

自動化電力置換法による太陽電池内部変換効率の直接測定

齋藤研究室 1316202 阿部秀隆

1. 研究の動機・目的

現在様々な種類の太陽電池が存在し、その最重要評価項目として、特に内部エネルギー変換効率がある。当研究室では、標準太陽電池を必要とせず、内部変換効率を直接求められる電力置換方式という新しい測定方法を開発し、その妥当性を検証した。その際、太陽電池への通電加熱は手動で行っており、測定に要する労力と時間が大きいという問題があった。

本研究では、内部変換効率を直接求められる電力置換方法を負帰還回路によって測定を自動化し、その原理的な実証を行うことを目的とする。

2. 定義

吸収放射束 P_a を入力とする内部変換効率 ϵ_{int} は、発生電力を P_e すると以下ようになる。

$$\epsilon_{int} = P_e / P_a \quad (1)$$

本研究ではパネルに発生した熱を、同じ温度上昇をもたらす電力 P_s に置き換え、吸収放射束を次式で決定する。

$$P_a = P_e + P_s \quad (2)$$

3. 測定原理・実験方法

吸収放射束の測定では、光吸収の結果生じる熱パワーを、暗中の電力で置換することによって評価する。光による加熱と電氣的加熱の条件の差を小さくするため、面ヒータとして太陽電池を使用した。

3.1. 測定対象

本研究では以下の仕様のサンヨーのアモルファスシリコン太陽電池 (AM-1456CA) を使用した。

表 1. アモルファスシリコン太陽電池の仕様

公称最大出力 (P_{max}) 【mW】	4
公称短絡電流 (I_{sc}) 【mA】	1.3
公称短絡電圧 (V_{oc}) 【V】	2.753
セル数 (N)	4
モジュール面積 (S) 【m ² 】	245.021
セル面積 【m ² 】	61.25

3.2. ヒータ・温度センサー兼用負帰還回路

測定用に設計・製作した回路図を図 1 に示す。ペルチェ素子を用いた恒温容器に、太陽電池と容器内の温度を測る PTC を入れ、データ収集はデータ・ロガー GL820 により行った。

本回路は次のように動作すると想定して設計した。SC で光吸収→SC の温度上昇→SC の抵抗値低

下→OP アンプ非反転入力電位低下→OP アンプ出力電位低下→SC 通電電力低下→SC 熱出力減少。このように始めの変化を打ち消す方向に動作し、常に SC と R1 による電圧分割比を一定に保つ。すなわち SC の抵抗を、したがって温度を一定に保つ。

光を遮った状態で太陽電池の通電電力が安定するまで測定する。光入射すると太陽電池の温度が上昇しようとするが、負帰還動作により太陽電池の通電加熱電力が温度一定となるように調整され、熱が電力で置換される。光の入射前後の電力差が、パネルが吸収した放射束として求められる。発生電力を吸収放射束で割ることにより、内部変換効率を求められる。

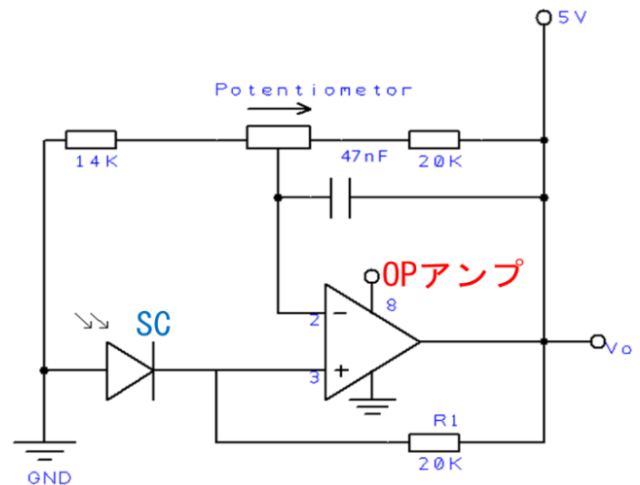


図 1. 太陽電池をヒータ兼温度センサーとしても利用した負帰還回路

3.3. ヒータと温度センサーが別個の負帰還回路

ペルチェ素子を用いた恒温容器に、太陽電池とその裏側に貼り付けた PTC (白金抵抗測温体)、容器内の温度を測る PTC、入射パワー測定用に分光応答度既知の標準フォトダイオードを入れた。

本回路は次のように動作する。SC で光吸収→SC の温度上昇→SC と熱的に結合してある温度センサー PTC100 の抵抗値増加→OP アンプ反転入力電位上昇→OP アンプ出力電位低下→面ヒータ SC の熱出力減少。光を遮った状態で太陽電池の通電電力が安定するまで測定する。光を入射させると、吸収により太陽電池が発熱するので、太陽電池の裏側に貼り付けた PTC の温度も上昇しようとするが、負帰還回路により温度を常に一定に保つよう、太陽電池への通電電力が下方に調整される。

光の入射前後の電力差が、パネルが吸収した放射束として求められる。

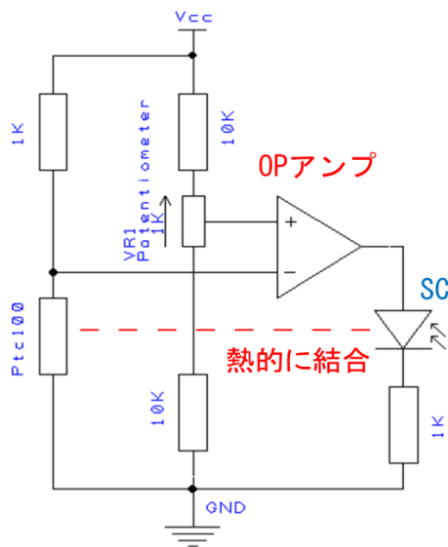


図 2. ヒータと温度センサーを別個とする負帰還回路図

4. 結果・考察

4.1. ヒータ・温度センサー兼用負帰還回路

図 1 の回路と青色 LED (ピーク波長 472.5 nm) を用いて行った実験結果を図 4 に示す。データ収集直後に Cell Voltage, Current およびそれらの積である Cell Power が大きく上昇しているのは、動作直後で受光部の温度が設定温度以下であったためである。その後ほぼ一定値になっている部分では、熱平衡状態になっていることを示している。

16 時 50 分 02 秒より青 LED を点灯したが、温度一定を保つため、直後自動的に Cell Power が急減し、平衡状態に近づくと理解される。本来その段差が吸収放射束を与えるはずであるが、解析の結果、電流が負のとき、すなわち太陽電池の発電電力が通電電力より大きい場合に大きく異なることが判明した。原因は受光部の太陽電池の等価的な抵抗値は温度のみの単純な関数ではなく、動作点依存性があるためと推測される。

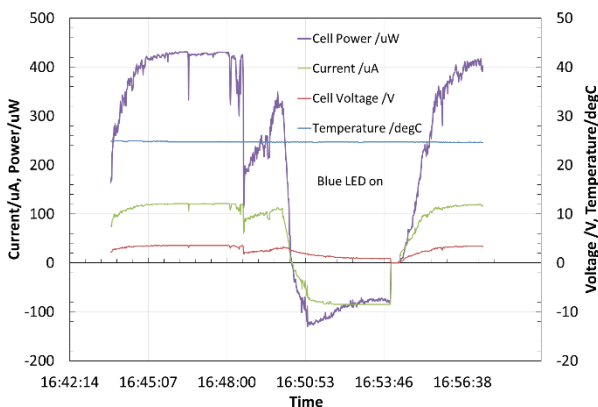


図 4. ヒータ・温度センサー兼用負帰還回路(図 1)の太陽電池の電圧、電流、電力等の経時変化グラフ (青色 LED)

4.2. ヒータと温度センサーが別個の負帰還回路

前項で記した問題点を改善するため、ヒータと温度センサーを別個にする方式とした図 2 の回路に変更し、実験を行った。

図 5 に示す通り 20:38 の青 LED 消灯時の平均電力が約 2184 uW、20:41 の LED 点灯時の平均電力が約 793 uW であり、その差は 1391 uW であった。20:44 の LED 消灯時の平均電力が約 2243 uW で、20:41 の LED 点灯時の平均電力が約 749 uW であり、その差は 1493 uW であった。この 2 回のデータの平均から吸収放射束は $((1391 \text{ uW} + 1493 \text{ uW}) / 2) = 1442 \text{ uW}$ と決定できた。

一方、標準フォトダイオードに基づいて求めた入射放射束は同じく平均して 1387 uW であった。反射損失を考えると、前者は常に後者より小さいはずが 4%ほど大きいのは誤差と考えられる。

この入射放射束の下、アモルファス Si 太陽電池 (AM-1456CA) の I-V 特性の測定を行い、最大電力は約 63.8 uW であった。したがって、その内部変換効率は、4.42%と求まった。

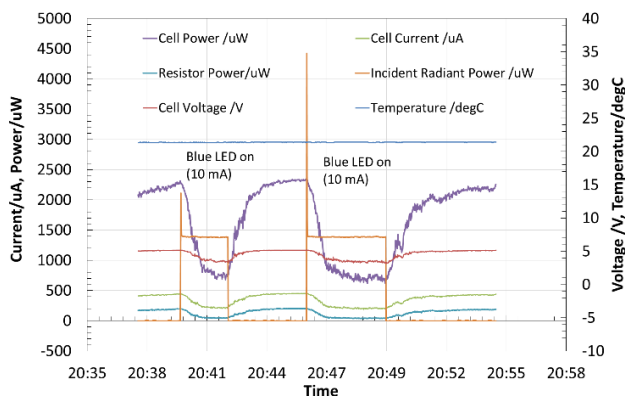


図 5. ヒータと温度センサーが別個の負帰還回路 (図 2) の電圧、電流、電力、フォトダイオード基準入射放射束等の経時変化グラフ (青色 LED)

5. まとめ

今回得られた要点は以下の通りである。

- ヒータ内臓受光部と温度センサーを別個にする方式で、電力置換を自動化して吸収放射束を測定することに成功した。
- 電力置換法で求めた吸収放射束は、標準フォトダイオードに基づく入射放射束と 4%の誤差で一致した。
- 測定対象のアモルファス Si 太陽電池の I-V 特性の測定を行って、最大電力を求め、内部変換効率を求めた結果、4.42%と求まった。

参考文献

- 1 齋藤輝文、龍田宗明、佐藤宏樹、阿部大和、武澤港斗、(東北工大、東北工大院)、応用物理学会秋季学術講演会、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、2015 年 9 月、15p-2k-13
- 2 国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構、<http://app0.infoc.nedo.go.jp/metpv/metpv.html>