

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2018-9851  
(P2018-9851A)

(43) 公開日 平成30年1月18日(2018.1.18)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
GO 1 N 21/63 (2006.01)	GO 1 N 21/63	Z 2 G O 4 3
HO 1 L 21/66 (2006.01)	HO 1 L 21/66	L 4 M 1 0 6
GO 1 N 21/66 (2006.01)	GO 1 N 21/66	

審査請求 未請求 請求項の数 9 O L (全 10 頁)

(21) 出願番号 (22) 出願日	特願2016-138047 (P2016-138047) 平成28年7月12日 (2016.7.12)	(71) 出願人 513009668 ソーラーフロンティア株式会社 東京都港区台場2丁目3番2号 (74) 代理人 100107766 弁理士 伊東 忠重 (74) 代理人 100070150 弁理士 伊東 忠彦 (72) 発明者 矢崎 佑翼 東京都港区台場二丁目3番2号 ソーラーフロンティア株式会社内 Fターム(参考) 2G043 AA03 AA06 CA05 EA06 EA10 FA01 GA04 GA08 GB18 GB21 LA03 NA01 NA06 4M106 BA04 BA14 CB07 CB30 DB04 DB07 DB15 DE24 DH12 DH31 DJ17 DJ18 DJ20 DJ23
-----------------------	--	--

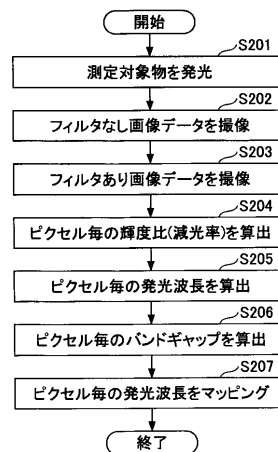
(54) 【発明の名称】 バンドギャップ測定方法、バンドギャップ測定装置

(57) 【要約】

【課題】 バンドギャップの面内分布を短時間で推定可能なバンドギャップ測定方法を提供すること。

【解決手段】 本バンドギャップ測定方法は、測定対象物を発光させるステップS201と、測定対象物が発する光を光学フィルタを介さない状態で受光して測定対象物の第1の画像を撮像するステップS202と、測定対象物が発する光を光学フィルタを介した状態で受光して測定対象物の第2の画像を撮像するステップS203と、第1の画像と第2の画像の輝度比を算出するステップS204と、輝度比に基づいて測定対象物のバンドギャップを算出するステップS205と、を有し、光学フィルタの波長と透過率の関係において、透過率が極大値と極小値とを有していない。

【選択図】 図4



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

バンドギャップ測定方法であって、  
 測定対象物を発光させるステップと、  
 前記測定対象物が発する光を光学フィルタを介さない状態で受光して前記測定対象物の第 1 の画像を撮像するステップと、  
 前記測定対象物が発する光を光学フィルタを介した状態で受光して前記測定対象物の第 2 の画像を撮像するステップと、  
 前記第 1 の画像と前記第 2 の画像の輝度比を算出するステップと、  
 前記輝度比に基づいて前記測定対象物のバンドギャップを算出するステップと、を有し  
 、  
 前記光学フィルタの波長と透過率の関係において、前記透過率が極大値と極小値とを有していない、バンドギャップ測定方法。

10

## 【請求項 2】

前記輝度比を算出するステップでは、前記第 1 の画像及び前記第 2 の画像のピクセル毎に前記輝度比を算出し、  
 前記バンドギャップを算出するステップでは、ピクセル毎の前記輝度比に基づいてバンドギャップを算出する、請求項 1 に記載のバンドギャップ測定方法。

## 【請求項 3】

前記バンドギャップを算出するステップでは、前記輝度比は前記光学フィルタの透過率と等しい関係に基づいて、ピクセル毎の前記輝度比から波長を求め、前記波長から前記バンドギャップを算出する、請求項 2 に記載のバンドギャップ測定方法。

20

## 【請求項 4】

前記ピクセル毎の前記波長をマッピングするステップを有する、請求項 3 に記載のバンドギャップ測定方法。

## 【請求項 5】

前記測定対象物を発光させるステップでは、電源から前記測定対象物に電圧を印加する、請求項 1 乃至 4 の何れか一項に記載のバンドギャップ測定方法。

## 【請求項 6】

前記測定対象物を発光させるステップでは、励起光源から前記測定対象物に光を照射する、請求項 1 乃至 4 の何れか一項に記載のバンドギャップ測定方法。

30

## 【請求項 7】

バンドギャップ測定装置であって、  
 測定対象物を発光させる励起源と、  
 前記測定対象物が発する光の光路上に選択的に配置可能な光学フィルタと、  
 前記測定対象物が発する光を前記光学フィルタを介さない状態で受光して前記測定対象物の第 1 の画像を撮像すると共に、前記測定対象物が発する光を前記光学フィルタを介した状態で受光して前記測定対象物の第 2 の画像を撮像する撮像素子と、  
 前記第 1 の画像と前記第 2 の画像の所定位置の輝度比を算出し、前記輝度比に基づいて前記測定対象物の前記所定位置のバンドギャップを算出する演算手段と、を有し、  
 前記光学フィルタの波長と透過率の関係において、前記透過率が極大値と極小値とを有していない、バンドギャップ測定装置。

40

## 【請求項 8】

前記演算手段は、前記第 1 の画像及び前記第 2 の画像のピクセル毎に前記輝度比を算出し、前記輝度比は前記光学フィルタの透過率と等しい関係に基づいて、ピクセル毎の前記輝度比から波長を求め、前記波長から前記バンドギャップを算出する、請求項 7 に記載のバンドギャップ測定装置。

## 【請求項 9】

前記演算手段は、前記ピクセル毎の前記波長をマッピングする、請求項 8 に記載のバンドギャップ測定装置。

50

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は、バンドギャップ測定方法、バンドギャップ測定装置に関する。

## 【背景技術】

## 【0002】

太陽電池のバンドギャップの面内分布は、品質の面から均一であることが好ましい。例えば、結晶系シリコン太陽電池のバンドギャップの面内分布は、 $1.1\text{ eV} \sim 1.2\text{ eV}$  でほぼ一定である。一方、化合物系太陽電池の場合、その面内で均一の組成構造を有することは難しく、よってバンドギャップの面内分布にはばらつきがある。そのため、太陽電池のバンドギャップの面内分布を調べることで、太陽電池が良品であるのかどうかや、太陽電池が所望の組成構造を有するのかどうか等を知ることができる。

10

## 【0003】

太陽電池のバンドギャップを調べる方法として、PL (Photoluminescence) 法がある。この方法では、太陽電池の光吸収層のバンドギャップ以上のエネルギーを有する励起光を太陽電池に照射し、光吸収層で発光した光をプリズムで分光し、分光スペクトルの強度が最も強いピーク波長からバンドギャップを推定する(例えば、非特許文献1参照)。

## 【先行技術文献】

## 【非特許文献】

## 【0004】

【非特許文献1】CIGS薄膜太陽電池の最新技術、中田時夫監修、白方祥著、p253-255、シーエムシー出版

20

## 【発明の概要】

## 【発明が解決しようとする課題】

## 【0005】

しかしながら、上記のバンドギャップ測定方法の場合、一般的に点分析であり、かつ一点当たりの分光スペクトルデータを取得するための時間が長い。そのため、大面積の太陽電池のバンドギャップの面内分布を測定するには時間を要する。太陽電池以外の測定対象物、例えば、発光ダイオードや半導体レーザ等についても同様の問題がある。

## 【0006】

本発明は、バンドギャップの面内分布を短時間で推定可能なバンドギャップ測定方法及びバンドギャップ測定装置を提供することを目的とする。

30

## 【課題を解決するための手段】

## 【0007】

本バンドギャップ測定方法は、測定対象物を発光させるステップと、測定対象物が発する光を光学フィルタを介さない状態で受光して測定対象物の第1の画像を撮像するステップと、測定対象物が発する光を光学フィルタを介した状態で受光して測定対象物の第2の画像を撮像するステップと、第1の画像と第2の画像の輝度比を算出するステップと、輝度比に基づいて測定対象物のバンドギャップを算出するステップと、を有し、光学フィルタの波長と透過率の関係において、透過率が極大値と極小値とを有していない。

40

## 【0008】

本バンドギャップ測定装置は、測定対象物を発光させる励起源と、測定対象物が発する光の光路上に選択的に配置可能な光学フィルタと、測定対象物が発する光を光学フィルタを介さない状態で受光して測定対象物の第1の画像を撮像すると共に、測定対象物が発する光を光学フィルタを介した状態で受光して測定対象物の第2の画像を撮像する撮像素子と、第1の画像と第2の画像の所定位置の輝度比を算出し、輝度比に基づいて測定対象物の所定位置のバンドギャップを算出する演算手段と、を有し、光学フィルタの波長と透過率の関係において、透過率が極大値と極小値とを有していない。

## 【発明の効果】

## 【0009】

50

開示の技術によれば、バンドギャップの面内分布を短時間で推定可能なバンドギャップ測定方法及びバンドギャップ測定装置を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0010】

【図1】本実施の形態に係るバンドギャップ測定装置の構成を例示する模式図である。

【図2】本実施の形態に係るバンドギャップ測定装置に用いる光学フィルタの透過率スペクトルを例示する図である。

【図3】本実施の形態に係るバンドギャップ測定装置の計測部について説明する図であり、(a)は計測部のハードウェアブロック図、(b)は計測部の機能ブロック図である。

【図4】本実施の形態に係るバンドギャップ測定方法を例示するフローチャートである。

【図5】本実施の形態に係るバンドギャップ測定装置の撮像素子が撮像した画像の例であり、(a)は光学フィルタを介さずに撮像した画像、(b)は光学フィルタを介して撮像した画像である。

【図6】本実施の形態に係るバンドギャップ測定方法における輝度比(減光率)の算出について説明する図である。

【図7】本実施の形態に係るバンドギャップ測定方法においてピクセル毎の発光波長をマッピングした画像の例である。

【発明を実施するための形態】

【0011】

以下、図面を参照して発明を実施するための形態について説明する。なお、各図面において、同一構成部分には同一符号を付し、重複した説明を省略する場合がある。

【0012】

図1は、本実施の形態に係るバンドギャップ測定装置の構成を例示する模式図である。図1を参照すると、バンドギャップ測定装置1は、励起源10と、光学フィルタ20と、撮像素子30と、計測部40とを有している。

【0013】

測定対象物100は、バンドギャップを有するものであれば特に限定されないが、例えば、太陽電池、発光ダイオード、半導体レーザ等の半導体である。太陽電池の一例としては、半導体層がCIS系薄膜(銅(Cu)、インジウム(In)、及びセレン(Se)を含有する化合物からなる薄膜)からなる化合物系太陽電池を挙げることができる。

【0014】

バンドギャップ測定装置1において、励起源10は、測定対象物100を発光させる機能を有している。図1の例では、励起源10は、測定対象物100に電圧を印加する電源であるが、測定対象物100に光を照射する励起光源であってもよい。励起源10から測定対象物100に電圧を印加又は光を照射することにより、測定対象物100が発光する。

【0015】

光学フィルタ20は、所定の透過率と波長の関係を有するフィルタである。図2に示すように、光学フィルタ20は、波長の範囲内において透過率が極大値と極小値とを有していない。言い換えれば、光学フィルタ20は、右肩下がりの透過率であり、異なる波長において同一の透過率となることはない。但し、図2の特性は一例であり、光学フィルタ20は、透過率が極大値と極小値とを有していなければ、右肩上がりの透過率であってもよい。また、複数の光学フィルタを用いて透過率が極大値と極小値とを有していない光学フィルタを構成してもよい。

【0016】

光学フィルタ20は、測定対象物100が発する光の光路上に選択的に配置可能に構成されており、測定対象物100から撮像素子30までの光路上に位置する場合と、光路外に位置する場合とを切り替え可能である。光学フィルタ20の位置の切り替えは、計測部40の制御により行ってもよいし、計測部40とは独立に機械的に行ってもよい。

【0017】

10

20

30

40

50

図1の説明に戻り、撮像素子30は、測定対象物100が発光した光を受光して2次元画像を撮像する機能を有している。撮像素子30としては、例えば、MOS (Metal Oxide Semiconductor)、CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor)、CCD (Charge Coupled Device)等を用いることができる。

#### 【0018】

前述のように、光学フィルタ20は測定対象物100が発する光の光路上に選択的に配置可能である。そのため、撮像素子30は、測定対象物100が発する光を光学フィルタ20を介さない状態で受光して測定対象物100の画像を撮像することができる。又、撮像素子30は、測定対象物100が発する光を光学フィルタ20を介した状態で受光して測定対象物100の画像を撮像することができる。

10

#### 【0019】

計測部40は、励起源10や撮像素子30の制御、撮像素子30から取得した2次元画像のデータの演算等を行う機能を有している。図3を参照して計測部40について、より詳しく説明する。

#### 【0020】

図3(a)は、計測部40のハードウェアブロック図である。図3(a)を参照すると、計測部40は、CPU41と、ROM42と、RAM43と、I/F44と、バスライン45と、Mass Storage 46とを有している。CPU41、ROM42、RAM43、I/F44、及びMass Storage 46は、バスライン45を介して相互に接続されている。

20

#### 【0021】

CPU41は、計測部40の各機能を制御する。ROM42は、CPU41が計測部40の各機能を制御するために実行するプログラムや、各種情報を記憶している。RAM43は、CPU41のワークエリア等として使用される。又、RAM43は、所定の情報を一時的に記憶することができる。

#### 【0022】

I/F44は、他の機器と接続するためのインターフェイスである。計測部40は、例えば、I/F44を介して撮像素子30と接続され、撮像素子30を制御したり撮像素子30から2次元画像のデータを取得したりすることができる。又、計測部40は、例えば、I/F44を介して励起源10と接続され、励起源10を制御することができる。

30

#### 【0023】

Mass Storage 46は、各種データを保存する機能を有する。Mass Storage 46は、例えば、ハードディスクやSSD (ソリッドステートドライブ)である。但し、Mass Storage 46は、バンドギャップ測定装置1の外部に設けられてもよい。この場合のMass Storage 46は、例えば、外付けハードディスク、USBメモリ、光ディスク等である。或いは、Mass Storage 46は、オンラインストレージであってもよい。

#### 【0024】

図3(b)は、計測部40の機能ブロック図である。図3(b)を参照すると、計測部40は、機能ブロックとして、励起源制御手段401と、撮像素子制御手段402と、演算手段403とを有している。

40

#### 【0025】

図3(a)に示したCPU41が所定のプログラムを実行し、必要に応じて他のハードウェア資源と協働することにより、励起源制御手段401、撮像素子制御手段402、及び演算手段403の機能を実現することができる。但し、励起源制御手段401、撮像素子制御手段402、及び演算手段403の一部又は全部の機能をPLD (Programmable Logic Device)等のハードウェアにより実現してもよい。

#### 【0026】

図4のフローチャートを参照し、適宜他の図も参照しながら、計測部40の各機能ブロックの動作を含めたバンドギャップ測定方法について説明する。

50

## 【0027】

まず、ステップS201では、計測部40の励起源制御手段401は、励起源10を制御し、励起源10である電源から測定対象物100に電圧を印加させる。これにより、測定対象物100が発光する。なお、励起源10から測定対象物100に電圧を印加させる代わりに、励起源10として励起光源を準備し、励起光源から測定対象物100に光を照射させてもよい。

## 【0028】

次に、ステップS202では、光学フィルタ20を、測定対象物100から撮像素子30までの光路外に位置する状態にする。そして、計測部40の撮像素子制御手段402は、撮像素子30を制御して、測定対象物100が発光した光を光学フィルタ20を介さない状態で撮像素子30に受光させ、測定対象物100の第1の画像を撮像させる。そして、撮像された第1の画像の2次元画像データ（以下、フィルタなし画像データとする）をRAM43に一時的に記憶する。ステップS202で撮像された画像の一例を図5（a）に示す。

10

## 【0029】

次に、ステップS203では、光学フィルタ20を、測定対象物100から撮像素子30までの光路上に位置する状態にする。そして、計測部40の撮像素子制御手段402は、撮像素子30を制御して、測定対象物100が発光した光を光学フィルタ20を介した状態で撮像素子30に受光させ、測定対象物100の第2の画像を撮像させる。そして、撮像された第2の画像の2次元画像のデータ（以下、フィルタあり画像データとする）をRAM43に一時的に記憶する。ステップS203で撮像された画像の一例を図5（b）に示す。なお、ステップS202とS203とは順番が逆であってもよい。

20

## 【0030】

次に、ステップS204では、計測部40の演算手段403は、RAM43又はMass Storage 46に記憶されている光学フィルタなしで撮像した画像データ及び光学フィルタありで撮像した画像データを読み出す。そして、読み出したそれぞれの画像データのピクセル毎の輝度値を比較してピクセル毎の輝度比（減光率）を算出する。

## 【0031】

例えば、フィルタなし画像データの所定のピクセルの輝度値（発光強度）が図6（a）のIであり、フィルタあり画像データの同一ピクセルの輝度値（発光強度）が図6（b）の $I_A$ であったとすると、 $I_A / I \times 100\%$ が輝度比（減光率）となる。なお、Fは、光学フィルタ20の各波長における透過率（透過率曲線）を示している。

30

## 【0032】

或いは、フィルタなし画像データの所定のピクセルの輝度値が図6（a）のIであり、フィルタあり画像データの同一ピクセルの輝度値が図6（b）の $I_B$ であったとすると、 $I_B / I \times 100\%$ が輝度比となる。

## 【0033】

同様に、フィルタなし画像データの所定のピクセルの輝度値が図6（a）のIであり、フィルタあり画像データの同一ピクセルの輝度値が図6（b）の $I_C$ であったとすると、 $I_C / I \times 100\%$ が輝度比となる。

40

## 【0034】

次に、ステップS205では、計測部40の演算手段403は、光学フィルタ20の透過率と輝度比との関係に基づいて、ピクセル毎の発光波長を求める。光学フィルタ20の透過率スペクトルは、例えば、RAM43に記憶しておき、必要なときに読み出せばよい。

## 【0035】

透過率と輝度比は等しいので、例えば、ステップS204で算出した輝度比が $I_A / I \times 100\%$ であれば、光学フィルタ20の透過率曲線Fから、そのピクセルの発光波長はAであると算出できる。或いは、ステップS204で算出した輝度比が $I_B / I \times 100\%$ であれば、光学フィルタ20の透過率曲線Fから、そのピクセルの発光波長はBである

50

と算出できる。同様に、ステップ S 2 0 4 で算出した輝度比が  $I_c / I \times 100\%$  であれば、光学フィルタ 2 0 の透過率曲線 F から、そのピクセルの発光波長は C であると算出できる。

【 0 0 3 6 】

なお、光学フィルタ 2 0 の透過率曲線 F の傾斜が急峻であるほど、輝度比（減光率）から発光波長への変換誤差が小さくなり分解能が向上する点で好適である。

【 0 0 3 7 】

次に、ステップ S 2 0 6 では、計測部 4 0 の演算手段 4 0 3 は、ステップ S 2 0 5 で算出したピクセル毎の発光波長からピクセル毎のバンドギャップを算出する。バンドギャップ  $E_g$  (eV) と発光波長 (nm) との間には、 $\lambda = 1240 / E_g$  の関係が成り立つ。そこで、例えば、 $E_g$  と  $\lambda$  の関係をテーブルとして RAM 4 3 に記憶しておけば、テーブルを用いて、ステップ S 2 0 5 で算出したピクセル毎の発光波長からピクセル毎のバンドギャップを算出することができる。

10

【 0 0 3 8 】

次に、ステップ S 2 0 7 では、計測部 4 0 の演算手段 4 0 3 は、ステップ S 2 0 5 で算出したピクセル毎の発光波長をマッピングする。例えば、図 7 に示すように、ピクセル毎の発光波長の長短を色の濃淡で示すことができる。ステップ S 2 0 7 を実行することにより、ピクセル毎の発光波長の長短（すなわち、ピクセル毎のバンドギャップの大小）を一度に視覚的に認識することが可能となる。但し、ステップ S 2 0 6 でバンドギャップの算出が終了しているため、ステップ S 2 0 7 の実行は必須ではない。

20

【 0 0 3 9 】

このように、バンドギャップ測定装置 1 では、フィルタありとフィルタなしの 2 枚の画像データを取得し、2 枚の画像データを用いた画像処理によりピクセル毎の発光波長の長短（すなわち、ピクセル毎のバンドギャップの大小）を算出する。

【 0 0 4 0 】

そのため、従来のバンドギャップ測定方法のように、測定対象物の所定の位置毎に光を照射してバンドギャップを測定する必要がなくなり、測定対象物のバンドギャップの面内分布を短時間で推定することが可能となる。

【 0 0 4 1 】

本実施の形態に係るバンドギャップ測定方法は、非破壊検査であるため、例えば、太陽電池等の半導体の製造工程における出荷前品質検査に適用することができる。或いは、本実施の形態に係るバンドギャップ測定方法を、太陽電池等の半導体の市場交換品の解析に用いてもよい。また、本実施の形態に係るバンドギャップ測定方法を、設置後（使用中）の太陽電池等の半導体の検査に適用することもできる。

30

【 0 0 4 2 】

以上、好ましい実施の形態について詳説したが、上述した実施の形態に制限されることはなく、特許請求の範囲に記載された範囲を逸脱することなく、上述した実施の形態に種々の変形及び置換を加えることができる。

【 0 0 4 3 】

例えば、上記実施の形態では、励起源 1 0、光学フィルタ 2 0、撮像素子 3 0、及び計測部 4 0 を有するバンドギャップ測定装置 1 について説明した。しかし、励起源 1 0、光学フィルタ 2 0、及び撮像素子 3 0 を、計測部 4 0 とは独立した画像取得装置としてもよい。この場合には、計測部 4 0 としての機能を実現可能なコンピュータ等と画像取得装置とを接続して動作させることにより、バンドギャップ測定装置 1 を実現できる。

40

【 0 0 4 4 】

又、バンドギャップ測定装置 1 において、測定対象物 1 0 0 から光学フィルタ 2 0 に至る光路上、又は光学フィルタ 2 0 から撮像素子 3 0 に至る光路上に、光学顕微鏡を配してもよい。この場合、測定対象物 1 0 0 を拡大して撮像できるため、光学結像限界程度の分解能でバンドギャップを測定することが期待できる。

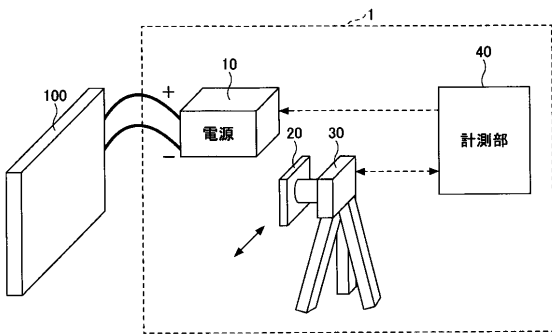
【 符号の説明 】

50

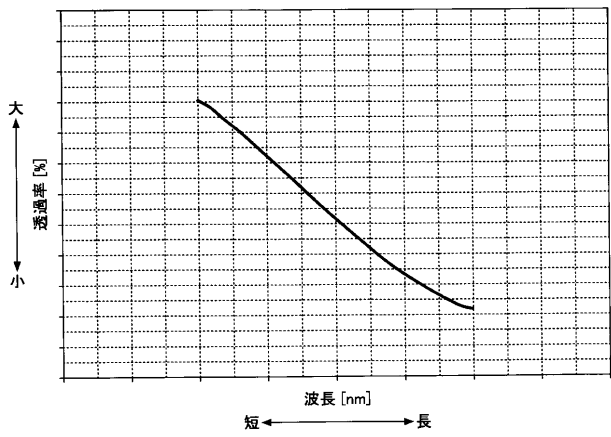
【 0 0 4 5 】

- 1 バンドギャップ測定装置
- 10 励起源
- 20 光学フィルタ
- 30 撮像素子
- 40 計測部
- 100 測定対象物

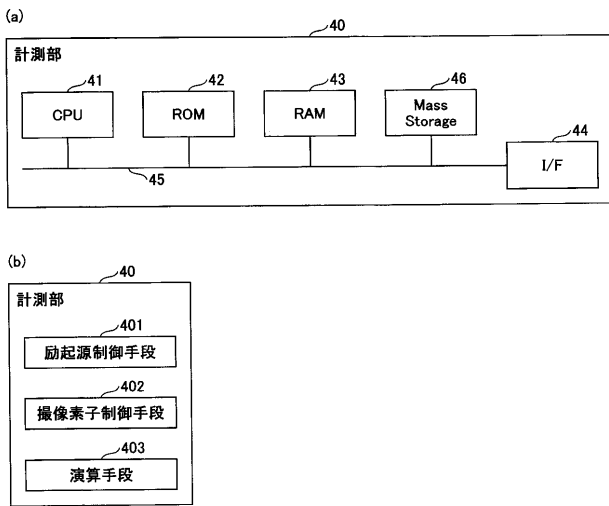
【 図 1 】



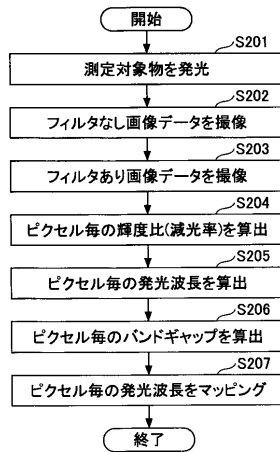
【 図 2 】



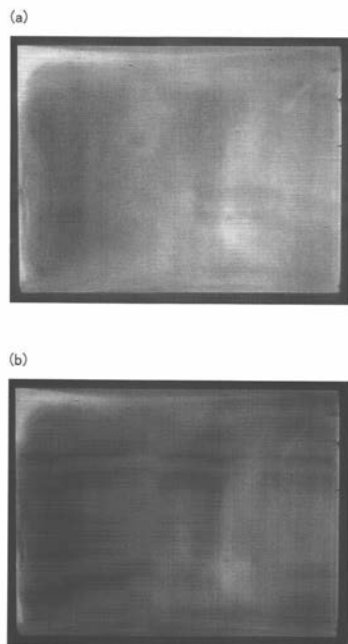
【 図 3 】



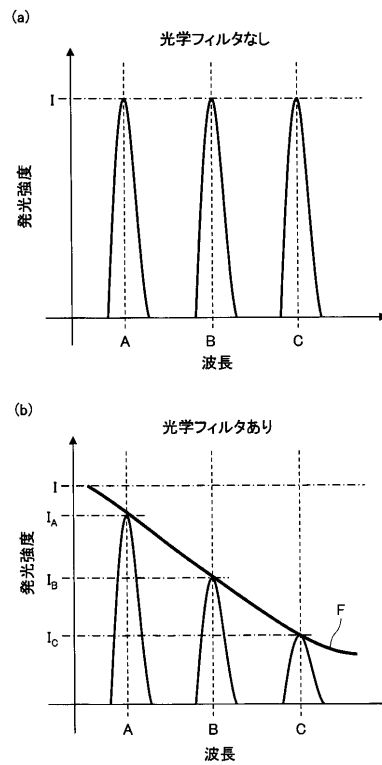
【 図 4 】



【 図 5 】



【 図 6 】



【 図 7 】

