

(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2017-223527

(P2017-223527A)

(43) 公開日 平成29年12月21日(2017.12.21)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
GO1R 33/26 (2006.01)	GO1R 33/26	2G017
GO1R 33/032 (2006.01)	GO1R 33/032	

審査請求 未請求 請求項の数 11 O L (全 17 頁)

(21) 出願番号	特願2016-118613 (P2016-118613)	(71) 出願人	000002369 セイコーエプソン株式会社 東京都新宿区新宿四丁目1番6号
(22) 出願日	平成28年6月15日 (2016.6.15)	(74) 代理人	100116665 弁理士 渡辺 和昭
		(74) 代理人	100164633 弁理士 西田 圭介
		(74) 代理人	100179475 弁理士 仲井 智至
		(72) 発明者	上野 仁 長野県諏訪市大和3丁目3番5号 セイコーエプソン株式会社内
		Fターム(参考)	2G017 AA02 AA08 AC06 AD14

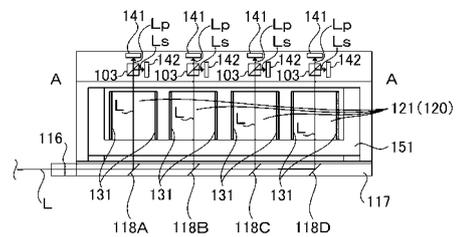
(54) 【発明の名称】 磁場計測装置、およびセルアレイ

(57) 【要約】

【課題】 光学的なクロストークを抑え、かつメンテナンス性を向上させたセルアレイおよび磁場計測装置を提供すること。

【解決手段】 本発明の磁場計測装置100は、入射したレーザー光Lの偏光回転角を磁場強度に応じて変化させる媒体を、内部に收容した複数のセル121を含むセルアレイ120と、レーザー光Lを射出する光源111と、セル121のそれぞれに設けられた遮蔽材131と、を有する。

【選択図】 図3



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

入射したプローブ光の偏光回転角を磁場強度に応じて変化させる媒体を、内部に収容した第 1 のセル、および第 2 のセル、を含むセルアレイと、

前記プローブ光を射出する光源と、

前記第 1 のセルおよび前記第 2 のセルのそれぞれに設けられた遮蔽材と、を有する磁場計測装置。

## 【請求項 2】

前記遮蔽材は、前記第 1 のセルと前記第 2 のセルとにおいて、隣り合う面に設けられている請求項 1 に記載の磁場計測装置。

10

## 【請求項 3】

前記第 1 のセルおよび前記第 2 のセルは、それぞれ前記プローブ光が入射する第 1 室を有し、

前記遮蔽材は、前記第 1 室を形成する外殻において、前記プローブ光が透過する領域を除く領域に設けられている請求項 1 または請求項 2 に記載の磁場計測装置。

## 【請求項 4】

前記遮蔽材は、吸光性を有する請求項 1 から請求項 3 のいずれか 1 項に記載の磁場計測装置。

## 【請求項 5】

前記遮蔽材は、布帛を含む請求項 4 に記載の磁場計測装置。

20

## 【請求項 6】

前記遮蔽材は、樹脂層を含む請求項 4 または請求項 5 に記載の磁場計測装置。

## 【請求項 7】

前記媒体は、アルカリ金属を含む請求項 1 から請求項 6 のいずれか 1 項に記載の磁場計測装置。

## 【請求項 8】

前記第 1 のセルおよび前記第 2 のセルには、バッファーガスが収容されている請求項 1 から請求項 7 のいずれか 1 項に記載の磁場計測装置。

## 【請求項 9】

前記第 1 のセルおよび前記第 2 のセルの内面には、炭素数が 20 以上の脂肪族炭化水素を含むパラフィン膜が設けられている請求項 1 から請求項 7 のいずれか 1 項に記載の磁場計測装置。

30

## 【請求項 10】

前記第 1 のセルおよび前記第 2 のセルは、それぞれ前記プローブ光が入射する前記第 1 室と、前記第 1 室に連通する第 2 室と、を有し、

前記第 1 室および前記第 2 室に、前記遮蔽材が設けられている請求項 1 から請求項 9 のいずれか 1 項に記載の磁場計測装置。

## 【請求項 11】

入射したプローブ光の偏光面方位を磁場強度に応じて変化させる媒体を、内部に収容した少なくとも第 1 のセルおよび第 2 のセルと、

40

前記第 1 のセルおよび前記第 2 のセルのそれぞれに設けられた遮蔽材と、を有し、

少なくとも前記第 1 のセルおよび前記第 2 のセルが隣り合って配置されたセルアレイ。

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は、磁場計測装置、およびセルアレイに関する。

## 【背景技術】

## 【0002】

従来、心臓や脳から発せられる微弱な磁場を、光を利用して測定する光ポンピング式磁気センサー（磁場計測装置）が知られている。光ポンピング式磁気センサーは、アルカリ

50

金属などのガスが封入されたセルを備えている。アルカリ金属原子は、直線偏光が照射されると、印加されている磁場の強弱に応じて、直線偏光の偏光回転角を変化させる特性を持っている。光ポンピング式磁気センサーは、上記の偏光回転角を検出することによって、磁場の強度を計測する装置である。このような光ポンピング式磁気センサーでは、磁場の計測範囲の拡大や分解能の向上のために、複数のセルを用いた多チャンネル計測が検討されている。

【0003】

例えば、特許文献1には、マトリックス状に配置したセルの間に隔壁を設置して、セル間の光学的なクロストークを防止しようとする磁場測定装置が提案されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】特開2012-177585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、特許文献1に記載の磁場測定装置では、セル間の光学的なクロストークを抑えた上で、セルのメンテナンス性を向上させることが難しいという課題があった。詳しくは、マトリックス状に配置されたセル(セルアレイ)と隔壁などとは、低融点ガラスなどで接合されているため、例えば、不具合があるセルを交換したり、取り外して整備したりすることが困難であった。また、同様に、磁場測定装置の製造工程においても、完成品検査で不良判定となったセルを、個別に交換することが難しかった。すなわち、光学的なクロストークが抑制され、かつセルのメンテナンス性を向上させた磁場測定装置(磁場計測装置)が求められていた。

【課題を解決するための手段】

【0006】

本発明は、上述の課題の少なくとも一部を解決するためになされたものであり、以下の形態または適用例として実現することが可能である。

【0007】

[適用例]本適用例に係る磁場計測装置において、入射したプローブ光の偏光回転角を磁場強度に応じて変化させる媒体を、内部に収容した第1のセル、および第2のセル、を含むセルアレイと、プローブ光を射出する光源と、第1のセルおよび第2のセルのそれぞれに設けられた遮蔽材と、を有することを特徴とする。

【0008】

本適用例によれば、第1のセルおよび第2のセルは、それぞれ独立した遮蔽材を有しているため、セル間の光学的なクロストークを抑えた上で、セルのメンテナンス性を向上させることができる。詳しくは、遮蔽材は、従来技術のようにセルと一体化された隔壁ではなく、セルごとに独立して設けられている。そのため、第1のセルおよび第2のセルを含むセルアレイから、セルを個別に容易に取り外すことができる。これにより、磁場計測装置のメンテナンスや製造検査後の修正などにおいて、セルのメンテナンス性が向上する。また、第1のセルおよび第2のセルのそれぞれに遮蔽材が設けられているため、第1のセルと第2のセルとの間の光学的な遮蔽性が向上する。これにより、セル間の光学的なクロストークに由来するノイズを低減することができる。したがって、光学的なクロストークの抑制により検出感度が改善され、かつセルのメンテナンス性を向上させた磁場計測装置を提供することができる。

【0009】

上記適用例に記載の磁場計測装置において、遮蔽材は、第1のセルと第2のセルとにおいて、隣り合う面に設けられていることが好ましい。

【0010】

これによれば、第1のセルおよび第2のセルにおいて、隣り合うセルに向かって射出さ

10

20

30

40

50

れる光（蛍光）、および隣り合うセルから入射する光（蛍光）の双方が低減される。したがって、磁場の計測において、セル間の光学的なクロストークによるノイズがより低減される。

【0011】

上記適用例に記載の磁場計測装置において、第1のセルおよび第2のセルは、それぞれプローブ光が入射する第1室を有し、遮蔽材は、第1室を形成する外殻において、プローブ光が透過する領域を除く領域に設けられていることが好ましい。

【0012】

これによれば、遮蔽材によって、磁場計測用のプローブ光の透過が妨げられなくなる。その上で、セルの第1室から放出され、磁場の計測においてノイズとなる蛍光が低減される。

10

【0013】

上記適用例に記載の磁場計測装置において、遮蔽材は、吸光性を有することが好ましい。

【0014】

これによれば、吸光性を有する遮蔽材によって、蛍光の散乱を低減することができる。そのため、磁場計測装置における光学的なクロストークをいっそう抑制することができる。

【0015】

上記適用例に記載の磁場計測装置において、遮蔽材は、布帛を含むことが好ましい。

20

【0016】

これによれば、遮蔽材として容易に加工、設置することができる。また、セルを衝撃などの外力から保護する機能を付与することができる。

【0017】

上記適用例に記載の磁場計測装置において、遮蔽材は、樹脂層を含むことが好ましい。

【0018】

これによれば、遮蔽材（樹脂層）の形成材料を液状とすることが可能となり、セルに塗布して遮蔽材を設置することができる。そのため、セルに凹凸があっても、所望の塗布範囲に隙間なく遮蔽材が形成可能となり、蛍光の遮蔽性が確保される。

【0019】

上記適用例に記載の磁場計測装置において、媒体は、アルカリ金属を含むことが好ましい。

30

【0020】

これによれば、光源から射出されたプローブ光に対して、磁場強度に応じてプローブ光の偏光面方位を変化させることができる。

【0021】

上記適用例に記載の磁場計測装置において、第1のセルおよび第2のセルには、バッファーガスが収容されていることが好ましい。

【0022】

これによれば、セル内における媒体の移動がバッファーガスによって制限され、媒体がセル内壁に直接衝突することが妨げられて、プローブ光の照射によって生じた励起状態が減衰する時間を長くすることができる。そのため、バッファーガスがない場合と比べて、媒体の励起状態が長く保たれ、磁場計測装置の検出感度を向上させることができる。

40

【0023】

上記適用例に記載の磁場計測装置において、第1のセルおよび第2のセルの内面には、炭素数が20以上の脂肪族炭化水素を含むパラフィン膜が設けられていることが好ましい。

【0024】

これによれば、励起された媒体がセルの内壁に直接衝突しにくくなり、媒体の励起状態が減衰する時間を長くすることができる。そのため、パラフィン膜が設けられていない場

50

合と比べて、媒体の励起状態が長く保たれ、磁場計測装置の検出感度が時間経過と共に低下することを抑制できる。

【0025】

上記適用例に記載の磁場計測装置において、第1のセルおよび第2のセルは、それぞれプローブ光が入射する第1室と、第1室に連通する第2室と、を有し、第1室および第2室に、遮蔽材が設けられていることが好ましい。

【0026】

これによれば、第1室にて発生し、第2室から漏れ出す蛍光が低減される。そのため、磁場計測装置における光学的なクロストークをいっそう抑制することができる。

【0027】

[適用例] 本適用例に係わるセルアレイにおいて、入射したプローブ光の偏光面方位を磁場強度に応じて変化させる媒体を、内部に収容した少なくとも第1のセルおよび第2のセルと、第1のセルおよび第2のセルのそれぞれに設けられた遮蔽材と、を有し、少なくとも第1のセルおよび第2のセルが隣り合って配置されたことを特徴とする。

【0028】

本適用例によれば、第1のセルおよび第2のセルは、それぞれ独立した遮蔽材を有しているため、セル間の光学的なクロストークを抑えた上で、セルアレイとしてのメンテナンス性を向上させることができる。

【図面の簡単な説明】

【0029】

【図1】実施形態1に係る磁場計測装置の構成を示すブロック図。

【図2】セルアレイの構成を示す概略平面図。

【図3】セルアレイの構成を示す概略断面図。

【図4】セルを示す概略斜視図。

【図5】実施形態2に係るセルの主室と副室とを示す概略斜視図。

【図6】変形例1に係るセルを示す概略斜視図。

【図7】変形例2に係るセルを示す概略斜視図。

【発明を実施するための形態】

【0030】

以下、本発明の実施形態について、図面を参照して説明する。なお、以下の各図においては、各部品や各部材を認識可能な程度の大きさにするため、各部品や各部材の尺度を実際とは異ならせしめている。

【0031】

(実施形態1)

<磁場計測装置>

本実施形態に係る磁場計測装置の構成について、図1を参照して説明する。図1は、実施形態1に係る磁場計測装置の構成を示すブロック図である。

【0032】

本実施形態においては、非線形磁気光学効果(NMOR: Nonlinear Magneto-Optical Rotation)を利用して磁場を計測する、いわゆるワンビーム方式の磁場計測装置を例に挙げて説明する。ワンビーム方式の磁場計測装置では、直線偏光を含むレーザー光をセルに照射し、セルの内部に収容された媒体(アルカリ金属)原子を励起させる。そして、セルを透過したレーザー光を受光素子によって検出することにより、磁場の計測が行われる。すなわち、ワンビーム方式とは、媒体原子を励起させるポンプ光と、励起された媒体原子によって変化される偏光回転角を検出するためのプローブ光(直線偏光)と、を兼用する方式である。

【0033】

図1に示した磁場計測装置100は、光照射部101と、複数のセル121を含むセルアレイ120と、を有している。また、磁場計測装置100には、分岐光学素子117、偏光分離素子103、受光部104、信号処理部105、表示部106、制御部107が

10

20

30

40

50

備えられている。

【0034】

光照射部101は、光源111、変換部112を有している。光源111は、プローブ光としての直線偏光を含むレーザー光Lを射出するレーザー光発生装置であり、例えばチューナブルレーザーである。レーザー光Lは、連続的に一定の光量で照射される、いわゆるCW(Continuous Wave)光である。光源111の出力は、例えば、セル121に入射するレーザー光Lの光量が、数10 $\mu$ W程度となるように調整される。変換部112は、例えば偏光板であって、光源111が発するレーザー光Lを光軸を中心として所定方向の偏光角を有する直線偏光に変換する。

【0035】

光照射部101から発せられた1本のレーザー光Lは、分岐光学素子117に入射する。分岐光学素子117は、入射したレーザー光Lをセル121ごとに分岐して入射させる。

【0036】

セル121には、入射したレーザー光Lの偏光面方位を、磁場強度に応じて変化させる媒体が内部に收容されている。媒体としては、比較的到低い温度で帰化することが可能であることから、アルカリ金属を用いることが好ましく、具体的には、カリウム(K)、セシウム(Cs)などが挙げられる。セル121に收容されるアルカリ金属は、計測時には少なくとも一部が気化する。本実施形態では、媒体としてセシウムを用いている。そのため、上述したレーザー光Lは、セシウムの吸収線に応じた波長(例えば、D1線に相当する894nm)を有するように調整されている。

【0037】

セル121の外殻は、レーザー光Lを透過する、例えば石英によって形成されている。セル121の外殻の形成材料としては、レーザー光Lを透過可能であって、アルカリ金属などの媒体と反応しない材料であればよく、石英、ホウケイ酸ガラスなどの無機材料の他、有機材料も用いることができる。複数のセル121は隣り合って配置され、セルアレイ120が形成されている。複数のセル121を含むセルアレイ120を用いることにより、磁場の計測範囲の拡大や計測の分解能向上が可能となる。また、複数のセル121には、それぞれに後述する遮蔽材131(図2参照)が設けられている。複数のセル121の中で、隣り合うセル121のうち、一方が本発明の第1のセルに該当し、他方が本発明の第2のセルに該当するものである。

【0038】

レーザー光Lは、セル121の外殻表面での反射や、セル121の内部での吸収によって減衰する。上記媒体としてのアルカリ金属の原子は、レーザー光Lに含まれる直線偏光を吸収することにより、基底状態から励起状態の間の遷移を繰り返し、固有のエネルギー分布(スピン偏極;アライメント)を形成する。このエネルギー分布(スピン偏極;アライメント)が維持された状態で磁場が印加されると、上記原子による直線偏光の吸収に異方性が生じる。すなわち、スピン偏極(アライメント)の状態が変化する。セル121に入射した直線偏光は、スピン偏極(アライメント)の変化の影響を受けて偏光面方位(偏光回転角)が変化する。その結果、偏光面方位(偏光回転角)が変化したレーザー光Lが、セル121から射出され、偏光分離素子103に入射する。

【0039】

偏光分離素子103は、複数のセル121ごとに配置されている。偏光分離素子103は、変換部112によって変換されたレーザー光Lの直線偏光成分と同じ偏光方向(偏光面方位)の直線偏光成分(P偏光成分)を透過させ、上記直線偏光成分の偏光方向と直交する直線偏光成分(S偏光成分)を反射させる。偏光分離素子103としては、例えば、偏光ビームスプリッターやウォラストンプリズムを用いることができる。偏光分離素子103において、透過される光を偏光L<sub>p</sub>、反射される光を偏光L<sub>s</sub>とする。偏光L<sub>p</sub>、L<sub>s</sub>は受光部104へ入射する。

【0040】

10

20

30

40

50

受光部 104 は、受光素子 141 および受光素子 142 を備えている。1つの偏光分離素子 103 に対して、受光素子 141 と受光素子 142 とが1つずつ配置されている。受光素子 141, 142 は、レーザー光 L の波長に対して感度を有する検出器である。受光素子 141 は偏光 Lp を受光可能な位置に配置され、受光素子 142 は、偏光 Ls を受光可能な位置に配置されている。受光素子 141 は、受光した偏光 Lp の光量に応じた電流（信号）を出力し、信号処理部 105 へ送信する。受光素子 142 は、受光した偏光 Ls の光量に応じた電流（信号）を出力し、信号処理部 105 へ送信する。受光素子 141, 142 の形成材料は、磁場計測装置 100 の計測に干渉しないように、非磁性であることが好ましい。なお、当明細書において、非磁性とは磁性を有さないという意味である。

【0041】

信号処理部 105 は、受光素子 141 および受光素子 142 から送信された上記信号を受信する。信号処理部 105 は、上記信号から、レーザー光 L に含まれる直線偏光成分が、セル 121 を透過して変化した偏光回転角の変化量、すなわち、偏光面方位の回転角度を計測する。

【0042】

偏光分離素子 103、受光部 104、および信号処理部 105 は、セル 121 内で変化した偏光面方位の回転角度を検出する機能を有している。セル 121 に印加された磁場の大きさ（強度）によって偏光面方位の回転角度が変化することから、磁場計測装置 100 は、上記偏光面方位の回転角度を検出することにより、所定の方向（計測方向）においてセル 121 に印加された磁場の強弱を計測することができる。

【0043】

表示部 106 は、信号処理部 105 と電気的に接続されている。表示部 106 は、信号処理部 105 によって計測された上記回転角度などを表示する。表示部 106 は、例えば、液晶パネルなどを用いた表示装置である。

【0044】

制御部 107 は、CPU (Central Processing Unit) などの処理装置（図示せず）およびメモリー（図示せず）を備えている。制御部 107 は、光照射部 101、信号処理部 105、表示部 106 などと電気的に接続され、それらの動作を統合して制御する機能を有している。

【0045】

<セルアレイ>

次に、セルアレイ 120、およびセルアレイ 120 に付随する分岐光学素子 117 などの構成について、図 2 を参照して説明する。図 2 は、セルアレイの構成を示す概略平面図である。なお、図 2 においては、レーザー光 L を点線にて示している。

【0046】

図 2 に示したセルアレイ 120 は、入射したレーザー光 L の偏光面方位を磁場強度に応じて変化させる媒体を、内部に収容した複数のセル 121 と、セル 121 のそれぞれに設けられた遮蔽材 131 とを有している。セルアレイ 120 には、セル容器 151 に、複数のセル 121 がマトリックス状に配置されている。また、セルアレイ 120 に対して、セル容器 151 を介して分岐光学素子 117 が設けられている。

【0047】

セル容器 151 は、レーザー光 L を透過する材料によって形成されている。セル容器 151 の形成材料としては、例えば石英を用いることができる。ここで、図 2 において、セル 121 の縦方向の配列と略平行な方向を Z 方向（上向きを正方向）とし、セル 121 の横方向の配列と略平行で、Z 方向と直交する方向を X 方向（右向きを正方向）とし、Z 方向および X 方向と直交する方向を Y 方向とする。セルアレイ 120 を透過するレーザー光 L の進行方向は、Y 方向と略平行となる。

【0048】

セルアレイ 120 は、図 2 に示したように、Z 方向および X 方向にセル 121 がそれぞれ 4 個ずつ配置され、計 16 個のセル 121 を有している。隣り合うセル 121 同士は、

10

20

30

40

50

所定の間隔を空けて配置されている。そのため、セル121を、磁場計測装置100から個別に取り外して、交換や修理などのメンテナンスを容易に行うことができる。ここで、上記の所定の間隔とは、例えば、約0.1mmから約10mmである。

【0049】

セル121は略立方体を成し、遮蔽材131を有している。遮蔽材131は、セル121のY方向と略平行な面（Y方向と略直交する面を除く面）に接するように設けられている。以降、セル121において、レーザー光Lが入射または射出する面以外の面（Y方向と略平行な面）を、「側面」ともいう。

【0050】

分岐光学素子117は、上述したように、入射したレーザー光Lをセル121ごとに分岐して入射させる機能を有している。分岐光学素子117は、ミラー115A～115C、116、118A～118D（図3参照）を有している。分岐光学素子117に入射したレーザー光Lは、X方向（正方向）に進行して、最初にミラー116に到達する。ミラー116は、レーザー光Lの一部をZ方向（正方向）に反射させ、残りを透過させる。

10

【0051】

ミラー116で反射されたレーザー光Lの進行方向（Z方向）には、ミラー115A、115b、115Cが設けられている。ミラー115A、115B、115Cは、Z方向に3列配置されたセル121と対応する位置に、3個配置されている。ミラー116によって反射されたレーザー光Lは、まずミラー115Aに到達する。ミラー115Aは、レーザー光Lの一部をX方向（正方向）に反射させ、レーザー光Lの残りを透過させる。これと同様にして、ミラー115B、115Cにおいても、レーザー光Lが反射または透過されて、X方向と略平行なセル121の列に対応して、X方向（正方向）へ分岐される。なお、ミラー115Cは、レーザー光Lを全反射するものとしてもよい。

20

【0052】

次に、セルアレイ120、およびセルアレイ120に付随する、分岐光学素子117、偏光分離素子103などの構成について、図3を参照して説明する。図3は、セルアレイの構成を示す概略断面図である。なお、図3は、図2に示したセルアレイ120をA-A断面で切断し、分岐光学素子117、偏光分離素子103などを表示した図である。ここで、図3のY方向において、図3の上方に向かう方向を正方向とする。

【0053】

ミラー116によって透過されたレーザー光Lは、X方向（正方向）へ進行する。X方向に4個配置されたセル121と対応する位置に、ミラー118A～118Dが設けられている。ミラー116を透過したレーザー光Lは、まずミラー118Aに到達する。ミラー118Aは、レーザー光Lの一部をY方向（正方向）に反射させて、対応するセル121に入射させる。また、ミラー118Aは、レーザー光Lの残りを透過させ、ミラー118Bへ到達させる。これと同様にして、ミラー118B、118C、118Dにおいても、レーザー光Lが反射または透過されて、対応するセル121へ分岐され、入射する。なお、ミラー118Dは、レーザー光Lを全反射するものとしてもよい。

30

【0054】

また、セルアレイ120において、A-A断面以外のX方向の構成は、ミラー116がミラー115A～115Cに代わる以外は、上述したA-A断面と同様としている。そのため、ミラー115A～115CによってX方向（正方向）に反射されたレーザー光Lは、上述したミラー116を透過したレーザー光Lと同様にして、X方向に配置されたミラー118A、118B、118C、118Dによって対応するセル121に照射される。

40

【0055】

ミラー116、115A～115C、118A～118Dとしては、例えば、部分偏光ビームスプリッター、または偏光面方位によらず透過率が一定となる無偏光ビームスプリッターを用いることができる。なお、16個のセル121に入射するレーザー光Lの光量は、均等であることが好ましい。そのため、レーザー光Lに含まれる直線偏光に対して、ミラー116、115A～115C、118A～118Dの透過率および反射率を調整し

50

て、上記の光量が均等となるように設定している。

【0056】

以上の構成によって、1本のレーザー光Lは、分岐光学素子117によって分岐され、16個のセル121のそれぞれに1本ずつ照射される。

【0057】

セル121の側面(Y方向と略平行な面)には、遮蔽材131が設けられている。後述する遮蔽材131は、レーザー光Lなどの光に対して吸光性を有しているため、セル121間で光学的なクロストークが抑えられている。

【0058】

レーザー光Lは、上述したように、磁場強度に応じて偏光面方位の変化を受け、セル121を透過する。レーザー光Lは、セル121を透過した後、偏光分離素子103にて偏光Lpと偏光Lsとに分離され、それぞれ受光素子141と受光素子142とに受光される。以上により、光照射部101から照射されたレーザー光Lは、セル121を透過した後、受光素子141, 142に受光されて、磁場の計測に供される。

10

【0059】

なお、図3において、磁場計測装置100は、セル121をレーザー光Lが1回だけ透過する、所謂シングルパス方式として説明したが、この方式に限定されない。例えば、ミラーなどを用いて、セル121をレーザー光Lが複数回透過する、マルチパス方式としてもよい。また、レーザー光Lは、セル121に対して、必ずしもY方向と略平行に透過する必要はない。

20

【0060】

<セル>

本実施形態のセルの構成について、図4を参照して説明する。図4は、セルを示す概略斜視図である。

【0061】

図4に示したセル121は、本実施形態において第1室の例である主室122と、遮蔽材131とを有している。主室122は、略立方体の外殻に囲まれた内部空間である。上記外殻の1辺の長さは、例えば、約2cmである。主室122には、レーザー光Lが入射する。上記の外殻は、略正方形の面a, b, c, d, e, fの6面によって形成されている。主室122には、アルカリ金属(媒体)として、少なくとも一部にガス状のセシウムが封入され、外殻によって気密が維持されている。

30

【0062】

面aはレーザー光Lが入射する面であり、面bはレーザー光Lがセル121を透過して射出する面である。面c, d, e, fは、外殻のY方向と略平行な面(側面)であって、セル121をセルアレイ120として配置した際に、セル121同士が隣り合う面を含んでいる。

【0063】

上述したように、レーザー光Lが入射すると、セル121(主室122)内のアルカリ金属の原子は、励起状態となる。この励起状態が基底状態に戻る(遷移する)際に、蛍光が発せられる。このような遷移に伴う蛍光は、遷移が生じる固有状態のエネルギー準位によって偏光の種別が決まる。上記の基底状態への遷移の場合、固有状態における全てのエネルギー準位に同じ確率で起きることから、発せられる蛍光は直線偏光や円偏光などが混在したものとなる。

40

【0064】

そのため、上記蛍光が、隣り合うセル121に入射し、光学的なクロストークの原因となるおそれがあった。特に、心臓や脳などの生体組織の微弱な磁場を計測する場合に、光学的なクロストークに由来するノイズによって検出感度(分解能)が低下することがあった。そこで、上記蛍光の放出や入射を抑制するため、面c, d, e, fには、遮蔽材131が設けられていてもよい。すなわち、面a, bには遮蔽材131が設けられていない。遮蔽材131は、面c, d, e, fを連続して被覆するように設置されている。また、遮

50

蔽材 131 は、レーザー光 L が透過する領域を除く領域に、設けられることが好ましい。すなわち、レーザー光 L の透過を阻害しない限り、セル 121 の外殻を広範囲に被覆することで、セル 121 間の光学的なクロストークがさらに抑えられる。したがって、セル 121 の側面以外の、レーザー光 L が入射する面 a、レーザー光 L が射出する面 b においても、レーザー光 L が透過する領域以外の領域に、遮蔽材 131 を設けてもよい。これにより、セル 121 の光学的な遮蔽性がいっそう向上する。

【0065】

遮蔽材 131 は、吸光性を有している。すなわち、隣り合うセル 121 からの蛍光を適切に吸収する吸光性を有していることが好ましく、例えば、媒体のアルカリ金属原子がセシウムであり、D1 吸収線を使用する場合には、波長 894 nm 付近の光に対する透過率を、0.01% 以下とすることが好ましい。遮蔽材 131 がこのような吸光性を有することにより、遮蔽材 131 に入射した上記蛍光が、透過光や散乱光として放出されることが抑えられる。これによって、セル 121 の光学的な遮蔽性が向上する。

10

【0066】

また、遮蔽材 131 は、非磁性であることが好ましい。遮蔽材 131 を非磁性とすることにより、セル 121 に収容されたアルカリ金属に対する、遮蔽材 131 由来の磁場の影響が低減される。そのため、磁場計測装置 100 の検出感度をより改善することができる。

【0067】

遮蔽材 131 は、布帛を含むことが好ましい。布帛の形成材料としては、特に限定されないが、例えば、綿、麻などの植物性繊維、絹、羊毛などの動物性繊維、ポリエステル、アセテート、ポリアミドなどの合成繊維、ポリ乳酸などの生分解性繊維などが挙げられる。遮蔽材 131 には、これらの少なくとも 1 種を、織物、編物、不織布などの布帛に加工したものをを用いることができる。これらの布帛を着色材により黒色などに着色して、布帛の吸光性を高めることが好ましい。本実施形態の遮蔽材 131 では、カーボンブラックを主体とする着色材によって、ポリエステルの不織布を黒色に着色した布帛を用いている。

20

【0068】

布帛を遮蔽材 131 として用いる場合、セル 121 への設置方法としては、例えば、布帛が持つ伸縮性を利用して被覆する方法、セル 121 の外殻と布帛との間に接着層を設ける方法などを採用することができる。遮蔽材 131 として用いる布帛の厚さは、吸光性が確保されれば特に限定されないが、例えば、約 0.1 mm から約 0.5 mm とすることができる。なお、遮蔽材 131 とセル 121 の外殻とは、必ずしも接している必要はない。

30

【0069】

また、遮蔽材 131 は、布帛以外では、樹脂層を含むことが好ましい。樹脂層の形成材料としては、特に限定されないが、例えば、アクリル系樹脂、ウレタン系樹脂、ポリオレフィン系樹脂、ポリエステル系樹脂、ポリアミド系樹脂、エポキシ系樹脂、塩化ビニル系樹脂などが挙げられ、これらの少なくとも 1 種を用いることができる。樹脂層には黒色などの着色材を添加して、樹脂層の吸光性を高めることが好ましい。

【0070】

樹脂層を遮蔽材 131 に用いる場合、セル 121 への設置方法としては、液状の樹脂層原料をセル 121 の外殻に塗布して固化させる方法が採用可能である。また、予めシート状に成形した樹脂層を外殻に設置してもよい。遮蔽材 131 として用いる樹脂層の厚さは、吸光性が確保されれば特に限定されないが、例えば、約 0.05 mm から約 0.1 mm とすることができる。

40

【0071】

さらに、遮蔽材 131 には、上述した布帛や樹脂層を組み合わせ用いてもよい。吸光性を向上させるために、セル 121 (外殻) に対して、遮蔽材 131 として、布帛および樹脂層の双方を重ねて設置してもよい。また、設置する外殻の部位に応じて、布帛と樹脂層とを使い分けてもよい。なお、セルアレイ 120 の外縁側に配置されたセル 121 において、隣り合う面以外の側面については、遮蔽材 131 の設置を省略してもよい。

50

## 【0072】

セル121(主室122)の内面には、炭素数が20以上の脂肪族炭化水素を含むパラフィン膜(図示せず)が設けられていてもよい。炭素数が20以上の脂肪族炭化水素としてパラフィンを含むパラフィン膜によって、励起された媒体(アルカリ金属)の原子がセルの内壁(内面)に直接衝突しにくくなり、媒体の励起状態が減衰する時間を長くすることができる。そのため、パラフィン膜が設けられていない場合と比べて、媒体の励起状態が長く保たれ、磁場計測装置100の検出感度が時間経過と共に低下することを抑制できる。

## 【0073】

セル121(主室122)には、バッファーガスとして、希ガスなどの不活性ガスが収容されていてもよい。セル121にバッファーガスを収容することにより、セル121内における媒体の移動がバッファーガスによって制限され、媒体がセル内壁に直接衝突することが妨げられる。この結果、レーザー光Lの照射によって生じた励起状態が減衰する時間を長くすることができる。そのため、バッファーガスがない場合と比べて、媒体の励起状態が長く保たれ、磁場計測装置100の検出感度が時間経過と共に低下することを抑制できる。

## 【0074】

以上に述べたように、上記実施形態に係る磁場計測装置100およびセルアレイ120によれば、以下の効果を得ることができる。

## 【0075】

上記実施形態によれば、複数のセル121は、それぞれ独立した遮蔽材131を有しているため、セル121同士の光学的なクロストークを抑えた上で、セル121のメンテナンス性を向上させることができる。詳しくは、セル121の光学的な遮蔽性が向上するため、隣り合うセル121同士の光学的なクロストークを抑えることができる。また、遮蔽材131は、セル121ごとに独立して設けられているため、セルアレイ120から、セル121を個別に容易に取り外し、交換することができる。これにより、従来よりもセル121のメンテナンス性が向上する。したがって、光学的なクロストークの抑制により検出感度が改善され、かつセル121のメンテナンス性を向上させた、磁場計測装置100およびセルアレイ120を提供することができる。

## 【0076】

セル121において、少なくとも隣り合う面に遮蔽材131が設けられ、側方に放出される蛍光が低減される。そのため、隣り合うセル121に向かって放出される蛍光と、隣り合うセル121から入射する蛍光との双方が低減される。これにより、セル121間の光学的なクロストークを抑えることができる。

## 【0077】

遮蔽材131として黒色に着色した布帛(ポリエステルの不織布)を用いることにより、蛍光の吸光性がさらに向上して、光学的なクロストークが抑えられる。また、遮蔽材131が布帛を含むことによって、遮蔽材131の加工や設置が容易となることに加え、取扱い時の衝撃(外力)などに対する保護機能を付与することができる。さらに、非磁性の布帛を用いることで、磁場計測装置100の検出感度を改善することができる。

## 【0078】

(実施形態2)

<セル>

本実施形態に係るセルの構成について、図5を参照して説明する。図5は、実施形態2に係るセルにおいて、第1室の例である主室と、第2室の例である副室とを示す概略斜視図である。なお、実施形態1と同一の構成部位については、同一の符号を使用し、重複する説明は省略する。

## 【0079】

図5に示したセル221は、レーザー光Lが入射する第1室としての主室222と、主室222と連通する第2室としての副室223とを有している。主室222と副室223

10

20

30

40

50

との外殻に囲まれた内部空間には、実施形態 1 と同様に、媒体としてセシウムが封入されている。主室 2 2 2 および副室 2 2 3 の外殻には遮蔽材 2 3 1 が設けられている。

【 0 0 8 0 】

主室 2 2 2 の外殻は、略正方形の面  $g, h, i, j, k, l$  (エル) の 6 面によって形成されている。副室 2 2 3 は略円柱状を成し、面  $j$  の外縁部に接して、主室 2 2 2 の外殻から突出して設けられている。副室 2 2 3 および主室 2 2 2 の外殻によって、セル 2 2 1 の内部は気密が維持されている。主室 2 2 2 および副室 2 2 3 の外殻は、上述した実施形態 1 と同様な形成材料を用いることができる。本実施形態では、主室 2 2 2 および副室 2 2 3 の外殻の形成材料として、石英を用いている。

【 0 0 8 1 】

面  $g, h, i, j, k, l$  のうち、面  $g$  はレーザー光  $L$  が入射する面であり、面  $h$  はレーザー光  $L$  がセル 2 2 1 を透過して射出する面である。面  $i, j, k, l$  は、主室 2 2 2 の外殻の  $Y$  方向と略平行な面 (側面) であって、セル 2 2 1 をセルアレイ 2 2 0 (図示せず) として配置した際に、セル 2 2 1 同士が隣り合う面を含んでいる。

【 0 0 8 2 】

副室 2 2 3 は、セル 2 2 1 の製造工程において、セシウム (媒体) などをセル 2 2 1 (主室 2 2 2) に収容するための導入部として設けられている。副室 2 2 3 の外殻に設けた開口部から、主室 2 2 2 にセシウムなどを導入した後、上記開口部をシール材などで加熱封止する方法を用いている。この方法によれば、主室 2 2 2 に開口部を設ける場合と比べて、開口部を封止する際に、収容されたセシウムなどにかかる熱負荷を低減することができる。

【 0 0 8 3 】

また、副室 2 2 3 を設けることにより、上記開口部から、セシウム、バッファーガスなどが収納されたアンプルを、副室 2 2 3 へ導入する製造方法を採用することも可能となる。これによれば、上記アンプルを副室 2 2 3 へ導入した後、上記開口部を封止する。次いで、レーザー光の照射などを用いてアンプルを開封し、セシウムなどを主室 2 2 2 に蒸散させて収容させることができる。この製造方法によっても、セシウムなどにかかる熱負荷を低減することができる。

【 0 0 8 4 】

遮蔽材 2 3 1 は、副室 2 2 3 の外殻全面、および主室 2 2 2 の面  $i, j, k, l$  を覆って設けられている。すなわち、面  $g, h$  には遮蔽材 2 3 1 は設けられていない。遮蔽材 2 3 1 によって、セル 2 2 1 から放出される蛍光、およびセル 2 2 1 へ入射する蛍光を抑制することができる。遮蔽材 2 3 1 は、吸光性および非磁性を備えた樹脂層を含んでいる。樹脂層としては、実施形態 1 で述べた形成材料を用いることができる。本実施形態では、遮蔽材 2 3 1 の形成材料としてアクリル系樹脂を用い、カーボンブラックを主体とする着色剤を添加して吸光性を向上させている。

【 0 0 8 5 】

樹脂層の設置方法としては、上述した方法が採用できる。本実施形態では、水を主体とした媒体に、上記アクリル系樹脂の微粒子およびカーボンブラック顔料を分散させたエマルジョンを用いている。上記エマルジョンは液体であるため、セル 2 2 1 に対して塗布することで遮蔽材 2 3 1 を設置することができる。上記エマルジョンを塗布後に乾燥させることによって、被膜 (樹脂層) が形成される。この方法によれば、セル 2 2 1 から突出した副室 2 2 3 の外殻に対しても、遮蔽材 2 3 1 の設置を容易にすることができる。すなわち、布帛製遮蔽材の設置が難しい、凹凸を有する領域への設置に適している。

【 0 0 8 6 】

本実施形態では、遮蔽材 2 3 1 の設置に水系のアクリル系樹脂エマルジョンを用いたが、これに限定されない。例えば、非水系のエマルジョン、熱硬化型やエネルギー線硬化型のコート材などを用いてもよい。また、樹脂層を予めシート状に成形した後、セル 2 2 1 に設置する方法を用いてもよい。

【 0 0 8 7 】

10

20

30

40

50

なお、本実施形態では、副室 2 2 3 をセル 2 2 1 の側面（面 j）に設けたが、これに限定されない。例えば、レーザー光 L が透過する面 g, h において、レーザー光 L が透過する領域以外に設けてもよい。また、副室 2 2 3 の形状は略円柱形に限定されるものではなく、その他の柱状、錐形状などであってもよく、部分的に断面形状が異なってもよい。

#### 【0088】

上述したように、セル 2 2 1 は、主室 2 2 2 に接して副室 2 2 3 を有し、副室 2 2 3 の外殻にも遮蔽材 2 3 1 を設けた点が、実施形態 1 とは異なっている。以上に述べたように、上記実施形態に係るセル 2 2 1 によれば、実施形態 1 での効果に加えて、以下の効果を得ることができる。

#### 【0089】

上記実施形態によれば、遮蔽材 2 3 1 が樹脂層を含むため、遮蔽材 2 3 1 の形成材料を液状にすることができる。そのため、塗布によって遮蔽材 2 3 1 を設置することが可能となる。これにより、設置領域に凹凸などがあっても遮蔽材 2 3 1 を設置可能となり、セル 2 2 1 の遮蔽性を向上させることができる。また、セル 2 2 1 のメンテナンス性を確保した上で、セル 2 2 1 を含むセルアレイ 2 2 0 や磁場計測装置において、光学的なクロストークを抑えて、検出感度を向上させることができる。

#### 【0090】

副室 2 2 3 の外殻も遮蔽材 2 3 1 で被覆されるため、主室 2 2 2 で発生し、副室 2 2 3 から漏れ出した蛍光が、磁場の計測においてノイズとなることを効果的に抑制することができる。

#### 【0091】

なお、本発明は上述した実施形態に限定されず、上述した実施形態に種々の変更や改良などを加えることが可能である。変形例を以下に述べる。

#### 【0092】

（変形例 1）

<セル>

実施形態 1 では、レーザー光 L が入射する面（面 a）と、レーザー光 L が射出する面（面 b）とは、遮蔽材 1 3 1 が設置されない構成として説明したが、この構成に限定されるものではない。本変形例に係るセルの構成について、図 6 を参照して説明する。図 6 は、変形例 1 に係るセルを示す概略斜視図である。なお、実施形態 1 と同一の構成部位については、同一の符号を使用し、重複する説明は省略する。

#### 【0093】

図 6 に示したセル 3 2 1 は、レーザー光 L が入射する主室 3 2 2 と、遮蔽材 3 3 1 とを有している。主室 3 2 2 は、略立方体の外殻に囲まれた内部空間である。主室 3 2 2 には、レーザー光 L が入射する。上記の外殻は、略正方形の面 m, n, o, p, q, r の 6 面によって形成されている。主室 3 2 2 には、実施形態 1 と同様にセシウムが封入され、外殻によって気密が維持されている。

#### 【0094】

面 m はレーザー光 L が入射する面であり、面 n はレーザー光 L がセル 3 2 1 を透過して射出する面である。面 o, p, q, r は、外殻の Y 方向と略平行な面（側面）であって、複数のセル 3 2 1 をセルアレイ 3 2 0（図示せず）として配置した際に、セル 3 2 1 同士が隣り合う面を含んでいる。

#### 【0095】

遮蔽材 3 3 1 は、主室 3 2 2 を形成する外殻（面 m, n, o, p, q, r）において、レーザー光 L が透過（入射または射出）する領域を除く領域に設けられている。すなわち、上記外殻において、面 m のレーザー光 L が透過する領域 3 3 5、および面 n のレーザー光 L が透過する領域 3 3 6 以外には、遮蔽材 3 3 1 が設置されている。ここで、領域 3 3 5 および領域 3 3 6 の大きさは、レーザー光 L のビーム直径以上とすることが好ましい。なお、レーザー光 L が透過する領域 3 3 5, 3 3 6 を略円形としたが、この形状に限定さ

10

20

30

40

50

れない。また、領域 3 3 5、領域 3 3 6 の位置は、それぞれ面 m、面 n の略中央でなくともよい。

【 0 0 9 6 】

遮蔽材 3 3 1 の形成材料としては、上述した形成材料を用いることができる。遮蔽材 3 3 1 としては、カーボンブラックを主体とする着色材によって、綿製のベルベットを黒色に着色した布帛を用いている。

【 0 0 9 7 】

以上述べたように、本変形例に係るセル 3 2 1 によれば、実施形態 1 での効果に加えて、以下の効果を得ることができる。レーザー光 L が透過する領域 3 3 5、3 3 6 を除いて、レーザー光 L が透過する面 m、n にも遮蔽材 3 3 1 が設置されているため、セル 3 2 1 の遮光性がいっそう向上する。これにより、複数のセル 3 2 1 を含むセルアレイ 3 2 0 ( 図示せず ) や磁場計測装置において、光学的なクロストークをさらに抑えて、検出感度をいっそう向上させることができる。

10

【 0 0 9 8 】

( 変形例 2 )

< セル >

本変形例に係るセルの構成について、図 7 を参照して説明する。図 7 は、変形例 2 に係るセルを示す概略斜視図である。なお、実施形態 1 と同一の構成部位については、同一の符号を使用し、重複する説明は省略する。

【 0 0 9 9 】

図 7 に示したセル 4 2 1 は、レーザー光 L が入射する主室 4 2 2 と、遮蔽材 4 3 1 とを有している。主室 4 2 2 は、略立方体の外殻に囲まれた内部空間である。主室 4 2 2 には、レーザー光 L が入射する。上記の外殻は、略正方形の面 s、t、u、v、w、の 6 面によって形成されている。主室 4 2 2 には、実施形態 1 と同様にセシウムが封入され、外殻によって気密が維持されている。

20

【 0 1 0 0 】

面 s はレーザー光 L が入射する面であり、面 t はレーザー光 L がセル 4 2 1 を透過して射出する面である。面 u、v、w、は、外殻の Y 方向と略平行な面 ( 側面 ) であって、複数のセル 4 2 1 をセルアレイ 4 2 0 ( 図示せず ) として配置した際に、セル 4 2 1 同士が隣り合う面を含んでいる。

30

【 0 1 0 1 】

遮蔽材 4 3 1 は、主室 4 2 2 を形成する外殻 ( 面 s、t、u、v、w、 ) のうち、側面 ( 面 u、v、w、 ) と、面 t におけるレーザー光 L が透過する領域 4 3 6 を除く領域とに設けられている。換言すれば、面 s および領域 4 3 6 には、遮蔽材 4 3 1 が設けられていない。すなわち、レーザー光 L が射出する面 t にも遮蔽材 4 3 1 を設置した点が、実施形態 1 とは異なっている。上記領域 4 3 6 の大きさは、レーザー光 L のビーム直径以上とすることが好ましい。遮蔽材 4 3 1 としては、実施形態 1 と同様な形成材料を用いている。

【 0 1 0 2 】

以上述べたように、本変形例に係るセル 4 2 1 によれば、実施形態 1 での効果に加えて、以下の効果を得ることができる。レーザー光 L が透過する領域 4 3 6 を除いて、レーザー光 L が射出する面 t にも遮蔽材 4 3 1 が設置されているため、セル 4 2 1 の遮光性がより向上する。また、レーザー光 L が入射する面 s には遮蔽材 4 3 1 を設けないため、上述した変形例 1 と比べて、セル 4 2 1 の構造が簡略化されて製造が容易になる。これにより、複数のセル 4 2 1 を含むセルアレイ 4 2 0 ( 図示せず ) や磁場計測装置において、簡略化された構成で、光学的なクロストークをさらに抑えることができる。

40

【 0 1 0 3 】

( 変形例 3 )

< セル >

本変形例に係るセルは、上述した布帛や樹脂層に代えて、遮蔽材として遮蔽容器を用い

50

ている。すなわち、1つのセルを1つの遮蔽容器に収納し、複数配置してセルアレイを形成する。遮蔽容器には、セルに対してレーザー光Lが透過可能なように、対応する領域に開口部が設けられている。遮蔽容器の形成材料としては、吸光性を有し、非磁性であれば特に限定されない。具体的には、例えば、カーボンブラックなどを混練した、ゴム材、樹脂などが挙げられる。これによれば、収納するセルを交換しても、遮蔽容器は再使用が可能であるため、セルアレイ、磁場計測装置のメンテナンス性をさらに向上させることができる。

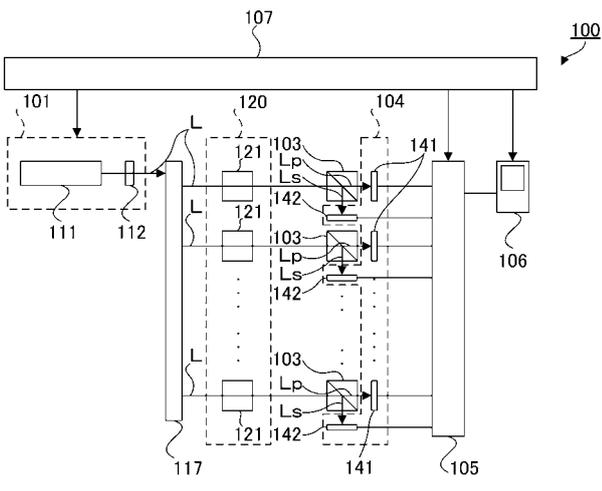
【符号の説明】

【0104】

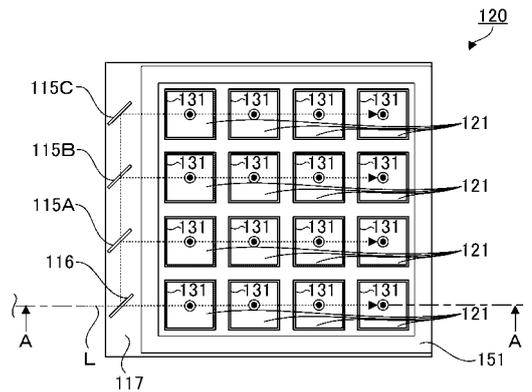
100 ... 磁場計測装置、111 ... 光源、120 ... セルアレイ、121, 221, 321, 421 ... セル(第1のセル、第2のセル)、122, 222, 322, 422 ... 主室、131, 231, 331, 431 ... 遮蔽材、223 ... 副室、335, 336, 436 ... レーザー光Lが透過する領域、L ... レーザー光、a, b, c, d, e, f, g, h, i, j, k, l, m, n, o, p, q, r, s, t, u, v, w, ... 面。

10

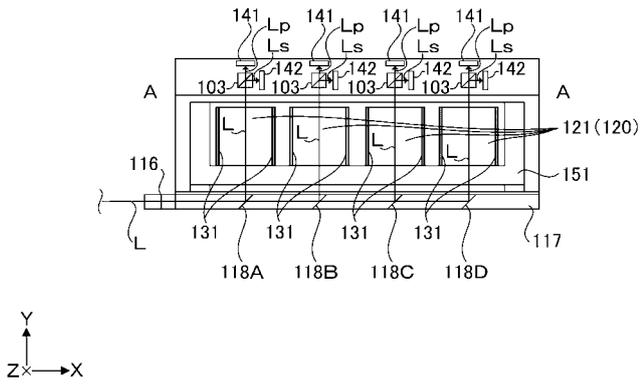
【図1】



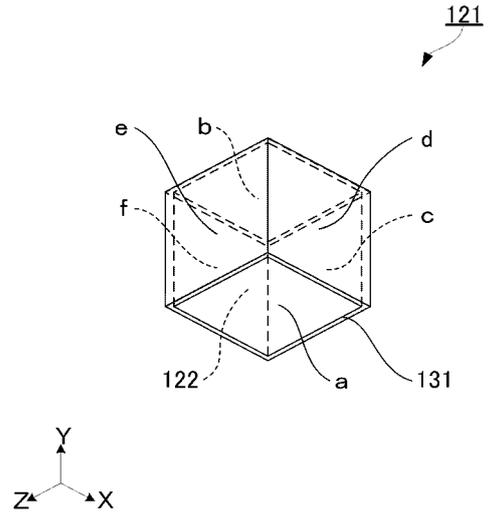
【図2】



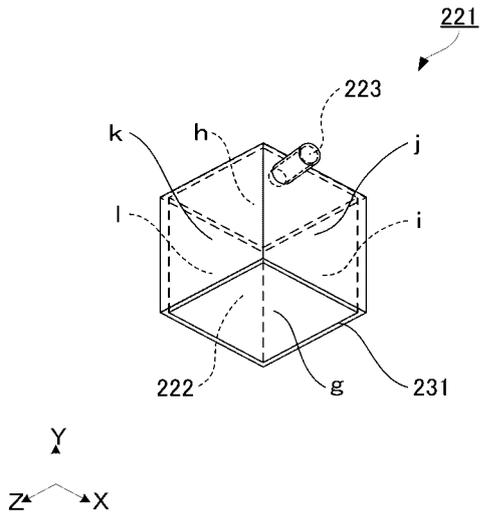
【 図 3 】



【 図 4 】



【 図 5 】



【 図 6 】

