

(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  
2019年6月20日(20.06.2019)



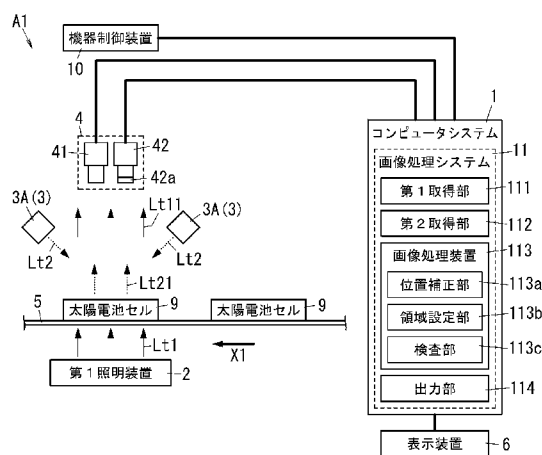
(10) 国際公開番号

WO 2019/117228 A1

- (51) 国際特許分類:  
G01N 21/88 (2006.01) H02S 50/15 (2014.01)  
G06T 1/00 (2006.01)
- (74) 代理人: 特許業務法人北斗特許事務所(HOKUTO PATENT ATTORNEYS OFFICE);  
〒5300001 大阪府大阪市北区梅田一丁目12-17 梅田スクエアビル Osaka (JP).
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2018/045791
- (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, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, 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.
- (22) 国際出願日: 2018年12月13日(13.12.2018)
- (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 2017-238991 2017年12月13日(13.12.2017) JP
- (71) 出願人: パナソニックIPマネジメント株式会社(PANASONIC INTELLECTUAL PROPERTY MANAGEMENT CO., LTD.) [JP/JP]; 〒5406207 大阪府大阪市中央区城見2丁目1番61号 Osaka (JP).
- (72) 発明者: 堀井 俊嗣(HORII, Toshihide).
- (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, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM,

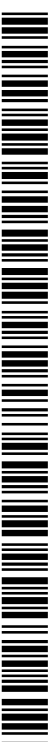
(54) Title: IMAGE PROCESSING SYSTEM, INSPECTION SYSTEM, IMAGE PROCESSING METHOD, AND PROGRAM

(54) 発明の名称: 画像処理システム、検査システム、画像処理方法、及びプログラム



- 1 Computer system
- 2 First illumination device
- 6 Display device
- 9 Solar battery cell
- 10 Apparatus control device
- 11 Image processing system
- 111 First acquisition unit
- 112 Second acquisition unit
- 113 Image processing device
- 113a Position correction unit
- 113b Region setting unit
- 113c Inspection unit
- 114 Output unit

(57) Abstract: The present disclosure addresses the problem of providing an image processing system, an inspection system, an image processing method, and a program with which it is possible to precisely assess cracks in a solar battery cell and to precisely distinguish between cracks and other elements such as unevenness in etching. The image processing system (11) according to the present disclosure is provided with a first acquisition unit (111), a second acquisition unit (112), and an image processing device (113). The first acquisition unit (111) acquires information about a transmission image, which is an image of a solar battery cell (9) created by transmitted light (Lt11) that is transmitted through the solar battery cell (9). The second acquisition unit (112) acquires information about a PL light emission image, which is an image of the solar battery cell (9) formed of emitted light (Lt21) from the solar battery cell (9) that is produced by the radiation of excitation light (Lt2). The image processing device (113) receives the information about the transmission image and the information about the PL light emission image and performs image processing to thereby determine whether a crack has formed in the solar battery cell (9).



WO 2019/117228 A1

ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, 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, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類：

- 一 国際調査報告（条約第21条(3)）

---

(57) 要約：本開示の課題は、太陽電池セルのクラックを精度よく判別し、クラックと、エッチングむらなどの他の要素とを精度よく区別することができる画像処理システム、検査システム、画像処理方法、及びプログラムを提供することである。本開示に係る画像処理システム（11）は、第1取得部（111）と、第2取得部（112）と、画像処理装置（113）と、を備える。第1取得部（111）は、太陽電池セル（9）を透過した透過光（Lt11）による太陽電池セル（9）の画像である透過画像の情報を取得する。第2取得部（112）は、励起光（Lt2）の照射によって生じた太陽電池セル（9）の発光（Lt21）による太陽電池セル（9）の画像であるPL発光画像の情報を取得する。画像処理装置（113）は、透過画像の情報及びPL発光画像の各情報を受け取って画像処理を行うことで、太陽電池セル（9）にクラックが生じているか否かを判定する。

## 明 細 書

発明の名称：

画像処理システム、検査システム、画像処理方法、及びプログラム

### 技術分野

[0001] 本開示は、画像処理システム、検査システム、画像処理方法、及びプログラムに関する。本開示は、より詳しくは、太陽電池セルの画像に基づいて太陽電池セルのクラックを検査するための画像処理システム、検査システム、画像処理方法、及びプログラムに関する。

### 背景技術

[0002] 従来、多結晶シリコンウエハのクラック検査を行うために、種々の検査装置が提案されている。

[0003] 特許文献1の検査装置は、多結晶シリコンウエハの裏面に照射された赤外線透過光による画像、及び多結晶シリコンウエハの表面に照射された赤外線反射光による画像を撮像し、撮像した透過光による画像データと反射光による画像データとを比較する。そして、検査装置は、透過光による画像データと反射光による画像データとの比較結果により、多結晶シリコンウエハの内部クラックの有無を判定する。

[0004] 従来の検査装置では、シリコンウエハ（太陽電池セル）のエッチングむらなどの他の要素をクラックであると誤って判定する場合があります、クラックの検出精度の向上が求められていた。

### 先行技術文献

#### 特許文献

[0005] 特許文献1：特開2007-218638号公報

### 発明の概要

[0006] 本開示は、太陽電池セルの撮像画像に基づいて、太陽電池セルのクラックを精度よく判別し、クラックとエッチングむらなどの他の要素とを精度よく区別することができる画像処理システム、検査システム、画像処理方法、及

びプログラムを提供することを目的する。

[0007] 本開示に係る一形態の画像処理システムは、太陽電池セルの画像に基づいて前記太陽電池セルのクラックを検査するための画像処理システムである。前記画像処理システムは、第1取得部と、第2取得部と、画像処理装置と、を備える。前記第1取得部は、前記太陽電池セルを透過した透過光による前記太陽電池セルの画像である透過画像の情報を取得する。第2取得部は、前記太陽電池セルの発光による前記太陽電池セルの画像である発光画像の情報を取得する。前記画像処理装置は、前記透過画像の情報及び前記発光画像の各情報を受け取って画像処理を行うことで、前記太陽電池セルに前記クラックが生じているか否かを判定する。

[0008] 本開示に係る一形態の検査システムは、撮像ユニットと、第1照明装置と、発光発生装置と、上述の画像処理システムと、を備える。前記撮像ユニットは、太陽電池セルを撮像する。前記第1照明装置は、前記太陽電池セルに照明光を照射して、前記照明光が前記太陽電池セルを透過した透過光を生成する。前記発光発生装置は、前記太陽電池セルの発光を生じさせる。前記撮像ユニットは、前記透過光を受光して透過画像の情報を前記画像処理システムへ出力し、前記発光を受光して発光画像の情報を前記画像処理システムへ出力する。

[0009] 本開示に係る一形態の画像処理方法は、太陽電池セルの画像に基づいて前記太陽電池セルのクラックを検査するための画像処理方法である。前記画像処理方法は、取得ステップと、画像処理ステップと、を備える。前記取得ステップは、前記太陽電池セルを透過した透過光による前記太陽電池セルの画像である透過画像の情報を取得し、前記太陽電池セルの発光による前記太陽電池セルの画像である発光画像の情報を取得する。前記画像処理ステップは、前記透過画像の情報及び前記発光画像の各情報を受け取って画像処理を行うことで、前記太陽電池セルに前記クラックが生じているか否かを判定する。

[0010] 本開示に係る一形態のプログラムは、コンピュータシステムに、上述の画

像処理方法を実行させる。

### 図面の簡単な説明

[0011] [図1]図1は、実施形態の画像処理システムを備える検査システムの構成を示すブロック図である。

[図2]図2は、同上の検査システムを示す概略図である。

[図3]図3は、同上の太陽電池セルの受光面を示す平面図である。

[図4]図4は、同上の太陽電池セルのクラック領域を示す図である。

[図5]図5Aは、同上の太陽電池セルの濃淡画像（透過画像、PL発光画像）を示す図である。図5Bは、同上の濃淡画像を2値化した2値画像を示す図である。

[図6]図6は、同上の位置補正後の補正濃淡画像（補正透過画像、補正PL発光画像）を示す図である。

[図7]図7は、同上の補正濃淡画像における候補領域及び検査領域の設定例を示す図である。

[図8]図8Aは、同上の補正透過画像における検査領域の設定例を示す図である。図8Bは、同上の補正PL発光画像における検査領域の設定例を示す図である。

[図9]図9は、同上のニューラルネットワークを示す概略図である。

[図10]図10は、同上の画像処理方法を示すフローチャートである。

[図11]図11は、同上の検査システムの別構成を示すブロック図である。

[図12]図12は、同上の検査システムの別構成を示すブロック図である。

### 発明を実施するための形態

[0012] 以下に説明する太陽電池セルの検査システムは、コンピュータを用いた画像処理技術により、検査対象に生じているクラックを抽出する画像処理システムを備える。検査対象は、板状に形成された単結晶材料であって、とくに単結晶シリコンが積層された太陽電池セルを想定している。なお、検査対象となる太陽電池セルは、クラックが生じる方向に規則性があれば、単結晶材料であることは必須ではない。

[0013] 図1は、本実施形態の検査システムA1のブロック構成を示す。図2は、検査システムA1の概略構成を示す。検査システムA1は、コンピュータシステム1、第1照明装置2、発光発生装置3（第2照明装置3A）、及び撮像ユニット4を主構成として備える。検査システムA1は、搬送装置5、表示装置6、及び機器制御装置10をさらに備えることが好ましい。そして、検査システムA1は、太陽電池セル9の欠陥検査として、太陽電池セル9のクラック検査を行う。

[0014] 太陽電池セル9は、太陽電池モジュールを構成するセルである。太陽電池セル9は、図3に示すように、四角の板状（例えば、一辺が約125mmの正方形形状）に形成されている。太陽電池セル9には、例えばHIT（Heterojunction with Intrinsic Thin-layer）（登録商標）太陽電池が用いられる。HIT太陽電池は、単結晶シリコン層の両面にアモルファスシリコン層が形成されている。太陽電池セル9の受光面91は、青系統色である。さらに、太陽電池セル9の受光面91には、複数のバスバー電極92が垂直方向（図3の上下方向）に直線的に形成され、複数のフィンガ電極93が水平方向（図3の左右方向）に直線的に形成されている。垂直方向に形成された複数のバスバー電極92は、水平方向に並んでいる。水平方向に形成された複数のフィンガ電極93は、垂直方向に並んでいる。バスバー電極92及びフィンガ電極93は、太陽光によって生成された電流を流す配線であり、銀ペーストまたはアルミニウムペーストなどで形成されており、表面は銀色となる。

[0015] 一般に、太陽電池セル9にクラックが発生している場合、クラックの箇所は暗くなる。また、太陽電池セル9が単結晶シリコン層を具備する場合、単結晶シリコン層に発生するクラックは、クラックが生じる方向に規則性があり、直線状に一定方向にのみ発生する。そこで、太陽電池セル9を撮像した濃淡画像を用いてクラックの有無を判定する欠陥検査では、一般に、画素の濃淡値、方向、及び線のシャープ度合などに基づいて、クラックの有無が判定される。

[0016] 本実施形態の太陽電池セル9は単結晶シリコン層を備えているから、太陽

電池セル9の内部で単結晶シリコン層のへき開の方向にクラックを生じる可能性が高い。特に、太陽電池セル9の単結晶シリコン層は、厚み寸法が500 [ $\mu\text{m}$ ] 以下と薄く、クラック検査は品質保証の観点から有効である。そして、クラックが生じていると判定された太陽電池セル9は、不良品に分類される。なお、へき開とは、結晶学的方向（へき開面の面方向）の一つに沿って単結晶シリコン層などの結晶が割れること又は状態である。また、へき開の方向とは、へき開面の面方向であり、クラックが延びる方向である。例えば、複数のへき開面を有する鉱物は複数のへき開の方向を有し、複数のへき開の方向の少なくとも1つに沿ってクラックが生じる。

[0017] 図4は、太陽電池セル9の受光面91の一部を拡大している。図4では、太陽電池セル9にクラック8が発生しており、クラック8は、単結晶シリコン層のへき開の方向に沿って延びている。クラック8は、直線形状であり、クラック8が延びる方向は、受光面91に平行な面内において、フィンガ電極93が延びる方向（水平方向）に対してほぼ45度（あるいは225度）（第1方向）、または135度（あるいは315度）（第2方向）の角度をなす可能性が高い。したがって、撮像画像において、クラック8が撮像されている領域（クラック領域）も、クラック8と同様に直線形状であり、クラック領域が延びる方向は、水平方向に対してほぼ45度（あるいは225度）または135度（あるいは315度）の角度をなす可能性が高くなる。すなわち、クラック領域を判別するための情報として、濃淡値が変化する方向を用いることができる。

[0018] まず、太陽電池セル9は、搬送装置5によって、第2照明装置3A及び撮像ユニット4の下方、並びに第1照明装置2の上方を、後方から前方に向かう進行方向X1に移動し、第1照明装置2及び第2照明装置3Aによる各照明処理、撮像ユニット4による撮像処理が行われる。

[0019] 搬送装置5は、例えばベルトコンベア装置で構成されている。搬送装置5は、モータ、プーリ、及びコンベアベルトなどを備えており、モータの回転駆動力がプーリなどを介してコンベアベルトに伝達される。コンベアベルト

上に載置された太陽電池セル9は、進行方向X1に進み、予め決められた検査位置（撮像ユニット4の直下）で一旦停止して、クラック検査が行われた後に、進行方向X1に進み、次の太陽電池セル9が検査位置で一旦停止する。コンベアベルト上に載置された太陽電池セル9の受光面91は上方向を向いている。また、搬送装置5の下方に配置されている第1照明装置2の照明光が、検査位置に停止している太陽電池セル9に対して下方から照射されるように、搬送装置5には上下方向に連通する開口が設けられている。

[0020] また、太陽電池セル9が固定されて、第1照明装置2、第2照明装置3A、及び撮像ユニット4が進行方向X1（あるいは進行方向X1の逆方向）に移動する構成でもよい。

[0021] そして、検査システムA1は、検査位置に停止した太陽電池セル9に対して、以下の検査処理を実行する。

[0022] まず、第1照明装置2は、搬送装置5の下方に配置されている。第1照明装置2は、検査位置に停止している太陽電池セル9に対して下方から照明光Lt1を照射する。そして、太陽電池セル9の下面に入射した照明光Lt1は、太陽電池セル9内を透過して、太陽電池セル9の受光面91から透過光Lt11として上方へ出射する。すなわち、第1照明装置2は、太陽電池セル9を透過した光である透過光Lt11を生成するための光源である。照明光Lt1の波長は、太陽電池セル9内を透過する効率が比較的高くなる900-1300nmの範囲内であることが好ましい。本実施形態では、照明光Lt1の波長は950nmであり、照明光Lt1は近赤外線に相当する。なお、透過光Lt11の波長は、照明光Lt1の波長と等しくなる。

[0023] 第2照明装置3Aは、太陽電池セル9の発光を生じさせる発光発生装置3の一形態である。第2照明装置3Aは、搬送装置5の上方に配置されている。第2照明装置3Aは、検査位置に停止している太陽電池セル9に対して上方から励起光Lt2を照射する。そして、励起光Lt2を照射された太陽電池セル9は、フォトルミネッセンス（Photoluminescence：PL）によって光を放出し、発光Lt21を発する。すなわち、第2照明装置3Aは、太陽電池

セル9をPL発光させて、発光Lt21を生成するための光源である。本実施形態において、励起光Lt2の波長は630nmであり、励起光Lt2は赤色光に相当する。そして、太陽電池セル9のPL発光による発光Lt21の波長は、1000-1100nmの範囲内にほぼ収まる。

[0024] なお、図1、図2の検査システムA1は、1つの第1照明装置2、及び2つの第2照明装置3Aを備えているが、第1照明装置2及び第2照明装置3Aの各台数は、特定の数に限定されない。

[0025] 撮像ユニット4は、第1撮像装置41、第2撮像装置42、及びフィルタ42aを備える。第1撮像装置41及び第2撮像装置42は、搬送装置5の上方にそれぞれ配置されている。第1撮像装置41及び第2撮像装置42は、検査位置に停止している太陽電池セル9の受光面91を上方からそれぞれ撮像する。フィルタ42aは第2撮像装置42に設けられている。フィルタ42aは、励起光Lt2を減衰させ、発光Lt21を通過させる。例えば、本実施形態のフィルタ42aは、波長が900nm未満の光を減衰させ、波長が900nm以上の光を通過させる。そして、第2撮像装置42は、フィルタ42aを通過した光を受光して撮像する。第2撮像装置42は、フィルタ42aによって、励起光Lt2の受光量に比べて発光Lt21の受光量を多くすることができる。

[0026] そして、第1撮像装置41及び第2撮像装置42のそれぞれは、白黒の静止画を撮像するカメラであり、1つの太陽電池セル9の全体を撮像範囲内に収めるように配置されている。第1撮像装置41及び第2撮像装置42が撮像した各画像は、濃淡レベルが例えば256段階に設定された濃淡画像である。第1撮像装置41は、濃淡画像の情報を、透過画像の情報としてコンピュータシステム1へ出力する。第2撮像装置42は、濃淡画像の情報を、PL発光画像の情報としてコンピュータシステム1へ出力する。なお、第1撮像装置41及び第2撮像装置42のそれぞれは、カラー画像を撮像するカメラであってもよい。

[0027] 第1照明装置2、第2照明装置3A、第1撮像装置41、第2撮像装置4

2、及び搬送装置5の各動作は、機器制御装置10によって制御される。

[0028] 具体的に、機器制御装置10は、搬送装置5を制御することで、検査対象となる太陽電池セル9をX1方向に移動させて、所定の検査位置にまで移動させる。そして、機器制御装置10は、第1照明装置2を点灯させ、第2照明装置3Aを消灯させているときに、第1撮像装置41に太陽電池セル9の受光面91を撮像させる。この場合、第1撮像装置41は、透過光Lt11を受光して濃淡画像の情報を生成しており、透過光Lt11による濃淡画像の情報を、透過画像の情報としてコンピュータシステム1へ出力する。

[0029] また、機器制御装置10は、第1照明装置2を消灯させ、第2照明装置3Aを点灯させているときに、第2撮像装置42に太陽電池セル9の受光面91を撮像させる。この場合、第2撮像装置42は、発光Lt21を受光して濃淡画像の情報を生成しており、発光Lt21による濃淡画像の情報を、PL発光画像（発光画像）の情報としてコンピュータシステム1へ出力する。

[0030] コンピュータシステム1は、機器制御装置10による第1照明装置2、第2照明装置3A、第1撮像装置41、及び第2撮像装置42の各動作を監視し、透過画像の情報及びPL発光画像の情報を受け取る。なお、コンピュータシステム1が、機器制御装置10の機能を有していてもよい。

[0031] コンピュータシステム1は、画像処理用のプログラムを実行することで、透過画像の情報及びPL発光画像の情報に対して、画像処理を施す。さらに、コンピュータシステム1は、画像処理用のプログラムを実行することで、透過画像の情報及びPL発光画像の情報を用いて太陽電池セル9のクラック検査を行うことが好ましい。

[0032] コンピュータシステム1は、ハードウェアとしてのプロセッサ及びメモリを主構成とする。コンピュータシステム1のメモリ（非一時的記録媒体）に記録されたプログラム（画像処理用のプログラム）をプロセッサが実行することによって、本開示における後述の画像処理システム11の機能が実現される。プログラムは、コンピュータシステム1のメモリに予め記録されていてもよいが、電気通信回線を通じて提供されてもよいし、コンピュータシス

テム1で読み取り可能なメモリカード、光学ディスク、ハードディスクドライブ等の非一時的記録媒体に記録されて提供されてもよい。コンピュータシステム1のプロセッサは、半導体集積回路（IC）又は大規模集積回路（LSI）を含む1乃至複数の電子回路で構成される。複数の電子回路は、1つのチップに集約されていてもよいし、複数のチップに分散して設けられていてもよい。複数のチップは、1つの装置に集約されていてもよいし、複数の装置に分散して設けられていてもよい。

[0033] そして、コンピュータシステム1は、画像処理用のプログラムを実行することで画像処理システム11として機能する。

[0034] 画像処理システム11は、第1取得部111、第2取得部112、画像処理装置113、及び出力部114を備えており、検査対象の太陽電池セル9にクラック8が生じているか否かを判定する。

[0035] まず、第1取得部111は、第1撮像装置41から透過画像の情報を受け取る。第2取得部112は、第2撮像装置42からPL発光画像の情報を受け取る。そして、画像処理装置113は、第1取得部111から透過画像の情報を受け取り、第2取得部112からPL発光画像の情報を受け取る。

[0036] 画像処理装置113は、位置補正部113a、領域設定部113b、及び検査部113cを備える。

[0037] 位置補正部113aは、透過画像及びPL発光画像のそれぞれについて、位置補正処理を行う。位置補正処理は、コンピュータシステム1が生成した仮想的な二次元空間における透過画像及びPL発光画像に対してそれぞれ施される。本実施形態の位置補正処理では、透過画像において太陽電池セル9が写っている領域、及びPL発光画像において太陽電池セル9が写っている領域の各向きが基準方向になるように、座標変換処理が行われる。なお、透過画像及びPL発光画像の各位置補正処理の内容は同一であるので、以下の説明では、透過画像及びPL発光画像のそれぞれの位置補正処理として、図5Aに示す濃淡画像G1の位置補正処理について説明する。つまり、以下の説明における濃淡画像G1を透過画像と読み替えれば、透過画像の位置補正

処理に相当し、濃淡画像G1をPL発光画像と読み替えれば、PL発光画像の位置補正処理に相当する。

[0038] 濃淡画像G1には、太陽電池セル9が写っており、濃淡画像G1において、太陽電池セル9が写っている領域をセル領域71とする。セル領域71は、太陽電池セル9と同様に、ほぼ四角形状になる。

[0039] 位置補正部113aは、太陽電池セル9の濃淡画像G1からセル領域71の四隅の位置を抽出する。位置補正部113aは、濃淡画像G1に対して微分処理または二値化処理を施して、濃淡画像G1内のセル領域71を抽出する。そして、位置補正部113aは、セル領域71の四隅の位置に位置補正用の4個の点P1、P2、P3、P4をそれぞれ配置する。

[0040] 例えば、位置補正部113aは、セル領域71の外周を囲む4辺を抽出しやすいうように、濃淡画像G1の各画素の濃淡値を2値化した2値画像G2（図5B参照）を用いて4個の点P1、P2、P3、P4の位置を定める。点P1、P2、P3、P4は、2値画像G2におけるセル領域72（濃淡画像G1のセル領域71に対応する領域）の外周を囲む4辺のうちのフィンガ電極93と平行である2辺と、フィンガ電極93に直交する2辺とを延長して求めた交点である。位置補正部113aは、2値画像G2において4個の点P1、P2、P3、P4の座標を抽出すると、濃淡画像G1において4個の点P1、P2、P3、P4を2値画像G2と同じそれぞれの座標に配置する。そして、位置補正部113aは、濃淡画像G1の4個の点P1、P2、P3、P4を頂点とする四角形が基準方向を向くように、濃淡画像G1内の各画素の座標変換を行う。このとき、位置補正部113aは、濃淡画像G1の4個の点P1、P2、P3、P4のうち予め決められた1つ以上の点を、基準座標に一致させる。

[0041] 上述の濃淡画像G1に施された位置補正処理が透過画像に施されることで、透過画像におけるセル領域71を基準方向に向けることができる。また、上述の濃淡画像G1に施された位置補正処理がPL発光画像に施されることで、PL発光画像におけるセル領域71を基準方向に向けることができる。

言い換えると、位置補正部 113a は、仮想的な 2 次元空間に透過画像及び PL 発光画像を生成した場合に、2 次元空間の 0° 方向または 180 度方向に沿ってフィンガ電極 93 の撮像領域が延びるように、座標変換処理を行う。この結果、透過画像のセル領域 71 及び PL 発光画像のセル領域 71 の各向きは同一の所定方向を向いており、位置補正処理が行われなかった場合に比べて、領域設定部 113b による後述の候補領域 80 及び検査領域 81 の抽出処理の精度が向上する。

[0042] また、太陽電池セル 9 に対する第 1 撮像装置 41 の相対位置と、太陽電池セル 9 に対する第 2 撮像装置 42 の相対位置とが異なっていても、仮想的な二次元空間における透過画像内のセル領域 71 及び PL 発光画像内のセル領域 71 の各座標が一致（ほぼ一致）する。

[0043] 位置補正部 113a は、上述の位置補正処理を濃淡画像 G1 に施すことによって、図 6 に示す補正濃淡画像 G3 を生成する。なお、濃淡画像 G1 が透過画像である場合、補正濃淡画像 G3 は補正透過画像に相当する。濃淡画像 G1 が PL 発光画像である場合、補正濃淡画像 G3 は補正 PL 発光画像に相当する。

[0044] 領域設定部 113b は、補正濃淡画像 G3（補正透過画像及び補正 PL 発光画像）に鮮鋭化処理を施すことで、クラックが生じている可能性がある候補領域 80 を定め、さらに候補領域 80 を囲む検査領域 81 を定める。

[0045] 太陽電池セル 9 にクラック 8 が生じている場合、補正濃淡画像 G3 において候補領域 80 が延びる方向は、仮想的な二次元空間における 45 度（225 度）あるいは 135 度（315 度）の方向になる。そこで、領域設定部 113b は、補正濃淡画像 G3 内の濃淡値が変化する方向を評価して、仮想的な二次元空間において 45 度あるいは 135 度の方向に延びている候補領域 80 を抽出する。領域設定部 113b は、濃淡値が変化する方向を評価するために、2 次元のウェーブレット（Wavelet）フィルタ、好ましくは 2 次元のガボール（Gabor）フィルタを用いている。

[0046] 2 次元のガボールフィルタは、ガボール関数で表されるカーネルを用いる

空間フィルタである。ガボール関数は、正弦関数および余弦関数で表される調和関数とガウス関数との積である。したがって、ガボールフィルタはパラメータに角度（角度パラメータ）を含んでいる。ガボールフィルタのカーネルは  $n$  画素  $\times$   $n$  画素であり、 $n$  は 5 以上 256 以下程度の適宜の範囲で選択される。

[0047] 補正濃淡画像 G 3 に対してガボールフィルタを適用する場合、2次元のガボールフィルタが補正濃淡画像 G 3 の一部に重ねられる。次に、ガボールフィルタと補正濃淡画像 G 3 とが重なった領域で、画素ごとに、補正濃淡画像 G 3 の濃淡値とガボールフィルタの信号値とが乗算され、ガボールフィルタと補正濃淡画像 G 3 とが重なった領域のすべての画素についての乗算値の合計が求められる。このようにして求められた乗算値の合計が、カーネルの中心の画素値になる。すなわち、ガボールフィルタによる濃淡画像の畳み込みが行われる。そのため、カーネルのサイズを決める  $n$  の値は奇数であることが望ましい。補正濃淡画像 G 3 においてガボールフィルタが重なる領域の濃淡値の変化と、ガボールフィルタのパラメータとが所定の関係であるときに、畳み込み演算後の信号値は大きい値になる。畳み込み演算後の信号値を、ガボールフィルタの反応とみなすと、補正濃淡画像 G 3 における濃淡値の変化とガボールフィルタのパラメータとが所定の関係であるときに、ガボールフィルタの反応が強くなると言える。

[0048] 領域設定部 113b は、角度パラメータを 45 度および 135 度に設定したガボールフィルタを、位置補正後の補正濃淡画像 G 3 内で走査し、ガボールフィルタを重ねた位置ごとに、ガボール関数による畳み込み演算を行う。すなわち、領域設定部 113b は、補正濃淡画像 G 3 に対してガボールウェーブレット変換を行う。ガボールウェーブレット変換が施された補正濃淡画像 G 3 では、濃淡値の変化によって 45 度あるいは 135 度の方向に延びていることを表す領域が強調される。ここに、領域設定部 113b が用いるガボールフィルタのカーネルは、補正濃淡画像 G 3 より小さい。領域設定部 113b は、例えば 41 画素  $\times$  41 画素程度のサイズのガボールフィルタを

用いる。

- [0049] なお、単結晶シリコンのへき開の方向は、水平方向に対して45度または135度である。そこで、ガボールフィルタの角度パラメータを45度および135度に設定する。この結果、補正濃淡画像G3での濃淡値の変化が、へき開の方向に直交する方向で大きくなる。
- [0050] ガボールフィルタを走査する際に、ガボールフィルタを1回移動させる距離は、ガボールフィルタの1辺の画素数よりも小さく設定される。ガボールフィルタを1回移動させる距離は、最小では1画素でもよい。ガボールフィルタを1回移動させる距離が大きくなるほど、走査に要する時間は短縮されるが、候補領域を見落とす確率が高くなる。そこで、ガボールフィルタを1回移動させる距離は、時間と精度との関係で適宜に決められる。
- [0051] そして、領域設定部113bは、ガボールウェーブレット変換を施した補正濃淡画像G3に2値化処理及び微分処理の少なくとも一方をさらに施して、鮮鋭化画像を生成する。鮮鋭化画像では、濃淡値の変化によって45度あるいは135度の方向に延びていることを表す領域がクラックの候補領域としてさらに強調される。
- [0052] 図7は、補正濃淡画像G3にガボールウェーブレット変換を施した後に二値化処理をさらに施した鮮鋭化画像G4（二値画像）の一部を示す。図7では、鮮鋭化画像G4のセル領域73（濃淡画像G1のセル領域71に対応する領域）において、45度あるいは135度の方向に延びているクラックの候補となる暗画素または明画素の画素群が、候補領域80として強調されている。鮮鋭化画像G4では、複数の候補領域80が存在していてもよい。
- [0053] そして、領域設定部113bは、鮮鋭化画像G4において、候補領域80に外接する外接矩形D1（図7参照）を設定する。候補領域80に外接する外接矩形D1は、鮮鋭化画像G4において二次元空間の0度（または180度）方向、及び90度（または270度）方向とそれぞれ平行な辺を持つように設定される。候補領域80を構成する全ての画素が連結しているとは限らず、画素間に数画素程度の間隙があってもよい。

- [0054] そして、領域設定部 113b は、鮮鋭化画像 G4 における外接矩形 D1 を、補正濃淡画像 G3（補正透過画像及び補正 PL 発光画像）に適用する。つまり、領域設定部 113b は、鮮鋭化画像 G4 において外接矩形 D1 が位置する座標と、補正濃淡画像 G3 において外接矩形 D1 が位置する座標とを同一座標とする。そして、領域設定部 113b は、補正濃淡画像 G3 において外接矩形 D1 内の領域を検査領域 81 に設定する。
- [0055] すなわち、補正濃淡画像 G3 が補正透過画像である場合、補正透過画像に検査領域 81 が設定される。また、補正濃淡画像 G3 が補正 PL 発光画像である場合、補正 PL 発光画像に検査領域 81 が設定される。そして、検査領域 81 が設定された補正透過画像、及び検査領域 81 が設定された補正 PL 発光画像は、検査部 113c に引き渡される。
- [0056] 検査部 113c は、補正透過画像の検査領域 81、及び補正 PL 発光画像の検査領域 81 に対して認識アルゴリズムを実行することで、検査対象である太陽電池セル 9 にクラック 8 が生じているか否かを判定する。
- [0057] 図 8A は、補正濃淡画像 G3 として補正透過画像 G3a の一部を示しており、セル領域 71a（濃淡画像 G1 のセル領域 71 に対応する領域）に候補領域 80a が写っており、候補領域 80a を含む検査領域 81a が設定されている。図 8B は、補正濃淡画像 G3 として補正 PL 発光画像 G3b の一部を示しており、セル領域 71b（濃淡画像 G1 のセル領域 71 に対応する領域）に候補領域 80b が写っており、候補領域 80b を含む検査領域 81b が設定されている。補正透過画像 G3a 及び補正 PL 発光画像 G3b には、太陽電池セル 9 のエッチングむら、エッチングの模様、表面膜の擦過痕、及び汚れなどがノイズとしてそれぞれ写っている。しかしながら、補正透過画像 G3a と補正 PL 発光画像 G3b とを比較すると、ノイズの量、及び分布などのノイズ濃度が互いに異なる。例えば、補正透過画像 G3a では、太陽電池セル 9 のエッチングむら、及びエッチングの模様によるノイズが写りやすい。また、補正 PL 発光画像 G3b では、表面膜の擦過痕によるノイズが写りやすい。

[0058] そこで、本実施形態の検査部113cは、ノイズ濃度が互いに異なる補正透過画像G3a及び補正PL発光画像G3bを用いて、太陽電池セル9にクラック8が生じているか否かを判定する。この結果、検査部113cは、補正透過画像G3a及び補正PL発光画像G3bの各特徴を利用、又は補完することによって、クラック検査の判定精度を従来に比べて向上させることができる。すなわち、検査部113cは、太陽電池セル9の撮像画像に基づいて、太陽電池セル9のクラック8を精度よく判別し、クラック8と他の要素（ノイズ）とを精度よく区別することができる。他の要素には、エッチングむら、エッチング模様、表面膜の擦過痕、及び汚れなどがある。

[0059] 本実施形態において、検査部113cは、機械学習、特にディープラーニング（Deep Learning）によって構築された認識アルゴリズムを実行することが好ましい。ディープラーニングによって構築された認識アルゴリズムは、予め、多層構造のニューラルネットワークを用いて、クラック8が生じている太陽電池セル9の透過画像及びPL発光画像、クラック8が生じていない太陽電池セル9の透過画像及びPL発光画像などの各データを学習モデルとするディープラーニングによって構築される。そして、膨大な数の学習モデル用いたディープラーニングによって、補正透過画像G3a、及び補正PL発光画像G3bにそれぞれ写っている候補領域80a、80bがクラック8に対応するか否か（すなわち、太陽電池セル9にクラック8が生じているか否か）を判定するための特徴量が抽出され、認識アルゴリズムが構築される。検査部113cは、ディープラーニングによる認識アルゴリズムを実行することで、クラック検査処理の精度がより向上する。

[0060] 例えば、検査部113cは、図9に示すニューラルネットワークNN1を実装されている。この場合、ニューラルネットワークNN1に、検査領域81aが設定された補正透過画像G3a、及び検査領域81bが設定された補正PL発光画像G3bの各情報が入力される。したがって、検査部113cは、複数のニューラルネットワークを実装される場合に比べて、簡易な構成になる。

- [0061] ニューラルネットワークNN1は、畳み込み層101、102、プーリング層103、104、結合層105、インセプションモジュール106、結合層107、及び全結合層108を備える畳み込みニューラルネットワーク(Convolutional Neural Network)である。
- [0062] 畳み込み層101は、検査領域81aが設定された補正透過画像G3aの情報を入力されて、補正透過画像G3aの検査領域81aとクラック8の特徴を表す画像パッチとの畳み込み演算を行う畳み込みフィルタである。畳み込み層101による畳み込み演算の結果は、検査領域81aと同一サイズのデータとして、畳み込み層101から出力される。畳み込み層102は、検査領域81bが設定された補正PL発光画像G3bを入力されて、補正PL発光画像G3bの検査領域81bとクラック8の特徴を表す画像パッチとの畳み込み演算を行う畳み込みフィルタである。畳み込み層102による畳み込み演算の結果は、検査領域81bと同一サイズのデータとして、畳み込み層102から出力される。
- [0063] プーリング層103は、畳み込み層101が出力したデータを縮小し、プーリング層104は、畳み込み層102が出力したデータを縮小する。結合層105は、プーリング層103、104の各出力を、インセプションモジュール106へ引き渡す。インセプションモジュール106では、複数の畳み込みフィルタを並列に設けて、複数の畳み込みフィルタのそれぞれが畳み込み演算を行う。結合層107は、インセプションモジュール106の各出力を、全結合層108へ引き渡す。
- [0064] 全結合層108は、インセプションモジュール106の各出力に基づいて、検査領域81a、81bに写っている候補領域80a、80bが、太陽電池セル9のクラック8に対応するか否か（すなわち、太陽電池セル9にクラック8が生じているか否か）を判定する。
- [0065] 画像処理システム11は出力部114を備えている。出力部114は、クラック検査の結果として、検査部113cの判定結果、クラック8に対応する候補領域80の箇所が示された太陽電池セル9の画像、及び判定過程など

の各情報を含む画像データを作成し、表示装置6へ出力する。表示装置6は、受信した画像データに基づいて、クラック検査の結果を表示する。表示装置6は、液晶表示器、有機EL表示器(EL:Electroluminescence)、及びCRT(Cathode Ray Tube)などのいずれかである。

[0066] また、検査部113cは、検査領域81aが設定された補正透過画像G3aの情報が入力される第1ニューラルネットワーク、及び検査領域81bが設定された補正PL発光画像G3bの各情報が入力される第2ニューラルネットワークを備えていてもよい。この場合、検査部113cは、第1ニューラルネットワークの判定結果、及び第2ニューラルネットワークの判定結果に基づいて、1つの判定結果を作成して出力する最終判定部を有する。最終判定部は、ニューラルネットワークでもよいし、2入力の論理演算を行う演算器であってもよい。

[0067] また、検査部113cは、サポートベクターマシン(Support Vector Machine:SVM)を実装していてもよい。サポートベクターマシンは、検査領域81aが設定された補正透過画像G3a、及び検査領域81bが設定された補正透過画像G3bの各情報を入力される。そして、サポートベクターマシンは、候補領域80a、80bが、太陽電池セル9のクラック8に対応するか否かを判定する。なお、検査部113cは、検査領域81aが設定された補正透過画像G3a、及び検査領域81bが設定された補正透過画像G3bの各特徴量を予め求め、これらの特徴量をサポートベクターマシンに入力することが好ましい。

[0068] 上述の画像処理システム11による画像処理方法をまとめると、図10のフローチャートのようなになる。

[0069] まず、第1取得部111は、第1撮像装置41から透過画像の情報を受け取る。第2取得部112は、第2撮像装置42からPL発光画像の情報を受け取る。すなわち、画像処理システム11は、透過画像の情報及びPL発光画像の情報を受け取る(ステップS1)。そして、画像処理システム11は、上述の画像処理装置113(位置補正部113a、領域設定部113b、

及び検査部 1 1 3 c) による画像処理を実行する (ステップ S 2)。

[0070] また、図 1 1 に示す検査システム A 2 のように、撮像ユニット 4 が、第 2 撮像装置 4 2 及びフィルタ 4 2 a を備え、第 1 撮像装置 4 1 を備えていない構成であってもよい。この場合、フィルタ 4 2 a は、透過光 L t 1 1 及び発光 L t 2 1 を通過させ、励起光 L t 2 を減衰させる。検査システム A 2 は、検査システム A 1 に比べて、撮像装置の数を減らすことができ、低コスト化、及びシステム構成の簡略化を図ることができる。

[0071] また、図 1 2 に示す検査システム A 3 では、太陽電池セル 9 の発光を生じさせる発光発生装置 3 の別形態として、電源装置 3 B を備えている。電源装置 3 B は、太陽電池セル 9 に電力を供給して、太陽電池セル 9 に順方向の電流を流す。順方向の電流を供給された太陽電池セル 9 は、エレクトロルミネッセンス (Electroluminescence : EL) によって光を放出し、発光 L t 3 1 を発する。すなわち、電源装置 3 B は、太陽電池セル 9 を EL 発光させて、発光 L t 3 1 を生成する。

[0072] そして、機器制御装置 1 0 は、搬送装置 5 を制御することで、検査対象となる太陽電池セル 9 を X 1 方向に移動させて、所定の検査位置にまで移動させる。そして、機器制御装置 1 0 は、第 1 照明装置 2 を消灯させているときに、電源装置 3 B から太陽電池セル 9 に電力を供給させ、第 2 撮像装置 4 2 に太陽電池セル 9 の受光面 9 1 を撮像させる。この場合、第 2 撮像装置 4 2 は、発光 L t 3 1 を受光して濃淡画像の情報を生成しており、発光 L t 3 1 による濃淡画像の情報を、EL 発光画像 (発光画像) の情報としてコンピュータシステム 1 へ出力する。なお、検査システム A 3 では、フィルタ 4 2 a (図 1 参照) を備える必要がない。

[0073] コンピュータシステム 1 は、上述の PL 発光画像の情報と同様に、EL 発光画像の情報に対して画像処理を施す。EL 発光画像の情報に対して施される画像処理の内容は、PL 発光画像の情報に対して施される画像処理の内容と同じであるので、説明は省略する。

[0074] したがって、検査システム A 3 も、太陽電池セル 9 の撮像画像に基づいて

、太陽電池セル9のクラック8を精度よく判別できる。そして、検査システムA3は、クラック8と、エッチングむら、エッチング模様、表面膜の擦過痕、及び汚れなどの他の要素（ノイズ）とを精度よく区別することができる。

[0075] 上述の実施形態に係る第1の態様の画像処理システム(11)は、太陽電池セル(9)の画像に基づいて太陽電池セル(9)のクラック(8)を検査するための画像処理システムである。画像処理システム(11)は、第1取得部(111)と、第2取得部(112)と、画像処理装置(113)と、を備える。第1取得部(111)は、太陽電池セル(9)を透過した透過光(Lt11)による太陽電池セル(9)の画像である透過画像(濃淡画像G1)の情報を取得する。第2取得部(112)は、太陽電池セル(9)の発光(Lt21またはLt31)による太陽電池セル(9)の画像である発光画像(濃淡画像G1)の情報を取得する。画像処理装置(113)は、透過画像の情報及び発光画像の各情報を受け取って画像処理を行うことで、太陽電池セル(9)にクラック(8)が生じているか否かを判定する。

[0076] したがって、画像処理システム(11)は、太陽電池セル(9)の撮像画像に基づいて、太陽電池セル(9)のクラック(8)を精度よく判別できる。そして、画像処理システム(11)は、クラック(8)と、エッチングむら、エッチング模様、表面膜の擦過痕、汚れなどの他の要素（ノイズ）とを精度よく区別することができる。

[0077] また、実施形態に係る第2の態様の画像処理システム(11)では、第1の態様において、前記発光画像は、励起光(Lt2)の照射によって発光している太陽電池セル(9)が撮像されたPL発光画像(濃淡画像G1)であることが好ましい。

[0078] したがって、画像処理システム(11)は、太陽電池セル(9)の撮像画像に基づいて、太陽電池セル(9)のクラック(8)を精度よく判別できる。そして、画像処理システム(11)は、クラック(8)と他の要素とを精度よく区別することができる。

[0079] また、実施形態に係る第3の態様の画像処理システム(11)では、第1の態様において、前記発光画像は、電流を供給されて発光している太陽電池セル(9)が撮像されたEL発光画像(濃淡画像G1)であることが好ましい。

[0080] したがって、画像処理システム(11)は、太陽電池セル(9)の撮像画像に基づいて、太陽電池セル(9)のクラック(8)を精度よく判別できる。そして、画像処理システム(11)は、クラック(8)と他の要素とを精度よく区別することができる。

[0081] また、実施形態に係る第4の態様の画像処理システム(11)では、第1乃至第3のいずれか一つの態様において、透過画像及び発光画像はそれぞれ濃淡画像である。そして、画像処理装置(113)は、位置補正部(113a)と、領域設定部(113b)と、検査部(113c)と、を備えることが好ましい。位置補正部(113a)は、透過画像において太陽電池セル(9)が写っているセル領域(71)、及び発光画像において太陽電池セル(9)が写っているセル領域(71)のそれぞれが所定方向に向くように、透過画像及び発光画像を補正する位置補正処理を行う。位置補正部(113a)は、位置補正処理が施された透過画像である補正透過画像(G3a)、及び位置補正処理が施された発光画像である補正発光画像(例えば補正PL発光画像G3b)を生成する。領域設定部(113b)は、補正透過画像(G3a)及び補正発光画像において、クラック(8)が写っていると推定される検査領域(81a, 81b)の情報をそれぞれ生成する。検査部(113c)は、検査領域(81a, 81b)がそれぞれ設定された補正透過画像(G3a)及び補正発光画像に基づいて、太陽電池セル(9)にクラック(8)が生じているか否かを判定する。

[0082] なお、前記位置補正処理における前記所定方向は、基準方向である。基準方向は、透過画像及び発光画像が生成される仮想的な2次元空間において、予め決められた1つの方向である。

[0083] したがって、画像処理システム(11)は、位置補正部(113a)によ

って位置補正処理が行われるので、位置補正処理が行われなかった場合に比べて、領域設定部（113b）による検査領域（81a, 81b）の抽出処理の精度が向上する。この結果、検査部（113c）による検査精度も向上する。

[0084] また、実施形態に係る第5の態様の画像処理システム（11）では、第4の態様において、検査部（113c）は、検査領域（81a, 81b）がそれぞれ設定された補正透過画像（G3a）及び補正発光画像に対して、機械学習によって構築された認識アルゴリズムを実行することで、太陽電池セル（9）にクラック（8）が生じているか否かを判定することが好ましい。

[0085] したがって、画像処理システム（11）は、機械学習によって構築された認識アルゴリズムを実行することで、クラック検査処理の精度がより向上する。

[0086] また、実施形態に係る第6の態様の画像処理システム（11）では、第5の態様において、機械学習は、ディープラーニングであることが好ましい。そして、検査部（113c）は、ディープラーニングによって構築された認識アルゴリズムを実行するニューラルネットワーク（NN1）を有する。

[0087] したがって、画像処理システム（11）は、ディープラーニングによって構築された認識アルゴリズムを実行することで、クラック検査処理の精度がより向上する。

[0088] また、実施形態に係る第7の態様の画像処理システム（11）では、第6の態様において、ニューラルネットワーク（NN1）は、2つの畳み込み層（101, 102）を有することが好ましい。2つの畳み込み層（101, 102）は、検査領域（81a, 81b）がそれぞれ設定された補正透過画像（G3a）及び補正発光画像の各情報を入力される。

[0089] したがって、画像処理システム（11）は、同一のニューラルネットワーク（NN1）に補正透過画像（G3a）及び補正発光画像の各情報が入力される。この結果、画像処理システム（11）は、補正透過画像（G3a）及び補正発光画像がそれぞれ入力される2つのニューラルネットワークを用い

る場合に比べて、簡易な構成になる。

[0090] また、実施形態に係る第8の態様の画像処理システム(11)では、第4乃至第7の態様のいずれか一つにおいて、領域設定部(113b)は、鮮鋭化処理を行うことで、補正透過画像(G3a)及び補正発光画像から検査領域(81a, 81b)をそれぞれ抽出することが好ましい。前記鮮鋭化処理は、補正透過画像(G3a)及び補正発光画像のそれぞれにおいて太陽電池セル(9)のへき開の方向に沿って延びるエッジを強調する。

[0091] なお、へき開の方向は、太陽電池セル(9)のへき開面の面方向である。又は、へき開の方向は、太陽電池セル(9)のクラックが延びる方向である。又は、へき開の方向は、太陽電池セル(9)の一表面(本実施形態では受光面)における太陽電池セル9の1又は複数のへき開面の1又は複数の端縁(本実施形態では2つの端縁)が延びる方向である。例えば、へき開の方向は、一方向に対して45度、225度、135度及び315度の少なくとも1つの方向を含む。

[0092] したがって、画像処理システム(11)は、鮮鋭化処理によって、太陽電池セル(9)のへき開の方向に沿って延びるエッジを精度よく検出でき、検査領域(81a, 81b)の各抽出精度も向上する。

[0093] また、実施形態に係る第9の態様の画像処理システム(11)では、第8の態様において、太陽電池セル(9)のへき開の方向は、互いに直交する第1方向(0度方向または180度方向)及び第2方向(90度方向または270度方向)であることが好ましい。

[0094] したがって、画像処理システム(11)は、単結晶シリコンなどの単結晶材料を用いた太陽電池セル(9)のクラック(8)を精度よく検査できる。

[0095] また、実施形態に係る第10の態様の画像処理システム(11)では、第8または第9の態様において、領域設定部(113b)は、ウェーブレットフィルタを用いて前記鮮鋭化処理を行うことが好ましい。

[0096] したがって、画像処理システム(11)は、候補領域(80)を精度よく検出できる。

[0097] また、実施形態に係る第11の態様の検査システム(A1, A2, A3)は、撮像ユニット(4)と、第1照明装置(2)と、発光発生装置(3)と、第1乃至第10の態様のいずれか一つの画像処理システム(11)と、を備える。撮像ユニット(4)は、太陽電池セル(9)を撮像する。第1照明装置(2)は、太陽電池セル(9)に照明光(Lt1)を照射して、照明光(Lt1)が太陽電池セル(9)を透過した透過光(Lt11)を生成する。発光発生装置(3)(第2照明装置3Aまたは電源装置3B)は、太陽電池セル(9)の発光(Lt21またはLt31)を生じさせる。そして、撮像ユニット(4)は、透過光(Lt11)を受光して透過画像の情報を画像処理システム(11)へ出力し、発光を受光して発光画像の情報を画像処理システム(11)へ出力する。

[0098] したがって、検査システム(A1, A2, A3)は、太陽電池セル(9)の撮像画像に基づいて、太陽電池セル(9)のクラック(8)を精度よく判別できる。そして、検査システム(A1, A2, A3)は、クラック(8)と、エッチングむら、エッチング模様、表面膜の擦過痕、汚れなどの他の要素(ノイズ)とを精度よく区別することができる。

[0099] また、実施形態に係る第12の態様の検査システム(A1, A2)では、第11の態様において、発光発生装置(3)は、太陽電池セル(9)に励起光(Lt2)を照射して、フォトルミネッセンスによって太陽電池セルの発光(Lt21)を生じさせる第2照明装置(3A)であることが好ましい。発光画像はPL発光画像である。

[0100] したがって、検査システム(A1, A2)は、太陽電池セル(9)の撮像画像に基づいて、太陽電池セル(9)のクラック(8)を精度よく判別できる。そして、検査システム(A1, A2)は、クラック(8)と他の要素とを精度よく区別することができる。

[0101] また、実施形態に係る第13の態様の検査システム(A1)では、第12の態様において、撮像ユニット(4)は、第1撮像装置(41)と、フィルタ(42a)と、第2撮像装置(42)と、を有することが好ましい。第1

撮像装置（４１）は、透過光（ $L t 1 1$ ）を受光して透過画像の情報を画像処理システム（１１）へ出力する。フィルタ（４２ a）は、発光（ $L t 2 1$ ）を通過させ、励起光（ $L t 2$ ）を減衰させる。第２撮像装置（４２）は、フィルタ（４２ a）を介して発光（ $L t 2 1$ ）を受光してPL発光画像の情報を画像処理システム（１１）へ出力する。

[0102] したがって、検査システム（A 1）は、透過画像の撮像に適した第１撮像装置（４１）、及びPL発光画像の撮像に適した第２撮像装置（４２）を備えることができるので、高画質の撮像画像を生成できる。

[0103] また、実施形態に係る第１４の態様の検査システム（A 2）では、第１２の態様において、撮像ユニット（４）は、１つの撮像装置（４２）と、透過光（ $L t 1 1$ ）及び発光（ $L t 2 1$ ）をそれぞれ通過させ、励起光（ $L t 2$ ）を減衰させるフィルタ（４２ a）と、を有することが好ましい。撮像装置（４２）は、フィルタ（４２ a）を介して透過光（ $L t 1 1$ ）を受光して透過画像の情報を画像処理システム（１１）へ出力し、フィルタ（４２ a）を介して発光（ $L t 2 1$ ）を受光してPL発光画像の情報を画像処理システム（１１）へ出力する。

[0104] したがって、検査システム（A 2）は、低コスト化、システム構成の簡略化を図ることができる。

[0105] また、実施形態に係る第１５の態様の検査システム（A 3）では、第１１の態様において、発光発生装置（３）は、太陽電池セル（９）に電力を供給して、エレクトロルミネッセンスによって太陽電池セル（９）の発光（ $L t 3 1$ ）を生じさせる電源装置（３ B）であることが好ましい。発光画像はEL発光画像である。

[0106] したがって、検査システム（A 3）は、太陽電池セル（９）の撮像画像に基づいて、太陽電池セル（９）のクラック（８）を精度よく判別できる。そして、検査システム（A 3）は、クラック（８）と他の要素とを精度よく区別することができる。

[0107] また、実施形態に係る第１６の態様の画像処理方法は、太陽電池セル（９

)の画像に基づいて太陽電池セル(9)のクラック(8)を検査するための画像処理方法である。画像処理方法は、取得ステップ(S1)と、画像処理ステップ(S2)と、を備える。取得ステップ(S1)は、太陽電池セル(9)を透過した透過光(Lt11)による太陽電池セル(9)の画像である透過画像(濃淡画像G1)の情報を取得する。また、取得ステップ(S1)は、太陽電池セル(9)の発光(Lt21またはLt31)による太陽電池セル(9)の画像である発光画像(濃淡画像G1)の情報を取得する。画像処理ステップ(S2)は、透過画像の情報及び発光画像の各情報を受け取って画像処理を行うことで、太陽電池セル(9)にクラック(8)が生じているか否かを判定する。

[0108] したがって、上述の画像処理方法は、太陽電池セル(9)の撮像画像に基づいて、太陽電池セル(9)のクラック(8)を精度よく判別できる。そして、画像処理方法は、クラック(8)と、エッチングむら、エッチング模様、表面膜の擦過痕、汚れなどの他の要素(ノイズ)とを精度よく区別することができる。

[0109] また、実施形態に係る第17の態様のプログラムは、コンピュータシステム(1)に、第16の態様の画像処理方法を実行させる。

[0110] したがって、上述のプログラムは、太陽電池セル(9)の撮像画像に基づいて、太陽電池セル(9)のクラック(8)を精度よく判別できる。そして、プログラムは、クラック(8)と、エッチングむら、エッチング模様、表面膜の擦過痕、汚れなどの他の要素(ノイズ)とを精度よく区別することができる。

[0111] なお、上述の実施の形態は本開示の一例である。このため、本開示は、上述の実施形態に限定されることはなく、この実施の形態以外であっても、本開示に係る技術的思想を逸脱しない範囲であれば、設計等に応じて種々の変更が可能であることは勿論である。

## 符号の説明

[0112] 1 コンピュータシステム

- 1 1 画像処理システム
  - 1 1 1 第1取得部
  - 1 1 2 第2取得部
  - 1 1 3 画像処理装置
    - 1 1 3 a 位置補正部
    - 1 1 3 b 領域設定部
    - 1 1 3 c 検査部
- 2 第1照明装置
- 3 発光発生装置
  - 3 A 第2照明装置
  - 3 B 電源装置
- 4 撮像ユニット
  - 4 1 第1撮像装置
  - 4 2 第2撮像装置（撮像装置）
    - 4 2 a フィルタ
- 7 1 セル領域
- 8 クラック
  - 8 1 a, 8 1 b 検査領域
- 9 太陽電池セル
- A 1, A 2, A 3 検査システム
- L t 1 1 透過光
- L t 2 励起光
  - L t 2 1, L t 3 1 発光
- G 1 濃淡画像（透過画像、発光画像、P L 発光画像、E L 発光画像）
- G 3 a 補正透過画像
- G 3 b 補正P L 発光画像
- N N 1 ニューラルネットワーク
- S 1 取得ステップ

S 2 画像処理ステップ

## 請求の範囲

- [請求項1] 太陽電池セルの画像に基づいて前記太陽電池セルのクラックを検査するための画像処理システムであって、
- 前記太陽電池セルを透過した透過光による前記太陽電池セルの画像である透過画像の情報を取得する第1取得部と、
- 前記太陽電池セルの発光による前記太陽電池セルの画像である発光画像の情報を取得する第2取得部と、
- 前記透過画像の情報及び前記発光画像の各情報を受け取って画像処理を行うことで、前記太陽電池セルに前記クラックが生じているか否かを判定する画像処理装置と、を備える
- ことを特徴とする画像処理システム。
- [請求項2] 前記発光画像は、励起光の照射によって発光している前記太陽電池セルが撮像されたPL発光画像である
- ことを特徴とする請求項1記載の画像処理システム。
- [請求項3] 前記発光画像は、電流を供給されて発光している前記太陽電池セルが撮像されたEL発光画像である
- ことを特徴とする請求項1記載の画像処理システム。
- [請求項4] 前記透過画像及び前記発光画像はそれぞれ濃淡画像であり、
- 前記画像処理装置は、
- 前記透過画像において前記太陽電池セルが写っているセル領域、及び前記発光画像において前記太陽電池セルが写っているセル領域のそれぞれが所定方向に向くように、前記透過画像及び前記発光画像を補正する位置補正処理を行い、前記位置補正処理が施された前記透過画像である補正透過画像、及び前記位置補正処理が施された前記発光画像である補正発光画像を生成する位置補正部と、
- 前記補正透過画像及び前記補正発光画像において、前記クラックが写っていると推定される検査領域の情報をそれぞれ生成する領域設定部と、

前記検査領域がそれぞれ設定された前記補正透過画像及び前記補正発光画像に基づいて、前記太陽電池セルに前記クラックが生じているか否かを判定する検査部と、を備える

ことを特徴とする請求項1乃至3のいずれか一項に記載の画像処理システム。

[請求項5] 前記検査部は、前記検査領域がそれぞれ設定された前記補正透過画像及び前記補正発光画像に対して、機械学習によって構築された認識アルゴリズムを実行することで、前記太陽電池セルに前記クラックが生じているか否かを判定することを特徴とする請求項4に記載の画像処理システム。

[請求項6] 前記機械学習は、ディープラーニングであり、  
前記検査部は、前記ディープラーニングによって構築された認識アルゴリズムを実行するニューラルネットワークを有することを特徴とする請求項5に記載の画像処理システム。

[請求項7] 前記ニューラルネットワークは、前記検査領域がそれぞれ設定された前記補正透過画像及び前記補正発光画像の各情報を入力される2つの畳み込み層を有することを特徴とする請求項6に記載の画像処理システム。

[請求項8] 前記領域設定部は、前記補正透過画像及び前記補正発光画像のそれぞれにおいて前記太陽電池セルのへき開の方向に沿って延びるエッジを強調する鮮鋭化処理を行うことで、前記補正透過画像及び前記補正発光画像から前記検査領域をそれぞれ抽出することを特徴とする請求項4乃至7のいずれか一項に記載の画像処理システム。

[請求項9] 前記太陽電池セルのへき開の方向は、互いに直交する第1方向及び第2方向であることを特徴とする請求項8に記載の画像処理システム。

[請求項10] 前記領域設定部は、ウェーブレットフィルタを用いて前記鮮鋭化処理を行うことを特徴とする請求項8または9に記載の画像処理システム。

- [請求項11] 太陽電池セルを撮像する撮像ユニットと、  
前記太陽電池セルに照明光を照射して、前記照明光が前記太陽電池セルを透過した透過光を生成する第1照明装置と、  
前記太陽電池セルの発光を生じさせる発光発生装置と、  
前記請求項1乃至10のいずれか一項に記載の画像処理システムと、  
を備え、  
前記撮像ユニットは、前記透過光を受光して透過画像の情報を前記画像処理システムへ出力し、前記発光を受光して発光画像の情報を前記画像処理システムへ出力することを特徴とする検査システム。
- [請求項12] 前記発光発生装置は、前記太陽電池セルに励起光を照射して、フォトルミネッセンスによって前記太陽電池セルの発光を生じさせる第2照明装置であり、  
前記発光画像はPL発光画像であることを特徴とする請求項11記載の検査システム。
- [請求項13] 前記撮像ユニットは、  
前記透過光を受光して前記透過画像の情報を前記画像処理システムへ出力する第1撮像装置と、  
前記発光を通過させ、前記励起光を減衰させるフィルタと、  
前記フィルタを介して前記発光を受光して前記PL発光画像の情報を前記画像処理システムへ出力する第2撮像装置と、を有することを特徴とする請求項12記載の検査システム。
- [請求項14] 前記撮像ユニットは、  
1つの撮像装置と、  
前記透過光及び前記発光をそれぞれ通過させ、前記励起光を減衰させるフィルタと、を有し、  
前記撮像装置は、前記フィルタを介して前記透過光を受光して前記透過画像の情報を前記画像処理システムへ出力し、前記フィルタを介

して前記発光を受光して前記 P L 発光画像の情報を前記画像処理システムへ出力する

ことを特徴とする請求項 1 2 記載の検査システム。

[請求項15]

前記発光発生装置は、前記太陽電池セルに電力を供給して、エレクトロルミネッセンスによって前記太陽電池セルの発光を生じさせる電源装置であり、

前記発光画像は E L 発光画像である

ことを特徴とする請求項 1 1 記載の検査システム。

[請求項16]

太陽電池セルの画像に基づいて前記太陽電池セルのクラックを検査するための画像処理方法であって、

前記太陽電池セルを透過した透過光による前記太陽電池セルの画像である透過画像の情報を取得し、前記太陽電池セルの発光による前記太陽電池セルの画像である発光画像の情報を取得する取得ステップと、

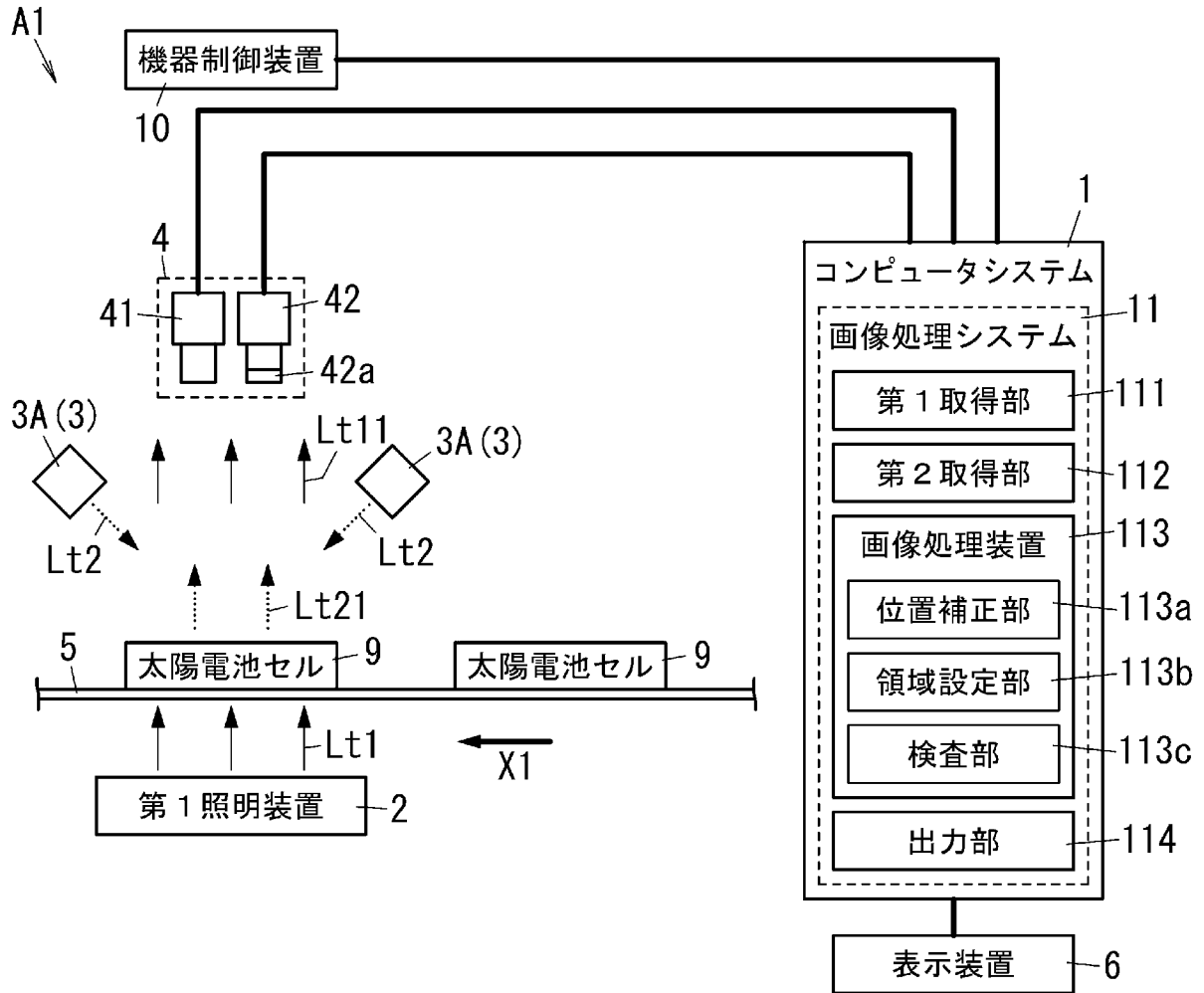
前記透過画像の情報及び前記発光画像の各情報を受け取って画像処理を行うことで、前記太陽電池セルに前記クラックが生じているか否かを判定する画像処理ステップと、を備える

ことを特徴とする画像処理方法。

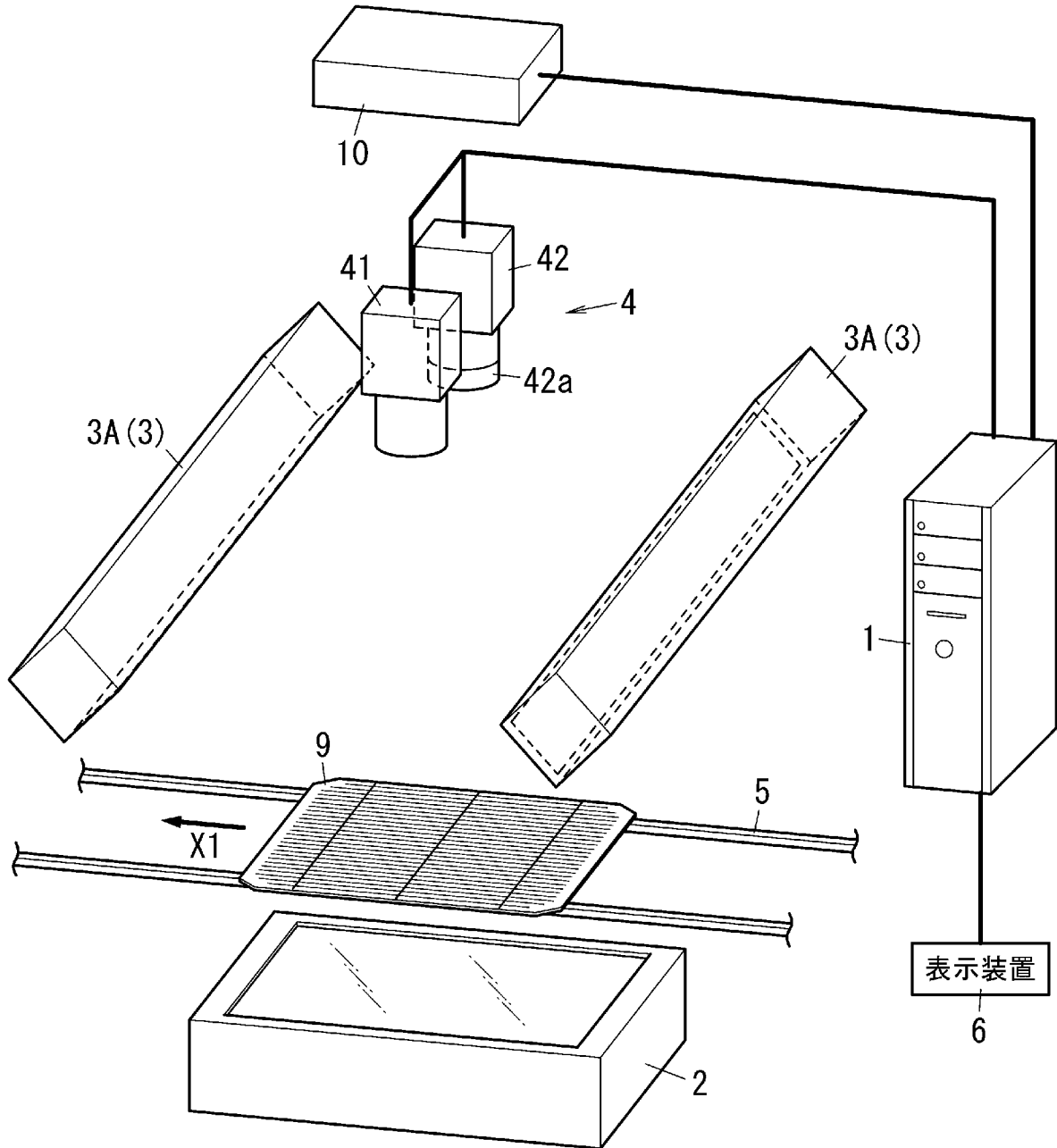
[請求項17]

コンピュータシステムに、請求項 1 6 記載の画像処理方法を実行させることを特徴とするプログラム。

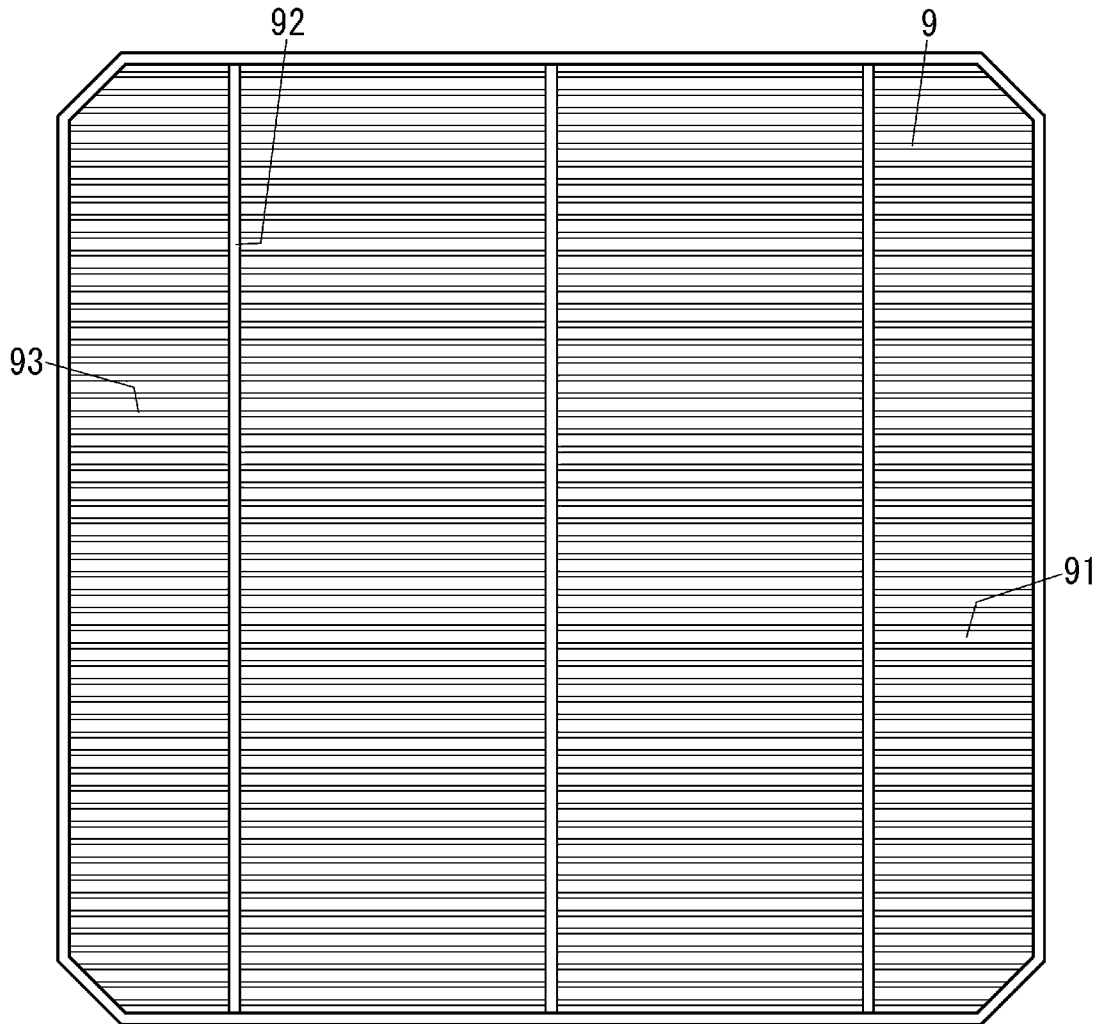
[図1]



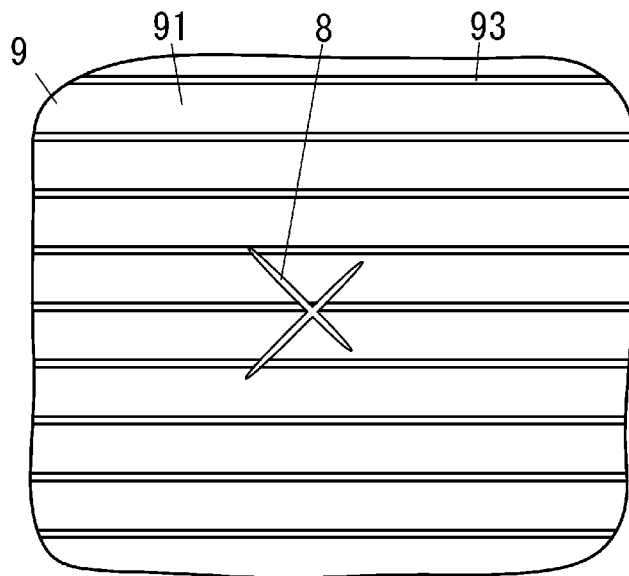
[図2]



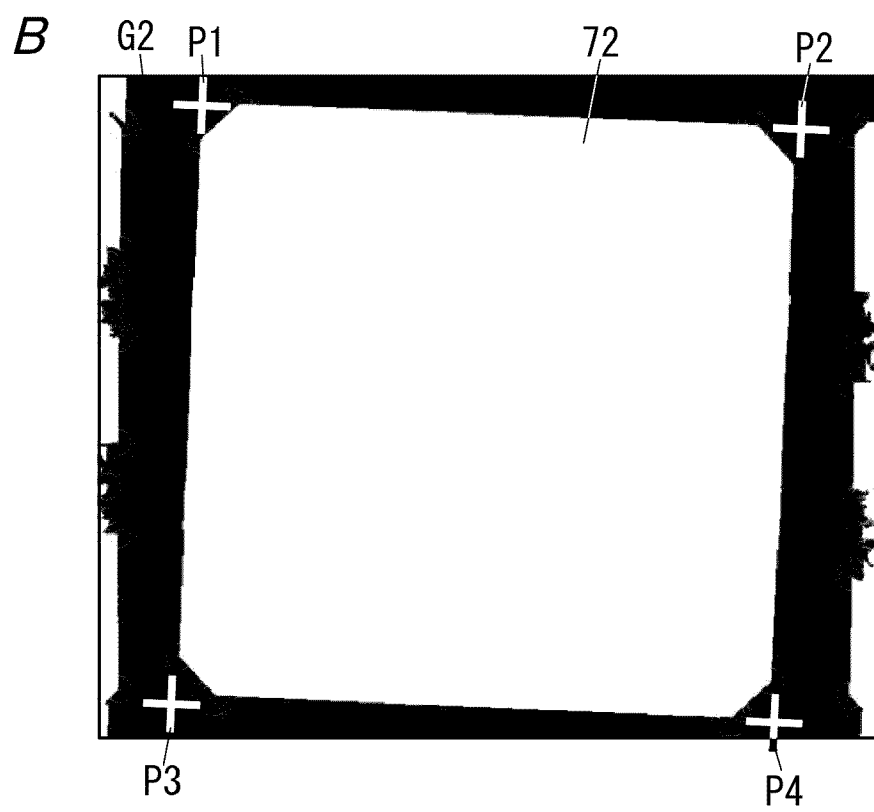
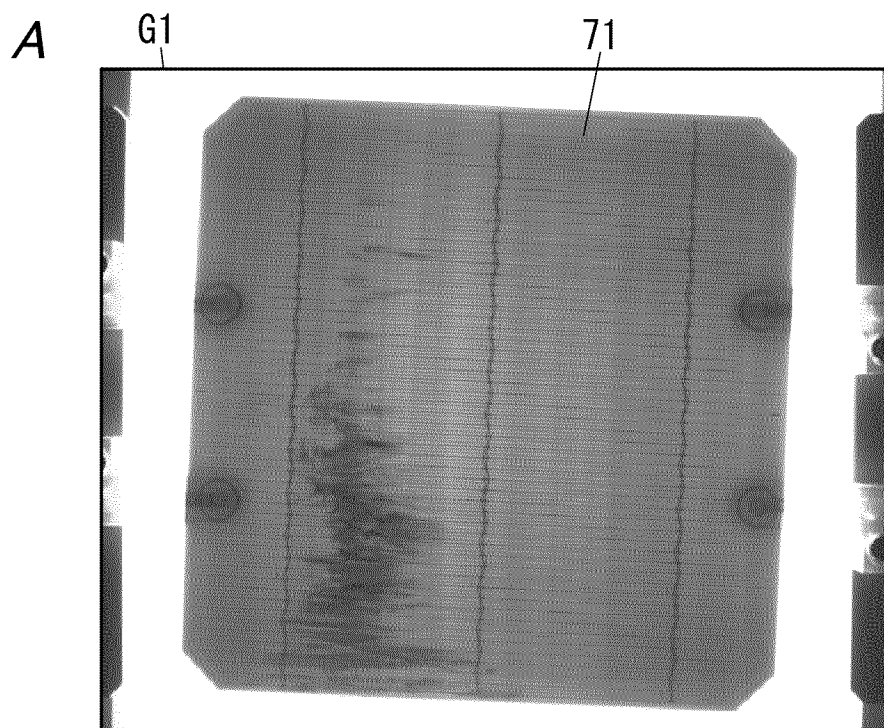
[図3]



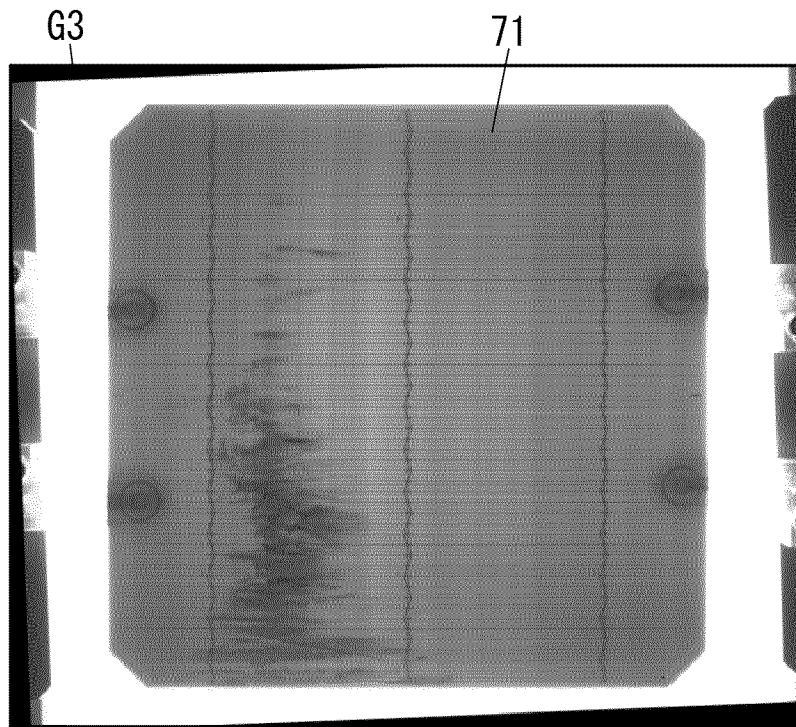
[図4]



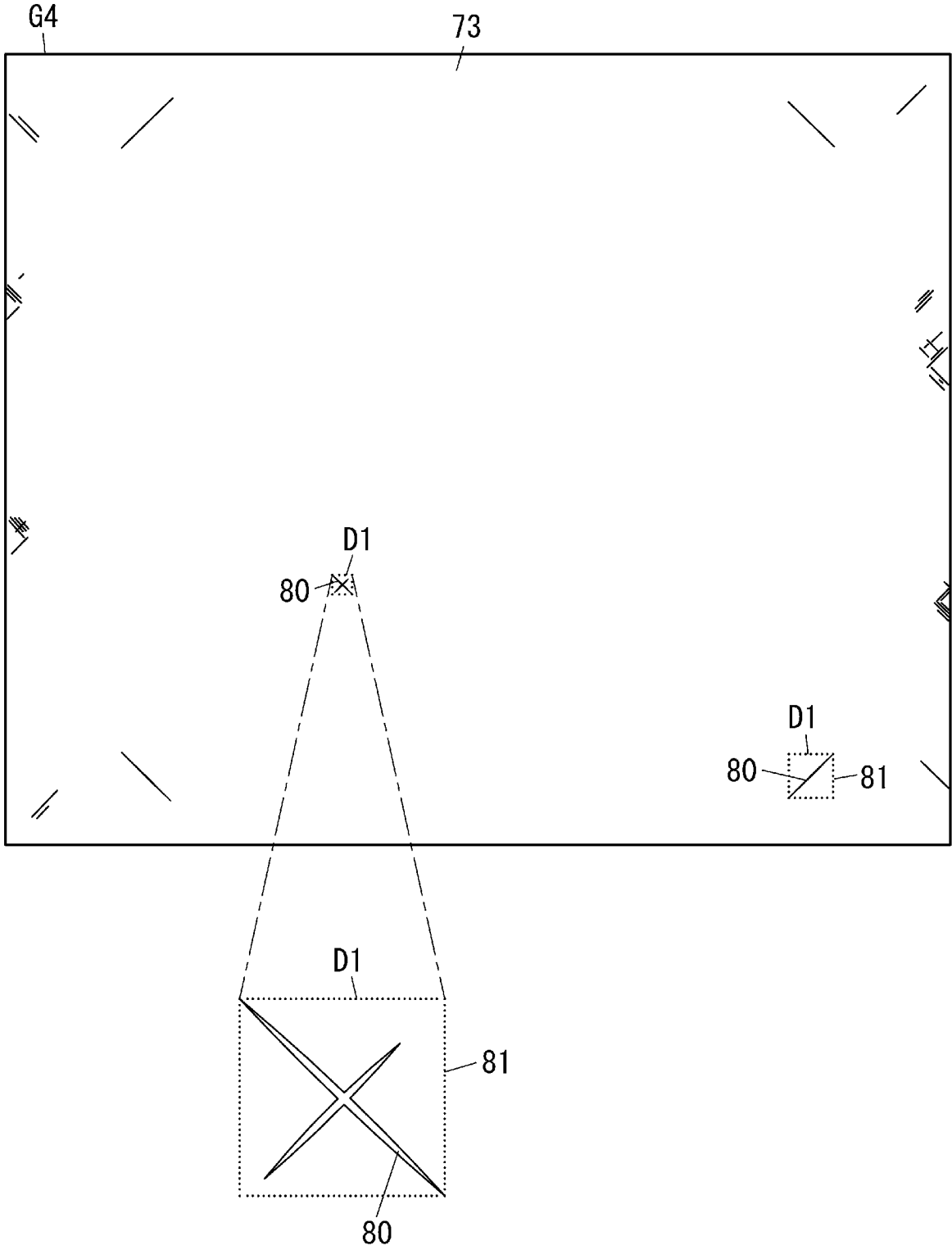
[図5]



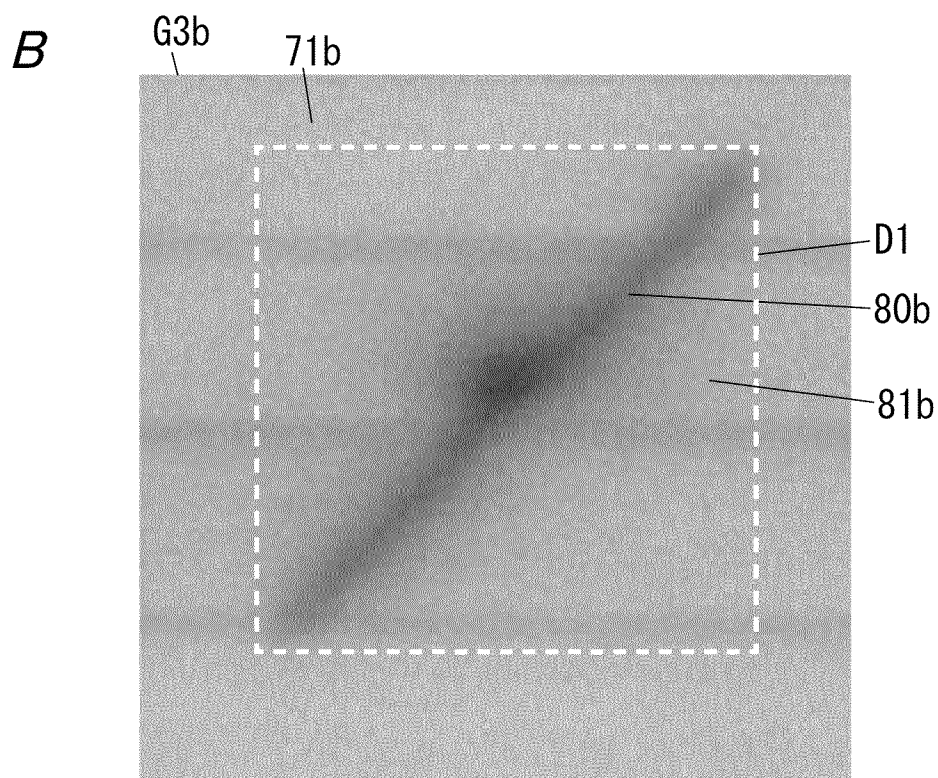
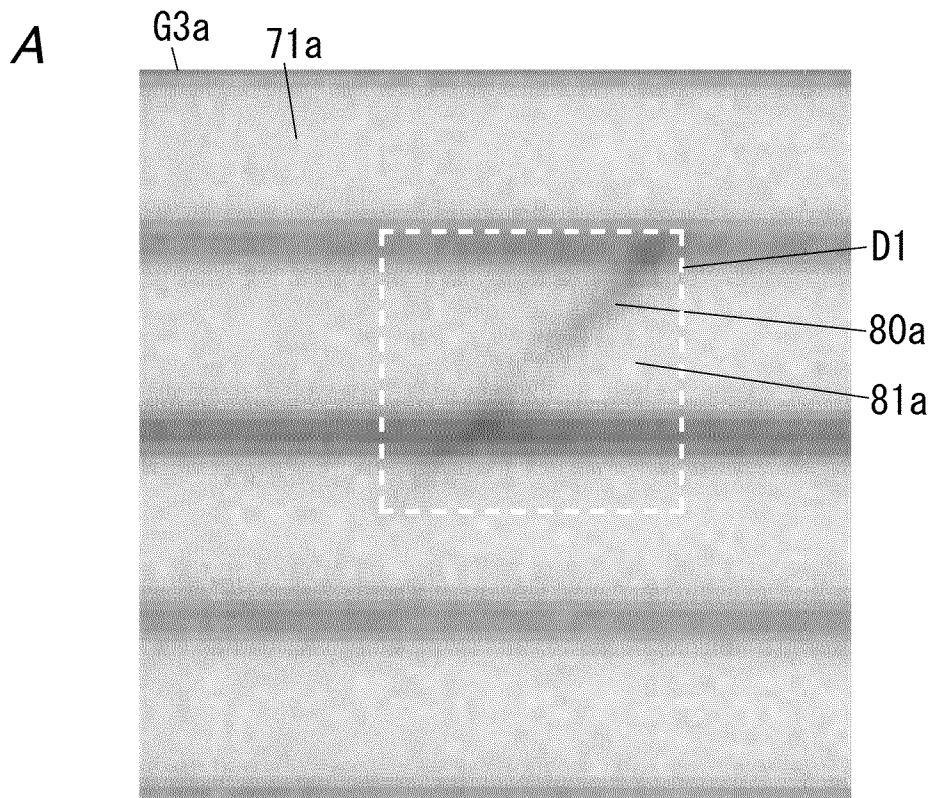
[図6]



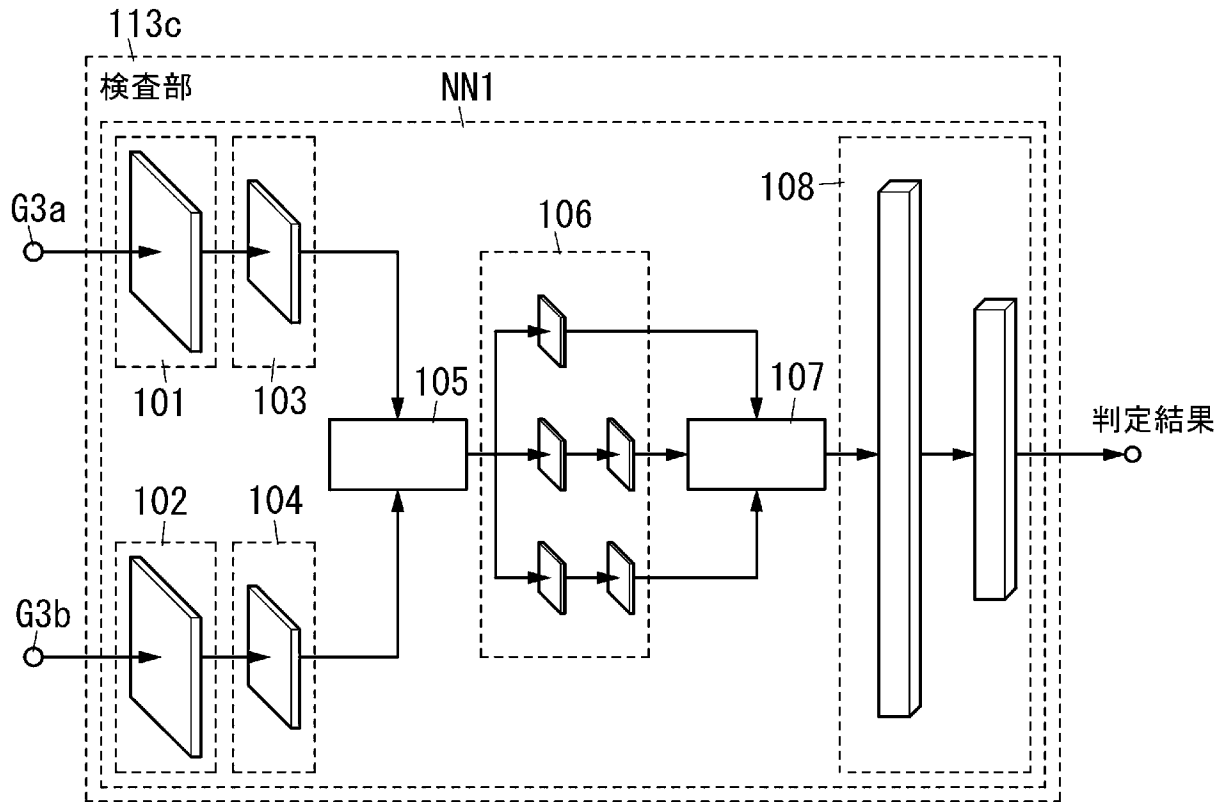
[図7]



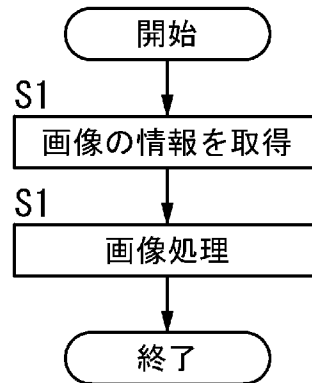
[図8]



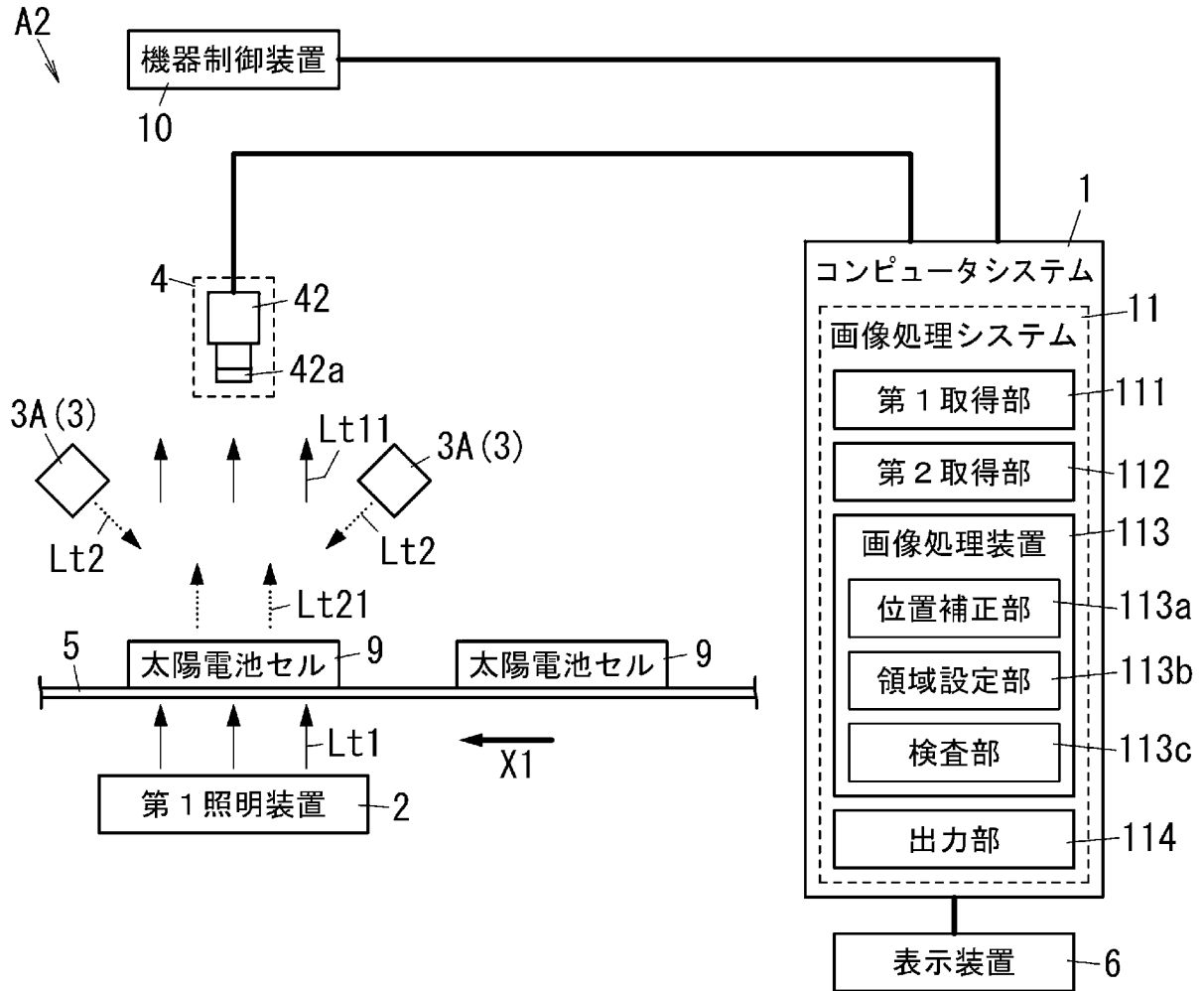
[図9]



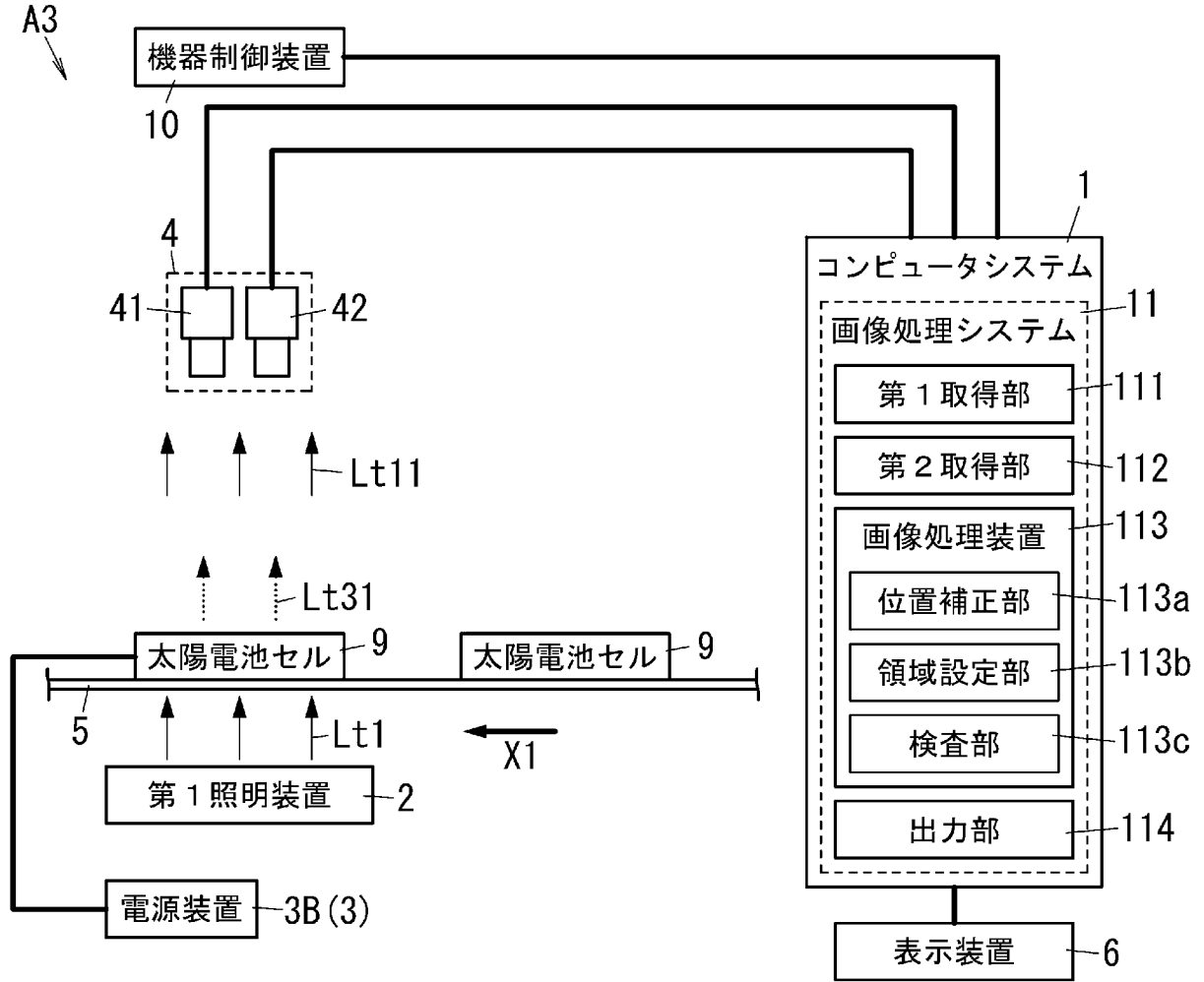
[図10]



[図11]



[図12]



**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No.

PCT/JP2018/045791

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**  
 Int.Cl. G01N21/88 (2006.01) i, G06T1/00 (2006.01) i, H02S50/15 (2014.01) 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)  
 Int.Cl. G01N21/84-21/958, G06T1/00-1/40, 3/00-9/40, H02S50/15, G01B11/00-11/30, G01M11/00-11/08

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

Published examined utility model applications of Japan	1922-1996
Published unexamined utility model applications of Japan	1971-2019
Registered utility model specifications of Japan	1996-2019
Published registered utility model applications of Japan	1994-2019

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

**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y A	US 2015/0070487 A1 (AGBUGA) 12 March 2015, paragraphs [0001]-[0003], [0031]-[0032], [0049]-[0071], fig. 1-5b & WO 2013/167428 A1 & DE 102012104086 A1 & KR 10-2015-0009576 A & CN 104471383 A	1-7, 11-17 8-10
Y A	WO 2014/038012 A1 (SHIMADZU CORPORATION) 13 March 2014, paragraphs [0022]-[0042], fig. 1-6 (Family: none)	1-7, 11-17 8-10

Further documents are listed in the continuation of Box C.       See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"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
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"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
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"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
"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)	"&" document member of the same patent family
"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	

Date of the actual completion of the international search 05 March 2019 (05.03.2019)	Date of mailing of the international search report 19 March 2019 (19.03.2019)
---	--

Name and mailing address of the ISA/ Japan Patent Office 3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915, Japan	Authorized officer  Telephone No.
--	---

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2018/045791

## C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y A	JP 2016-205876 A (VISCO TECHNOLOGIES CORP.) 08 December 2016, paragraphs [0017]-[0024] (Family: none)	1-7, 11-17 8-10
Y	JP 2005-121599 A (KOMATSU LTD.) 12 May 2005, paragraph [0088], fig. 8 (Family: none)	4-7, 11-15
Y	US 2017/0343481 A1 (JAHANSHAHI et al.) 30 November 2017, paragraphs [0044], [0078], fig. 19 (Family: none)	5-7, 11-15
Y	JP 2014-232079 A (SHIMADZU CORPORATION) 11 December 2014, paragraph [0019], fig. 1 (Family: none)	13
A	JP 2011-516374 A (BT IMAGING PTY LTD.) 26 May 2011 & US 2011/0025839 A1 & WO 2009/121133 A1 & KR 10-2010-0131512 A & CN 102017191 A	8-10
A	US 2013/0129187 A1 (MAXWELL) 23 May 2013 & WO 2012/019219 A1 & CN 103210482 A	8-10

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. G01N21/88(2006.01)i, G06T1/00(2006.01)i, H02S50/15(2014.01)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. G01N21/84-21/958, G06T1/00-1/40, 3/00-9/40, H02S50/15, G01B11/00-11/30, G01M 11/00-11/08

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	1971-2019年
日本国実用新案登録公報	1996-2019年
日本国登録実用新案公報	1994-2019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）

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
Y A	US 2015/0070487 A1 (AGBUGA) 2015.03.12, [0001]-[0003], [0031]-[0032], [0049]-[0071], Figs. 1-5b & WO 2013/167428 A1 & DE 102012104086 A1 & KR 10-2015-0009576 A & CN 104471383 A	1-7, 11-17 8-10
Y A	WO 2014/038012 A1 (株式会社島津製作所) 2014.03.13, [0022] - [0042]、図1-6（ファミリーなし）	1-7, 11-17 8-10

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 05.03.2019	国際調査報告の発送日 19.03.2019
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁（ISA/J P） 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） 小野寺 麻美子 電話番号 03-3581-1101 内線 3258

C (続き) . 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
Y A	JP 2016-205876 A (ヴィスコ・テクノロジーズ株式会社) 2016. 12. 08, [0017] - [0024] (ファミリーなし)	1-7, 11-17 8-10
Y	JP 2005-121599 A (株式会社小松製作所) 2005. 05. 12, [0088]、 図8 (ファミリーなし)	4-7, 11-15
Y	US 2017/0343481 A1 (JAHANSHAHI et al.) 2017. 11. 30, [0044], [0078], Fig. 19 (ファミリーなし)	5-7, 11-15
Y	JP 2014-232079 A (株式会社島津製作所) 2014. 12. 11, [0019]、 図1 (ファミリーなし)	13
A	JP 2011-516374 A (ピーティアー イメージング ピーティアーワイ リ ミテッド) 2011. 05. 26, & US 2011/0025839 A1 & WO 2009/121133 A1 & KR 10-2010-0131512 A & CN 102017191 A	8-10
A	US 2013/0129187 A1 (MAXWELL) 2013. 05. 23, & WO 2012/019219 A1 & CN 103210482 A	8-10