

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2009-168559

(P2009-168559A)

(43) 公開日 平成21年7月30日(2009.7.30)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
GO 1 R 31/26 (2006.01)	GO 1 R 31/26 C	2 G 0 0 3
HO 1 L 31/04 (2006.01)	HO 1 L 31/04 K	5 F 0 5 1

審査請求 未請求 請求項の数 11 O L (全 15 頁)

(21) 出願番号	特願2008-5559 (P2008-5559)	(71) 出願人	504157024
(22) 出願日	平成20年1月15日 (2008.1.15)		国立大学法人東北大学
			宮城県仙台市青葉区片平二丁目1番1号
		(74) 代理人	100098729
			弁理士 重信 和男
		(74) 代理人	100116757
			弁理士 清水 英雄
		(74) 代理人	100123216
			弁理士 高木 祐一
		(74) 代理人	100089336
			弁理士 中野 佳直
		(74) 代理人	100148161
			弁理士 秋庭 英樹

最終頁に続く

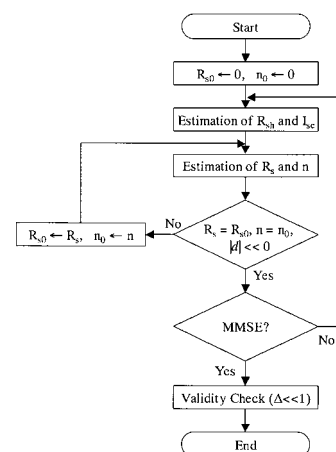
(54) 【発明の名称】 評価方法、評価装置、評価プログラム、太陽電池解析評価方法

(57) 【要約】

【課題】各種ダイオードの開発や性能向上のために、単一のI-V特性から様々な特性を有する太陽電池やダイオードに対応した全パラメータを安定して抽出できる新しい評価方法を提供する。

【解決手段】ダイオードにおける電流Iと電圧Vとの関係を示したダイオード特性式のパラメータを評価する方法であって、仮定に基づいてダイオード特性式を近似した近似式を求めるステップと、IとVの変化関係を測定した実験値に基づいて、前記近似式におけるパラメータを仮決定するステップと、仮決定したパラメータを前記ダイオード特性式に代入し、前記実験値と前記ダイオード特性式のずれを算出することにより、パラメータを修正する修正ステップと、を含むことを特徴とする評価方法。

【選択図】図2



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

ダイオードにおける電流 I と電圧 V との関係を示したダイオード特性式のパラメータを評価する方法であって、

仮定に基づいてダイオード特性式を近似した近似式を求めるステップと、

I と V の変化関係を測定した実験値に基づいて、前記近似式におけるパラメータを仮決定するステップと、

仮決定したパラメータを前記ダイオード特性式に代入し、前記実験値と前記ダイオード特性式のずれを算出することにより、パラメータを修正する修正ステップと、

を含むことを特徴とする評価方法。

10

【請求項 2】

請求項 1 に記載の評価方法において、

前記仮決定するステップでは、候補パラメータを用いた近似式に対し前記実験値を適用して候補パラメータを修正する過程を繰り返すことにより、修正された候補パラメータを前記近似式におけるパラメータとして仮決定することを特徴とする評価方法。

【請求項 3】

請求項 1 または 2 に記載の評価方法において、

前記仮決定するステップと、前記修正ステップとを交互に繰り返して、ダイオード特性式のパラメータの評価を行うことを特徴とする評価方法。

【請求項 4】

20

請求項 1 に記載の評価方法において、

前記ダイオードの特性式は、単一ダイオードモデルの等価回路である評価方法。

【請求項 5】

請求項 4 に記載の評価方法において、

前記パラメータには、並列抵抗 R_{sh} が含まれ、

前記近似式を求めるステップでは、並列抵抗 R_{sh} を無視することなく前記仮定を行う評価方法。

【請求項 6】

請求項 1 に記載の評価方法において、

前記ダイオード特性式は、

30

【数 1】

$$I = I_{ph} - I_0 \left[\exp \left\{ \frac{q(V + R_s I)}{nk_B T} \right\} - 1 \right] - \frac{V + R_s I}{R_{sh}}$$

(ここで、 I_{ph} 、 I_0 、 R_s 、 R_{sh} 、 q 、 n 、 k_B 、 T は、それぞれ、光電流、ダイオードの飽和電流、直列抵抗、並列抵抗、電子素量、ダイオードの理想係数、ボルツマン定数及び温度) であり、

前記仮定をするステップにおいては、

【数 2 a】

40

$$\Delta_1 \equiv \exp \left\{ - \frac{q(V_{oc} - R_s I_{sc})}{nk_B T} \right\} \ll 1, (I_{sc}, I_{ph} \neq 0)$$

(ここで V_{oc} 、 I_{sc} は、それぞれ、解放電圧及び短絡電流である) の近似を行うことを特徴とする評価方法。

【請求項 7】

請求項 1 に記載の評価方法において、

前記ダイオード特性式は、

【数 1】

$$I = I_{ph} - I_0 \left[\exp \left\{ \frac{q(V + R_s I)}{nk_B T} \right\} - 1 \right] - \frac{V + R_s I}{R_{sh}}$$

(ここで、 I_{ph} 、 I_0 、 R_s 、 R_{sh} 、 q 、 n 、 k_B 、 T は、それぞれ、光電流、ダイオードの飽和電流、直列抵抗、並列抵抗、電子素量、ダイオードの理想係数、ボルツマン定数及び温度)であり、

前記仮定をするステップにおいては、

【数 2 b】

$$\Delta_2 = \frac{qI_0R_{sh}}{nk_BT} \ll 1, \quad (I_{sc}, I_{ph} = 0)$$

10

(ここで V_{oc} 、 I_{sc} は、それぞれ、解放電圧及び短絡電流である)の仮定を行うことを特徴とする評価方法。

【請求項 8】

請求項 6 または 請求項 7 に記載の評価方法において、

前記近似式は、

【数 9】

$$-\frac{dV}{dI} = \frac{nk_BT/q}{I_{sc} - I - \{V - R_{s0}(I_{sc} - I) - n_0k_BT/q\}/R_{sh}} + R_s$$

20

(ここで、 R_{s0} と n_0 は一時的なパラメータ)であり、

パラメータを仮決定をするステップにおいては、 R_{s0} と n_0 の値がそれぞれ R_s と n の値に近いことを条件として、パラメータを仮決定することを特徴とする評価方法。

【請求項 9】

ダイオードにおける電流 I と電圧 V との関係を示したダイオード特性式のパラメータを評価する装置であって、

仮定に基づいてダイオード特性式を近似した近似式に対し、 I と V の変化関係を測定した実験値に基づいて、前記近似式におけるパラメータを仮決定する手段と、

仮決定したパラメータを前記ダイオード特性式に代入し、前記実験値と前記ダイオード特性式のずれを算出することにより、パラメータを修正する手段と、

30

を含むことを特徴とする評価装置。

【請求項 10】

コンピュータを、請求項 9 に記載の評価装置として機能させることを特徴とする評価プログラム。

【請求項 11】

請求項 1 に記載の評価方法を用いて、その他の太陽電池の解析を可能としたことを特徴とする太陽電池解析評価方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

40

【0001】

本発明は、各種ダイオード、太陽電池の特性を解析、評価するのに最適な解析評価方法およびその方法を搭載した解析評価装置に関するものである。

【背景技術】

【0002】

太陽電池はクリーンな発電のために非常に有効なデバイスである為、その性能向上のための研究・開発が広くなされている。一般的に太陽電池の特性は、光電流 I_{ph} 、ダイオードの飽和電流 I_0 、直列抵抗 R_s 、並列抵抗 R_{sh} 、電子素量 q 、ダイオードの理想係数 n 、ボルツマン定数 k_B 及び温度 T により解析、評価される。したがって、その等価回路にも多くのパラメータを含んでいる。これまでのシリコン太陽電池の解析の場合、一般的には、並列

50

抵抗 R_{sh} は無視されてきた（非特許文献1，2）。

【0003】

しかしながら、シリコン太陽電池でさえ並列抵抗 R_{sh} は無視できるほど小さくなく、それは、理想係数 n や直列抵抗 R_s の見積りに大きな影響を与える（非特許文献3，4，5）。それゆえ、太陽電池の性能をさらに向上させるには、太陽電池の全パラメータを精確に見積もることが極めて重要である。これまで、太陽電池の性能を解析するために多くの方法が提案されている（非特許文献2）。

【0004】

しかしながら、それらの多くは、並列抵抗 R_{sh} を無視するものであったり、特別な仮定を必要としたりのものであった。例えば、直列抵抗 R_s は2つの異なる照射量で測定されたI-V特性から近似的に見積もることができることが知られており（非特許文献1，6）、この手法は、“different illumination level method”と呼ばれている。しかしながら、照射量を変化させることによる温度変化が大きな誤差を生むことが指摘されている（非特許文献2）。したがって、単一のI-V特性から全パラメータを抽出することが重要である。

。

【0005】

このような手法は、“constant illumination level method”と呼ばれている。constant illumination level methodの1つとして、 $(I_{sc}-I)^{-1}$ を横軸とした $-(dV/dI)$ プロットのy切片及び傾きから直列抵抗 R_s と理想定数 n を見積もる手法が知られている。ここで、 I_{sc} は短絡電流である。この作図を用いる方法はとてもシンプルであるが、これを用いるためには、 R_{sh} が無視できるほど十分小さくなければならない。したがって、この条件が成立しない場合には、見積もられた理想係数 n と直列抵抗 R_s には大きな誤差を含むことになる。

。

【0006】

その他の手法として、カーブフィッティングのような計算機を用いる方法も提案されている（非特許文献3，4，7，8，9）。しかしながら、カーブフィッティングなどに広く用いられている最小2乗法を太陽電池の解析に直接用いることはできない（非特許文献3，4，7，8，9）。また、その結果は、初期に強く依存することが知られている。初期値の依存性や不安定性はフィッティング法が確立していない大きな原因の1つである（非特許文献4，7，8）。

【0007】

【非特許文献1】Martin Wolf and Hans Rauschenbach, Adv. Energy Convers. 3, 455 (1963).

【非特許文献2】P. Mialhe, A. Khoury, and J. P. Charles, phys. stat. sol. (a) 83, 403 (1984).

【非特許文献3】T. Easwarakhanthan, J. Bottin, I. Bouhouch and C. Boutrit, Int. J. Solar Energy 4, 1 (1986).

【非特許文献4】M. Chegaar, Z. Ouennouchi, and A. Hoffmann, Solid-State Electron. 45, 293 (2001).

【非特許文献5】V. N. Singh and R. P. Singh, J. Phys. D 16, 1823 (1983).

【非特許文献6】R. J. Handy, Solid-State Electron. 10, 765 (1967).

【非特許文献7】A. Kaminski, J.J. Marchand, A. Laugier, Solid-State Electron. 43, 741 (1999).

【非特許文献8】Masaki Murayama and Tatsuo Mori, Jpn. J. Appl. Phys. 45, 542 (2006).

【非特許文献9】Masaki Murayama and Tatsuo Mori, Thin Solid Films 509, 123 (2006).

【非特許文献10】A. Yakimov and S. R. Forrest, Appl. Phys. Lett. 80, 1667 (2002).

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

有機太陽電池や色素増感太陽電池（DSSC）などの新しい太陽電池、または、有機ELなどの各種ダイオードの開発や性能向上のためには、単一のI-V特性から様々な特性を有する太陽電池やダイオードに対応した全パラメータを安定して抽出できる新しい方法の開発が極めて重要である。そこで、本発明では、constant illumination level methodとフィッティング法を改良した適用可能範囲が広く、安定した方法を提供する。

【課題を解決するための手段】

【0009】

一般的に太陽電池やフォトダイオードの特性は、図1に示す単一ダイオードモデルの等価回路を用いて説明され、電流I、電圧Vとの関係は、

【数1】

$$I = I_{ph} - I_0 \left[\exp \left\{ \frac{q(V + R_s I)}{nk_B T} \right\} - 1 \right] - \frac{V + R_s I}{R_{sh}}, \quad (1)$$

によって記述される。ここで、 I_{ph} 、 I_0 、 R_s 、 R_{sh} 、 q 、 n 、 k_B 、 T は、それぞれ、光電流、ダイオードの飽和電流、直列抵抗、並列抵抗、電子素量、ダイオードの理想係数、ボルツマン定数及び温度である。また、ダイオードの特性は、逆方向電流を正として、式(1)において、 $I_{ph}=0$ とすることにより表される。等価回路は多くのパラメータを含んでいることがわかる。

【0010】

本発明による全パラメータを抽出するための方法のフローチャートを図2に示す。本方法での仮定は、次に示すたった1つの仮定、

【数2a】

$$\Delta_1 \equiv \exp \left\{ - \frac{q(V_{oc} - R_s I_{sc})}{nk_B T} \right\} \ll 1, \quad (I_{sc}, I_{ph} \neq 0) \text{ (太陽電池)} \quad (2a)$$

あるいは、

【数2b】

$$\Delta_2 \equiv \frac{q I_0 R_{sh}}{nk_B T} \ll 1, \quad (I_{sc}, I_{ph} = 0) \text{ (ダイオード)} \quad (2b)$$

のみである。ここで、 V_{oc} 、 I_{sc} は、それぞれ、解放電圧及び短絡電流である。仮定(2a)及び(2b)は通常の太陽電池やダイオードに対して一般的に成立する。

【0011】

式(1)から、 dV/dI は、

【数3】

$$-\frac{dV}{dI} = \frac{nk_B T / q}{I_{ph} + I_0 - I - (V + R_s I - nk_B T / q) / R_{sh}} + R_s. \quad (3)$$

のように与えられる。

【0012】

ここで仮定(2a)及び、式(1)から

【数4】

$$I_{ph} + I_0 \sim I_{sc} + \frac{R_s I_{sc}}{R_{sh}}, \quad (4)$$

が得られ、それを式(3)に代入して、

10

20

30

40

【数 5】

$$-\frac{dV}{dI} = \frac{nk_B T/q}{I_{sc} - I - \frac{V - R_s(I_{sc} - I) - nk_B T/q}{R_{sh}}} + R_s, \quad (5)$$

を得る。

【0013】

また、ダイオード ($I_{ph} = 0$) の場合においても、式(1)及び仮定(2b)から同様に式(5)が得られる。ただし、 $I_{sc} = I_{sc} = 0$ である。 $I = I_{sc}$ ($V = 0$) の場合、式(5)は、

【数 6】

$$-\frac{dV}{dI} \Big|_{I=I_{sc}} = R_{sh} + R_s \sim R_{sh}, \quad (6)$$

10

のように近似される。ここで用いた近似 $R_{sh} \gg R_s$ は一般的に成立する。式(6)は、 R_{sh} は I - V 特性の $I = I_{sc}$ ($V=0$) の点における傾きから単独に求めることができることを意味している。

【0014】

一方、理想係数 n と直列抵抗 R_s を決定するために、一時的なパラメータ R_{s0} 、 n_0 を式(5)に導入する。それにより、式(5)は、

【数 7】

$$-\frac{dV}{dI} = \frac{nk_B T/q}{I_{sc} - I - \frac{V - R_{s0}(I_{sc} - I) - n_0 k_B T/q}{R_{sh}} (1 - \delta)} + R_s, \quad (7)$$

20

のように変形される。

【0015】

ここで $|\delta| \ll 1$ は、

【数 8】

$$\delta = \frac{(R_s - R_{s0})(I_{sc} - I) + (n - n_0)k_B T/q}{V - R_{s0}(I_{sc} - I) - n_0 k_B T/q}, \quad (8)$$

と定義する。 $|\delta| \ll 1$ のとき、式(7)は、

30

【数 9】

$$-\frac{dV}{dI} = \frac{nk_B T/q}{I_{sc} - I - \{V - R_{s0}(I_{sc} - I) - n_0 k_B T/q\}/R_{sh}} + R_s, \quad (9)$$

のように与えられる。

【0016】

条件 $|\delta| \ll 1$ は、 R_{s0} と n_0 の値が、それぞれ、直列抵抗 R_s 及び理想係数 n の値に近いとき成立する。このとき、式(9)右辺の分母から直列抵抗 R_s 及び理想係数 n は消えており、直列抵抗 R_s 及び理想係数 n は、 $(I_{sc} - I - ((V - R_{s0}(I_{sc} - I) - n_0 k_B T/q)/R_{sh}))^{-1}$ を横軸とした $-(dV/dI)$ プロット y 切片及び傾きから、それぞれ求めることができる。最適な一時パラメータを見積もるために、図2に示すとおり、それぞれの一時パラメータの初期値を0として、式(9)を用いた繰り返し計算を行う。

40

【0017】

すなわち、初回のループで見積もられた直列抵抗 R_s 及び理想係数 n には、一時パラメータの値として0を用いているために大きな誤差を含んでいる。しかしながら、それらの値は初期値である0よりも実際の値に近づいている。そこで、一時パラメータ R_{s0} 及び n_0 の候補として、これらの値をそれぞれ用いる。これにより、次のループで見積もられる直列抵抗 R_s 及び理想係数 n は初回のループよりも実際の値に近い値を示すことになる。

【0018】

これを図2に示すように $R_s = R_{s0}$ 、 $n = n_0$ 、すなわち $|\delta| = 0$ になるまで繰り返すことにより、

50

直列抵抗 R_s 及び理想係数 n を決定することができる。ここで、式(1)における $V = V_{oc}$ 、 $I = 0$ 及び $V=0$ 、 $I = I_{sc}$ の境界条件と仮定(2a)、(2b)から

【数 1 0】

$$I_{ph} + I_0 = I_0 \exp\left(\frac{qV_{oc}}{nk_B T}\right) + \frac{V_{oc}}{R_{sh}} \quad (10)$$

式(10)が得られる。

【 0 0 1 9】

得られた式(10)と式(4b)より

【数 1 1】

$$I_0 \sim \left(I_{sc} - \frac{V_{oc} - R_s I_{sc}}{R_{sh}} \right) \exp\left(-\frac{qV_{oc}}{nk_B T}\right), \quad (11)$$

及び

【数 1 2】

$$I_{ph} = I_0 \left\{ \exp\left(\frac{qV_{oc}}{nk_B T}\right) - 1 \right\} + \frac{V_{oc}}{R_{sh}}, \quad (12)$$

がそれぞれ得られる。

【 0 0 2 0】

すでに求まっている直列抵抗 R_s 及び理想係数 n 、並列抵抗 R_{sh} の値を式(11)に代入することにより、ダイオードの飽和電流を求めることができる。さらに、これまでに求まっているパラメータと飽和電流 I_0 の値を式(12)へ代入することにより、光電流 I_{ph} が決まる。

【 0 0 2 1】

一方、ダイオード($I_{ph}=0$)の場合は、 $I_{sc}=I_{ph}=0$ であり、飽和電流 I_0 は、式(1)から得られる次式

【数 1 3】

$$I_0 = \frac{V + (R_s + R_{sh})I}{R_{sh} \left[1 - \exp\left(\frac{q(V + R_s I)}{nk_B T}\right) \right]} \sim -\frac{V + R_{sh} I}{R_{sh} \exp\left(\frac{q(V + R_s I)}{nk_B T}\right)} \quad (13)$$

により求まる。

【 0 0 2 2】

この段階で、すべてのパラメータの候補が出揃い、 I - V 特性を式(1)を用いて計算することができる。最適なパラメータの値は、図2に示すように、実験値とその計算値との平均2乗誤差(MSE)が最小(MMSE)となるようにパラメータの見積を最初の並列抵抗 R_{sh} と短絡電流の I_{sc} の見積から繰り返すことにより得られる。最後に、仮定(2a)または(2b)を確認することにより、見積もられたパラメータの妥当性をチェックする。

【発明の効果】

【 0 0 2 3】

太陽電池の特性を解析するためには、その太陽電池の全パラメータを精確に見積もることが重要である。そこで、我々は、それら全パラメータを安定して決定するための方法を提供した。本方法で必要とする仮定は、太陽電池であれば通常成立する条件1つのみである。本発明では、すでに報告されているシリコン太陽電池や有機太陽電池、色素増感太陽電池(DSSC)の I - V 特性を本方法に適用した。その結果、本方法で決定されたパラメータは以前の報告よりもそれらの I - V 特性を忠実に表現していた。つまり、我々の提供する方法は、様々な特性をもつ太陽電池に適用可能かつ安定な方法であり、新しい太陽電池の性能を向上させるために非常に有効な方法である。

【発明を実施するための最良の形態】

【 0 0 2 4】

10

20

30

40

50

本方法を、様々な太陽電池のI-V特性の解析に適用した。用いた太陽電池は、シリコン(Si)、3つのヘテロ接合を有する有機太陽電池、及び色素増感太陽電池(DSSC)の3種類である。

【0025】

本方式では、離散的な実験データから dV/dI の値を見積もる必要がある。そこで、本発明では、

【数14】

$$\left. \frac{dV}{dI} \right|_{V=\frac{V_{m+1}+V_m}{2}} = \left. \frac{dV}{dI} \right|_{I=\frac{I_{m+1}+I_m}{2}} = \frac{V_{m+1}-V_m}{I_{m+1}-I_m} \quad (m=1, \Lambda, M-1), \quad (14)$$

10

を用いて dV/dI とした。

【0026】

ここで、 V_m 及び I_m はI-V特性のデータ中における m 番目の電圧、電流の値である。また、 M は、データ点の総数である。電流 I の値が短絡電流 I_{sc} のそれに近いとき、たとえ I の値の誤差が小さいとしても、 $(I_{sc}-I)$ の値に対する I の誤差が大きくなるため、式(9)右辺の計算値には大きな誤差を含むことになる。

【0027】

そこで、式(9)右辺の計算には、次に示す条件を満たすデータ点のみを用いる。

【数15】

$$\left| \frac{I_{sc}-I-V/R_{sh}}{I_{sc}} \right| > 0.1. \quad (15)$$

20

実験値からその微分した値を見積もるためには、滑らかなデータが必要である。そこで、滑らかでないデータについては、条件(15)を満たすデータを多項式によって近似し、その近似多項式から式(9)左辺 dV/dI の値を見積もった。本発明では、色素増感太陽電池(DSSC)の解析において9次の多項式を用いる。

【実施例1】

【0028】

Si太陽電池の解析に本方法を適用した。図3(a)に、実験によるI-V特性(○)と本方法によって計算されたI-V特性(実線)を示す。両者のI-V特性はよく一致していることがわかる。表1は、本方法及び以前の方法によって見積もられた太陽電池のパラメータの値と Δ_1 の値を示す。表1に本方法によって見積もられたパラメータと、すでに報告されている他の方法による見積及び Δ_1 の値を示す。本方法によって得られたパラメータの値は他の方法のそれとよく一致していることがわかる。また、 Δ_1 は1に比べて十分小さく、仮定(2a)を十分満足していることがわかる。

30

【表 1】

Cell or Module	V_{oc} (V)	I_{sc} (A)	I_{ph} (A)	I_0 (μ A)	R_s (Ω)	R_{sh} (k Ω)	n	T ($^{\circ}$ C)	Δ_1
Si (R.T.C France) ^a	0.5728	0.7608	0.7608	0.3223	0.0364	0.0538	1.484		8.9×10^{-7}
A previous work ^b	-	-	0.7609	0.4039	0.0364	0.0495	1.504	33	-
This work	0.57	0.76	0.77	0.20	0.037	0.032	1.4		5.6×10^{-7}
Si (Photowatt-PWP-201) ^a	16.778	1.030	1.0318	3.2876	1.2057	0.549	48.450		8.3×10^{-6}
A previous work ^b	-	-	1.0359	6.77	1.146	0.2	51.32	45	-
This work	17	1.0	1.0	2.3	1.3	0.83	47		6.3×10^{-6}
Silicon ^c	-	0.0500	-	-	3.3	-	2.5		3.4×10^{-3}
This work	0.52	0.050	0.050	0.99	0.73	0.16	1.9	17	4.5×10^{-5}
Organic solar cell ^d	-	-	-	-	-	-	-	-	-
This work	1.2	0.0046	0.0047	0.92	48	1.4	5.8	20*	1.1×10^{-3}
DSSC(C4) ^e	0.704	0.00206	-	0.035	43.8	3.736	2.5	-	-
This work	0.70	0.0021	0.0021	0.023	42	3.2	2.5	20*	4.9×10^{-5}

^a 非特許文献 3^b 非特許文献 4^c 非特許文献 5^d 非特許文献 10^e 非特許文献 8

* 非特許考文献中に温度 T に関する記述がない。

【0029】

これらの結果は、本方法の妥当性を支持している。図3(b)にパラメータが最適化されているとき($R_{sh}=32\Omega$)の $(I_{sc}-I-((V-R_s(I_{sc}-I)-nk_BT/q)/R_{sh}))^{-1}$ を横軸としたときの $-(dV/dI)$ 及び $(I_{sc}-I-V/R_{sh})/I_{sc}$ のプロットを示す。本方法を用いた場合の $-(dV/dI)$ プロットは、よい直線性を示しており、 R_{sh} を無視した場合には非線形な特性となっていることがわかる。

【0030】

これは、Si太陽電池でさえ R_{sh} を無視できないことを示している。式(15)の下、理想係数nと直列抵抗 R_s を見積もるとそれぞれ1.4及び37 Ω となった。図4に(a)理想係数nと直列抵抗 R_s の収束特性と(b)MSEの並列抵抗 R_{sh} 依存性を示す。図4(a)に示すとおり、理想係数nと直列抵抗 R_s は初期値として0を用いているにも関わらず、数回の反復計算のみで急速に収束していくことがわかる。また、図4(b)に示すように、MSEは R_{sh} の変化によって急速にMMSEに近づいていくことがわかる。これらの結果は、本方法が高速な収束特性を有していることを示している。

【0031】

Si太陽電池モジュールについても本方法を用いて解析を行った。本方法によって得られたパラメータの値は、表1に示すように、非特許文献3のものとよく一致し、以前に報告されているもう1つの方法(非特許文献4)では、本方法と比較して小さな並列抵抗 R_{sh} の値及び大きな理想係数nが見積もられている。以前の方法による見積りの失敗は、初期値に強く依存する一般的なフィッティング法によるパラメータ抽出法の不安定性、困難さを表している。

【0032】

図5にさらに別のSi太陽電池のI-V特性の実験データ(○)と本方法(実線)及び他の方法(破線)(非特許文献5)によって計算されたI-V特性を示す。破線は全くI-V特性の実験データを反映していないことがわかる。非特許文献5は、理想係数nは2.5かつ並列抵抗 R_{sh}

10

20

30

40

50

は無視できるほど十分大きいとの仮定の下、I-V特性の実験データ中で最大電力となる1点のみを用いて見積り、直列抵抗 R_s が 3.3Ω と見積もっている。その結果、それらの値から計算されたI-V特性は実験結果から逸脱する結果となった。一方、本方法(実線)は、完全に実験データと一致している。これは、本方法によって見積もられたパラメータは実際の太陽電池の特性をよく反映しており、理想係数 n を固定したり、並列抵抗 R_{sh} を無視したりすることが大きな誤差を生じることを示している。

【実施例2】

【0033】

本方法は、有機太陽電池の解析にも適用可能である。図6に有機太陽電池のI-V特性の実験結果(実線)(非特許文献10)及び本方法によって見積もられたパラメータから計算されたI-V特性(破線)を示す。計算結果と実験結果は、見分けのつかないほど完璧に一致していることがわかる。また、表1に示すように仮定(2a)も十分満足している。実験結果と計算結果の完全な一致は、本方法がシリコン太陽電池だけでなく様々な特性持つ他の種類の太陽電池についても適用可能であることを示している。

10

【実施例3】

【0034】

図7(a)に非特許文献8で“C4”と呼ばれるDSSCのI-V特性の実験結果(○)及び以前の方法(破線)及び本方法(実線)によって得られたパラメータから計算されたI-V特性を示す。この場合、図7(b)に示すように dV/dI を直接実験データから見積もるにはその滑らかさが不十分である。本発明では、条件(15)を満たす実験データを9次の多項式によって近似し、その近似多項式から dV/dI を見積もった。図7(a)の挿入図は、条件(15)を満たす実験データ(○)及び9次多項式による近似曲線(実線)の拡大図である。近似曲線は、実験データをよく反映していることがわかる。図7(b)に示すとおり、実験データを直接用いた場合、 $-(dV/dI)$ プロットは散らばっており、直線を引くことが不可能であるが、多項式近似を用いた場合のそれは、良い直線性を有しており、容易に理想係数 n 及び直列抵抗 R_s を見積もることが可能であることがわかる。図7(a)における実線は、多項式近似を導入して本方法から得られた計算結果であるが、破線よりもよく一致していることがわかる。破線は、非特許文献8で理想係数 n を2.5に固定してフィッティングした結果である。先述したとおり、不明なパラメータを固定しなければならない方法は決して正確なパラメータの値を抽出することはできない。

20

30

【0035】

なお、参考として、本願における発明の別の態様について以下に記す。

【0036】

1. ダイオードの特性を評価する方法において、並列抵抗 R_{sh} を無視することなく、解析に必要な全パラメータを一意的に安定かつ正確に取得し、実データに極めて近似させることを可能としたダイオード特性解析評価方法。

【0037】

2. 太陽電池の特性を、単一ダイオードモデルの等価回路を用いて解析し、評価する方法において、並列抵抗 R_{sh} を無視することなく、解析に必要な全パラメータを一意的に安定かつ正確に取得し、実データに極めて近似させることを可能とした太陽電池解析評価方法。

40

【0038】

3. Δ (ある演算式)が極めて0に近いことを条件として、シリコン系太陽電池のみならず、その他の太陽電池の解析をも可能とした方法。

【0039】

4. Δ (ある演算式)が極めて0に近いことを条件として、 R_{sh} を $I = I_{sc}$ ($V = 0$)の点における傾きから単独に求める方法。

【0040】

5. 一時パラメータの R_{so} と、 n_0 の値がそれぞれ直列抵抗 R_s 、及び理想係数 n の値に近いことを条件として、直列抵抗 R_s 、及び理想係数 n を、 $-dV/dI$ プロットの y 切

50

片及び傾きからそれぞれ求める方法。

【0041】

6．実データを n 次多項式($n = 1, 2, \dots$)により近似し、その近似式から、 dV/dI を得る手法を用いた方法。

【0042】

7．直列抵抗 R_s 及び理想係数 n が、 $R_s = R_{s0}$ 、 $n = n_0$ 、 δ (ある演算式)(絶対値) $= 0$ になるまで繰り返し演算することにより、直列抵抗 R_s 及び理想係数 n を決定する方法。

【0043】

8．平均二乗誤差(MSE)が最小(MMSE)となるようにパラメータの見積もりを、最初の並列抵抗 R_{sh} と短絡電流 I_{sc} の見積もりから繰り返し演算を行うことによって求める方法。

【0044】

9．ダイオードの特性を解析し評価する解析評価装置において、請求項1から8記載のアルゴリズムをプログラム化して搭載し、ダイオードのパラメータの値を決定することを可能ならしめた装置。

【0045】

10．太陽電池の特性を解析し評価する解析評価装置において、請求項1から7記載のアルゴリズムをプログラム化して搭載し、太陽電池のパラメータの値を決定することを可能ならしめた装置。

【産業上の利用可能性】

【0046】

本発明は、単一の I - V 特性から太陽電池やダイオードの全パラメータを安定して決定するための方法を提供する。本方法を用いるためには、通常の太陽電池に対して成立する仮定を1つしか必要としない。本方法を用いることにより、以前の方法ではパラメータの値を抽出できないような特性を持つ様々な太陽電池でさえ、精確なパラメータの値を決定することができる。また、本方法は、高速な収束特性を有している。適用範囲が広く、安定して動作する本方法を搭載した太陽電池解析評価装置は、様々な新しい太陽電池、ダイオードの解析、評価に役立ち、研究・開発を促進するとともに、太陽電池、有機ELなどのダイオードの特性向上にもつながるものである。

【図面の簡単な説明】

【0047】

【図1】単一ダイオードモデルによる太陽電池の等価回路。

【図2】本方法のフローチャート。

【図3a】Si太陽電池(R.T.C France)の I - V 特性の実験結果($\circ$)(非特許文献3)及び、本方法によって見積もられたパラメータを用いて計算された I - V 特性(実線)。

【図3b】最適化された($R_{s0}=R_s$, $n_0=n$, and $\Delta=0$)後の $[I_{sc}-I-\{V-R_s(I_{sc}-I)-nk_B T/q\}/R_{sh}]^{-1}$ を横軸としたときの $-dV/dI$ と $(I_{sc}-I-V)/I_{sc}$ プロット($R_{sh}=32\Omega$)。

【図4a】理想係数 n と直列抵抗 R_s を見積もるループの収束特性とMSEの並列抵抗 R_{sh} 依存性。

【図4b】理想係数 n と直列抵抗 R_s を見積もるループの収束特性とMSEの並列抵抗 R_{sh} 依存性。

【図5】Si太陽電池モジュールの I - V 特性の実験結果($\circ$)(非特許文献5)と、本方法(実線)及び以前の方法(破線)(非特許文献5)によって見積もられたパラメータから計算された I - V 特性。

【図6】有機太陽電池の I - V 特性の実験結果(実線)(非特許文献10)と本方法によって見積もられたパラメータから計算された I - V 特性(破線)。

【図7a】DSSC(C4)の I - V 特性の実験結果($\circ$)(非特許文献8)と本方法(実線)及び以前の方法(破線)(非特許文献8)によって得られたパラメータから計算された I - V 特性。挿入図は、 I - V 特性の実験結果($\circ$)と多項式による近似曲線(実線)。

10

20

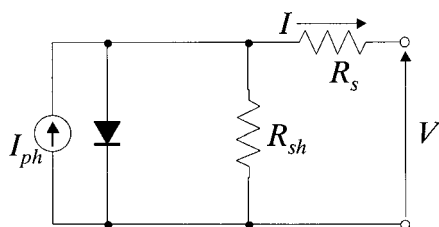
30

40

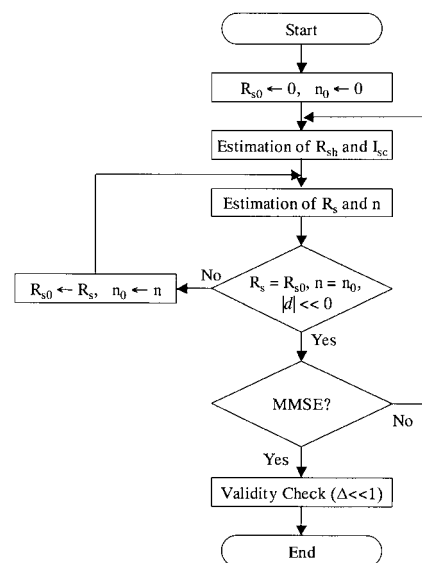
50

【図 7 b】最適化された後の $[I_{sc} - I - \{V - R_s(I_{sc} - I) - nk_B T/q\} / R_{sh}]^{-1}$ を横軸としたときの $-dV/dI$ 及び $(I_{sc} - I - V) / I_{sc}$ プロット。

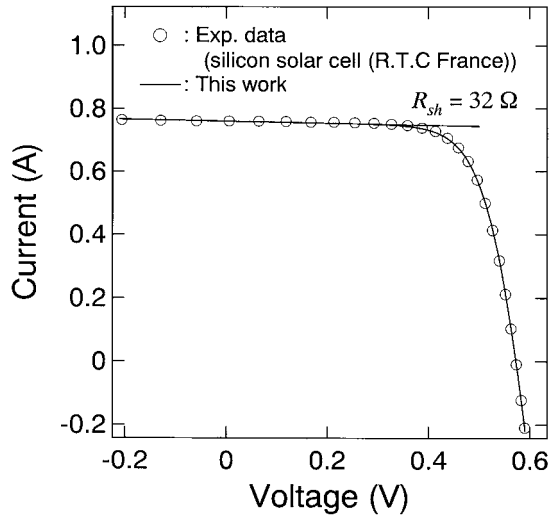
【図 1】



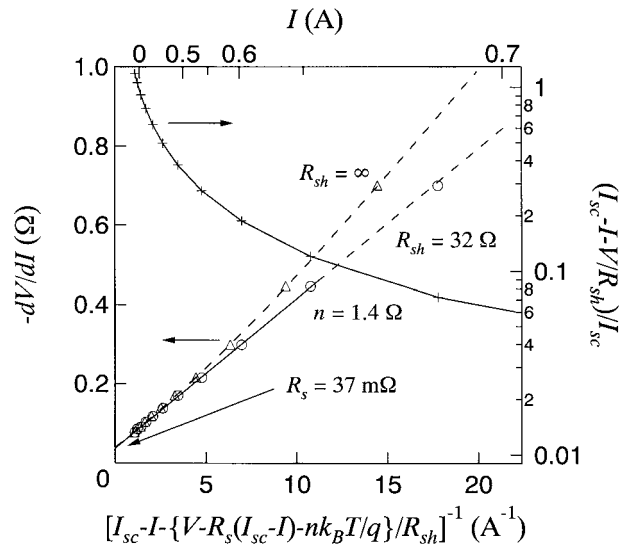
【図 2】



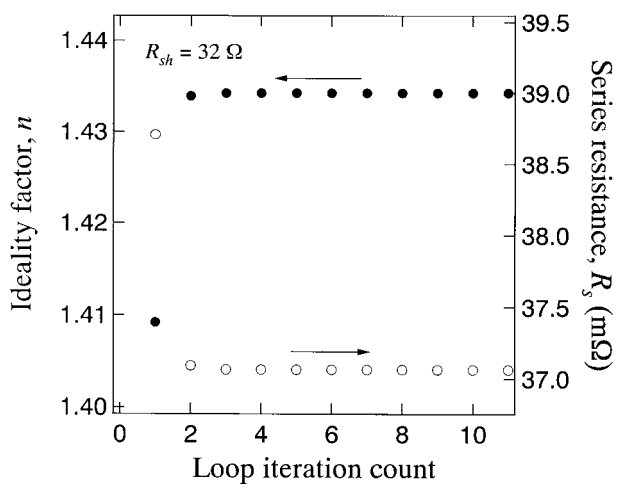
【図 3 a】



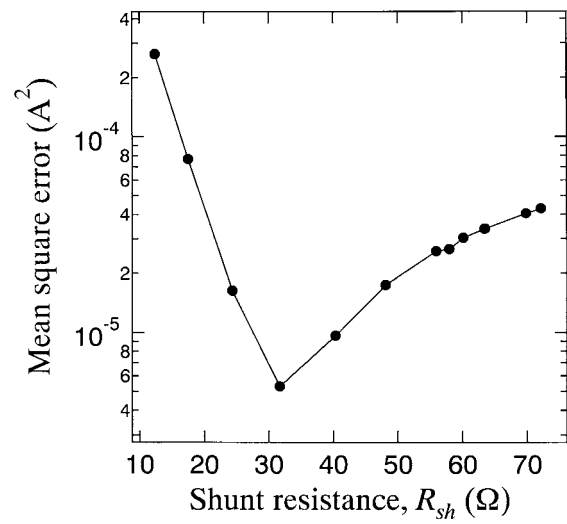
【図 3 b】



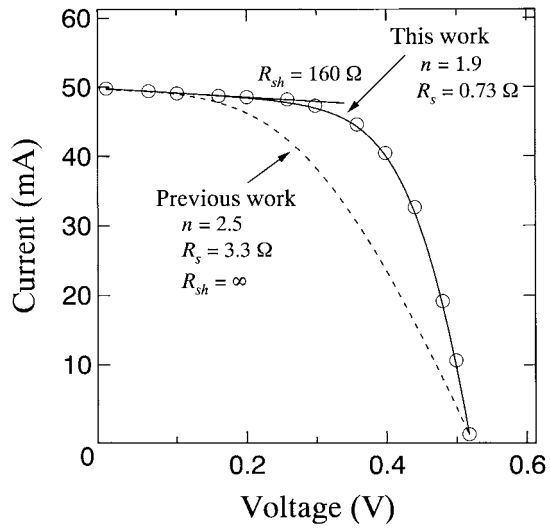
【図 4 a】



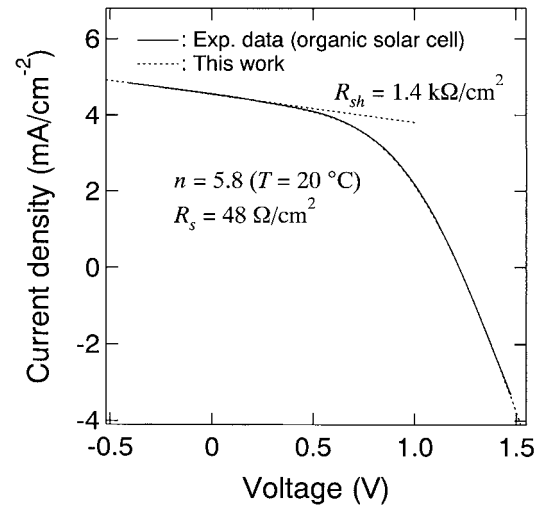
【図 4 b】



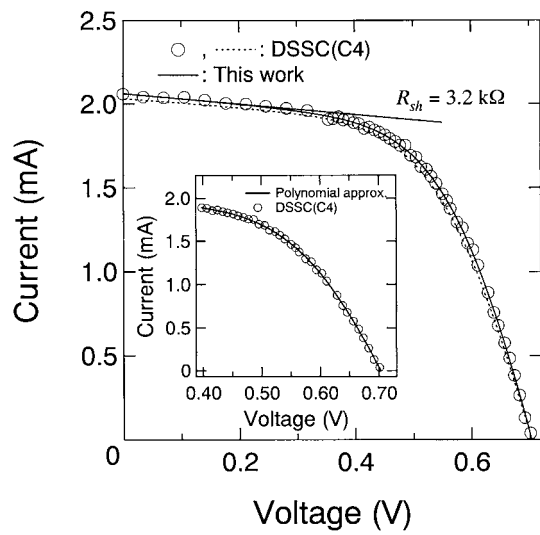
【 図 5 】



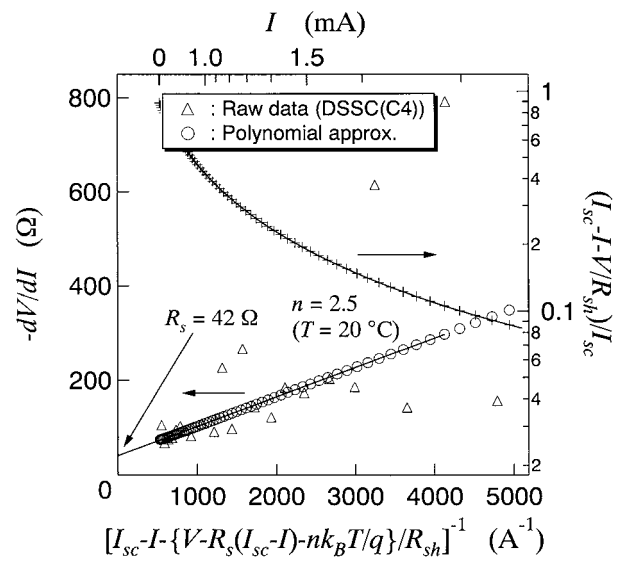
【 図 6 】



【 図 7 a 】



【 図 7 b 】



フロントページの続き

- (72)発明者 木村 康男
宮城県仙台市青葉区片平二丁目 1 番 1 号 国立大学法人東北大学内
- (72)発明者 庭野 道夫
宮城県仙台市青葉区片平二丁目 1 番 1 号 国立大学法人東北大学内
- (72)発明者 石橋 健一
宮城県仙台市青葉区片平二丁目 1 番 1 号 国立大学法人東北大学内
- F ターム(参考) 2G003 AA06 AB01 AH05
5F051 BA11 KA10