

概要

太陽電池は太陽光を直接電気に変換します。多様な材料から、多くのプロセス技術を駆使して製造されるこのデバイスは、商用、軍用、研究用の宇宙電力アプリケーションの他、地上発電用にも利用されています。太陽電池の特性評価のなかには、変換効率や重要な等価回路パラメータを決定する電気性能測定があります。それは、太陽電池セルやアレイの研究開発や製造にとって重要です。このアプリケーションノートは、太陽電池の電流-電圧 (I-V) 特性測定に、ケースレー社2420型大電流ソースメータを、どのように使うかを述べています。

かつて、プログラマブル電源、デジタルマルチメータ、スキャナ等の電子計測器類をラックに組み上げて作られたデバイス特性評価システムは、SMU^{注1} (ソースメジャーユニット) の登場によって、大変簡略化されました。2420型ソースメータは、3Aまでの電流印加とシンクを1%の確度で行い、低ノイズ、高入力インピーダンス、そして再現性の高いDMM機能をそなえ、高価な大電力プログラマブル電源を使う方法に比べ、投資効果の高いシステムを提供します。

2420型は、2Vのレンジで50 μ V分解能をもち、すべての単接合セルのI-Vカーブ測定に使えます。また開回路電圧が2Vを越えるようなマルチ接合セルや小規模なアレイタイプの太陽電池のI-Vカーブ測定にも十分な20Vレンジ (分解能500 μ V) をもっています。また2420型は1 μ A電流レンジで10pAもの分解能をもち、暗電流など、遮光時のすべてのI-Vアプリケーションに十分に対応します。

試験について

太陽電池セルは図1に示すように、光起電流源 (I_L)、ダイオード、直列抵抗 (r_s)、並列抵抗 (r_{sh}) からなる等価回路で表現されます。

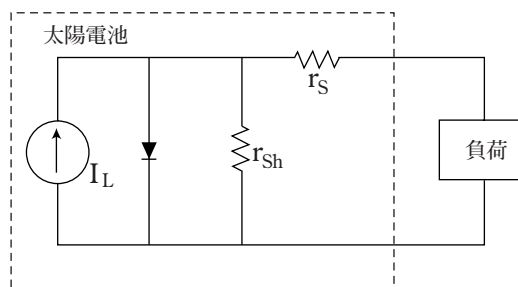


図1. 太陽電池の等価回路モデル

直列抵抗 (r_s) は太陽電池表面のオーミック損失、並列抵抗 (r_{sh}) はダイオードリーク電流による損失を表しています。変換効率 (η) は次式で定義されます：

$$\eta = P_m / P_{in}$$

そして、角形率 (FF) は次式のように表されます：

$$FF = (I_m V_m) / (I_{sc} V_{oc})$$

ここで、 P_{in} は電池への入力電力、 V_{oc} は開回路電圧、 I_{sc} は短絡電流、 I_m と V_m はそれぞれ最大電力点 ($P_m = I_m \cdot V_m$) における電池の最大電流と最大電圧です。図2はシリコン太陽電池の一般的なI-V特性を表しており、最大電力点における I_m と V_m を示しています。

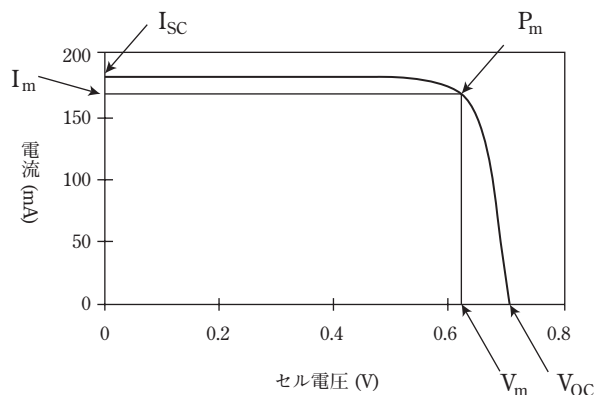


図2. 代表的なSi太陽電池の順方向I-V特性

注1 ケースレー製236型、237型、238型

等価並列抵抗、等価直列抵抗、電気変換効率、角形率のような、太陽電池の重要な性能パラメータはI-V測定から決定されます。そのとき、電池を一定温度に保ち、一定輝度で、既知のスペクトル分布をもつ光源を使います。

順方向バイアスI-V (光照射時)

この試験により($V_1=0, I_1=I_{sc}$)と($V_2=V_{oc}, I_2=0$)の2点間の順方向I-Vカーブが描けます。パラメータの V_{oc} と I_{sc} はカーブから直接求まり、また I_m, V_m, P_m, FF, η も容易に計算できます。さらに解析手法を用い、 r_s と r_{sh} を決定します。

逆バイアスI-Vカーブ (遮光時)

逆バイアスI-Vカーブ試験は、遮光した状態で、0Vからブレイクダウンが起きはじめる電圧まで行われます。この範囲の電圧-電流カーブ特性の傾きは並列抵抗 (r_{sh}) を算出するのに使われます。

試験システムとその構成

図3は、2420型の4線式測定法を使い、リード線抵抗誤差を最小にし、光照射した順方向I-V特性カーブを得るための測定コンフィギュレーションを示しています。ソーラーシミュレータは電池に対し適切な照度を供給し、冷却された吸引式固定治具は電池を固定し、断熱試験環境を提供します。

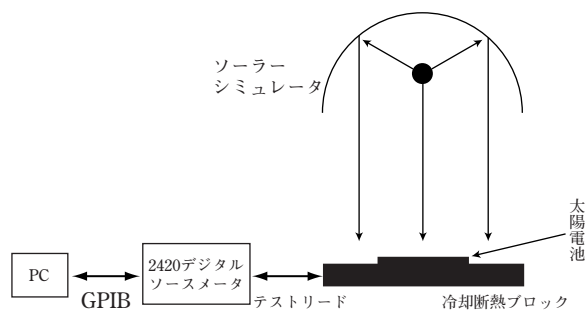


図3.測定システム構成

太陽電池の直列抵抗 (r_s) は低く、太陽光をそのまま当てるタイプの電池の場合で 1Ω 以下、太陽光を集光するタイプの電池で 0.1Ω 以下です。特別にデザインされた2ポイント・プローブを使って電池のバス・バー (bus bar) に直接コンタクトすることは正確な順方向I-V測定をするために欠かせません。

図4は遮光時の逆方向I-V特性を取るための測定コンフィギュレーションです。もし逆バイアスで測定される暗電流が $1\mu A$ 以上の場合、ガードなしの4線式測定で正確な測定ができます。 $1\mu A$ 以下の場合にはケーブルとフィクスチャ^{注2}での浮遊リーク電流が測定に誤差やノイズをもたらします。これらの誤差原因を軽減、除去するのに二つの方法があります。第一は、高抵抗材料でテストフィクスチャを作成し、それを常に汚れの無い状態に保つこと、そして第二は、2420型の内蔵ガード回路を使うことです。

図4において、2420型のV- Ω ガード出力^{注3}は、ロー・インピーダンス・ソースであり、ハイ・インピーダンス・ポイントの出力 H_i とほぼ同電位です。ガーディングは、この回路中、コンタクトプローブのハウジングを回路から絶縁するために使われます。プローブハウジングは絶縁材料で作られますが、汚れがつくと絶縁劣化を引き起こし、測定結果に影響する浮遊電流の原因になります。電池の上部電極にあてられたプローブとほぼ同じ電位になっているプローブ下のガード板により、プローブハウジングを通り抜ける電流をなくし、そのため電池を流れる電流だけが測定されます。

プログラム例

このプログラムは順方向I-Vカーブ、逆方向I-Vカーブを描き、 $I_{sc}, V_{oc}, I_m, V_m, P_m$ を測定し、 FF, η を計算します。このプログラムはグラフィカル・ユーザ・インターフェイス・ベースの計測プログラミング環境「Test Point」^{注4}で作成されています。プログラムの実行には、ケースレーのKPC-488.2型またはKPC-488.2AT型GPIBインターフェイスボードをPCにインストールして行います。

ご希望の方にプログラム例を無償配布いたします。ケースレーインストゥルメンツへお問い合わせください。また、ケースレーのWWWサイト (<http://www.keithley.com>) か、またはFTPサーバ (<ftp://ftp.keithley.com/pub/instr/testpt/sunpower.exe>) から入手できます。

注2 フィクスチャ：固定治具

注3 V- Ω ガード：2400シリーズのガード機能。他にケーブルガードがある

注4 テストポイント：ケースレーの試験システム開発ソフトウェア

7 使用機器リスト

太陽電池評価システムを構築し、プログラム例を実行するための機器リストを以下に示します。

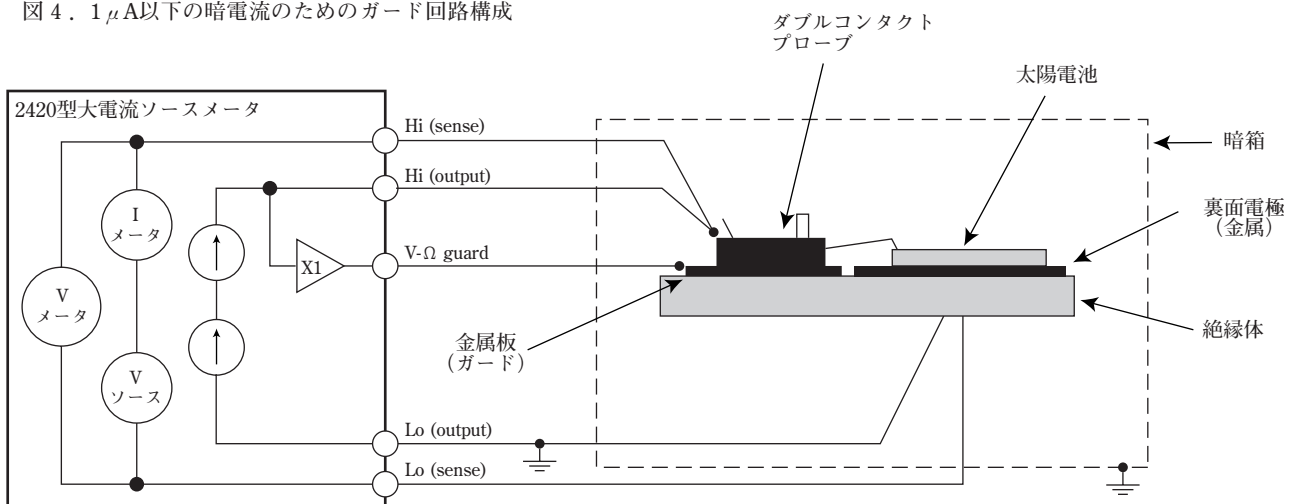
1. ケースレー2420型大電流デジタルソースメータ
2. KPC-488.2型GPIBカードがインストールされたPC
3. 光源（ソーラーシミュレータ）
4. 温度制御機能付吸引式テストフィクスチャ
5. ケースレー7007-1型（7007-2型）GPIBケーブル
6. テストリード（4線式）、2ポイントコンタクトプローブ

7 他のソリューション

I_{sc} が1A以下のセルの特性評価であれば、2420型の代わりに2400型デジタルソースメータが使用できます。2400型は、最大出力電流が1Aに制限される他は、2420型と同じ機能を持っています。

また遮光時の逆方向電流が1nA以下になるデバイスを評価する場合は、10fAの電流測定分解能を持ちながら1Aの電流供給ができ、ガード機能も付いた238型ソース・メジャー・ユニットを、ソースメータに代えて、お使いいただけます。

図4. 1 μ A以下の暗電流のためのガード回路構成



Specifications are subject to change without notice.

All Keithley trademarks and trade names are the property of Keithley Instruments, Inc.
All other trademarks and trade names are the property of their respective companies.

KEITHLEY

ケースレーインストルメンツ株式会社 〒105-0022 東京都港区海岸1-11-1 ニューピア竹芝ノースタワー13F TEL : 03-5733-7555 FAX : 03-5733-7556
Web site : www.keithley.jp · Email : info.jp@keithley.com

Keithley Instruments, Inc 28775 Aurora Road · Cleveland, Ohio 44139 · 440-248-0400 · Fax: 440-248-6168
1-888-KEITHLEY (534-8453) · www.keithley.com