

熱回収型太陽電池 (英題: *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 (1 接合非集光) の変換効率は既存の理論限界(SQ 限界)に近い値に到達した。効率をさらに更新する為には既存理論が成立しない状況を利用する必要がある。前回の学会で我々は既存理論において仮定されている「詳細釣り合い」が成立しない非平衡下の太陽電池を記述できる非平衡理論を報告した[2]。この非平衡理論に基づき結晶シリコンでも実現可能な SQ 限界を超える新しい高効率太陽電池として熱回収型太陽電池(HERC solar cell)を新たに考案したので[3]、本講演ではこのコンセプトや動作原理、太陽電池特性を紹介する。

熱回収型太陽電池は従来の太陽電池において棄てられていた熱エネルギーを積極的に利用し吸収体の格子温度 T_{ph} を上昇させるとともに、高エネルギーキャリアを選択的に電極へ取り出すことにより高効率化が可能となる太陽電池である。図 1(a)の概念図に示されるように、吸収体と電極との間に導入された半導体層(フィルタ層)は吸収体のそれよりも大きなバンドギャップを持つこと ($E_g^X > E_g^A$) によりハイパスフィルタとして機能する。電極は大きな熱伝導度を持つため外部温度 ($T_c = 300K$) に保たれ、吸収体は発生した熱を蓄熱することにより高温化すること ($T_{ph} > T_c$) を想定した。本太陽電池が外部熱源を要することなく太陽光受光のみで自立動作するためにはキャリア熱緩和による吸収体への熱流 P_{Qin} が正であること(条件 1)、または、受光裏面に赤外吸収体を接触させ透過光分 P_T を吸収し吸収体を加熱する場合は $P_{Qin} + P_T > 0$ (条件 2)が必要条件となる。電圧 V と E_g^X をパラメタとして変換効率の等高線図と条件 1, 2 を満たすパラメタ領域を重ねて図 1(b)に示した。キャリア取り出し時間 τ_{out} が 10^{-10} 秒, $T_{ph} = 450K$ の場合に条件 1, 2 でそれぞれ最大 28.5%, 45.3% の効率が得られることが分かる。同様にして各条件下で得られる最大効率を τ_{out} の関数として図 1(c)に、さらに τ_{out} について最適化した最大効率を T_{ph} の関数として図 1(d)に示す。熱緩和時間 τ_{ph} ($\sim 10^{-12}$ 秒)よりも遅いキャリア取り出しでも SQ 限界(非集光 Si で 29.5%)を超える高い効率が得られることが本太陽電池の特徴であり、熱緩和よりも素早い取り出しが必要なホットキャリア太陽電池[4]と比べはるかに容易に実現可能である。このためシリコンでも実現可能である。一方、本太陽電池では十分な温度上昇を得る為に吸収体内部に熱を留める熱流制御が重要になるだろう。

【文献】 [1] W. Shockley, and H. J. Queisser, J. Appl. Phys. **32**, 510 (1961). [2] 上出他、第 78 回応用物理学会秋季学術講演会(2017). [3] 上出他、特願 2017-241808 [4] R.T. Ross, and A. J. Nozik, J. Appl. Phys. **53**, 3813 (1982). 【謝辞】 本研究は新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の支援を受けている。

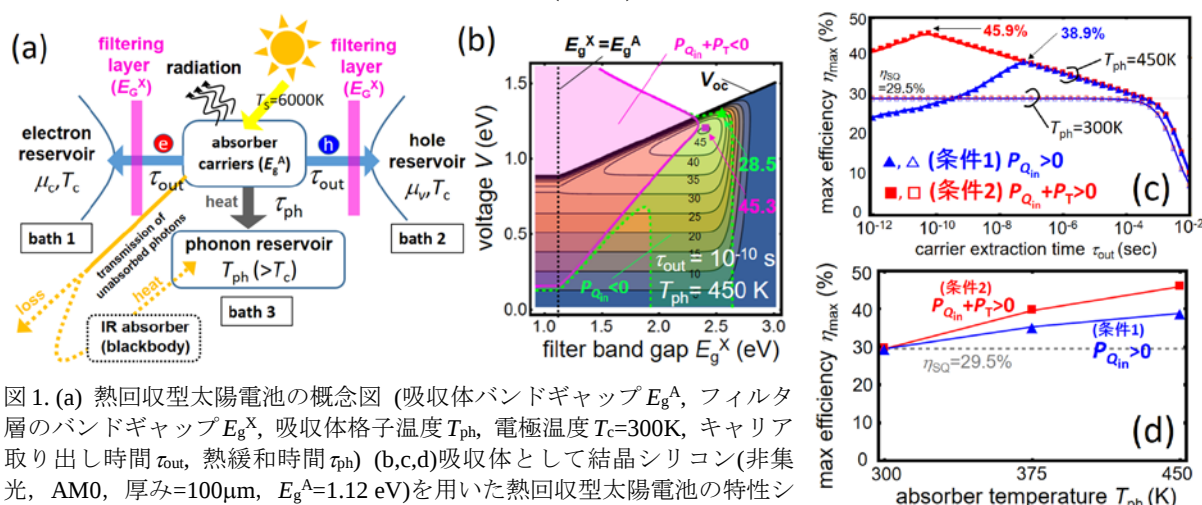


図 1. (a) 熱回収型太陽電池の概念図 (吸収体バンドギャップ E_g^A , フィルタ層のバンドギャップ E_g^X , 吸収体格子温度 T_{ph} , 電極温度 $T_c = 300K$, キャリア取り出し時間 τ_{out} , 熱緩和時間 τ_{ph}) (b,c,d) 吸収体として結晶シリコン(非集光, AM0, 厚み=100 μm , $E_g^A = 1.12$ eV)を用いた熱回収型太陽電池の特性シミュレーション: (b) 電位差 ($V = (\mu_c - \mu_v)/q$) と E_g^X の関数として求めた変換効率の等高線図。 $P_{Qin} + P_T < 0$ となる領域を実線(マゼンタ・影付)で、 $P_{Qin} < 0$ となる領域を破線(緑・影付)で囲んだ。条件 1 ($P_{Qin} > 0$) または条件 2 ($P_{Qin} + P_T > 0$) のもとで、 E_g^X と V について最適化した最大変換効率 ($T_{ph} = 450K, 300K$) を τ_{out} の関数として(c)に、 E_g^X, V, τ_{out} について最適化した最大変換効率を T_{ph} の関数として(d)にそれぞれ示した。