

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6407100号
(P6407100)

(45) 発行日 平成30年10月17日(2018.10.17)

(24) 登録日 平成30年9月28日(2018.9.28)

(51) Int.Cl. F I
H O 2 S 50/10 (2014.01) H O 2 S 50/10

請求項の数 13 (全 19 頁)

| | | | |
|-----------|------------------------------|-----------|--|
| (21) 出願番号 | 特願2015-114843 (P2015-114843) | (73) 特許権者 | 000006013 三菱電機株式会社 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 |
| (22) 出願日 | 平成27年6月5日(2015.6.5) | (74) 代理人 | 100118762 弁理士 高村 順 |
| (65) 公開番号 | 特開2017-5803 (P2017-5803A) | (72) 発明者 | 池田 知弘 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三 菱電機株式会社内 |
| (43) 公開日 | 平成29年1月5日(2017.1.5) | (72) 発明者 | 津田 睦 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三 菱電機株式会社内 |
| 審査請求日 | 平成29年9月29日(2017.9.29) | 審査官 | 吉野 三寛 |

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 太陽電池モジュールの検査装置および太陽電池モジュールの検査方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

直列に接続された複数枚の太陽電池セルを有する太陽電池モジュールの受光面に照射する光の強度分布を変更可能な光源装置と、

前記光源装置が前記受光面に光を照射した状態で前記太陽電池モジュールの開放電圧を測定する電圧測定装置と、

前記光源装置が前記受光面に光を照射した状態で前記太陽電池モジュールに交流信号を印加し当該交流信号に対する交流応答を測定する交流応答測定装置と、

前記光源装置を制御すると共に前記電圧測定装置および前記交流応答測定装置から得られたデータを処理する制御処理部と、

を備え、

前記制御処理部は、前記受光面内に設定された検査対象範囲内の光の強度のみが互いに異なる3個以上の前記強度分布に対してそれぞれ測定された3組以上の前記開放電圧と前記交流応答との組を用いて、3個以上の前記開放電圧のうちのいずれかと3個以上の前記開放電圧のうちの残りとの差分である複数個の電圧を計算すると共に、3個以上の前記強度分布に対して前記太陽電池モジュールの等価回路に含まれる発電層を表す回路素子に並列な並列抵抗をそれぞれ計算し、3個以上の前記並列抵抗を用いて複数個の前記電圧に対応する複数個のアドミタンスをそれぞれ計算し、複数個の前記電圧および複数個の前記アドミタンスを用いて前記電圧に対する前記検査対象範囲の電流特性を求めることを特徴とする太陽電池モジュールの検査装置。

10

20

【請求項 2】

3 個以上の前記強度分布は、前記受光面の全体に同じ強度の光が照射された場合の第 1 の強度分布と、前記第 1 の強度分布と比較して前記検査対象範囲内の強度のみが小さい複数個の第 2 の強度分布とからなり、

3 個以上の前記開放電圧は、前記第 1 の強度分布に対して測定された第 1 の開放電圧と、複数個の前記第 2 の強度分布に対してそれぞれ測定された複数個の第 2 の開放電圧とからなり、

3 個以上の前記並列抵抗は、前記第 1 の強度分布に対して計算された第 1 の並列抵抗と、複数個の前記第 2 の強度分布に対してそれぞれ計算された複数個の第 2 の並列抵抗とからなり、

複数個の前記電圧は、前記第 1 の開放電圧と複数個の前記第 2 の開放電圧との差分であり、

複数個の前記アドミタンスは、前記第 1 の並列抵抗と複数個の前記第 2 の並列抵抗との差分の逆数であることを特徴とする請求項 1 に記載の太陽電池モジュールの検査装置。

【請求項 3】

前記等価回路は、前記発電層を表す回路素子であるキャパシタと、前記キャパシタに並列に接続された前記並列抵抗と、前記キャパシタおよび前記並列抵抗に直列に接続された直列抵抗と、前記直列抵抗に直列に接続されたインダクタンスとからなることを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の太陽電池モジュールの検査装置。

【請求項 4】

前記交流応答測定装置は、インピーダンス測定器であり、
前記交流応答は、前記交流信号の周波数に依存するインピーダンスであることを特徴とする請求項 1 から 3 のいずれか 1 項に記載の太陽電池モジュールの検査装置。

【請求項 5】

前記光源装置は、複数個の光源を備え、
複数個の前記光源は、前記強度分布を前記太陽電池セルの単位で変更可能であることを特徴とする請求項 1 から 4 のいずれか 1 項に記載の太陽電池モジュールの検査装置。

【請求項 6】

前記交流応答測定装置は、前記光源装置により前記受光面に照射された光の前記強度分布の前記受光面内における強度差に応じて前記交流信号の大きさを調整することを特徴とする請求項 1 から 5 のいずれか 1 項に記載の太陽電池モジュールの検査装置。

【請求項 7】

前記光源装置により前記受光面に照射された光の前記強度分布の前記受光面内における強度差が、分光強度の差により実現されることを特徴とする請求項 1 から 6 のいずれか 1 項に記載の太陽電池モジュールの検査装置。

【請求項 8】

複数個の前記光源の各々は、発光ダイオードを備えることを特徴とする請求項 1 から 7 のいずれか 1 項に記載の太陽電池モジュールの検査装置。

【請求項 9】

複数個の前記光源の各々の位置は可動であることを特徴とする請求項 8 に記載の太陽電池モジュールの検査装置。

【請求項 10】

前記光源装置は、複数個の前記光源を制御する光源制御部を備え、
複数個の前記光源にはそれぞれ識別子が付与され、
前記光源制御部は、複数個の前記光源に前記識別子が付加された制御データを送信し、
複数個の前記光源の各々は、前記制御データに付加された前記識別子が自己に付与された前記識別子と同じ場合にのみ当該制御データを取得することを特徴とする請求項 8 または 9 に記載の太陽電池モジュールの検査装置。

【請求項 11】

前記光源装置は、前記受光面に対向して配置され、複数個の前記光源を覆う照射面と、

10

20

30

40

50

前記照射面上に前記太陽電池セルごとに配置され、複数枚の前記太陽電池セルの各々の周囲を囲う遮光壁とを備えることを特徴とする請求項 8 から 10 のいずれか 1 項に記載の太陽電池モジュールの検査装置。

【請求項 12】

複数個の光源の各々の光束は、前記受光面に対して垂直であることを特徴とする請求項 8 から 11 のいずれか 1 項に記載の太陽電池モジュールの検査装置。

【請求項 13】

直列に接続された複数枚の太陽電池セルを有する太陽電池モジュールの受光面に照射する光の強度分布を変更可能な光源装置と、前記光源装置が前記受光面に光を照射した状態で前記太陽電池モジュールの開放電圧を測定する電圧測定装置と、前記光源装置が前記受光面に光を照射した状態で前記太陽電池モジュールに交流信号を印加し当該交流信号に対する交流応答を測定する交流応答測定装置と、前記光源装置を制御すると共に前記電圧測定装置および前記交流応答測定装置から得られたデータを処理する制御処理部と、を備えた太陽電池モジュールの検査装置による太陽電池モジュールの検査方法であって、

前記制御処理部は、前記受光面内に設定された検査対象範囲内の光の強度のみが互いに異なる 3 個以上の前記強度分布に対してそれぞれ測定された 3 組以上の前記開放電圧と前記交流応答との組を用いて、3 個以上の前記開放電圧のうちいずれかと 3 個以上の前記開放電圧のうち残りとの差分である複数個の電圧を計算すると共に、3 個以上の前記強度分布に対して前記太陽電池モジュールの等価回路に含まれる発電層を表す回路素子に並列な並列抵抗をそれぞれ計算し、3 個以上の前記並列抵抗を用いて複数個の前記電圧に対応する複数個のアドミタンスをそれぞれ計算し、複数個の前記電圧および複数個の前記アドミタンスを用いて前記電圧に対する前記検査対象範囲の電流特性を求めることを特徴とする太陽電池モジュールの検査方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、太陽電池モジュールに含まれる太陽電池セルの発電特性を検査するための太陽電池モジュールの検査装置および太陽電池モジュールの検査方法に関する。

【背景技術】

【0002】

近年、化石燃料の使用に伴う温暖化ガスの排出による地球の温暖化および原子力発電所の事故または放射性廃棄物による放射能汚染により、地球環境とエネルギーに対する関心が急速に高まっている。このような状況の下、太陽の入射光を利用した光電変換素子である太陽電池は無尽蔵かつクリーンなエネルギー源として世界中から期待されている。

【0003】

この太陽電池を利用した太陽光発電システムの形態としては、出力のオーダが W から MW まで種々の規模および種類がある。このようなシステムの例としては、バッテリーを使用して太陽電池の発電エネルギーを保存するもの、および DC - AC コンバータを使って太陽電池の出力エネルギーを商用系統に流し込むものが挙げられる。

【0004】

住宅またはビルの屋上に太陽電池を設置する形態の太陽光発電システムとしては、系統連系型太陽光発電システムがある。この系統連系型太陽光発電システムは、太陽電池モジュールから出力される直流電力をインバータ回路で交流電力に変換して施設の電源として使用しつつ、不足分は系統電力網から補うことで連系運転を行うものである。また余剰電力が発生した場合は、系統電力網を用いて、余剰電力を電力会社へ逆潮流させ売電することも可能である。負荷の大小または売電の有無といった細かな差違はあるものの、出力のオーダとして kW が典型的な一般家庭の屋根付け型から MW 以上の出力の大規模太陽光発電施設であるメガソーラーまで、この利用形態が多い。従って、系統電力との対比の面で、太陽光発電システムでは能力指標として発電コストが問われることが多い。

【0005】

一般に発電コストは簡易的には次式(1)で表されることが多い。

$$\text{発電コスト} = (\text{初期投資費用} + \text{維持費用}) / (\text{生涯発電量} \times \text{劣化率}) \cdots (1)$$

【0006】

従来は発電コストを下げるための技術開発は、初期投資費用および維持費用の削減を主として取り組まれてきた。ここで、初期投資費用は、パネルコストおよび設置コストが典型的であり、維持費用は、パネルの長寿命化および遠隔監視に費やされるコストが典型的である。光電変換効率の向上はパネルコストの削減の代表例である。しかしながら、光電変換効率は理論限界に近い領域に達してきている。実際、結晶シリコン太陽電池では、光電変換効率は、理論限界である28%に対して開発品では25%、量産品でも21~23%に達している。そのため、光電変換効率の向上のみによるコスト削減だけでは、プロセスおよび装置の複雑化による製造費の増加、材料費の増加、さらには開発費の増加が賄えなくなりつつあるのが現状である。

10

【0007】

そこで近年注目を浴びているのが維持費用の削減であり、長寿命化がその一手とも言える。ユーザー側からこのような要求がある中、メーカー側でも長期暴露試験または返品されたモジュールの解析を通じてモジュールの信頼性確保および長寿命化に努めてきた。

【0008】

しかしながら、太陽電池モジュールは構成素子である太陽電池セルそのものの出力電圧が1V前後と非常に低いため、通常はモジュールに組み上げる際に多い場合には100枚以上となる複数枚のセルを直列に接続している。このとき配線をガラスとバックシートとの間に封止材で埋め込んでしまうため、一度モジュールを組んでしまうと非破壊で太陽電池セル単体の特性変化を解析することは困難となる。この場合の解析手法としては、EL(Electro Luminescence: キャリア注入発光現象)を利用した手法はあるが、ホットスポットの原因ともなる光電流の面内での差違に関する情報は間接的にしか推定できないことが多かった。

20

【0009】

また、特許文献1のように直流特性ではなく交流特性を利用して太陽電池モジュールの内部を等価的に推察しようという技術もあるが、光電流に関する情報については多くは得られなかった。

30

【先行技術文献】

【特許文献】

【0010】

【特許文献1】特表2013-527613号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0011】

ホットスポットの原因ともなる、太陽電池モジュールの受光面内での光電流の大小の分布についての情報は、従来、バックシートに穴を空けて配線を引き出すか、あるいは最初から配線を引き出しておき、この配線を介した測定により得られている。前者は破壊検査であり、後者は最初から配線が引き出されていない返品されたモジュールには適用ができないという問題があった。

40

【0012】

本発明は、上記に鑑みてなされたものであって、太陽電池モジュールの受光面内での光電流の分布を太陽電池モジュールから検査用に配線を引き出すことなく非破壊で推定することが可能な太陽電池モジュールの検査装置を得ることを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0013】

上述した課題を解決し、目的を達成するために、本発明に係る太陽電池モジュールの検

50

査装置は、直列に接続された複数枚の太陽電池セルを有する太陽電池モジュールの受光面に照射する光の強度分布を変更可能な光源装置と、前記光源装置が前記受光面に光を照射した状態で前記太陽電池モジュールの開放電圧を測定する電圧測定装置と、前記光源装置が前記受光面に光を照射した状態で前記太陽電池モジュールに交流信号を印加し当該交流信号に対する交流応答を測定する交流応答測定装置と、前記光源装置を制御すると共に前記電圧測定装置および前記交流応答測定装置から得られたデータを処理する制御処理部と、を備え、前記制御処理部は、前記受光面内に設定された検査対象範囲内の光の強度のみが互いに異なる3個以上の前記強度分布に対してそれぞれ測定された3組以上の前記開放電圧と前記交流応答との組を用いて、3個以上の前記開放電圧のうちいずれかと3個以上の前記開放電圧のうち残りとの差分である複数個の電圧を計算すると共に、3個以上の前記強度分布に対して前記太陽電池モジュールの等価回路に含まれる発電層を表す回路素子に並列な並列抵抗をそれぞれ計算し、3個以上の前記並列抵抗を用いて複数個の前記電圧に対応する複数個のアドミタンスをそれぞれ計算し、複数個の前記電圧および複数個の前記アドミタンスを用いて前記電圧に対する前記検査対象範囲の電流特性を求めることを特徴とする。

10

【発明の効果】

【0014】

本発明によれば、太陽電池モジュールの受光面内での光電流の分布を太陽電池モジュールから検査用に配線を引き出すことなく非破壊で推定することができる、という効果を奏する。

20

【図面の簡単な説明】

【0015】

【図1】実施の形態1に係る太陽電池モジュールの検査装置の構成を示す模式図

【図2】実施の形態1におけるハイパスフィルタの構成例を示す回路図

【図3】実施の形態1におけるハイパスフィルタの別の構成例を示す回路図

【図4】実施の形態1における照射光の強度差に対するインピーダンス Z の絶対値 $|Z|$ の変化を示す図

【図5】実施の形態1において照射光の強度差に対する印加交流信号の強度の設定の一例を示す図

【図6】実施の形態1において照射光の強度差に対する印加交流信号の強度の設定の別の一例を示す図

30

【図7】実施の形態1における計算機の構成例を示すブロック図

【図8】実施の形態1における計算機の処理を示すフローチャート

【図9】実施の形態1において照射光の強度分布の設定例を説明するための図

【図10】実施の形態1における太陽電池モジュールの等価回路の回路図

【図11】実施の形態1における等価回路の典型的な $Z(f)$ を示す図

【図12】実施の形態1において並列抵抗を計算する際の周波数の選択の一例を示す図

【図13】実施の形態1において太陽電池モジュールの典型的な $Y(V)$ 特性を示す図

【図14】実施の形態2における光源装置の構成を示す模式図

【図15】実施の形態2における光源装置の構成の一部を示す断面図

40

【図16】実施の形態2において制御データが識別子とともに光源に送信される様子を示した図

【図17】実施の形態2において光源に識別子を付与した場合の駆動制御回路のデータ取得処理を示したフローチャート

【図18】実施の形態3における光源装置の構成の一部を示す断面図

【図19】実施の形態3の変形例における光源装置の構成の一部を示す断面図

【発明を実施するための形態】

【0016】

以下に、本発明の実施の形態に係る太陽電池モジュールの検査装置および太陽電池モジュールの検査方法を図面に基づいて詳細に説明する。なお、この実施の形態によりこの発

50

明が限定されるものではない。

【0017】

実施の形態1.

図1は、本実施の形態に係る太陽電池モジュールの検査装置の構成を示す模式図である。本実施の形態に係る太陽電池モジュールの検査装置は、太陽電池モジュール1の受光面に照射する光の強度分布を変更可能な光源装置3と、光源装置3が太陽電池モジュール1の受光面に光を照射した状態で太陽電池モジュール1の開放電圧を測定する電圧測定装置7と、光源装置3が太陽電池モジュール1の受光面に光を照射した状態で太陽電池モジュール1に交流信号を印加し当該交流信号に対する交流応答を測定する交流応答測定装置8と、光源装置3を制御すると共に電圧測定装置7および交流応答測定装置8から得られるデータを処理する計算機11とを備える。

10

【0018】

太陽電池モジュール1は、直列に接続された複数枚の太陽電池セル2を有する。太陽電池セル2は、10cm角から20cm角のものが一般的である。複数枚の太陽電池セル2は2次元的に配列され、太陽電池モジュール1の受光面を形成する。図示例では、太陽電池モジュール1の受光面は、太陽電池モジュール1の光源装置3側の面である。また、太陽電池モジュール1はいわゆる結晶シリコン系であり、太陽電池セル2は結晶シリコンを有する。なお、検査対象となる太陽電池モジュール1に制約はなく、太陽電池モジュール1は結晶シリコン系でなくてもよい。

【0019】

光源装置3は、2次元的に配列された複数個の光源5と、複数個の光源5を制御する光源制御部4とを備える。ここで、光源5は、光源本体5aと、光源本体5aを駆動する光源駆動部6とを備える。

20

【0020】

複数個の光源5は、太陽電池モジュール1の受光面の全体に光を照射可能なように配置される。また、複数個の光源5は、受光面内の光の強度分布を太陽電池セル2の単位で変更可能である。換言すれば、光源5の個数および配置は、1枚の太陽電池セル2を最小単位として光の強度分布が変更可能なように調整されている。なお、複数個の光源5は、複数枚の太陽電池セル2と一対一または複数対一に配置される。

【0021】

光源制御部4は、計算機11で指定された光の強度分布を実現するための制御信号を複数個の光源駆動部6にそれぞれ送信する。光源駆動部6は、光源制御部4からの制御信号に従って光源本体5aに電力を供給し、光源本体5aの光強度を個別に調整する。すなわち、光源装置3は、光源5ごとに光源駆動部6が独立して設けられるいわゆるアクティブマトリクス方式を採用している。光源装置3にアクティブマトリクス方式を適用することで、光源5の時分割での発光が可能となる。なお、光源5を全て一括して駆動するいわゆるパッシブマトリクス方式を採用することもできるが、アクティブマトリクス方式を採用する場合に比べて駆動回路が複雑になる。

30

【0022】

このような光源装置3により、太陽電池モジュール1の受光面に光を非一様に、すなわち受光面内で光の強度差をつけて照射することが可能になる。なお、強度差は、照射光の特定の波長成分による強度差、すなわち分光強度の差により実現してもよい。

40

【0023】

電圧測定装置7は、光源装置3により太陽電池モジュール1の受光面に光が照射された状態で、太陽電池モジュール1の無負荷状態における電圧、すなわち開放電圧 V_c を測定する。電圧測定装置7は、直流電圧を測定可能なものであればよく、その構成は限定されない。電圧測定装置7は、開放電圧 V_c の測定値を計算機11に出力する。

【0024】

交流応答測定装置8は、ハイパスフィルタ9と、ハイパスフィルタ9に接続されたインピーダンス測定器であるインピーダンスアナライザ10とを備える。インピーダンスアナ

50

ライザ10は、ハイパスフィルタ9を介して太陽電池モジュール1に接続される。ハイパスフィルタ9は、太陽電池モジュール1で発生した直流電圧を含む直流成分を除去する。インピーダンスアナライザ10は、光源装置3により太陽電池モジュール1の受光面に光が照射された状態で、太陽電池モジュール1に交流信号を印加し、当該交流信号に対する交流応答であるインピーダンスZを測定する。この際、インピーダンスアナライザ10は、交流信号の周波数を変えてインピーダンスZの測定が可能である。すなわち、インピーダンスアナライザ10は、交流応答特性、具体的にはインピーダンスZの周波数依存性を測定することができる。交流応答測定装置8は、インピーダンスZの測定値を計算機11に出力する。

【0025】

一般に、インピーダンス測定器は、ネットワークアナライザのように測定対象への入射交流電力と測定対象からの反射交流電力との比を用いてインピーダンスを測定するものと、LCRメータのように測定対象に印加した交流電圧に対する交流電流からインピーダンスを測定するものに大別されるが、本実施の形態におけるインピーダンスアナライザ10はいずれであってもよいし、あるいは、周波数範囲およびインピーダンスの大きさの範囲に応じてこれらを使い分けてもよい。

【0026】

図2は、ハイパスフィルタ9の構成例を示す回路図である。図2では、ハイパスフィルタ9は、単一のキャパシタ20からなる。この場合、ハイパスフィルタ9は、1次のハイパスフィルタになるため、低周波帯でのダイナミックレンジが低下する。また、キャパシタ20は、高耐圧、大容量、かつ低寄生インダクタンスのものを選択する必要がある、入手も容易でないことに加えて高コストとなる。

【0027】

図3は、ハイパスフィルタ9の別の構成例を示す回路図である。図3では、ハイパスフィルタ9は、太陽電池モジュール1へ信号を送信するための順方向のアンプ21と、太陽電池モジュール1からの信号を受信するための逆方向のアンプ22と、ローパスフィルタ23とを組み合わせて構成される。このハイパスフィルタ9では、ローパスフィルタ23を用いて直流成分の除去を行っている。特に、ローパスフィルタ23は、アンプおよびキャパシタを3段に構成した3次のローパスフィルタとしている。太陽電池モジュール1への信号は、順方向のアンプ21においてローパスフィルタ23を通過した信号との差がとられるので直流成分が除去される。同様に、太陽電池モジュール1からの信号は、逆方向のアンプ22においてローパスフィルタ23を通過した信号との差がとられるので直流成分が除去される。この際、ローパスフィルタ23を3次のものとしているので、ハイパスフィルタ9は急峻なフィルタ特性を有することとなる。

【0028】

また太陽電池モジュール1に印加される交流信号は、太陽電池モジュール1の受光面に照射される光の強度分布の受光面内における強度差に応じて調整するとよい。図4は、照射光の強度差に対するインピーダンスZの絶対値 $|Z|$ の変化を示す図である。図4では、太陽電池モジュール1の受光面の全体に一樣な光を照射した状態を基準として、検査対象範囲のみ照射光の強度を低下させることで照射光の強度差を変化された場合を示している。図4に示すように、照射光の強度差が小さいときには $|Z|$ は小さいが、照射光の強度差が大きいときには $|Z|$ は大きくなる。そのため、LCRメータを用いて印加する交流電圧を一定に制御してインピーダンスを測定する場合は、照射光の強度差が大きいときに $|Z|$ が大きいため、交流電流の振幅が小さくなり、測定値のS/Nが悪くなることがある。従って、この場合は、照射光の強度分布の面内差が大きいときには、S/Nを改善するために、印加する交流電圧の振幅を大きくするようにするとよい。この場合、図5に示すように、印加交流信号の強度が照射光の強度差に対して複数の離散値となるように制御にしてもよいし、あるいは、図6に示すように、モデル関数を仮定して、印加交流信号の強度が照射光の強度差に対して連続的に変化するように制御してもよい。

【0029】

10

20

30

40

50

なお、印加する交流電流を一定に制御してインピーダンスを測定する場合は、照射光の強度差が小さいときに $|Z|$ が小さいため、交流電圧の振幅が小さくなり、測定値の S/N が悪くなることがある。従って、この場合は、照射光の強度分布の面内差が小さいときには、 S/N を改善するために、印加する交流電流の振幅を大きくするとよい。

【0030】

図7は、計算機11の構成例を示すブロック図である。計算機11は、入力部25、プロセッサ26、メモリ27および出力部28を備える。入力部25は、外部から入力されたデータを受信する。特に、入力部25は、電圧測定装置7の測定値および交流応答測定装置8の測定値を受信する。プロセッサ26は、メモリ27に記憶された制御プログラムに従って動作する。メモリ27は、制御プログラム、電圧測定装置7の測定値および交流応答測定装置8の測定値を記憶し、プロセッサ26が実施する各処理における一時メモリとしても使用される。出力部28は、データを外部へ送信する。特に、出力部28は、光源制御部4、電圧測定装置7および交流応答測定装置8にそれぞれ制御信号を送信する。プロセッサ26およびメモリ27は制御処理部29を構成する。

10

【0031】

次に、図8を参照して、本実施の形態に係る太陽電池モジュールの検査方法について説明する。図8は、計算機11の処理を示すフローチャートである。

【0032】

まず、計算機11に太陽電池モジュール1の検査対象範囲の設定がされる(S1)。検査対象範囲を示すデータは、計算機11の入力部25を介して計算機11に入力され、計算機11のメモリ27に保存される。検査対象範囲は、太陽電池モジュール1に含まれる太陽電池セル2の1枚を単位として設定される。

20

【0033】

さらに、計算機11に照射光の強度分布の設定がされる(S2)。ここで、照射光の強度分布は3個以上設定される。照射光の強度分布を示すデータは、計算機11の入力部25を介して計算機11に入力され、計算機11のメモリ27に保存される。

【0034】

設定される照射光の強度分布には、以下の3パターンの分布が含まれる。

(P1) 受光面の全体に同じ強度の光を一様に照射するような分布

30

(P2a) (P1)の分布に対して、検査対象範囲に照射する光の強度のみを検査対象範囲外に照射する光の強度よりも小さくするような分布

(P2b) (P1)の分布に対して、検査対象範囲にのみ光を照射しないような分布

すなわち、(P1)によれば、すべての太陽電池セル2に同じ強度の光が照射される。(P2a)によれば、検査対象範囲に含まれない太陽電池セル2に照射する光の強度は(P1)の場合の光の強度と同じであり、検査対象範囲に含まれる太陽電池セル2に照射する光の強度は(P1)の場合の光の強度よりも小さいが0とはならない。(P2b)によれば、検査対象範囲に含まれる太陽電池セル2には光を照射せず、検査対象範囲に含まれない太陽電池セル2に照射する光の強度は(P1)の場合の光の強度と同じである。(P1)から(P3)のいずれの分布でも、検査対象範囲内の光の強度のみが互いに異なる。なお、(P2a)と(P2b)とを区別しない場合には、両者を(P2)と記載する。(P1)の分布は第1の強度分布、(P2)の分布は第2の強度分布である。

40

【0035】

図9は、照射光の強度分布の設定例を説明するための図である。図9(a)は、光が照射されていない太陽電池モジュール1の平面図である。図9(b)では、太陽電池モジュール1の受光面の全体に一様に光が照射されている。すなわち、図9(b)は、(P1)の強度分布を模式的に示している。なお、検査対象範囲70には4枚の太陽電池セル2が含まれる。図9(c)では、検査対象範囲70に照射される光の強度が検査対象範囲70外に照射される光の強度よりも小さくなっている。すなわち、図9(c)は、(P2a)の強度分布を模式的に示している。図9(d)では、検査対象範囲70のみ光が照射され

50

ない。すなわち、図9(d)は、(P2b)の強度分布を模式的に示している。

【0036】

なお、(P1)の強度分布においては、面内の強度差が0であることが好ましいが、ある程度の幅を有していてもよい。また、(P2b)の強度分布においても、検査対象範囲の強度は0であることが好ましいが、ある程度の範囲を有していてもよい。

【0037】

次に、計算機11の制御処理部29は、設定された3個以上の照射光の強度分布のうちから1個を選択し、選択された照射光の強度分布を実現するための制御データを計算する(S3)。すなわち、選択された照射光の強度分布を光源装置3に実現させるため、光源装置3への制御データを計算する。制御処理部29は、計算機11の出力部28を介して制御データを光源装置3の光源制御部4に送信する(S4)。

10

【0038】

光源装置3は、計算機11から送信された制御データをトリガとして、この制御データを用いて照射光の強度分布に従って太陽電池モジュール1の受光面に光を照射する。具体的には、光源制御部4は、この制御データを複数個の光源5の各々に送信し、これにより複数個の光源5は制御データに従って駆動され、選択された照射光の強度分布が実現される。

【0039】

また、太陽電池モジュール1の受光面に光が照射されると、電圧測定装置7は開放電圧 V_c を測定する。開放電圧 V_c の測定のタイミングは、制御処理部29により制御される。さらにまた、交流応答測定装置8は交流応答を測定する。ここで、交流応答は太陽電池モジュール1のインピーダンス Z である。この際、交流応答測定装置8は、予め決められた周波数 f についてインピーダンス Z を測定する。換言すれば、交流応答測定装置8は、インピーダンス Z の周波数依存性 $Z(f)$ を測定する。なお、交流応答の測定のタイミングは、制御処理部29により制御される。

20

【0040】

電圧測定装置7により開放電圧 V_c が測定されると、制御処理部29は電圧測定装置7から開放電圧 V_c を取得する(S5)。すなわち、制御処理部29は、開放電圧 V_c の測定値をメモリ27に保存する。

【0041】

また、交流応答測定装置8により交流応答が測定されると、制御処理部29は交流応答測定装置8から交流応答を取得する(S6)。すなわち、制御処理部29は、交流応答の測定値をメモリ27に保存する。

30

【0042】

次に、制御処理部29は、設定されたすべての照射光の強度分布についてデータを取得したか否かを判定する(S7)。この場合のデータとは、開放電圧 V_c の測定値および交流応答であるインピーダンス $Z(f)$ の測定値を意味する。S7での判定の結果、設定されたすべての照射光の強度分布についてデータを取得した場合には(S7, Yes)、S8の処理に進み、設定されたすべての照射光の強度分布についてデータを取得していない場合には(S7, No)、いまだデータを取得していない次に選択された強度分布についてS3からS6の処理を実施し、再度S7の判定処理を実施する。

40

【0043】

次に、S8では、制御処理部29は、太陽電池モジュール1の等価回路に基づき、インピーダンスの測定値 $Z(f)$ を用いて、太陽電池モジュール1の発電層を表すキャパシタ C_d に並列なシャント抵抗である並列抵抗 R_{sh} を計算する(S8)。ここで、太陽電池モジュール1の等価回路について説明する。

【0044】

図10は、太陽電池モジュール1の等価回路の回路図である。図10に示すように、等価回路30は、キャパシタ34と、キャパシタ34に並列に接続された並列抵抗33と、キャパシタ34および並列抵抗33に直列に接続された直列抵抗32と、直列抵抗32に

50

直列に接続されたインダクタンス 31 とからなる。ここで、キャパシタ 34 の大きさは C_d 、並列抵抗 33 の大きさは R_{sh} 、直列抵抗 32 の大きさは R_s 、インダクタンス 31 の大きさは L_s で示される。

【0045】

キャパシタ 34 は、電極間に結晶シリコンが配置されてなる発電層を等価的に表す回路素子である。並列抵抗 33 は、発電層からのリーク電流に対応する抵抗を表しており、この抵抗値の大小を評価することで太陽電池セル 2 の良否の判定が可能になる。直列抵抗 32 および寄生インダクタンスであるインダクタンス 31 は、太陽電池モジュール 1 内の配線および電極を表す。

【0046】

等価回路 30 のインピーダンス Z は、下記 (2) 式で与えられる。

$$Z(f) = 1 / (1 / R_{sh} + j \cdot \omega \cdot C_d) + R_s + j \cdot \omega \cdot L_s \cdot \dots (2)$$

ここで、 $\omega = 2\pi f$ 、 j は虚数単位である。等価回路 30 のインピーダンス $Z(f)$ は通常、図 11 のようになる。具体的には、図 11 (a) では、横軸を対数スケールの周波数、縦軸を絶対値 $|Z|$ としている。絶対値 $|Z|$ が極小となる周波数 f は共振周波数である。図 11 (b) では、横軸を対数スケールの周波数、縦軸を Z の位相を表す $\angle Z$ としている。

【0047】

従って、等価回路 30 に基づき、インピーダンスの測定値 $Z(f)$ を用いることにより、並列抵抗 R_{sh} は、 C_d 、 R_s 、 L_s とともに、(2) 式に基づく多変量解析により求めることができる。具体的には、少なくとも 4 点以上の周波数 f に対するインピーダンスの測定値 $Z(f)$ を用いて、例えば最小 2 乗法により、すべての回路定数である R_{sh} 、 C_d 、 R_s 、 L_s を求めることができる。

【0048】

なお、並列抵抗 R_{sh} の計算は、上記の計算方法に限らず、等価回路 30 の回路素子の周波数特性を利用して求めることもできる。すなわち、図 11 (a) に示すように、絶対値 $|Z|$ は、対数スケールの周波数に対して、共振周波数よりも小さい周波数範囲および共振周波数よりも大きい周波数範囲で直線状となる。なお、この場合の二つの直線の傾きの大きさは互いに等しい。そこで、等価回路 30 の共振周波数よりも低周波の周波数であって、対数スケールの周波数に対する絶対値 $|Z|$ が直線で近似できるような周波数範囲における周波数に対しては、 R_s 、 L_s が無視できるので、並列抵抗 R_{sh} の計算は、下記の (3) 式を用いることができる。

$$1 / Z(f) = 1 / R_{sh} + j \cdot \omega \cdot C_d \cdot \dots (3)$$

この場合は、図 12 に示すように、共振周波数よりも低周波の 2 つの周波数 f_a 、 f_b に対するインピーダンス Z の測定値を用いることにより、(3) 式を連立させて解くことで、 R_{sh} および C_d を決定することができる。

【0049】

並列抵抗 R_{sh} は、照射光の強度分布ごとに計算され、従って、並列抵抗 R_s と開放電圧 V_{oc} との組が得られる。

【0050】

次に、制御処理部 29 は、(P2) の強度分布に対応する開放電圧 V_{oc} と (P1) の強度分布に対応する開放電圧 V_{oc0} との差分である電圧 $V = V_{oc0} - V_{oc}$ を算出すると共に、(P2) の強度分布に対応する並列抵抗 R_{sh} と (P1) の強度分布に対応する並列抵抗 R_{sh0} との差分である $R_{sh} = R_{sh} - R_{sh0}$ を算出することで、以下のようにしてアドミタンス Y と V との組である $Y(V)$ を計算する (S9)。

$$V = V_{oc0} - V_{oc} \cdot \dots (4a)$$

$$Y = 1 / R_{sh} = 1 / (R_{sh} - R_{sh0}) \cdot \dots (4b)$$

すなわち、制御処理部 29 は、太陽電池モジュール 1 の受光面の全体に同じ強度で光を照射した場合の並列抵抗 R_{sh0} と開放電圧 V_{oc0} との組を基準に、太陽電池モジュール 1 の検査対象範囲 70 の強度のみが小さい強度分布 P2 で光を照射した場合の開放電圧

10

20

30

40

50

V_{oc} と並列抵抗 R_{sh} との組を用いて、上記(4a)および(4b)を計算する。上記(4a)および(4b)は、複数個の電圧 V に対して計算される。なお、(P1)の強度分布に対応する開放電圧 V_{oc0} は第1の開放電圧、(P2)の強度分布に対応する開放電圧 V_{oc} は第2の開放電圧、(P1)の強度分布に対応する並列抵抗 R_{sh0} は第1の並列抵抗、(P2)の強度分布に対応する並列抵抗 R_{sh} は第2の並列抵抗である。

【0051】

上記のように計算される V と Y との組は、検査対象範囲70外に照射される光の寄与分が差分により相殺されるので、実質的に検査対象範囲70の開放電圧およびアドミッタンスを評価するものである。

【0052】

次に、制御処理部29は、 $Y(V)$ を V で積分して $I(V)$ を計算する(S10)。この処理は、太陽電池モジュール1の検査対象範囲70の光電流特性である $I(V)$ 特性を求める処理である。

【0053】

$Y(V)$ は離散データとして得られるので、 $I(V)$ は数値積分によって積分計算を行うとよい。例えば一般的な台形則を用いると、 $I(V)$ は下記(5)式から(7)式で計算できる。

$$I_p(V[n]) = [k=1 \sim n] \{ (Y[k] + Y[k-1]) \times (V[k] - V[k-1]) / 2 \} \cdot \dots \quad (5)$$

$$I_p(V[0]) = 0 \cdot \dots \quad (6)$$

$$I(V) = I_{pmax} - I_p(V) \cdot \dots \quad (7)$$

ここで、 $n=1 \sim N-1$ である。 $[k=1 \sim n]$ は、1から n までの和を表す。 $V[0] \sim V[N-1]$ は小さい順に並べられている。 $Y[k]$ は、 $V[k]$ と組になる Y である。また、 I_{pmax} は I_p の最大値である。例えば、3個の強度分布に対しては、 $N=2$ となり、 $(Y[0], V[0])$ 、 $(Y[1], V[1])$ が得られるが、(5)式で求まるものは $I_p(V[1])$ のみとなり、 $I_{pmax} = I_p(V[1])$ となる。この場合、 $I(V)$ は、 $(I_{pmax}, V[0])$ と $(0, V[1])$ とで決まる。なお、積分手法は、台形則に限定されず、より精度の高い積分手法を用いることもできる。例えば、シンプソン則を用いて積分計算を行うこともできる。

【0054】

なお、図13に示すように、太陽電池モジュール1の典型的な $Y(V)$ は、横軸を V 、縦軸を対数スケールの Y としたときに、2直線 $L1$ 、 $L2$ で近似できることから、S9で得られた $Y(V)$ のデータから直線 $L1$ 、 $L2$ を決定し、直線 $L1$ 、 $L2$ を用いてS10の積分計算を行ってもよい。上記(4a)および(4b)から明らかなように、特に V が小さくなると R_{sh} が R_{sh0} に近くなるため Y におけるノイズが問題になる。従って、 V が小さい領域では直線近似を用いることで誤差を抑制することができる。

【0055】

次に、制御処理部29は、 $I(V)$ から太陽電池モジュール1の検査対象範囲70の良否を判定する(S11)。積分して得られた $I(V)$ は、いわゆる通常の太陽電池の $I-V$ 曲線と同じ取り扱いができるので、 $I(V)$ に基づいて例えば開放電圧 V_c 、短絡電流 I_{sc} 、最大出力 P_{max} 、または曲線因子 FF の固有値を計算して良否を判定することができる。制御処理部29は、図8で示すS2からS11までの処理を検査対象範囲70の個数だけ繰り返す。

【0056】

なお、図8では、S8およびS9の処理はすべての測定データが取得された後に一括して実施されているが、測定済みのデータに対するS8およびS9の処理はデータを測定するためのS3からS6の処理と並行に実施してもよい。

【0057】

また、検査対象範囲70が1枚の太陽電池セル2からなる場合には、この1枚の太陽電

10

20

30

40

50

池セル2の光電流特性についての良否を判定できるが、検査対象範囲70が複数枚の太陽電池セル2からなる場合には、 $I(V)$ は複数枚の太陽電池セル2に関する平均を反映するため、複数枚の太陽電池セル2の光電流特性の平均の良否を判定することになる。

【0058】

また、太陽電池モジュール1の検査は、1枚ずつ任意の太陽電池セル2を検査してもよいし、全ての太陽電池セル2を順に検査してもよい。さらにまた、太陽電池モジュール1の検査は、最初に太陽電池モジュール1の受光面を2個の検査対象範囲70に分割し、分割された両方の検査対象範囲70の $I(V)$ 特性を比較することで不良の発生の有無および不良が発生している場合には分割されたいずれの検査対象範囲70に不良個所が含まれるのかを判定することができる。そして、不良個所を含む検査対象範囲70をさらに2個の検査対象範囲70に分割して同様の処理を繰り返すことで、最終的にどの太陽電池セル2に不良が発生しているのかを判定することができる。

10

【0059】

以上に説明したように、本実施の形態によれば、検査対象範囲70の $I(V)$ 特性を得ることで、太陽電池モジュール1の受光面内での光電流の分布を太陽電池モジュール1から検査用に配線を引き出すことなく非破壊で推定することができる。

【0060】

なお、本実施の形態では、交流応答測定装置8はインピーダンス $Z(f)$ を測定するとしたが、反射係数 $S_{11}(f)$ を測定するようにしてもよい。インピーダンス $Z(f)$ と反射係数 $S_{11}(f)$ との既知の対応関係を用いれば、反射係数 $S_{11}(f)$ を測定した場合でも、上記と同様にして $I(V)$ 特性を求めることができる。

20

【0061】

また、本実施の形態では、照射光の強度分布には、(P1)から(P3)の3パターンの分布が含まれるとしたが、一般に、照射光の強度分布は、検査対象範囲70内の光の強度のみが互いに異なる3個以上の強度分布とすることができる。この場合は、3個以上の強度分布に対してそれぞれ3組以上の開放電圧 V_{oc} とインピーダンス $Z(f)$ との組を測定し、3個以上の開放電圧 V_{oc} のうちのいずれかを V_{oc0} として上記(4a)を計算すると共に、 V_{oc0} に対応する R_{sh} を R_{sh0} として上記(4b)を計算すればよい。その他の処理は上記した通りである。ただし、本実施の形態のように、照射光の強度分布に(P1)または(P3)の分布が含まれる場合は、より広範な V について $I(V)$ が求まり、 $I(V)$ の評価精度も向上する。

30

【0062】

実施の形態2.

図14は、本実施の形態における光源装置3の構成を示す模式図である。なお、図14では、図1に示す構成要素と同一の構成要素には同一の符号を付している。図14に示すように、光源5は、LED(発光ダイオード)である光源本体5aと、電源線43に接続され、光源本体5aを駆動する光源駆動部41と、制御線44に接続され、光源駆動部41を制御する駆動制御回路42とを備える。光源5にLEDを用いることで、安価、長寿命、安定かつ高速応答性な光源5を得ることができる。

【0063】

なお、通常の検査で使用されるソーラーシミュレータでは 1 kW/m^2 に至る非常に強力な光が必要であるが、実施の形態1で説明した検査装置に用いられる光源5にはソーラーシミュレータで使用されるような光の強度は必要ではなく、一般的な結晶シリコン太陽電池の動作点の情報を取得するだけであれば 100 W/m^2 から 200 W/m^2 といった強度があれば十分である。従って、 $16\text{ cm} \times 16\text{ cm}$ である一般的な太陽電池セルのサイズに対しては、LEDの発光効率を考えても典型的には30Wの電力で済むため、光源5に安価な照明用LEDと同等のものが使用できる。

40

【0064】

また、光源5は、通常の白色LEDを用いてもよいが、種々のピーク波長を有するLEDを複数種類組み合わせることで分光強度を変化させてもよい。特に赤外域では多くの種

50

類の太陽電池が分光感度を有するにもかかわらず、通常の白色LEDでは発光強度が極めて小さいので、分光強度を変えない場合でも光源5に赤外LEDを組合せるとよい。

【0065】

また、図1に示す太陽電池セル2のサイズ変更に対して柔軟に対応できるよう、光源5の位置を可動にするとよい。図15は、本実施の形態に係る光源装置3の構成の一部を示す断面図である。光源本体5aは、金属製のベースプレート50上に配置されたコの字型のヒートシンク51上に配置される。ヒートシンク51の内側には駆動制御回路42が配置される。なお、図15では、図示が省略されているが、光源駆動部41もヒートシンク51の内側に配置される。また、ヒートシンク51の下部には支持部材52が取り付けられ、支持部材52はベースプレート50に設けられた穴部55を貫通している。穴部55は支持部材52よりも大径である。支持部材52には板ばねである電極54が取り付けられ、ベースプレート50における穴部55の周縁には電極53が取り付けられている。そして、付勢された電極54が電極53を押圧することで電極54は電極53に摺動可能に接触している。このような構成により、ヒートシンク51をベースプレート50上で摺動可能に配置することができ、ヒートシンク51を動かすことで光源5の位置を調整することができる。これにより、光源5の位置合わせを容易に行うことができ、光源5の放熱と位置合わせの容易さを両立させることができる。なお、光源5の位置を可動にする構成は図示例に限定されない。

10

【0066】

また、複数個の光源5は、複数個の光源5の各々に識別子を付与して個別に制御してもよい。この場合、駆動制御回路42には光源5に付与された識別子に関するデータが付与される。図16は、光源制御部4から制御線44を介して複数個の光源5にそれぞれ送信される制御データには識別子が付加される様子を示している。なお、図16では、図14に示す構成要素と同一の構成要素には同一の符号を付している。図17は、駆動制御回路42のデータ取得処理を示したフローチャートである。図17に示すように、駆動制御回路42は、光源制御部4の送信データを監視し(S50)、送信データに含まれる識別子が自己の光源5に付与された識別子と同じかどうかの判定をし(S51)、送信データに含まれる識別子が自己の光源5に付与された識別子と同じである場合には(S51, Yes)、データを取得し(S52)、送信データに含まれる識別子が自己の光源5に付与された識別子と異なる場合には(S51, No)、データを取得しない。

20

30

【0067】

このような構成によれば、光源5の位置合わせまたは再配置を行った後でも光源5の点灯制御を光源5が自ら判断して行うことができる。また、すべての光源5についてまたはすべての光源5のうちの複数個について制御線44を共通化することができ、配線数を削減することができる。さらにまた、光源5を再配置した場合に、識別子ごとに光源5を発光させ発光位置をカメラで撮影することで光源5の再配置後の位置を容易に認識することができる。本実施の形態のその他の構成、動作および効果は実施の形態1と同じである。

【0068】

実施の形態3.

図18は、本実施の形態における光源装置3の構成の一部を示す断面図である。なお、図18では、光源5は光源本体5aのみを示している。光源本体5aは、ベースプレート50上に配置される。光源装置3は、太陽電池モジュール1の受光面に対向して配置された、透明部材からなる照射面60を備える。照射面60は、支持部材61を介してベースプレート50に取り付けられ、複数個の光源5aの全体を覆うように配置される。照射面60上には、光源本体5aから太陽電池セル2に照射される光が隣接する太陽電池セル2に漏れることを抑制するための遮光壁62が太陽電池セル2ごとに設けられている。具体的には、平面視で太陽電池セル2の周囲を囲うように遮光壁62が配置される。遮光壁62は、受光面への傷付き防止および密着性向上のため発泡EVA(エチレンビニルアセテート樹脂)またはブチルゴムのような柔軟で遮光性の高い素材を線状に加工して照射面に格子状に貼り付けるとよい。このような構成により、隣接する太陽電池セル2への光漏れ

40

50

による検査精度の低下を抑制することができる。

【0069】

図19は、本実施の形態の変形例における光源装置3の構成の一部を示す断面図である。なお、図19では、図18に示す構成要素と同一の構成要素には同一の符号を付している。図19では、図18に示す構成に加えて、光源5にコリメートレンズ80を取付け、光源5の照射光が平行光の状態ですべて太陽電池モジュール1に照射できるようにしている。すなわち、光源5の光束は、受光面に対して垂直となる。なお、太陽電池モジュール1に対して光束は完全に垂直での入射であることが望ましいが、垂直からある程度の照射角をなしていてもよい。このような構成により、隣接する太陽電池セル2への光漏れによる検査精度の低下を抑制することができる。

10

【0070】

本実施の形態のその他の構成、動作および効果は実施の形態1と同じである。また、本実施の形態と実施の形態2を組合せることもできる。

【0071】

以上の実施の形態に示した構成は、本発明の内容の一例を示すものであり、別の公知の技術と組み合わせることも可能であるし、本発明の要旨を逸脱しない範囲で、構成の一部を省略、変更することも可能である。

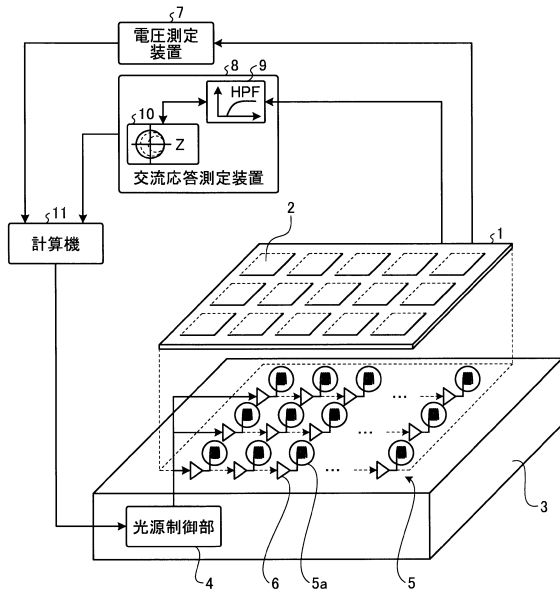
【符号の説明】

【0072】

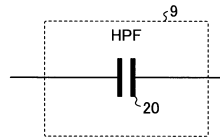
1 太陽電池モジュール、2 太陽電池セル、3 光源装置、4 光源制御部、5 光源、5a 光源本体、6 光源駆動部、7 電圧測定装置、8 交流応答測定装置、9 ハイパスフィルタ、10 インピーダンスアナライザ、11 計算機、20 キャパシタ、21, 22 アンプ、23 ローパスフィルタ、25 入力部、26 プロセッサ、27 メモリ、28 出力部、29 制御処理部、30 等価回路、31 インダクタンス、32 直列抵抗、33 並列抵抗、34 キャパシタ、41 光源駆動部、42 駆動制御回路、43 電源線、44 制御線、50 ベースプレート、51 ヒートシンク、52 支持部材、53, 54 電極、55 穴部、60 照射面、61 支持部材、62 遮光壁、70 検査対象範囲、80 コリメートレンズ。

20

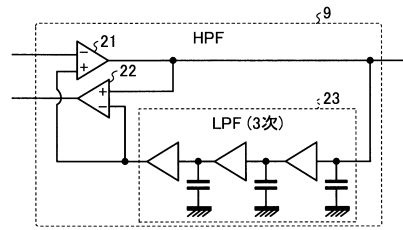
【図1】



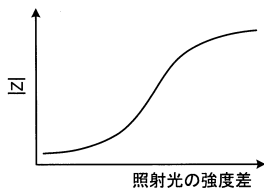
【図2】



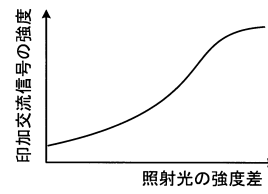
【図3】



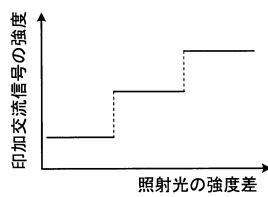
【図4】



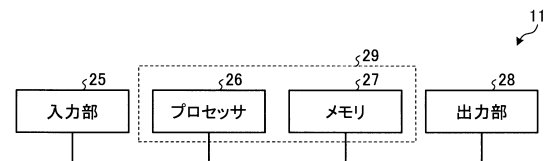
【図6】



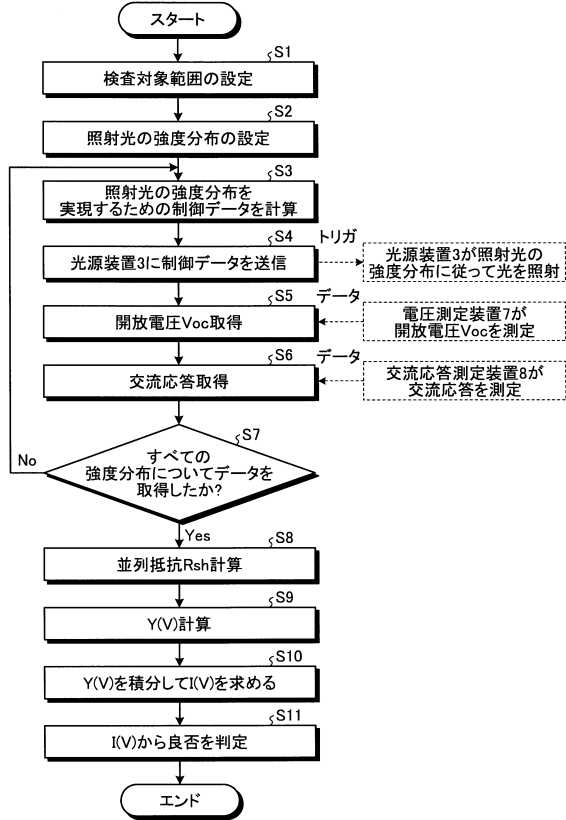
【図5】



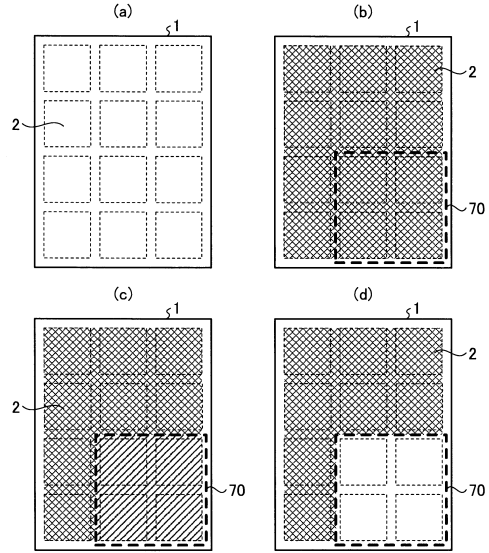
【図7】



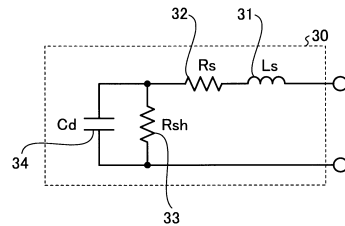
【図8】



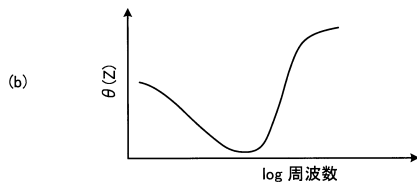
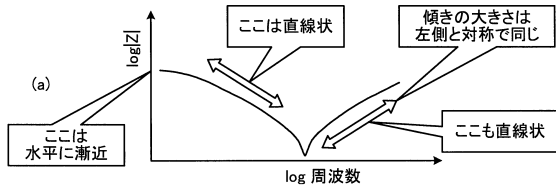
【図9】



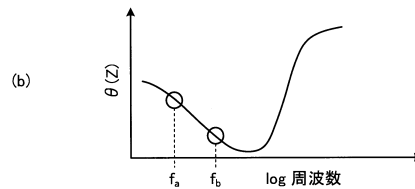
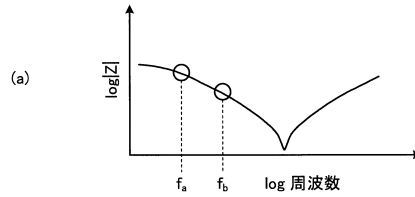
【図10】



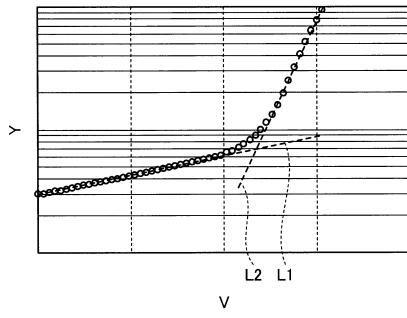
【図11】



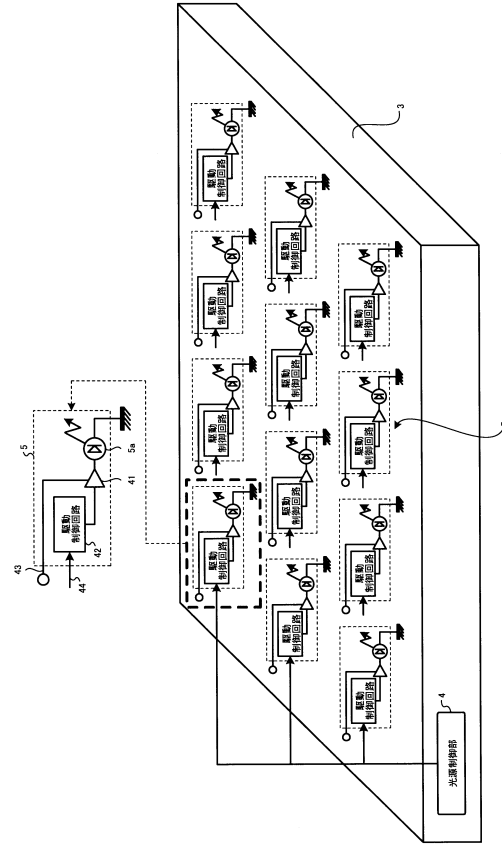
【図12】



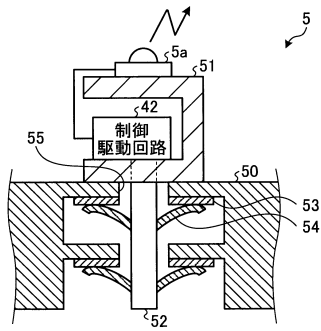
【図13】



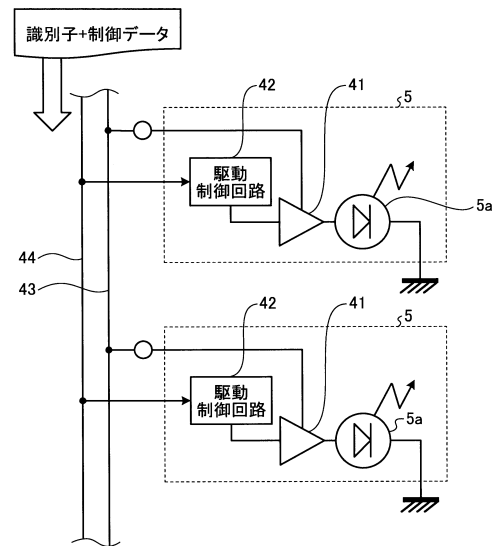
【図14】



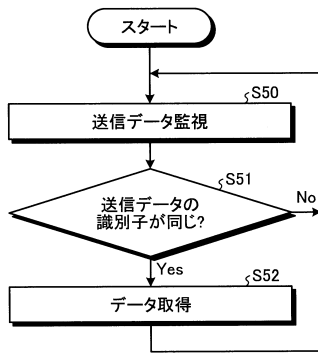
【図15】



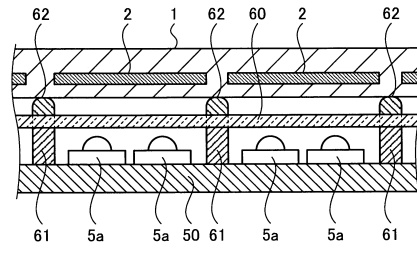
【図16】



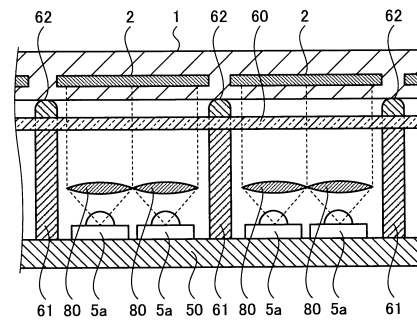
【図17】



【図18】



【図19】



フロントページの続き

(56)参考文献 特表2013-527613(JP,A)
特開2014-186022(JP,A)
特開2013-131678(JP,A)
特開2013-070046(JP,A)
特開2008-171897(JP,A)
国際公開第2014/200420(WO,A1)
欧州特許出願公開第2824434(EP,A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H02S 50/00 - 50/15