

(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2015-114145  
(P2015-114145A)

(43) 公開日 平成27年6月22日 (2015.6.22)

(51) Int.Cl.			F I	テーマコード (参考)		
GO 1 M	11/00	(2006.01)	GO 1 M	11/00	T	2 G 0 8 6
HO 1 L	31/04	(2014.01)	HO 1 L	31/04	K	4 M 1 0 6
HO 1 L	21/66	(2006.01)	HO 1 L	21/66	C	5 F 1 5 1

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 15 頁)

(21) 出願番号 特願2013-254807 (P2013-254807)  
(22) 出願日 平成25年12月10日 (2013.12.10)

(71) 出願人 000207551  
株式会社 S C R E E Nホールディングス  
京都府京都市上京区堀川通寺之内上る四丁目天神北町1番地の1

(71) 出願人 504176911  
国立大学法人大阪大学  
大阪府吹田市山田丘1番1号

(74) 代理人 100088672  
弁理士 吉竹 英俊

(74) 代理人 100088845  
弁理士 有田 貴弘

(72) 発明者 中西 英俊  
京都市上京区堀川通寺之内上る4丁目天神北町1-1 大日本スクリーン製造株式会社内

最終頁に続く

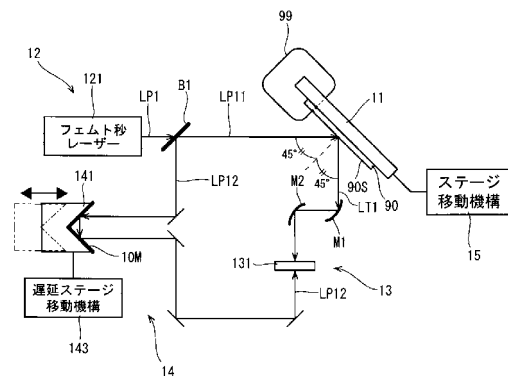
(54) 【発明の名称】 検査装置および検査方法

(57) 【要約】

【課題】 検査対象物から放射される電磁波の強度を容易に高める技術を提供する。

【解決手段】 検査装置100は、太陽電池90を検査する装置である。検査装置100は、太陽電池90のアノードであるp型半導体層93と、太陽電池90のカソードであるn型半導体層94とを電気的に接続することによって短絡する短絡手段99と、該短絡手段99によって短絡された太陽電池90にパルス光LP11を照射する照射部12と、該照射部12からのパルス光LP11の照射に応じて太陽電池90から放射される電磁波LT1を検出する検出部13と、を備えている。

【選択図】 図2



**【特許請求の範囲】****【請求項 1】**

アノードおよびカソードを有する検査対象物を検査する検査装置であって、  
前記検査対象物のアノードと、前記検査対象物のカソードを電氣的に接続することによって短絡する短絡手段と、  
前記短絡手段によって短絡された前記検査対象物に光を照射する照射部と、  
前記照射部からの前記光の照射に応じて前記検査対象物から放射される電磁波を検出する検出部と、  
を備えている、検査装置。

**【請求項 2】**

請求項 1 に記載の検査装置であって、  
前記アノードが p 型半導体であり、前記カソードが n 型半導体である、検査装置。

**【請求項 3】**

請求項 1 または 2 に記載の検査装置であって、  
前記検査対象物が、吸収波長領域が互いに相違する複数の太陽電池が積層されることによって構成される多接合型太陽電池である、検査装置。

**【請求項 4】**

アノードおよびカソードを有する検査対象物を検査する検査方法であって、  
( a ) 前記アノードと前記カソードとを電氣的に接続して短絡する工程と、  
( b ) 前記 ( a ) 工程にて短絡された状態の前記検査対象物に対して、光を照射し、当該光の照射に応じて、前記検査対象物から放射される電磁波を検出する工程と、  
を含む、検査方法。

**【請求項 5】**

請求項 4 に記載の検査方法であって、  
前記アノードが p 型半導体であって、前記カソードが n 型半導体である、検査方法。

**【請求項 6】**

請求項 4 または 5 に記載の検査方法であって、  
前記検査対象物が、吸収波長領域が互いに相違する複数の太陽電池が積層されることによって構成される多接合型太陽電池である、検査方法。

**【発明の詳細な説明】****【技術分野】****【0001】**

この発明は、半導体デバイス、フォトデバイスまたは発光デバイスを検査する技術に関する。

**【背景技術】****【0002】**

近年、半導体分野、フォトデバイス分野、とりわけ太陽電池分野では、光キャリア（特に、電子）の生成、加速、再結合などの動的な振る舞い、いわゆるキャリアダイナミクスを可視化するための技術開発が期待されている。キャリアダイナミクスは、フェムト秒～ピコ秒時間領域での観測システムが必要となる。

**【0003】**

このような観測システムとして、テラヘルツ領域の電磁波（THz 波、 $10^{12}$  Hz）を用いた観測システムの研究開発が進められている。テラヘルツ領域の電磁波は、電波のように高い透過性と光のように高い直進性を兼ね備えており、通信、セキュリティ、非破壊検査などの分野での実用化が進められている。

**【0004】**

例えば、特許文献 1 では、検査対象物であるフォトデバイスに光を照射し、それによって放射されるテラヘルツ領域の電磁波を検出している。光が照射されることで励起された光キャリア（自由電子または正孔）が内部の電界で加速され、移動する。これによって、外部に電磁波が放射される。この放射される電磁波を検出することによって、フォトデバ

10

20

30

40

50

イスの特性を検査することができる。

【0005】

また、特許文献1では、検出する電磁波強度のS/N比を高めるため、逆バイアス電圧をフォトデバイスに印加することが開示されている。逆バイアス電圧を印加することで、光キャリアの加速度が大きくなり、これによって、放射される電磁波の強度が大きくなる。

【0006】

また、外部電界を印加する別法として、特許文献2では、高強度の電磁波を照射し、測定箇所に逆バイアス電圧を印加することが提案されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0007】

【特許文献1】特開2013-19861号公報

【特許文献2】特開2013-72843号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

しかしながら、従来技術の場合、電磁波強度のS/N比を向上するため、逆バイアス電圧を印加するための回路、または、光源などを必要とするため、装置コストの増大や、条件の最適化などの煩雑な作業を要していた。

【0009】

本発明は、上記課題に鑑みなされたものであり、検査対象物から放射される電磁波の強度を容易に高める技術を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0010】

第1の態様は、アノードおよびカソードを有する検査対象物を検査する検査装置であって、前記検査対象物のアノードと、前記検査対象物のカソードを電気的に接続することによって短絡する短絡手段と、前記短絡手段によって短絡された前記検査対象物に光を照射する照射部と、前記照射部からの前記光の照射に応じて前記検査対象物から放射される電磁波を検出する検出部と、を備えている。

【0011】

また、第2の態様は、第1の態様に係る検査装置であって、前記アノードがp型半導体であり、前記カソードがn型半導体である。

【0012】

また、第3の態様は、第1または第2の態様に係る検査装置であって、前記検査対象物が、吸収波長領域が互いに相違する複数の太陽電池が積層されることによって構成される多接合型太陽電池である。

【0013】

また、第4の態様は、アノードおよびカソードを有する検査対象物を検査する検査方法であって、(a)前記アノードと前記カソードとを電気的に接続して短絡する工程と、(b)前記(a)工程にて短絡された状態の前記検査対象物に対して、光を照射し、当該光の照射に応じて、前記検査対象物から放射される電磁波を検出する工程と、を含む。

【0014】

また、第5の態様は、第4の態様に係る検査方法であって、前記アノードがp型半導体であって、前記カソードがn型半導体である。

【0015】

また、第6の態様は、第4または第5の態様に係る検査方法であって、前記検査対象物が、吸収波長領域が互いに相違する複数の太陽電池が積層されることによって構成される多接合型太陽電池である。

【発明の効果】

10

20

30

40

50

## 【0016】

第1から第6の態様によると、短絡することによって、検査対象物における内部電界を容易に高めることができる。これによって、放射される電磁波の強度を高めることができるため、検出される電磁波のS/N比を向上することができる。

## 【0017】

また、第2および第5の態様によると、p型半導体およびn型半導体を有する検査対象物について、容易に内部の電界を高めることができる。

## 【0018】

また、第3および第6の態様によると、多接合型の太陽電池に対して、逆バイアス電圧をかけることなく、放射される電磁波強度を高めることができる。このため、太陽電池の破損を抑制することができる。

## 【図面の簡単な説明】

## 【0019】

【図1】実施形態に係る検査装置の概略構成図である。

【図2】検査装置が備える照射部、検出部および遅延部の概略構成図である。

【図3】太陽電池の概略断面図である。

【図4】短絡状態の太陽電池から放射される電磁波の時間波形と、開放状態の太陽電池から放射される電磁波の時間波形とを示す図である。

【図5】開放状態の太陽電池のエネルギーバンドを示す図である。

【図6】短絡状態の太陽電池のエネルギーバンドを示す図である。

【図7】太陽電池の検査例を示す流れ図である。

【図8】電磁波強度分布画像の一例を示す図である。

【図9】電磁波のスペクトル分布の一例を示す図である。

【図10】多接合型の太陽電池を示す概念図である。

## 【発明を実施するための形態】

## 【0020】

以下、添付の図面を参照しながら、本発明の実施形態について説明する。なお、図面においては、理解容易のため、必要に応じて各部の寸法や数が誇張または簡略化して図示されている場合がある。また、この実施形態に記載されている構成要素はあくまでも例示であり、本発明の範囲をそれらだけに限定する趣旨のものではない。

## 【0021】

< 1. 実施形態 >

< 1.1. 構成および機能 >

図1は、実施形態に係る検査装置100の概略構成図である。また、図2は、検査装置100が備える照射部12、検出部13および遅延部14の概略構成図である。

## 【0022】

検査装置100は、半導体デバイスまたはフォトデバイスである検査対象物に対して、パルス光を照射し、該パルス光の照射に応じて検査対象物から放射される電磁波（例えば、周波数が0.1THz～30THzのテラヘルツ波）を検出することによって、検査対象物の検査を行う。

## 【0023】

本願においては、半導体デバイスとは、半導体によりトランジスタ、集積回路（ICやLSI）、抵抗またはコンデンサなどにより構成される電子デバイスをいう。また、フォトデバイスとは、フォトダイオード、CMOSセンサ若しくはCCDセンサなどのイメージセンサ、太陽電池またはLED等、半導体の光電効果を利用する電子デバイスをいう。検査対象物の表面は、平面状に形成されているものとするが、曲面状などに形成されていてもよい。

## 【0024】

本実施形態では、検査対象物として太陽電池90を検査する場合について説明するが、その他の半導体デバイスまたはフォトデバイスについても、同様に検査可能である。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 2 5 】

図 1 に示されるように、検査装置 1 0 0 は、ステージ 1 1、照射部 1 2、検出部 1 3、遅延部 1 4、ステージ移動機構 1 5、制御部 1 6、モニター 1 7、操作入力部 1 8、およびカメラ 1 9 を備えている。

## 【 0 0 2 6 】

ステージ 1 1 は、図示を省略する固定手段によって、太陽電池 9 0 をステージ 1 1 上に固定する。固定手段としては、基板を挟持する挟持具を利用したもの、粘着性シート、または、ステージ 1 1 の表面に形成される吸着孔などが想定される。ただし、太陽電池 9 0 を固定できるのであれば、これら以外の固定手段が採用されてもよい。本実施形態では、ステージ 1 1 は、太陽電池 9 0 の受光面（表面 9 0 S）側に照射部 1 2 および検出部 1 3 が配置されるよう、太陽電池 9 0 を保持する。

10

## 【 0 0 2 7 】

図 2 に示されるように、照射部 1 2 は、フェムト秒レーザ 1 2 1 を備えている。フェムト秒レーザ 1 2 1 は、例えば、360 nm（ナノメートル）以上 1.5 μm（マイクロメートル）以下の可視光領域を含む波長のパルス光（パルス光 LP 1）を放射する。具体例としては、中心波長が 800 nm 付近であり、周期が数 kHz～数百 MHz、パルス幅が 10～150 フェムト秒程度の直線偏光のパルス光が、フェムト秒レーザ 1 2 1 から放射される。もちろん、その他の波長領域（例えば、青色波長（450～495 nm）、緑色波長（495～570 nm）などの可視光波長）のパルス光が出射されるようにしてもよい。

20

## 【 0 0 2 8 】

フェムト秒レーザ 1 2 1 から出射されたパルス光 LP 1 は、ビームスプリッタ B 1 により 2 つに分割される。分割された一方のパルス光（パルス光 LP 1 1）は、図示を省略するが、光チョップによって数 kHz の変調がかけられる。なお、変調素子として、AOM（Acousto-Optic Modulator）などを用いてもよい。変調されたパルス光 LP 1 1 は、太陽電池 9 0 に導かれる。また、ビームスプリッタ B 1 によって分割された他方のパルス光（パルス光 LP 1 2）は、電磁波を検出する検出部 1 3 の検出器 1 3 1 へと導かれる。

## 【 0 0 2 9 】

照射部 1 2 は、パルス光 LP 1 1 の照射を、受光面側から行う。また、パルス光 LP 1 1 の光軸が、太陽電池 9 0 の受光面に対して斜めに入射するように、パルス光 LP 1 1 が太陽電池 9 0 に対して照射される。本実施形態では、入射角度が 45 度となるように照射角度が設定されている。ただし、入射角度はこのような角度に限定されるものではなく、0 度から 90 度の範囲内で適宜変更することができる。

30

## 【 0 0 3 0 】

図 3 は、太陽電池 9 0 の概略断面図である。太陽電池 9 0 は、例えば、結晶シリコン系である太陽電池として構成されている。太陽電池 9 0 は、下から順にアルミニウムなどで形成された平板状の裏面電極 9 2 と、p 型半導体層 9 3 と、n 型半導体層 9 4 と、反射防止膜 9 5 と、格子状の受光面電極 9 6 と、pn 接合部 9 7 とで構成される積層構造を有する。反射防止膜 9 5 は、酸化シリコン、窒化シリコンまたは酸化チタンなどで形成されている。

40

## 【 0 0 3 1 】

太陽電池 9 0 における両側の主面のうち、受光面電極 9 6 が設けられている側の主面が、受光面となっている。つまり、太陽電池 9 0 は、受光面側から光を受けることで好適に発電するように設計されている。受光面電極 9 6 には、透明電極が用いられていてもよい。

## 【 0 0 3 2 】

なお、検査装置 1 0 0 は、結晶シリコン系以外の太陽電池（アモルファスシリコン系など）の検査に適用してもよい。アモルファスシリコン系太陽電池の場合、一般的に、エネルギーギャップが 1.75 eV～1.8 eV といったように、結晶シリコン系太陽電池のエネルギーギャップ 1.2 eV に比べて大きい。このような場合、フェムト秒レーザ 1 2

50

1の波長を、例えば700 $\mu\text{m}$ 以下とすることで、アモルファスシリコン系太陽電池において、テラヘルツ波を良好に発生させることができる。同様の考え方で、他の半導体太陽電池(CIGS系、GaAs系など)にも適用可能である。

#### 【0033】

太陽電池90の内部電界が存在する部位に、禁制帯幅を超えるエネルギーを持つパルス光LP11が照射されると、光キャリア(自由電子および正孔)が発生し、内部電界によって加速される。これにより、パルス状の電流が発生することとなり、それに応じて電磁波が発生することとなる。内部電界は、例えばpn接合部97やショットキー接合部などに発生していることが知られている。

#### 【0034】

図1に示されるように、太陽電池90から放射された電磁波LT1は、放物面鏡M1, M2において集光される。より詳細には、放物面鏡M1, M2は、パルス光LP11が照射される表面90Sと同じ側に放射される電磁波LT1を集光する。そして、集光された電磁波LT1は、検出器131に入射する。

#### 【0035】

検出器131は、パルス光LP12が入射する光伝導スイッチ(光伝導アンテナ)で構成されている。光伝導スイッチとしては、ダイポール型、ボウタイ型およびスパイラル型などが知られている。電磁波LT1が検出器131に入射する状態で、パルス光LP12が検出器131に照射されると、光伝導スイッチに瞬間的に電磁波LT1の電界強度に応じた電流が発生する。この電界強度に応じた電流は、不図示のロックインアンプ、I/V変換回路、A/D変換回路などを介してデジタル量に変換される。このように、検出部13は、パルス光LP12の照射に応じて太陽電池90から放射された電磁波LT1の電界強度を検出する。

#### 【0036】

なお、検出器131に、その他の素子、例えばショットキーバリアダイオードを用いてもよい。ショットキーバリアダイオードは、偏光依存性が小さく、検出器131として好適である。また、検出器131として、非線形光学結晶を用いることも考えられる。

#### 【0037】

ビームスプリッタB1から検出器131までのパルス光LP12の光路上には、遅延部14が設けられている。遅延部14は、パルス光LP12が検出器131に到達する到達時間を連続的に変更するための光学素子である。

#### 【0038】

より詳細には、遅延部14は、遅延ステージ141および遅延ステージ移動機構143を備えている。遅延ステージ141は、パルス光LP12を入射方向に沿って折り返させる折り返しミラー10Mを備えている。また、遅延ステージ移動機構143は、制御部16の制御に基づいて、パルス光LP12の入射方向に沿って遅延ステージ141を平行移動させる。遅延ステージ141が平行移動することによって、ビームスプリッタB1から検出器131までのパルス光LP12の光路長が連続的に変更される。

#### 【0039】

遅延ステージ141は、電磁波LT1が検出器131に到達する時間と、パルス光LP12が検出器131へ到達する時間との時間差を変更する。遅延ステージ141により、パルス光LP12の光路長を変化させることによって、検出器131において電磁波LT1の電界強度を検出するタイミング(検出タイミングまたはサンプリングタイミング)が遅延される。

#### 【0040】

なお、遅延ステージ141とは異なる他の構成によって、パルス光LP12の検出器131への到達時間を変更することも可能である。具体的には、電気光学効果を利用することが考えられる。すなわち、印加する電圧を変化させることで屈折率が変化する電気光学素子を、遅延素子として用いてもよい。例えば、特許文献である特開2009-175127号公報に開示された電気光学素子を利用することができる。

10

20

30

40

50

## 【0041】

また、パルス光LP11の光路長、もしくは、太陽電池90から放射された電磁波LT1の光路長を変更するようにしてもよい。この場合においても、検出器131に電磁波LT1が到達する時間を、検出器131にパルス光LP12が到達する時間に対して、相対的にずらすことができる。つまり、検出器131における電磁波LT1の電界強度の検出タイミングを遅延させることができる。

## 【0042】

検査装置100は、太陽電池90を短絡する短絡手段99を備えている。短絡手段99は、例えば電線で構成されており、一方端がn型半導体層94（カソード）に取り付けられた受光面電極96に接続され、他方端がp型半導体層93（アノード）に取り付けられた裏面電極92に接続される。このように短絡手段99は、太陽電池90のカソードとアノードとを電氣的に接続することによって、太陽電池90を短絡状態とする。

10

## 【0043】

図4は、短絡状態の太陽電池90から放射される電磁波の時間波形41と、開放状態の太陽電池90から放射される電磁波の時間波形43とを示す図である。図4において、横軸は時間を示しており、縦軸は電磁波強度を示している。

## 【0044】

ここで、「開放状態」とは、太陽電池90の裏面電極92および受光面電極96が電氣的に接続されていないで開放された状態をいう。図4から明らかなように、太陽電池90が短絡状態のときに放射される電磁波LT1の時間波形41は、開放状態のときの時間波形43と比較して、その強度が大きくなっている。次に、短絡によって放射される電磁波LT1の電界強度が大きくなる要因について、図5および図6を参照しつつ説明する。

20

## 【0045】

図5は、開放状態の太陽電池90のエネルギーバンドを示す図である。また、図6は、短絡状態の太陽電池90のエネルギーバンドを示す図である。図5に示されるように、開放状態の太陽電池90では、光によって励起された光キャリア（自由電子71および正孔73）がドリフト移動する。しかしながら、裏面電極92および受光面電極96が開放されているために、ドリフトした電荷は、それぞれ半導体中に蓄積されることとなる。このため、図5に示されるように、pn接合部97の内部電界を弱める光起電力が生じ、フェルミレベルFL1が順バイアスに近い状態となる。

30

## 【0046】

太陽電池90において、パルス光LP11の照射に応じて放射される電磁波LT1の強度は、内部電界の大きさに依存する。このため、開放状態の太陽電池90から、パルス光LP11の照射に応じて放射される電磁波LT1は、内部電界の低下によって相対的に小さくなる。

## 【0047】

これに対して、図6に示されるように、短絡状態の太陽電池90では、p型半導体層93とn型半導体層94とで同電位となり、フェルミレベルFL2が同じレベルとなる。そして、短絡状態の太陽電池90のpn接合部97において、光照射によって発生した自由電子71は、n型半導体層94側のマイナス電極に流れ、光照射によって発生した正孔73は、p型半導体層93側のプラス電極に流れる。そして、それぞれの荷電は、短絡手段99を伝って、他方の半導体に注入される。そして、再結合によって失われることとなる。

40

## 【0048】

つまり、短絡状態では、開放状態時に生じていた荷電の蓄積が抑制されるため、光キャリアのドリフト移動が起こりやすくなっている。このため、太陽電池90を短絡状態とすることによって、パルス光LP11の照射に応じて放射される電磁波LT1の強度を相対的に高めることができると考えられる。

## 【0049】

再び、検査装置100の構成を説明する。ステージ移動機構15は、ステージ11を二

50

次元平面内で移動させる装置であり、例えば X - Y テーブルなどで構成されている。ステージ移動機構 15 は、ステージ 11 に保持された太陽電池 90 を、照射部 12 に対して相対的に移動させる。検査装置 100 は、ステージ移動機構 15 によって、太陽電池 90 を 2 次元平面内で任意の位置に移動させることができる。

#### 【0050】

本実施形態では、ステージ移動機構 15 によってステージ 11 を X Y 方向に移動させることによって、太陽電池 90 上の所要の検査範囲をパルス光 LP 11 で走査可能とされている。つまり、ステージ移動機構 15 は、走査機構を構成している。なお、ステージ移動機構 15 によって、ステージ 11 を移動させる代わりに、パルス光 LP 11 の光路を変更することによって、検査範囲の走査を実現することも考えられる。具体的には、図示を省略するガルバノミラーを設けて、太陽電池 90 の表面 90 S 上を、パルス光 LP 11 の光軸に垂直な二方向に、パルス光 LP 11 を走査することが考えられる。また、ガルバノミラーの代わりに、ポリゴンミラー、ピエゾミラーまたは音響光学素子などを用いることも考えられる。

10

#### 【0051】

制御部 16 は、図示を省略する CPU、ROM および RAM などを用いた一般的なコンピュータによって構成されている。制御部 16 は、図 2 に示されるフェムト秒レーザ 121、検出器 131、遅延ステージ移動機構 143 およびステージ移動機構 15 に接続されており、これらの各要素の動作を制御したり、あるいは、これらの各要素からデータを受け取ったりする。

20

#### 【0052】

また、制御部 16 は、図 1 に示される画像生成部 21、時間波形復元部 23 およびスペクトル解析部 25 に接続されている。画像生成部 21、時間波形復元部 23 およびスペクトル解析部 25 は、制御部 16 が備える CPU が不図示のプログラムにしたがって動作することにより実現される機能とされてもよいし、専用回路によってハードウェア的に実現されてもよい。

#### 【0053】

画像生成部 21 は、太陽電池 90 の検査対象範囲（太陽電池 90 の一部または全部）において、パルス光 LP 11 を照射により放射される電磁波 LT 1 の電界強度の分布を視覚化した電界強度分布画像を生成する。電界強度分布画像においては、電界強度の相違が、異なる色または異なる模様などで視覚的に表現される。

30

#### 【0054】

時間波形復元部 23 は、検出器 131 にて検出される電界強度に基づいて、太陽電池 90 から放射される電磁波 LT 1 の時間波形を復元する。具体的には、遅延ステージ 141 を移動させることで、パルス光 LP 12 が検出器 131 に到達する時間を変更し、各位相で検出された電磁波 LT 1 の電界強度が取得される。そして、この取得された電界強度が、時間軸上にプロットされることによって、電磁波 LT 1 の時間波形が復元される。

#### 【0055】

スペクトル分析部 25 は、復元された電磁波 LT 1 の時間波形に基づき、太陽電池 90 のスペクトル分析を行う。詳細には、スペクトル分析部 25 は、時間波形情報をフーリエ変換することで、周波数に関する振幅強度スペクトルを取得する。

40

#### 【0056】

制御部 16 には、モニター 17 および操作入力部 18 が接続されている。モニター 17 は、液晶ディスプレイなどの表示装置であり、オペレータに対して各種画像情報を表示する。モニター 17 には、例えば、カメラ 19 で撮影された太陽電池 90 の表面 90 S の画像、画像生成部 21 が生成した電界強度分布画像、時間波形復元部 23 によって復元された電磁波 LT 1 の時間波形、または、スペクトル分析部 25 が取得したスペクトル情報などが表示される。また、モニター 17 には、検査の条件（検査範囲など）を設定するために必要な GUI (Graphical User Interface) 画面なども表示される。

#### 【0057】

50

操作入力部 18 は、マウスおよびキーボードなどの各種入力デバイスで構成されている。オペレータは操作入力部 18 を介して所定の操作入力を行うことができる。なお、モニター 17 がタッチパネルとして構成されることにより、モニター 17 が操作入力部 18 として機能するようにしてもよい。

【0058】

また、制御部 16 には、各種データが格納される不図示の記憶部が接続されている。記憶部は、ハードディスクなどの固定ディスクの他、可搬メディア（例えば磁気メディア、光ディスクメディアまたは半導体メモリなど）で構成されていてもよい。また、制御部 16 と記憶部とは、ネットワーク回線を介して接続されていてもよい。

【0059】

< 1.2. 太陽電池の検査 >

図 7 は、太陽電池 90 の検査例を示す流れ図である。なお、以下の説明においては、特に断らない限り、検査装置 100 の各動作が制御部 16 による制御下のもとに行われるものとする。また、各工程の内容に応じて、複数の工程が並列に実行されたり、複数の工程の実行順序が適宜変更されたりしてもよいものとする。

【0060】

まず、ステージ 11 に検査対象となる太陽電池 90 が設置される（図 7：ステップ S11）。このとき、上述したように、受光面（すなわち、太陽電池 90 が使用される状態において、太陽光を受光する側の主面）に向けて、パルス光 LP11 が照射されるように、太陽電池 90 が設置される。

【0061】

太陽電池 90 がステージ 11 に設置されると、太陽電池 90 の裏面電極 92 および受光面電極 96 に短絡手段 99 の電極が接続される。これによって、太陽電池 90 が短絡状態とされる（図 7：ステップ S12）。

【0062】

太陽電池 90 が短絡状態とされると、電磁波計測が開始される（図 7：ステップ S13）。詳細には、フェムト秒レーザからのパルス光 LP11 が太陽電池 90 に照射され、それによって放射される電磁波 LT1 が検出器 131 によって検出される。

【0063】

なお、検出器 131 における電磁波 LT1 の検出タイミングは、任意に定め得る。例えば、太陽電池 90 上の任意の代表地点において、放射される電磁波 LT1 の時間波形を復元し、その電界強度が最大となる検出タイミングを、ステップ S13 の検出タイミングとしてもよい。このように検出タイミングを決定することによって、太陽電池 90 の検査対象領域内の各地点から放射される電磁波 LT1 を、高強度で検出できる可能性を高めることができる。なお、検出タイミングの設定は、上述したように、遅延部 14 を調整することによって行われる。

【0064】

電磁波計測が開始されると、ステージ移動機構 15 を駆動することによって、ステージ 11 が 2 次元平面内を移動する。これによって、太陽電池 90 が、パルス光 LP11 で 2 次元走査される（図 7：ステップ S14）。

【0065】

詳細には、太陽電池 90 が、太陽電池 90 の表面 90S に平行な第一方向（主走査方向）に移動することによって、太陽電池 90 における検査対象領域の一端から他端までが、パルス光 LP11 で走査される（主走査）。次に、太陽電池 90 が、太陽電池 90 の表面 90S に平行であって、かつ、主走査方向に直交する第二方向（副走査方向）に所要のピッチ分移動する（副走査）。そして、太陽電池 90 が先ほどの第一方向とは逆方向に移動することで、次の主走査が実行される。このように、主走査と副走査とが交互に実行されることによって、太陽電池 90 における、検査対象領域についての二次元走査が行われる。

【0066】

10

20

30

40

50

ステップ S 1 4 において、パルス光 L P 1 1 の照射位置毎に、電磁波 L T 1 の電界強度が取得されると、画像生成部 2 1 によって、電磁波強度分布画像が生成され、その画像がモニター 1 7 に表示される（図 7：ステップ S 1 5）。

【 0 0 6 7 】

図 8 は、電磁波強度分布画像 i 1 の一例を示す図である。電磁波強度分布画像 i 1 によると、太陽電池 9 0 における電界強度分布を容易に把握することができる。この電界強度分布に基づいて、例えば、太陽電池 9 0 の不良箇所の特定を容易に行うことができる。

【 0 0 6 8 】

なお、検査装置 1 0 0 において、不良箇所として特定した太陽電池 9 0 の部分について、さらなる解析を行うことも可能である。具体的には、当該部分から放射される電磁波 L T 1 の時間波形を復元することによって、詳細な検査を行うことが考えられる。

10

【 0 0 6 9 】

例えば、時間波形には、パルス光 L P 1 1 によって励起された光キャリアの生成、移動、および、再結合の情報が含まれている。このため、時間波形の時間変化などを解析することは、光キャリアのダイナミクスを解析する上で、極めて有効である。

【 0 0 7 0 】

図 9 は、電磁波 L T 1 のスペクトル分布 6 1 の一例を示す図である。また、時間波形をフーリエ変換し、スペクトル分布 6 1 を取得することによって、測定部分における物性情報を分析することが可能となる。なお、図 9 中、縦軸はスペクトル強度を示し、横軸は周波数を示している。

20

【 0 0 7 1 】

なお、このような時間波形に基づく検査は、図 7 に示されるステップ S 1 5（電磁波強度分布の画像生成・表示工程）の後に行わなければならないものではない。例えば、図 7 に示される、ステップ S 1 4（二次元走査）の代わりに、時間波形に基づく検査が行われてもよい。

【 0 0 7 2 】

以上のように、本実施形態によると、短絡手段 9 9 によって、太陽電池 9 0 を短絡状態とすることによって、開放状態の場合よりも、放射される電磁波 L T 1 の強度を大きくできる。これによって、電磁波検出の S / N 比を向上することができる。

【 0 0 7 3 】

また、短絡手段 9 9 は、簡易な電線などで構成することが可能である。したがって、高強度の電磁波 L T 1 を発生させるために、太陽電池 9 0 に逆バイアス電圧を印加する場合、電源などを設ける必要があるため、装置コストが増大する。このため、本実施形態に係る検査装置 1 0 0 は、従来よりもコスト面で有利である。

30

【 0 0 7 4 】

なお、図 3 に示された太陽電池 9 0 は、1 つの p n 接合部 9 7 を含む単接合型の太陽電池である。しかしながら、検査装置 1 0 0 は、多接合型の太陽電池の検査にも適用可能である。

【 0 0 7 5 】

図 1 0 は、多接合型の太陽電池 9 0 A を示す概念図である。太陽電池 9 0 A は、3 接合型の太陽電池である。具体的には、吸収波長領域が互いに相違する複数の太陽電池 9 A , 9 B , 9 C を下からこの順に積層することによって、太陽電池 9 0 A が構成されている。

40

【 0 0 7 6 】

吸収波長領域とは、太陽電池において主に吸収される波長領域をいい、利用波長領域と称することもできる。吸収波長領域は、複数の太陽電池 9 A , 9 B , 9 C 間で完全に相違していなくてもよく、一部が重複していてもよい。

【 0 0 7 7 】

太陽電池 9 A , 9 B , 9 C のそれぞれは、太陽電池 9 0 と同様に、p 型半導体層 9 3 A , 9 3 B , 9 3 C と、n 型半導体層 9 4 A , 9 4 B , 9 4 C とが接合されることによって、p n 接合部を形成している。そして、太陽電池 9 0 A の受光面（表面 9 0 S A）を構成

50

する太陽電池 9 C の上面に、受光面電極 9 6 A が取り付けられており、太陽電池 9 0 A の裏面を構成する太陽電池 9 A の下面に、裏面電極 9 2 A が取り付けられている。また、太陽電池 9 A , 9 B 間、太陽電池 9 B , 9 C 間は、相互に電氣的に接続されている。

【 0 0 7 8 】

このような多接合型の太陽電池 9 0 A においても、短絡手段 9 9 によって短絡状態とすることで、開放状態の場合よりも、高強度の電磁波 L T 1 を発生させることが可能である。多接合型の太陽電池 9 0 A の場合、単接合の太陽電池 9 0 の場合と比較して、逆バイアス電圧の印加によって破損する可能性が高い。このため、多接合型の太陽電池 9 0 A を短絡状態として、電磁波 L T 1 を計測することは特に有効である。

【 0 0 7 9 】

なお、詳細は省略するが、2 接合型あるいは 4 以上の多接合型の太陽電池についても、3 接合型の太陽電池 9 0 A のときと同様に、短絡状態での検査が適用可能である。

【 0 0 8 0 】

< 2 . 変形例 >

上記実施形態では、図 2 に示されるように、パルス光 L P 1 が太陽電池 9 0 の表面 9 0 S に対して斜めに照射され、検出器 1 3 1 が表面 9 0 S 側に放射される電磁波 L T 1 を検出している。しかしながら、例えば、太陽電池 9 0 の表面 9 0 S に対して、パルス光 L P 1 1 を垂直に照射し、これと同軸方向に反射するように放射される電磁波 L T 1 を検出するように、検査装置 1 0 0 が構成されてもよい。なお、透明導電膜基板 ( I T O ) を用いれば、パルス光 L P 1 1 を透過させつつ、電磁波 L T 1 を選択的に反射させて、その光路を変更することができる。

【 0 0 8 1 】

また、太陽電池 9 0 の表面 9 0 S にパルス光 L P 1 1 を照射し、これによって太陽電池 9 0 の裏面側に放射される電磁波 L T 1 を検出するように、検査装置 1 0 0 が構成されてもよい。

【 0 0 8 2 】

また、上記実施形態では、太陽電池 9 0 に照射されるパルス光 L P 1 1 の光源と、検出器 1 3 1 に入射するパルス光 L P 1 2 の光源とが、同一のフェムト秒レーザ 1 2 1 となっている。このため、パルス光 L P 1 1 およびパルス光 L P 1 2 のパルス周期は、同一となっている。しかしながら、パルス光 L P 1 1 およびパルス光 L P 1 2 が、パルス周期が同一とされた別々のフェムト秒レーザから出射されるようにしてもよい。

【 0 0 8 3 】

さらに、フェムト秒レーザ 1 2 1 の代わりに、発振周波数がわずかに異なる 2 つの波長可変レーザを用いることも考えられる。詳細には、これらから発振された 2 つのレーザ光を、光導波路である光ファイバなどで形成された不図示のカプラによって重ね合わせることで、差周波に対応する光ビート信号を生成する。そして、この光ビート信号を、太陽電池 9 0 に照射することによって、その光ビート信号の周波数に応じた電磁波 ( テラヘルツ波 ) を放射させることができる。なお、波長可変レーザとしては、例えば温度制御によって、出射するレーザ光の波長をほぼ連続的 ( 例えば、2 nm 毎 ) に変更可能とされる分布帰還型 ( D F B ) レーザなどを利用することができる。

【 0 0 8 4 】

また、上記実施形態では、図 3 に示されるように、p n 接合部 9 7 が形成された太陽電池 9 0 を例にしている。しかしながら、p 型半導体層 9 3 と n 型半導体層 9 4 との間に真性半導体層が挟み込まれた、いわゆる p i n 接合部が形成されている物も、検査装置 1 0 0 の検査対象物となり得る。また、p n 接合部 9 7 ではなく、p 型半導体または n 型半導体と金属とを接合させた、いわゆるショットキーバリアダイオードも、検査装置 1 0 0 の検査対象とすることができる。いずれのタイプの検査対象物であっても、検査対象物のカソードおよびアノードを短絡手段 9 9 によって電氣的に接続して、短絡状態とし、この状態で電磁波計測を行えばよい。

【 0 0 8 5 】

10

20

30

40

50

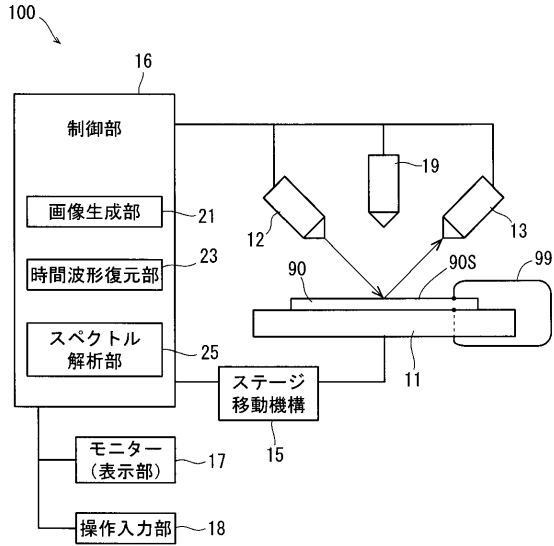
この発明は詳細に説明されたが、上記した説明は、すべての局面において、例示であって、この発明がそれに限定されるものではない。例示されていない無数の変形例が、この発明の範囲から外れることなく想定され得るものと解される。また、上記各実施形態及び各変形例で説明した各構成は、相互に矛盾しない限り適宜組み合わせたり、あるいは、省略したりすることができる。

【符号の説明】

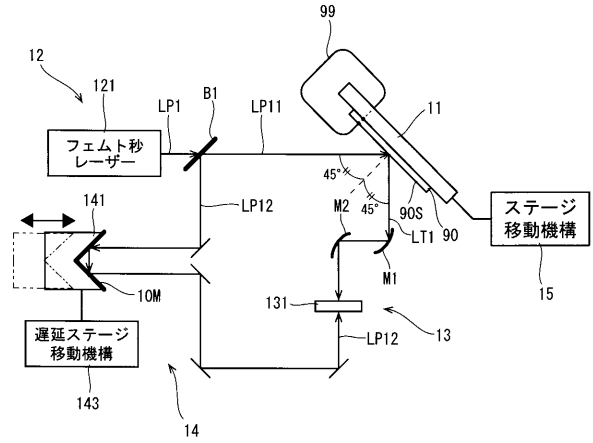
【 0 0 8 6 】

1 0 0	検査装置	
1 1	ステージ	
1 2	照射部	10
1 2 1	フェムト秒レーザー	
1 3	検出部	
1 3 1	検出器	
1 4	遅延部	
1 5	ステージ移動機構	
1 6	制御部	
1 7	モニター	
4 1 , 4 3	時間波形	
5 1	自由電子	
5 3	正孔	20
6 1	スペクトル分布	
7 1	自由電子	
7 3	正孔	
9 0 , 9 0 A	太陽電池	
9 0 S , 9 0 S A	表面 ( 受光面 )	
9 2 , 9 2 A	裏面電極	
9 3 , 9 3 A , 9 3 B , 9 3 C	p 型半導体層	
9 4 , 9 4 A , 9 4 B , 9 4 C	n 型半導体層	
9 6 , 9 6 A	受光面電極	
9 7	p n 接合部	30
9 9	短絡手段	
L P 1 1	パルス光	
L T 1	電磁波	

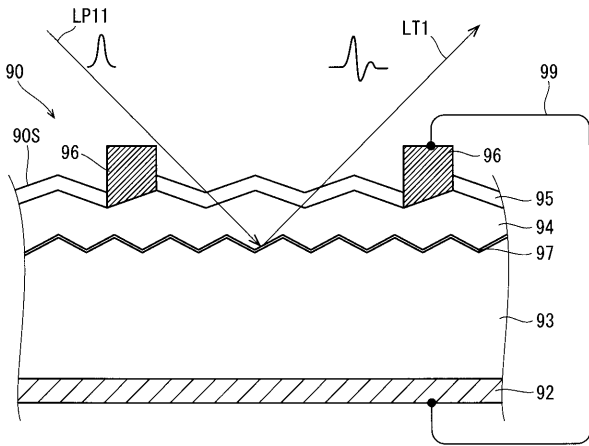
【 図 1 】



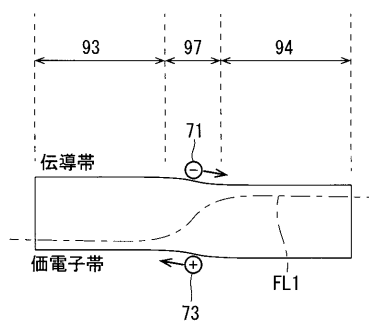
【 図 2 】



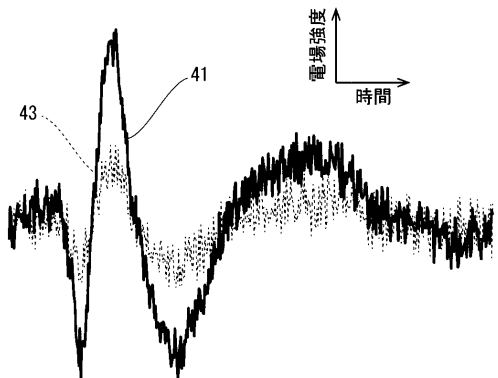
【 図 3 】



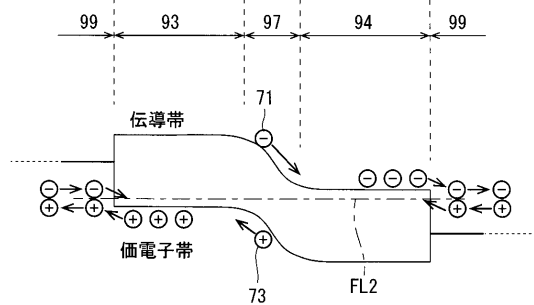
【 図 5 】



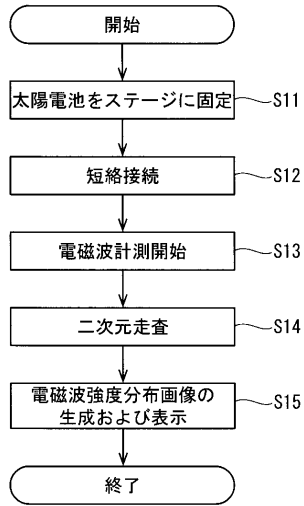
【 図 4 】



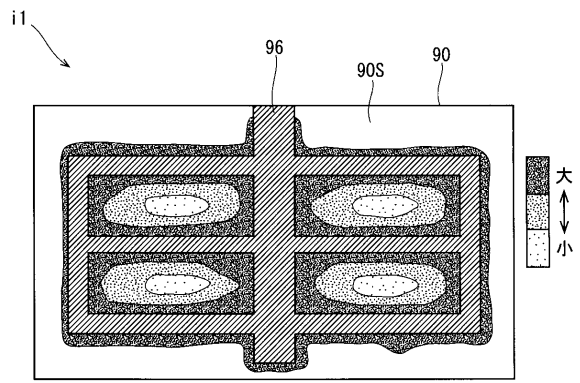
【 図 6 】



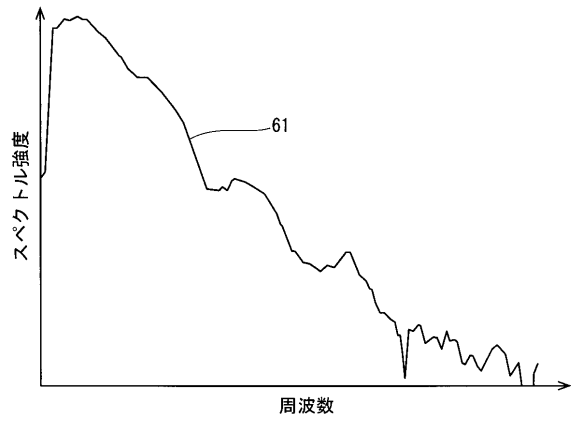
【 図 7 】



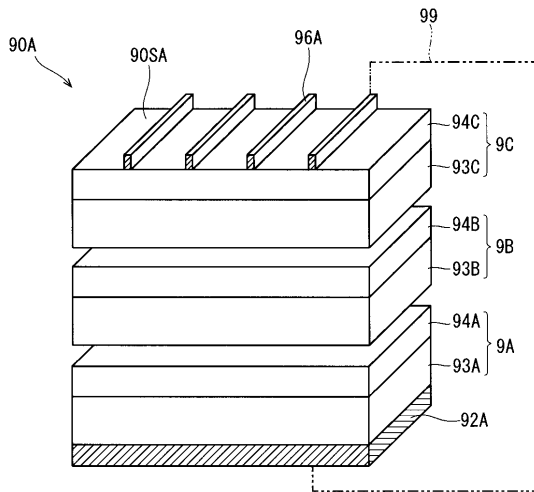
【 図 8 】



【 図 9 】



【 図 10 】



---

フロントページの続き

(72)発明者 伊藤 明

京都市上京区堀川通寺之内上る4丁目天神北町1-1 大日本スクリーン製造株式会社内

(72)発明者 川山 巖

大阪府吹田市山田丘1番1号 国立大学法人大阪大学内

(72)発明者 斗内 政吉

大阪府吹田市山田丘1番1号 国立大学法人大阪大学内

Fターム(参考) 2G086 EE04

4M106 BA05 CA17 DE18 DE20

5F151 DA16 KA09