

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関  
国際事務局



(43) 国際公開日  
2011年2月10日(10.02.2011)

PCT

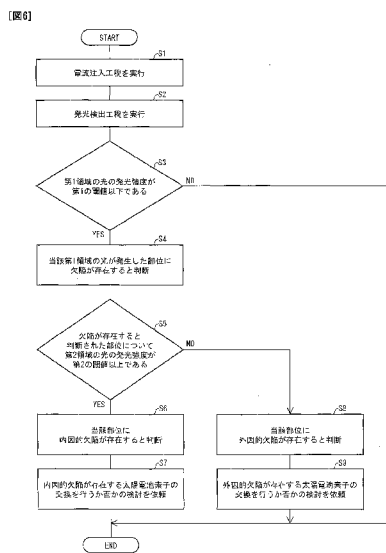
(10) 国際公開番号  
WO 2011/016441 A1

- (51) 国際特許分類:  
G01R 31/26 (2006.01) H01L 31/04 (2006.01)  
G01M 11/00 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2010/063073
- (22) 国際出願日: 2010年8月3日(03.08.2010)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:  
特願 2009-181850 2009年8月4日(04.08.2009) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 国立大学法人奈良先端科学技術大学院大学(NATIONAL UNIVERSITY CORPORATION NARA INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY) [JP/JP]; 〒6300192 奈良県生駒市高山町8916-5 Nara (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 冬木 隆 (FUYUKI, Takashi), 谷 あゆみ(TANI, Ayumi).
- (74) 代理人: 特許業務法人原謙三国際特許事務所 (HARAKENZO WORLD PATENT & TRADE-MARK); 〒5300041 大阪府大阪市北区天神橋2丁目北2番6号 大和南森町ビル Osaka (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT,

[続葉有]

(54) Title: SOLAR CELL EVALUATION METHOD, EVALUATION DEVICE, MAINTENANCE METHOD, MAINTENANCE SYSTEM, AND METHOD OF MANUFACTURING SOLAR CELL MODULE

(54) 発明の名称: 太陽電池の評価方法、評価装置、メンテナンス方法、メンテナンスシステム、および太陽電池モジュールの製造方法



(57) Abstract: Provided are a solar cell evaluation method and an evaluation device whereby defects of a solar cell can be easily evaluated, particularly in such a way that distinctions can be made between intrinsic defects and extrinsic defects. Also provided is the use thereof. The aforementioned solar cell evaluation device serves to make evaluations of defects in a solar cell and is provided with an electric current injection means for injecting electric current, in the forward direction, into solar cell elements constituting the aforementioned solar cell; an emitted light detection means for detecting emitted light in a first region having wave lengths of 800 nm to 1,300 nm and emitted light in a second region having wave lengths of 1,400 nm to 1,800 nm, both the aforementioned light in the first region and the light in the second region being part of the emitted light generated by solar cell elements due to electric current injected by the aforementioned electric current injection means; a determining means for making distinctions between intrinsic defects and extrinsic defects in such a way that the emission intensities of the emitted light at the aforementioned first region and the aforementioned second region detected by the aforementioned emitted light detection means are used as indices. Therefore, it is possible to easily make evaluations of defects of the solar cell.

(57) 要約:

[続葉有]

- S1 THE ELECTRIC CURRENT INJECTION PROCESS IS EXECUTED
- S2 THE EMITTED LIGHT DETECTION PROCESS IS EXECUTED
- S3 THE EMISSION INTENSITY OF LIGHT IN THE FIRST REGION IS LESS THAN OR EQUAL TO THE FIRST THRESHOLD VALUE
- S4 IT IS DETERMINED THAT A DEFECT IS PRESENT IN THE AREA WHERE THE PERTINENT EMITTED LIGHT IN THE FIRST REGION IS GENERATED
- S5 IN THE AREA WHERE IT IS DETERMINED THAT A DEFECT IS PRESENT, THE EMISSION INTENSITY OF EMITTED LIGHT IN THE SECOND REGION IS MORE THAN OR EQUAL TO THE SECOND THRESHOLD VALUE
- S6 IT IS DETERMINED THAT AN INTRINSIC DEFECT IS PRESENT IN THE AFOREMENTIONED AREA
- S7 A REQUEST IS MADE TO MAKE A STUDY AS TO WHETHER OR NOT TO REPLACE THE SOLAR CELL ELEMENT WHEREIN AN INTRINSIC DEFECT IS PRESENT
- S8 IT IS DETERMINED THAT AN EXTRINSIC DEFECT IS PRESENT IN THE AFOREMENTIONED AREA
- S9 A REQUEST IS MADE TO MAKE A STUDY AS TO WHETHER OR NOT TO REPLACE THE SOLAR CELL ELEMENT WHEREIN AN EXTRINSIC DEFECT IS PRESENT

WO 2011/016441 A1



NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, 添付公開書類:  
BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, — 国際調査報告 (条約第 21 条(3))  
SN, TD, TG).

---

簡便に、太陽電池の欠陥、特に内因的欠陥と外因的欠陥とを分別して評価することができる太陽電池の評価方法および評価装置ならびにその利用を提供する。本発明の太陽電池の評価装置は、太陽電池の欠陥について評価を行う太陽電池の評価装置であって、上記太陽電池を構成する太陽電池素子に対して、順方向に電流を注入する電流注入手段と、上記電流注入手段から注入された電流によって太陽電池素子から生じる発光のうち、波長800nm~1300nmの第1の領域の光と、波長1400nm~1800nmの第2の領域の光とを検出する発光検出手段と、上記発光検出手段で検出した光のうち、上記第1の領域の発光強度と第2の領域の発光強度とを指標として、内因的欠陥と外因的欠陥とを分別する判定手段と、を備えているので、簡便に太陽電池の欠陥について評価することができる。

## 明 細 書

**発明の名称** : 太陽電池の評価方法、評価装置、メンテナンス方法、メンテナンスシステム、および太陽電池モジュールの製造方法

### 技術分野

[0001] 本発明は、簡便に太陽電池の欠陥について評価を行う太陽電池の評価方法および評価装置ならびにその利用に関し、特に、太陽電池を構成する太陽電池素子に電流を注入し、その際に生じる発光特性を解析することによって、簡便に太陽電池の欠陥について評価を行う太陽電池の評価方法および評価装置ならびにその利用に関するものである。

### 背景技術

[0002] 地球環境を保全するために太陽エネルギーの利用が進み、一般のビルや家庭の屋根や壁にも太陽電池の敷設が進みつつある。このような太陽電池の中でも、大面積化に有利な半導体を用いた太陽電池がクリーンエネルギーを創成する最優先候補として開発と製造が急進展している。

[0003] しかし、太陽電池の製造過程において、太陽電池に欠陥が発生することを回避することは難しく、高性能かつ高信頼性の太陽電池を効率よく製造する点で課題が存在する。また、いったん設置した太陽電池においても、その使用過程において欠陥が発生すると性能および信頼性は低下してしまう。

[0004] 従来、上述した太陽電池の欠陥を検出・評価する方法として、例えば、電子線やレーザービームを用い、誘起される電流や電圧を測定し少数キャリア拡散長ならびに欠陥（粒界粒内）を解析する方法、いわゆるEBIC (Electron Beam Induced Current) やLBIC (Laser Beam Induced Current) が広く用いられている。上述したEBICやLBICによれば、太陽電池の局所的な電氣的活性度や少数キャリアの拡散長を測定することができ、太陽電池の変換効率や品質を評価することができる（非特許文献1）。また、太陽電池に対して、順方向にバイアスすることで発せられる熱の分布を赤外光強度により解析し短絡部の検出を行う装置が報告されている（非特許文献2）。

さらに、基板裏面から強い光を照射し遺漏光を検出することにより基板クラックを検出する技術も報告されている（非特許文献3）。

[0005] 本発明者らも、太陽電池に対して順方向に電流を注入した場合、室温下の通常のキャリア注入条件においてもルミネセンスが観測されることを見出し、その発光像を解析することによって、太陽電池の欠陥を調べる技術を開発している（特許文献1）。

[0006] ところで、上述した太陽電池における欠陥は、一般的に、内部要因に起因する欠陥（内因的欠陥）と外部要因に起因する欠陥（外因的欠陥）とに大きく分けられる。内因的欠陥とは、結晶欠陥、結晶転位、および結晶粒界等の太陽電池の物性に起因する欠陥であり、太陽電池の機能に影響を及ぼすが、太陽電池を構成する材料の信頼性にはあまり影響を及ぼさない。一方、外因的欠陥は、基板のクラック（マイクロクラック等）、電極の破断、電極の接触不良等の太陽電池の機械的な欠陥であり、太陽電池の信頼性および太陽電池を生産する際の生産歩留まりに悪影響を及ぼすので、信頼性の高い太陽電池を効率よく大量生産するための決定的な要因となる。

[0007] このように、内因的欠陥は、太陽電池の性能を低下させるものであり、放置した場合でも太陽電池の発電効率が悪化するという問題はあるが、長期間の信頼性という面では影響が小さい。一方、外因的欠陥は、放置されると信頼性が徐々に低下し、最悪の場合、太陽電池が破損してしまうため、内因的欠陥に比べて悪影響が大きい。それゆえ、製造過程または使用過程において太陽電池に発生した欠陥に対して適切に対処するためには、生じた欠陥が内因的欠陥か外因的欠陥かを明確に分別して解析することが重要とある。しかし、上述した従来技術ではこのような欠陥の分別を行うことができない。

[0008] そこで、本発明者らは、上記特許文献1の技術を改良して、太陽電池に対して順方向に直流電流を注入させるとともに、太陽電池を加熱し、加熱温度の変化に基づく発光特性を指標として内因的欠陥と外因的欠陥とを分別する技術を開発した（特許文献2）。この技術によれば、内因的欠陥は温度変化に依存するので、温度を上昇させていくと、内因的欠陥が不鮮明になってい

く一方、外因的欠陥は温度変化に依存しないので、高温領域において顕著に現れる。このようにして内因的欠陥と外因的欠陥とを分別することができる。

### 先行技術文献

### 特許文献

[0009] 特許文献1：国際公開第2006/059615号パンフレット（2006年6月8日公開）

特許文献2：国際公開第2007/129585号パンフレット（2007年11月15日公開）

### 非特許文献

[0010] 非特許文献1：N. Sakitani, et al., “Evaluation of Recombination Velocity at Grain Boundaries in Poly-Si Solar Cells with Laser Beam Induced Current” Solid State Phenomena Vol. 93 (2003), pp.351-354

非特許文献2：J. Isenberg, et al., “SPATIALLY RESOLVED IR-MEASUREMENT TECHNIQUES FOR SOLAR CELLS” Presented at the 19th European Photovoltaic Solar Energy Conference, 7-11 June 2004, Paris

非特許文献3：E. Rueland, et al., “OPTICAL  $\mu$ -CRACK DETECTION IN COMBINATION WITH STABILITY TESTING FOR IN-LINE-INSPECTION OF WAFERS AND CELLS” 20th European Photovoltaic Solar Energy Conference, 6-10 June 2005, Barcelona, Spain

### 発明の概要

### 発明が解決しようとする課題

[0011] 上述したように、特許文献2に開示の技術によれば内因的欠陥と外因的欠陥とを分別することができる。しかしながら、太陽電池の市場規模が拡大し製造量が急拡大しているなか、新たな太陽電池の評価技術の開発が求められている。

[0012] 本発明は、上記の問題点に鑑みてなされたものであり、その目的は、簡便

に、太陽電池の欠陥、特に内因的欠陥と外因的欠陥とを分別して評価することができる太陽電池の評価方法および評価装置ならびにその利用を提供することにある。

### 課題を解決するための手段

[0013] 本発明者らは、太陽電池に対して順方向へ電流を注入した場合に、太陽電池の内因的欠陥部位と外因的欠陥部位とにおいて、エレクトロルミネッセンスによる発光特性が異なることを見出し、かかる新規知見に基づき、本発明を完成させるに至った。本発明は、以下の発明を包含する。

[0014] 本発明の太陽電池の評価方法は、太陽電池の欠陥について評価を行う太陽電池の評価方法であって、上記太陽電池を構成する太陽電池素子に対して、順方向に電流を注入する電流注入工程と、上記電流注入工程によって太陽電池素子から生じる発光のうち、波長800nm～1300nmの第1の領域の光と、波長1400nm～1800nmの第2の領域の光とを検出する発光検出工程と、上記発光検出工程で検出した第1の領域の光の発光強度と第2の領域の光の発光強度とを指標として、内因的欠陥と外因的欠陥とを分別する判定工程と、を含んでいることを特徴としている。

[0015] 本発明の太陽電池の評価装置は、太陽電池の欠陥について評価を行う太陽電池の評価装置であって、上記太陽電池を構成する太陽電池素子に対して、順方向に電流を注入する電流注入手段と、上記電流注入手段から注入された電流によって太陽電池素子から生じる発光のうち、波長800nm～1300nmの第1の領域の光と、波長1400nm～1800nmの第2の領域の光とを検出する発光検出手段と、上記発光検出手段で検出した光のうち、上記第1の領域の発光強度と第2の領域の発光強度とを指標として、内因的欠陥と外因的欠陥とを分別する判定手段と、を備えていることを特徴としている。

### 発明の効果

[0016] 本発明に係る太陽電池の評価方法または評価装置によれば、簡便に、太陽電池の欠陥、特に太陽電池の物性に起因する内因的欠陥と機械的な欠陥であ

る外因的欠陥とを分別して評価することができるという効果を奏する。これにより、例えば、太陽電池における欠陥の種類および／または量を評価することができる。また、エレクトロルミネセンス法を用いているので、大型の設備が不要となり、製品状態（製造工場で完成した状態、または構造物に設置された状態）で欠陥について簡便に評価を行うこともできる。

[0017] また、本発明の太陽電池のメンテナンス方法またはメンテナンスシステムによれば、大型の装置を用いる必要はなく、容易に太陽電池の品質評価を行うことができるので、構造物に設置済みの太陽電池モジュールであっても定期的にメンテナンスを行うことが可能である。このため、太陽電池モジュールの品質を一定のレベルに維持することができるという効果を奏する。

[0018] また、本発明の太陽電池モジュールの製造方法によれば、内因的欠陥と外因的欠陥とを分別して検出することが可能となり、重大な欠陥部分のみの修復または交換が可能となる。このため、効率的に太陽電池モジュールを製造することができるという効果を奏する。

### 図面の簡単な説明

[0019] [図1]太陽電池素子に対して、順方向に電流を注入する様子を模式的に示す図である。

[図2]本実施形態に係る太陽電池の評価装置の一例を模式的に示す図である。

[図3]本実施形態に係る太陽電池の評価装置の一例を模式的に示した機能ブロック図を示す図である。

[図4]本実施形態に係る太陽電池の評価装置のさらなる一例を模式的に示した機能ブロック図を示す図である。

[図5]本実施形態に係るメンテナンスシステムの一例を模式的に示した機能ブロック図を示す図である。

[図6]本実施形態に係るメンテナンスシステムのフローの一例を示す図である。

[図7]本実施形態に係るメンテナンスシステムのフローの他の一例を示す図である。

[図8]本実施形態に係るメンテナンスシステムのフローのさらに他の一例を示す図である。

[図9]本実施形態に係るメンテナンスシステムのフローのさらに他の一例を示す図である。

[図10]パルス電流を用いた場合における、発光検出工程にて検出される擾乱光に起因するノイズを低減するために用いられる方法を説明する図である。

[図11] (a) は、太陽電池モジュールに電流を注入することによって生じた光の発光強度 (luminescence intensity) と波長との関係を示す図であり、(b) および (c) は、それぞれ波長 1100 nm のバンドパスフィルタおよび波長 1500 nm のバンドパスフィルタの特性を示す図である。

[図12]太陽電池モジュールから生じた光の発光の様子を撮影した画像を示す図であり、(a) および (b) は、それぞれ太陽電池モジュールから生じた 1100 nm の光および 1500 nm の光の発光の様子を撮影した画像を示す図であり、(c), (e), および (g) は、それぞれ (a) に示された A, B, C の拡大図であり、(d), (f), および (h) は、それぞれ (b) に示された A', B', C' の拡大図である。

### 発明を実施するための形態

[0020] 本発明者らは、以前より太陽電池の性能評価について研究を行っており、特にエレクトロルミネッセンスと太陽電池の性能との関連性に独自に着目し、これまでにない画期的な太陽電池の評価技術を開発してきた(上述した特許文献1, 2)。今回、本発明者らは、太陽電池素子に直流電流を印加したところ、波長 1100 nm 近傍と波長 1500 nm 近傍という2つの波長が異なる領域において、エレクトロルミネッセンスによる光が生じていることを見出した。太陽電池へ電流を注入した場合のエレクトロルミネッセンス現象においては、短波長側(1100 nm 近傍)の光の発光強度が長波長側(1500 nm 近傍)の発光強度に比べて強い。

[0021] 本発明者らは、上記2つの波長の異なる光の意義について検討した。従来、シリコン結晶の deep level からの発光に関して、フォトルミネッセンスの



研究が報告されている（例えば、Michio TAJIMA and Yoshiaki MATSUSHITA J APANESE JOURNAL OF APPLIED PHYSICS VOL. 22, NO. 9, SEPTEMBER, pp. L589-L591 (1983)）。本文献によれば、単結晶Siの転位に関しての発光が0.8~0.9 eVあたりに生じる旨が報告されている。

[0022] 本発明者らは、今回見出した波長1500nm近傍のエレクトロルミネッセンスによる発光は、このフォトルミネッセンスの発光現象と関連するのではないかと独自に推論をたて、さらに検討を行った。その結果、エレクトロルミネッセンスにおける波長1100nm近傍の発光は太陽電池のバンド間遷移に起因する光である一方、波長1500nm近傍の光は太陽電池素子の内因的欠陥（特に結晶状態の転位や不純物との複合体等）から生じる発光であると、二次元画像上の発光の変化と欠陥の分布とを一致させることによって結論付けるに至った。

[0023] 本発明者らは、この画期的な新規知見を2次元イメージングによる欠陥分別に応用することによって本発明を完成させた。かかる現象の発見、メカニズムの推測および考察、ならびにこのような応用は、本発明者らであればこそできたことであり、一般的な当業者には到達できるものではない。なお、上記本発明の完成に至る経緯については、本発明の理解の一助とすべく記載したに過ぎず、本発明を限定して解釈するために使用してはならないことを念のため付言しておく。

[0024] 以下、本発明の一実施形態について以下に詳細に説明する。

[0025] <1. 太陽電池の評価方法>

本発明の太陽電池の評価方法は、太陽電池の欠陥について評価を行うものであって、太陽電池を構成する太陽電池素子に対して、順方向に電流を注入する電流注入工程と、電流注入工程によって太陽電池素子から生じる光のうち、波長800nm~1300nmの第1の領域の光と、波長1400nm~1800nmの第2の領域の光とを検出する発光検出工程と、発光検出工程で検出した第1の領域の光の発光強度と第2の領域の光の発光強度とを指標として、内因的欠陥と外因的欠陥とを分別する判定工程と、を含んでいれ

ばよい。

[0026] ここで本明細書中、「太陽電池の欠陥について評価を行う」とは、太陽電池（例えば、太陽電池モジュール又は太陽電池パネル、もしくは太陽電池素子そのものを含む。以下、全て同じ。）に存在する欠陥を検出すること、太陽電池に欠陥が存在しているか否かを判定すること、ならびに太陽電池の欠陥の量および／または種類を評価することを包含する意である。

[0027] 「太陽電池の欠陥の量を評価する」は、太陽電池の欠陥の絶対数を求めること、および太陽電池の欠陥の量が所定の量と比べて多いか、または少ないかを判定することを包含する。

[0028] 「太陽電池の欠陥の種類を評価する」は、太陽電池の欠陥がどのような種類のものであるか特定することを意図する。具体的には、欠陥が内因的欠陥であるか外因的欠陥であるかを特定・分別することを包含する。

[0029] 文言「太陽電池素子」とは、光導電効果および／または光起電力効果によって、光を受けて電流を発生させる最小構成単位の意であり、例えば、10 cm×10 cm角～15 cm×15 cm角のものが挙げられる。また、「太陽電池モジュール」とは、この太陽電池素子が複数連結されて構成されているものをいい、例えば、上記太陽電池素子を10～50枚程度連結した、0.5 m×0.5 m角～1.0 m×1.0 m角程度のものを挙げるができる。なお、本明細書では「太陽電池モジュール」の中には、モジュールの集合体である「太陽電池パネル」を含む。また、単に「太陽電池」と称した場合は、太陽電池素子、太陽電池モジュール、または太陽電池パネルのいずれか、あるいはその全てを表すものとする。

[0030] 以下、本発明に係る方法の各工程について詳細に説明する。なお、これら工程以外の具体的な工程、材料、条件、ならびに使用する機器および装置等は特に限定されるものではなく、従来公知の方法等を好適に利用可能であり、何ら限定されるものではない。

[0031] <1-1. 電流注入工程>

電流注入工程は、太陽電池を構成する太陽電池素子に対して、順方向に電

流を注入する工程であればよい。注入される電流は、直流電流であってもよいし、パルス電流であってもよい。以下では直流電流を注入する場合の本発明の太陽電池の評価方法について説明する。

[0032] 電流注入工程において、「順方向に直流電流を注入」とは、図1に示すように、いわゆる太陽電池素子に対して順方向に直流電流を注入するためにバイアスをかけることである。太陽電池素子のp-n接合のp型領域側に正（+）、n型領域側に負（-）の極性の外部電圧を印加することによって、順方向に直流電流を注入することになる。これによって、太陽電池素子からエレクトロルミネッセンスによる光が放射される。

[0033] 本工程において、太陽電池素子に対して電流を注入するための装置としては、従来公知の電源等を好適に利用することができ、特に限定されるものではない。例えば、一般的な定電流源を用いることができる、直流電流を注入するための装置として従来公知の直流電源を用いればよい。

[0034] <1-2. 発光検出工程>

発光検出工程は、電流注入工程によって太陽電池素子から生じる発光のうち、波長800nm~1300nmの第1の領域の光と、波長1400nm~1800nmの第2の領域の光とを検出する工程であればよく、その具体的な方法等は特に限定されるものではなく、従来公知の技術を好適に用いることができる。

[0035] 本工程においては、太陽電池素子からの光（例えば、波長800nm~1800nm近傍の光）を検出できる従来公知の光検出手段を用いることができ、その具体的な構成等は特に限定されるものではない。

[0036] 光検出手段としては、例えば、CCDカメラおよびイメージインテンシファイア一等の光検出器を用いることができる。CCDカメラとしては、例えばInGaAs CCDカメラ（Xenics社製、品番XEVA-1.7シリーズ、浜松ホトニクス株式会社製、品番C8250-20）およびSi CCDカメラ（浜松ホトニクス株式会社製、品番C9299-02）等が挙げられる。Si CCDカメラは、200nm~1200nmの波長領域

の光を検出することができる。一方、InGaAs CCDカメラは、800 nm～1800 nmの波長領域の光を包括的に検出することができるため、より好ましい。

[0037] イメージンテンシファイアーとしては、例えば、360 nm～1100 nmの波長領域の光を検出することができる浜松ホトニクス株式会社製のイメージンテンシファイアー（品番V8071U-76）が挙げられる。

[0038] このようなCCDカメラおよびイメージンテンシファイアー等の光検出器を用いて光を検出した場合、太陽電池における発光の様子を画像として観察することができる。つまり、太陽電池における発光の面内分布を二次元的に一括測定でき、太陽電池の欠陥を簡便かつ迅速に評価することができる。

[0039] 本工程においては、第1の領域の光と第2の領域の光とを、1つの光検出手段を用いて検出することが好ましい。これによれば、光検出手段の交換やそれに伴う位置調節が不要になるので、本工程をより簡便に行うことができる。この場合には、例えばInGaAs CCDカメラを使用することが可能である。なお、第1の領域の光と第2の領域の光とを、別々の光検出手段を用いて検出してもよい。この場合、例えば、Si CCDカメラとInGaAs CCDカメラとを併用することができるし、イメージンテンシファイアー（浜松ホトニクス株式会社製、品番V8071U-76）とInGaAs CCDカメラとを併用することもできる。さらにこれらの3種の光検出器を組み合わせることもできる。

[0040] 上述したようにInGaAs CCDカメラ等の1つの光検出手段で800 nm～1800 nmの波長領域、すなわち、第1の領域の光と第2の領域の光とを同時に検出する場合は、これらの光をそれぞれ選択的に通過させるバンドパスフィルタを使用することが好ましい。これにより、第1の領域の光と第2の領域の光とを別々に効率的に検出することができる。つまり、本工程では、第1の領域の光および第2の領域の光を同時に検出可能な光検出手段と、第1の領域の光または第2の領域の光のどちらかをそれぞれ選択的に通過させるバンドパスフィルタとを用いて検出することが好ましいといえ

る。

[0041] 各バンドパスフィルタは、太陽電池素子から生じた光が光検出手段に到達するまでにバンドパスフィルタを通過するように、太陽電池と検出手段との間に配置されていればよく、例えば光検出手段のレンズ部分に装備されていてもよい。第1の領域の光を選択的に通過させるバンドパスフィルタとしては、例えばBROAD BANDPASS FILTER (SPECTROGON社製、品番BBP-0910-1170C)が挙げられ、第2の領域の光を選択的に通過させるバンドパスフィルタとしては、例えばBROAD BANDPASS FILTER (SPECTROGON社製、品番BBP-1350-1600C)が挙げられる。

[0042] このように、太陽電池素子から生じた光の波長領域および発光強度が欠陥の種類により異なることから、波長の通過域が異なる異種バンドパスフィルタを用いて各波長の光の検出し、その発光強度に基づいて比較解析することによって、欠陥について簡便かつ迅速に評価することができる。

[0043] なお、後述する実施例に示すように、第1の領域の光の検出感度は、第2の領域の光の検出感度よりも優れているため、第1の領域の光の画像を取得する場合は、第2の領域の光の画像を取得するよりも電流印加および画像撮影時間を短時間にすることができる。このため、本発明の太陽電池の評価方法では、第1の領域の光を検出するために、電流注入工程において太陽電池素子に対して注入する電流量を  $j_1$  とし、発光検出工程において第1の領域の光を検出する時間を  $t_1$  とし、第2の領域の光を検出するために、電流注入工程において太陽電池素子に対して注入する電流量を  $j_2$  とし、発光検出工程において第2の領域の光を検出する時間を  $t_2$  とすると、 $j_1 < j_2$ 、および/または、 $t_1 < t_2$  の関係が満足されることが好ましい。

[0044] < 1-3. 判定工程 >

判定工程は、発光検出工程で検出した第1の領域の光の発光強度と第2の領域の光の発光強度とを指標として、内因的欠陥と外因的欠陥とを分別する工程であればよい。

- [0045] 判定工程では、例えば第1の領域の光の発光強度と第2の領域の光の発光強度とをそれぞれ第1の閾値および第2の閾値と比較し、その結果を対比する等の処理を行う。対比の方法は、特に限定されず、例えば、従来公知の方法を用いて第1の領域の発光の画像および第2の領域の発光の画像をそれぞれ取得し、第1の領域の発光の画像において、第1の領域の光の発光強度を第1の閾値と比較し、第2の領域の発光を示す画像において、第2の領域の光の発光強度を第2の閾値と比較し、その結果を対比する方法や、その他コントロール用の画像を予め作成しておき、これと比較する方法等を挙げることができる。これらの場合には、第1、第2の領域の発光の画像を別々に対比してもよいし、または重ね合わせて対比してもよい。
- [0046] もちろん、画像を使わず、これら2種類の光の発光強度を数値化し、それぞれ第1および第2の閾値と同時に比較して、その結果を対比してもよい。発光強度を数値化する方法としては、例えば、光検出手段により検出した光の発光強度のデジタル化に基づく数値化が挙げられる。例えば、発光検出工程において上述したCCDカメラおよびイメージインテンシファイア等の発光検出手段を用いることによって、太陽電池素子から生じた光の発光強度をデジタル化することができる。このように発光強度を数値化した場合は、判定工程を厳密に行うことができる。
- [0047] つまり、判定工程では、例えば(i) 第1の領域の発光強度が第1の閾値以下の場合に欠陥が存在すると判断し、(ii) 上記(i)工程において欠陥が存在すると判断した部位について、第2の領域の発光強度が第2の閾値以上の場合には当該部位が内因的欠陥であると判断し、それ以外の部位を外因的欠陥と判断してもよい。これによれば、まず、第1の領域の発光強度に基づき欠陥が存在する部位を検出した後、第2の領域の発光強度に基づき検出された欠陥が内因的欠陥であるか、または外因的欠陥であるかを分別することができる。
- [0048] このように欠陥を順次判定する工程は、例えば、第1の領域の発光強度および第2の領域の発光強度に関する全データを取得後コンピュータ等で処理

する場合に、この全データに基づいて太陽電池素子の部位ごとに欠陥について評価を行うときに実施することができる。

[0049] また、判定工程では、(iii) 第1の領域の発光強度が第1の閾値以下であり、かつ第2の領域の発光強度が第2の閾値以上である部位が、内因的欠陥であると判断し、(iv) 第1の領域の発光強度が第1の閾値以下であり、かつ第2の領域の発光強度が第2の閾値未満である部位が、外因的欠陥であると判断してもよい。(iii)工程および(iv)工程の順番は特に限定されず、まず(ii)工程を実施した後に、(iv)工程を実施してもよいし、その反対であってもよい。また、(iii)工程および(iv)工程を並列に実施してもよい。特に(iii)工程および(iv)工程を並列に実施することによって、上記(i)工程および(ii)工程を実施する場合と比べてより迅速に太陽電池の欠陥について評価を行うことができる。

[0050] 上記(i)工程～(iv)工程における「第1の閾値」および「第2の閾値」は、それぞれ異なってもよいし、同一であってもよい。例えば、(i)工程の「第1の閾値」と(iii)および(iv)工程における第1の領域の発光強度の比較用の「第1の閾値」とが同じであり、(ii)工程の「第2の閾値」と(iii)および(iv)工程における第2の領域の発光強度の比較用の「第2の閾値」とが同じである場合を挙げることができる。

[0051] また、「第1の閾値」および「第2の閾値」は、欠陥を判定するための値であるともいえ、適宜設定可能であり、所望の太陽電池素子の性能や、歩留まり等を考慮して使用者が任意に設定することができる。第1の閾値を低く設定した場合、歩留まりを向上させることができ、第1の閾値を高く設定した場合、品質のより優れた太陽電池素子を得ることができる。第2の閾値を高く設定した場合、歩留まりを向上させることができ、第2の閾値を低く設定した場合、品質のより優れた太陽電池素子を得ることができる。例えば、予め従来公知の方法を用いて太陽電池素子中の内因的欠陥および／または外因的欠陥が存在している部位を特定し、これらの部位からの第1の領域の光の発光強度または第2の領域の光の発光強度を数値化することによって、閾

値を設定してもよい。いわゆるコントロールとしての値である。このような閾値は、評価対象の太陽電池に基づいて設定してもよいし、または他の別の太陽電池に基づいて予め設定しておいてもよい。

[0052] 例えば、「第1の閾値」は、太陽電池素子に対して上述の電流注入工程において電流を注入することによって太陽電池素子の正常な部位から生じた第1の領域の光の発光強度の値であってもよいし、この太陽電池素子の正常な部位から生じた第1の領域の光の発光強度の90%、80%、70%、60%、50%、40%、30%、20%、または10%の値であってもよい。第1の閾値を太陽電池素子の正常な部位から生じた発光強度に近く設定すれば、軽度の欠陥も検出できる。一方、第1の閾値を太陽電池素子の正常な部位から生じた発光強度に比べて低く設定するほど、より重度の欠陥を検出できる。なお、「正常な部位」とは、内因的欠陥も外因的欠陥も存在しない太陽電池の部位が意図される。なお、閾値は予め測定して定めておくことが好ましい。

[0053] 同様に、「第2の閾値」は、太陽電池素子に対して上述の電流注入工程において電流を注入することによって太陽電池素子の内因的欠陥が存在する部位から生じた第2の領域の光の発光強度であってもよいし、この内因的欠陥が存在する部位から生じた第2の領域の光の発光強度より若干低い値、例えば90%、80%、70%、60%、50%程度の値であってもよい。

[0054] 「発光強度」とは、所定の波長領域における光の強度のことをいい、例えば、所定の領域における発光スペクトルのピーク値または積分値であってもよい。従来公知の方法を用いて、太陽電池から生じた光の発光スペクトルを作成し、第1の領域および第2の領域におけるピーク値または積分値を求めることによって、それらの発光強度を得ることができる。

[0055] このように、本判定工程は、測定した発光強度と基準値とを比較して判定する工程であればよく、その具体的な方法としては従来公知の技術を好適に用いることができる。

[0056] なお、上記説明では、太陽電池の欠陥を、発光強度を数値化することによ



って定量的に評価したが、例えば発光強度の強弱のみに基づき、定性的に評価してもよいことはいうまでもない。この場合でも上述した方法を適宜援用して行うことができる。

[0057] < 1 - 4. 画像生成工程 >

また、本発明の太陽電池の評価方法は、さらに、画像生成工程を含んでもよい。画像生成工程は、発光検出工程において検出された、第1の領域の光の発光強度に基づく第1の画像、および第2の領域の光の発光強度に基づく第2の画像を生成する工程であればよい。本工程では、上述したように、太陽電池からの発光の様子を画像として取得することができるCCDカメラおよびイメージインテンシファイア等の光検出器を用いればよい。このような光検出器を用いれば、検出した光の発光強度をデジタル化によって数値化することができる。光検出器は、太陽電池素子からの発光を発光検出工程において検出するために用いることができ、さらに検出した発光の画像を画像生成工程において生成するために用いることができる。

[0058] 「発光強度に基づく画像」は、太陽電池素子における光の発光強度の分布を示す画像が意図される。例えば、太陽電池素子における発光強度の2次元面内分布を挙げることができる。このような画像を用いれば、太陽電池素子のどの部分からどの程度の発光強度の発光が生じたのかを知ることができる。

[0059] また、画像生成工程は、上述の画像を少なくともデータとして生成することを含んでいればよいが、さらに生成した画像をディスプレイ等の表示部に表示することを含んでいてもよい。画像をディスプレイに表示すれば、後述する判定工程を目視にて行うことができる。

[0060] 本発明の太陽電池の評価方法が、画像生成工程を含んでいる場合、判定工程は、画像生成工程において生成された、第1の画像における第1の領域の光の発光強度と、第2の画像における第2の領域の光の発光強度とを指標として、内因的欠陥と外因的欠陥とを分別する工程であればよい。

[0061] このような判定工程では、例えば第1の画像における第1の領域の光の発

光強度と第2の画像における第2の領域の光の発光強度とをそれぞれ第1の閾値および第2の閾値と比較し、その結果を対比する等の処理を行う。対比の方法は、特に限定されず、例えば、第1の画像における第1の領域の光の発光強度を第1の閾値と比較し、第2の画像における第2の領域の光の発光強度を第2の閾値と比較し、その結果を対比する方法や、その他コントロール用の画像を予め作成しておき、これと比較する方法等を挙げることができる。なお、この場合の判定工程に関する他の説明は、上述の<1-3>欄の説明を援用することとし、省略する。

[0062] <1-5. 実動作条件下での評価>

上述したエレクトロルミネッセンスによる発光の分光解析に基づく太陽電池素子の欠陥の分別は、全ての種類の太陽電池素子に応用することができる。すなわち、本発明の太陽電池の評価方法は、結晶性または非結晶性の太陽電池素子、化合物半導体太陽電池素子、色素増感太陽電池素子、または有機太陽電池素子等の任意の太陽電池素子に対して適用することができる。例えば、本発明の太陽電池の評価方法によって評価される対象の太陽電池素子としては、従来公知の半導体材料を主要構成成分とする太陽電池素子であればよく、特に限定されるものではないが、好適にはシリコン半導体を主要構成部材として備えるものが好ましい。また、上記太陽電池素子に用いられるシリコン半導体は、単結晶、多結晶、またはアモルファスのシリコン半導体であることが好ましい。本明細書において「主要構成部材として備える」とは、シリコン半導体を主要な構成部材として備えていれば、その他にどのような部材、部品が設けられていてもよいという意である。

[0063] なかでも特に、多結晶のシリコン半導体を主要構成部材として備える太陽電池素子であることが好ましい。多結晶のシリコン半導体を主要構成部材として用いて太陽電池素子を作製した場合、均一な面内分布を得ることが困難であるため、本発明の評価方法を用いた品質評価および性能チェックが非常に重要なものとなる。

[0064] また、後述する実施例に示すように、単結晶および／または多結晶のシリ

コン半導体を主要構成部材とする太陽電池素子に対して順方向に電流を注入すると、波長800nm～1300nm、好ましくは波長900nm～1250nm、より好ましくは波長1100nm～1200nmの第1の領域の光と、波長1400nm～1800nm、好ましくは波長1500nm～1700nm、より好ましくは波長1550nm～1650nmの第2の領域の光を強く発する。第1の領域の光のピークは波長1150nmであり、第2の領域の光のピークは波長1600nmである。

[0065] また、上記電流注入工程において、注入する電流密度は、上記太陽電池素子の作動電流と略同じ密度であることが好ましい。ここで「太陽電池素子の作動電流」とは、評価対象の太陽電池素子に太陽光を照射した際に、実際に光電変換により発生する電流のことの意である。

[0066] 具体的には、より発光強度の大きい第1の領域の光を発生させるためには、注入する電流密度は、例えば特に限定されないが、5～1000mA/cm<sup>2</sup>であればよく、より具体的には50～800mA/cm<sup>2</sup>であり、さらに具体的には100～500mA/cm<sup>2</sup>である。また、より発光強度の大きい第2の領域の光を発生させるためには、注入する電流密度は、例えば特に限定されないが、10～3000mA/cm<sup>2</sup>であればよく、より具体的には100～2000mA/cm<sup>2</sup>であり、さらに具体的には500～1500mA/cm<sup>2</sup>である。注入する電流密度は、これらの値に限定されるものではなく、各種太陽電池素子の材料および組成に応じて、適宜変更可能であることはいうまでもない。なお、上記数値範囲外であっても本発明の作用効果を奏することができる合理的な数値範囲は本発明の技術的範囲に含まれる。

[0067] このように、実動作条件下での評価を行うことによって太陽電池の光電変換性能および/または信頼性を、より一層正確に評価することができる。ただし、本発明の太陽電池の評価方法を行う条件は、このような実動作条件に限定されず、カメラの性能、露光時間および欠陥の量の関係に従って異なり、当業者は最適な条件を適宜設定することができる。例えば、現在の技術レベルでの産業上の利用条件(発光強度と測定時間(コスト)とのバランス)を

考慮して、最適な条件を設定してもよい。より具体的には、欠陥が検出しにくい場合（欠陥が少ない場合、および欠陥が微細である場合等）には、印加する電流の量を増加して測定すればよい。

[0068] なお、本発明の太陽電池の評価方法では、太陽電池モジュールが多数の太陽電池素子が直列に連結されて構成されている場合を想定して説明しているが、仮に、太陽電池モジュールが多数の太陽電池素子が並列に連結されて構成されている場合であっても、太陽電池素子が直列にて連結されている領域ごとに評価を行うことが可能である。

[0069] 以上のように、本発明の太陽電池の評価方法によれば、従来の太陽電池の評価方法に比べて、大がかりな設備を要することなく、簡便かつ正確に、太陽電池における欠陥を検出することができ、その欠陥を内因的欠陥および外因的欠陥に分別することができる。具体的には、本発明の太陽電池の評価方法は、順方向への電流の注入に基づくエレクトロルミネセンス法を用いているため、従来の技術に比べて、例えば、(i) 簡便かつ正確に、太陽電池における欠陥の種類および量を評価することができる、(ii) 大型の設備が不要なため、製品状態（製造工場で完成した状態、または構造物に設置された状態）で欠陥について評価を行うことができる、(iii) 太陽電池の物性に起因する内因的欠陥を分別することができるため、太陽電池の基板中に含まれる不純物または関連した物性を評価することができる、(iv) シリコン結晶が用いられた薄膜の太陽電池のみならず、他の材料が用いられた太陽電池の欠陥について評価を行うことができる、ならびに(v) 走査プローブ（電子線、レーザー）が不要であり、簡便な測定を行い得る等の、特有の効果を奏する。

[0070] また、本発明の太陽電池の評価方法によれば、太陽電池素子が直列に複数連結して構成されている太陽電池モジュールの場合、1度の電流注入にて太陽電池モジュール全体の欠陥について評価を行うことができる。すなわち、1度の電流注入を実行すれば、太陽電池モジュールを構成する全太陽電池素子に電流が流通することになるため、全太陽電池素子が発光する。この場合、本発明において、光の面内分布を瞬時に一括して測定することも可能であ

る。具体的には、例えば、上記のようにCCDカメラ等を用いて光の面内分布を二次元的に一括して測定することができるし、または一次元ラインスキャナを用いて、光の面内分布を一括して測定することができるが、これらに限定されるものではない。すなわち、大型の発光検出手段または一次元走査を実施することができるラインスキャナを用いて、太陽電池モジュール全体の光を1度に検出すれば、太陽電池モジュールのどの位置の太陽電池素子に欠陥が存在しているかを一目瞭然的に判断することができる。さらに、この欠陥が内因的欠陥であるか、または外因的欠陥であるかを分別することができる。また、太陽電池モジュールを一括して測定した場合、カメラ等のズーム操作により、モジュール全体から太陽電池素子の一部まで連続して、観察し解析することができる。

[0071] 以上のように、本発明の太陽電池の評価方法を用いることによって、太陽電池モジュールの欠陥について極めて簡便に評価できる。勿論、太陽電池素子1つのみの欠陥について評価を行うことも可能である。評価対象となる太陽電池素子または太陽電池モジュールの大きさは、特に限定されず、種々の大きさのものを用いることができる。

[0072] また、本発明の太陽電池の評価方法を太陽電池モジュールの製造工程に適用することができる。これによれば、太陽電池モジュールの製造工程において、太陽電池モジュールからの第1の領域の光の発光強度および第2の領域の光の発光強度を常時モニタリングすることによって、内因的欠陥および外因的欠陥を検出することが可能となる。このため、欠陥部分のみの修復または交換が可能となる。

[0073] このように、太陽電池モジュールの製造方法が、上記太陽電池の評価方法を一工程として含んでいることによって、自動的に全数検査を行うことができ、欠陥のない太陽電池モジュールを提供することが可能となる。

[0074] <2. 太陽電池の評価装置>

本発明の太陽電池の評価装置は、太陽電池の欠陥について評価を行うものであって、太陽電池を構成する太陽電池素子に対して、順方向に電流を注入

する電流注入部（電流注入手段）と、電流注入手段から注入された電流によって太陽電池素子から生じる発光のうち、波長800nm～1300nmの第1の領域の光と、波長1400nm～1800nmの第2の領域の光とを検出する発光検出部（発光検出手段）と、発光検出手段で検出した光のうち、第1の領域の発光強度と第2の領域の発光強度とを指標として、内因的欠陥と外因的欠陥とを分別する判定部（判定手段）と、を備えていればよく、その他の具体的な構成、大きさ、形状等の条件は特に限定されるものではない。

[0075] 以下、上記各部材（各手段）について詳細に説明する。なお、本発明の太陽電池の評価装置は、本発明の太陽電池の評価方法を実行するものであるため、各部材の説明については、上記評価方法における各工程の説明を援用することとし、重複する部分は省略する。

[0076] <2-1. 電流注入部>

電流注入部は、太陽電池を構成する太陽電池素子に対して、順方向に電流を注入するものであればよく、その具体的な構成等は特に限定されるものではない。すなわち、本電流注入部は、上記<1-1>欄にて説明した「電流注入工程」を実行するものであればよいといえる。例えば、従来公知の定電流源や定電圧源等を用いることができ、直流電流を注入する場合、電流注入部として従来公知の直流電源を用いればよい。なお、以下では直流電流を注入する場合の本発明の太陽電池の評価装置について説明する。

[0077] また、本電流注入部は、太陽電池素子の作動電流と略同じ密度の電流を注入することが好ましい。特に、本電流注入部は、より発光強度の大きい第1の領域の光および第2の領域の光を発生させるために、上記<1-5>欄にて説明した範囲の密度の電流を注入してもよい。

[0078] <2-2. 発光検出部>

発光検出部は、電流注入部により電流が注入されることによって生じる光のうち、波長800nm～1300nmの第1の領域の光と、波長1400nm～1800nmの第2の領域の光とを検出するものであればよく、その

具体的な構成等は特に限定されるものではない。すなわち、本発光検出部は、上記<1-2>欄にて説明した「発光検出工程」を実行するものであればよい。例えば、上述したInGaAs CCDカメラまたはイメージインテンシファイア一等の従来公知の光検出器を好適に用いることができる。

[0079] また、発光検出手段は、第1の領域の光および第2の領域の光を同時に検出可能な検出手段と、第1の領域の光または第2の領域の光のどちらかをそれぞれ選択的に通過させるバンドパスフィルタとを用いて検出するものであることが好ましい。

[0080] この場合に、各バンドパスフィルタは、太陽電池素子から生じた発光が発光検出部に到達するまでに、これらのバンドパスフィルタを通過するように、太陽電池と発光検出部との間に配置されていればよく、例えば光検出部のレンズ部分に装備されていてもよい。

[0081] 特に、第1の領域の光および第2の領域の光を別々に検出するために、各バンドパスフィルタは太陽電池と発光検出部との間に移動可能に配置されていることが好ましい。ここで、「移動可能に」は、これらのバンドパスフィルタを、太陽電池素子から生じた発光が発光検出部に到達する経路から移動させたり、この経路へ移動させたりできることであり、例えば「取り外し可能に」という意味を含んでいる。

[0082] これによれば、一方のバンドパスフィルタを用いて一方の領域の光のみを通過させて検出した後、このバンドパスフィルタを上記経路から移動させ、その後、他方のバンドパスフィルタをこの経路へ移動させて他方の領域の光のみを通過させて検出することができる。

[0083] <2-3. 判定部>

判定部は、発光検出手段で検出した光のうち、第1の領域の発光強度と第2の領域の発光強度とを指標として、内因的欠陥と外因的欠陥とを分別するものであり、その具体的な構成等は特に限定されるものではない。すなわち、本判定部は、上記<1-3>欄にて説明した「判定工程」を実行するものであればよく、例えば、従来公知のコンピュータ等の演算装置を好適に用い

ることができる。

[0084] 本判定部は、上記<1-3>欄にて説明した「判定工程」に示すように、画像を用いて判定してもよいし、単純に数値のみを用いて判定してもよい。

[0085] また、本判定部は、(i) 第1の領域の発光強度が第1の閾値以下の場合に欠陥が存在すると判断し、(ii) 上記(i)工程において欠陥が存在すると判断した部位について、第2の領域の発光強度が第2の閾値以上の場合には当該部位が内因的欠陥であると判断し、それ以外の部位を外因的欠陥と判断するものであってもよい。

[0086] また(iii) 第1の領域の発光強度が第1の閾値以下であり、かつ第2の領域の発光強度が第2の閾値以上である部位が、内因的欠陥であると判断し、(iv) 第1の領域の発光強度が第1の閾値以下であり、かつ第2の領域の発光強度が第2の閾値未満である部位が、外因的欠陥であると判断するものであってもよい。

[0087] なお、ここでいう「第1の閾値」、「第2の閾値」および「発光強度」は、上記<1-3>欄に記載のものと同義であるため、ここではその説明を省略する。

[0088] <2-4. 画像生成部>

また、本発明の太陽電池の評価装置は、画像生成部をさらに備えていてもよい。画像生成部は、発光検出部によって検出された、第1の領域の光の発光強度に基づく第1の画像、および第2の領域の光の発光強度に基づく第2の画像を生成するものであり、その具体的な構成等は特に限定されるものではない。すなわち、本画像生成部は、上記<1-4>欄にて説明した「画像生成工程」を実行するものであればよく、例えば、従来公知のCCDカメラおよびイメージインテンシファイア等の光検出器を好適に用いることができる。

[0089] 本発明の太陽電池の評価装置が、画像生成部を備えている場合、判定部は、画像生成部によって生成された、第1画像における第1の領域の発光強度と、第2の画像における第2の領域の発光強度とを指標として、内因的欠陥



と外因的欠陥とを分別するものであればよく、その具体的な構成等は特に限定されるものではない。この場合の判定部に関する他の説明は、上述の<2-3>欄の説明を援用することとし、省略する。

[0090] <2-5. 実動作条件下における評価装置>

本発明の太陽電池の評価装置の評価対象は、上記方法と同様に、特に限定されるものではなく、半導体製の太陽電池を一般に利用可能であるが、なかでも特にシリコン半導体を主要構成部材として備えるものを対象とすることが好ましい。このようなシリコン半導体を用いた太陽電池素子から生じる第1の領域の光の波長は、800nm~1300nm、好ましくは900nm~1200nm、より好ましくは1000nm~1100nmであり、第2の領域の光の波長は、1400nm~1800nm、好ましくは1500nm~1700nm、より好ましくは1550nm~1650nmである。このため、上記発光検出部は、これらの領域の波長の光を検出できるものであることが好ましい。

[0091] また、本発明の太陽電池の評価装置は、ラインスキャナ等の1次元走査機構のほか、2次元走査が可能な機構の走査部（走査手段）を備えていてもよい。かかる走査部を備えることにより、多数の太陽電池素子を備えた大型の太陽電池モジュール全体をスキャンしながら評価することができる。なお、走査部は、評価装置に設けていてもよいし、また逆に、評価対象の太陽電池素子に設けてもよい。なお、走査部によるスキャンを行うことなく、太陽電池素子の上方から太陽電池モジュール全体を一度に評価することもできるし、太陽電池モジュールの一部分のみを評価することも可能である。

[0092] なお、本太陽電池の評価装置に関しては、上述した以外の事項についても、上記<1>欄で述べた太陽電池の評価方法に関する記載を適宜参酌・利用することができることはいうまでもない。

[0093] <2-6. 太陽電池の評価装置の一実施形態>

図2に基づいて、本発明の太陽電池の評価装置の一実施形態について説明する。同図に示すように、本実施形態に係る太陽電池の評価装置10は、暗

箱 1、くし型プローブ 4、銅板 5、直流電源 6、発光検出部 12、および判定部 13 を備えている。また、太陽電池モジュール 7 を評価対象としている。太陽電池モジュール 7 は、太陽電池素子が複数個連結した構成である。なお、太陽電池モジュール 7 は、太陽電池モジュールの集合体である太陽電池パネルであってもよい。

[0094] 暗箱 1 は、太陽電池モジュール 7 からの光を検出しやすくするための暗状態を形成するためのものである。なお、暗箱 1 には、窓穴が形成されている。この窓穴は、鉛直方向に設けられた太陽電池モジュールあるいはパネルを評価する際に用いられるものである。

[0095] 発光検出部 12 は、CCD カメラを備える発光検出手段として機能するものである。発光検出部 12 は、InGaAs CCD カメラ 2 およびレンズ 3 を備えている。発光検出部 12 は、90° 回転可能に形成されている。これにより、鉛直方向に設けられた太陽電池モジュールを評価することができる。

[0096] 上記レンズ 3 としては、通常のレンズやズームレンズ (Zoom Lens) を用いることができる。またレンズ 3 には、第 1 の領域の光を選択的に通過させるバンドパスフィルタ 14 および第 2 の領域の光を選択的に通過させるバンドパスフィルタ 15 が取り外し可能に装備されている。

[0097] また、発光検出部 12 として InGaAs CCD カメラを用いて、サイズの違う太陽電池モジュール 7 を構成するセル (太陽電池素子) を評価する場合、下記表 1 に記載したような性能を有していてもよい。

[0098]

[表1]

<p>● CCD camera ～サイズの違うセルの撮影～</p> <p>●有効素子サイズ 12.29mm<sup>2</sup></p> <p style="text-align: center;">—— 通常撮影モード ——</p> <p>●レンズ 各セル毎に、全体撮影可 撮影範囲・・・約15, 25, 110, 160, 210mm<sup>2</sup></p> <p>●ズーム機能 各セル毎に、ズーム撮影可 最小撮影範囲・・・0.1mm<sup>2</sup> 最大撮影範囲・・・210mm<sup>2</sup></p> <p>●XY可動式 ズーム撮影中のX, Y軸方向への移動 最大可動範囲・・・約210mm<sup>2</sup></p> <p style="text-align: center;">—— モジュール撮影モード ——</p> <p>●90°回転 モジュール(1200mm×800mm)撮影可能。 モジュールとレンズ間の距離・・・約3m 暗箱外にモジュール設置し測定</p>
--

具体的には、通常撮影モードでは、図2に示すようにCCDカメラを太陽電池の上部に設置して撮影を行うが、モジュール撮影モードの場合は、太陽電池モジュールを暗箱1の外に設置し、CCDカメラを90°回転させて撮影および測定する。

[0099] なお、通常撮影モードの場合の評価対象となる太陽電池モジュール7のサイズ(セルサイズ)は、例えば、大きさ：約10mm×10mm, 20mm×20mm, 100mm×100mm, 150mm×150mm, 160mm×160mm, 200mm×200mm、厚さ：0.3mm以下のものを用いることができる。

[0100] また、本実施形態では、発光検出部12のレンズ3と太陽電池モジュール7との間の距離は、150mm以上400mm以内に設定され、発光検出部12は太陽電池モジュール7との間を上下移動可能に設置されることが好ましい。

- [0101] くし型プローブ4は、太陽電池モジュール7に電流を印加するための表面コンタクトである。くし型プローブ4は、図示するようにくし型形状のプローブ1対から構成されており、太陽電池モジュール7を構成する太陽電池素子の電極1つにつき、くし1本が対応している。プローブの形状がくし型構造である場合、太陽電池モジュール7に均一に電流を印加することができるため、好ましい。
- [0102] 特に、100mm×100mmセル、150mm×150mmセル、200mm×200mmセルに対して用いるくし型プローブは、各パルサー電極の長さおよび両電極間の幅が異なるものとしてもよい。例えば、アトシステム製のくし状プローブ1対を用いることができる。この場合、2本のくし状プローブの幅間隔は調整可能なように構成されていることが好ましい。また、くし状プローブにおける“くし”同士の間隔は、特に限定されないが、例えば、9mmであればよい。また、プローブのくし1本の太さは1mmのものを使用できる。なお、くし型プローブは電極1本あたり1つ用いることが好ましい。
- [0103] なお、太陽電池モジュール7が10mm×10mm、20mm×20mmである場合、くし型プローブを用いることなく、ポジショナーからのプローブ（1ヶ）を用いてもよい。
- [0104] また、銅板5は裏面コンタクトとして機能する。例えば、金メッキ銅板を用いることができる。この場合、太陽電池モジュール7を全面吸引することが好ましい。例えば、セルサイズが変化するので同中心状の正方形のみぞを掘り吸引することにより、安定性が向上する。上記みぞのサイズとしては、例えば、8mm×8mm、18mm×18mm、98mm×98mm、148mm×148mm、195mm×195mmのものを挙げることができる。また、温度センサーおよび／または冷却装置を設けることが好ましい。太陽電池の温度を一定に保つことができ、測定・評価精度が向上するためである。
- [0105] 直流電源6としては、通常のDC power supply（太陽電池素子に電流密度1

～5000mA/cm<sup>2</sup>で注入が可能なもの)のものを用いることができる。なお、電圧は、太陽電池素子や太陽電池モジュールを評価する場合は5V程度でよいが、太陽電池モジュールの集合体である太陽電池パネルを評価する場合は、100V程度であることが好ましい。特に、電圧は、1つの太陽電池素子あたり1～2V程度であることがより好ましい。

[0106] また、上記くし型プローブ4、銅板5、および直流電源6は、電流注入部11として機能する。なお、くし型プローブ4は直流電源6のマイナス側と固定接続されており、銅板5は直流電源6のプラス側と固定接続されている。

[0107] 判定部13は、太陽電池モジュール7の欠陥を評価する判定手段として機能するものである。本実施形態では、イメージプロセッサ(Image Processor)を用いている。用いるソフトウェアは、本発明の目的を達せられるものであれば、特に限定されるものではないが、例えば、以下のような構成のソフトウェアを用いることが好ましい。

- ・画像の8bit(2<sup>8</sup>=256階調)または16bit(2<sup>16</sup>=65536階調)保存可能なもの。

- ・太陽電子素子から生じた光を検出(撮影)後、画面上で範囲選択して、輝度プロファイルデータを取得・保存できるもの。

- ・分光可能なもの。

- ・高感度画像を取得できるもの(image intensifierカメラ)、例えば、逆方向電流印加時のエミッション測定ができるもの。

[0108] また、以下の構成があれば、より好ましい。

- ・データを表計算ソフトで読み込み、画像とすると、撮影像の90度回転した状態になっている点を改善したもの。

- ・ビニングモードの簡易な切り替えが可能なもの。

- ・発光強度のヒストグラムの自動作成プログラム。

- ・発光強度の弱い部分(暗い部分)の長さや幅の自動測定。1センチ以上のものの自動検出。

・ 選択範囲の発光強度の平均値算出。グリッド部分の値を差し引いた平均値も測定できることが好ましい。

[0109] 暗箱 1 内には、発光検出部 1 2、くし型プローブ 4、銅板 5、および太陽電池モジュール 7 が設置されている。発光検出部 1 2 は、太陽電池モジュール 7 の発光強度を検出できる位置に設置されている。本実施形態の場合、発光検出部 1 2 は、太陽電池モジュール 7 の上部に設けられている。

[0110] 図 3 に基づいて本太陽電池の評価装置 1 0 の評価動作の一実施形態を説明する。まず、電流注入部 1 1 により太陽電池モジュール 7 に対して電流が注入される。そして、注入された電流により太陽電池モジュール 7 から光が発生する。この光は、第 1 の領域の光を選択的に通過させるバンドパスフィルタ 1 4 を通過して発光検出部 1 2 に入射し、発光検出部 1 2 は太陽電池モジュール 7 からの第 1 の領域の光を検出する。次いで、第 1 の領域の光を選択的に通過させるバンドパスフィルタ 1 4 が取り外され、第 2 の領域の光を選択的に通過させるバンドパスフィルタ 1 5 が取り付けられる。太陽電池モジュール 7 からの光は、第 2 の領域の光を選択的に通過させるバンドパスフィルタ 1 5 を通過して発光検出部 1 2 に入射し、発光検出部 1 2 は太陽電池モジュール 7 からの第 2 の領域の光を検出する。

[0111] 発光検出部 1 2 と判定部 1 3 とは接続されており、発光検出部 1 2 が第 1、第 2 の領域の光を検出し、その結果は判定部 1 3 に送られる。判定部 1 3 は、当該検出結果に基づいて第 1、第 2 の領域の光の発光強度をそれぞれ第 1 の閾値および第 2 の閾値と比較し、太陽電池モジュール 7 に存在する欠陥の種類を判定する。

[0112] この場合、第 1、第 2 の領域の光を検出した結果は判定部 1 3 に別々に送られてもよいし、同時に送られてもよい。別々に送るときは、例えば第 1 領域の光の発光強度を第 1 の閾値と比較し、次いで第 2 領域の光の発光強度を第 2 の閾値と比較することができる。また、この反対も可能である。一方、同時に送るときは、例えば第 1 領域の光の発光強度および第 2 領域の光の発光強度をそれぞれ第 1 の閾値および第 2 の閾値と並列して比較することがで

きる。

- [0113] 本発明の太陽電池の評価装置の他の実施形態について説明する。本実施形態に係る太陽電池の評価装置 110 は、さらに画像生成部 16 を備えていることを除いて、上述した評価装置 10 と同一の態様である。
- [0114] 図 4 に基づいて本太陽電池の評価装置 110 の評価動作の別の実施形態を説明する。まず、電流注入部 11 により太陽電池モジュール 7 に対して電流が注入される。そして、注入された電流により太陽電池モジュール 7 から光が発生する。この光は、第 1 の領域の光を選択的に通過させるバンドパスフィルタ 14 を通過して発光検出部 12 に入射し、発光検出部 12 は太陽電池モジュール 7 からの第 1 の領域の光を検出する。次いで、第 1 の領域の光を選択的に通過させるバンドパスフィルタ 14 が取り外され、第 2 の領域の光を選択的に通過させるバンドパスフィルタ 15 が取り付けられる。太陽電池モジュール 7 からの光は、第 2 の領域の光を選択的に通過させるバンドパスフィルタ 15 を通過して発光検出部 12 に入射し、発光検出部 12 は太陽電池モジュール 7 からの第 2 の領域の光を検出する。
- [0115] 次いで、発光検出部 12 は、検出した第 1、第 2 の領域の光の信号を画像生成部 16 へ送る。画像生成部 16 は、これらの信号に基づいて、第 1 の領域の光の発光強度分布を示す画像（第 1 の画像）および第 2 の領域の光の発光強度分布を示す画像（第 2 の画像）を生成し、第 1 および第 2 の画像のデータを判定部 13 へ送る。例えば、発光検出部 12 に備えられる光検出部として CCD カメラまたはイメージンテンシファイアー等を用いた場合、これらの光検出部が第 1、第 2 の領域の光を検出するだけでなく、検出した光の信号に基づいて画像を生成して、画像のデータを判定部 13 へ送ることができる。このように、これらの光検出部は、画像生成部 16 としても機能する。本実施形態の場合、InGaAs CCD カメラ 2 が、画像生成部 16 として機能する。
- [0116] 判定部 13 は、第 1 および第 2 の画像のデータに基づいて第 1、第 2 の領域の光の発光強度をそれぞれ第 1 および第 2 の閾値と比較し、太陽電池モジ

ルール7に存在する欠陥の種類を判定する。

[0117] この場合、第1、第2の領域の光を検出した結果（第1および第2の画像のデータ）は判定部13に別々に送られてもよいし、同時に送られてもよい。別々に送るときは、例えば第1領域の光の発光強度を第1の閾値と比較し、次いで第2領域の光の発光強度を第2の閾値と比較することができる。また、この反対も可能である。一方、同時に送るときは、例えば第1領域の光の発光強度および第2領域の光の発光強度をそれぞれ第1の閾値および第2の閾値と並列して比較することができる。

[0118] 以上のように、本発明の太陽電池の評価装置によれば、太陽電池の評価方法を簡便かつ確実に実施することができる。この場合、従来の評価装置のように、大型かつ複雑な装置は必要なく、簡便な装備で正確に太陽電池の欠陥を検出して、欠陥について評価することができる。

[0119] なお、上述の説明では、主として太陽電池素子や太陽電池モジュールの評価装置や評価方法について述べてきたが、本発明はこれに限られるものではなく、太陽電池モジュールが複数連結された太陽電池パネルの評価も行うことができる。この場合、必要に応じて、印加する電流の密度や電圧、プローブの形状等を適宜変更できる。例えば、順方向への電流を太陽電池素子1つあたり、 $1 \sim 5000$  [mA/cm<sup>2</sup>] に相当する総電流となるように設定すればよい。また、太陽電池モジュールの大きさに応じて、暗箱から暗室へ変更してもよい。さらに、上述したように、太陽電池モジュールを鉛直方向に設置して、図2における発光検出部12を90°回転させて撮影に用いてもよい。

[0120] 本発明の太陽電池の評価装置を現場にて使用する場合、エレクトロルミネッセンスによって太陽電池素子から生じた光のうち、特定の波長の光のみを発光検出部にて効率よく選択的に検出するために、使用者は暗室にて作業を行わなければならない、作業の効率が悪い。このような課題に対する対策としては、例えば、CCDカメラ等の光検出部の高感度化は勿論のこと、特定の波長の光だけを効率よく透過させるバンドパスフィルタを開発して用いること



や、周囲の擾乱光を遮断するための環境を整備すること（特定の波長の光だけを照射する照明を用いることなど）が挙げられる。このような対策を取れば、作業を暗室にて行うことを避けることができ、使用者は効率よく作業を行うことができる。

[0121] <3. 利用>

上述したように、本発明の太陽電池の評価方法および評価装置は、従来の太陽電池の評価方法や評価装置に比べて、大がかりな設備を要することなく、簡便に太陽電池の欠陥について評価することができる。

[0122] さらに、本発明の太陽電池の評価方法または評価装置は、従来の技術に比べて、例えば、走査プローブ（電子線、レーザ）が不要であり、簡便な測定を行い得る、また大型の設備が不要なため、製品状態（製造工場で完成した状態、または構造物に設置された状態）で観察および評価を行うことが可能である、等の理由により、構造物に設置されている太陽電池の評価を定期的に行う、メンテナンス方法又はメンテナンスシステムといったビジネスモデルを構築することができる。

[0123] すなわち、本発明には、上述した太陽電池の評価装置が、構造物に設置されている太陽電池の欠陥について評価を実行する工程と、交換指示装置が、該評価装置の評価結果に基づき、上記内因的欠陥および／または上記外因的欠陥が存在する太陽電池素子の交換を、太陽電池素子の交換事業者に対して指示する工程と、を含んでいる太陽電池のメンテナンス方法が含まれる。

[0124] また、本発明には、上記メンテナンス方法を実行するためのメンテナンスシステムも含まれる。本発明のメンテナンスシステムは、太陽電池の評価装置と、該評価装置の評価結果に基づき、構造物に設置されている太陽電池に存在する、上記内因的欠陥および／または上記外因的欠陥が存在する太陽電池素子の交換を、太陽電池素子の交換事業者に対して指示する交換指示装置と、を備えているものであればよい。

[0125] 太陽電池素子の交換を、太陽電池素子の交換事業者に対して指示する方法は、特に限定されず、通信ネットワークを介して行えばよい。

- [0126] 本明細書において、文言「構造物に設置されている太陽電池」とは、家屋やマンション等の居住施設やショッピングモールやオフィスビル等の商業施設等の構造物に、既に設置されている太陽電池をいい、例えば、太陽電池の製造工場において、製造中または製造直後の太陽電池であって、構造物に設置されていないものは除く意である。
- [0127] 図5に、本実施形態に係るメンテナンスシステムの一例を模式的に示した機能ブロック図を示す。同図に示すように、本発明のメンテナンスシステム100は、評価装置10、交換指示装置20を備えている。評価装置10は、電流注入部11、発光検出部12および判定部13を備えている。なお、評価装置10の代わりに、電流注入部11、発光検出部12、画像生成部16、および判定部13を備えている評価装置110（図示しない）を用いてもよい。
- [0128] 交換指示装置20は、通信ネットワーク30を介して交換事業者の端末40と接続されている。なお、通信ネットワーク30および／または交換事業者の端末40は、上記メンテナンスシステムに含まれていてもよいし、外部の任意のネットワークや任意の端末を利用してもよい。
- [0129] 電流注入部11、発光検出部12、画像生成部16および判定部13は、それぞれ上記電流注入工程、上記発光検出工程、上記画像生成工程および上記判定工程を実行するものである。
- [0130] 交換指示装置20は、所定の値より性能が低下している太陽電池素子の交換を、通信ネットワークを介して太陽電池素子の交換事業者に対して指示するものであり、例えば、インターネット等の通信回線に接続可能なコンピュータ等の演算装置を用いることができる。
- [0131] なお、本実施形態では判定部13と交換指示装置20とを別々の装置として記載しているが、1台のコンピュータを判定部および交換指示装置として用いることができることは言うまでもない。
- [0132] また、通信ネットワーク30は、例えば、有線を用いた専用回線であってもよいし、インターネット等の回線を用いてもよい。また、携帯電話回線や

無線を用いたネットワークを利用することもできる。

- [0133] 交換事業者の端末40は、交換指示装置20からの交換指示を認識できる端末であればよく、好ましくは、表示部（例えば、CRTやLCD等のディスプレイ）または出力部（例えば、プリンタ）を備えていることが好適である。
- [0134] 次いで、図6に、評価装置10を用いた実施形態に係るメンテナンスシステムのフローの一例を示す。このフローでは、まず第1の領域の光の発光強度に基づいて太陽電池中の欠陥が存在する部位が特定され、次いで、特定された部位についての第2の領域の光の発光強度に基づいて、この欠陥が内因的欠陥であるか、または外因的欠陥であるかが判断される。
- [0135] 同図に示すように、まず、メンテナンスシステム100において、評価装置10の電流注入部11が、メンテナンス対象の太陽電池モジュールに対して電流注入工程を行う（ステップ1、以下ステップを“S”と記載する）。次に、評価装置10における発光検出部12が、S1の処理によって太陽電池モジュールから発した第1領域の光および第2領域の光をそれぞれ検出する（S2）。
- [0136] 次いで、判定部13が、発光検出部12の検出結果に基づき、第1領域の光の発光強度が第1の閾値以下であるか否かを判定する（S3）。S3において、判定部13が、第1領域の光の発光強度が第1の閾値以下であると判定した場合（“Y”）、S4に移行する。S4では、判定部13が当該第1領域の光が発生した部位に欠陥が存在すると判断し、S5に移行する。S5では、判定部13が、欠陥が存在すると判断された部位について第2領域の光の発光強度が第2の閾値以上であるか否かを判定する。S5において、判定部13が、第2領域の光の発光強度が第2の閾値以上であると判定した場合（“Y”）、S6に移行する。S6では、判定部13がこの部位に内因的欠陥が存在すると判断し、この結果を交換指示装置20に伝達し、S7に移行する。S7では、交換指示装置20が、通信ネットワーク30を介して、交換事業者の端末40に対して、内因的欠陥が存在する太陽電池素子の存在

を連絡し、交換するか否かの検討を依頼し、処理を終了する。

[0137] 一方、S 5において、判定部 1 3 が、第 2 領域の光の発光強度が第 2 の閾値未満であると判定した場合（“N”）、S 8に移行する。S 8では、判定部 1 3 がこの部位に外因的欠陥が存在すると判断し、この結果を交換指示装置 2 0 に伝達し、S 9に移行する。S 9では、交換指示装置 2 0 が、通信ネットワーク 3 0 を介して、交換事業者の端末 4 0 に対して、外因的欠陥が存在する太陽電池素子の存在を連絡し、交換するか否かの検討を依頼し、処理を終了する。

[0138] また、S 3において、判定部 1 3 が、第 1 領域の光の発光強度が第 1 の閾値よりも大きいと判定した場合（“N”）、そのまま処理を終了する。

[0139] このようなフローによれば、まず太陽電池に欠陥が存在するか否かを判定してから、欠陥の種類について評価を行う。このため、欠陥が存在しない太陽電池が多い中から欠陥が存在する太陽電池を特定する場合に、より迅速に処理を行うことができるため好適である。

[0140] 次に、図 7 に、評価装置 1 0 を用いた実施形態に係るメンテナンスシステムのフローの他の一例を示す。このフローでは、第 1 の領域の光の発光強度および第 2 の領域の光の発光強度とをそれぞれ第 1 の閾値および第 2 の閾値と同時に比較することによって、太陽電池中の欠陥が内因的欠陥であるか、または外因的欠陥であるかが判断される。

[0141] 同図に示すように、まず、メンテナンスシステム 1 0 0 において、評価装置 1 0 の電流注入部 1 1 が、メンテナンス対象の太陽電池モジュールに対して電流注入工程を行う（S 1 1）。次に、評価装置 1 0 における発光検出部 1 2 が、S 1 1 の処理によって太陽電池モジュールから発した第 1 領域の光および第 2 領域の光をそれぞれ検出する（S 1 2）。

[0142] 次いで、判定部 1 3 が、発光検出部 1 2 の検出結果に基づき、第 1 領域の光の発光強度が第 1 の閾値以下であり、かつ第 2 の領域の発光強度が第 2 の閾値以上であるか否かを判定する（S 1 3）。S 1 3 において、判定部 1 3 が、第 1 領域の光の発光強度が第 1 の閾値以下であり、かつ第 2 の領域の発

光強度が第2の閾値以上であると判定した場合（“Y”）、S14に移行する。S14では、判定部13が当該第1領域の光および第2の光が発生した部位に内因的欠陥が存在すると判断し、この結果を交換指示装置20に伝達し、S15に移行する。S15では、交換指示装置20が、通信ネットワーク30を介して、交換事業者の端末40に対して、内因的欠陥が存在する太陽電池素子の存在を連絡し、交換するか否かの検討を依頼し、処理を終了する。

[0143] 一方、S13において、第1領域の光の発光強度が第1の閾値以下であり、かつ第2の領域の発光強度が第2の閾値以上ではないと判定した場合（“N”）、S16に移行する。S16では、判定部13が、発光検出部12の検出結果に基づき、第1領域の光の発光強度が第1の閾値以下であり、かつ第2の領域の発光強度が第2の閾値未満であるか否かを判定する。S16において、判定部13が、第1領域の光の発光強度が第1の閾値以下であり、かつ第2の領域の発光強度が第2の閾値未満であると判定した場合（“Y”）、S17に移行する。S17では、判定部13が当該第1領域の光および第2の光が発生した部位に外因的欠陥が存在すると判断し、この結果を交換指示装置20に伝達し、S18に移行する。S18では、交換指示装置20が、通信ネットワーク30を介して、交換事業者の端末40に対して、外因的欠陥が存在する太陽電池素子の存在を連絡し、交換するか否かの検討を依頼し、処理を終了する。

[0144] さらに、S16において、第1領域の光の発光強度が第1の閾値以下であり、かつ第2の領域の発光強度が第2の閾値未満ではないと判定した場合（“N”）、そのまま処理を終了する。なお、S13～S15およびS16～S18の順番は特に限定されず、まずS16～S18を実施した後に、S13～S15を実施してもよい。また、S13～S15とS16～S18とを並列的に処理してもよい。特に、S13～S15とS16～S18とを並列的に処理するフローは、上記S1～S9のフローと比べて迅速に評価する場合により好適である。

- [0145] 次いで、図 8 に、評価装置 110 を用いた実施形態に係るメンテナンスシステムのフローの一例を示す。このフローでは、まず第 1 の領域の光の発光強度に基づいて太陽電池中の欠陥が存在する部位が特定され、次いで、特定された部位についての第 2 の領域の光の発光強度に基づいて、この欠陥が内因的欠陥であるか、または外因的欠陥であるかが判断される。
- [0146] 同図に示すように、まず、メンテナンスシステム 100 において、評価装置 110 の電流注入部 11 が、メンテナンス対象の太陽電池モジュールに対して電流注入工程を行う (S101)。次に、評価装置 110 における発光検出部 12 が、S101 の処理によって太陽電池モジュールから発した第 1 領域の光および第 2 領域の光をそれぞれ検出する (S102)。
- [0147] そして、画像生成部 16 が、発光検出部 12 によって検出された第 1 の領域の光の発光強度および第 2 の領域の光の発光強度に基づいて、第 1 の領域の光の第 1 の画像、および第 2 の領域の光の第 2 の画像をそれぞれ生成する (S103)。
- [0148] 次いで、判定部 13 が、画像生成部 16 によって生成された第 1 の画像および第 2 の画像に基づき、第 1 領域の光の発光強度が第 1 の閾値以下であるか否かを判定する (S104)。S104 において、判定部 13 が、第 1 領域の光の発光強度が第 1 の閾値以下であると判定した場合 (“Y”)、S105 に移行する。S105 では、判定部 13 が当該第 1 領域の光が発生した部位に欠陥が存在すると判断し、S106 に移行する。S106 では、判定部 13 が、欠陥が存在すると判断された部位について第 2 領域の光の発光強度が第 2 の閾値以上であるか否かを判定する。S106 において、判定部 13 が、第 2 領域の光の発光強度が第 2 の閾値以上であると判定した場合 (“Y”)、S107 に移行する。S107 では、判定部 13 がこの部位に内因的欠陥が存在すると判断し、この結果を交換指示装置 20 に伝達し、S108 に移行する。S108 では、交換指示装置 20 が、通信ネットワーク 30 を介して、交換事業者の端末 40 に対して、内因的欠陥が存在する太陽電池素子の存在を連絡し、交換するか否かの検討を依頼し、処理を終了する。

- [0149] 一方、S 1 0 6において、判定部 1 3が、第 2 領域の光の発光強度が第 2 の閾値未満であると判定した場合（“N”）、S 1 0 9に移行する。S 1 0 9では、判定部 1 3がこの部位に外因的欠陥が存在すると判断し、この結果を交換指示装置 2 0に伝達し、S 1 1 0に移行する。S 1 1 0では、交換指示装置 2 0が、通信ネットワーク 3 0を介して、交換事業者の端末 4 0に対して、外因的欠陥が存在する太陽電池素子の存在を連絡し、交換するか否かの検討を依頼し、処理を終了する。
- [0150] また、S 1 0 4において、判定部 1 3が、第 1 領域の光の発光強度が第 1 の閾値よりも大きいと判定した場合（“N”）、そのまま処理を終了する。
- [0151] このようなフローによれば、まず太陽電池に欠陥が存在するか否かを判定してから、欠陥の種類について評価を行う。このため、欠陥が存在しない太陽電池が多い中から欠陥が存在する太陽電池を特定する場合に、より迅速に処理を行うことができるため好適である。
- [0152] 次に、図 9 に、評価装置 1 1 0を用いた本実施形態に係るメンテナンスシステムのフローの他の一例を示す。このフローでは、第 1 の領域の光の発光強度および第 2 の領域の光の発光強度をそれぞれ第 1 の閾値および第 2 の閾値と同時に比較することによって、太陽電池中の欠陥が内因的欠陥であるか、または外因的欠陥であるかが判断される。
- [0153] 同図に示すように、まず、メンテナンスシステム 1 0 0において、評価装置 1 1 0の電流注入部 1 1 が、メンテナンス対象の太陽電池モジュールに対して電流注入工程を行う（S 1 1 1）。次に、評価装置 1 1 0における発光検出部 1 2 が、S 1 1 1の処理によって太陽電池モジュールから発した第 1 領域の光および第 2 領域の光をそれぞれ検出する（S 1 1 2）。
- [0154] そして、画像生成部 1 6 が、発光検出部 1 2によって検出された第 1 の領域の光の発光強度および第 2 の領域の光の発光強度に基づいて、第 1 の領域の光の第 1 の画像、および第 2 の領域の光の第 2 の画像をそれぞれ生成する（S 1 1 3）。
- [0155] 次いで、判定部 1 3 が、画像生成部 1 6によって生成された第 1 の画像お

よび第2の画像に基づき、第1領域の光の発光強度が第1の閾値以下であり、かつ第2の領域の発光強度が第2の閾値以上であるか否かを判定する（S114）。S114において、判定部13が、第1領域の光の発光強度が第1の閾値以下であり、かつ第2の領域の発光強度が第2の閾値以上であると判定した場合（“Y”）、S115に移行する。S115では、判定部13が当該第1領域の光および第2の光が発生した部位に内因的欠陥が存在すると判断し、この結果を交換指示装置20に伝達し、S116に移行する。S116では、交換指示装置20が、通信ネットワーク30を介して、交換事業者の端末40に対して、内因的欠陥が存在する太陽電池素子の存在を連絡し、交換するか否かの検討を依頼し、処理を終了する。

[0156] 一方、S114において、第1領域の光の発光強度が第1の閾値以下であり、かつ第2の領域の発光強度が第2の閾値以上ではないと判定した場合（“N”）、S117に移行する。S117では、判定部13が、画像生成部16によって生成された第1の画像および第2の画像に基づき、第1領域の光の発光強度が第1の閾値以下であり、かつ第2の領域の発光強度が第2の閾値未満であるか否かを判定する。S117において、判定部13が、第1領域の光の発光強度が第1の閾値以下であり、かつ第2の領域の発光強度が第2の閾値未満であると判定した場合（“Y”）、S118に移行する。S118では、判定部13が当該第1領域の光および第2の光が発生した部位に外因的欠陥が存在すると判断し、この結果を交換指示装置20に伝達し、S119に移行する。S119では、交換指示装置20が、通信ネットワーク30を介して、交換事業者の端末40に対して、外因的欠陥が存在する太陽電池素子の存在を連絡し、交換するか否かの検討を依頼し、処理を終了する。

[0157] さらに、S117において、第1領域の光の発光強度が第1の閾値以下であり、かつ第2の領域の発光強度が第2の閾値未満ではないと判定した場合（“N”）、そのまま処理を終了する。なお、S114～S116およびS117～S119の順番は特に限定されず、まずS117～S119を実施



した後に、S 1 1 4～S 1 1 6を実施してもよい。また、S 1 1 4～S 1 1 6とS 1 1 7～S 1 1 9とを並列的に処理してもよい。特に、S 1 1 4～S 1 1 6とS 1 1 7～S 1 1 9とを並列的に処理するフローは、上記S 1 0 1～S 1 1 0のフローと比べて迅速に評価する場合により好適である。

[0158] 従来、太陽電池の評価を行うためには、大型の装置を用いる必要があり、家屋等の構造物に設置された太陽電池の性能を評価し、定期的にメンテナンスを行うことが困難であった。しかし、本発明の太陽電池のメンテナンス方法またはメンテナンスシステムによれば、大型の装置を用いる必要はなく、簡便な評価装置を用いて容易に太陽電池の品質評価を行うことができるため、構造物に設置済みの太陽電池（すなわち、作製済みの太陽電池）であっても定期的にメンテナンスを行うことが可能である。このため、太陽電池モジュールの品質を一定のレベルに維持することができる。

[0159] また、本発明の太陽電池のメンテナンス方法またはメンテナンスシステムによれば、太陽電池モジュールを構成する多くの太陽電池素子のうち、どの太陽電池素子の性能および／または信頼性が低下しているのかを発光特性を指標として、一目で判断することができる。このため、太陽電池モジュール全体を交換する必要がなく、性能の低下した太陽電池素子のみの交換が可能であり、極めて効率的である。それ故、本発明は、太陽電池モジュールの製造の際に製品検査を行うだけでなく、太陽電池モジュールの普及に寄与するメンテナンス方法へも利用可能である。このように本発明は、単に一産業上の有用性だけでなく、地球環境の面からも非常に有用なものである。

[0160] また、本発明の太陽電池のメンテナンス方法またはメンテナンスシステムを用いることにより、例えば、外光の無い状態（例えば、夜や暗室）で、太陽電池素子からの光をCCDカメラにて撮影し、当該撮影後の画像の濃淡をあらかじめ決めておいた基準データと比較（コンピュータによる情報処理等による比較処理）することにより、メンテナンスを行うことも可能である。この場合、例えば、第1の領域の光の発光強度が低下し、かつ第2の領域の光の発光強度が増加または低下している部位が一定以上の割合で存在すると

、太陽電池素子の交換時期であると判定することができる。

[0161] なお、上記の説明では、太陽電池の評価装置の一部の例を用いたメンテナンス方法およびメンテナンスシステムについて説明したが、当然、このメンテナンス方法およびメンテナンスシステムには、本明細書において説明した様々な太陽電池の評価装置を好適に用いることができることを念のため付言しておく。

[0162] 最後に、上記評価装置、および交換指示装置等のメンテナンスシステムの各ブロック（以下単に「評価装置等」と称する）は、ハードウェアロジックによって構成してもよいし、次のようにCPUを用いてソフトウェアによって実現してもよい。

[0163] すなわち、上記評価装置等は、各機能を実現する制御プログラムの命令を実行するCPU（central processing unit）、上記プログラムを格納したROM（read only memory）、上記プログラムを展開するRAM（random access memory）、上記プログラムおよび各種データを格納するメモリ等の記憶装置（記録媒体）等を備えている。そして、本発明の目的は、上述した機能を実現するソフトウェアである評価装置等の制御プログラムのプログラムコード（実行形式プログラム、中間コードプログラム、ソースプログラム）をコンピュータで読み取り可能に記録した記録媒体を、上記評価装置等に供給し、そのコンピュータ（又はCPUやMPU）が記録媒体に記録されているプログラムコードを読み出し実行することによっても、達成可能である。

[0164] 上記記録媒体としては、例えば、磁気テープやカセットテープ等のテープ系、フロッピー（登録商標）ディスク／ハードディスク等の磁気ディスクやCD-ROM／MO／MD／DVD／CD-R等の光ディスクを含むディスク系、ICカード（メモリカードを含む）／光カード等のカード系、あるいはマスクROM／EPROM／EEPROM／フラッシュROM等の半導体メモリ系等を用いることができる。

[0165] また、評価装置等を通信ネットワークと接続可能に構成し、上記プログラムコードを、通信ネットワークを介して供給してもよい。この通信ネットワ

ークとしては、特に限定されず、例えば、インターネット、イントラネット、エキストラネット、LAN、ISDN、VAN、CATV通信網、仮想専用網 (virtual private network)、電話回線網、移動体通信網、衛星通信網等が利用可能である。また、通信ネットワークを構成する伝送媒体としては、特に限定されず、例えば、IEEE1394、USB、電力線搬送、ケーブルTV回線、電話線、ADSL回線等の有線でも、IrDAやリモコンのような赤外線、Bluetooth (登録商標)、802.11無線、HDR、携帯電話網、衛星回線、地上波デジタル網等の無線でも利用可能である。なお、本発明は、上記プログラムコードが電子的な伝送で具現化された、搬送波に埋め込まれたコンピュータデータ信号の形態でも実現され得る。

[0166] 上述の説明では、太陽電池素子に対して直流電流を注入する場合の、太陽電池の評価方法および評価装置、ならびにその利用について説明した。以下では、太陽電池素子に対してパルス電流を注入する場合の、太陽電池の評価方法および評価装置、ならびにその利用について説明する。パルス電流を用いることで、既知の方法を用いて、発光検出工程にて検出される擾乱光に起因するノイズを低減することができる。ここで、既知の方法とは、図10の(a)に示すように、擾乱光と検出光(すなわち、第1の領域の光または第2の領域の光)とを同期して検出し、図10の(b)に示すように、それぞれの強度を加算することによって、擾乱光によるノイズをキャンセルするという方法である。

[0167] パルス電流を注入する場合の太陽電池の評価方法において、電流注入工程では、従来公知のパルス電源を用いて、太陽電池素子に対してパルス電流を注入する。パルス電流を太陽電池素子に対して注入することによって、過渡発光が観察される。発光検出工程では、この過渡発光における第1の領域の光と第2の領域の光とを検出する。

[0168] 画像生成工程では、この過渡発光における第1の領域の光の発光強度に基づいて、太陽電池素子内における電荷のトラップ密度(第1のトラップ密度)を算出する。このようなトラップ密度を算出する方法は当業者に公知であ

る。同様に、この過渡発光における第2の領域の光の発光強度に基づいて、太陽電池素子内における電荷のトラップ密度（第2のトラップ密度）を算出する。そして、第1のトラップ密度に基づく第1の画像および第2のトラップ密度に基づく第2の画像を生成する。このように、パルス電流を用いた場合、画像生成工程において生成される「発光強度に基づく画像」とは、太陽電池素子における電荷のトラップ密度を示す画像が意図される。

[0169] したがって、判定工程では、第1の画像における第1のトラップ密度と、第2の画像における第2のトラップ密度とを指標として、内因的欠陥および外因的欠陥とを分別する。具体的には、判定工程では、例えば(v) 第1のトラップ密度が第3の閾値以下の場合に欠陥が存在すると判断し、(vi) 上記(v) 工程において欠陥が存在すると判断した部位について、第2のトラップ密度が第4の閾値以上の場合には当該部位が内因的欠陥であると判断し、それ以外の部位を外因的欠陥と判断してもよい。

[0170] また、判定工程では、(vii) 第1のトラップ密度が第3の閾値以下であり、かつ第2のトラップ密度が第4の閾値以上である部位が、内因的欠陥であると判断し、(viii) 第1のトラップ密度が第3の閾値以下であり、かつ第2のトラップ密度が第4の閾値未満である部位が、外因的欠陥であると判断してもよい。(vii) 工程および(viii) 工程の順番は特に限定されず、まず(vii) 工程を実施した後に、(viii) 工程を実施してもよいし、その反対であってもよい。また、(vii) 工程および(viii) 工程を並列に実施してもよい。

[0171] 上記(v) 工程～(viii) 工程における「第3の閾値」および「第4の閾値」は、それぞれ異なってもよいし、同一であってもよい。例えば、(v) 工程の「第3の閾値」と(vii) および(viii) 工程における「第3の閾値」とが同じであり、(vi) 工程の「第4の閾値」と(vii) および(viii) 工程における「第4の閾値」とが同じである場合を挙げることができる。

[0172] また、「閾値」は、例えば、予め従来公知の方法を用いて太陽電池素子中の内因的欠陥および／または外因的欠陥が存在している部位を特定し、これらの部位における上述した第1および第2のトラップ密度を数値化すること

によって、設定してもよい。例えば、「第3の閾値」は、太陽電池素子に対して上述の電流注入工程においてパルス電流を注入することによって太陽電池素子の正常な部位から生じた第1の領域の過渡発光の発光強度に基づく第1のトラップ密度の値であってもよいし、この第1のトラップ密度の90%、80%、70%、60%、50%、40%、30%、20%、または10%の値であってもよい。

[0173] 同様に、「第4の閾値」は、太陽電池素子に対して上述の電流注入工程においてパルス電流を注入することによって太陽電池素子の内因的欠陥が存在する部位から生じた第2の領域の過渡発光の発光強度に基づく第2のトラップ密度の値であってもよいし、この第2のトラップ密度より若干低い値、例えば90%、80%、70%、60%、50%程度の値であってもよい。

[0174] なお、上記説明以外の説明については、上述した<1>欄の説明を適宜援用することができる。

[0175] 太陽電池モジュールの製造方法は、このような太陽電池の評価方法を一工程として含んでいる。また、太陽電池の評価装置は、このような太陽電池の評価方法を行うものであり、その他の説明については、上述した<2>欄の説明を援用することができる。同様に、太陽電池のメンテナンス方法は太陽電池の評価装置を用いるものであり、太陽電池のメンテナンスシステムは太陽電池のメンテナンス方法を行うものであり、その他の説明については上述した<3>欄の説明を援用することができる。

[0176] 以上のように、特定の電子準位を介したエレクトロルミネッセンスによる発光を分光解析することによって、太陽電池素子に存在する内因的欠陥と外因的欠陥との分別を行うことができる。この分光解析は、エレクトロルミネッセンスによる発光に起因する物性機構の二次元面内分布を知ることができるため、内因的欠陥と外因的欠陥との分別以外にも、特定の不純物の偏析状況を把握することなどにも応用することができる。また、この分光解析は、タンデム型と呼ばれる、太陽電池素子を多層に設けた複合構造の太陽電池モジュールにおける各素子の機能を解析することも可能である。

- [0177] なお、本発明には以下の態様も包含される。
- [0178] 本発明の太陽電池の評価装置は、さらに、発光検出手段によって検出された、第1の領域の光の発光強度に基づく第1の画像、および第2の領域の光の発光強度に基づく第2の画像を生成する画像生成手段を備えており、判定手段は、画像生成手段によって生成された、第1画像における第1の領域の発光強度と、第2の画像における第2の領域の発光強度とを指標として、内因的欠陥と外因的欠陥とを分別するものであることが好ましい。
- [0179] 本発明の太陽電池の評価装置において、電流注入手段が注入する電流は、直流電流であることが好ましい。
- [0180] 本発明の太陽電池の評価装置において、電流注入手段は、太陽電池素子への光照射によって発生する光電流密度に相当する電流量を注入するものであることが好ましい。
- [0181] 本発明の太陽電池の評価装置において、第1の領域の光を検出するために、電流注入手段が太陽電池素子に対して注入する電流量を  $j_1$  とし、発光検出手段が第1の領域の光を検出する時間を  $t_1$  とし、第2の領域の光を検出するために、電流注入手段が太陽電池素子に対して注入する電流量を  $j_2$  とし、発光検出手段が第2の領域の光を検出する時間を  $t_2$  とすると、 $j_1 < j_2$  および/または  $t_1 < t_2$  の関係が満足されることが好ましい。
- [0182] 本発明の太陽電池の評価装置において、発光検出手段は、第1の領域の光および第2の領域の光を同時に検出可能な光検出手段と、第1の領域の光または第2の領域の光のどちらかをそれぞれ選択的に通過させるバンドパスフィルタとを用いて検出するものであることが好ましい。
- [0183] 本発明の太陽電池の評価装置において、光検出手段は、CCDカメラまたはイメージインテンシファイアを備えていることが好ましい。
- [0184] 本発明の太陽電池の評価装置において、判定手段は、(i) 第1の領域の発光強度が第1の閾値以下の場合に欠陥が存在すると判断し、(ii) 欠陥が存在すると判断した部位について、第2の領域の発光強度が第2の閾値以上の場合には当該部位が内因的欠陥であると判断し、それ以外の部位を外因的欠陥

と判断するものであることが好ましい。

- [0185] 本発明の太陽電池の評価装置において、判定手段は、(iii) 第1の領域の発光強度が第1の閾値以下であり、かつ第2の領域の発光強度が第2の閾値以上である部位が、内因的欠陥であると判断し、(iv) 第1の領域の発光強度が第1の閾値以下であり、かつ第2の領域の発光強度が第2の閾値未満である部位が、外因的欠陥であると判断するものであることが好ましい。
- [0186] 本発明の太陽電池の評価装置において、太陽電池素子は、シリコン半導体を主要部材として構成されたものであることが好ましい。
- [0187] 本発明の太陽電池の評価方法は、さらに、発光検出工程において検出された、第1の領域の光の発光強度に基づく第1の画像、および第2の領域の光の発光強度に基づく第2の画像を生成する画像生成工程を含んでおり、判定工程は、画像生成工程において生成された、第1の画像における第1の領域の発光強度と、第2の画像における第2の領域の発光強度とを指標として、内因的欠陥と外因的欠陥とを分別する工程であることが好ましい。
- [0188] 本発明の太陽電池の評価方法において、電流注入工程において注入する電流は、直流電流であることが好ましい。
- [0189] 本発明の太陽電池の評価方法では、電流注入工程において、太陽電池素子への光照射によって発生する光電流密度に相当する電流量を注入することが好ましい。
- [0190] 本発明の太陽電池の評価方法において、第1の領域の光を検出するために、電流注入工程において太陽電池素子に対して注入する電流量を  $j_1$  とし、発光検出工程において該第1の領域の光を検出する時間を  $t_1$  とし、第2の領域の光を検出するために、電流注入工程において太陽電池素子に対して注入する電流量を  $j_2$  とし、発光検出工程において第2の領域の光を検出する時間を  $t_2$  とすると、 $j_1 < j_2$  および/または  $t_1 < t_2$  の関係が満足されることが好ましい。
- [0191] 本発明の太陽電池の評価方法では、発光検出工程において、第1の領域の光および第2の領域の光を同時に検出可能な光検出手段と、第1の領域の光

または第2の領域の光のどちらかをそれぞれ選択的に通過させるバンドパスフィルタとを用いて検出することが好ましい。

[0192] 本発明の太陽電池の評価方法において、光検出手段は、CCDカメラまたはイメージインテンシファイアーを備えていることが好ましい。

[0193] 本発明の太陽電池の評価方法において、判定工程では、(i) 第1の領域の発光強度が第1の閾値以下の場合に欠陥が存在すると判断し、(ii) 上記(i)工程において欠陥が存在すると判断した部位について、第2の領域の発光強度が第2の閾値以上の場合には当該部位が内因的欠陥であると判断し、それ以外の部位を外因的欠陥と判断することが好ましい。

[0194] 本発明の太陽電池の評価方法において、判定工程では、(iii) 第1の領域の発光強度が第1の閾値以下であり、かつ第2の領域の発光強度が第2の閾値以上である部位が、内因的欠陥であると判断し、(iv) 第1の領域の発光強度が第1の閾値以下であり、かつ第2の領域の発光強度が第2の閾値未満である部位が、外因的欠陥であると判断することが好ましい。

[0195] 本発明の太陽電池の評価方法において、太陽電池素子は、シリコン半導体を主要部材として構成されたものであることが好ましい。

[0196] 本発明の太陽電池のメンテナンス方法は、本発明の太陽電池の評価装置が、構造物に設置されている太陽電池の欠陥について評価を実行する工程と、交換指示装置が、該評価装置の評価結果に基づき、上記内因的欠陥および／または上記外因的欠陥が存在する太陽電池素子の交換を、太陽電池素子の交換事業者に対して指示する工程と、を含んでいることを特徴としている。

[0197] 本発明の太陽電池のメンテナンスシステムは、本発明の太陽電池の評価装置と、この評価装置の評価結果に基づき、構造物に設置されている太陽電池に存在する、上記内因的欠陥および／または上記外因的欠陥が存在する太陽電池素子の交換を、太陽電池素子の交換事業者に対して指示する交換指示装置と、を備えていることを特徴としている。

[0198] 本発明の太陽電池モジュールの製造方法は、本発明の太陽電池の評価方法を一工程として含んでいることを特徴としている。



[0199] 以下実施例を示し、本発明の実施形態についてさらに詳しく説明する。もちろん、本発明は以下の実施例に限定されるものではなく、細部については様々な態様が可能であることはいうまでもない。さらに、本発明は上述した実施形態に限定されるものではなく、請求項に示した範囲で種々の変更が可能であり、それぞれ開示された技術的手段を適宜組み合わせて得られる実施形態についても本発明の技術的範囲に含まれる。

## 実施例

[0200] 多結晶のシリコン半導体製の太陽電池素子を複数備えている太陽電池モジュールに対して、順方向に電流を注入したときに生じる光を解析した。本実施例では、この光を撮影するために、InGaAs CCDカメラ（Xenics社製、品番XEVA-1.7シリーズ）を用いた。

[0201] まず、太陽電池モジュールに $40\text{ mA/cm}^2$ の電流を注入することによって生じた光の発光強度（luminescence intensity）と分光特性とを解析した。その結果を図11の（a）に示す。なお、分光特性は、分光器（日本分光（株）製、M50）を用いて、操作マニュアルに従い測定した。図11の（a）の破線は、Si CCDカメラを使用することによって検出される光の波長領域（波長 $200\text{ nm}\sim 1200\text{ nm}$ ）を示し、一点鎖線は、InGaAs CCDカメラを使用することによって検出される光の波長領域（波長 $800\text{ nm}\sim 1800\text{ nm}$ ）を示す。

[0202] 同図に示すように、太陽電池モジュールに対して電流を注入した場合に、太陽電池素子を構成するシリコン半導体から、波長 $800\text{ nm}\sim 1300\text{ nm}$ に強い発光強度を有する光が認められた。

[0203] 次に、図11の（a）に黒色の矢印で示す波長領域の光を選択的に透過するバンドパスフィルタ（波長 $1100\text{ nm}$ のバンドパスフィルタ：BROAD BANDPASS FILTER（SPECTROGON社製、品番BBP-0910-1170C））を装備するInGaAs CCDカメラを用いて、太陽電池モジュールに電流を注入した場合に発せられた光の発光強度と分光特性とを解析した。その結果、InGaAs CCDカメラに波長1

100nmのバンドパスフィルタを装備させることによって、波長845nm~1205nmに強い発光強度を有する光を検出することができた。

[0204] また、同図に示されるように、太陽電池モジュールに対して電流を注入した場合に、太陽電池素子を構成するシリコン半導体から、波長1400nm~1800nmに強い発光強度を有する光が認められることも報告されている。InGaAs CCDカメラに、灰色の矢印で示す波長領域の光を選択的に透過するバンドパスフィルタ（波長1500nmのバンドパスフィルタ：例えば、BROAD BANDPASS FILTER（SPECTROGON社製、品番BBP-1350-1600C等）を装備させることによって、波長1320nm~1640nmに強い発光強度を有する光を検出することができる。

[0205] なお、図11の（b）および（c）は、それぞれ波長1100nmのバンドパスフィルタおよび波長1500nmのバンドパスフィルタの特性を示す図である。

[0206] 次に、図12の（a）および（b）に示すように、4cm×3cmの大きさの太陽電池素子を格子状に配置することによって、太陽電池モジュール（ISC（短絡電流）=700mA）を試料とした。この太陽電池モジュールに電流を注入し、太陽電池モジュールからの発光を、波長1100nmのバンドパスフィルタまたは波長1500nmのバンドパスフィルタを装備するInGaAs CCDカメラを用いて撮影した。

[0207] まず、太陽電池モジュールに400mAの電流を20ミリ秒間注入し、太陽電池モジュールからの発光を、波長1100nmのバンドパスフィルタを通してInGaAs CCDカメラによって積算時間にして3秒間撮影した。その結果を図12の（a）に示す。次いで、太陽電池モジュールに1000mAの電流を80ミリ秒間注入し、太陽電池モジュールからの発光を波長1500nmのバンドパスフィルタを通してInGaAs CCDカメラによって積算時間にして20秒間撮影した。その結果を図12の（b）に示す。なお、図12の（a）および（b）において撮影された太陽電池モジュール

ルの範囲は一致している。

[0208] 図12の(a), (b)に示すように、太陽電池モジュールに電流を注入し、太陽電池素子から生じた波長1100nmの発光または波長1500nmの発光を観察した場合に、太陽電池素子の中に白色～黒色の部位が存在していることが分かった。なお、同図において、色が白くなるほど発光が強く、反対に黒くなるほど発光が弱い。太陽電池素子同士が隣接する部位は発光せずに黒くなっている。

[0209] 次に、図12の(a)および(b)を拡大して、この発光と太陽電池の欠陥との関係について詳細に解析した。図12の(c), (e), (g)は、それぞれ図12の(a)に示されたA, B, Cの拡大図であり、図12の(d), (f), (h)は、それぞれ図12の(b)に示されたA', B', C'の拡大図である。

[0210] その結果、波長1100nmの発光は太陽電池のバンド間遷移に起因する光である一方、波長1500nm近傍の光は太陽電池素子の内因的欠陥から生じる発光であることが分かった。また、外因的欠陥が存在する部位では、すべての波長領域の発光が低減することが分かった。

[0211] 従って、図12の(c), (e), (g)において、白色の矢印で示す白色の部位(発光している部位)は内因的欠陥も外因的欠陥もない正常な部位であり、黒色の矢印および白色の三角で示す黒色の部位(発光していない部位)は、内因的欠陥または外因的欠陥が存在している部位であることが分かった。

[0212] 次に、図12の(c)および(d), (e)および(f), (g)および(h)をそれぞれ対比することによって、図12の(c), (e), (g)において発光せずに、図12の(d), (f), (h)において発光している部位を内因的欠陥が存在している部位(図12の(c)～(h)において白色の三角で示される部位)であると特定することができた。また図12の(c), (e), (g)においても、図12の(d), (f), (h)においても発光していない部位(図12の(c)～(h)において黒色の矢印で

示される部位)を外因的欠陥が存在している部位であると特定することができた。

### 産業上の利用可能性

[0213] 本発明の太陽電池の欠陥について評価を行う太陽電池の評価方法等は、太陽電池モジュールを製造する際に行われる欠陥についての評価、品質検査、および素子材料評価だけでなく、例えば、設置済みの太陽電池モジュールの定期的なメンテナンスにも利用可能であり、単なる検査機器等にとどまらず、広範な産業上の利用可能性が存在する。

### 符号の説明

- [0214] 1 0 評価装置
- 1 1 電流注入部 (電流注入手段)
- 1 2 発光検出部 (発光検出手段)
- 1 3 判定部 (判定装置、判定手段)
- 1 6 画像生成部 (画像生成手段)
- 2 0 交換指示装置
- 3 0 通信ネットワーク
- 1 0 0 メンテナンスシステム
- 1 1 0 評価装置

## 請求の範囲

- [請求項1] 太陽電池の欠陥について評価を行う太陽電池の評価装置であって、  
上記太陽電池を構成する太陽電池素子に対して、順方向に電流を注入する電流注入手段と、  
上記電流注入手段から注入された電流によって太陽電池素子から生じる発光のうち、波長800nm～1300nmの第1の領域の光と、波長1400nm～1800nmの第2の領域の光とを検出する発光検出手段と、  
上記発光検出手段で検出した光のうち、上記第1の領域の発光強度と第2の領域の発光強度とを指標として、内因的欠陥と外因的欠陥とを分別する判定手段と、を備えていることを特徴とする太陽電池の評価装置。
- [請求項2] さらに、上記発光検出手段によって検出された、第1の領域の光の発光強度に基づく第1の画像、および第2の領域の光の発光強度に基づく第2の画像を生成する画像生成手段を備えており、  
上記判定手段は、上記画像生成手段によって生成された、上記第1の画像における上記第1の領域の発光強度と、上記第2の画像における上記第2の領域の発光強度とを指標として、内因的欠陥と外因的欠陥とを分別するものであることを特徴とする請求項1に記載の太陽電池の評価装置。
- [請求項3] 上記電流注入手段が注入する電流は、直流電流であることを特徴とする請求項1または2に記載の太陽電池の評価装置。
- [請求項4] 上記電流注入手段は、上記太陽電池素子への光照射によって発生する光電流密度に相当する電流量を注入するものであることを特徴とする請求項1～3の何れか1項に記載の太陽電池の評価装置。
- [請求項5] 上記第1の領域の光を検出するために、上記電流注入手段が上記太陽電池素子に対して注入する電流量を  $j_1$  とし、上記発光検出手段が該第1の領域の光を検出する時間を  $t_1$  とし、

上記第2の領域の光を検出するために、該電流注入手段が該太陽電池素子に対して注入する電流量を  $j_2$  として、該発光検出手段が該第2の領域の光を検出する時間を  $t_2$  すると、

$$j_1 < j_2$$

および/または、

$$t_1 < t_2$$

の関係が満足されることを特徴とする請求項1～4の何れか1項に記載の太陽電池の評価装置。

[請求項6] 上記発光検出手段は、第1の領域の光および第2の領域の光を同時に検出可能な光検出手段と、第1の領域の光または第2の領域の光のどちらかをそれぞれ選択的に通過させるバンドパスフィルタとを用いて検出するものであることを特徴とする請求項1～5の何れか1項に記載の太陽電池の評価装置。

[請求項7] 上記光検出手段は、CCDカメラまたはイメージインテンシファイアを備えていることを特徴とする請求項6に記載の太陽電池の評価装置。

[請求項8] 上記判定手段は、  
(i) 第1の領域の発光強度が第1の閾値以下の場合に欠陥が存在すると判断し、  
(ii) 欠陥が存在すると判断した部位について、第2の領域の発光強度が第2の閾値以上の場合には当該部位が内因的欠陥であると判断し、それ以外の部位を外因的欠陥と判断するものであることを特徴とする請求項1～7の何れか1項に記載の太陽電池の評価装置。

[請求項9] 上記判定手段は、  
(iii) 第1の領域の発光強度が第1の閾値以下であり、かつ第2の領域の発光強度が第2の閾値以上である部位が、内因的欠陥であると判断し、  
(iv) 第1の領域の発光強度が第1の閾値以下であり、かつ第2

の領域の発光強度が第2の閾値未満である部位が、外因的欠陥であると判断するものであることを特徴とする請求項1～7の何れか1項に記載の太陽電池の評価装置。

[請求項10] 上記太陽電池素子は、シリコン半導体を主要部材として構成されたものであることを特徴とする請求項1～9の何れか1項に記載の太陽電池の評価装置。

[請求項11] 太陽電池の欠陥について評価を行う太陽電池の評価方法であって、上記太陽電池を構成する太陽電池素子に対して、順方向に電流を注入する電流注入工程と、

上記電流注入工程によって太陽電池素子から生じる発光のうち、波長800nm～1300nmの第1の領域の光と、波長1400nm～1800nmの第2の領域の光とを検出する発光検出工程と、

上記発光検出工程で検出した第1の領域の光の発光強度と第2の領域の光の発光強度とを指標として、内因的欠陥と外因的欠陥とを分別する判定工程と、を含んでいることを特徴とする太陽電池の評価方法。

[請求項12] さらに、上記発光検出工程において検出された、第1の領域の光の発光強度に基づく第1の画像、および第2の領域の光の発光強度に基づく第2の画像を生成する画像生成工程を含んでおり、

上記判定工程は、上記画像生成工程において生成された、上記第1の画像における上記第1の領域の発光強度と、上記第2の画像における上記第2の領域の発光強度とを指標として、内因的欠陥と外因的欠陥とを分別する工程であることを特徴とする請求項11に記載の太陽電池の評価方法。

[請求項13] 上記電流注入工程において注入する電流は、直流電流であることを特徴とする請求項11または12に記載の太陽電池の評価方法。

[請求項14] 上記電流注入工程において、上記太陽電池素子への光照射によって発生する光電流密度に相当する電流量を注入することを特徴とする請

求項 1 1 ~ 1 3 の何れか 1 項に記載の太陽電池の評価方法。

[請求項15]

上記第 1 の領域の光を検出するために、上記電流注入工程において上記太陽電池素子に対して注入する電流量を  $j_1$  とし、上記発光検出工程において該第 1 の領域の光を検出する時間を  $t_1$  とし、

上記第 2 の領域の光を検出するために、該電流注入工程において該太陽電池素子に対して注入する電流量を  $j_2$  とし、該発光検出工程において該第 2 の領域の光を検出する時間を  $t_2$  とすると、

$$j_1 < j_2$$

および/または、

$$t_1 < t_2$$

の関係が満足されることを特徴とする請求項 1 1 ~ 1 4 の何れか 1 項に記載の太陽電池の評価方法。

[請求項16]

上記発光検出工程において、第 1 の領域の光および第 2 の領域の光を同時に検出可能な光検出手段と、第 1 の領域の光または第 2 の領域の光のどちらかをそれぞれ選択的に通過させるバンドパスフィルタとを用いて検出することを特徴とする請求項 1 1 ~ 1 5 の何れか 1 項に記載の太陽電池の評価方法。

[請求項17]

上記判定工程では、

(i) 第 1 の領域の発光強度が第 1 の閾値以下の場合に欠陥が存在すると判断し、

(ii) 上記(i)工程において欠陥が存在すると判断した部位について、第 2 の領域の発光強度が第 2 の閾値以上の場合には当該部位が内因的欠陥であると判断し、それ以外の部位を外因的欠陥と判断することを特徴とする請求項 1 1 ~ 1 6 の何れか 1 項に記載の太陽電池の評価方法。

[請求項18]

上記判定工程では、

(iii) 第 1 の領域の発光強度が第 1 の閾値以下であり、かつ第 2 の領域の発光強度が第 2 の閾値以上である部位が、内因的欠陥である



と判断し、

(iv) 第1の領域の発光強度が第1の閾値以下であり、かつ第2の領域の発光強度が第2の閾値未満である部位が、外因的欠陥であると判断することを特徴とする請求項11～16の何れか1項に記載の太陽電池の評価方法。

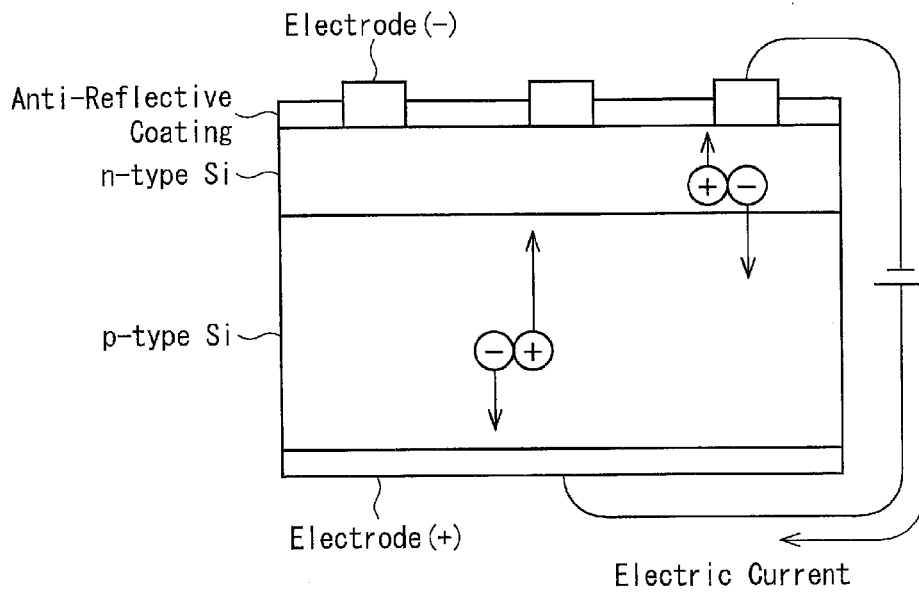
[請求項19] 上記太陽電池素子は、シリコン半導体を主要部材として構成されたものであることを特徴とする請求項11～18の何れか1項に記載の太陽電池の評価方法。

[請求項20] 請求項1～10の何れか1項に記載の太陽電池の評価装置が、構造物に設置されている太陽電池の欠陥について評価を実行する工程と、交換指示装置が、該評価装置の評価結果に基づき、上記内因的欠陥および／または上記外因的欠陥が存在する太陽電池素子の交換を、太陽電池素子の交換事業者に対して指示する工程と、を含んでいることを特徴とする太陽電池のメンテナンス方法。

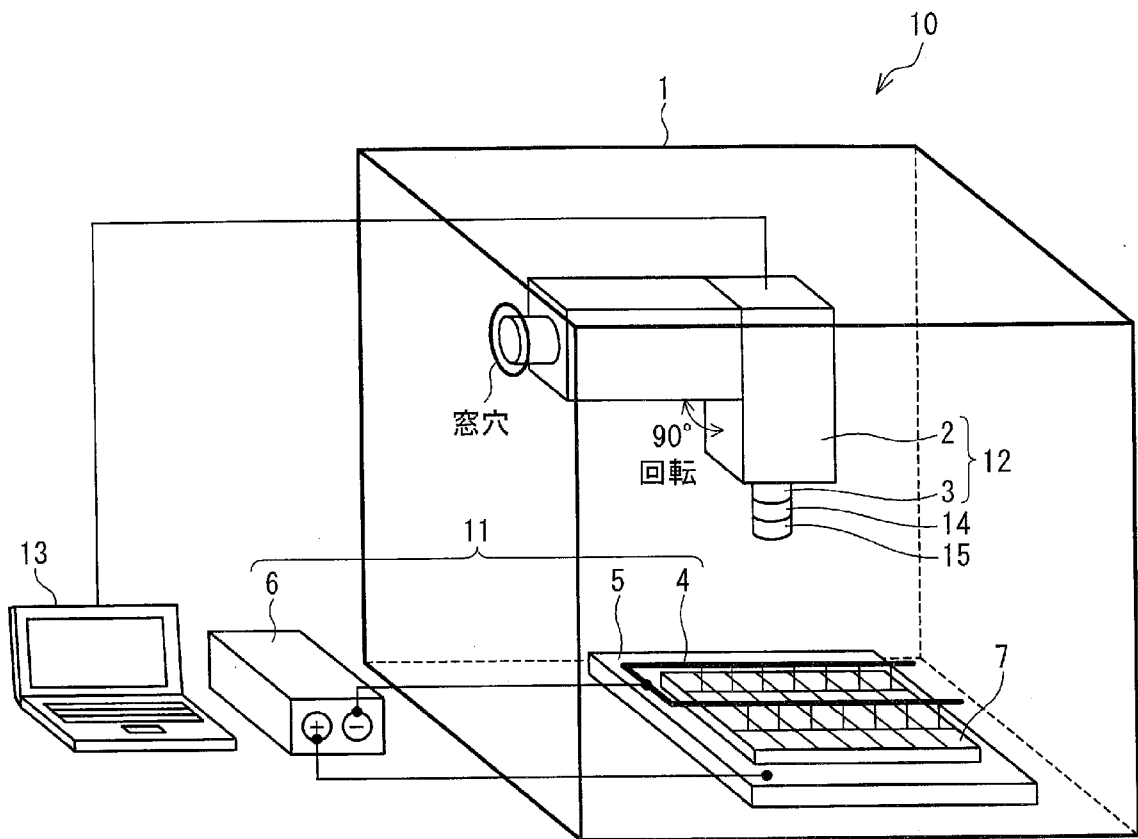
[請求項21] 請求項1～10の何れか1項に記載の太陽電池の評価装置と、該評価装置の評価結果に基づき、構造物に設置されている太陽電池に存在する、上記内因的欠陥および／または上記外因的欠陥が存在する太陽電池素子の交換を、太陽電池素子の交換事業者に対して指示する交換指示装置と、を備えていることを特徴とする太陽電池のメンテナンスシステム。

[請求項22] 請求項11～19の何れか1項に記載の太陽電池の評価方法を一工程として含んでいることを特徴とする太陽電池モジュールの製造方法。

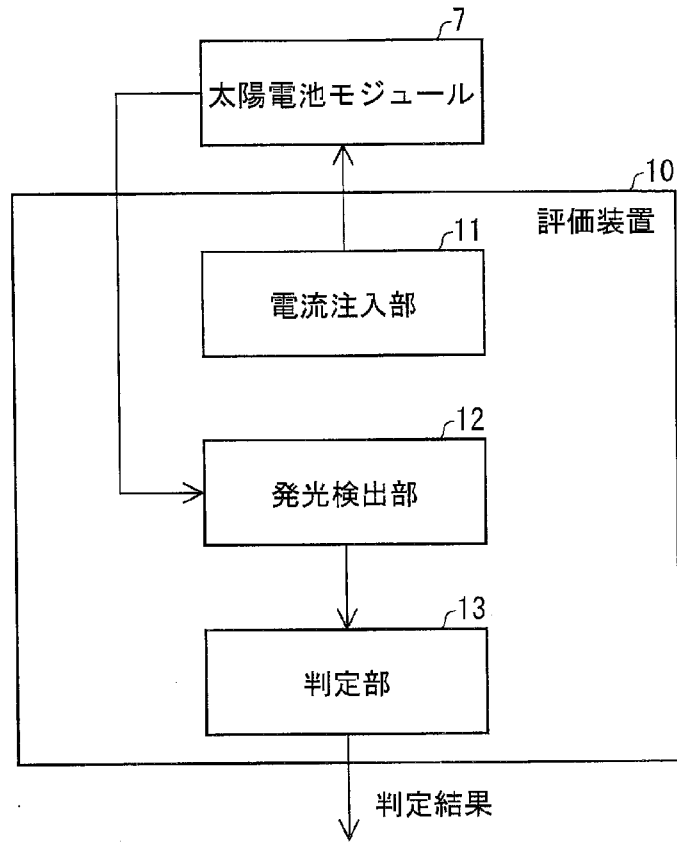
[図1]



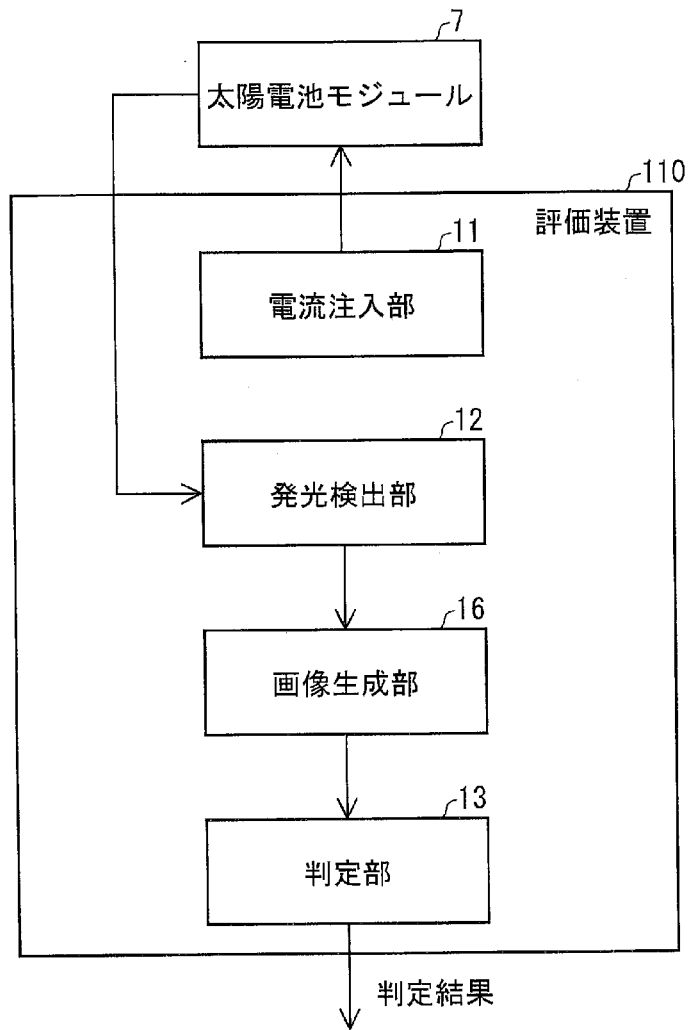
[図2]



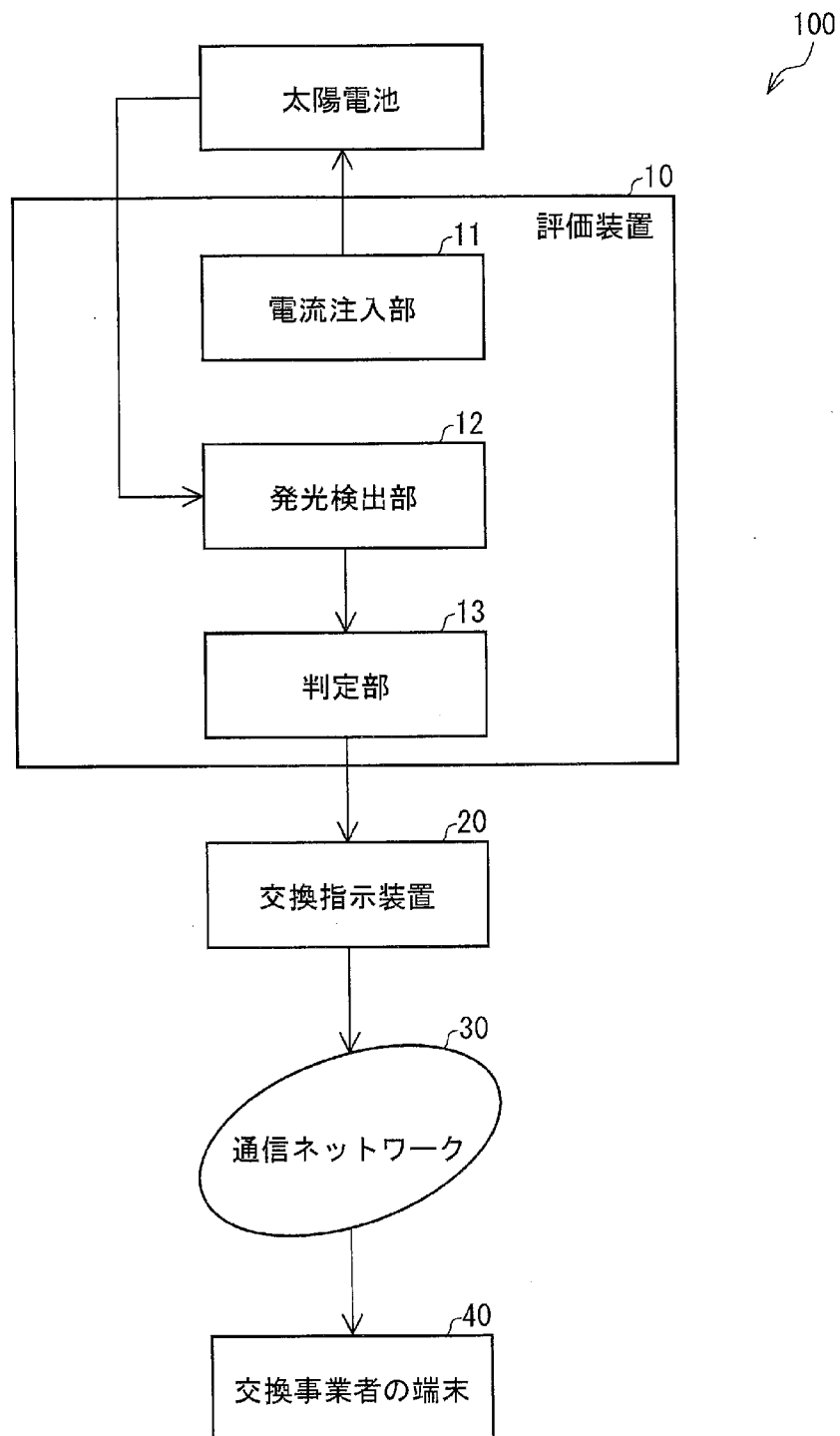
[図3]



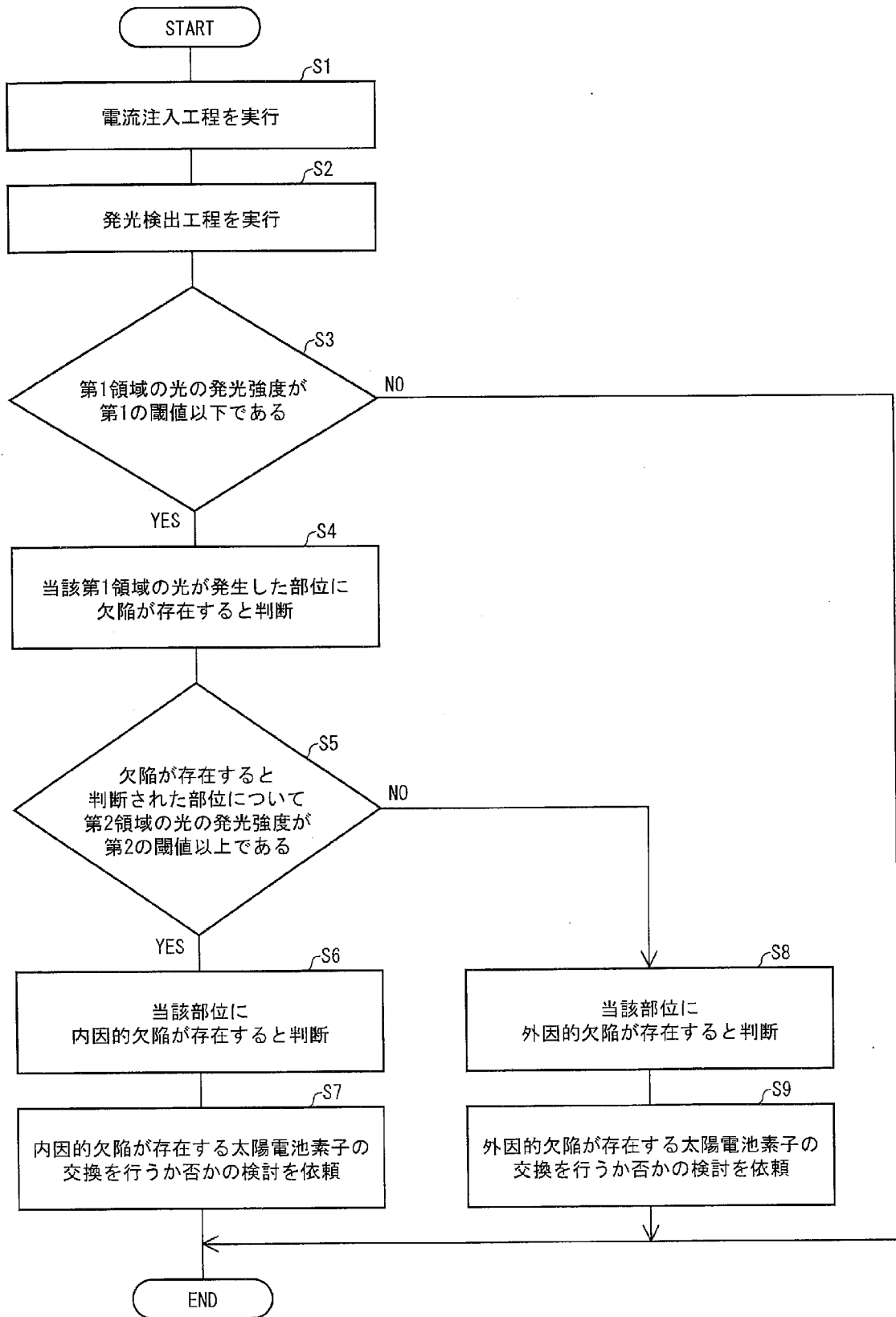
[図4]



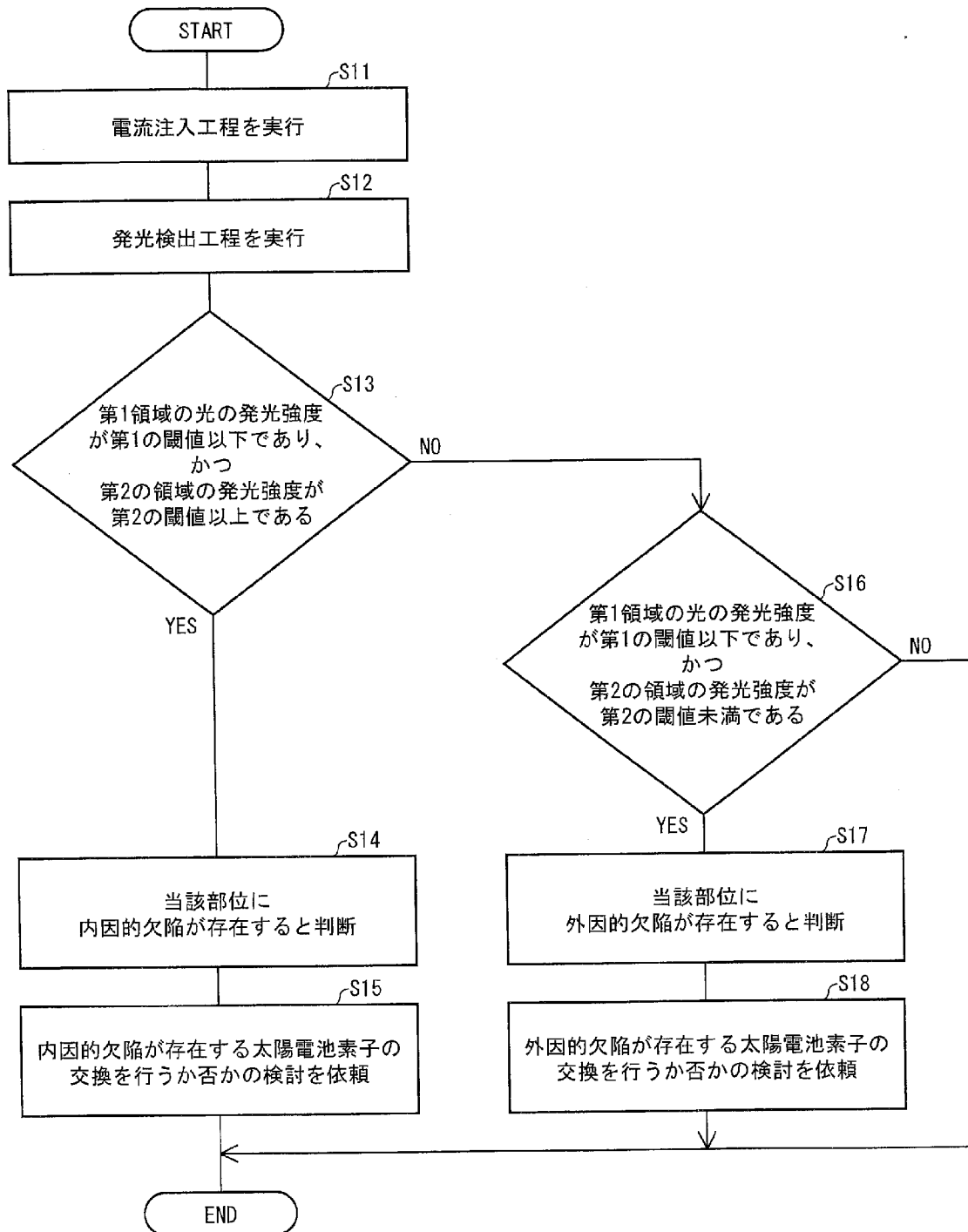
[図5]



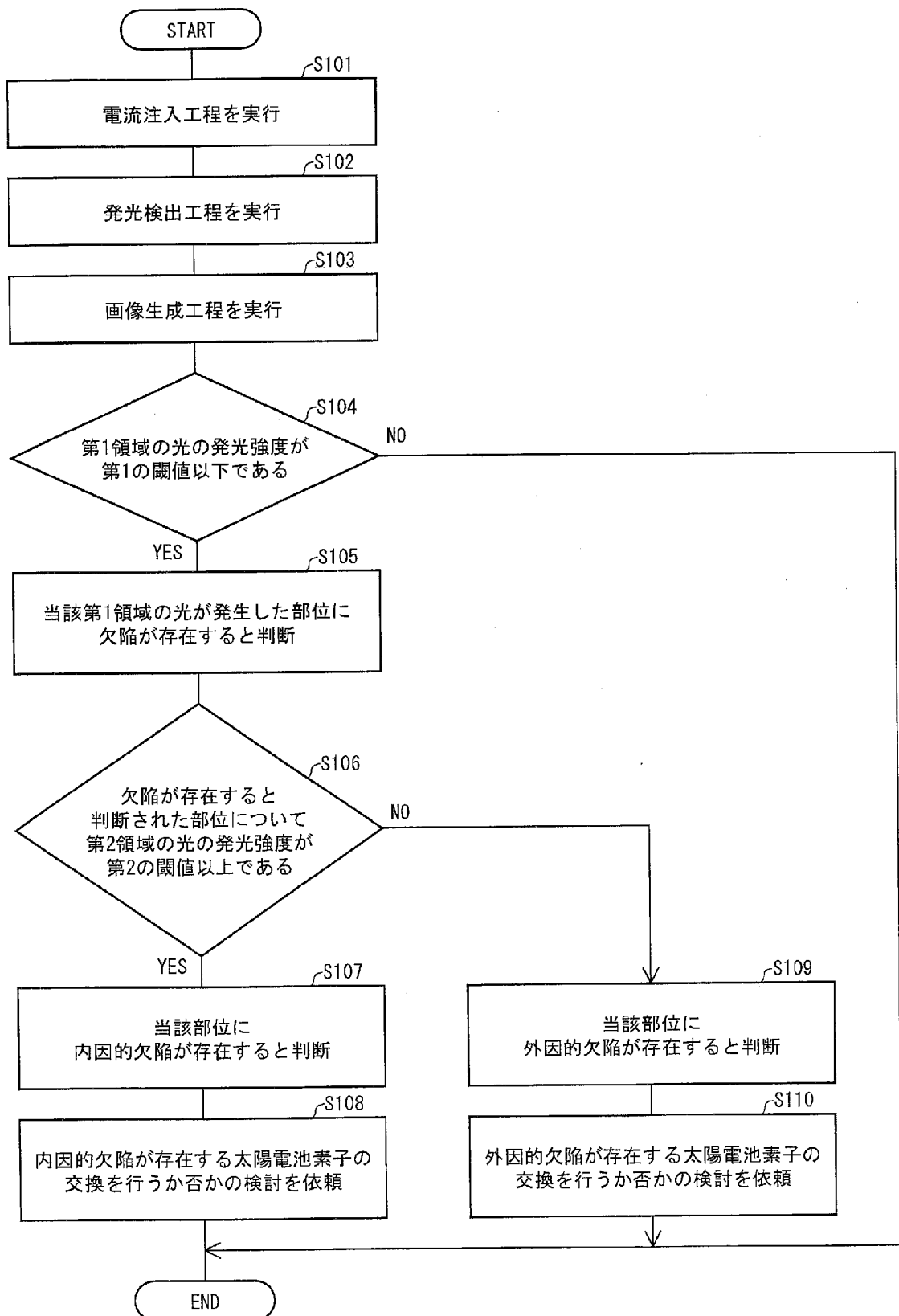
[図6]



[図7]

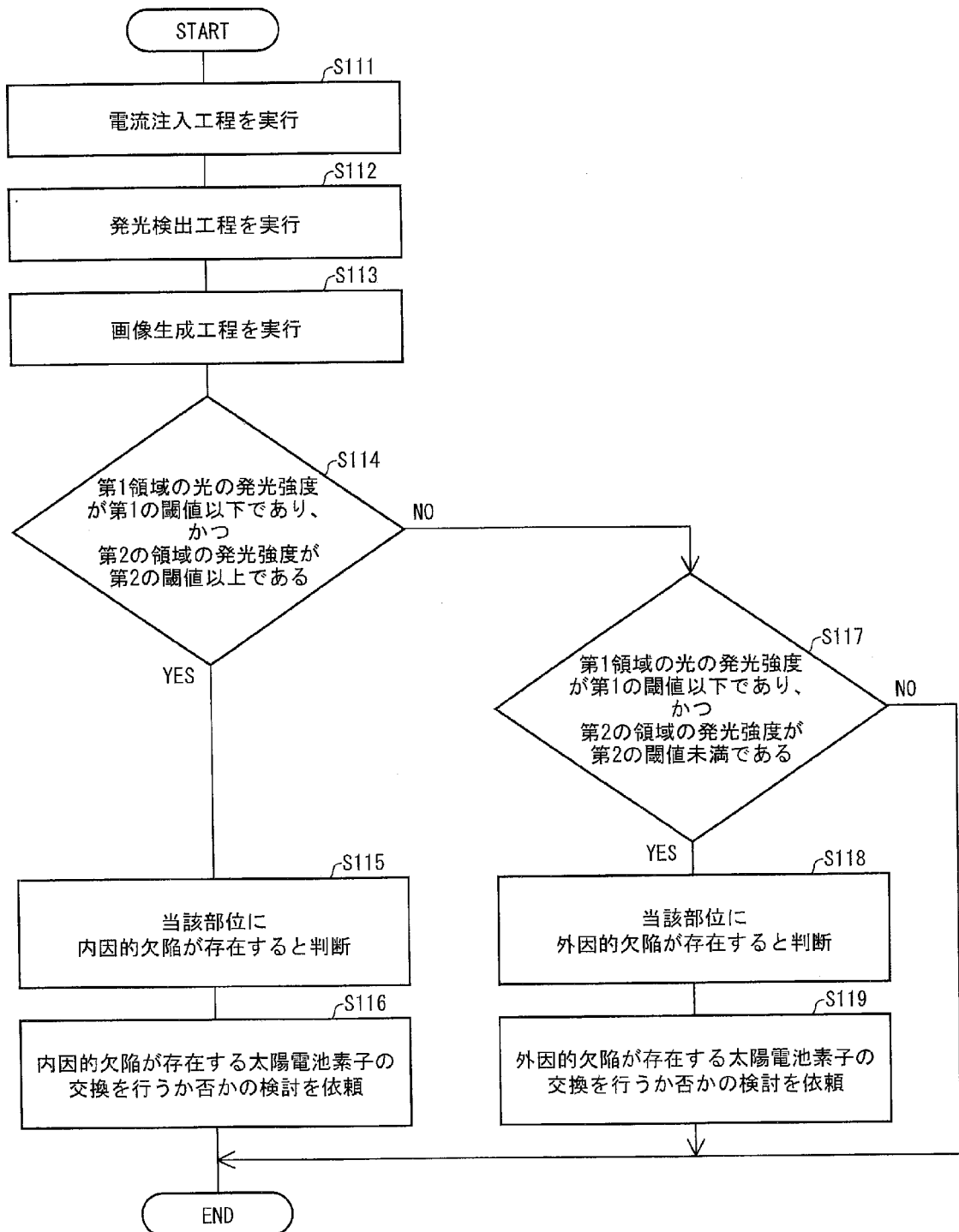


[図8]

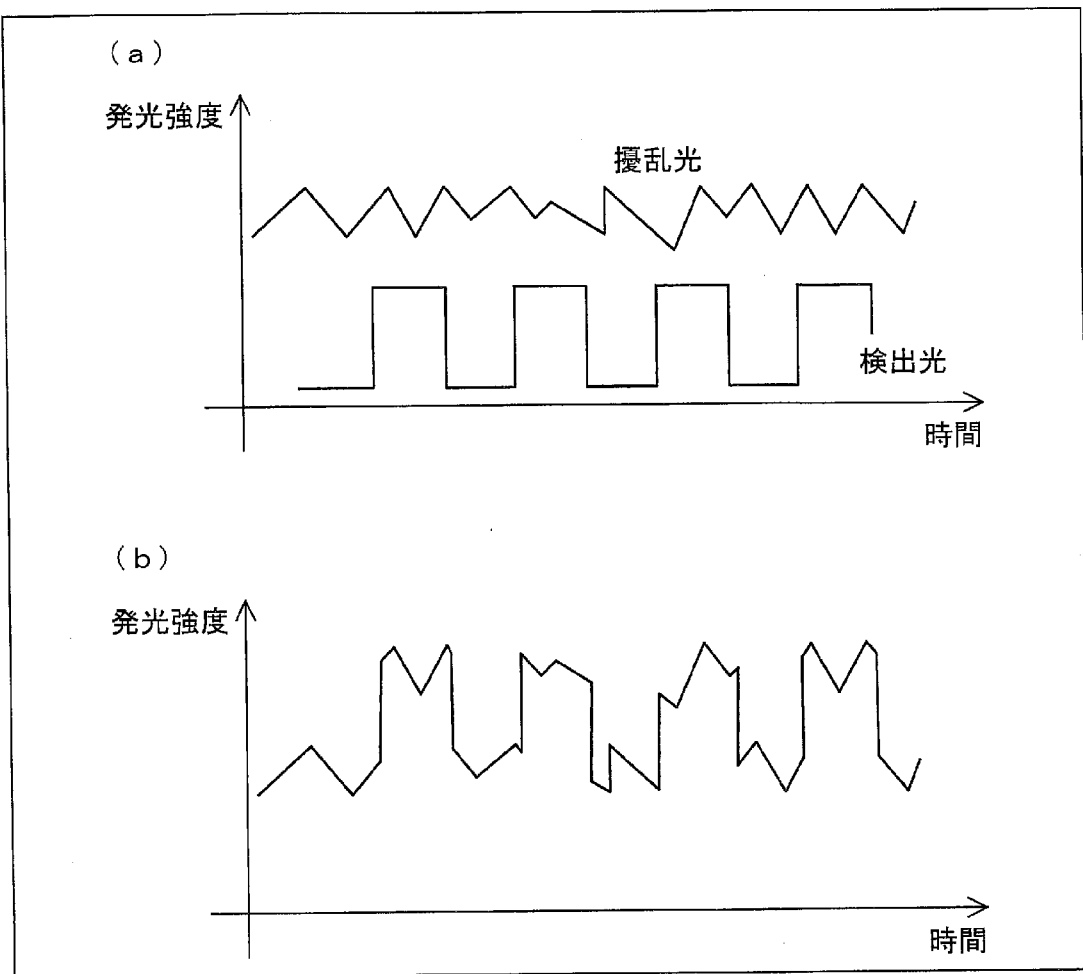




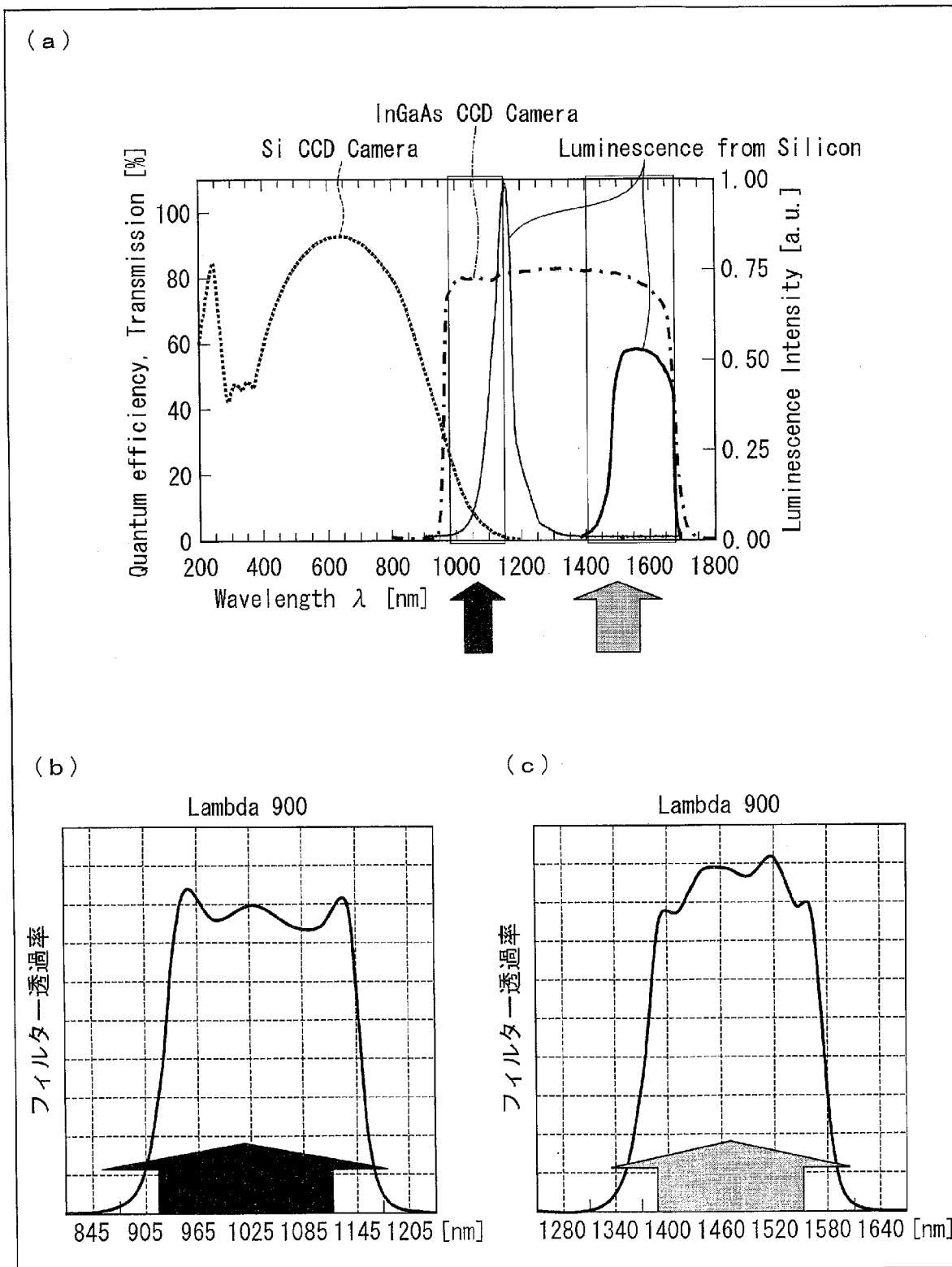
[図9]



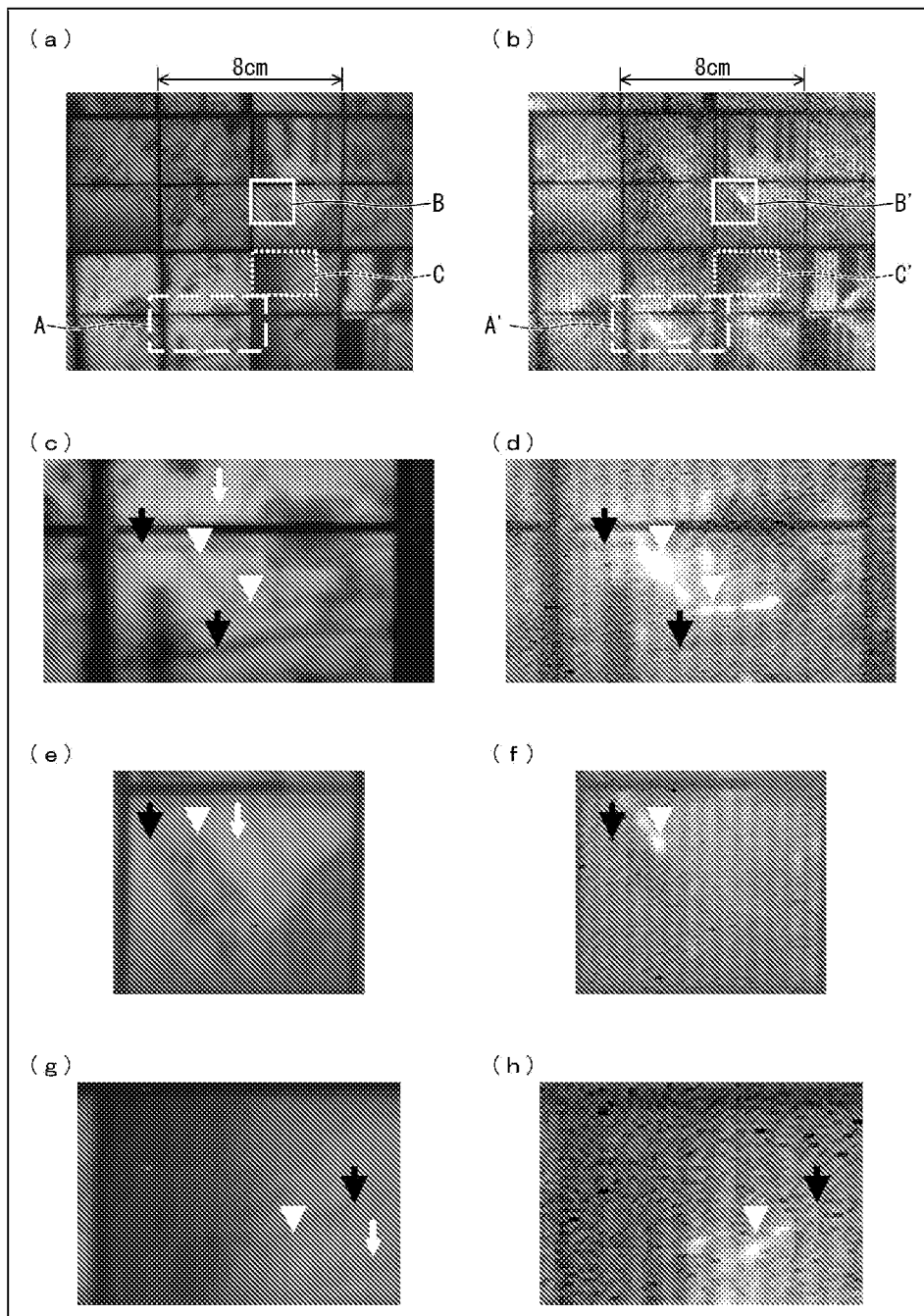
[図10]



[図11]



[図12]



**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No.

PCT/JP2010/063073

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**

G01R31/26(2006.01) i, G01M11/00(2006.01) i, H01L31/04(2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

**B. FIELDS SEARCHED**

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G01R31/26, G01M11/00, H01L31/04

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2010
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2010	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2010

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

JSTPlus/JMEDPlus/JST7580 (JDreamII)

**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 2006/059615 A1 (Nara Institute of Science and Technology), 08 June 2006 (08.06.2006), paragraphs [0072] to [0098]; fig. 3, 6, 10 & US 2008/0088829 A1 & EP 1840541 A1 & CN 101069072 A	1-22
A	WO 2007/129585 A1 (Nara Institute of Science and Technology), 15 November 2007 (15.11.2007), paragraphs [0041] to [0043] & US 2009/0127448 A1 & DE 112007001071 T	1-22
A	JP 2009-164165 A (Nisshinbo Holdings Inc.), 23 July 2009 (23.07.2009), paragraphs [0030] to [0033], [0038] & WO 2009/084702 A1	1-22

Further documents are listed in the continuation of Box C.

See patent family annex.

\* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search  
24 August, 2010 (24.08.10)

Date of mailing of the international search report  
07 September, 2010 (07.09.10)

Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No.

PCT/JP2010/063073

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2006-73572 A (Oki Electric Industry Co., Ltd.), 16 March 2006 (16.03.2006), paragraph [0032] (Family: none)	1-22

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))  
 Int.Cl. G01R31/26(2006.01)i, G01M11/00(2006.01)i, H01L31/04(2006.01)i

B. 調査を行った分野  
 調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))  
 Int.Cl. G01R31/26, G01M11/00, H01L31/04

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの  
 日本国実用新案公報 1922-1996年  
 日本国公開実用新案公報 1971-2010年  
 日本国実用新案登録公報 1996-2010年  
 日本国登録実用新案公報 1994-2010年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)  
 JSTPlus/JMEDPlus/JST7580(JDreamII)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	WO 2006/059615 A1 (国立大学法人奈良先端科学技術大学院大学) 2006.06.08, [0072]-[0098]、図3, 6, 10 & US 2008/008829 A1 & EP 1840541 A1 & CN 101069072 A	1-22
A	WO 2007/129585 A1 (国立大学法人奈良先端科学技術大学院大学) 2007.11.15, [0041]-[0043] & US 2009/0127448 A1 & DE 112007001071 T	1-22
A	JP 2009-164165 A (日清紡ホールディングス株式会社) 2009.07.23, 【0030】-【0033】、【0038】 & WO 2009/084702 A1	1-22
A	JP 2006-73572 A (沖電気工業株式会社) 2006.03.16, 【0032】 (ファミリーなし)	1-22

☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。

☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー	の日の後に公表された文献
「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的な技術水準を示すもの	「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの	「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)	「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献	「&」 同一パテントファミリー文献
「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願	

国際調査を完了した日  
 24.08.2010

国際調査報告の発送日  
 07.09.2010

国際調査機関の名称及びあて先  
 日本国特許庁 (ISA/JP)  
 郵便番号100-8915  
 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)  
 菅藤 政明  
 電話番号 03-3581-1101 内線 3258