delta\eta_{\max}$ を、図 1(c)にはバンドギャップの温度係数 α_g (結晶シリコンでは $\alpha_g = -0.28 \text{ meV/K}$ [2])を固定し非輻射再結合寿命 τ_{nr} の関数として、図 1(d)には τ_{nr} を固定し α_g の関数として示した。 τ_{nr} が短くなるとともに $\Delta\eta_{\max}$ は減少する傾向が見られるものの、温度上昇とともに変換効率が上昇する正の温度特性は 0.1 ms という短い τ_{nr} でも健在である ($\alpha_g = 0$ の場合、 $\tau_{\text{nr}} = 1000 \text{ ms}$ では 29.5%@300K → 43.0%@450K に対し、 $\tau_{\text{nr}} = 0.1 \text{ ms}$ でも 20.0%@300K → 27.7%@450K)。また τ_{nr} の値に関わらず、 $|\alpha_g|$ 、つまり、バンドギャップ縮小が大きくなると共に、 $\Delta\eta_{\max}$ は増加し熱回収型太陽電池の効率を上昇させる(図 1(d))。以上の結果は、開放電圧の正の温度係数がエネルギー選択層障壁の高さ E_b のみで与えられ、開放電圧の値や非輻射再結合、さらにはバンドギャップ縮小の有無にも依存しないという熱回収型の堅牢な性質([1]の Appendix E)によるものである。詳細は当日述べる。

【文献】 [1] K. Kamide *et al.*, Phys. Rev. Applied 12, 064001 (2019). [2] P. Y. Yu and M. Cardona, *Fundamentals of Semiconductors*, 4th eds (Springer).

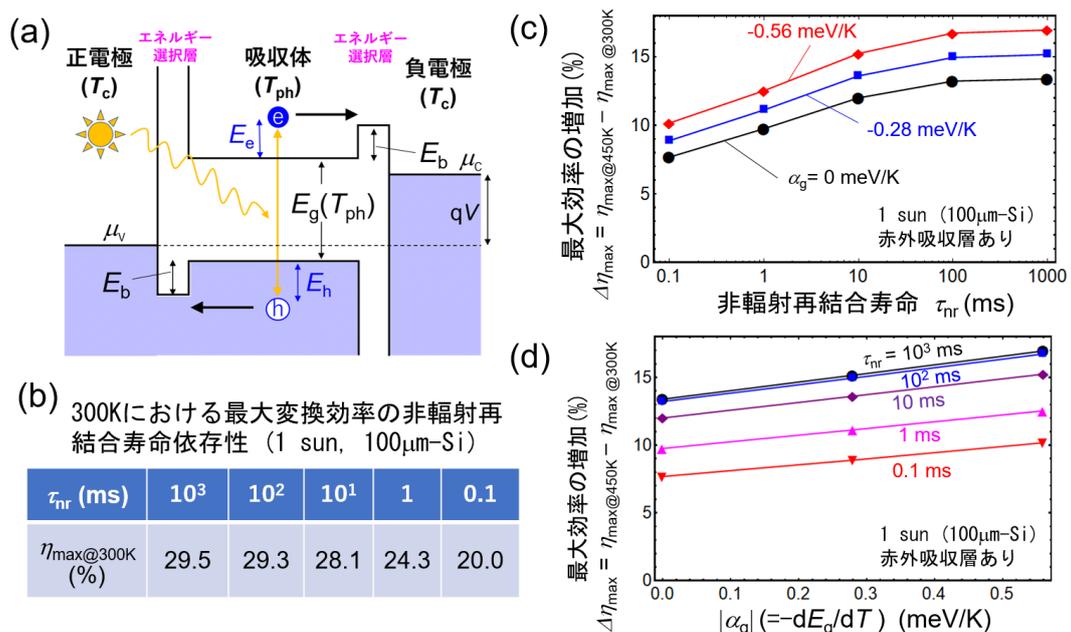


図 1. (a) 熱回収型のエネルギーバンド図, (b) 温度上昇なし ($T_{\text{ph}}=300\text{K}$) における最大変換効率, (c, d) 熱回収型の最大変換効率の温度上昇 ($T_{\text{ph}}=450\text{K}$) による増加 $\Delta\eta_{\max}$ を非輻射寿命 τ_{nr} とバンドギャップの温度係数 $|\alpha_g|$ をそれぞれ横軸として示す。(100μm 厚シリコン, 1-sun, 赤外吸収層あり, 電極温度 $T_c=300\text{K}$, 取り出し時間 $\tau_{\text{out}}=10^{-9}$ s)