

公称値を用いた太陽電池エネルギー変換効率・量子効率の導出と種類別評価

齋藤研究室 1116120 佐藤宏樹

1. 背景・目的

現在、様々な種類の太陽電池の開発が続いているが、その良し悪しの判断には、エネルギー変換効率(放射束に対する発生電力の比)が最も重要である。しかし、さらなる性能改善の余地があるかどうかは、エネルギー変換効率のみでは判断しにくい。その目的のためには、量子効率、特に内部量子効率(吸収された光子数に対する生成電子数の比)を知ることが最も重要である。

しかし、それらが公表されている太陽電池、モジュールはかなり限られている。その一方で、ほぼすべての太陽光発電モジュールについて、標準条件下での公称最大出力や公称短絡電流等の公称値が入手可能である。

そこで本研究では、公称値を用いてエネルギー変換効率と量子効率を導出するための定式化をすること、さらにこれを各種の太陽電池に適用して、種類別評価を行うことを目的とした。

2. 定義と導出原理

以下で用いる主な変数と意味は以下の通りである。

P_i [W]:入射放射束、 P_a [W]:吸収放射束、 E [W/m²]:放射照度、 Φ_i [1/s]:入射光子束、 Φ_a [1/s]:吸収光子束、 X [1/(s m²)]:光子放射照度、 S [m²]:モジュール面積、 A [m²]:セル面積、 n :セル数、 P_m [W]:公称最大電力、 I_{sc} [A]:公称短絡電流、 e [C]:電子の素電荷、 a [J]:平均光子エネルギー、 ϵ :放射率

太陽電池の各種効率は次式で与えられる。

・モジュールについて:

外部エネルギー変換効率

$$\epsilon_{ext} = \frac{P_m}{P_i} = \frac{P_m}{ES}$$

内部エネルギー変換効率

$$\epsilon_{int} = P_m/P_a = \epsilon_{ext}/\epsilon$$

外部量子効率

$$\eta_{ext} = \frac{nI_{sc}}{e\Phi_i} = \frac{nI_{sc}}{eXS} = \frac{n a I_{sc}}{eES}$$

a を eV 単位で表すと

$$\eta_{ext} = \frac{n a I_{sc}}{eES}$$

内部量子効率

$$\eta_{int} = \frac{n I_{sc}}{e\Phi_a} = \eta_{ext}/\epsilon$$

・セル1個について:

外部エネルギー変換効率

$$\epsilon_{ext1} = A\epsilon_{ext}/nS$$

内部エネルギー変換効率

$$\epsilon_{int1} = \frac{P_m}{nP_{a1}} = \epsilon_{ext1}/\epsilon$$

外部量子効率

$$\eta_{ext1} = \frac{I_{sc}}{e\Phi_i} = aI_{sc}/P_{i1}$$

内部量子効率

$$\eta_{int1} = \frac{I_{sc}}{e\Phi_a} = \eta_{ext1}/\epsilon$$

ここで、内部量子効率を計算する場合には、放射率を求める必要がある。

・放射率

黒体テープの温度を T_0 、見かけの温度を T_a 、室温を T とすると、 $(T_a^4 - T^4) / (T_0^4 - T^4)$ で求められる。

3. 測定方法

3-1. 測定器材

- ・赤外線カメラ(Avio,Neo Thermo TVS-600)
- ・黒体テープ(放射率 0.95)
- ・電源(GW Instek,PSW 80-27)

3-2. 測定対象

- ・CIS モジュール(Solar Frontier 製 SF150-K)

表1.SF150-K の仕様

形式	SF150-K
種類	CIS
公称最大出力(Pmax)	150W
公称開放電圧(Voc)	110V
公称短絡電流(Isc)	2.1A
公称質量	20kg
外形寸法(W×L×Dmm)	122×93×34
セル数	172

3-3. 測定方法

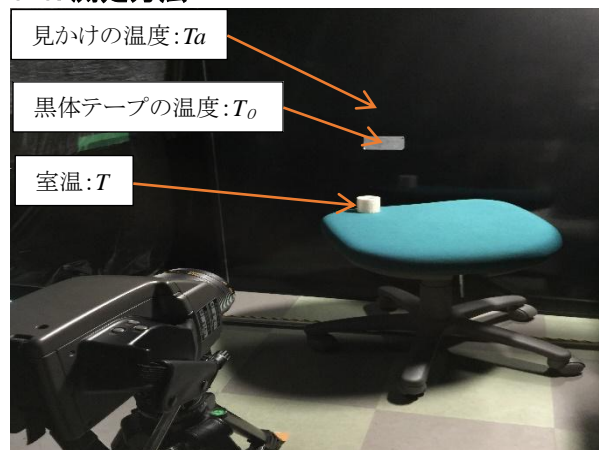


図1.放射率測定の実験の様子

測定場所は齋藤研究室の暗室で行った。まず、放射率は温度を上げなければ測定が難しいので太陽電池モジュールを通电し温度を上げた。

一定の温度になったらモジュールに黒体テープを貼り、赤外線カメラで黒体テープの温度、見かけの温度、室温の3点を測定した。これを3分間隔で計15分測定した。また、パネルの角度を90°、赤外線カメラとモジュールの距離を1 m とする。

4. 結果

4-1. SF-150K の結果

表2.SF-150K の放射率の測定結果

時間	T ₀ °C	T _a °C	T °C	放射率
17:52	33.3	32.6	25.8	0.873
17:55	33.7	33.2	26.7	0.904
17:58	34.0	33.6	26.9	0.924
18:01	34.6	34.0	27.4	0.889
18:04	33.2	32.5	26.0	0.869
通電電力	146W		平均放射率	0.892

公称値および測定した放射率を用いて求めた各種効率を次の表に示す。

表3.SF-150K の計算結果

面積[m ²]	1.135
平均光子エネルギー	2.255
入射放射束[W]	1134.6
吸収放射束	1012.1
放射率	0.892
外部量子効率	0.718
外部エネルギー変換効率	0.132
内部量子効率	0.805
内部エネルギー変換効率	0.148
セル1個の面積[m ²]	0.007
セル1個の外部エネルギー変換効率	0.147
セル1個の外部量子効率	0.647
入射放射束(セル1個あたり)	7.320
セル1個の内部量子効率	0.725
セル1個の内部エネルギー変換効率	0.134
吸収放射束(セル1個あたり)	6.529

4-2. 各種別結果 (他社製品の比較)

表4.種類別評価まとめ

製造会社	Panasonic	SHARP	東芝	ジャパンソーラー
商品名	HIT240 α	NQ-210AD	TA60P250WA/E	JS-130AM-AUI
形式	VBHN240SJ21	NQ-210AD	TA60P250WA/E	JS-130AM-AUI
セル種類	HIT	単結晶	多結晶シリコン	薄膜シリコン
公称最大電力[W]	240	210	250	130
短絡電流[A]	5.85	9.72	8.9	4.75
縦の長さ[m]	1.58	1.165	1.65	1.3
横の長さ[m]	0.812	0.99	0.991	1.1
面積[m ²]	1.28296	1.15335	1.63515	1.43
セル数	72	42	60	45
平均光子エネルギー	2.255	2.255	2.255	2.255
入射放射束[W]	1282.96	1153.35	1635.15	1430
外部エネルギー変換効率	0.1871	0.1821	0.1529	0.0909
外部量子効率	0.7402	0.7980	0.7363	0.3370
セル1個の面積	0.0158	0.0240	0.0254	0.0257
セル1個の外部エネルギー変換効率	0.1657	0.1589	0.1423	0.0736
セル1個の外部量子効率	0.8356	0.9144	0.7913	0.4165
入射放射束(セル1個あたり)	15.7842	23.9657	25.3590	25.7128

5. まとめ

各太陽電池モジュールの公称値より外部エネルギー変換効率、外部量子効率を求めることができた。一方、内部エネルギー変換効率、内部量子効率は太陽電池モジュールの反射率あるいは吸収率を知る必要がある。吸収率は放射率に等しいので、CIS 太陽電池については、赤外線カメラを用いた測定を実施した。結果、その内部量子効率は0.805と求めた。

種類別評価の結果、内部量子効率は、予想通り、薄膜 Si、多結晶 Si、結晶 Si の順に高くなっており、本手法が妥当であることを示している。

6. 参考文献

- 1) Panasonic
<http://news.panasonic.com/press/news/official.data/data.dir/2013/06/jn130605-1/jn130605-1.html>
- 2) SHARP
http://www.sharp.co.jp/sunvista/products/module/210ad_spec.html
- 3) 東芝
http://www.toshiba.co.jp/sis/solar/module/index_j.html
- 4) ジャパンソーラー
<http://japansolar.co.jp/product/amorphous/js-130am-aui/>
- 5) ソーラーフロンティア
http://www.solar-frontier.me/products/sf150_k.html
- 6) コニカミノルタ
http://www.konicaminolta.jp/instruments/knowledge/solar/spectral_sensitivity/index.html
- 7) 齋藤, 阿部, 佐藤, 武澤: 電力置換法による太陽電池エネルギー変換効率の測定, 応用物理学会予稿(2015年3月, 東海大).