

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6489421号  
(P6489421)

(45) 発行日 平成31年3月27日(2019.3.27)

(24) 登録日 平成31年3月8日(2019.3.8)

(51) Int. Cl.	F I
GO 1 M 11/00 (2006.01)	GO 1 M 11/00 T
GO 1 N 21/63 (2006.01)	GO 1 N 21/63 Z
HO 1 L 21/66 (2006.01)	HO 1 L 21/66 C
GO 1 N 21/88 (2006.01)	GO 1 N 21/88 K
HO 1 L 31/068 (2012.01)	HO 1 L 31/06 300
請求項の数 10 (全 21 頁) 最終頁に続く	

(21) 出願番号	特願2015-6862 (P2015-6862)	(73) 特許権者	000207551
(22) 出願日	平成27年1月16日 (2015.1.16)		株式会社 S C R E E Nホールディングス
(65) 公開番号	特開2016-133344 (P2016-133344A)		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
(43) 公開日	平成28年7月25日 (2016.7.25)	(73) 特許権者	504176911
審査請求日	平成29年12月26日 (2017.12.26)		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	藤田 雄也
			京都市上京区堀川通寺之内上る4丁目天神北町1番地の1 株式会社 S C R E E Nホールディングス内
			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光強度設定方法、検査方法および検査装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

半導体試料に照射する光の強度を設定する光強度設定方法であって、  
 ( a ) 第1光強度の光の照射に応じて半導体試料から放射されるテラヘルツ波の第1時間波形を取得する第1取得工程と、  
 ( b ) 前記第1光強度よりも大きい第2光強度の光の照射に応じて前記半導体試料から放射されるテラヘルツ波の第2時間波形を取得する第2取得工程と、  
 ( c ) 前記第1時間波形および前記第2時間波形の比較に基づいて、前記第2時間波形における電界強度の振動の発生を検出する振動発生検出工程と、  
 ( d ) 前記( c )工程において、電界強度の振動の発生が検出された場合に、前記半導体試料に照射する前記光の光強度を、前記第2光強度よりも小さい第3光強度に設定する光強度設定工程と、  
 を含み、  
 前記( c )工程は、  
 ( c - 1 ) 前記第1時間波形および前記第2時間波形に含まれる変曲点をカウントする工程と、  
 ( c - 2 ) 前記( c - 1 )工程によってカウントされた前記第1時間波形および前記第2時間波形に含まれる前記変曲点の数量の変化分が規定の数量を超えたか否かを判定することによって、前記振動の発生を検出する工程と、  
 を含み、

前記(c-1)工程は、時間的に連続する2つの変曲点における電界強度の変化量が既定の値よりも小さい場合には当該2つの変曲点をカウントから除外する工程である、光強度設定方法。

**【請求項2】**

請求項1に記載の光強度設定方法において、

(e) 前記(c)工程より先に、前記第1時間波形および前記第2時間波形を平滑化する工程、

をさらに含み、

前記(c-1)工程は、前記工程(e)によって平滑化された前記第1時間波形および前記第2時間波形において前記変曲点の数量をカウントする工程である、光強度設定方法

10

**【請求項3】**

請求項1または2に記載の光強度設定方法において、

前記(c)工程は、

前記第1時間波形および前記第2時間波形における、1以上の位相区間に含まれる変曲点の数量の変化に基づいて、前記振動の発生を検出する工程を含み、

前記1以上の位相区間のそれぞれは、前記第1時間波形における変曲点の位相を含む区間である、光強度設定方法。

**【請求項4】**

請求項3に記載の光強度設定方法において、

前記(c)工程は、

複数の前記位相区間に含まれる変曲点の数量の変化に基づいて、前記振動の発生を検出する工程を含む、光強度設定方法。

20

**【請求項5】**

半導体試料に照射する光の強度を設定する光強度設定方法であって、

(a) 第1光強度の光の照射に応じて半導体試料から放射されるテラヘルツ波の第1時間波形を取得する第1取得工程と、

(b) 前記第1光強度よりも大きい第2光強度の光の照射に応じて前記半導体試料から放射されるテラヘルツ波の第2時間波形を取得する第2取得工程と、

(c) 前記第1時間波形および前記第2時間波形の比較に基づいて、前記第2時間波形における電界強度の振動の発生を検出する振動発生検出工程と、

30

(d) 前記(c)工程において、電界強度の振動の発生が検出された場合に、前記半導体試料に照射する前記光の光強度を、前記第2光強度よりも小さい第3光強度に設定する光強度設定工程と、

を含み、

前記(c)工程は、

前記第1時間波形および前記第2時間波形をフーリエ変換することによって得られる周波数スペクトルの強度を平滑化し、平滑化された前記強度の差分値が所定の判定基準を超えるか否かを判定することによって、前記振動の発生を検出する工程を含む、光強度設定方法。

40

**【請求項6】**

請求項5に記載の光強度設定方法において、

前記(c)工程は、

前記周波数スペクトルにおける、0.5 THz以上の周波数領域に基づき、前記振動の発生を検出する工程を含む、光強度設定方法。

**【請求項7】**

半導体試料を検査する検査方法であって、

(a) 第1光強度の光の照射に応じて半導体試料から放射されるテラヘルツ波の第1時間波形を取得する第1取得工程と、

(b) 前記第1光強度よりも大きい第2光強度の光の照射に応じて前記半導体試料から

50

照射されるテラヘルツ波の第 2 時間波形を取得する第 2 取得工程と、  
 (c) 前記第 1 時間波形および前記第 2 時間波形を比較することによって、前記第 2 時間波形における電界強度の振動の発生を検出する振動発生検出工程と、  
 (d) 前記(c)工程において、電界強度の振動の発生が検出された場合に、前記半導体試料に照射する前記光の光強度を、前記第 2 光強度よりも小さい第 3 光強度に設定する光強度設定工程と、  
 (e) 前記(d)工程にて設定された第 3 光強度の光の照射に応じて、前記半導体試料から放射されるテラヘルツ波を検出するテラヘルツ波検出工程と、  
 を含み、

前記(c)工程は、

(c-1) 前記第 1 時間波形および前記第 2 時間波形に含まれる変曲点をカウントする工程と、

(c-2) 前記(c-1)工程によってカウントされた前記第 1 時間波形および前記第 2 時間波形に含まれる前記変曲点の数量の変化分が規定の数量を超えたか否かを判定することによって、前記振動の発生を検出する工程と、  
 を含み、

前記(c-1)工程は、時間的に連続する 2 つの変曲点における電界強度の変化量が既定の値よりも小さい場合には当該 2 つの変曲点をカウントから除外する工程である、検査方法。

【請求項 8】

請求項 7 に記載の検査方法において、

(f) 前記(c)工程より先に、前記第 1 時間波形および前記第 2 時間波形を平滑化する工程、

をさらに含み、

前記(c-1)工程は、前記工程(f)によって平滑化された前記第 1 時間波形および前記第 2 時間波形において前記変曲点の数量をカウントする工程である、検査方法。

【請求項 9】

半導体試料を検査する検査装置であって、

前記半導体試料に光を照射する照射部と、

前記光の照射に応じて、前記半導体試料から放射されるテラヘルツ波を検出する検出部と、

前記検出部によって検出された前記テラヘルツ波の強度に基づいて、前記テラヘルツ波の時間波形を取得する時間波形取得部と、

前記照射部が前記半導体試料に照射する前記光の強度を設定する光強度設定部と、  
 を含み、

前記光強度設定部は、

第 1 光強度の光の照射に応じて前記半導体試料から放射されるテラヘルツ波の第 1 時間波形、および、前記第 1 光強度よりも大きい第 2 光強度の光の照射に応じて前記半導体試料から放射されるテラヘルツ波の第 2 時間波形を取得する時間波形取得部と、

前記第 1 時間波形および前記第 2 時間波形を比較することによって、前記第 2 時間波形における電界強度の振動の発生を検出する振動発生検出部と、  
 を備え、

前記振動発生検出部は、前記第 1 時間波形および前記第 2 時間波形における変曲点の数量の変化分が既定の数量を越えたか否かを判定することによって、前記振動の発生を検出し、

前記変曲点の数量は、時間的に連続する 2 つの変曲点間における電界強度の変化量が既定の値よりも小さい場合には当該 2 つの変曲点をカウントから除外することによって得られる、検査装置。

【請求項 10】

請求項 9 に記載の検査装置において、

10

20

30

40

50

前記振動発生検出部は、平滑化された前記第1時間波形および前記第2時間波形において、前記変曲点の数量をカウントする、検査装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

この発明は、半導体試料を検査する技術に関し、特に、半導体試料に照射する光の強度を最適化する技術に関する。

【背景技術】

【0002】

例えば、フォトデバイスの一種である太陽電池に、所定波長のパルス光を照射すると、テラヘルツ波を発生させることができる（特許文献1）。特許文献1では、発生したテラヘルツ波の電界強度を検出することによって、当該太陽電池の性能測定や欠陥検出等の検査をする技術が開示されている。

10

【0003】

また、一般的には、フォトデバイスに照射するパルス光の光強度（光量）を強めることで、当該フォトデバイスから放射されるテラヘルツ波の電界強度を大きくすることができる（特許文献2）。しかしながら、光強度を過剰に強くした場合、フォトデバイスにダメージを与えてしまうおそれがある。そこで、特許文献2では、半導体試料であるフォトデバイスに照射するパルス光の光強度を好適に設定する技術を開示している。具体的には、パルス光の光強度を変更しながら、電界強度を測定することによって、電界強度が最大となるときに光強度（最大光強度）が決定される。そして、その最大光強度に基づいて、検査向けのパルス光の光強度が決定される。

20

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】特開2013-19861号公報

【特許文献2】特開2013-61219号公報

【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、フォトデバイスを含む半導体試料に照射する光の光強度を最適化する技術は、特許文献2に記載の技術によるもの以外は知られておらず、半導体試料へダメージを与えることをより確実に防止するためにも、光強度をより好適に設定する新たな判定基準が望まれている。

30

【0006】

そこで、本発明は、半導体試料に照射する光強度を、好適な判定基準に基づいて設定す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】

【0007】

上記の課題を解決するため、第1の態様は、半導体試料に照射する光の強度を設定する光強度設定方法であって、（a）第1光強度の光の照射に応じて半導体試料から放射されるテラヘルツ波の第1時間波形を取得する第1取得工程と、（b）前記第1光強度よりも大きい第2光強度の光の照射に応じて前記半導体試料から放射されるテラヘルツ波の第2時間波形を取得する第2取得工程と、（c）前記第1時間波形および前記第2時間波形の比較に基づいて、前記第2時間波形における電界強度の振動の発生を検出する振動発生検出工程と、（d）前記（c）工程において、電界強度の振動の発生が検出された場合に、前記半導体試料に照射する前記光の光強度を、前記第2光強度よりも小さい第3光強度に設定する光強度設定工程とを含み、前記（c）工程は、（c-1）前記第1時間波形および前記第2時間波形に含まれる変曲点をカウントする工程と、（c-2）前記（c-1）工程によってカウントされた前記第1時間波形および前記第2時間波形に含まれる前記変

40

50

曲点の数量の変化分が規定の数量を超えたか否かを判定することによって、前記振動の発生を検出する工程と、を含み、前記(c-1)工程は、時間的に連続する2つの変曲点における電界強度の変化量が既定の値よりも小さい場合には当該2つの変曲点をカウントから除外する工程である。

【0008】

また、第2の態様は、第1の態様に係る光強度設定方法において、(e)前記(c)工程より先に、前記第1時間波形および前記第2時間波形を平滑化する工程、をさらに含み、前記(c-1)工程は、前記工程(e)によって平滑化された前記第1時間波形および前記第2時間波形において前記変曲点の数量をカウントする工程である。

【0009】

また、第3の態様は、第1または第2の態様に係る光強度設定方法において、前記(c)工程は、前記第1時間波形および前記第2時間波形における、1以上の位相区間に含まれる変曲点の数量の変化に基づいて、前記振動の発生を検出する工程を含み、前記1以上の位相区間のそれぞれは、前記第1時間波形における変曲点の位相を含む区間である。

【0010】

また、第4の態様は、第3の態様に係る光強度設定方法において、前記(c)工程は、複数の前記位相区間に含まれる変曲点の数量の変化に基づいて、前記振動の発生を検出する工程を含む。

【0011】

また、第5の態様は、半導体試料に照射する光の強度を設定する光強度設定方法であって、(a)第1光強度の光の照射に応じて半導体試料から放射されるテラヘルツ波の第1時間波形を取得する第1取得工程と、(b)前記第1光強度よりも大きい第2光強度の光の照射に応じて前記半導体試料から放射されるテラヘルツ波の第2時間波形を取得する第2取得工程と、(c)前記第1時間波形および前記第2時間波形の比較に基づいて、前記第2時間波形における電界強度の振動の発生を検出する振動発生検出工程と、(d)前記(c)工程において、電界強度の振動の発生が検出された場合に、前記半導体試料に照射する前記光の光強度を、前記第2光強度よりも小さい第3光強度に設定する光強度設定工程と、を含み、前記(c)工程は、前記第1時間波形および前記第2時間波形をフーリエ変換することによって得られる周波数スペクトルの強度を平滑化し、平滑化された前記強度の差分値が所定の判定基準を超えるか否かを判定することによって、前記振動の発生を検出する工程を含む。

【0012】

また、第6の態様は、第5の態様に係る光強度設定方法において、前記(c)工程は、前記周波数スペクトルにおける、0.5THz以上の周波数領域に基づき、前記振動の発生を検出する工程を含む。

【0013】

また、第7の態様は、半導体試料を検査する検査方法であって、(a)第1光強度の光の照射に応じて半導体試料から放射されるテラヘルツ波の第1時間波形を取得する第1取得工程と、(b)前記第1光強度よりも大きい第2光強度の光の照射に応じて前記半導体試料から照射されるテラヘルツ波の第2時間波形を取得する第2取得工程と、(c)前記第1時間波形および前記第2時間波形を比較することによって、前記第2時間波形における電界強度の振動の発生を検出する振動発生検出工程と、(d)前記(c)工程において、電界強度の振動の発生が検出された場合に、前記半導体試料に照射する前記光の光強度を、前記第2光強度よりも小さい第3光強度に設定する光強度設定工程と、(e)前記(d)工程にて設定された第3光強度の光の照射に応じて、前記半導体試料から放射されるテラヘルツ波を検出するテラヘルツ波検出工程とを含み、前記(c)工程は、(c-1)前記第1時間波形および前記第2時間波形に含まれる変曲点をカウントする工程と、(c-2)前記(c-1)工程によってカウントされた前記第1時間波形および前記第2時間波形に含まれる前記変曲点の数量の変化分が規定の数量を超えたか否かを判定することによって、前記振動の発生を検出する工程と、を含み、前記(c-1)工程は、時間的に連

10

20

30

40

50

続する2つの変曲点における電界強度の変化量が既定の値よりも小さい場合には当該2つの変曲点をカウントから除外する工程である。

また、第8の態様は、第7の態様に係る検査方法において、(f)前記(c)工程より先に、前記第1時間波形および前記第2時間波形を平滑化する工程、をさらに含み、前記(c-1)工程は、前記工程(f)によって平滑化された前記第1時間波形および前記第2時間波形において前記変曲点の数量をカウントする工程である。

【0014】

また、第9の態様は、半導体試料を検査する検査装置であって、前記半導体試料に光を照射する照射部と、前記光の照射に応じて、前記半導体試料から放射されるテラヘルツ波を検出する検出部と、前記検出部によって検出された前記テラヘルツ波の強度に基づいて、前記テラヘルツ波の時間波形を取得する時間波形取得部と、前記照射部が前記半導体試料に照射する前記光の強度を設定する光強度設定部とを含み、前記光強度設定部は、第1光強度の光の照射に応じて前記半導体試料から放射されるテラヘルツ波の第1時間波形、および、前記第1光強度よりも大きい第2光強度の光の照射に応じて前記半導体試料から放射されるテラヘルツ波の第2時間波形を取得する時間波形取得部と、前記第1時間波形および前記第2時間波形を比較することによって、前記第2時間波形における電界強度の振動の発生を検出する振動発生検出部とを備え、前記振動発生検出部は、前記第1時間波形および前記第2時間波形における変曲点の数量の変化分が既定の数量を越えたか否かを判定することによって、前記振動の発生を検出し、前記変曲点の数量は、時間的に連続する2つの変曲点間における電界強度の変化量が既定の値よりも小さい場合には当該2つの変曲点をカウントから除外することによって得られる。

また、第10の態様は、第9の態様に係る検査装置において、前記振動発生検出部は、平滑化された前記第1時間波形および前記第2時間波形において、前記変曲点の数量をカウントする。

【発明の効果】

【0015】

第1の態様によると、検査光の検査向けの光強度を、テラヘルツ波の時間波形における、電界強度の振動の発生に基づいて、好適に設定することができる。これによって、半導体試料へダメージを与えることを抑制しつつ、かつ、高強度のテラヘルツ波を発生させることが可能な光強度に設定できる。

【0016】

また、時間波形における変曲点の数量の変化を計測することによって、振動の発生を直接的に検出できる。

【0017】

第3の態様によると、第1時間波形において変曲点を取る位相を含んだ位相区間において、変曲点の数量を計測することによって、振動発生を容易に検出できる。

【0018】

第4の態様によると、複数の位相区間における変曲点の数量の変化を計測することによって、振動発生の検出精度を高めることができる。

【0019】

第5の態様によると、周波数スペクトルの変化に基づいて、振動の発生を検出することによって、振動の発生の検出精度を高めることができる。

【0020】

第6の態様によると、振動に関連性がある0.5THz以上の周波数領域に基づいて、振動発生を検出することによって、振動発生の検出精度を高めることができる。

【図面の簡単な説明】

【0021】

【図1】実施形態に係るテラヘルツ波測定系の概略構成図である。

【図2】太陽電池の概略断面図である。

【図3】テラヘルツ波の時間波形を示す図である。

10

20

30

40

50

- 【図4】検査装置における制御部と他の要素との電気的な接続を示すブロック図である。
- 【図5】検査装置の動作の流れを示す図である。
- 【図6】光強度と電界強度の相関を示す図である。
- 【図7】限界光強度および超過光強度の検査光の照射によって放射されるテラヘルツ波の時間波形を示す図である。
- 【図8】時間波形における第1位相区間の部分を示す部分拡大図である。
- 【図9】時間波形における第2位相区間の部分を示す部分拡大図である。
- 【図10】時間波形における第3位相区間の部分を示す部分拡大図である。
- 【図11】時間波形における第4位相区間の部分を示す部分拡大図である。
- 【図12】周波数スペクトルを示す図である。
- 【図13】低周波領域(0.5 THz以下)の周波数スペクトルを拡大して示す図である。

10

【発明を実施するための形態】

【0022】

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、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のみ限定する趣旨のものではない。また、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。

【0023】

<実施形態>

20

<検査装置の構成>

図1は、実施形態に係る検査装置100の概略構成図である。検査装置100は、検査光照射部22、テラヘルツ波検出部23および遅延部24、移動ステージ3、試料台4、カメラ6および制御部7を備えている。

【0024】

検査装置100は、半導体試料に対して検査光(後述する検査光LP11)を照射し、該検査光の照射に応じて発生するテラヘルツ波を検出する。また、検査装置100は、検出されたテラヘルツ波(0.1 THz~30 THzの電磁波)の強度を画像化する。

【0025】

ここで、半導体試料とは、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(半導体デバイス)の他、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(フォトデバイス)を含む。半導体試料の表面は、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。

30

【0026】

以下では、半導体試料として太陽電池9を検査する場合について説明するが、その他の半導体試料についても、同様に検査可能である。

【0027】

検査光照射部22は、フェムト秒レーザー221を備えている。フェムト秒レーザー221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LP1)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、フェムト秒レーザー221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。

40

【0028】

フェムト秒レーザー221から出射されたパルス光LP1は、ビームスプリッタBE1により2つに分割される。分割された一方のパルス光は、検査光LP11として、太陽電池9に照射される。このとき、検査光照射部22は、検査光LP11の照射を、受光面91側から行う。また、検査光LP11の光軸が、太陽電池9の受光面91に対して斜めに入

50

射するように、検査光LP11が太陽電池9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。

#### 【0029】

また、本例では、受光面91側に放射されるテラヘルツ波LT1を検出している。しかしながら、太陽電池9の受光面91に検査光LP11を照射し、太陽電池9の裏面に放射されるテラヘルツ波LT1を検出するようにしてもよい。この場合、電圧印加テーブル41や移動ステージ3などの太陽電池9を保持する保持部は、テラヘルツ波LT1を通す形状または素材で構成するとよい。また、太陽電池9の受光面91に対して垂直に（すなわち、入射角度が90度で）検査光LP11を照射し、太陽電池9の受光面91側であって、検査光LP11と同軸に放射されるテラヘルツ波を検出するようにしてもよい。この場合、検査光LP11およびテラヘルツ波LT1の光路上に、透明導電膜基板（ITO）を配置することが考えられる。透明導電膜基板は、検査光LP11を透過させる一方、テラヘルツ波LT1を反射させる性質を備えている。このため、透明導電膜基板によって、検査光LP11と同軸のテラヘルツ波LT1を外部に取り出すことで、検出することが考えられる。

10

#### 【0030】

図1に示すように、ビームスプリッタBE1から太陽電池9までの、検査光LP11の光路上には、減光フィルターND1が配置されている。減光フィルターND1は、検査光LP11の光量（光強度）を低減させる装置である。検査装置100においては、減光フィルターND1は、検査光LP11の光強度を調整する手段を構成している。

20

#### 【0031】

減光フィルターND1と太陽電池9までの検査光LP11の光路上には、図示を省略する複数のレンズで構成されたビーム径変更機構、及び、パワーメータPM1が設けられている。パワーメータPM1は、減光フィルターND1によって光量が調整された検査光LP11の光量（光強度）を測定する。

#### 【0032】

図2は、太陽電池9の概略断面図である。太陽電池9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側電極92と、p型半導体層93と、n型半導体層94と、反射防止膜95と、格子状の表面側電極96と、pn接合部97とで構成される積層構造を有する。反射防止膜95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。

30

#### 【0033】

太陽電池9における両側の主面のうち、表面側電極96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。表面側電極96には、透明電極が用いられていてもよい。

#### 【0034】

検査装置100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）の検査に適用されてもよい。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221の波長を、例えば700 μm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。

40

#### 【0035】

太陽電池9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検査光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

50

生していることが知られている。

【0036】

マクスウェルの方程式によると、電流に変化が生じたとき、その電流の時間微分に比例した強度の電磁波が発生する。すなわち、空乏層などの光励起キャリア発生領域にパルス光が照射されることで、瞬間的に光電流の発生および消滅が起こる。この瞬間的に発生する光電流の時間微分に比例して、電磁波パルス（テラヘルツ波LT1）が発生する。

【0037】

図1に示すように、ビームスプリッタBE1によって分割された他方のパルス光は、検出光LP12として遅延部24を經由し、テラヘルツ波検出部23のテラヘルツ波検出器231に入射する。また、検査光LP11の照射に応じて発生したテラヘルツ波LT1は、放物面鏡などによって適宜集光され、テラヘルツ波検出器231に入射する。

10

【0038】

テラヘルツ波検出器231は、電磁波検出素子として、例えば、光伝導スイッチ（光伝導アンテナ）を備えている。テラヘルツ波LT1がテラヘルツ波検出器231に入射する状態で、検出光LP12がテラヘルツ波検出器231に照射されると、光伝導スイッチに瞬間的にテラヘルツ波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。このようにして、テラヘルツ波検出部23は、検出光LP12の照射に応じて、太陽電池9を透過したテラヘルツ波LT1の電界強度を検出する。なお、光伝導スイッチとは異なる他の素子、例えばショットキーバリアダイオードまたは非線形光学結晶が、検出素子として採用されてもよい。

20

【0039】

遅延部24は、検出光LP12のテラヘルツ波検出器231への到達時間を連続的に変更する光学装置である。遅延部24は、検出光LP12の入射方向に沿って直線移動する遅延ステージ241と遅延ステージ241を移動させる遅延ステージ駆動機構242とを備えている。遅延ステージ241は、検出光LP12をその入射方向に折り返させる折り返しミラー10Mを備えている。また、遅延ステージ駆動機構242は、制御部7の制御に基づいて、検出光LP12の入射方向に沿って遅延ステージ241を平行移動させる。遅延ステージ241が平行移動することによって、ビームスプリッタBE1からテラヘルツ波検出器231までの検出光LP12の光路長が連続的に変更される。

30

【0040】

遅延ステージ241は、テラヘルツ波LT1がテラヘルツ波検出器231に到達する時間と、検出光LP12がテラヘルツ波検出器231へ到達する時間との差（位相差）を変更する。具体的には、遅延ステージ241によって、検出光LP12の光路長を变化することによって、テラヘルツ波検出器231においてテラヘルツ波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。

【0041】

なお、遅延ステージ241とは異なる構成によって、検出光LP12のテラヘルツ波検出器231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、印加する電圧を变化させることで屈折率が变化する電気光学素子を、遅延素子として用いてもよい。

40

【0042】

また、検出光LP12の光路長を変更する代わりに、太陽電池9に向かう検査光LP11の光路長、もしくは、太陽電池9から放射されたテラヘルツ波LT1の光路長を変更してもよい。いずれの場合においても、テラヘルツ波検出器231に検出光LP12が到達する時間に対して、テラヘルツ波検出器231にテラヘルツ波LT1が到達する時間をずらすことができる。つまり、テラヘルツ波検出器231におけるテラヘルツ波LT1の検出タイミングを遅延させることができる。

【0043】

移動ステージ3は、ステージ駆動機構31によって、水平方向（X軸方向、Y軸方向）

50

および鉛直方向（Z軸方向）の各方向に移動する。ステージ駆動機構31は、移動ステージ3をX軸方向に移動させるX軸方向移動機構、移動ステージ3をY軸方向に移動するY軸方向移動機構、移動ステージ3をZ軸方向に昇降させる昇降機構を備えている。さらに、ステージ駆動機構31は、Z軸周りの回転方向（軸方向）に移動させる回転機構を適宜備えている。

【0044】

ステージ駆動機構31は、移動ステージ3に取り付けられた試料台4に保持されている太陽電池9を、検査光照射部22に対して、XY平面内で相対的に移動させる。つまり、検査装置100は、太陽電池9の受光面91を検査光LP11で走査可能に構成されている。したがって、本実施形態では、ステージ駆動機構31は、走査機構を構成している。

10

【0045】

また、検査光LP11自体の光路を変更する走査機構を採用してもよい。具体的には、往復揺動するガルバノミラーによって、検査光LP11の光路を、太陽電池9の受光面91に平行なXY平面に沿って変更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、 piezoミラーまたは音響光学素子などを採用してもよい。

【0046】

試料台4は、移動ステージ3の上面に取り付けられている。試料台4は、電圧印加テーブル41と、電極ピンユニット43を備えている。

20

【0047】

電圧印加テーブル41は、例えば銅などの電気伝導性の高い素材で構成されており、さらにその表面が金メッキされている。また、電圧印加テーブル41の表面には、複数の吸着孔が形成されている。吸着孔は吸引ポンプに接続されており、当該吸引ポンプを駆動することによって、太陽電池9の裏面が電圧印加テーブル41に吸着される。これによって、太陽電池9が試料台4に固定される。なお、電圧印加テーブル41の表面に、複数の吸着溝を設け、当該各吸着溝内に、上記複数の吸着孔を形成してもよい。この場合、複数の吸着溝に沿って太陽電池9が吸着されることによって、強固に固定される。試料台4の電圧印加テーブル41は、保持部の一例である。

30

【0048】

移動ステージ3がX軸方向、Y軸方向およびZ軸方向に移動することによって、移動ステージ3上の試料台4に保持された太陽電池9が、X軸方向、Y軸方向およびZ軸方向のそれぞれに移動する。

【0049】

太陽電池9について、テラヘルツ波測定を行う場合には、試料台4の電圧印加テーブル41および電極ピンユニット43を介して、太陽電池9に逆バイアス電圧を印加してもよい。これによって、太陽電池9から放射されるテラヘルツ波LT1の強度を高めることができる。また、電圧印加テーブル41および電極ピンユニット43間を短絡接続して、太陽電池9の表面側電極と裏面側電極92とを短絡することも考えられる。この場合においても、太陽電池9から放射されるテラヘルツ波LT1の強度を高めることができる。

40

【0050】

次に、テラヘルツ波LT1の時間波形を復元する方法について説明する。図3は、テラヘルツ波LT1の時間波形80を示す図である。図3において、横軸は時間（位相）を示しており、縦軸は電界強度を示している。また、図3において、時間波形80を示すグラフの下側には、遅延ステージ241によって、テラヘルツ波検出器231に到達するタイミング（時間 $t_1 \sim t_8$ ）が相互に異なる、複数の検出光LP12が概念的に示されている。

【0051】

テラヘルツ波検出器231に対して、例えば時間 $t_1$ に検出光LP12が到達するよう

50

、遅延ステージ241が調整された場合、テラヘルツ波検出器231によって値E1の電界強度が検出されることとなる。つまり、時間t1は、テラヘルツ波LT1がE1となる位相に対応する。同様に、検出タイミングが時間t2～t8に遅延されることで、それぞれに対応する位相の電界強度(値E2～E8)が検出されることとなる。

【0052】

遅延ステージ241を制御して、検出タイミングを細かく変更することによって、テラヘルツ波LT1の各位相の電界強度が取得される。取得された電界強度を時間軸に沿ってグラフ上にプロットされることで、テラヘルツ波LT1の時間波形80が復元される。

【0053】

また、テラヘルツ波LT1の時間波形を復元することによって、例えばテラヘルツ波LT1の電界強度が最大となる検出タイミングを特定できる。例えば、図3に示す時間波形80場合、時間t3で最大電界強度のテラヘルツ波を検出できることがわかる。そこで、時間波形を復元せずに、検出タイミングを固定してテラヘルツ波LT1を検出する場合には、事前に復元した時間波形において、電界強度が最大となる検出タイミングに合わせて遅延ステージ241を制御するとよい。これによって、テラヘルツ波の検出が容易となる。

10

【0054】

なお、遅延ステージ241とは異なる他の構成によって、検出光LP12のテラヘルツ波検出器231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。

20

【0055】

また、検査光LP11の光路長、もしくは、太陽電池9から放射されたテラヘルツ波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、テラヘルツ波検出器231にテラヘルツ波LT1が到達する時間を、テラヘルツ波検出器231に検出光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、テラヘルツ波検出器231におけるテラヘルツ波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。

【0056】

制御部7は、検査装置100が備える各部と電氣的に接続されており、各種の演算処理を実行しつつ検査装置100の各部の動作を制御する。

30

【0057】

図4は、検査装置100における制御部7と他の要素との電氣的な接続を示すブロック図である。制御部7は、演算装置としてのCPU71、読み取り専用のROM72、主にCPU71のワーキングエリアとして使用されるRAM73および不揮発性の記録媒体である記憶部74を備えている。このように、制御部7は、CPU71、ROM72、RAM73および記憶部74を備えており、一般的なコンピュータとして構成されている。

【0058】

ROM72は、基本プログラムなどを格納している。RAM73は、CPU71が所定の処理を行う際の作業領域として供される。記憶部74は、フラッシュメモリ、あるいは、ハードディスク装置などの不揮発性の記憶装置によって構成されている。記憶部74にはプログラムPG1がインストールされている。該プログラムPG1に記述された手順に従って、主制御部としてのCPU71が演算処理を行うことによって、各種機能(例えば、光強度設定部711、時間波形取得部712、振動発生検出部713など)が実現される。

40

【0059】

光強度設定部711は、太陽電池9に照射する光(検査光LP11)の光強度を設定する。光強度設定部711は、時間波形取得部712および振動発生検出部713を備えている。光強度設定部711が光強度を設定する手順については、後に詳述する。

50

## 【 0 0 6 0 】

時間波形取得部 7 1 2 は、太陽電池 9 から放射されたテラヘルツ波の時間波形を取得する。時間波形の取得は、図 3 で説明した要領で行われる。

## 【 0 0 6 1 】

振動発生検出部 7 1 3 は、時間波形における、微小な振動の発生を検出する。この詳細については、後述する。

## 【 0 0 6 2 】

プログラム P G 1 は、通常、予め記憶部 7 4 などのメモリに格納されて使用されるものであるが、C D - R O M あるいは D V D - R O M、外部のフラッシュメモリなどの記録媒体に記録された形態（プログラムプロダクト）で提供され（あるいは、ネットワークを介した外部サーバからのダウンロードなどにより提供され）、追加的または交換的に記憶部 7 4 などのメモリに格納されるものであってもよい。なお、制御部 7 において実現される一部あるいは全部の機能は、専用の論理回路などでハードウェア的に実現されてもよい。

## 【 0 0 6 3 】

また、制御部 7 は、表示部 6 1、操作部 6 2、ステージ駆動機構 3 1、遅延ステージ駆動機構 2 4 2 およびカメラ 6 といった検査装置 1 0 0 の各要素とバス配線、ネットワーク回線またはシリアル通信回線などを介して接続されている。制御部 7 は、これらの要素の動作制御を行ったり、これらの要素からデータを受け取ったりする。

## 【 0 0 6 4 】

表示部 6 1 は、液晶ディスプレイなどの画像を表示する表示装置であって、例えばテラヘルツ波の時間波形、周波数スペクトルなどの各種情報を表示する。

## 【 0 0 6 5 】

操作部 6 2 は、例えば、キーボードおよびマウスによって構成される入力デバイスであり、オペレータからの各種の操作（コマンドや各種データの入力といった操作）を受け付ける。なお、操作部 6 2 は、各種スイッチ、タッチパネルなどにより構成されてもよい。

## 【 0 0 6 6 】

## &lt; 検査装置の動作 &gt;

次に、検査装置の動作について説明する。図 5 は、検査装置 1 0 0 の動作の流れを示す図である。図 5 に示すフローチャートは、検査装置 1 0 0 において、テラヘルツ波測定に基づいた、半導体試料である太陽電池 9 の検査を行うものである。

## 【 0 0 6 7 】

図 5 に示すフローチャートのうち、ステップ S 1 1 ~ ステップ S 1 4 までの処理は、太陽電池 9 に照射される検査光 L P 1 1 の光強度を設定する、光強度設定処理である。また、ステップ S 1 5 の処理は、当該光強度設定処理によって設定された光強度の検査光 L P 1 1 を用いて、太陽電池 9 の検査を行う検査処理である。

## 【 0 0 6 8 】

まず、検査用の光強度を設定する理由について説明する。図 6 は、光強度と電界強度の相関を示す図である。図 6 中、横軸は光強度を示しており、縦軸は電界強度を示している。

## 【 0 0 6 9 】

図 6 に示すデータは、電界強度の検出タイミング（位相）を固定し、光強度が異なる検査光 L P 1 1 をそれぞれ太陽電池 9 に照射し、発生するテラヘルツ波の電界強度を測定したものである。図 6 に示すように、光強度が大きくなるにしたがって、電界強度が大きくなっている。しかしながら、ある特定の光強度を超えると、電界強度が減少に転じる。この電界強度が減少に転じる点を限界点 P 1 と称し、このときの光強度を限界光強度 L E 1 とする。また、減少に転じた点を超過点 P 2 と称し、このときの光強度を超過光強度 L E 2 とする。

## 【 0 0 7 0 】

図 6 に示すように、テラヘルツ波の検出感度を高めるためには、照射する検査光 L P 1 1 の光強度を上げればよいが、限界点 P 1 を越える光強度は逆に検出感度が落ちる事とな

10

20

30

40

50

る。また、検査光 L P 1 1 の光強度が大きくなると、太陽電池 9 にダメージを与えてしまうおそれがある。そこで、太陽電池 9 の検査を良好に行うことができる好適な検査光 L P 1 1 の光強度の設定が、図 5 に示すステップ S 1 1 ~ ステップ S 1 4 で実行される。そして、この好適な検査光 L P 1 1 を用いた太陽電池 9 の検査が、ステップ S 1 5 で実行される。

【 0 0 7 1 】

図 5 に戻って、各ステップ S 1 1 ~ ステップ S 1 5 について説明する。

【 0 0 7 2 】

ステップ S 1 1 は、所定の光強度（第 1 光強度）の検査光 L P 1 1 を太陽電池 9 に照射し、これによって太陽電池 9 から放射されるテラヘルツ波 L T 1 の時間波形（第 1 時間波形）を取得する第 1 取得工程である。

10

【 0 0 7 3 】

ステップ S 1 2 は、先の第 1 光強度よりも大きい第 2 光強度の検査光 L P 1 1 を太陽電池 9 に照射し、これによって太陽電池 9 から放射されるテラヘルツ波 L T 1 の時間波形（第 2 時間波形）を取得する第 2 取得工程である。

【 0 0 7 4 】

ステップ S 1 1 およびステップ S 1 2 における時間波形の取得は、時間波形取得部 7 1 2 の制御の下に実施される。

【 0 0 7 5 】

ステップ S 1 3 は、第 1 時間波形および第 2 時間波形の比較に基づいて、第 2 時間波形における電界強度の微小な振動の発生を検出する振動発生検出工程である。ここで、微小な振動とは、図 3 に示すような典型的なテラヘルツ波 L T 1 の電界強度の上下振動に比べて、充分小さい電界強度の振動をいう。ステップ S 1 3 において、振動発生が検出された場合（ステップ S 1 3 において Y E S ）、次のステップ S 1 4 に進む。振動発生が検出されなかった場合（ステップ S 1 3 において N O ）、再びステップ S 1 2 が実行される。すなわち、光強度がより強められて、改めて第 2 時間波形が取得される。

20

【 0 0 7 6 】

図 5 に示すフローチャートの場合、ステップ S 1 3 において、第 1 時間波形と第 2 時間波形を比較し、振動発生が検出されない場合、再びステップ S 1 2 を実行することによって取得した第 2 時間波形（「新第 2 時間波形」と称する。）と、第 1 時間波形とが比較されることとなる。しかしながら、先に取得していた第 2 時間波形を第 1 時間波形（「新第 1 時間波形」）に置き換えて、新第 1 時間波形と新第 2 時間波形とが比較されるようにしてもよい。

30

【 0 0 7 7 】

ここで、ステップ S 1 3 における振動発生を検出する手法として、例示的に 2 つの検出方法を説明する。

【 0 0 7 8 】

< 第 1 の検出方法 >

まず、第 1 の検出方法は、時間波形に含まれる変曲点の増大に基づいて、振動発生を検出する手法である。すなわち、振動の発生を、変曲点の数量を計測するによって直接的に検出するものである。具体的に、図 7 ~ 図 1 1 を参照しつつ説明する。

40

【 0 0 7 9 】

図 7 は、限界光強度 L E 1 および超過光強度 L E 2 の検査光 L P 1 1 の照射によって放射されるテラヘルツ波の時間波形 8 1 , 8 2 を示す図である。時間波形 8 1 は、限界光強度 L E 1 に対応しており、時間波形 8 2 は、限界光強度 L E 1 よりも大きい超過光強度 L E 2 に対応する。すなわち、時間波形 8 1 が第 1 時間波形に、時間波形 8 2 が第 2 時間波形にそれぞれ対応する。

【 0 0 8 0 】

時間波形 8 1 は、時間的に早い順に、主な 4 つの変曲点 I P 1 , I P 2 , I P 3 および I P 4（以下、「I P 1 ~ I P 4」と表記する。）を有している。変曲点 I P 1 , I P 3

50

は、下に凸の（すなわち、電界強度が減少から増加へ転じる）山の頂点である。また、変曲点 I P 2 , I P 4 は、上に凸の（すなわち、電界強度が増加から減少へ転じる）山の頂点である。変曲点 I P 1 ~ I P 4 の電界強度を、それぞれ E 1 1 , E 1 2 , E 1 3 および E 1 4 とする。E 1 1 , E 1 3 は、負の電界強度であり、E 1 2 , E 1 4 は、正の電界強度となっている。変曲点 I P 1 は第 1 の負のピークであり、変曲点 I P 2 は第 1 の正のピークである。また、変曲点 I P 3 は第 2 の負のピークであり、変曲点 I P 4 は第 2 の正のピークである。

【 0 0 8 1 】

これに対して、時間波形 8 2 では、この主な変曲点 I P 1 ~ I P 4 をそれぞれ含む第 1 位相区間 P S 1 ~ 第 4 位相区間 P S 4 のそれぞれにおいて、電界強度が上下に振れる振動が発生している。この電界強度の振動は、コヒーレントフォトンの振動（コヒーレント振動現象）に起因するものと考えられる。

10

【 0 0 8 2 】

図 8 は、時間波形 8 1 , 8 2 における第 1 位相区間 P S 1 の部分を示す部分拡大図である。図 9 は、時間波形 8 1 , 8 2 における第 2 位相区間 P S 2 の部分を示す部分拡大図である。図 10 は、時間波形 8 1 , 8 2 における第 3 位相区間 P S 3 の部分を示す部分拡大図である。図 11 は、時間波形 8 1 , 8 2 における第 4 位相区間 P S 4 の部分を示す部分拡大図である。

【 0 0 8 3 】

第 1 位相区間 P S 1 においては、時間波形 8 1 では変曲点が 1 個（変曲点 I P 1 ）であるのに対して、時間波形 8 2 では 5 個存在する（図 8 参照）。また、第 2 位相区間 P S 2 においては、時間波形 8 1 では変曲点が 1 個（変曲点 I P 2 ）であるのに対して、時間波形 8 2 では 3 個存在する（図 9 参照）。さらに、第 3 位相区間 P S 3 においては、時間波形 8 1 では変曲点が 1 個（変曲点 I P 3 ）であるのに対して、時間波形 8 2 では変曲点が 9 個存在する（図 10 参照）。そして、第 4 位相区間 P S 4 においては、時間波形 8 1 では変曲点が 5 個（変曲点 I P 4 を含む。）存在するのに対して、時間波形 8 2 では変曲点が 1 5 個存在する（図 11 参照）。

20

【 0 0 8 4 】

このように、検査光 L P 1 1 の光強度が限界光強度 L E 1 から超過光強度 L E 2 に強められることによって、時間波形に存在する変曲点の数量が増大する。この変曲点の増大を検出することによって、放射される電界強度が最大となる限界点を越えたか否かを判定できる。

30

【 0 0 8 5 】

特に、時間波形 8 2 における変曲点の増大は、時間波形 8 1 の主な変曲点 I P 1 ~ 変曲点 I P 4 のそれぞれが含まれる第 1 位相区間 P S 1 ~ 第 4 位相区間 P S 4 において顕著に起こる。このため、第 1 位相区間 P S 1 ~ 第 4 位相区間 P S 4 のうち、少なくとも 1 つの位相区間における変曲点の数量を取得すれば、電界強度の振動発生を容易に検出することができる。

【 0 0 8 6 】

具体的には、光強度設定部 7 1 1 が、ステップ S 1 1 において取得された第 1 時間波形について、1 以上の変曲点を特定し、当該 1 以上の変曲点の位相が含まれる 1 以上の位相区間を決定する。ここで、特定される 1 以上の変曲点は、第 1 時間波形における第 1 の負のピーク（例えば変曲点 I P 1 ）、第 1 の正のピーク（例えば変曲点 I P 2 ）、第 2 の負のピーク（例えば変曲点 I P 3 ）、および第 2 の正のピーク（例えば変曲点 I P 4 ）となる変曲点のいずれかであることが望ましい。また、1 つの位相区間の時間的長さは、任意に設定してよいが、互いに重複しないことが望ましい。ステップ S 1 3 においては、ステップ S 1 2 で取得された第 2 時間波形について、1 以上の位相区間のみにおける変曲点の数量が計測される。これによって、振動発生の検出を効率的に行うことができる。

40

【 0 0 8 7 】

2 以上の位相区間について、変曲点の数量を計測することによって、振動発生の検出精

50

度を高めることができる。例えば、2以上の位相区間のうち、いずれか1つの位相区間において変曲点の数量が増大した場合に、振動が発生したと判定されてもよい。あるいは、2以上の位相区間のうち、2またはそれ以上の位相区間の全てで変曲点が増大した場合に、振動が発生したと判定されてもよい。

【0088】

また、ステップS12においては、上記1以上の位相区間のみの時間波形が復元されるようにしてもよい。この場合、第2時間波形の復元に必要なテラヘルツ波LT1の測定時間を短縮できる。

【0089】

なお、振動が発生したか否かを判定する際、例えば、変曲点の増大分が既定の数量を越えたか否かを判定基準とすればよい。また、ノイズが変曲点として検出されることを抑制するため、移動平均によって時間波形を平滑化するようにしてもよい。あるいは、時間的に連続する2つの変曲点の変化量が極めて小さい場合には、その2つの変曲点をカウントから除外してもよい。変化量が大きい小さいかは、例えば、その変化量が、2つの変曲点のどちらか一方の電界強度に対して、既定の割合を超えるか否かで判定することが考えられる。すなわち、変化量が既定の割合を超える場合には、その2つの変曲点はカウントされ、変化量が既定の割合を越えない場合には、その2つの変曲点はカウントから除外されるようにすればよい。

【0090】

<第2の検出方法>

第2の検出方法は、周波数解析に基づいて、振動発生を検出する手法である。つまり、取得した第1時間波形および第2時間波形をフーリエ変換することによって、それぞれの周波数スペクトルを得る（テラヘルツ時間分光法）。そして、第1時間波形および第2時間波形の周波数スペクトルを比較することによって、振動発生を検出するものである。

【0091】

図12は、周波数スペクトルを示す図である。図12中、横軸は周波数を示しており、縦軸はスペクトル強度（電界強度）を示している。スペクトル波形F81およびスペクトル波形F82は、時間波形81および時間波形82の周波数スペクトルである。また、スペクトル波形F83およびスペクトル波形F84のそれぞれは、光強度がLE3およびLE4の検査光LP11のときに、太陽電池9から放射されるテラヘルツ波の周波数スペクトルである。光強度LE3およびLE4は、限界光強度LE1よりも小さい光強度であって、LE3はLE4よりも小さい光強度である（図6参照）。

【0092】

図12に示すように、振動が発生している時間波形82に対応するスペクトル波形F82では、他のスペクトル波形F81、F83およびF84と比較すると、0.5THz以上の高周波数領域において、スペクトル強度が顕著に強くなる。

【0093】

なお、図13は、低周波領域（0.5THz以下）の周波数スペクトルを示す図である。図13に示すように、検査光LP11の光強度をLE1、LE2、LE3、LE4というように順に強くすると、低周波領域におけるスペクトル強度が、LE3で頭打ちとなっている。

【0094】

以上のことから、第1時間波形および第2時間波形についての周波数スペクトルのうち、0.5THz以上の高周波数領域におけるスペクトル強度が、電界強度の微小振動に関連性があると考えられる。そこで、この高周波領域を比較することによって、振動発生を高精度に検出することができる。その際、各スペクトル波形を、周波数の軸方向に沿って移動平均して平滑化することで、ノイズを除去することによって、スペクトル強度の比較を容易に行うことができる。また、振動の発生の有無を判定するため、あらかじめ判定基準が定められる。この判定基準は、例えば、比較元である第1時間波形についてのスペクトル強度に対する割合で設定することが考えられる。すなわち、例えば、第1時間波形お

10

20

30

40

50

よび第2時間波形のスペクトル強度の差分値が、第1時間波形のスペクトル強度に対する所定の割合を越えた時に、スペクトル強度が増加したと判定される。

【0095】

図5に戻って、ステップS14は、検査光LP11の測定用の光強度を設定する光強度設定工程である。具体的には、検査光LP11の検査向けの光強度を、ステップS13において振動の発生が検出された光強度(第2光強度)よりも小さい光強度(第3光強度)に設定する。この第3光強度は、例えば、ステップS11で照射した検査光LP11の光強度、および、ステップS13において振動は発生していないとされた第2時間波形を得る際に照射した検査光LP11の光強度のうち、最も大きいものとされる。あるいは、ステップS13において、振動の発生が検出された光強度(第2光強度)の8割~9割の光強度に設定されてもよい。検査向けの光強度が、第2光強度よりも小さくすることによって、太陽電池9にダメージを与える可能性を小さくできるとともに、比較的高強度のテラヘルツ波を検出できる。

10

【0096】

ステップS15では、ステップS14で決定された第3光強度の検査光LP11を用いて、太陽電池9を検査する検査工程である。具体的には、太陽電池9に対して、任意の箇所に検査光LP11を照射し、放射されるテラヘルツ波を検出することによって、太陽電池9の特性が検査される。なお、放射されるテラヘルツ波の時間波形を復元することによって、テラヘルツ波の波形の形状、または、電界強度の大きさに基づいた検査を行うことができる。また、時間波形をフーリエ変換して、周波数スペクトルを取得し、該周波数スペクトルに基づいた検査を行うこともできる。また、太陽電池9の所定領域を検査光LP11で走査して、放射されるテラヘルツ波の強度分布を画像化する検査も実施可能である。

20

【0097】

なお、図5に示すフローチャートでは、ステップS12、S13においては、検査光LP11の光強度を大きくして、振動が発生したかどうかを検出している。しかしながら、検査光LP11の光強度を弱めて、振動が消失したかどうかを検出するように変形してもよい。具体的には、検査光LP11の光強度を、段階的に弱めていって、変曲点の数の減少が頭打ちとなったときの光強度を検出する。もしくは、スペクトル強度の高周波領域の増加が頭打ちとなったときの光強度を検出する。そして、ステップS14の光強度設定では、検査向けの光強度を、上記頭打ちとなった光強度と同じかそれよりも小さい光強度に設定する。これによって、太陽電池9にダメージを与えることを抑えつつ、かつ、高強度のテラヘルツ波を発生させることが可能な検査光LP11の光強度を決定できる。したがって、太陽電池9の検査処理を良好に行うことができる。

30

【0098】

また、上記実施形態では、フェムト秒レーザ221からパルス光を出射させて、太陽電池9からパルス状のテラヘルツ波を放射させている。しかしながら、フェムト秒レーザ221の代わりに、発振周波数がわずかに相違する2つの連続光を出射する2つの光源を利用することも可能である(特開2013-170864号公報参照)。具体的には、2つの連続光を、光導波路である光ファイバなどで形成された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。その際の光ビート信号の光強度を設定する際にも、本発明を適用することができる。

40

【0099】

この発明は詳細に説明されたが、上記の説明は、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、上記各実施形態およ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、省略したりすることができる。

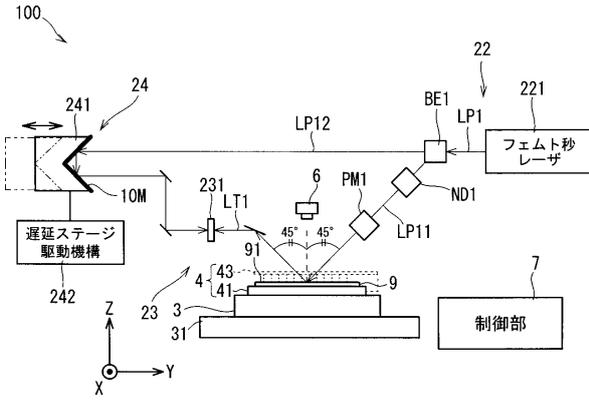
50

## 【符号の説明】

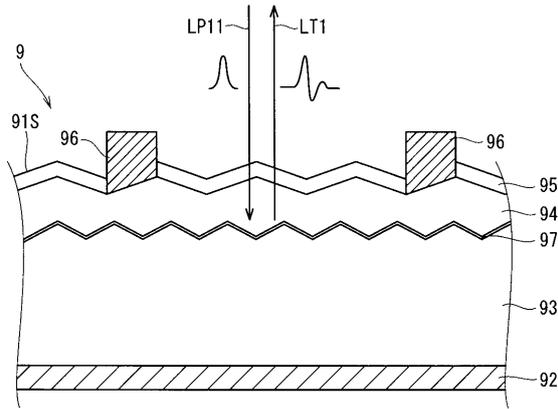
## 【0100】

100	検査装置	
22	検査光照射部	
23	テラヘルツ波検出部	
24	遅延部	
3	移動ステージ	
4	試料台	
61	表示部	
62	操作部	10
7	制御部	
71	CPU	
711	光強度設定部	
712	時間波形取得部	
713	振動発生検出部	
74	記憶部	
80~82	時間波形	
9	太陽電池	
F81~F84	スペクトル波形	
IP1~IP4	変曲点	20
LE1	限界光強度	
LE2	超過光強度	
LE3, LE4	光強度	
LP1	パルス光	
LP11	検査光	
LP12	検出光	
LT1	テラヘルツ波	
ND1	減光フィルター	
P1	限界点	
P2	超過点	30
PM1	パワーメータ	
PS1	第1位相区間	
PS2	第2位相区間	
PS3	第3位相区間	
PS4	第4位相区間	

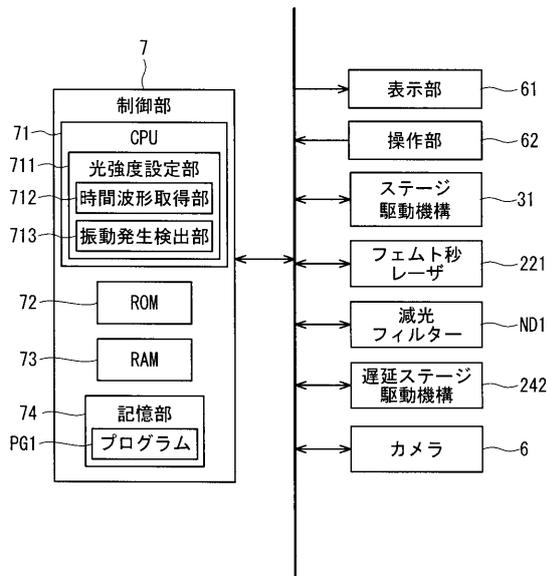
【図1】



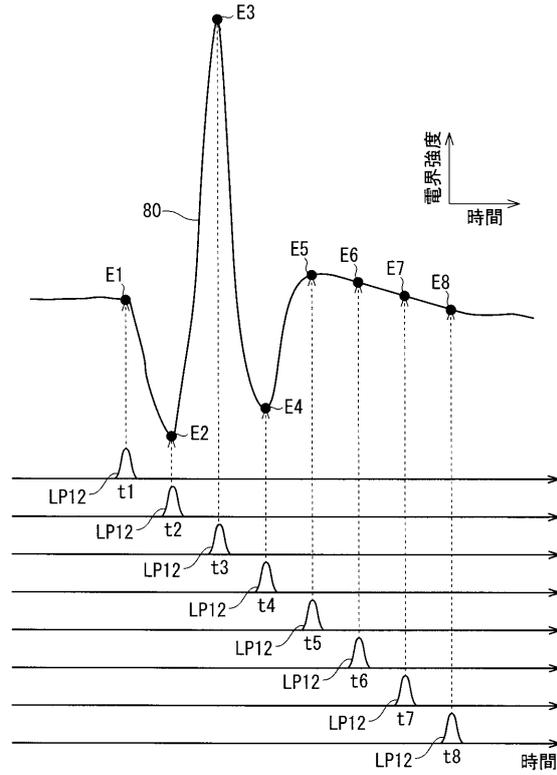
【図2】



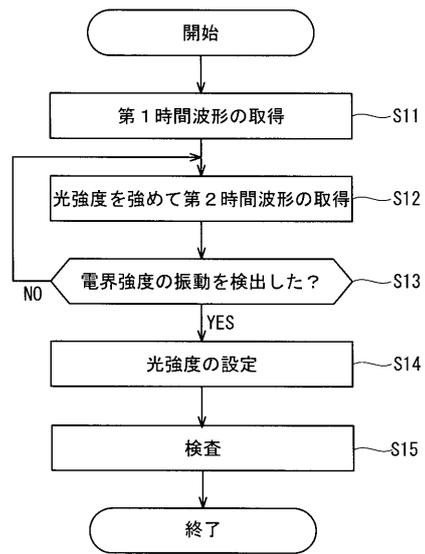
【図4】



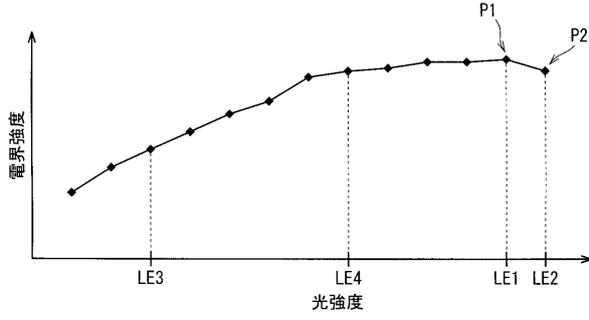
【図3】



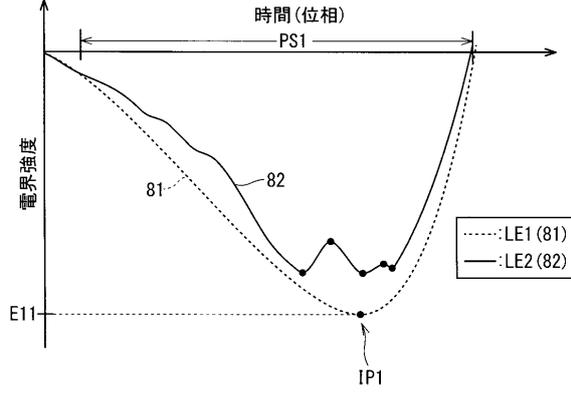
【図5】



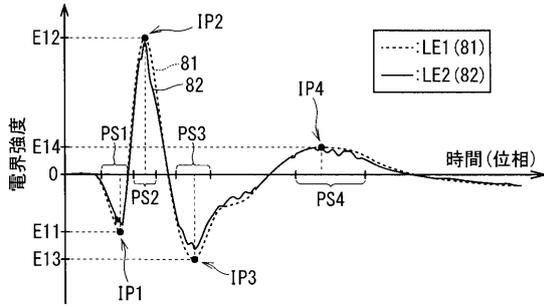
【 図 6 】



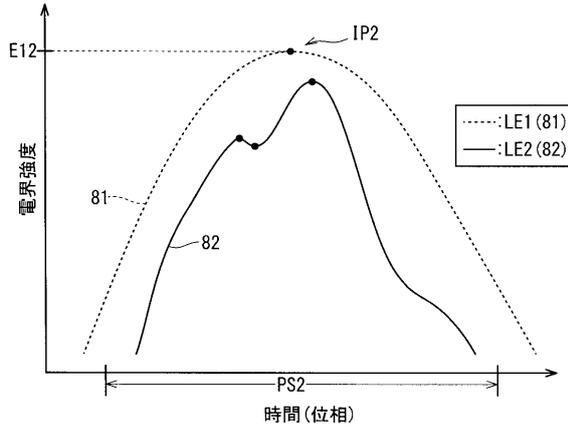
【 図 8 】



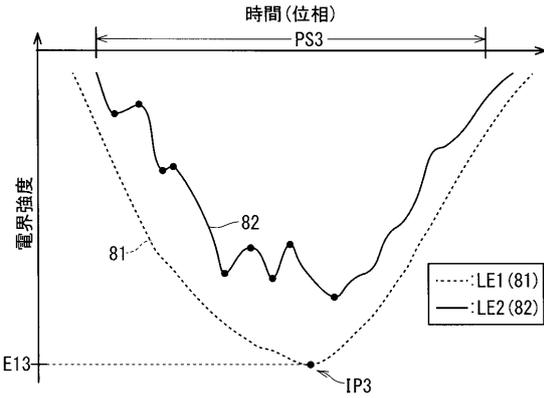
【 図 7 】



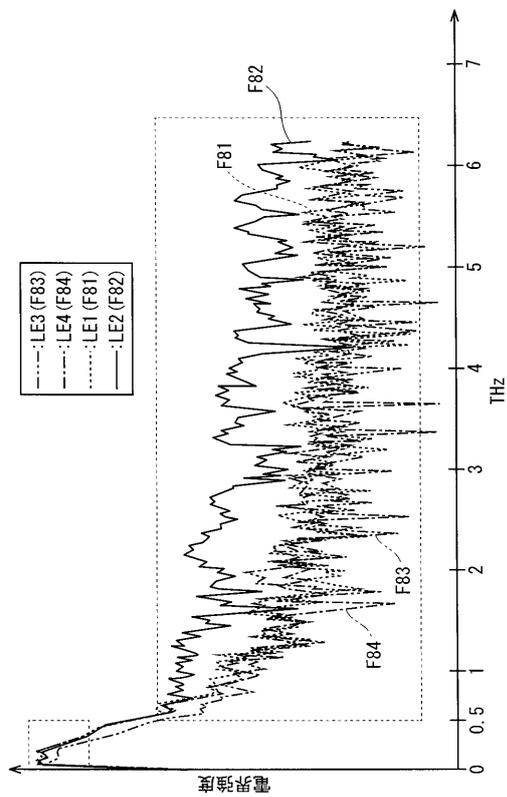
【 図 9 】



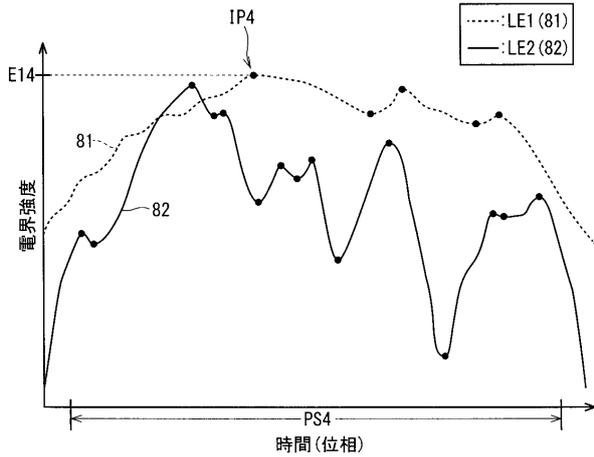
【 図 10 】



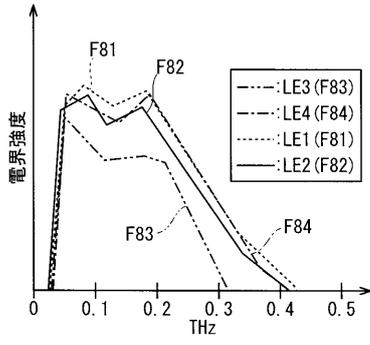
【 図 12 】



【 図 11 】



【図13】



---

フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I  
H 0 2 S 50/10 (2014.01) H 0 2 S 50/10

(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番地の1 株式会社SCREENホールディング  
ス内

(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

審査官 平田 佳規

(56)参考文献 特開2013-174477(JP,A)  
特開2013-061219(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G 0 1 M 1 1 / 0 0  
G 0 1 N 2 1 / 0 0 - 2 1 / 0 1  
G 0 1 N 2 1 / 1 7 - 2 1 / 7 4  
G 0 1 N 2 1 / 8 4 - 2 1 / 9 5 8  
H 0 1 L 2 1 / 6 4 - 2 1 / 6 6  
H 0 1 L 3 1 / 0 4 - 3 1 / 0 7 8  
H 0 2 S 5 0 / 0 0 - 5 0 / 1 5