

(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2007-309882  
(P2007-309882A)

(43) 公開日 平成19年11月29日(2007.11.29)

(51) Int. Cl.	F I	テーマコード (参考)
<b>GO 1 N 21/39 (2006.01)</b>	GO 1 N 21/39	2 G O 5 9
<b>GO 1 N 21/27 (2006.01)</b>	GO 1 N 21/27	H

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 18 頁)

(21) 出願番号	特願2006-141572 (P2006-141572)	(71) 出願人	306037311 富士フイルム株式会社 東京都港区西麻布2丁目26番30号
(22) 出願日	平成18年5月22日 (2006.5.22)	(74) 代理人	100073184 弁理士 柳田 征史
		(74) 代理人	100090468 弁理士 佐久間 剛
		(72) 発明者	日色 宏之 神奈川県足柄上郡開成町宮台798番地 富士写真フイルム株式会社内
		Fターム(参考)	2G059 BB12 EE02 EE09 FF02 GG01 HH01 JJ05 JJ11 JJ13 JJ20 JJ22 JJ30 KK01 KK03 MM01 PP04

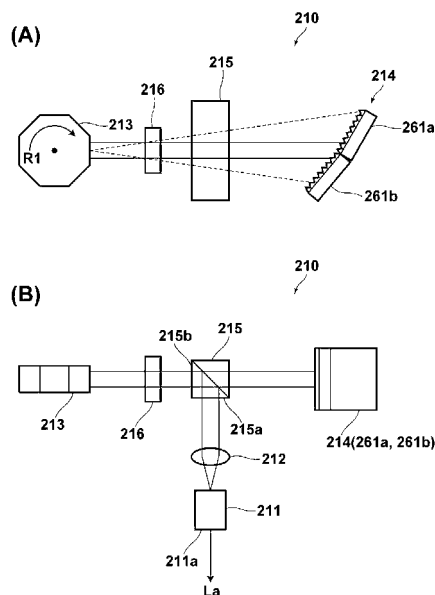
(54) 【発明の名称】 波長掃引光源および光断層画像化装置

(57) 【要約】

【課題】 高い繰り返し周期で波長を掃引できる波長掃引光源を実現する。

【解決手段】 半導体レーザ媒質211から射出した光は、コリメートレンズ212により平行光に変換され、ポリゴンミラー213において反射され、波長選択手段214に入射する。波長選択手段214により分散された光のうち、入射方向へ分散された光である戻り光は、ポリゴンミラー213において反射され、半導体レーザ媒質211へ帰還する。半導体レーザ媒質211の射出端面211aから、レーザ光Laが射出される。ポリゴンミラー213が回転すると、戻り光の波長が一定の周期で変化する。波長選択手段214は、小型で同形状の回折格子261aおよび261bから構成されている。また、回折格子261aおよび回折格子261bは、同じ波長帯域で波長が変化するように、ポリゴンミラー213の反射面に対して異なる角度で配置されている。このため、ポリゴンミラー213の反射面1枚に対して、2回の波長掃引が実現する。

【選択図】 図4



**【特許請求の範囲】****【請求項 1】**

光増幅手段と、  
該光増幅手段から射出された光を偏向する回転型の光偏向手段と、  
該光偏向手段により偏向された光の入射角度または入射位置が変わることにより入射方向に戻る光の波長が変化する波長選択手段とを有する波長掃引光源において、  
前記波長選択手段が、複数の、前記入射方向へ戻る光の波長が略同一波長帯域において変化する波長選択部を有していることを特徴とする波長掃引光源。

**【請求項 2】**

前記回転型の光偏向手段が、ポリゴンミラーであることを特徴とする請求項 1 記載の波長掃引光源。 10

**【請求項 3】**

前記波長選択部が、前記光を波長分散する光分散部を有するものであることを特徴とする請求項 1 または 2 記載の波長掃引光源

**【請求項 4】**

前記光分散部が、前記光の入射角度に応じて、前記光の入射方向へ戻る戻り光の波長が異なるものであり、

前記光偏向手段により偏向された光を前記光分散部へ入射させる光学手段を備え、  
前記光偏向手段および前記光学手段が、前記光分散手段へ入射する光の入射角度を変更するものであることを特徴とする請求項 3 記載の波長掃引光源。 20

**【請求項 5】**

前記光分散部が、前記光の入射位置に応じて、前記光の入射方向へ戻る戻り光の波長が異なるものであり、

前記光偏向手段により偏向された光を前記光分散部へ入射させる光学手段を備え、  
前記光偏向手段および前記光学手段が、前記光分散手段へ入射する光の入射位置を変更するものであることを特徴とする請求項 3 記載の波長掃引光源。

**【請求項 6】**

波長を一定の周期で掃引させながらレーザ光を射出する光源と、  
該光源から射出された前記レーザ光を測定光と参照光とに分割する光分割手段と、  
前記測定光が測定対象に照射されたときの該測定対象からの反射光と前記参照光とを合波する合波手段と、 30

該合波手段により合波された前記反射光と前記参照光との干渉光の周波数および強度に基づいて、前記測定対象の各深さ位置における前記反射光の強度を検出する干渉光検出手段と、

該干渉光検出手段により検出された前記各深さ位置における前記干渉光の強度を用いて前記測定対象の断層画像を取得する画像取得手段とを有する光断層画像化装置において、

前記光源が、光増幅手段と、  
該光増幅手段から射出された光を偏向する回転型の光偏向手段と、  
該光偏向手段により偏向された光の入射角度または入射位置が変わることにより入射方向に戻る光の波長が変化する波長選択手段とを有する波長掃引光源であって、 40  
前記波長選択手段が、複数の、前記入射方向へ戻る光の波長が略同一波長帯域において変化する波長選択部を有していることを特徴とする光断層画像化装置。

**【発明の詳細な説明】****【技術分野】****【0001】**

本発明は、発振波長が変化する波長掃引光源および該波長掃引光源を用いて測定対象の光断層画像を取得する光断層画像化装置に関する。

**【背景技術】****【0002】**

従来、波長掃引型光源としてはリトロ型と呼ばれる外部共振器型の波長掃引型のレー 50

ザ装置が知られている。このリトロ-型のレーザー装置は、基本的に示す構造を有している。

【0003】

図1に示したレーザー装置は、半導体レーザー媒質101の低反射面からの出射光をコリメートレンズ102によって平行光に変換して、光を回折する回折格子103の回折面へ入射し、回折格子104により回折された回折光を半導体レーザー媒質101に戻すことにより、発振波長を選択している。

【0004】

この構造のレーザー装置では、半導体レーザー媒質101から出射され回折格子103で回折された光の波長成分のうち、特定の波長成分のみが半導体レーザー媒質101に戻る。半導体レーザー媒質101は、その戻ってきた特定波長の光に誘導されて定在波をつくり、その特定波長（以下発振波長と記載）の光を出射する。

10

【0005】

この発振波長は、半導体レーザー媒質101から射出された光の光軸と回折格子103とのなす角度および回折格子103の格子周期の両者で規定されるため、光の光軸に対して、回折格子103を回転させることで発振波長を連続的に変化すること、すなわち発振波長を掃引することができる。

【0006】

一方、生体組織等の測定対象の断層画像を取得する方法の一つとして、光源から射出されたコヒーレンス光を測定光と参照光とに分割した後、測定光が測定対象に照射されたときの反射光と参照光とを合波し、反射光と参照光との干渉光の強度に基づいて光断層画像を取得する方法が知られている。この方法の一つとして光源から射出される光の周波数を時間的に変化させながら干渉光の検出を行うOCT装置が提案されている（たとえば特許文献1参照）。このOCT装置においては、マイケルソン型干渉計を用いて、光源から射出されるレーザー光の周波数を時間的に変化させながら反射光と参照光との干渉が行われるようになっている。そして、光周波数領域のインターフェログラムから所定の測定対象の深さ位置における反射強度を検出し、これを用いて断層画像を生成するようになっている。このようなOCT装置により光断層画像を取得するためには、光源における波長掃引を高速で繰り返し行う必要がある。

20

【0007】

また、特許文献2にも、波長掃引を高速で繰り返し行うことのできるレーザー装置が記載されている。この波長掃引レーザー装置110は、図2に示すように、レーザー媒質111と、コリメートレンズ112と、ポリゴンミラー113と、回折格子114を備えている。レーザー媒質111から射出した光は、コリメートレンズ112により平行光に変換され、ポリゴンミラー113において反射され、回折格子114に入射する。回折格子114により分散された光のうち、入射方向へ分散された光（以下戻り光と記載）は、ポリゴンミラー113において反射され、レーザー媒質111へ帰還する。レーザー媒質111の射出端面111aおよび回折格子114により、共振器が構成され、レーザー媒質111の射出端面111aから、レーザー光Lが射出される。なお、この際、レーザー光Lの波長は、戻り光の波長である。

30

【0008】

ここで、ポリゴンミラー113は矢印R1方向に回転するものであって、各反射面において、反射角度が連続的に変化するようになっている。これにより、回折格子114に入射する光の角度が連続的に変化し、発振波長も連続的に変化することとなる。

40

【0009】

また、ポリゴンミラー113が矢印R1方向に等速で回転したとき、戻り光の波長は、時間の経過に伴って一定の周期で変化することになる。このため、レーザー装置110からは、一定の周期で波長掃引されたレーザー光が射出される。

【特許文献1】US 2005/0035295 A1

【特許文献2】US 4601036号公報

【発明の開示】

50

## 【発明が解決しようとする課題】

## 【0010】

しかしながら、図2に示す波長掃引光源においては、波長の掃引周期はポリゴンミラーの面数および回転数により決定され、装置を大型化することなく、繰り返し周波数を大きくしようとする、ポリゴンミラーの面数を増大させる、あるいは回転数を増加する必要がある。しかしながら、ポリゴンミラーには、実際に波長掃引に使用できる有効回転角の前後に、掃引には使用出来ない無効回転角が存在し、ミラーの面数を増大すると、この有効回転角に対する無効回転角の比率が増大し、良好な波長掃引が成立しなくなるという問題がある。また回転数を増大することは、モータ等の構造から容易ではないという問題もある。

10

## 【0011】

本発明はこれらの問題を鑑みなされたもので、従来の回転型の偏向手段を使用して、高い繰り返し周期で波長を掃引することができる波長掃引光源および該波長掃引光源を用いた光断層画像化装置を実現することを目的とするものである。

## 【課題を解決するための手段】

## 【0012】

本発明の波長掃引光源は、光増幅手段と、  
 該光増幅手段から射出された光を偏向する回転型の光偏向手段と、  
 該光偏向手段により偏向された光の入射角度または入射位置が変わることにより入射方向に戻る光の波長が変化する波長選択手段とを有する波長掃引光源において、  
 前記波長選択手段が、複数の、前記入射方向へ戻る光の波長が略同一波長帯域において変化する波長選択部を有していることを特徴とするものである。

20

## 【0013】

前記回転型の光偏向手段は、ポリゴンミラー（回転多面鏡）であってもよい。あるいは、回転ミラー、ガルバノまたはリゾナントスキャナー等であってもよい。

## 【0014】

前記波長選択部は、前記光を波長分散する光分散部を有するものであってもよい。なお、ここで「光分散部」とは、例えば回折格子、プリズムまたはグリズム等である。

## 【0015】

前記光分散部が、前記光の入射角度に応じて、前記光の入射方向へ戻る戻り光の波長が異なるものであり、前記光偏向手段により偏向された光を前記光分散部へ入射させる光学手段を備えていれば、

30

前記光偏向手段および前記光学手段は、前記光分散手段へ入射する光の入射角度を変更するものであってもよい。

## 【0016】

前記光分散部が、前記光の入射位置に応じて、前記光の入射方向へ戻る戻り光の波長が異なるものであり、前記光偏向手段により偏向された光を前記光分散部へ入射させる光学手段を備えていれば、

前記光偏向手段および前記光学手段が、前記光分散手段へ入射する光の入射位置を変更するものであってもよい。

40

## 【0017】

本発明の光断層画像化装置は、波長を一定の周期で掃引させながらレーザ光を射出する光源と、

該光源から射出された前記レーザ光を測定光と参照光とに分割する光分割手段と、

前記測定光が測定対象に照射されたときの該測定対象からの反射光と前記参照光とを合波する合波手段と、

該合波手段により合波された前記反射光と前記参照光との干渉光の周波数および強度に基づいて、前記測定対象の各深さ位置における前記反射光の強度を検出する干渉光検出手段と、

該干渉光検出手段により検出された前記各深さ位置における前記干渉光の強度を用いて前

50

記測定対象の断層画像を取得する画像取得手段とを有する光断層画像化装置において、

前記光源が、光増幅手段と、

該光増幅手段から射出された光を偏向する回転型の光偏向手段と、

該光偏向手段により偏向された光の入射角度または入射位置が変わることにより入射方向に戻る光の波長が変化する波長選択手段とを有する波長掃引光源であって、

前記波長選択手段が、複数の、前記入射方向へ戻る光の波長が略同一波長帯域において変化する波長選択部を有していることを特徴とするものである。

【発明の効果】

【0018】

本発明の波長掃引光源は、光増幅手段から射出され、光偏向手段により偏向された光の入射角度または入射位置が変わることにより入射方向に戻る光の波長が変化する波長選択手段を有し、この波長選択手段が、複数の、前記入射方向へ戻る光の波長が略同一波長帯域において変化する波長選択部を有しているため、光偏向手段による一回に走査により複数の波長掃引が可能であり、光偏向手段を変更することなく、高い繰り返し周期で波長を掃引することができる。

10

【0019】

また本発明の光断層画像化装置は、高い繰り返し周期で波長を掃引することができる波長掃引光源を備えているため、1枚の光断層画像を取得するために必要な時間を短縮することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

20

【0020】

以下、本発明の具体的な第1の実施形態である光断層画像化装置について図3を参照して説明する。図3は本発明の第1の実施の形態である光断層画像化装置の概略構成図である。図3に示す光断層画像化装置200は、例えば体腔内の生体組織や細胞等の測定対象の断層画像を前述のSS-OCT計測により取得するものであって、発振波長を一定の周期で掃引させながらレーザ光Laを射出する波長掃引レーザ装置として機能する光源ユニット210と、光源ユニット210から射出されたレーザ光Laを測定光L1と参照光L2とに分割する光分割手段3と、光分割手段3により分割された参照光L2の光路長を調整する光路長調整手段220と、光分割手段3により分割された測定光L1を測定対象Sbに照射する光プローブ230と、こうして測定対象Sbに測定光L1が照射されたとき該測定対象Sbで反射した反射光L3と参照光L2とを合波する合波手段4と、合波された反射光L3と参照光L2との間の干渉光L4を検出する干渉光検出手段240と、該干渉光検出手段240の検出結果に基づいて、測定対象の光断層画像を生成する画像取得部241と、この光断層画像を表示する表示装置242とを有している。

30

【0021】

光源ユニット210は、発振波長 $\lambda$ が950nm~1150nmの範囲になるように、発振波長を一定の周期で掃引させながらレーザ光Laを射出する波長掃引レーザ装置であり、光増幅手段としては、半導体レーザに使用される半導体レーザ媒質が使用されている。なお光源ユニット210についての詳細は後述する。

【0022】

光分割手段3は、例えば2×2の光ファイバカプラから構成されており、光源ユニット210から光ファイバFB1を介して導波した光Laを測定光L1と参照光L2とに分割する。この光分割手段3は、2本の光ファイバFB2、FB3にそれぞれ光学的に接続されており、測定光L1は光ファイバFB2を導波し、参照光L2は光ファイバFB3を導波する。なお、本例におけるこの光分割手段3は、合波手段4としても機能するものである。

40

【0023】

光ファイバFB2には、光プローブ230が光学的に接続されており、測定光L1は光ファイバFB2から光プローブ230へ導波する。光プローブ230は、例えば鉗子口から鉗子チャンネルを介して体腔内に挿入されるものであって、光学コネクタ31により光ファイバFB2に対して着脱可能に取り付けられている。

50

## 【0024】

光プローブ230は、先端が閉じられた円筒状のプローブ外筒15と、このプローブ外筒15の内部空間に、該外筒15の軸方向に延びる状態に配設された1本の光ファイバ13と、光ファイバ13の先端から出射した光Lをプローブ外筒15の周方向に偏向させるプリズムミラー17と、光ファイバ13の先端から出射した光L1を、プローブ外筒15の周外方に配された被走査体としての測定対象Sbにおいて収束するように集光するロッドレンズ18と、光ファイバ13を該光ファイバ13の光軸を回転軸として回転させるモータ14とを備えている。なお、ロッドレンズ18およびプリズムミラー17は、光ファイバ13とともに回転するように配設されている。

## 【0025】

一方、光ファイバFB3の参照光L2の射出側には光路長調整手段220が配置されている。光路長調整手段220は、断層画像の取得を開始する位置を調整するために、参照光L2の光路長を変更するものであって、光ファイバFB3から射出された参照光L2を反射させる反射ミラー22と、反射ミラー22と光ファイバFB3との間に配置された第1光学レンズ21aと、第1光学レンズ21aと反射ミラー22との間に配置された第2光学レンズ21bとを有している。

10

## 【0026】

第1光学レンズ21aは、光ファイバFB3のコアから射出された参照光L2を平行光にするとともに、反射ミラー22により反射された参照光L2を光ファイバFB3のコアに集光する機能を有している。また、第2光学レンズ21bは、第1光学レンズ21aにより平行光にされた参照光L2を反射ミラー22上に集光するとともに、反射ミラー22により反射された参照光L2を平行光にする機能を有している。つまり、第1光学レンズ21aと第2光学レンズ21bとにより共焦点光学系が形成されている。

20

## 【0027】

したがって、光ファイバFB3から射出した参照光L2は、第1光学レンズ21aにより平行光になり、第2光学レンズ21bにより反射ミラー22上に集光される。その後、反射ミラー22により反射された参照光L2は、第2光学レンズ21bにより平行光になり、第1光学レンズ21aにより光ファイバFB3のコアに集光される。

## 【0028】

さらに光路長調整手段220は、第2光学レンズ21bと反射ミラー22とを固定した基台23と、該基台23を第1光学レンズ21aの光軸方向に移動させるミラー移動手段24とを有している。そして基台23が矢印A方向に移動することにより、参照光L2の光路長が変えられるようになっている。

30

## 【0029】

また合波手段4は、前述の通り2×2の光ファイバカプラからなり、光路長調整手段220により光路長が変更された参照光L2と、測定対象Sbからの反射光L3とを合波し、光ファイバFB4を介して干渉光検出手段240側に射出するように構成されている。

## 【0030】

干渉光検出手段240は、合波手段4により合波された反射光L3と参照光L2との干渉光L4を検出する。なお本例の装置においては、干渉光L4を光ファイバカプラ3で二分した光を光検出器40aと40bに導き、演算手段41においてバランス検波を行う機構を有している。

40

## 【0031】

画像取得手段241は、干渉光検出手段240により検出された干渉光L4をフーリエ変換することにより、測定対象Sbの各深さ位置における反射光L3の強度を検出し、測定対象Sbの断層画像を取得する。

## 【0032】

以下、上記構成を有する光断層画像化装置200の作用について説明する。断層画像を取得する際には、まず基台23を矢印A方向に移動させることにより、測定可能領域内に測定対象Sbが位置するように光路長の調整が行われる。その後、光源ユニット210から光La

50

が射出され、この光  $L_a$  は光分割手段 3 により測定光  $L_1$  と参照光  $L_2$  とに分割される。測定光  $L_1$  は光プローブ 230 から体腔内に向けて射出され、測定対象  $S_b$  に照射される。このとき、前述したように作動する該光プローブ 230 により、そこから出射した測定光  $L_1$  が測定対象  $S_b$  を 1 次元に走査する。そして、測定対象  $S_b$  からの反射光  $L_3$  が反射ミラー 22 において反射した参照光  $L_2$  と合波され、反射光  $L_3$  と参照光  $L_2$  との干渉光  $L_4$  が干渉光検出手段 240 によって検出される。

【0033】

ここで、干渉光検出手段 240 および画像取得手段 241 における干渉光  $L_4$  の検出および画像の生成について簡単に説明する。なお、この点の詳細については「武田 光夫、「光周波数走査スペクトル干渉顕微鏡」、光技術コンタクト、2003、Vol.41、No.7、p426 - p432」に詳しい記載がなされている。

10

【0034】

測定光  $L_1$  が測定対象  $S_b$  に照射されたとき、測定対象  $S_b$  の各深さからの反射光  $L_3$  と参照光  $L_2$  とがいろいろな光路長差をもって干渉しあう際の各光路長差  $l$  に対する干渉縞の光強度を  $S(l)$  とすると、干渉光検出手段 240 において検出される光強度  $I(k)$  は、

$$I(k) = \int_0^d S(l) [1 + \cos(kl)] dl$$

で表される。ここで、 $k$  は波数、 $l$  は光路長差である。上式は波数  $k = 2\pi/\lambda$  を変数とする光周波数領域のインターフェログラムとして与えられていると考えることができる。このため、画像取得手段 241 において、干渉光検出手段 240 が検出したスペクトル干渉縞をフーリエ変換を行い、干渉光  $L_4$  の光強度  $S(l)$  を決定することにより、測定対象  $S_b$  の測定開始位置からの距離情報と反射強度情報とを取得し、断層画像を生成することができる。この断層画像は表示装置 242 に表示される。

20

【0035】

以下、光源ユニット 210 についての詳細な説明を記載する。光源ユニット 210 の上面図を図 4(A) に、側面図を図 4(B) に示す。この光源ユニット 210 は半導体レーザ媒質 211 と、コリメートレンズ 212 と、ポリゴンミラー 213 と、波長選択手段 214 と、偏光ビームスプリッタ 215 と、1/4 波長板 216 とを備えている。なお、1/4 波長板 216 の代わりに、1/4 波長だけ偏光が変化するファラデーローテータを用いることもできる。

【0036】

なお、半導体レーザ媒質 211 は、直線偏光されたレーザ光を射出するものであり、半導体レーザ媒質 211 から射出された光が、偏光ビームスプリッタ 215 へ s 偏光として入射するように配置されている。

30

【0037】

偏光ビームスプリッタ 215 および 1/4 波長板 216 は、ポリゴンミラー 213 と回折格子 214 との間に配置されている。また、偏光ビームスプリッタ 215 は、p 偏光は透過し、s 偏光は直角に反射するものである。また、半導体レーザ媒質 211 から射出され、コリメートレンズ 212 により平行光に変換された光はポリゴンミラー 213 の回転軸と平行な角度で偏光ビームスプリッタ 215 へ入射し、該偏光ビームスプリッタ 215 で直角に反射された s 偏光はポリゴンミラー 213 に対し、回転中心方向へ入射するように、半導体レーザ媒質 211、コリメートレンズ 212、偏光ビームスプリッタ 215 およびポリゴンミラー 213 は配置されている。

40

【0038】

波長選択手段 214 は、小型で同形状の回折格子 261a および 261b から構成されている。なお、回折格子 261a および回折格子 261b は、同じ波長帯域で波長が変化するように、ポリゴンミラー 213 の反射面に対して異なる角度で配置されている。このように複数枚の回折格子を組み合わせて用いることにより、ポリゴンミラー 213 の反射面 1 枚に対して、複数回の波長掃引が可能となる。

【0039】

まず、半導体レーザ媒質 211 から射出した光は、コリメートレンズ 212 により平行光に変換され、偏光ビームスプリッタ 215 の面 215a へ入射する。偏光ビームスプリッタ 215 では、

50

入射した光の内、p 偏光は透過され、s 偏光は直角に反射されて、面215bから射出される。この s 偏光は、1 / 4 波長板216を透過して円偏光となる。この円偏光は、ポリゴンミラー213へ対して、回転中心方向へ入射する。ポリゴンミラー213において反射された光は、再度 1 / 4 波長板216を透過して p 偏光となる。この p 偏光は偏光ビームスプリッタ215を透過して、回折格子214に入射する。回折格子214により分散された p 偏光のうち、入射方向へ分散された光（以下戻り光と記載）は、偏光ビームスプリッタ215を透過して、さらに 1 / 4 波長板216を透過して円偏光となる。この円偏光は、ポリゴンミラー213において反射され、再度 1 / 4 波長板216を透過して s 偏光となる。この s 偏光は、偏光ビームスプリッタ215の面215bへ入射し、直角に反射されて、面215aから射出され、半導体レーザー媒質211へ帰還する。半導体レーザー媒質211の射出端面211aおよび回折格子214により、共振器が構成され、半導体レーザー媒質211の射出端面211aから、レーザー光Laが射出される。なお、この際、レーザー光Laの波長は、戻り光の波長である。

10

## 【0040】

ここで、ポリゴンミラー213は矢印R1方向に回転するものであって、各反射面において、反射角度が連続的に変化している。これにより、回折格子214に入射する光の角度も、連続的に変化する。分散された光のうち入射方向へ戻る戻り光の波長を、回折格子の溝周期をG、回折格子214への入射光の入射角度を  $\theta$  とすると、戻り光が1次回折光である場合には、これらの関係は次式で表すことができる。

## 【0041】

$$2 \sin \theta = \lambda / G \quad (1)$$

20

したがって、回折格子214への入射光の入射角度  $\theta$  が連続的に変化した場合には、発振波長も連続的に変化することとなる。

## 【0042】

また、ポリゴンミラー213が矢印R1方向に等速で回転したとき、戻り光の波長は、時間の経過に伴って一定の周期で変化することになる。このため、光源ユニット210からは、波長掃引されたレーザー光Laが、一定の周期で、光ファイバFB1側に射出される。

## 【0043】

なお、光源210においては、半導体レーザー媒質211から射出された光は、偏光ビームスプリッタ215により偏向され、ポリゴンミラー213の回転中心に向かって入射する。このためポリゴンミラー213の反射面に入射する光の入射面積は光の断面積と略等しくなり、最小面積となる。即ち、常に光がポリゴンミラーに斜めに入射するように構成されている従来の光源に比べ、ポリゴンミラー213の反射面における光の回転方向における入射幅が小さくなり、その結果ポリゴンミラー213の回転角度を有効に使用することができ、広い波長帯域で波長を掃引することができる。

30

## 【0044】

また、以上の説明で明らかなように、本光断層画像化装置200においては、光源ユニット210において、従来使用されているポリゴンミラー213を使用して、高い繰り返し周期で波長を掃引することができる。

## 【0045】

また、本実施の形態における光断層画像化装置は、繰り返し周期の高い光源ユニット210を使用しているため、1枚の光断層画像を取得するために必要な時間を短縮することができる。

40

## 【0046】

なお、光源ユニット210においては、半導体レーザー媒質211から射出され、コリメートレンズ212により平行光に変換された光はポリゴンミラー213の回転軸と平行な角度で偏光ビームスプリッタ215へ入射し、該偏光ビームスプリッタ215で直角に反射された s 偏光はポリゴンミラー213に対し、回転中心方向へ入射するように、半導体レーザー媒質211、コリメートレンズ212、偏光ビームスプリッタ215およびポリゴンミラー213は配置されているが、偏光ビームスプリッタ215、半導体レーザー媒質211およびコリメートレンズ212の配置は、図4における紙面と垂直な平面内において、偏光ビームスプリッタ215を中心として、

50

任意の角度で回転可能である。このため、例えば図5に示すような、ポリゴンミラー213の回転軸に対して垂直な平面内に偏光ビームスプリッタ215、半導体レーザー媒質211およびコリメートレンズ212が配置されている光源ユニット250を用いることもできる。

【0047】

また、図6に示すように、半導体レーザー媒質211から射出され、ポリゴンミラー213へ入射する光の光路を、ポリゴンミラー213の回転方向へ追従するようにシフトするプリズム202を備えた光源ユニット260を用いることもできる。図7に示すように、このプリズム202のA点へ所定の角度でレーザー光Laが入射した場合、波長が短ければ、例えば図7のB点から射出され、またレーザー光Laの波長が長くなるに従って、順次B点から図7におけるC点、D点と右側へ移動した部位から射出される。すなわち、プリズム202は、このプリズム202へ入射するレーザー光Laの波長により、レーザー光Laの光路がシフトされるように形成され、また配置されている。なお、光路のシフト量は、プリズム202の屈折率、形状および配置角度、また入射する光の波長および入射角度により異なるため、所望の波長帯域において、所望の光路シフト量が得られるように、予め適切な形状および屈折率を有するプリズムを形成し、適切な位置および角度で配置しておく必要がある。

10

【0048】

このようなプリズム202を配置することにより、例えば、レーザー光Laが、 $0.95\mu\text{m} \sim 1.15\mu\text{m}$ の波長帯域で掃引される場合であれば、まず図8に示すように、波長 $0.95\mu\text{m}$ のレーザー光Laは、プリズム202のB点から射出され、ポリゴンミラー213で反射され、さらに回折格子214で分散され、戻り光(波長 $0.95\mu\text{m}$ )が再度ポリゴンミラー213で反射され、プリズム202のB点に入射して、半導体レーザー媒質211に帰還する。

20

【0049】

ポリゴンミラー213がR1方向に回転し、波長が長くなり、例えば $1.05\mu\text{m}$ になると、図9に示すように、波長 $1.15\mu\text{m}$ のレーザー光Laは、プリズム202のC点から射出され、ポリゴンミラー213で反射され、さらに回折格子214で分散され、戻り光(波長 $1.05\mu\text{m}$ )が再度ポリゴンミラー213で反射され、プリズム202のC点に入射して、半導体レーザー媒質211に帰還する。

【0050】

さらに、ポリゴンミラー213がR1方向に回転し、波長がより長くなり、例えば $1.15\mu\text{m}$ になると、図10に示すように、波長 $1.15\mu\text{m}$ のレーザー光Laは、プリズム202のD点から射出され、ポリゴンミラー213で反射され、さらに回折格子214で分散され、戻り光(波長 $1.05\mu\text{m}$ )が再度ポリゴンミラー213で反射され、プリズム202のD点に入射して、半導体レーザー媒質211に帰還する。

30

【0051】

図8~図10から明らかなように、プリズム202を配置すると、プリズム202が配置されていない従来の場合に比べ、ポリゴンミラー213の回転角度を有効に使用することができ、広い波長帯域で波長を掃引することができる。

【0052】

次に、本発明の具体的な第2の実施形態である光断層画像化装置について図11を参照して説明する。なお、第2の実施形態である光断層画像化装置は、光源ユニット310が図3に示す光断層画像化装置に用いられている光源ユニット210と異なっているが、他の構成は同様であるため、光源ユニット310のみを図示し、他の構成の説明は省略する。図11(A)に、光源ユニット310の上面図を、図11(B)に側面図を示す。

40

【0053】

光源ユニット310は、発振波長  $\lambda$  が  $950\text{nm} \sim 1150\text{nm}$  の範囲になるように、発振波長を一定の周期で掃引させながらレーザー光Laを射出する波長掃引レーザー装置であり、レーザー媒質としては、半導体レーザー媒質211が使用されている。

【0054】

また、光偏向手段であるポリゴンミラー213および光学系であるテレセントリックレンズ314により、波長選択手段315へ入射する光の入射位置が変更される。なお、波長選択手

50

段315は、列説された同じ形状の放射型回折格子316a、316bおよび316cから構成されている。各放射型回折格子は、溝が放射状に形成されている回折格子であり、この放射型回折格子321の中心に配置された溝の延びる方向と直交する方向において、溝間隔が等間隔となるように、作成されている。

【0055】

半導体レーザ媒質211から射出した光は、集光レンズ312aおよびシリンドリカルレンズ312bにより集光される。なお、集光レンズ312aおよびシリンドリカルレンズ312bは、ポリゴンミラー213の反射面において、光が図11(B)の紙面に対して垂直な方向のライン状に集光するように構成されている。また、各放射型回折格子は、該放射型回折格子の中心に配置された溝の延びる方向が、光がライン状に延びる方向と直交するように配設されている。

10

【0056】

半導体レーザ媒質211から射出され、偏光ビームスプリッタ215へ入射した光の内、p偏光は透過され、s偏光はポリゴンミラー213の方向へ直角に反射されて、面215bから射出される。このs偏光は、1/4波長板216を透過して円偏光となる。この円偏光は、ポリゴンミラー213へ対して、回転中心方向へ入射する。ポリゴンミラー213において反射された光は、再度1/4波長板216を透過してp偏光となる。このp偏光は偏光ビームスプリッタ215を透過して、波長選択手段315に入射する。波長選択手段315により分散されたp偏光のうち、入射方向へ分散された光(以下戻り光と記載)は、偏光ビームスプリッタ215を透過して、さらに1/4波長板216を透過して円偏光となる。この円偏光は、ポリゴンミラー213において反射され、再度1/4波長板216を透過してs偏光となる。このs偏光は、偏光ビームスプリッタ215で直角に反射されて、半導体レーザ媒質211へ帰還する。半導体レーザ媒質211の射出端面211aおよび回折格子315により、共振器が構成され、半導体レーザ媒質211の射出端面211aから、レーザ光Laが射出される。なお、この際、レーザ光Laの波長は、戻り光の波長である。

20

【0057】

なお、ポリゴンミラー213において反射された光は、テレセントリックレンズ314により、該テレセントリックレンズ314へ入射した光の角度に応じて、各放射型回折格子316a、316bおよび316cの所定の位置へ入射する。なお、前述のように各放射型回折格子は、該放射型回折格子の中心に配置された溝の延びる方向が、光がライン状に延びる方向と直交するように配設されている。

30

【0058】

図12(A)、(B)および(C)は、各放射型回折格子316a、316bおよび316cにおけるA点、B点およびC点での光の入射状態を説明する図であり、図11(A)の紙面に対する垂直な断面における概略図である。このように放射型回折格子への光の入射位置が異なると、回折格子の溝周期が異なる。上述した式(1)に示すように、分散された光のうち入射方向へ戻る戻り光の波長は、溝周期および入射角度により決められる。このため、光の入射位置に応じて、溝周期が異なれば、戻り光の波長も異なる。このため、放射型回折格子321に入射する光の入射位置に応じて、光の入射方向へ戻る戻り光の波長も異なるので、各放射型回折格子316a、316bおよび316c入射する光の入射位置が連続的に変化した場合には、発振波長も連続的に変化する事となる。

40

【0059】

波長選択手段315により分散された光のうち、入射方向へ分散された光は、テレセントリックレンズ314を通り、ポリゴンミラー213において反射され、半導体レーザ媒質211へ帰還する。

【0060】

ここで、ポリゴンミラー213は矢印R1方向に回転するものであって、各反射面において、反射角度がテレセントリックレンズ314の光軸に対して連続的に変化するようにになっている。これにより、波長選択手段315に入射する光の位置も、連続的に変化する。上述したように、波長選択手段315に入射する光の入射位置に応じて、光の入射方向へ戻る戻

50

り光の波長も異なる。すなわち、ポリゴンミラー213が矢印R1方向に等速で回転したとき、戻り光の波長は、時間の経過に伴って一定の周期で変化することになる。このため、光源ユニット310からは、波長掃引されたレーザ光Laが、一定の周期で、光ファイバFB1側に射出される。また同じ形状の放射型回折格子316a~316cが列設された、波長選択手段315が使用されているため、ポリゴンミラー213の反射面1枚に対して、複数回の波長掃引が可能となる。

【0061】

さらに、図13に示すような、放射型回折格子316a~316cの代わりに、光の入射位置が異なると透過波長が異なる多層膜光フィルタ322a~322cと、各多層膜光フィルタ322a~322cを透過した光を垂直に反射する反射ミラー323とからなる波長選択手段321を用いた光源ユニット320を使用することもできる。各多層膜光フィルタ322a~322cは、入射位置が一定方向へ変化すると、透過波長が増加または減少するように作成され、透過波長の増減方向が、光の走査方向と一致するように配設されている。したがって、光の入射位置に応じて、各多層膜光フィルタ322a~322cを透過して、反射ミラー323で反射され、再度各多層膜光フィルタ322a~322cを透過する戻り光の波長も異なる。このため、光ユニット310と同様に、各多層膜光フィルタ322a~322cに入射する光の入射位置に応じて、光の入射方向へ戻る戻り光の波長も異なるので、各多層膜光フィルタ322a~322cへの光の入射位置が連続的に変化した場合には、発振波長も連続的に変化することとなる。

10

【0062】

なお各多層膜光フィルタ322a~322cは、同一の光透過特性（光の入射位置が異なると透過波長が異なる）を有するものである。光源ユニット320においても、ポリゴンミラー213の反射面1枚に対して、複数回の波長掃引が可能となる。

20

【0063】

次に、本発明の具体的な第3の実施形態である光断層画像化装置について図14および図15を参照して説明する。なお、第3の実施形態である光断層画像化装置は、光源ユニット410が図3に示す光断層画像化装置に用いられている光源ユニット210と異なっているが、他の構成は同様であるため、光源ユニット410のみを図示し、他の構成の説明は省略する。

【0064】

図14および図15に示すように、光源ユニット410は、リレーレンズ411aおよび411bと、該リレーレンズ411aおよび411bの間に異なる角度で配置されたミラー414aおよび414bからなるミラーセット415と、異なる角度で配置された2枚の同形状の回折格子413aおよび413bからなる波長選択手段412とを備えている。図14に示すように、ミラー414aおよびリレーレンズ411bは、ポリゴンミラー213の回転に伴って、リレーレンズ411aの図14(A)における上半分を通る光が、回折格子413aへ入射するように、光の光路を変更するものである。また図15に示すようにミラー414bおよびリレーレンズ411bは、リレーレンズ411の図15(A)における下半分を通る光が、回折格子413bへ入射するように、光の光路を変更するものである。なお、リレーレンズ411aおよび411bと、ミラー414aおよび414bと、回折格子413aおよび413bとは、リレーレンズ411aの上半分を通る光が回折格子413aへ入射する入射角度の範囲と、リレーレンズ411aの下半分を通る光が回折格子413bへ入射する入射角度の範囲とが等しくなるように、配置されている。

30

40

【0065】

光源ユニット410では、まず、図14に示すように、半導体レーザ媒質211から射出した光は、コリメートレンズ212により平行光に変換され、偏光ビームスプリッタ215によりs偏光とp偏光へ分岐され、s偏光はポリゴンミラー213において反射され、リレーレンズ411aおよび411bによりリレーされ、かつミラー414aにより光路を変更されて、回折格子413aに入射する。回折格子413aにより分散された光のうち、入射方向へ分散された光である戻り光は、入射の場合と逆の光路を通り、半導体レーザ媒質211へ帰還する。光源ユニット210と同様に、半導体レーザ媒質211の射出端面211aおよび回折格子413aにより、共振器が構成され、半導体レーザ媒質211の射出端面211aから、レーザ光Laが射出される。ポリ

50

ゴンミラー213が実線で示す状態から点線で示す状態まで回転する間、回折格子413aへ入射する光の入射角は連続的に変化し、戻り光の波長も連続的に変化する。

【0066】

なお、ポリゴンミラー213が、さらに回転すると、図14に点線で示す状態から、図15に点線で示す状態へ変化する。ポリゴンミラー213が点線で示す状態から実線で示す状態まで回転する間、回折格子413bへ入射する光の入射角が連続的に変化し、戻り光の波長も連続的に変化する。

【0067】

このため、ポリゴンミラー213の反射面1枚に対して、2回の波長掃引が可能となり、従来使用されているポリゴンミラー213を使用して、高い繰り返し周期で波長を掃引することができる。

10

【0068】

なお、波長選択手段412の代わりに、図16に示すような、ポリゴンミラー213に面倒れが生じていない場合に各回折格子において光が波長分散される平面に対して角度を有する光であっても、共役的に反射する共役反射光学系423aおよび423bと、リットマン配置の回折格子422aおよび422bとからなる波長選択手段421を用いることもできる。

【0069】

共役反射光学系423aは、集光レンズ424aと該集光レンズ424aの焦点位置に配置され、ポリゴンミラー213に面倒れが生じていない場合に各回折格子において光が波長分散される平面に対して垂直な方向へ延びた線状ミラー425aとを備えている。

20

【0070】

以下、共役反射光学系423aについて説明する。共役反射光学系423aの上面図を図117(A)に、側面図を図17(B)に示す。回折格子422aにより分散された光は、集光レンズ424aにより集光されるが、線状ミラー425aにおいて反射された分散光のみが、回折格子422aに戻る。すなわち、図17(A)に示すように、回折格子422aにおける波長の分散方向においては、線状ミラー425aに集光する方向である424aの光軸方向と平行な方向、すなわち図17(A)におけるX方向へ分散した光のみが、回折格子422aへ戻る。これは、共役反射光学系423aの代わりに通常のミラーが配置されている場合と同様であり、波長選択機能が働く。

【0071】

30

一方、ポリゴンミラー213に面倒れが生じた場合、回折格子422aにより分散される光の方向が例えば図17(B)におけるY方向へずれてしまうことがある。このように分散方向がずれた場合であっても、図17(B)に示すように、共役反射光学系423aに入射した光は、入射方向と並行かつ逆方向へ反射される。このため、この光は、入射した光路とほぼ同じ光路を逆にたどって、半導体レーザ媒質211へ帰還する。このため、ポリゴンミラー213の面倒れの影響を受けにくくなる。

【0072】

なお、共役反射光学系423bは、共役反射光学系423aと同様であるため、説明は省略する。

【0073】

40

また、共役反射光学系としては、図18(A)に上面図を、図18(B)に側面図を示すように配置されたシリンドリカルレンズ431および該シリンドリカルレンズ431の焦点位置に配置されたミラー432からなる共役反射光学系433を用いることもできる。この場合にも図18(A)に示すように、回折格子422aの波長分散方向においてはミラー432のみが配置されている場合と同様に波長選択機能が働く。また図18(B)に示すように、回折格子422aにより分散される光の方向が図18(B)におけるY方向へずれた場合であっても、共役反射光学系433に入射した光は、入射方向と並行かつ逆方向へ反射される。

【0074】

さらに、共役反射光学系としては、図19(A)に上面図を、図19(B)に側面図を示すように配置されたレトロフレクタ441を用いることもできる。この場合にも図19(

50

A) に示すように、回折格子422aの波長分散方向においてはミラーが配置されている場合と同様に波長選択機能が働く。また図19(B)に示すように、回折格子422aにより分散される光の方向が図19(B)におけるY方向へずれた場合であっても、レトロリフレクタ441に入射した光は、入射方向と並行かつ逆方向へ反射される。

【0075】

なお、各実施の形態において、光増幅手段として半導体レーザー媒質211を用いたが、光増幅手段は光増幅機能を有するものであれば如何なるものであってもよく、例えば色素レーザーを構成する色素や、ファイバレーザーを構成するファイバなどであってもよい。

【図面の簡単な説明】

【0076】

10

【図1】従来の波長掃引光源の該略図

【図2】従来の波長掃引光源の該略図

【図3】本発明の第1の実施形態である光断層画像化装置の概略構成図

【図4】光源ユニットの概略構成図

【図5】他の光源ユニットの概略構成図

【図6】他の光源ユニットの概略構成図

【図7】プリズムの説明図

【図8】光源ユニットにおける光路の説明図

【図9】光源ユニットにおける光路の説明図

【図10】光源ユニットにおける光路の説明図

20

【図11】本発明の第2の実施形態である光断層画像化装置に用いられている光源ユニットの概略構成図

【図12】入射光の入射位置と放射型回折格子の格子面との関係の説明図

【図13】他の光源ユニットの概略構成図

【図14】本発明の第3の実施形態である光断層画像化装置に用いられている光源ユニットの概略構成図

【図15】光源ユニットの概略構成図

【図16】他の光源ユニットの概略構成図

【図17】共役反射光学系の概略構成図

【図18】共役反射光学系の概略構成図

30

【図19】共役反射光学系の概略構成図

【符号の説明】

【0077】

3 光分割手段

4 合波手段

210,310,410 光源ユニット

211 半導体レーザー媒質

212 コリメートレンズ

213 ポリゴンミラー

214a,214b リレーレンズ

40

214 回折格子

220 光路長調整手段

230 光プローブ

240 干渉光検出手段

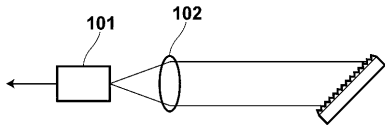
241 画像取得手段

242 表示装置

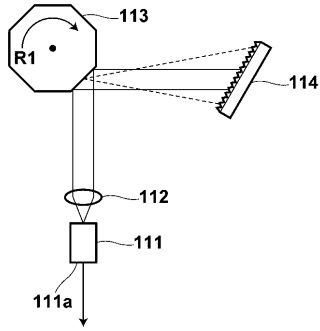
415 放射型回折格子

416 放射型回折格子セット

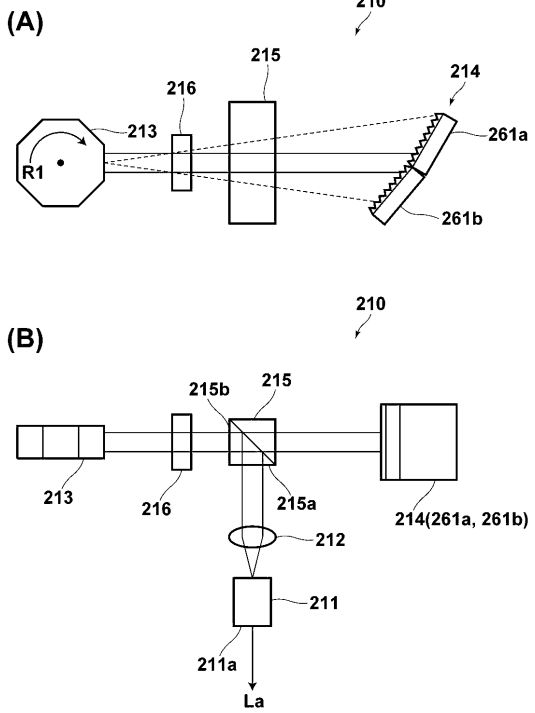
【 図 1 】



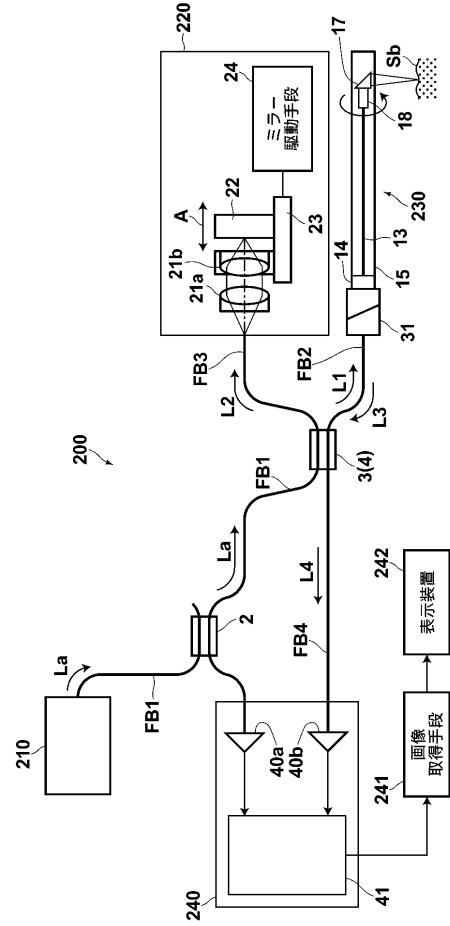
【 図 2 】



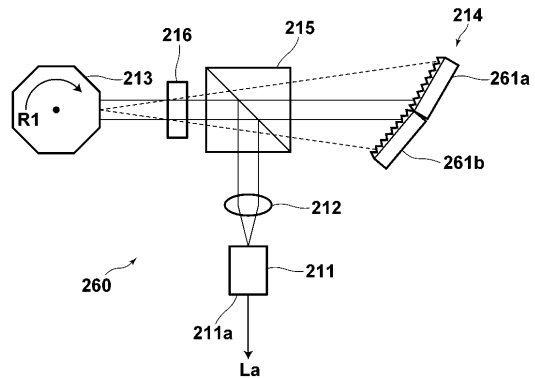
【 図 4 】



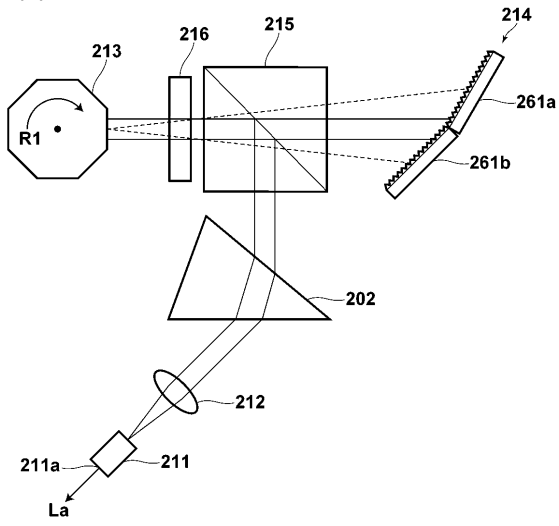
【 図 3 】



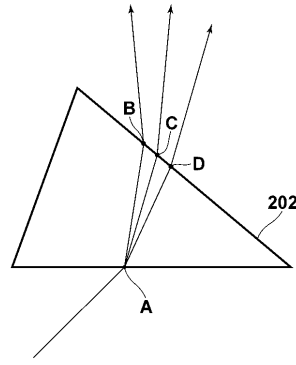
【 図 5 】



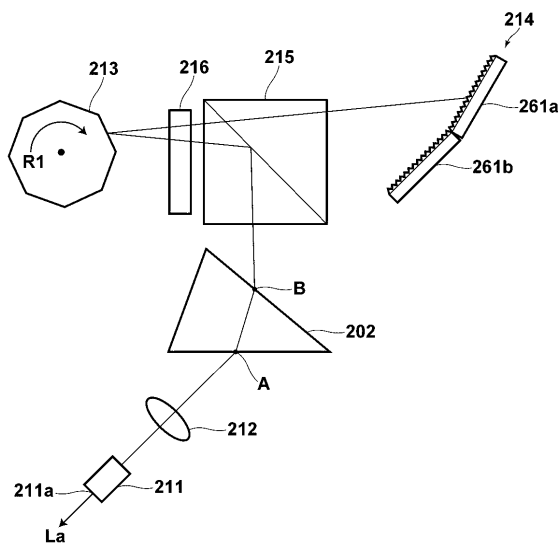
【 図 6 】



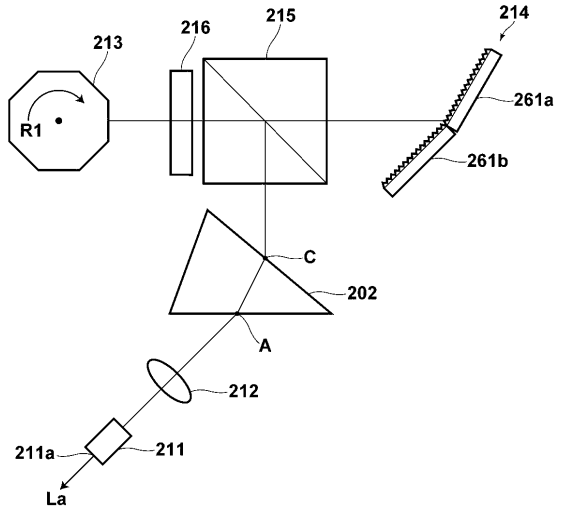
【 図 7 】



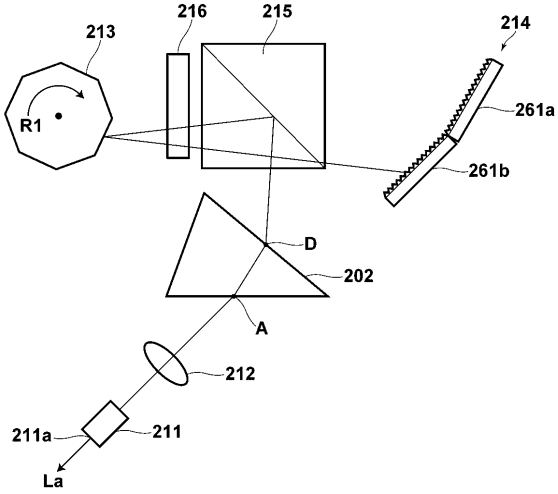
【 図 8 】



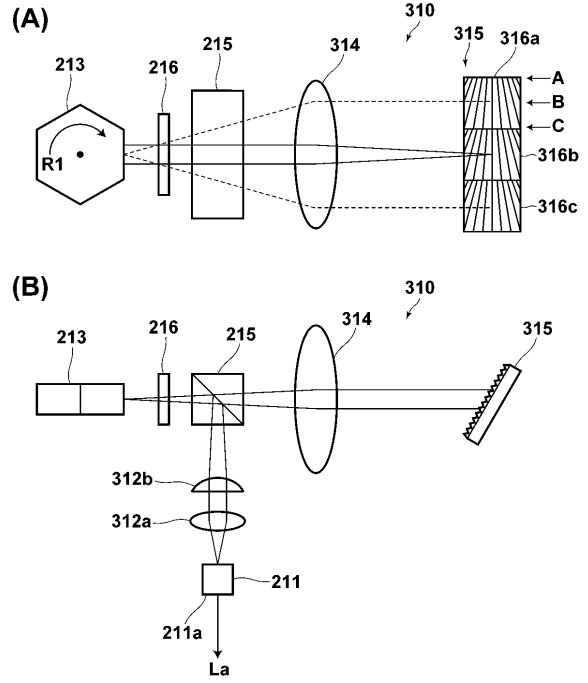
【 図 9 】



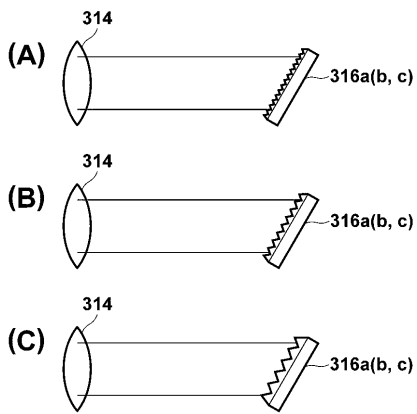
【 図 1 0 】



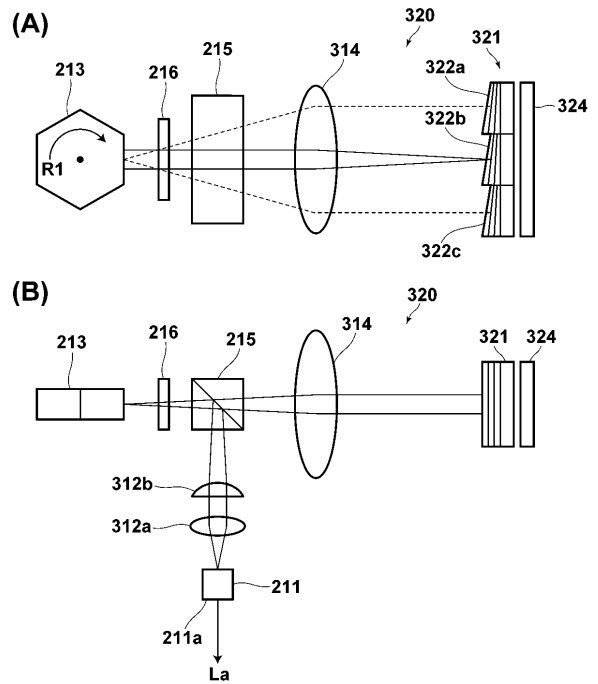
【 図 1 1 】



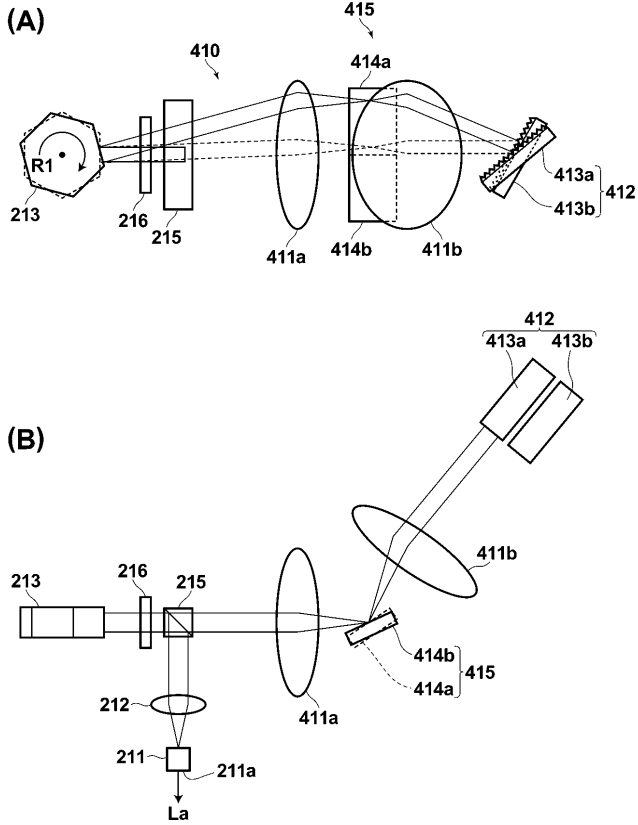
【 図 1 2 】



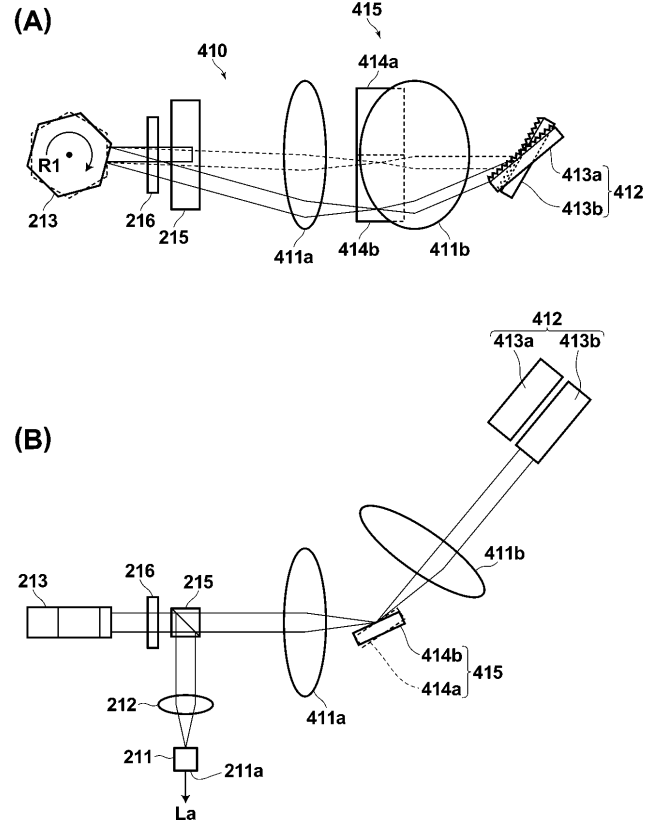
【 図 1 3 】



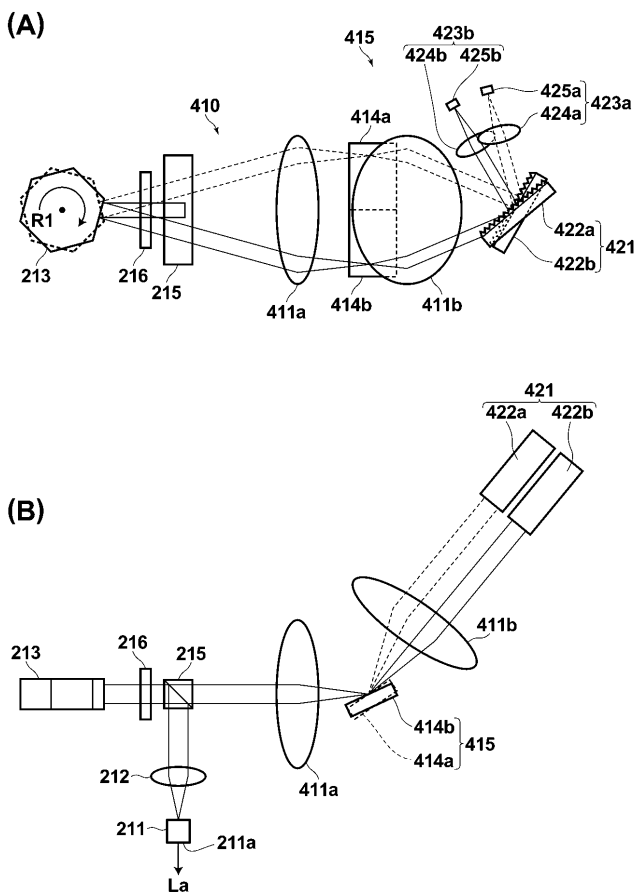
【 図 1 4 】



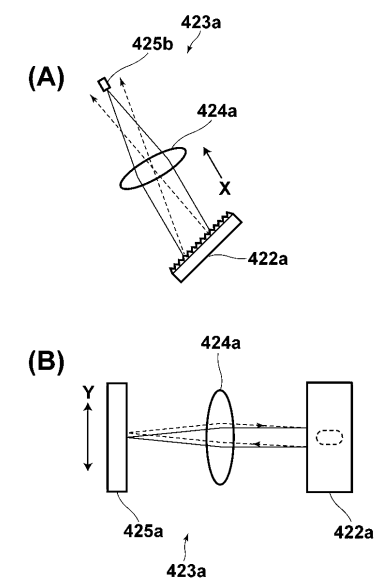
【 図 1 5 】



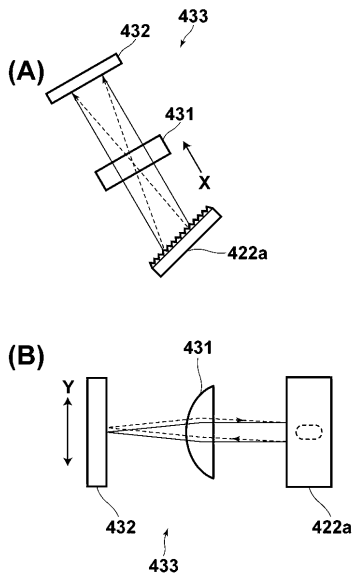
【 図 1 6 】



【 図 1 7 】



【 図 1 8 】



【 図 1 9 】

