

直列二端子ペロブスカイト/シリコンタンデム太陽電池の電流整合設計

Current matching design of series two-terminal perovskite/silicon tandem solar cells

産総研¹, [○]上出健仁¹, 高遠秀尚¹AIST¹, [○]Kenji Kamide¹, Hidetaka Takato¹, E-mail: kenji.kamide@aist.go.jp

ペロブスカイト(PVK)太陽電池の開発が急速に進み単体セルの変換効率は結晶シリコン(Si)太陽電池に匹敵するものになった[1]。車載用途[2]など設置面積の限られた場所で所望の出力を得るため、単一セルのSQ限界[3]を超える高効率化が可能なPVK/Siタンデム型太陽電池の開発も急速に進んでいる[4]。タンデム素子は2端子型、4端子型、また新しい構造として3端子型が知られそれぞれ長短はあるが[4]、2端子型はモノリシックに作成できることに加え最大出力を外部へ取り出すパワーコンディショナー(PCS)が1台で済むという、他にない利点があることから、他と同等の出力が得られれば最も優れた方式となる。そのためには上層と下層の電流整合を取る必要があるが、下層Siのバンドギャップ $E_{g,2}=1.12\text{eV}$ に対し電流整合する上層PVKのバンドギャップ($E_{g,1}$)は 1.7eV 程度以上とされている。一方、 $E_{g,1}>1.7\text{eV}$ のPVK材料については、大きな開放電圧損失がボトルネックとなりバンドギャップの少し狭い $1.5\text{-}1.6\text{eV}$ のPVK材料と比べ単体セルとしての特性(材料品質)は十分な向上が得られていない[5]。

本講演では、電流整合条件が上層PVK材料を広いバンドギャップに制限していることに着目し、この条件を緩和する電流整合法として、 n 個のPVKセルと m 個のSiセルを直列した構造[6](Fig.1 (a))に着目し、その設計最適化の有効性をモデル計算により示す。本構造では直列セル数の比(m/n)を最適化することにより、上層バンドギャップ $E_{g,1}$ の値によらず電流整合を取ることができる(Fig.1 (b))。Fig.1 (c)はモデル計算の一例であり、ボトムセルとして25%の単体セル効率を持つ結晶Siセル(厚さ180マイクロメートル)を、トップセルには非輻射再結合寿命を1000ナノ秒(=1マイクロ秒)に固定した品質の良いPVKセル(厚さ550ナノメートル)を用いたタンデム構造で得られる最大効率 η_{max} を $E_{g,1}$ の関数として示す。 $m/n=(m/n)_{\text{opt}}$ に最適化された場合、通常的设计($m/n=1$)と異なり $1.5\text{-}1.9\text{eV}$ の全範囲で大きな不整合損失を避け高い効率が得られることが分かる。

この成果は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の委託業務(JPNP20015)の結果得られたものです。

文献: [1] NREL, Best Research-Cell Efficiency Chart (rev. 8th Dec. 2022). [2] M. Yamaguchi *et al.*, MRS Advances **5**, 441 (2020). [3] W. Shockley, and H. J. Queisser, J. Appl. Phys. **32**, 510 (1961). [4] F. Fu *et al.*, Adv. Mater. **34**, 2106540 (2022). [5] C. Perini, and J-P. Correa-Baena, Material Matters vol. **15**, No. 2, 75 (2020). [6] C. D. Bailie *et al.*, Energy Environ. Sci. **8**, 956 (2015).

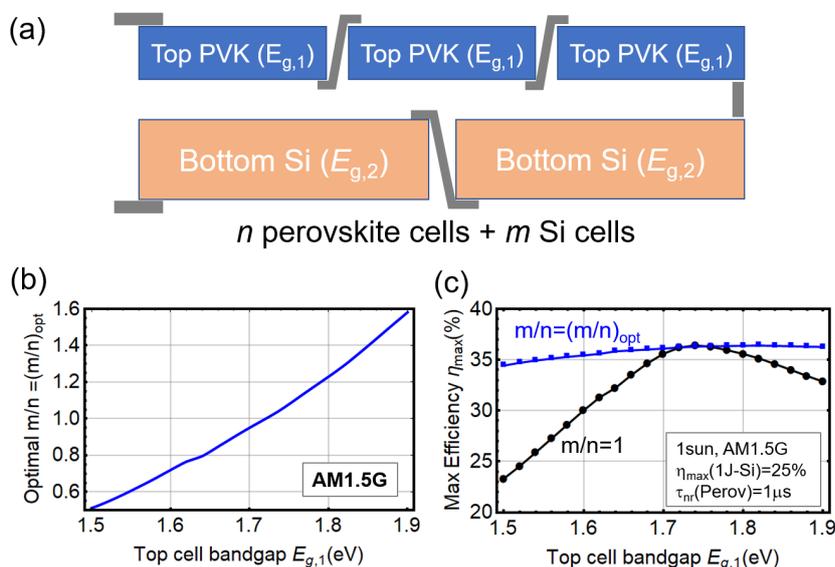


Figure 1. (a) Device structure of a series two-terminal tandem solar cell with n PVK cells and m Si cells, (b) Optimal m/n that achieves the current matching, as a function of the top cell bandgap $E_{g,1}$. (c) Simulated maximum conversion efficiency η_{max} for the devices before and after the optimization: (black) $m/n=1$ and (blue) $m/n=(m/n)_{\text{opt}}$.