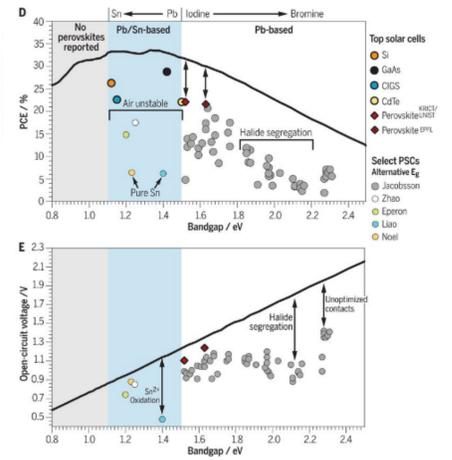


ペロブスカイト/結晶シリコンタンデム太陽電池の電流整合設計

概要

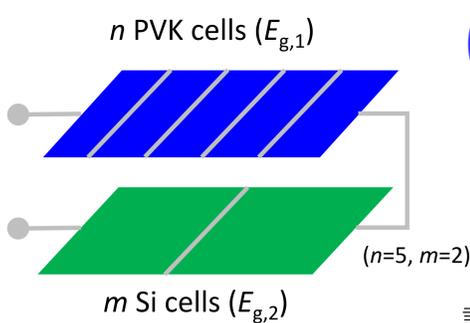
- 従来の2端子PVK/Siタンデム設計では、Siとの電流整合のためにペロブスカイト(PVK)のバンドギャップ(E_g)は1.7eV以上であることが望ましいが、現状では、単セルとして低Voc損失で高効率なPVKセルのバンドギャップは1.6eV以下と狭く、さらなる高効率化に必要な電流整合設計が難しい(右図)。
- このギャップを除去するために、トップ/ボトムセルを複数(nセルとmセル)に分割して直列接続した2端子直列PVK/Siタンデム太陽電池の設計の有効性について数値評価した。この設計では、m/nを最適化することで、任意の E_g のPVKセルで電流整合を実現できる。



From Juan-Pablo Correa-Baena et al., *Promises and challenges of perovskite solar cells*, Science 358, 739-744(2017). DOI:10.1126/science.aam6323. Reprinted with permission from AAAS.

電流整合の方法

n-PVK/m-Siによる設計



電流整合条件

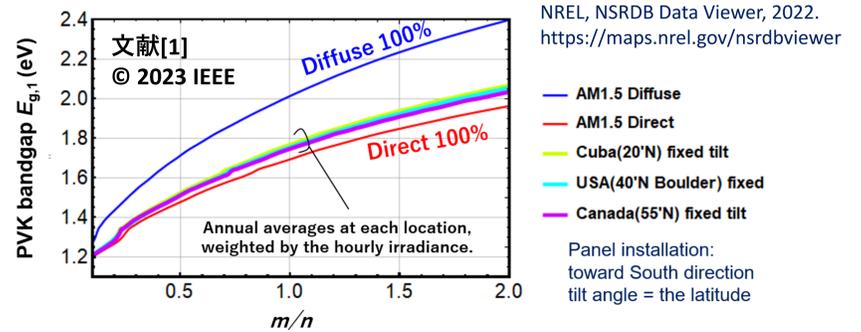
$$\left(\frac{S_{pv}}{n}\right) J_{sun}(PVK) = \left(\frac{S_{pv}}{m}\right) J_{sun}(Si)$$

$$\frac{m}{n} = \frac{J_{sun}(E_{g,2}, E_{g,1})}{J_{sun}(E_{g,1}, +\infty)}$$

$$= \frac{\int_{E_{g,2}}^{E_{g,1}} j_{sun}(E) dE}{\int_{E_{g,1}}^{+\infty} j_{sun}(E) dE}$$

設計パラメータ

最適な設計条件



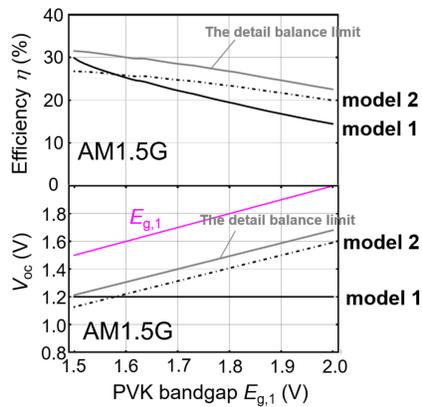
- 曇天時(拡散成分100%)は、最適バンドギャップは高エネルギー側にシフトする。
- 年間発電量を最大化する最適設計値に関して、場所による差は比較的小さい。

変換効率および年間平均効率への効果

単体セルのモデル

結晶シリコン:
 $\eta=25\%$ ($\tau_{eff}(Si)=0.9$ ms)
@AM1.5G 1sun

ペロブスカイト:
(model 1) バンドギャップに依らず
 $V_{oc}=1.2$ V \rightarrow 現在のR&D
(model 2) $\tau_{eff}(PVK)=1$ μ s、 V_{oc} 損失がバンドギャップに依らず一定 \rightarrow 理想

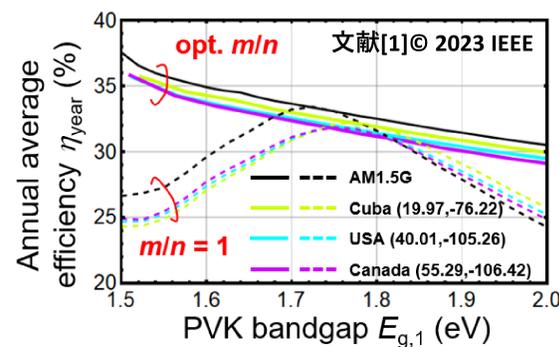


実スペクトルデータを用いた年間平均効率の計算

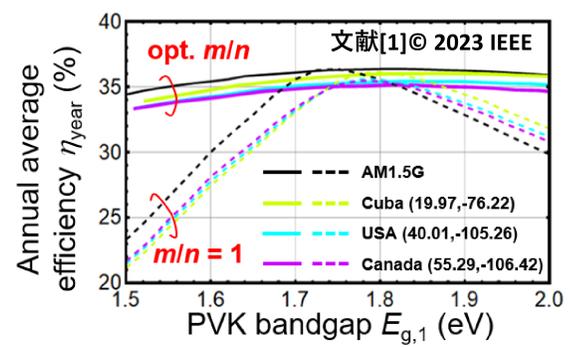
$$\eta_{year} = \frac{\sum_j P_{out,j}}{\sum_j P_{sun,j}} = \frac{\sum_j P_{sun,j} \eta_j}{\sum_j P_{sun,j}} = \sum_j \omega_j \eta_j$$

Solar spectra data from NREL, NSRDB Data Viewer, 2022. <https://maps.nrel.gov/nsrdbviewer>

model 1

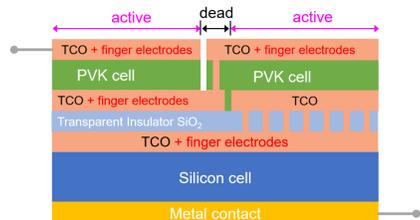


model 2

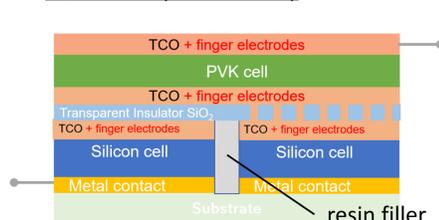


モノリシック構造の例

m/n = 1/2 (n=1, m=2)



m/n = 2 (n=2, m=1)



技術的課題：中間導電層の最適化、および、トップPVK層の均一な成膜プロセスの開発が必要。

参考文献

- K. Kamide and H. Takato, "A Current Matching Design and Its Impact of High-Efficiency Two-Terminal Perovskite/Silicon Tandem Photovoltaics," in *IEEE Journal of Photovoltaics*, vol. 13, no. 5, pp. 699-704, Sept. 2023, doi: 10.1109/JPHOTOV.2023.3284588.
- K. Kamide and H. Takato, "A Current-Matching Approach and its Effectiveness for the Development of Highly Efficient Perovskite/Silicon Tandems," presented in EUPVSEC 2023 (Lisbon)

謝辞

この成果は、NEDOプロジェクトの委託業務(JPN20015)の結果得られたものです。