



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102439426 B

(45) 授权公告日 2014. 04. 02

(21) 申请号 201080022516. 6

代理人 魏启学

(22) 申请日 2010. 05. 19

(51) Int. Cl.

(30) 优先权数据

2009-124274 2009. 05. 22 JP

2010-082803 2010. 03. 31 JP

G01N 21/47(2006. 01)

A61B 3/12(2006. 01)

A61B 5/00(2006. 01)

G01B 9/02(2006. 01)

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2011. 11. 22

审查员 李卓

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/JP2010/058848 2010. 05. 19

(87) PCT国际申请的公布数据

W02010/134624 EN 2010. 11. 25

(73) 专利权人 佳能株式会社

地址 日本东京都

(72) 发明人 吉田拓史 武藤健二

(74) 专利代理机构 北京魏启学律师事务所

11398

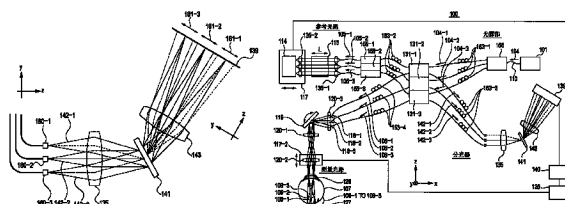
权利要求书3页 说明书20页 附图14页

(54) 发明名称

光学断层摄像装置

(57) 摘要

光学相干断层成像装置(100)包括光源(101)、用于将来自光源的光分割成多个测量光束(106-1~106-3)和相应数量的参考光束(105-1~105-3)的部件(156,131-1~131-3),用于使多个测量光束扫描诸如眼(107)的视网膜(127)等的检查对象的部件(119),检测部,用于检测来自检查对象的光与参考光的合成光(142-1~142-3),所述检测部包括分光元件(141)和传感器(139),其中,传感器包括分光后的合成光束各自聚光的多个区域,所述区域配置在分光的方向上或者与分光的方向垂直的方向上,以及用于通过调整合成光入射至检测部所经由的光纤端之间的距离并且考虑到检测部的光学倍率、调整所述区域之间的距离的部件。



1. 一种使用光学相干断层成像的摄像设备,所述摄像设备包括:
光源,用于生成光;
第一光纤、第二光纤、第三光纤以及第四光纤;
分割部,用于将来自所述光源的光分割成分别在第一光纤、第二光纤、第三光纤以及第四光纤中被引导的第一参考光和第二参考光以及第一测量光和第二测量光;
扫描光学部,用于利用所述第一测量光和所述第二测量光扫描检查对象;
合成部,用于将所述第一参考光和从所述检查对象返回的第一测量光合成为第一合成光,并且用于将所述第二参考光和从所述检查对象返回的第二测量光合成为第二合成光;
检测部,用于检测所述第一合成光和所述第二合成光,
其中,所述检测部包括分光元件和传感器,所述分光元件用于对所述第一合成光和所述第二合成光进行分光,所述传感器用于检测由所述分光元件分光后的所述第一合成光和所述第二合成光,
其中,所述传感器包括第一区域和第二区域,
其中,所述第一区域和所述第二区域配置在所述分光的方向上或者配置在与由所述分光元件进行分光的方向大致垂直的方向上;以及
照明部,用于分别利用第一分光光和第二分光光对所述第一区域和所述第二区域进行照明,
其中,所述摄像设备还包括第五光纤和第六光纤,所述第一合成光和所述第二合成光分别在所述第五光纤和所述第六光纤中被引导至所述第五光纤和所述第六光纤的出射端;
其中,所述第一区域和所述第二区域之间的距离是基于所述第五光纤的出射端和所述第六光纤的出射端之间的距离以及所述检测部的光学倍率的。
2. 根据权利要求1所述的使用光学相干断层成像的摄像设备,其特征在于,所述第一区域和所述第二区域配置在所述分光的方向上;以及
其中,所述第一区域侧的像素配置在所述第二区域中,从而被包括在所述传感器的如下区域中:在该区域中,检测到在所述第一区域聚光的光中具有低于在所述第二区域所检测到的光的强度的 10^{-4} 倍的强度的光。
3. 根据权利要求1所述的使用光学相干断层成像的摄像设备,其特征在于,所述第一区域和所述第二区域配置在所述分光的方向上,
其中,所述传感器还包括第三区域,其中,所述第三区域配置成相对于所述第一区域与所述分光的方向大致垂直;以及
其中,所述第一区域和所述第三区域之间的距离小于所述第一区域和所述第二区域之间的距离。
4. 根据权利要求3所述的使用光学相干断层成像的摄像设备,其特征在于,所述传感器是被设置成从所述第一区域延伸至所述第三区域的线传感器。
5. 根据权利要求1所述的使用光学相干断层成像的摄像设备,其特征在于,还包括调整机构,所述调整机构用于通过调整所述第五光纤的光纤端和所述第六光纤的光纤端之间的距离并考虑所述第一合成光和所述第二合成光在所述第五光纤的光纤端和所述第六光纤的光纤端与所述传感器之间的光学倍率,来调整所述第一区域和所述第二区域之间的距离。

离,其中,所述第一合成光和所述第二合成光分别从所述第五光纤的光纤端和所述第六光纤的光纤端出射。

6. 根据权利要求 1 所述的使用光学相干断层成像的摄像设备,其特征在于,包括单个分光元件;

其中,所述单个分光元件是透射分光单元。

7. 根据权利要求 1~6 之一所述的使用光学相干断层成像的摄像设备,其特征在于,还包括:

获得单元,用于基于在所述传感器处检测到的所述第一合成光和所述第二合成光,获得所述检查对象的光学相干断层成像图像。

8. 根据权利要求 1~6 之一所述的使用光学相干断层成像的摄像设备,其特征在于,所述分割部将所述光分割为包括所述第一参考光和所述第二参考光的两个以上的参考光以及包括所述第一测量光和所述第二测量光的两个以上的测量光;

所述合成部将所述两个以上的参考光和所述两个以上的测量光分别合成为包括所述第一合成光和所述第二合成光的两个以上的合成光;

所述检测部检测所述两个以上的合成光;

所述分光元件对所述两个以上的合成光进行分光;

所述传感器检测由所述分光元件处理后的所述两个以上的合成光,并且包括配置在所述分光的方向上和/或配置在与所述分光的方向垂直的方向上的两个以上的区域;以及

所述照明部分别利用两个以上的分光光对所述两个以上的区域进行照明。

9. 根据引用权利要求 6 的权利要求 8 所述的使用光学相干断层成像的摄像设备,其特征在于,

所述传感器检测由所述分光元件处理后的所述两个以上的合成光,并且包括配置在所述分光的方向上以及配置在与所述分光的方向垂直的方向上的两个以上的区域;以及

所述照明部进行所述照明,从而使得所述分光的方向上的合成光和与所述分光的方向垂直的方向上的合成光在所述单个分光元件处交叉。

10. 根据权利要求 1~6 之一所述的使用光学相干断层成像的摄像设备,其特征在于,所述合成部被配置为以使照明区域具有不同区域的入射角、利用所述第一合成光和所述第二合成光对所述分光元件进行照明。

11. 根据权利要求 6 所述的使用光学相干断层成像的摄像设备,其特征在于,所述合成部被配置为以使所述单个分光元件的分光效率大致最大的入射角、利用所述第一合成光和所述第二合成光对所述分光元件进行照明。

12. 根据权利要求 1~6 之一所述的使用光学相干断层成像的摄像设备,其特征在于,还包括光阑单元,所述光阑单元的形状基于在对所述分光元件进行照明时的所述第一合成光和所述第二合成光的照明区域的形状。

13. 一种使用光学相干断层成像的摄像方法,包括:

生成光;

将上述光分割为第一参考光和第二参考光以及第一测量光和第二测量光;

利用所述第一测量光和所述第二测量光对检查对象进行扫描;

将所述第一参考光和从所述检查对象返回的第一测量光合成为第一合成光;

将所述第二参考光和从所述检查对象返回的第二测量光合成为第二合成光；

对所述第一合成光和所述第二合成光进行分光；

由包括第一区域和第二区域的传感器来检测分光后的所述第一合成光和所述第二合成光，其中，所述第一区域和所述第二区域配置在所述分光的方向上或者配置在与所述分光的方向大致垂直的方向上；

其中，

分别在第一光纤和第二光纤中将所述第一合成光和所述第二合成光引导至所述第一光纤和所述第二光纤的出射端，并且，所述第一区域和所述第二区域之间的距离是基于所述第一光纤的出射端和所述第二光纤的出射端之间的距离、以及所述第一光纤的出射端和所述第二光纤的出射端与所述传感器之间的光学倍率的。

14. 根据权利要求 13 所述的使用光学相干断层成像的摄像方法，其特征在于，还包括：

通过调整所述第一光纤的第一光纤端和所述第二光纤的第二光纤端之间的距离并考虑所述第一合成光和所述第二合成光在所述第一光纤端和所述第二光纤端与所述传感器之间的光学倍率，来调整所述第一区域和所述第二区域之间的距离，其中，所述第一合成光和所述第二合成光在分光前分别从所述第一光纤端和所述第二光纤端出射。

光学断层摄像装置

技术领域

[0001] 本发明涉及一种使用光学相干断层成像的摄像装置、摄像方法以及用于观察例如眼底或皮肤的医疗设备。

背景技术

[0002] 近年来,使用利用低相干光的干涉的光学相干断层成像(OCT)的摄像装置(以下还称为“OCT装置”)已投入实际应用。

[0003] OCT装置可以通过利用测量光照射样品、并使来自样品的后向散射光(返回光)与参考光干涉来获得高分辨率的断层图像。因此,获得被检眼的眼底的视网膜的断层图像,从而使得OCT装置在例如对视网膜的眼科检查中得以广泛使用。

[0004] 这里,主要可以使用两种类型的OCT方法,即时域OCT(TD-OCT)和傅立叶域OCT(FD-OCT)。FD-OCT是使光谱信息经过傅立叶变换以一并获得与深度方向位置相对应的多个强度信息的方法。因此,与为了获得深度方向位置而改变相干门位置的TD-OCT相比,FD-OCT可以以更高速度获得断层图像。

[0005] 在例如对视网膜的眼科检查中的OCT测量中,断层图像可能由于眼球运动(典型地,无意识眼动)而发生移位或丢失。特别地,由于当在宽的视角进行测量时,获得断层图像需要时间,所以断层图像移位或者断层图像丢失的可能性增大。

[0006] 因此,日本2875181号专利(专利文献1)讨论了一种使用多个束、并缩窄每一束的测量区域来缩短测量时间的方法。在专利文献1中,使用将9个束分成测量光和参考光的干涉仪。对从各个束所获得的干涉光进行分光,并且利用针对多个束所设置的相同的二维传感器阵列检测分光后的干涉光。

[0007] “Single Camera Based Spectral Domain Polarization Sensitive Optical Coherence Tomography”,2007/Vol.15, No.3/Optics Express 1054中讨论了用于利用一个分光器通过获得具有不同偏振状态的多个干涉光来进行OCT测量的偏振OCT。这样,利用一个分光器中的一个线传感器获得两个干涉光,从而减小了装置的大小。该文献中没有讨论使用多个束、并缩窄每一束的测量区域的方法。

[0008] 参考文献列表

[0009] 专利文献

[0010] PTL1 日本2875181号专利

[0011] 非专利文献

[0012] NPL1 Single Camera Based Spectral Domain Polarization Sensitive Optical Coherence Tomography,2007/Vol.15, No.3/Optics Express 1054

发明内容

[0013] 由于例如光源自身的热闪烁,从光源所生成的光生成具有大于想要的波长宽度的波长宽度的光。

[0014] 因此,在日本 2875181 号专利中,为了防止多个分光后的干涉光在二维传感器阵列上相互重叠,使检测各个干涉光的区域之间的距离充分地大。这是因为,当多个干涉光在传感器上相互重叠时,在干涉光之间发生串扰,因而在获得的作为结果的断层图像中生成噪声。

[0015] 这里,由于必须使检测区域相互充分分开,因而设置不用于检测的像素。因此,二维阵列传感器所需的像素的数量增大,因而降低了读出速度。

[0016] 没有讨论甚至没有暗示聚光于传感器的束之间的距离应当是多大。因此,认为日本 2875181 号专利中所述的距离比所需的要大。

[0017] 在“Single Camera Based Spectral Domain Polarization Sensitive Optical Coherence Tomography,”2007/Vol. 15, No. 3/Optics Express 1054 中,没有讨论甚至没有暗示聚光于线传感器的两个干涉光之间的距离。如果聚光的束没有相互分开,则在束之间也发生串扰。

[0018] 根据本发明的使用光学相干断层成像的摄像装置包括:光源,用于生成光;分割部,用于将来自所述光源的光分成参考光和测量光;扫描光学部,用于利用所述测量光扫描检查对象;以及检测部,用于检测相互组合所述参考光和来自所述检查对象的返回光的合成光;其中,利用用于扫描所述检查对象的多个所述测量光扫描所述检查对象;其中,所述检测部包括分光元件和传感器,所述分光元件用于分光多个所述合成光,所述传感器用于检测已被分光的多个所述合成光,所述分光光包括第一分光光和第二分光光;其中,所述传感器包括所述第一分光光和所述第二分光光聚光的第一区域和第二区域;其中,将所述第一区域和所述第二区域配置在所述分光的方向上或者配置在与所述分光的方向大致垂直的方向上;以及其中,通过使用多个所述合成光出射的多个光纤端之间的距离和所述检测部的光学倍率,调整所述第一区域和所述第二区域之间的距离。

[0019] 根据本发明的另一摄像装置,包括:单个分光单元,用于分光通过组合多个返回光和多个参考光所形成的多个合成光,其中,所述多个返回光从利用多个测量光照射的检查对象返回,所述多个参考光对应于所述多个测量光;分光侧照明单元,用于在相对于所述单个分光单元大致共轭位置并且以相对于所述单个分光单元的入射角,利用所述多个合成光进行照明;传感器,用于基于来自所述单个分光单元的所述多个合成光,检测多个光;以及获得单元,用于基于在所述传感器处所检测到的多个光,获得所述检查对象的光学相干断层成像图像。

[0020] 根据本发明,可以提供一种结构,在所述结构中,规定聚光于传感器的多个干涉光之间在传感器中的距离,以防止在干涉光之间发生串扰。

[0021] 通过以下参考附图对典型实施例的说明,本发明的其它特征将显而易见。

附图说明

[0022] 图 1A 和 1B 是示出第一和第二实施例中使用光学相干断层成像的摄像装置的结构示意图。

[0023] 图 2A ~ 2D 是示出第一实施例中的 OCT 装置获得断层图像的示意图。

[0024] 图 3A 和 3B 是示出第一实施例中的分光器的结构中的各个构件的位置之间的关系示意图。

- [0025] 图 4A ~ 4C 是示出第一实施例中的线传感器中的分光位置和串扰的示意图。
- [0026] 图 5A 和 5B 是示出第二实施例中的分光器的结构的示意图。
- [0027] 图 6 是示出第三实施例中的分光器的结构中的各个构件的位置之间的关系的示意图。
- [0028] 图 7A 和 7B 是示出第三实施例中的分光器的结构中的各个构件的位置之间的关系的示意图。
- [0029] 图 8A 和 8B 示出第四实施例中的光纤端的调整机构。
- [0030] 图 9A ~ 9C 示出第四实施例中的干涉光的强度分布。
- [0031] 图 10A 和 10B 示出第四实施例中的光纤端的调整。

具体实施方式

- [0032] 下面将说明本发明的优选实施例。
- [0033] 将参考图 1A 和 1B 说明根据本发明实施例的使用光学相干断层成像的摄像装置。
- [0034] 首先,附图标记 101 表示用于生成光(低相干光)的光源。对于光源 101 可以使用超辐射发光二极管(SLD)。对于光源 101 还可以使用放大自发辐射光源(ASE)。另外,对于光源 101 还可以使用诸如钛蓝宝石激光器等超短脉冲激光器。对于光源 101 可以使用可生成低相干光的任何光源。尽管没有特别限制,但是从光源 101 所生成的光的波长在 $400\text{nm} \sim 2\mu\text{m}$ 的范围中。用于实现 OCT 的波长间隔可以为例如 1nm 以上,理想的是 10nm 以上,更理想的是 30nm 以上。
- [0035] 附图标记 131(附图标记 131-1 ~ 131-3)表示将来自光源 101 的光分成参考光和测量光的分割部。例如,对于分割部 131 可以使用分束器或光纤耦合器。因而,对于分割部 131 可以使用能分割光的任何分割部。
- [0036] 附图标记 119 表示用于扫描要检查的检查对象(要检查的被检眼 107)的扫描光学部。例如,对于扫描光学部 119 理想的是使用 galvano 扫描器。然而,可以使用能够利用光扫描检查对象的任何扫描器。
- [0037] 图 1B 示出用于检测参考光和来自检查对象 107 的返回光的合成光的检测部(分光器)。检测部包括用于对多个合成光 142(142-1 ~ 142-3) 进行分光的分光元件。分光元件 141 是例如衍射光栅或棱镜,并且可以是进行分光的任何分光元件。检测部包括用于检测通过分光元件 141 所分光的多个光的传感器 139。传感器 139 可以是线传感器、二维传感器或者可检测光的任何传感器。这里,从多个光纤端 160(160-1 ~ 160-3) 出射多个合成光 142。
- [0038] 可以利用扫描检查对象 107 所使用的多个测量光来扫描检查对象 107。Michelson 型干涉仪用于形成多个测量光的方法不同于 Mach-Zehnder 型干涉仪用于形成多个测量光的方法(后面说明)。
- [0039] 扫描器 139 具有第一区域和第二区域(例如,区域 161-1 ~ 161-3),其中,使进行了分光的第一光和第二光(例如,在多个合成光 142 通过分光元件 141 之后所获得的光)在第一区域和第二区域中聚光。这里,第一区域和第二区域是指利用多个分光光照射传感器的区域(单位:像素)。
- [0040] 在分光方向(诸如图 6 中的 y 方向等)上或者在与分光方向大致垂直的方向(诸

如图 6 中的 x 方向等)上配置第一区域和第二区域。

[0041] 通过使用多个光纤端 160 之间的距离和检测部的光学倍率(例如,根据检测部中所包括的透镜 135 和透镜 143 的焦距之比来确定)来调整第一区域和第二区域之间的距离(诸如图 6 中的 D_x 和 D_y 等),其中,从多个光纤端 160 出射多个合成光 142。

[0042] 这使得可以限制传感器 139 中的分光光之间的串扰。另外,可以使第一区域和第二区域尽可能地靠近。也就是说,可以使得第一区域和第二区域之间的距离(单位:像素)小(可以使得像素的数量小)。

[0043] 这里,希望使分光得到的多个光聚光在各个区域 161。

[0044] 如果第一区域和第二区域被配置在分光方向(诸如图 6 中的 y 方向等)上,则希望如下配置在第二区域中的第一区域侧的像素。也就是说,这些像素包括在传感器 139 下面的区域中:在该区域中,检测到在第一区域中聚光的光中、具有小于在第二区域所检测到的光的强度的 10^{-4} 倍的强度的光。

[0045] 如果将第一区域和第二区域配置在分光方向(诸如图 6 中的 y 方向等)上,并且传感器 139 包括相对于第一区域与分光方向大致垂直(诸如图 6 中的 x 方向等)而配置的第三区域(参见图 5A 和 5B),则希望如下这样。也就是说,第一区域和第三区域之间的距离小于第一区域和第二区域之间的距离。

[0046] 希望将线传感器设置成从第一区域延伸至第三区域(诸如图 6 中的 161-1 ~ 161-9 等)。对于光纤端的相对位置,希望至少设置可以调整光纤端之间的距离(诸如图 3A 中的 d_1 和 d_3 等)的机构。

[0047] Michelson 型干涉仪

[0048] 如果使用 Michelson 型干涉仪,则形成分割部 131 从而合成参考光和测量光。也就是说,形成分割部 131 以将通过光源 101 所生成的光分成参考光和测量光,并且合成参考光和返回光。

[0049] 这里,分割部 131 将通过光源 101 所生成的光分成多个光,并且将分割得到的多个光分成参考光和测量光。

[0050] 从多个光源生成光。这多个光被分成参考光和测量光。

[0051] Mach-Zehnder 型干涉仪

[0052] 如果使用 Mach-Zehnder 型干涉仪,则设置用于合成参考光和测量光的合成部。合成部是光纤耦合器或者可以合成光的任何其它合成部。

[0053] 将通过光源 101 所生成的光分成测量光和参考光,并且将分割得到的测量光和分割得到的参考光分成多个光。

[0054] 另一实施例:摄像方法

[0055] 这里,在另一实施例中,可以将使用根据上述实施例的摄像装置的摄像方法存储在计算机可读存储介质(诸如软盘、硬盘、光盘、磁光盘、CD-ROM、CD-R、磁带、非易失性存储卡、ROM、EEPROM 或蓝光光盘等)中,作为要通过计算机执行的程序。另一实施例可以涉及用于通过计算机执行使用该摄像装置的上述方法的程序。

[0056] 实施例

[0057] 第一实施例

[0058] 在第一实施例中,将参考图 1A 和 1B 说明应用本发明的使用光学相干断层成像的

摄像装置 (OCT 装置)。

[0059] 如图 1A 所示,根据本实施例的 OCT 装置 100 整体上构成 Michelson 型干涉仪。首先将从光源发射的光分成测量光和参考光。另外,在多个测量光路中提供测量光。OCT 装置 100 包括使用多个合成光拍摄检查对象的断层图像的 OCT 系统,其中,在这多个合成光中,对多个测量光的返回光和穿过了参考光路的参考光进行合成,并且使返回光和参考光相互光学干涉。还可以使用 Mach-Zehnder 型干涉仪作为干涉仪。如果使用 Mach-Zehnder 型干涉仪,则与 Michelson 型干涉仪相比,在测量光和参考光之比小时所获得的断层图像可以具有高对比度。

[0060] 在本说明书中,还将上述断层图像称为“光学相干断层图像”。

[0061] 更具体地,在该图中,将作为从光源 101 出射的光的出射光 104 引导至单模光纤 110,并且入射至光耦合器 156。在光耦合器 156 处,将出射光 104 分成在三个光路、即第一光路、第二光路和第三光路中提供的出射光 104-1 ~ 104-3。

[0062] 在这三个光路中提供的出射光 104-1 ~ 104-3 通过偏振控制器 153-1,并且通过光学耦合器 131-1 ~ 131-3 将其分成参考光 105-1 ~ 105-3 和测量光 106-1 ~ 106-3。

[0063] 通过成为利用例如作为观察对象的被检眼 107 的视网膜 127 反射或散射测量光 106-1 ~ 106-3 所形成的返回光 108-1 ~ 108-3,这样所分割的、并在三个光路中提供的测量光 106-1 ~ 106-3 返回。然后,通过光学耦合器 131-1 ~ 131-3,将返回光 108-1 ~ 108-3 与穿过了参考光路的参考光 105-1 ~ 105-3 合成,并且成为合成光 142-1 ~ 142-3。在形成了合成光 142-1 ~ 142-3 之后,通过透射衍射光栅 141 针对各波长对它们进行分光。分光得到的光入射至线传感器 139。线传感器 139 针对各位置 (波长) 将光强度转换成电压。使用其的每一个信号,形成被检眼 107 的断层图像。

[0064] 然而,用于将光路分支成多个光路的单元不局限于此。可以在耦合器检查对象侧和耦合器基准镜侧分别配置用于将光分成参考光和测量光的光学耦合器 156,从而使得通过耦合器将光分支成三个测量光和三个参考光。可选地,可以在基准镜侧不设置光学耦合器 156 的情况下,仅利用一个光路来提供参考光。

[0065] 接着说明光源 101 的周边。光源 101 是作为代表性的低相干光源的超辐射发光二极管 (SLD)。其波长为 840nm,并且其带宽为 50nm。这里,由于带宽影响要获得的断层图像在光轴方向上的分辨率,所以带宽是个重要参数。尽管选择 SLD 作为光源,但是可以使用诸如放大自发辐射 (ASE) 光源等的可以发射低相干光的任何其它光源。考虑到测量眼,作为波长,近红外光是适合的。另外,波长影响要获得的断层图像在横向上的分辨率,因而对于波长希望尽可能地短。这里,波长为 840nm。可以根据观察对象的测量部位而选择其它波长。

[0066] 接着说明参考光 105 的光路。通过光学耦合器 131-1 ~ 131-3 所分割的、并在三个光路中提供的参考光 105-1 ~ 105-3 通过偏振控制器 153-2 和光纤长度改变单元 155-1 ~ 155-3,在透镜 135-1 处成为大致平行的光,并且通过透镜 135-1 出射。接着,参考光 105-1 ~ 105-3 穿过色散补偿玻璃 115,并且通过透镜 135-2 使其聚光于镜 114。接着参考光 105-1 ~ 105-3 在镜 114 处改变方向,并且再次向光学耦合器 131-1 ~ 131-3 行进。然后,参考光 105-1 ~ 105-3 穿过光学耦合器 131-1 ~ 131-3,并被引导至线传感器 139。这里,色散补偿玻璃 115 补偿在被检眼 107 和扫描光学系统之间往返的测量光 106 的色散。这

里,作为日本人的平均眼球直径的代表值为 $L = 23\text{mm}$ 。附图标记 117 表示电动台。电动台 117 可以在该图中双向箭头的方向上移动,并且可以调整和控制参考光 105 的光路长度。可以通过个人计算机 125 控制电动台 117。这里,尽管对于三个光路使用相同的镜 114、相同的电动台 117 和相同的色散补偿玻璃 115,但是可以独立设置它们。在这种情况下,通过不同的电动台 117 来控制透镜 135 的位置和镜 114 的位置,从而使得可以改变参考光 105-1、105-2 和 105-3 的光路。

[0067] 设置光纤长度改变单元 155-1 ~ 155-3 是为了对各个光纤的长度进行精细调整。根据测量光 106-1 ~ 106-3 的测量部位,光纤长度改变单元 155-1 ~ 155-3 可以调整参考光 105-1 ~ 105-3 的光路,并且可以通过个人计算机 125 来控制光纤长度改变单元 155-1 ~ 155-3。

[0068] 接着说明测量光 106 的光路。

[0069] 由光学耦合器 131-1 ~ 131-3 分割得到的测量光 106-1 ~ 106-3 通过偏振控制器 153-4,在透镜 120-3 处成为大致平行的光,通过透镜 120-3 出射,并且入射至构成扫描光学系统的 XY 扫描器 119 的镜。这里,为了简化,将 XY 扫描器 119 表示为一个镜。然而,XY 扫描器 119 实际上包括两个镜,即相互靠近配置的 X 扫描镜和 Y 扫描镜,并且在与光轴垂直的方向上对视网膜 127 进行光栅扫描。调整透镜 120-1、透镜 120-3 等,从而使得测量光 106-1 ~ 106-3 各自的中心与 XY 扫描器 119 的镜的转动中心大致对齐。

[0070] 透镜 120-1 和透镜 120-2 是用于利用测量光 106-1 和 106-2 扫描视网膜 127 的光学系统,并且用于以角膜 126 附近作为支点,利用测量光来扫描视网膜 127。使测量光 106-1 ~ 106-3 聚光于视网膜的任一位置。

[0071] 以所述任一位置作为中心,驱动 XY 扫描器 119 以获得各个扫描图像。附图标记 117-2 表示电动台。电动台 117-2 可以在箭头的方向上移动,并且可以调整和控制附随的透镜 120-2 的位置。通过调整透镜 120-2 的位置,使测量光 106 聚光于被检眼 107 的视网膜 127 的预定层,并且可以观察视网膜 127。另外,可以应对被检眼 107 的异常折射。如果测量光 106-1 ~ 106-3 入射至被检眼 107,则测量光 106-1 ~ 106-3 通过被视网膜 127 反射或散射,成为返回光 108-1 ~ 108-3。返回光 108-1 ~ 108-3 穿过光学耦合器 131-1 ~ 131-3,并且被引导至线传感器 139。这里,可以通过个人计算机 125 来控制电动台 117-2。

[0072] 尽管在本实施例中,以附图标记 118-1 ~ 118-3 所表示的组件形成为相互平齐地配置(也就是说,处于 XZ 平面),但是本发明不局限于此。可以将它们配置在与该图的纸面垂直的方向(y 方向)上,或者可以将它们配置成在这两个方向上均有分量。

[0073] 通过上述结构,可以同时使用三个束进行扫描。

[0074] 接着将说明根据本实施例的 OCT 装置中的测量系统的结构。通过光学耦合器 131-1 ~ 131-3 将参考光 105-1 ~ 105-3 和通过视网膜 127 的反射或散射所形成、并穿过第一和第二光路的返回光 108-1 ~ 108-3 彼此合成。然后,合成光 142 通过光纤端出射,并且在透镜 135 处成为大致平行的光。大致平行的光照射构成检测部的透射衍射光栅 141,并且针对各波长进行分光。使分光得到的光聚光于成像透镜 143,并且线传感器针对各位置(波长)将光的强度转换成电压。在线传感器 139 上观察到波长轴上光谱区域的三个干涉条纹。

[0075] 下面将说明使用 OCT 装置获得断层图像。

[0076] 这里,将参考图 2A ~ 2D 说明视网膜 127 的断层图像(与光轴平行的平面)的获得。

[0077] 图 2A 示出利用 OCT 装置 100 观察检查对象 107 的状态。然而,未示出测量光 106-3。

[0078] 由于以相同附图标记表示与图 1A 中示出的构件相同或相对应的构件,所以下面将不说明相同或相应构件。

[0079] 如图 2A 所示,测量光 106-1 ~ 106-3 穿过角膜 126。当测量光 106-1 ~ 106-3 入射至视网膜 127 时,它们在各种位置处被反射或散射,并且成为返回光 108-1 ~ 108-3。伴随着各位置处的时间延迟,返回光 108-1 ~ 108-3 各自到达线传感器 139。在图 2A 中,为了简化,在轴外部示出返回光 108-1 ~ 108-3。然而,返回光 108-1 ~ 108-3 实际上是以相反方向沿测量光 106-1 ~ 106-3 的光路行进的返回光。这里,由于光源 101 的带宽宽,并且空间相干长度短,所以仅当参考光路的长度和测量光路的长度大致彼此相等时,才可以通过线传感器 139 检测到干涉条纹。如上所述,线传感器 139 所获得的是波长轴上的光谱区域的干涉条纹。接着,考虑到线传感器 139 和透射衍射光栅 141 的特性,针对各个合成光 142-1 ~ 142-3 将作为波长轴上的信息的干涉条纹转换成光频轴处的干涉条纹。此外,通过使转换后的光频轴处的干涉条纹经过逆傅立叶变换,可以获得深度方向信息。

[0080] 此外,如图 2B 所示(为了简化,图 2B 仅示出测量光中的测量光 106-1),如果在驱动 XY 扫描器 119 的 X 轴时检测到干涉条纹,则获得针对各 X 轴位置的干涉条纹。也就是说,可以获得针对各 X 轴位置的深度方向信息。

[0081] 结果,获得返回光 108-1 的强度在 XZ 平面上的二维分布,也就是说,获得断层图像 132(参考图 2C)。如上所述,断层图像 132 实际上是以阵列形式配置返回光 108 的强度的断层图像。例如,通过使灰度级与强度相适合来示出强度。这里,仅增强并示出所获得的断层图像的边界。

[0082] 如图 2D 所示,如果控制 XY 扫描器 119 并且利用测量光 106-1 ~ 106-3 对视网膜进行光栅扫描,则可以同时连续获得视网膜上的任何两个位置的断层图像。这里,当以作为 X 轴方向的 XY 扫描器的主扫描方向和作为 Y 轴方向的 XY 扫描器的副扫描方向进行扫描时,作为结果、可以获得 YZ 平面上的多个断层图像。

[0083] 接着将更加详细地说明分光器。

[0084] 图 1B 示出三个合成光(142-1 ~ 142-3)入射至 OCT 装置的结构。在 y 方向上彼此分开地配置光纤端 160-1 ~ 160-3,并且合成光 142-1 ~ 142-3 通过光纤端 160-1 ~ 160-3 出射。这里,预先调整光纤端的方位,以使得合成光垂直于透镜的主面出射,也就是说,使得实现远心。这里,术语“y 方向”是指与透射衍射光栅 141(用作分光单元)进行分光的方向平行的方向。出射的合成光入射至透镜 135。在本说明书中,透镜 135 还称为“分光侧照明部”。三个合成光在透镜 135 处成为大致平行的光,并且入射至透射衍射光栅 141。透射衍射光栅 141 被配置在光学系统的光瞳附近(或者相对于单个分光单元大致共轭的位置)。希望对于照明使用多个合成光,以在单个分光单元处交叉。这里,为了减少光量损失,需要在透射衍射光栅的表面设置光阑。配置透射衍射光栅 141 以使其相对于透镜 135 的主面倾斜。这里,希望分光侧照明部 135 利用多个合成光以相对于单个分光单元的入射角进行照明。因此,透射衍射光栅 141 的表面的光束(多个合成光的照明区域)是椭圆形。因此,设置在透射衍射光栅 141 的表面的光阑必须是椭圆形的。也就是说,希望设置这样的光阑单

元,其中,该光阑单元具有基于照明分光单元所使用的多个合成光的照明区域的形状。通过透射衍射光栅所衍射的合成光入射至透镜 143(还被称为“检测侧照明单元”)。此时,希望检测侧照明单元 143 以使传感器 139 处的多个光的照明区域不相互重叠的方式在这些照明区域进行照明。这里,这多个光是多个合成光通过了分光单元之后的光,并且与多个合成光相对应。

[0085] 图 1B 中的衍射合成光是仅具有中心波长的光束。对于具有其它波长的衍射合成光,为了简化,仅示出主光线。由于光轴方向是 z 方向,所以通过衍射转动坐标。使入射至透镜 143 的衍射合成光聚光于线传感器 139,并且观察 y 方向上的干涉条纹 161-1 ~ 161-3。也就是说,形成分光器,从而使得光纤端 160-1 ~ 160-3 的图像成为线传感器 139 上的干涉条纹 161-1 ~ 161-3。

[0086] 图 3A 示出本实施例中的位置关系。在图 3A 中,为了简化,仅示出主光线。如果光纤端 160-1 与光纤端 160-2 之间的距离和光纤端 160-3 与光纤端 160-2 之间的距离分别是 d_1 和 d_3 ,在线传感器 139 中中心波长 840nm 的聚光位置之间的距离分别为 D_1 和 D_3 ,透镜 135 的焦距为 f_1 ,并且合成光 142-1 和 142-3 的光线在它们通过透镜 135 出射之后相对于光轴的倾斜度分别为 θ_1 和 θ_3 ,则下面的公式 (1-1) 和 (1-2) 成立:

$$[0087] \quad d_1 = f_1 \times \tan \theta_1 \quad (1-1)$$

$$[0088] \quad d_3 = f_1 \times \tan \theta_3 \quad (1-2)$$

[0089] 其中, d_3 和 θ_3 是负值。

[0090] 图 3B 示出相对于透射衍射光栅的入射角。如果将作为透射衍射光栅的法线的线作为 θ_1 和 θ_3 的基准,则合成光 142-1 和 142-3 相对于作为透射衍射光栅的法线的线的入射角分别为 α_1 和 α_3 ;并且如果合成光 142-2 相对于透射衍射光栅的法线的入射角为 A ,则下面的公式 (2-1) 和 (2-2) 成立:

$$[0091] \quad \alpha_1 = \theta_1 + A \quad (2-1)$$

$$[0092] \quad \alpha_3 = \theta_3 + A \quad (2-2)$$

[0093] 其中,将入射角 A 设置成透射衍射光栅 141 的衍射效率成为最大处的入射角。在本说明书中,还将衍射效率称为分光效率。

[0094] 如果相对于入射角 A 、 n 阶光的衍射角为 B ,则下面的公式 (3) 成立:

$$[0095] \quad \sin A + \sin B = n p \Lambda \quad (3)$$

[0096] 其中, p 表示透射衍射光栅 141 的间距。该间距与透射衍射光栅 141 中周期性切割的图案的宽度有关,并且以每 1mm 切割出多少图案(图案数量/mm)来表示。 Λ 表示波长。如果 $n = 1$ (也就是说,对于分光,使用一阶光),并且如果衍射光栅是在 $A = B$ 时衍射效率成为最大的衍射光栅,则通过下面的公式 (4) 表示 $\Delta \theta$ 和光源的波长宽度与衍射光栅的间距之间的关系:

$$[0097] \quad A = B = \sin^{-1}(p \Lambda / 2) \quad (4)$$

[0098] 如果 $p = 1200$ 个图案/mm,并且 Λ 是 840nm(中心波长),则 $A = B = 30.26^\circ$ 。倾斜透射衍射光栅 141,从而使得合成光 142-2 相对于作为透射衍射光栅 141 的法线的线的入射角为 $A = 30.26^\circ$ 。

[0099] 如果合成光 142-1 和 142-3 相对于作为透射衍射光栅 141 的法线的线的衍射角分别为 β_1 和 β_3 ,并且将这些值代入公式 (3) 的值,则下面的公式 (5-1) 和 (5-2) 成立:

[0100] $\sin \alpha_1 + \sin \beta_1 = p \lambda$ (5-1)

[0101] $\sin \alpha_2 + \sin \beta_2 = p \lambda$ (5-2)

[0102] 如果合成光 142-1 和 142-3 的光线相对于透镜 143 的光轴的倾斜度分别为 Θ_1 和 Θ_3 , 则下面公式 (6-1) 和 (6-2) 成立:

[0103] $\Theta_1 = \beta_1 - B$ (6-1)

[0104] $\Theta_3 = \beta_3 - B$ (6-2)

[0105] 因此, 可以通过下面的公式 (7-1) 和 (7-2) 表示线传感器上的聚光位置:

[0106] $D1 = f2 \times \tan \Theta_1$ (7-1)

[0107] $D3 = f2 \times \tan \Theta_3$ (7-2)

[0108] 其中, $f2$ 为透镜 143 的焦距。

[0109] 这里, 如果 $d1$ 和 $d3$ 分别为 12mm 和 -12mm, 如果透镜 135 的焦距为 100mm, 并且如果透镜 143 的焦距为 150mm, 那么 $D1$ 和 $D3$ 都可以被确定。 $D1$ 和 $D3$ 分别为 -16.81mm 和 19.38mm。也就是说, 具有 840nm 波长的合成光 142-1、142-2 和 142-3 聚光于线传感器 139 上的 -16.81mm、0mm 和 19.38mm 的位置处。

[0110] 类似地, 可以通过将公式 (3) 中的 λ 设置成其它波长, 获得具有其它波长的合成光 142-1 ~ 142-3 在线传感器 139 上的聚光位置。

[0111] 表 1 示出第一实施例中合成光和线照相机上的聚光位置之间的关系。确定针对典型的最大和最小测量波长 865nm 和 815nm 以及典型的中心波长 840nm 的聚光位置。通过表 1 可知, 多个光 (即在多个合成光经过分光单元之后的光) 在传感器 139 处的照明区域的面积 (像素数量) 相互不同。

[0112] [表 1]

[0113]

合成光	入射角 α [°]	波长 [nm]	衍射角 β [°]	线照相机上的位置 [mm]
142-1	37.11	815	22.00	-21.78
		840	23.87	-16.81
		865	25.77	-11.80
142-2	30.26	815	28.29	-5.16
		840	30.26	0.00
		865	32.28	5.27
142-3	23.42	815	35.49	13.71
		840	37.63	19.38
		865	39.83	25.27

[0114] 图 4A 示出上述关系和合成光的轮廓。图 4B 是合成光相互紧密接触并且聚光于线传感器 139 的示意图。

[0115] 如图 4A 所示,通过根据附图标记 142-1 ~ 142-3 分割线传感器的区域,并且通过进行例如傅立叶变换,可以分别获得测量光 106-1 ~ 106-3 的视网膜 127 的断层图像。如图 4A 所示,如果在将线传感器的区域充分相互分开从而使得不会发生串扰时进行聚光,则不会发生任何问题。然而,如图 4B 所示,如果在区域相互紧密接触时进行聚光,则会发生串扰。如果发生串扰,则不能独立获得测量光 106-1 ~ 106-3 的视网膜 127 的断层图像。也就是说,在一个图像与其它图像重叠的情况下获得断层图像。因此,需要在线传感器上使区域相互分开以使得图像不会相互重叠。如果区域相互被过度分开,则线传感器的像素被不必要地浪费使用,结果,需要大量像素。因此,也需要尽可能靠近地设置区域。

[0116] 这里,如图 4B 所示,如果将其中一个合成光对其它合成光贡献的光量的最大值定义为串扰量 Q ,并且该其中一个合成光的光量的最大值为 $I_{\max}$,则需要下面的公式 (8) 成立:

$$[0117] \quad Q < I_{\max} \times 10^{-4} \quad (8)$$

[0118] 通过将串扰量设置在公式 (8) 的范围内,基本上可以获得图像中没有有一个图像与其它图像重叠的良好断层图像。如果在公式 (8) 的范围内使聚光于线传感器的干涉条纹尽可能地靠近,则不会浪费线传感器的像素。

[0119] 在测量检查对象,并且对最大信号电平和噪声电平进行相互比较时,最大信号电平和噪声电平的比约为 $1 : 10^{-4}$ (40dB)。因此,如果串扰量小于或等于公式 (8) 的范围,则由与其它图像重叠的其中一个图像所形成的图像的噪声电平变得小于或等于该噪声电平,结果,不能识别在该其中一个图像中的其它图像处的噪声。相反,如果串扰量大于或等于公式 (8) 的范围,则由与其它图像重叠的其中一个图像所形成的图像的噪声电平变得大于或等于该噪声电平,结果,可以识别出在该其中一个图像中其它图像的噪声。因此,获得重叠图像。

[0120] 下面将说明本实施例中的串扰量满足公式 (8) 的情况。如果使用 Gauss 光源作为光源 101,则强度小于或等于 $I_{\max} \times 10^{-4}$ 的波长小于或等于 786nm 以及大于或等于 894nm,其中, Gauss 光源的中心波长为 840nm,强度为 $1/e^2$ 的波长宽度为 50nm。因此,如果在波长 786nm 和 894nm 处,邻接测量区域中没有包括合成光,则满足公式 (8)。表 2 示出另一实施例中的合成光和线照相机的聚光位置之间的关系。表 2 示出波长 786nm 和 894nm 处的聚光位置。向图 4A 添加这些位置关系和合成光的轮廓,并且在图 4C 示出。

[0121] [表 2]

[0122]

合成光	入射角 α [°]	波长[nm]	衍射角 β [°]	线照相机上的位置[mm]
142-1	37.11	786	19.87	-27.52
		840	23.87	-16.81
		894	28.00	-5.93
142-2	30.26	786	26.05	-11.05
		840	30.26	0.00
		894	34.67	11.55
142-3	23.42	786	33.07	7.36
		840	37.63	19.38
		894	42.48	32.46

[0123] 为了简化,在图 4C 中,将包括波长 786nm 和 894nm 的聚光位置的区域从包括波长从 815nm 到 865nm 的聚光位置的区域移位。在包括波长从 815nm 到 865nm 的合成光 142-2 的聚光位置的区域中,不包括下面的区域:该区域包括波长从 786nm 到 894nm 的合成光 142-1 和合成光 142-3 的聚光位置。另外,在包括波长从 815nm 到 865nm 的合成光 142-1 和 142-3 的聚光位置的区域中,不包括下面的区域:该区域包括波长从 786nm 到 894nm 的合成光 142-2 的聚光位置。在合成光 142-1 ~ 142-3 之间的串扰量中,如果估计最大串扰量 Q,则最大串扰量 Q 为合成光 142-2 影响合成光 142-1 的串扰量。该最大串扰量 Q 是合成光 142-2 中具有波长 781nm 的光影响合成光 142-1 中具有波长 865nm 的光的串扰量。该串扰量 Q 为 1.45×10^{-5} 。因此,由于该串扰量小于 $I_{\max} \times 10^{-4}$,所以满足公式 (8) 的范围。

[0124] 因此,通过如上所述来设置透镜 135 和 143 的焦距、光纤端 160-1 ~ 160-3 之间的距离、以及透射衍射光栅 141 的间距,在线传感器 139 上的合成光 142-1 ~ 142-3 之间不会发生任何串扰的情况下,基本上可以消除在使用 OCT 进行摄像操作时一个图像与其它图像的重叠。然而,所设置的透镜 135 和 143 的焦距、光纤端 160-1 ~ 160-3 之间的距离、以及透射衍射光栅 141 的间距仅是焦距、距离和间距的其它组合在本实施例中的例子。因此,即使改变其组合,也可以使串扰处于公式 (8) 的范围内。

[0125] 使用公式 (1) ~ (7),通过下面的公式 (9) 确定线传感器上的聚光位置 D:

[0126] [数学公式 1]

$$[0127] \quad D = -f2 \tan \left(-\sin^{-1} \left(-\sin \left(\tan^{-1} \left(\frac{d}{f1} \right) + \sin^{-1} \left(\frac{p\Lambda}{2} \right) \right) + p\lambda \right) + \sin^{-1} \left(\frac{p\Lambda}{2} \right) \right)$$

[0128] 如果在公式 (9) 中, $d = 0$,则下面的公式 (10) 成立:

[0129] [数学公式 2]

$$[0130] \quad D0 = -f2 \tan \left(-\sin^{-1} \left(\frac{p\Lambda}{2} - p\lambda \right) + \sin^{-1} \left(\frac{p\Lambda}{2} \right) \right) \quad (10)$$

[0131] 在本实施例中,使用公式 (8) 和 (9) 计算合成光 142-2 和 142-1 之间的串扰。如果相对于从相互分开 d 的光纤端发射的中心波长的强度、具有强度 $I_{\max} \times 10^{-4}$ 的波长的聚光位置与 $d = 0$ 处的测量波长的聚光位置之间的距离大于或等于 0, 则串扰满足公式 (8)。如上所述,如果以强度相对于中心波长为 $1/e^2$ 处的波长宽度进行测量,并且使用 Gauss 光源,则强度成为 $I_{\max} \times 10^{-4}$ 处的波长是从测量波长开始增加了 $\lambda_{\max} - \lambda$ 的 $6/5$ 倍的波长。在本实施例中,由于 $\lambda_{\max} - \lambda$ 是 25nm, 所以该波长为 $865\text{nm} + 30\text{nm} = 895\text{nm}$ 。通过表 1 和 2 以及图 4 可知,合成光 142-3 和 142-2 的聚光位置之间的距离小于合成光 142-2 和 142-1 的聚光位置之间的距离。这是由衍射角的性质决定的。因此,与当公式 (9) 中的 d 是正值时相比,当 d 是负值时,针对串扰的条件变得更严格。考虑到上述条件,满足下面的公式 (11) 将导致与公式 (8) 等价。

[0132] [数学公式 3]

$$[0133] \quad -f2 \tan \left(-\sin^{-1} \left(\frac{p\Lambda}{2} - p\lambda_{\min} \right) + \sin^{-1} \left(\frac{p\Lambda}{2} \right) \right)$$

[0134]

$$> -f2 \tan \left(-\sin^{-1} \left(-\sin \left(\tan^{-1} \left(\frac{d_{\max}}{f1} \right) + \sin^{-1} \left(\frac{p\Lambda}{2} \right) \right) + p\lambda_{\max over} \right) + \sin^{-1} \left(\frac{p\Lambda}{2} \right) \right) \quad (11)$$

[0135] 然而, $d_{\max}$ 表示光纤端 160-1 ~ 160-3 的距离中的最大值, $\lambda_{\min}$ 表示测量波长中的最小波长, 并且 $\lambda_{\max over}$ 表示从测量波长中的最大波长开始增加了 $\lambda_{\max} - \lambda$ 的 $6/5$ 倍的波长。通过满足该条件,可以使得合成光 142-1 和 142-2 之间的串扰和合成光 142-2 和 143-3 之间的串扰小于或等于公式 (8) 的范围。

[0136] 尽管在上述说明中,考虑了一阶光之间的串扰,但是在一阶光和二阶光之间也发生串扰。在合成光 142-3 处与合成光 142-2 相反的位置处检测到二阶光。也就是说,二阶光配置在合成光 142-3 的一阶光和合成光 142-1 的二阶光之间的串扰最接近的位置处。下面估计 142-3 的一阶光的 $\lambda_{\max}$ 的聚光位置和 142-1 的二阶光的 $\lambda_{\min}$ 的聚光位置。

[0137] 对于前者,公式 (9) 中的 λ 为 $\lambda_{\max}$:

[0138] [数学公式 4]

[0139]

$$D = -f2 \tan \left(-\sin^{-1} \left(-\sin \left(\tan^{-1} \left(\frac{d_{\min}}{f1} \right) + \sin^{-1} \left(\frac{p\Lambda}{2} \right) \right) + p\lambda_{\max} \right) + \sin^{-1} \left(\frac{p\Lambda}{2} \right) \right) \quad (12)$$

[0140] 其中, $d_{\min}$ 表示光纤端 160-1 ~ 160-3 的距离中的最小距离, 并且在本实施例中为 $d3$ 。

[0141] 对于后者,对于二阶光求解公式 (9), 并且公式 (13) 成立 :

[0142] [数学公式 5]

[0143]

$$D = -f2 \tan \left(-\sin^{-1} \left(-\sin \left(\tan^{-1} \left(\frac{d_{\max}}{f1} \right) + \sin^{-1} \left(\frac{p\Lambda}{2} \right) \right) + 2p\lambda_{\min over} \right) + \sin^{-1} \left(\frac{p\Lambda}{2} \right) \right) \quad (13)$$

[0144] 其中, $d_{\max}$ 是光纤端 160-1 ~ 160-3 的距离中的最大距离, 并且在本实施例中为

d1。 $\lambda_{\min over}$ 表示比测量波长中的最大波长小 $\lambda_{\max} - \Lambda$ 的 6/5 倍的波长。

[0145] 因此,如果公式 (12) 的值小于公式 (13) 的值,则不会发生上述串扰。因此,需要满足下面的公式 (14) :

[0146] [数学公式 6]

$$[0147] \quad -f2 \tan \left(-\sin^{-1} \left(-\sin \left(\tan^{-1} \left(\frac{d_{\min}}{f1} \right) + \sin^{-1} \left(\frac{p\Lambda}{2} \right) \right) + p\lambda_{\max} \right) + \sin^{-1} \left(\frac{p\Lambda}{2} \right) \right) \\ [0148] \\ < -f2 \tan \left(-\sin^{-1} \left(-\sin \left(\tan^{-1} \left(\frac{d_{\max}}{f1} \right) + \sin^{-1} \left(\frac{p\Lambda}{2} \right) \right) + 2p\lambda_{\min over} \right) + \sin^{-1} \left(\frac{p\Lambda}{2} \right) \right) \quad (14)$$

[0149] 在本实施例中,右边解不存在,并且防止生成二阶光。其条件如下 :

$$[0150] \quad p\lambda < -1 \text{ 或者 } p\lambda > 1 \quad (15)$$

[0151] 对于生成二阶光的条件,需要通过例如改变衍射光栅的间距 p 来满足公式 (14)。

[0152] 这里表示的区域传感器 139 上的聚光位置之间的关系没有考虑光学系统的失真的影响。在普通光学系统中,会发生失真。因此,聚光位置从这里所表示的位置偏移数个百分比的范围。然而,失真在数个百分比的范围内。另外,即使发生失真,所有波长的聚光位置向 $y = 0$ 的位置偏移或者离开该位置。因此,不会发生具有大影响的串扰。然而,例如,如果在透镜 135 或透镜 143 中使用转动不对称面或者自由形状面,则可能发生非球面失真。如果非球面失真大,则使得距离 d1 和 d2 可调整。

[0153] 这里所使用的透镜 135 和透镜 143 可以包括多个透镜。可选地,这多个透镜可以各自设置有具有相同焦距的镜或者多个镜。此外,尽管在本实施例中,使用透射衍射光栅作为分光单元,但是还可以使用反射衍射光栅或者诸如棱镜等的可以分割波长的元件。

[0154] 第二实施例

[0155] 在第一实施例中,将光纤端 160-1 ~ 160-3 配置在 y 方向上,并且可以通过一个线传感器检测在 y 方向上所观察的三个干涉条纹。相反,在第二实施例中,将光纤端 160-1 ~ 160-3 配置在 x 方向上,并且通过传感器检测在 x 方向上所观察的三个干涉条纹。这里,术语“x 方向”是指与作为分光单元的透射衍射光栅 141 的分光方向垂直的方向。下面将说明本实施例。

[0156] 第二实施例中的 OCT 装置的结构与图 1A 中示出的根据第一实施例的 OCT 装置的结构相同,因而下面将不再说明。

[0157] 这里将详细说明分光部。

[0158] 图 5A 示出合成光 (142-1 ~ 142-3) 入射至 OCT 装置的结构。这里,为了简化,仅示出具有 840nm 波长的主光线。合成光 142-1 ~ 142-3 通过光纤端 160-1 ~ 160-3 出射。类似于第一实施例,预先调整光纤端的方位,从而使得合成光垂直于透镜的主面出射。从主面出射的合成光入射至透镜 135。三个合成光在透镜 135 处成为大致平行的光,并且入射至透射衍射光栅 141。如第一实施例中一样,为了减少光量损失,需要将透射衍射光栅配置在光学系统的光瞳附近,将光阑配置在透射衍射光栅 141 的表面,并且该光阑是椭圆形的。在透射衍射光栅 141 处衍射的合成光入射至透镜 143。入射至透镜 143、并通过透镜 143 衍射的合成光聚光于线传感器阵列 139A,并且成为干涉条纹 161-1 ~ 161-3。也就是说,形成

分光器从而使得光纤端 160-1 ~ 160-3 处的图像成为区域传感器阵列 139A 上的干涉条纹 161-1 ~ 161-3。在线传感器阵列 139A 中,将三个线传感器成行配置在 x 方向上,并且在这三个线传感器上形成干涉条纹。区域传感器阵列 139A 可以是区域传感器。

[0159] 图 5B 示出从透射衍射光栅 141、穿过透镜 143 并延伸到线传感器阵列 139A 的以 XZ 平面切割时的光路。从透射衍射光栅 141 出射的光线穿过透镜 143,并聚光于区域传感器阵列 139A。由于透射衍射光栅 141 是一阶透射衍射光栅 141,所以在以 xz 平面切割光路时,不发生衍射。因此,仅在 y 方向上观察到干涉条纹,并且在 x 方向上观察不到干涉条纹。

[0160] 这里, dx_1 和 dx_3 分别为 1mm 和 -1mm,并且如第一实施例一样,透镜 135 的焦距为 100mm,透镜 143 的焦距为 150mm,所使用的透射衍射光栅 141 的间距为 $p = 1200$ 个图案 / mm,并且使用具有中心波长 840nm 的光源。由于如上所述,在 x 方向上不会发生衍射,所以 Dx_1 和 Dx_3 是通过将光学系统的倍率分别乘以 dx_1 和 dx_3 所获得的距离。倍率为 $-(150/100) = -1.5$ 。也就是说, Dx_1 和 Dx_2 分别为 -1.5mm 和 1.5mm。合成光 142-1、142-2 和 142-3 在 x 方向上的 -1.5mm、0mm 和 1.5mm 处聚光。

[0161] 下面将说明干涉条纹 161-2 和 161-1 之间的串扰和干涉条纹 161-2 和 161-3 之间的串扰。由于如上所述,在 xz 平面上不会发生衍射,所以在 x 方向上观察不到干涉条纹。因此,根据干涉条纹 161-1 ~ 161-3 的斑直径来确定干涉条纹 161-2 和 161-1 之间的串扰和干涉条纹 161-2 和 161-3 之间的串扰。尽管依赖于光学系统的像差,但如果使用上述光学系统,则区域传感器阵列 139A 上的斑直径约在 10um 以上到数十 um。考虑强度为 $1/e^2$ 的宽度为 10um 以上的斑形状,强度成为 10^{-4} 的位置处是分开约 100um 的位置。因此,聚光于线传感器阵列 139A 上的 -1.5mm、0mm 和 1.5mm 的位置的干涉条纹与强度成为 10^{-4} 时的 100um 相比更加远离。因此,串扰小于或等于通过公式 (8) 所获得的串扰。因此,在本实施例中,满足公式 (8) 的条件如下:

$$[0162] \quad dx \times \beta > 0.1 \text{ mm} \quad (16)$$

[0163] 尽管在本实施例中,将光纤端 160-1 ~ 160-3 配置在 x 方向上,但是可以将它们从 x 方向转动成 y 方向并进行配置。如果从 x 方向开始的转动角为 Φ ,则在计算出光纤端的 x 成分时,关系变得与上述的关系相同。因此,如果公式 (17) 成立,则可以获得相同效果:

[0164]

$$dx \times \cos\phi \times \beta > 0.1 \text{ mm} \quad (17)$$

[0165] 如果合成光 161-1 ~ 161-3 的聚光位置在线传感器阵列 139A 上相互过度分开,则斑直径增大,或者由于光学像差而发生失真。这降低了线传感器阵列的光接收效率,并且降低了图像质量。

[0166] 光学像差在光靠近透镜 143 的中心穿过时较小,并且在光更靠近透镜 143 的外侧穿过时更大。如果比较线传感器阵列 139A 上的光学像差,则光学像差随着与中心(合成光的波长 840nm 的聚光位置(161-2))的距离变大而变大。因此,距离 Dx_1 和 Dx_3 需要为线传感器阵列 139A 的分光宽度的量级。也就是说,使用公式 (10),需要满足下面的关系或公式 (18):

[0167] [数学公式 7]

$$[0168] \quad dx \times \beta <$$

[0169]

$$\frac{\left[-f2 \tan \left(-\sin^{-1} \left(\frac{p\Lambda}{2} - p\lambda_{\max} \right) + \sin^{-1} \left(\frac{p\Lambda}{2} \right) \right) \right] - \left[-f2 \tan \left(-\sin^{-1} \left(\frac{p\Lambda}{2} - p\lambda_{\min} \right) + \sin^{-1} \left(\frac{p\Lambda}{2} \right) \right) \right]}{2} \quad (18)$$

[0170] 如果从 x 方向开始向 y 方向转动光纤端 160-1 ~ 160-3 转动角 ϕ , 则左侧变成 $dx \times \cos \phi \times \beta$:

[0171] [数学公式 8]

[0172] $dx \times \cos \phi \times \beta <$

[0173]

$$\frac{\left[-f2 \tan \left(-\sin^{-1} \left(\frac{p\Lambda}{2} - p\lambda_{\max} \right) + \sin^{-1} \left(\frac{p\Lambda}{2} \right) \right) \right] - \left[-f2 \tan \left(-\sin^{-1} \left(\frac{p\Lambda}{2} - p\lambda_{\min} \right) + \sin^{-1} \left(\frac{p\Lambda}{2} \right) \right) \right]}{2} \quad (19)$$

[0174] 通过满足公式 (16) 和 (18) 以及公式 (17) 和 (19), 可以在将串扰大致降低至 0 的同时最小化光学像差。

[0175] 第三实施例

[0176] 在第一和第二实施例中, 设置三个分开的光路, 测量光 106-1 ~ 106-3 聚光于视网膜上的任意位置, 并且利用一个线传感器检测三个干涉条纹。相反, 在第三实施例中, 设置 9 个分开的光路, 测量光聚光于视网膜上的任意位置, 并且利用包括多个线的一个线传感器检测 9 个干涉条纹。

[0177] 第三实施例中的分光器的结构是这样的: 以 9 个光路取代根据第一实施例的图 1A 中所示的 3 个光路。其它基本构件相同, 并且下面将不进行说明。

[0178] 这里将详细说明分光部。

[0179] 图 6 示出 9 个合成光 (142-1 ~ 142-9) 入射至 OCT 装置的结构。这里, 为了简化, 未示出光线。当通过 yz 平面切割光路时, 图 6 中的结构实际上是与图 1B 中的结构相同的结构。当通过 xz 平面切割时, 从透射衍射光栅 141、穿过透镜 143 并延伸至线传感器阵列 139A 的光路具有与图 5B 中的结构相同的结构。合成光 142-1 ~ 142-9 通过光纤端 160-1 ~ 160-9 出射。与第一和第二实施例相同, 预先调整光纤端的方位, 从而使得合成光垂直于透镜的主面出射。从该主面出射的合成光入射至透镜 135。9 个合成光在透镜 135 处成为大致平行的光, 并且入射至透射衍射光栅 141。如第一和第二实施例一样, 为了减少光量损失, 需要将透射衍射光栅 141 配置在光学系统的光瞳附近, 将光阑配置在透射衍射光栅 141 的表面, 并且光阑是椭圆形的。在透射衍射光栅 141 处衍射的合成光入射至透镜 143。入射至透镜 143 并通过透镜 143 衍射的合成光聚光于线传感器阵列 139A, 并且成为干涉条纹 161-1 ~ 161-9。也就是说, 形成分光器以使得光纤端 160-1 ~ 160-9 处的图像成为区域传感器阵列 139A 上的干涉条纹 161-1 ~ 161-9。在线传感器阵列 139A 中, 在 x 方向上行配置三个线传感器, 并且在这三个线传感器上各自形成三个干涉条纹 (也就是说, 形成总共 9 个干涉条纹)。区域传感器阵列 139A 可以是区域传感器。

[0180] 图 7A 示出光纤端 160-1 ~ 160-9 的结构。如图 7A 所示配置光纤端 160-1 ~ 160-9, 以使得在 y 方向上分开距离 dy1 和 dy3, 并且在 x 方向上分开距离 dx4 和 dx7。

[0181] 图 7B 示出线传感器阵列 139A 上所聚光的干涉条纹。黑色部分对应于干涉条纹 161-1 ~ 161-9。利用图 7A 中的光纤端 160-1 ~ 160-9 聚光于干涉条纹 161-1 ~ 161-9。

成行配置干涉条纹 161-1 ~ 161-9 以使其在 y 方向上分开距离 Dy1 和 Dy3、并且在 x 方向上分开距离 Dx4 和 Dx7。

[0182] 如上所述,当在 yz 平面上切割根据本实施例的光路时,该结构实际上与第一实施例的图 1B 中的结构相同的结构。当通过 xz 平面切割时,从透射衍射光栅 141、穿过透镜 143 并延伸至线传感器阵列 139A 的光路与图 5B 中的相同。

[0183] 这里,如果如第一实施例一样,dy1 和 dy3 分别为 12mm 和 -12mm,透镜 135 的焦距为 100mm,透镜 143 的焦距为 150mm,所使用的透射衍射光栅的间距为 $p = 1200$ 个图案/mm,并且使用具有中心波长 840nm 的光源,那么 Dy1 和 Dy3 分别成为 -16.81 和 19.38mm,与第一实施例中的 D1 和 D3 相同。也就是说,合成光 142-1、142-4 和 142-7、合成光 142-2、142-5 和 142-8、以及合成光 142-3、142-6 和 142-9 中具有波长 840nm 的光在 y 方向上聚光于线传感器阵列 139A 上的位置 -16.89mm、0mm 和 19.38mm。以相同的方式,对于合成光 142-1 ~ 142-9 的波长的线传感器阵列 139A 上的聚光位置,针对波长可以获得公式 (3) 中的 Λ 。这些与第一实施例中相同。表 3 中示出最大波长 865nm、最小波长 815nm 和中心波长 840nm 的聚光位置。甚至串扰之间的关系也与第一实施例中的关系相同,从而使它们满足公式 (8)。

[0184] [表 3]

[0185]

合成光	波长[nm]	线照相机上的位置(y 方向)[mm]
142-1, 4, 7	815	-21.78
	840	-16.81
	865	-11.80
142-2, 5, 8	815	-5.16
	840	0.00
	865	5.27
142-3, 6, 9	815	13.71
	840	19.38
	865	25.27

[0186] 如果如第二实施例一样,dx4 和 dx7 分别是 1mm 和 -1mm,则 Dx4 和 Dx7 分别成为 1.5mm 和 -1.5mm。因此,合成光 142-1、142-2 和 142-3、合成光 142-4、142-5 和 142-6、以及合成光 142-7、142-8 和 142-9 聚光于 x 方向上的位置 0mm、1.5mm 和 -1.5mm。由于与斑直径相比,聚光位置相互充分分开,并且关系与第二实施例中的关系相同,所以串扰满足公式 (8)。

[0187] 在本实施例中,光纤端 160-1 ~ 160-9 之间在 x 方向上的距离小于光纤端 160-1 ~ 160-9 之间在 y 方向上的距离。这与透射衍射光栅 141 的衍射方向有关。在本实施例中,由于使用在 y 方向上衍射光、并且不在 x 方向上衍射光的透射衍射光栅 141,所以在区域传感器阵列 139A 上的 y 方向上观察到干涉条纹。因此,如第一实施例所述,如果考虑串扰,则

光纤端必须相互分开特定距离。相反,在 x 方向上,如第二实施例所述,由于观察不到干涉条纹,所以根据斑直径确定串扰,从而使得没有必要使光纤端分开如 y 方向上的距离一样大的距离。由于斑直径约为 10 μ m 以上到数十 μ m,所以,如果在区域传感器阵列 139A 上在 x 方向上的距离是 1.5mm,则令人满意地防止串扰发生,并且即使在 x 方向上也满足公式 (8)。因此,在本实施例中,光纤端 160-1 ~ 160-9 之间在 x 方向上的距离小于在 y 方向上的距离,因此减小了装置的大小。

[0188] 第四实施例

[0189] 第四实施例与第一实施例的不同在于,设置可以随时调整光纤端之间的距离、即图 3A 中的 d1 和 d3 的机构。这使得可以通过随着时间而改变例如包括光纤端的光学结构来校正线传感器上的干涉光束的任何移位。因此,即使随着时间发生了改变,也不会发生串扰。将不说明与第一实施例中的组件相同的组件。

[0190] 将参考图 8A 和 8B 说明具体的光纤端调整机构。

[0191] 附图标记 1000 表示光纤端单元部。

[0192] 附图标记 1003-1 ~ 1003-3 表示与光学耦合器 131-1 ~ 131-3 的分割部连接的光纤。光纤 1003-1 ~ 1003-3 是由例如石英形成中心构件的光纤。将光纤 1003-1 ~ 1003-3 的光纤端 160-1 侧、光纤端 160-2 侧和光纤端 160-3 侧抛光并将其分别固定至保持部 1001-1 ~ 1001-3。此外,将保持部 1001-1 ~ 1001-3 粘接并固定至包括用于进行调整的引导部的光纤基底部 1002-1 ~ 1002-3。

[0193] 利用例如螺钉(未示出)将中心光纤基底部 1002-2 固定至基底 1010。当通过相对于图 1B 中示出的透镜 135 移动光学位置(x, y)和聚光位置(z)来调整基底 1010 时,基底 1010 相对于中心光纤端 160-2 处于最佳位置。

[0194] 图 8A 中的上光纤部 1002-1 和下光纤部 1002-3 可相对于中心光纤基底部 1002-2 在光纤距离方向(y 方向)上移动。将以上光纤基底部 1002-1 作为例子,对于被固定至 y 引导构件 1008-1 的插脚 1005-1 和 1005-2,设置在光纤基底部 1002-1 中插入插脚 1005-1 和 1005-2 的引导部,并且在 y 方向上可移动地保持该引导部。另外,在光纤基底部 1002-1 和 1002-2 之间设置弹簧 1006-1。这样,在箭头的方向(y 方向或按压方向)上按压光纤基底部 1002-1。y 引导构件 1008-1 设置有螺纹孔,并且设置有调节螺钉 1004-1。调节螺钉 1004-1 接触光纤基底部 1002-1,并且位于光纤基底部 1002-1 的 y 方向上。通过转动调节螺钉 1004-1,可以在箭头的方向(移动方向)上改变光纤基底部 1002-1 和 1002-2 之间的距离,结果,可以调整作为光纤端 160-1 和 160-2 之间的距离的 d1。同样,通过向光纤基底部 1002-3 设置相同结构,可以调整 d3。通过这类机构,在组装装置时,可以初始调整 d1 和 d3。

[0195] 在调整该图中的 d1 和 d3 时,进行下面的过程。

[0196] 使用图 1A 中示出的计算机 125,输出表示在线传感器 139 处所获得的干涉光的强度的分布的图像。将输出的图像显示在监视器(未示出)上。图 9A ~ 9C 示出示例性输出图像。通过将干涉光 142-1 ~ 142-3 的强度相加,产生所显示的干涉光的强度的分布。以实线表示通过干涉光 142-1 ~ 142-3 的强度相加而产生的强度分布,并且以虚线表示单个干涉光各自的强度的分布。与强度分布一起,还示出根据串扰量 Q 的阈值所确定的串扰部的强度的基准线。各基准线表示 $I_{\max} \times 10^{-4} \times 2$ 的值,即阈值 $I_{\max} \times 10^{-4}$ 的和,其中,对于干

涉光 142-1 和 142-2, 该阈值通过公式 (8) 确定串扰量。

[0197] 图 9A 示出由随时间的变化引起 d_1 小的例子。如果发生最大串扰的像素处的干涉光 142-1 和 142-2 的强度的和超过基准线, 则转动 (对于右旋螺钉向左侧转动) 调节螺钉 1004-1 以增大 d_1 , 从而移动干涉光 142-1 和 142-2 以使其在线传感器 139 上相互远离。另外, 将它们显示在基准线下方。

[0198] 相反, 如果如图 9B 所示, d_1 随着时间的变化而增大, 则干涉光 142-1 延伸超出线传感器 139。在这种情况下, 转动 (对于右旋螺钉向右侧转动) 调节螺钉 1004-1 以减小 d_1 , 从而移动干涉光 142-1 和 142-2 以使其在线传感器 139 上相互靠近。转动调节螺钉 1004-1, 直到可以通过线传感器 139 接收全部干涉光 142-1 为止。

[0199] 说明了下面的情况: 如第一实施例一样, 由于干涉光 142-2 和 142-1 之间的串扰而产生最大串扰量, 并且干涉光 142-2 的强度高。然而, 即使对于其它情况也可以利用上述方法进行调节。

[0200] 尽管参考串扰量 Q 进行调整, 但是, 通过显示各个干涉光的断层图像, 可以基于图 2C 中示出的断层图像判断是否发生了串扰。如果发生了串扰, 则将图像显示为具有不同于实际图像的信息的信息。在这种情况下, 利用调节螺钉在 d_1 和 d_3 增大的方向上调整它们。

[0201] 形成根据本实施例的光纤调整机构, 从而使得如图 8B 所示, 可以在 x 方向上相对于光纤端 160-2 调整光纤端 160-1 和 160-3 的相对位置。将说明光纤端 160-3 的一侧。相对于被固定至基底 1010 的插脚 1005-7 和 1005-8, 设置在 y 引导构件 1008-2 中插入插脚 1005-7 和 1005-8 的引导部, 并且在 x 方向上可移动地保持该引导部。这样, 在箭头的方向 (x 方向或按压方向) 上按压 y 引导构件 1008-2。基底 1010 设置有螺纹孔, 并且设置有调节螺钉 1004-4。调节螺钉 1004-4 接触 y 引导构件 1008-2 以定位 y 引导构件 1008-2。通过转动调节螺钉 1004-4, 可以改变 y 引导构件 1008-2 和基底 1010 之间的距离, 结果, 可以调整光纤端 160-2 和 160-3 在 x 方向上的相对位置。同样, 通过向光纤端 160-1 一侧设置相同结构, 同样可以调整光纤端 160-1 和 160-2 在 x 方向上的相对位置。如利用用于调整 d_1 和 d_3 的机构那样, 通过这一机构, 在组装装置时, 可以进行 x 方向上的初始调整。

[0202] 通过设置用于进行 x 方向上调整的调整机构, 可以调整光纤端 160-1 ~ 160-3 的直度。图 9C 示出干涉光 142-2 的强度随着时间改变的情况。干涉光 142-3 的强度是小于初始状态 (以长短交替的虚线示出) 的值的值。根据由光纤端 160-1 和 160-2 所形成的直线, 仅光纤端 160-3 的线在 x 方向上移位。对于 d_1 和 d_3 的调整, 可以在监视器 (未示出) 上显示干涉光的强度的分布, 利用调节螺钉 1004-4 转动光纤端 160-3, 并且调整强度以使其接近初始状态的强度。

[0203] 可以利用马达进行上述的用于调整 x 方向和 y 方向的调节螺钉 1004 的转动。图 10A 示出框图。附图标记 1004-1 ~ 1004-4 表示调节螺钉。附图标记 1012-1 ~ 1012-4 表示与调节螺钉 1004-1 ~ 1004-5 机械连接的马达。附图标记 1013 表示马达控制部。附图标记 125 表示计算机。附图标记 1015 表示显示部。通过在显示部 1015 上显示干涉光的强度的分布、并且利用例如用于在显示部 1015 上进行显示操作的按钮或设置在马达控制部 1013 处的操纵杆 (未示出) 来控制马达, 可以转动调节螺钉 1004-1 ~ 1004-4 来调整光纤端 160-1 和 160-3。

[0204] 此外, 可以进行自动调整。图 10B 示出流程图。在该流程图中, 作为例子说明用于

调整 d1 的过程。

[0205] 在步骤 S001, 开始调整。

[0206] 在步骤 S002, 将在线传感器 139 上所生成并观察到的串扰评价像素的强度与上述基准线值 $2 \times I_{\max} \times 10^{-4}$ 进行比较。串扰评价像素是第一实施例中生成上述最大串扰的、合成光 142-2 中具有波长 781nm 的光在初始状态下所位于的像素。如图 9A 所示, 当该像素的强度大于或等于基准线值时, 处理进入步骤 S004。如果小于基准线值, 则处理进入步骤 S003。

[0207] 在步骤 S004, 在 CW 方向上转动用于调整 d1 的马达 1012-1。这里, 将马达 1012-1 的转动的 CW 方向定义为 d1 增大的方向, 并且马达是 DC 马达。马达运动一定时间 (基准时间), 其中, 在该时间中, 光纤端 160-1 移动小的步阶 (例如 $2 \mu\text{m}$ 的量级) 以进行调整。此后, 处理进入步骤 S002 以再次比较强度和基准线值。

[0208] 在步骤 S003, 将干涉光 142-1 一侧的线传感器端部像素的强度的值与相同强度的初始状态值进行比较。如果强度值大于初始状态值, 则处理进入步骤 S005, 然而, 如果强度值小于或等于初始状态值, 则处理进入步骤 S006。

[0209] 在步骤 S005, 在 CCW 方向上转动用于调整 d1 的马达 1012-1。这里, 将马达 1012-1 的转动的 CCW 方向定义为 d1 减小的方向。马达运动一定时间 (基准时间), 其中, 在该时间中, 光纤端 160-1 移动小的步阶 (例如 $2 \mu\text{m}$ 的量级) 以进行调整。此后, 处理进入步骤 S002 以再次比较强度和基准线值。

[0210] 在步骤 S006, 结束调整。

[0211] 可以分开设置用于测量从步骤 S001 开始的调整时间的计时器, 以在位置调整需要太长时间时显示错误。

[0212] 该流程图仅示出调整 d1 的情况。对于调整 d3 可以使用相同流程图。还可以通过将线传感器上的各干涉光区域的最大强度与初始状态值进行比较来进行 x 方向上的自动调整。

[0213] 如上所述, 在本实施例中, 通过设置可以调整光纤端距离 d1 和 d3 的机构, 即使发生随着时间的变化, 也可以防止发生串扰。这里, 说明了作为第一实施例的变形例设置调整机构的例子。然而, 通过向根据第二实施例的结构或向根据第三实施例的结构设置光纤端调整机构, 可以获得相同效果。

[0214] 其它实施例

[0215] 本发明不局限于这些实施例中所述的特定结构的细节。因此, 明显地, 在不脱离本发明范围的范围内, 可以修改一些结构要求。

[0216] 例如, 尽管在第三实施例中, 将分光器配置成在 y 方向上对三个合成光分光、在 x 方向上对三个合成光分光、并且在 y 方向和 x 方向上对三个合成光分光, 但是可以使用任何数量的合成光。如果使用奇数个合成光, 则希望如第一~第三实施例一样, 将光中的一个配置成与光轴对齐。然而, 本发明不局限于此。如果使用偶数个合成光, 则可以使得光学像差的影响、分光效率和分光角相同, 因而希望合成光关于光轴对称。

[0217] 尽管在上述各实施例中, 分光结构是将分光器的多个光纤端 160 配置在 y 方向和 x 方向上的分光结构, 但是分光结构可以是光纤端 160 相对于轴倾斜的分光结构。特别地, 使它们向 x 方向倾斜是有效的。如果线传感器阵列 139A 中的线传感器之间的距离变小, 并

且不能将光纤端缩短成根据倍率所规定的距离,则以通过倾斜光纤端来实质缩短 X 成分的方式形成这些光纤端。

[0218] 如上所述,根据这些实施例,可以进行高速测量并且减小装置的大小。另外,通过形成该装置以使得在线传感器上不会发生串扰,与进行单个测量时的检查对象的断层图像相比,可以拍摄抑制了图像质量劣化的断层图像。此外,可以使得线传感器上的合成光相互靠近直至由线传感器上的串扰所导致的断层图像的噪声不明显的水平。

[0219] 其它实施例

[0220] 还可以利用读出并执行记录在存储器装置上的程序以进行上述实施例的功能的系统或设备的计算机(或者 CPU 或 MPU 等装置)和通过下面的方法实现本发明的各方面,其中,利用系统或设备的计算机通过例如读出并执行记录在存储器装置上的程序以进行上述实施例的功能来进行上述方法的各步骤。为此,例如,通过网络或者通过用作存储器装置的各种类型的记录介质(例如,计算机可读介质)将该程序提供给计算机。

[0221] 尽管参考典型实施例说明了本发明,但是应该理解,本发明不局限于所公开的典型实施例。所附权利要求书的范围符合最宽的解释,以包含所有这类修改、等同结构和功能。

[0222] 本申请要求 2009 年 5 月 22 日提交的日本 2009-124274 号专利申请和 2010 年 3 月 31 日提交的日本 2010-082803 号专利申请的优先权,其全部内容通过引用包含于此。

100

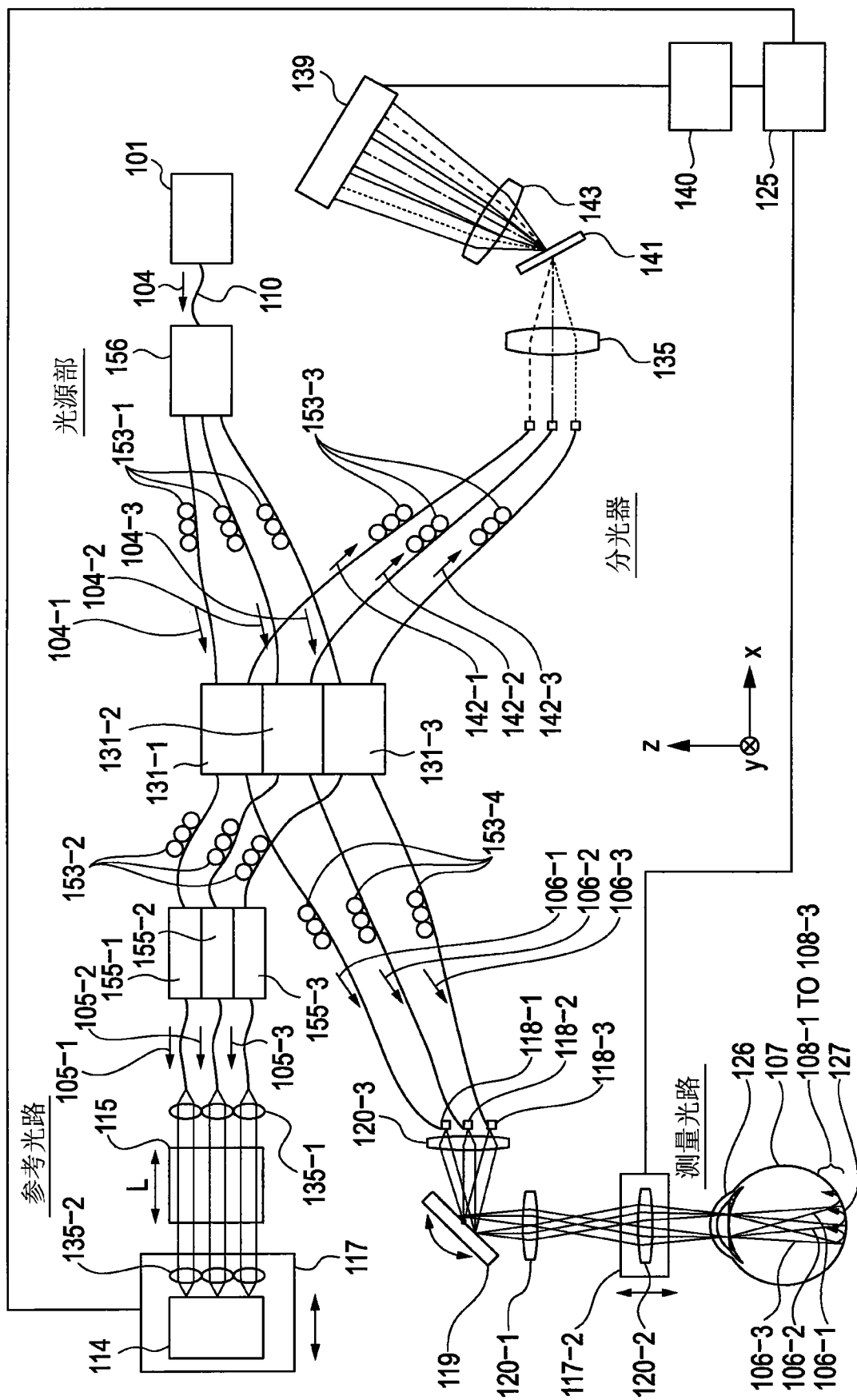


图 1A

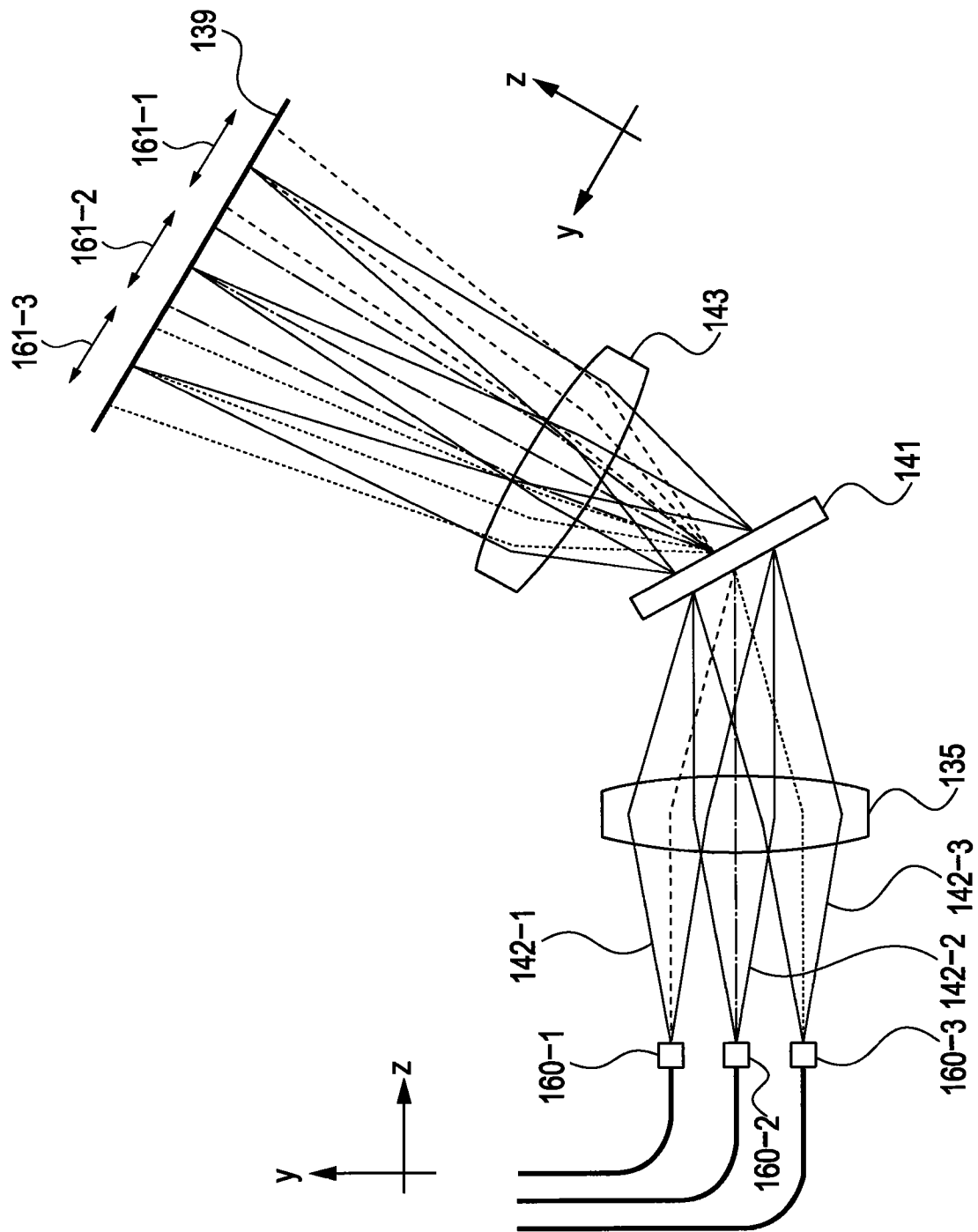


图 1B

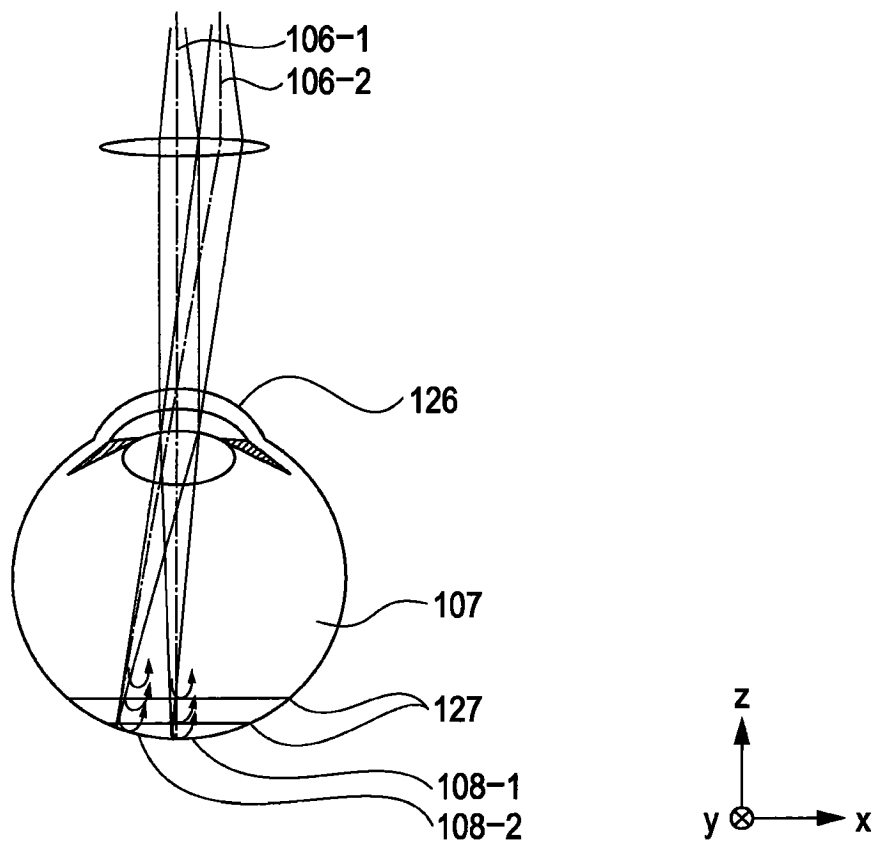


图 2A

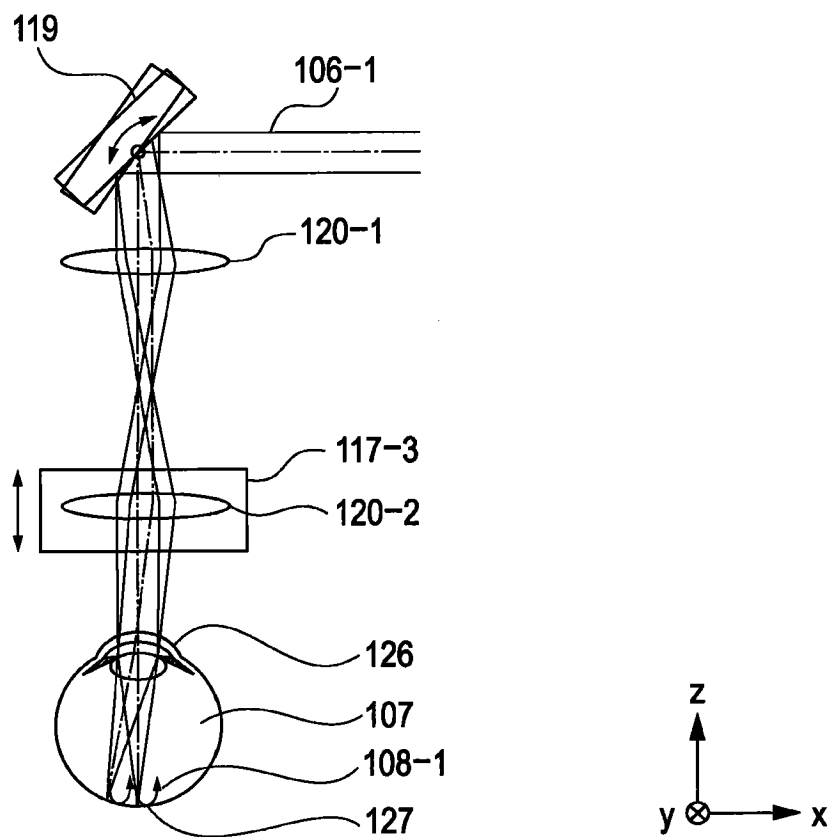


图 2B

132

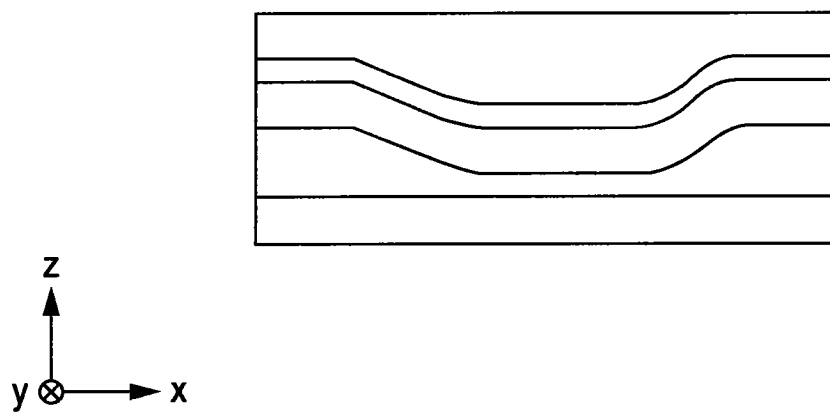


图 2C

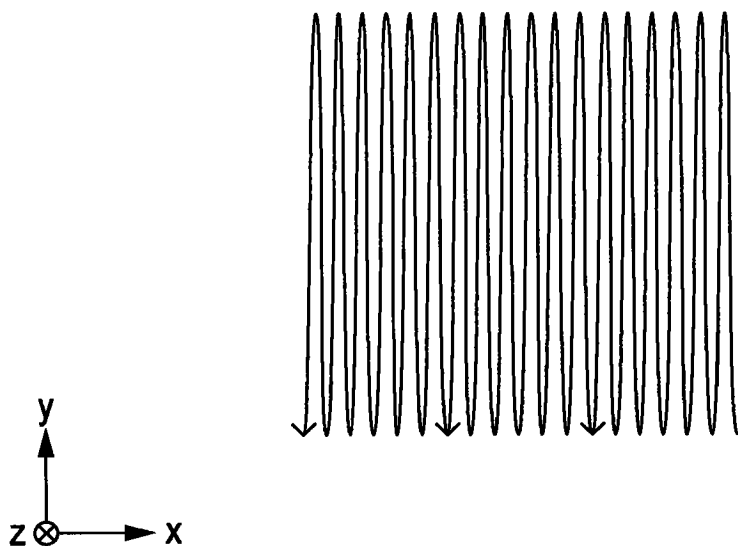


图 2D

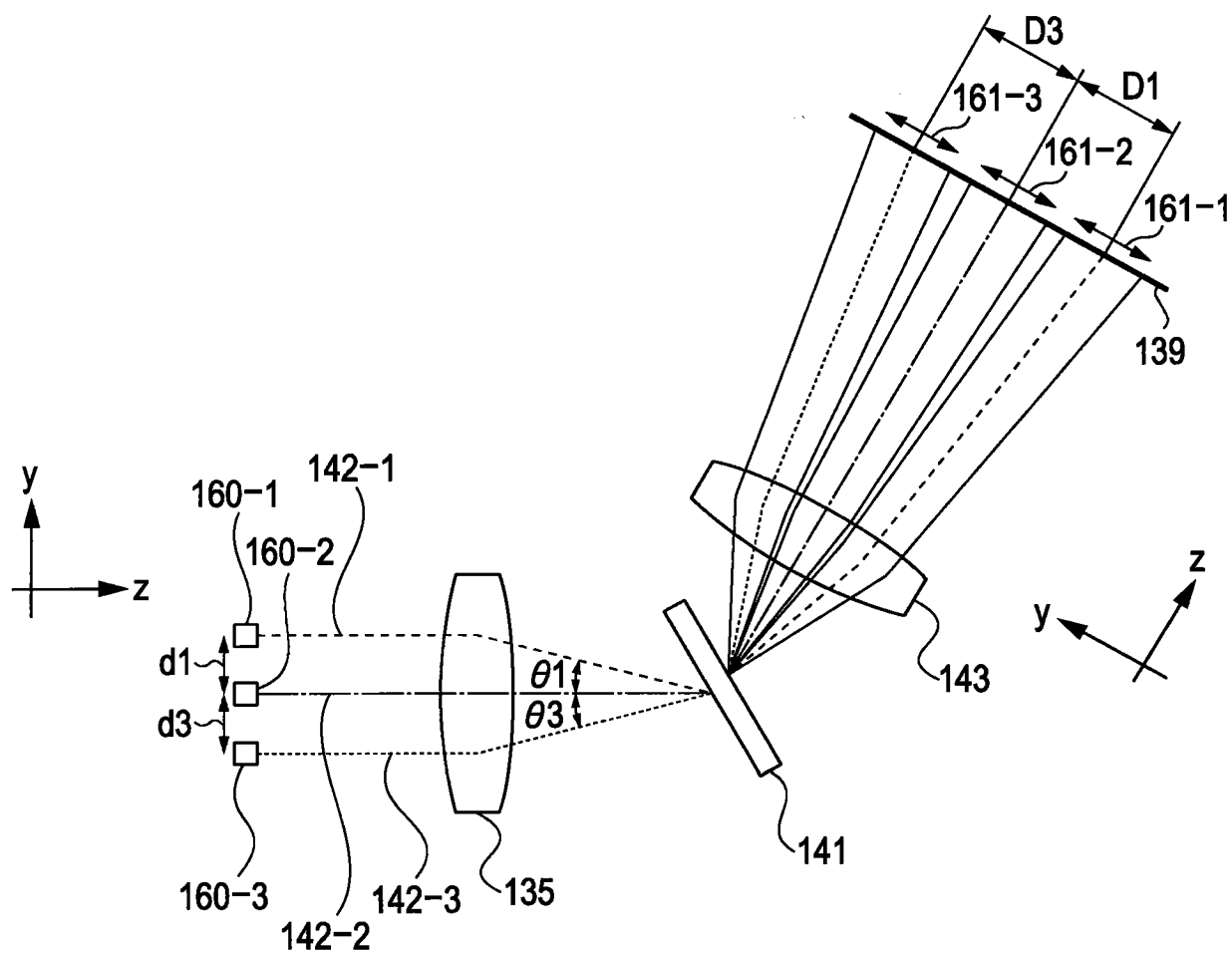


图 3A

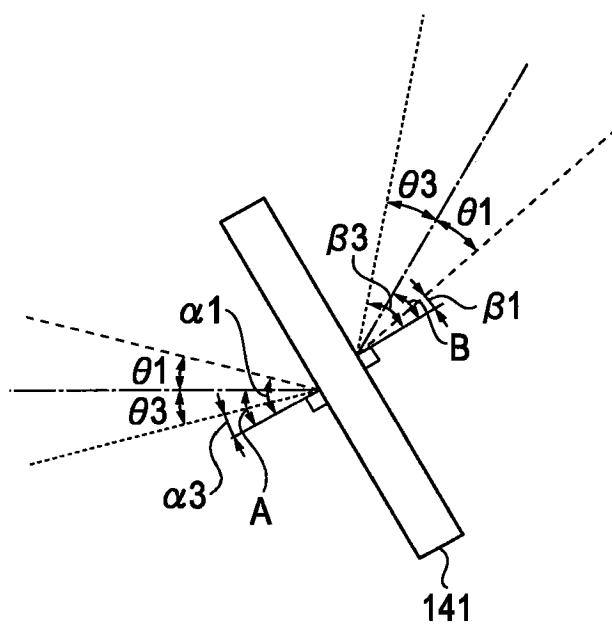


图 3B

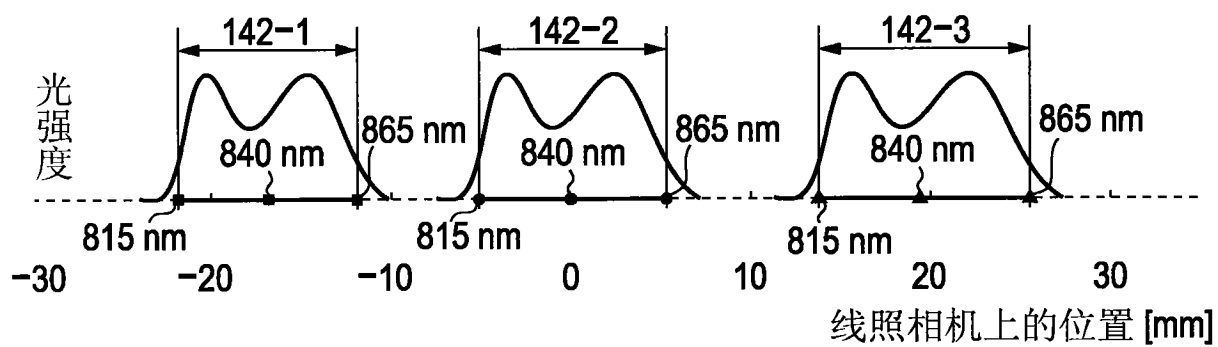


图 4A

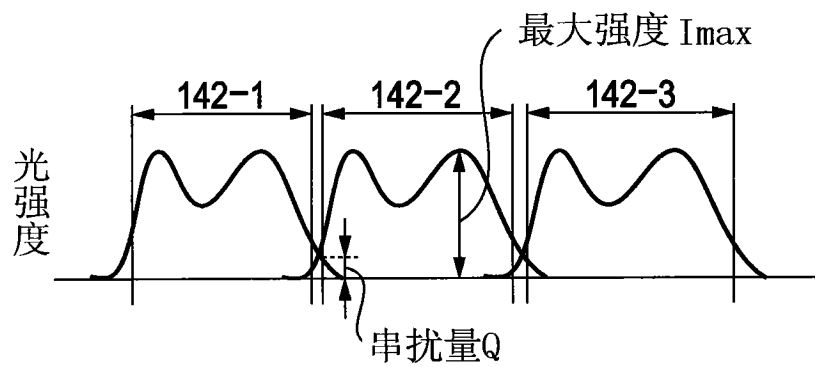


图 4B

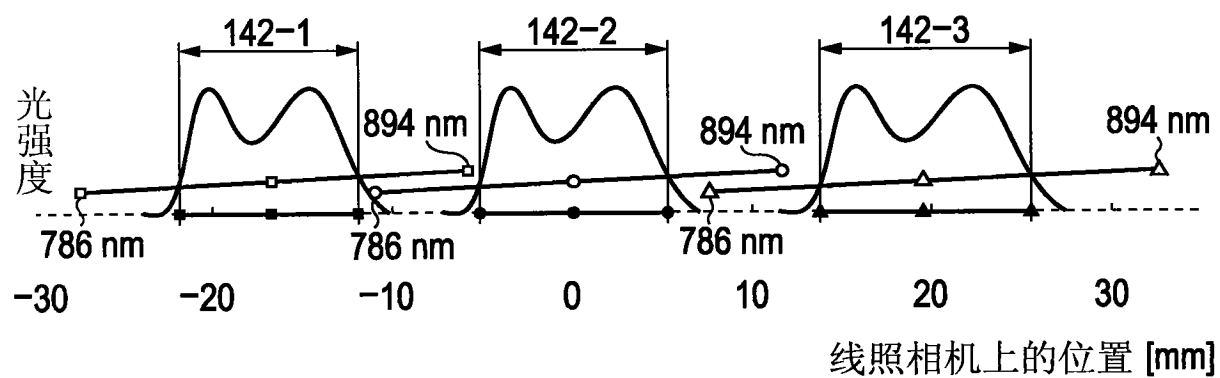


图 4C

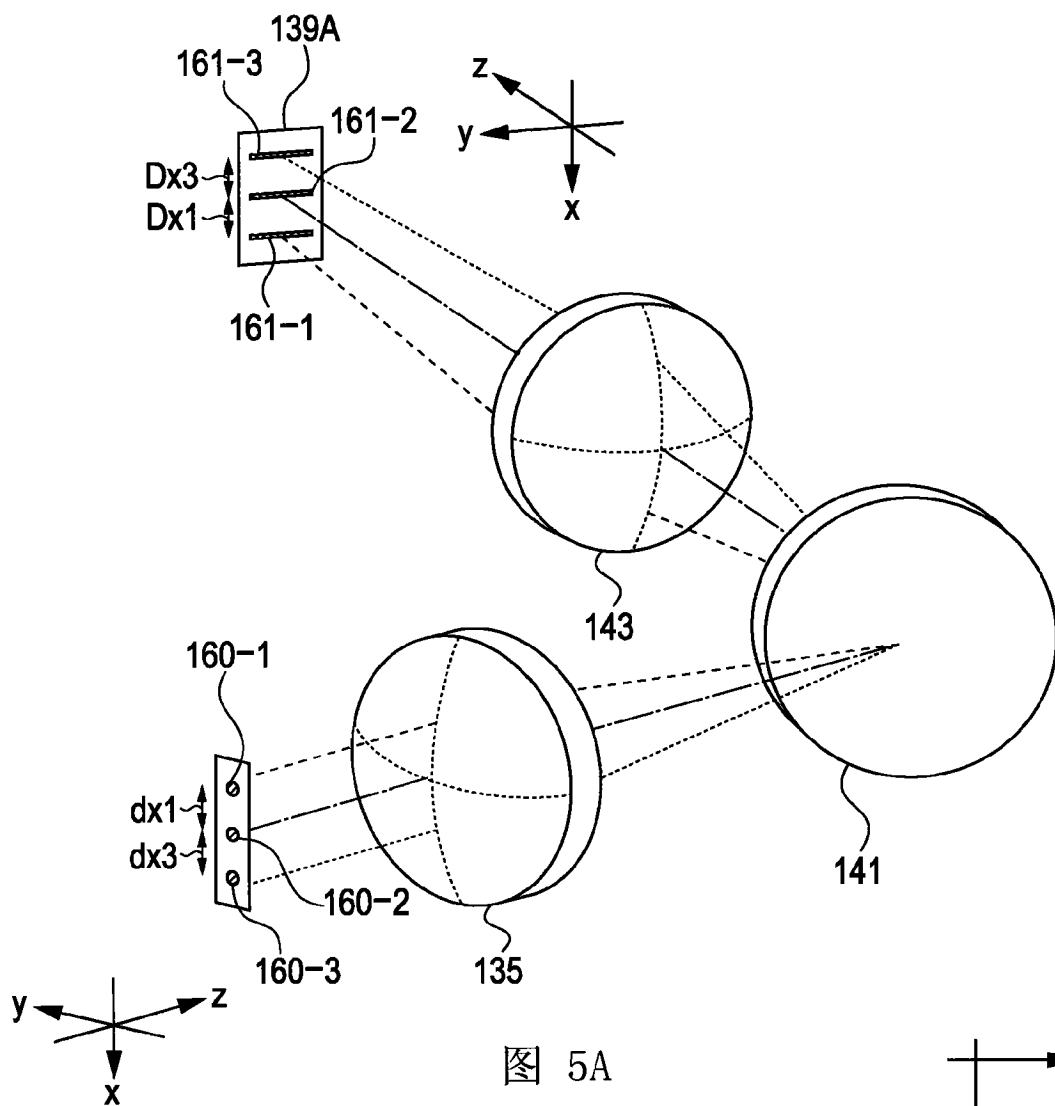


图 5A

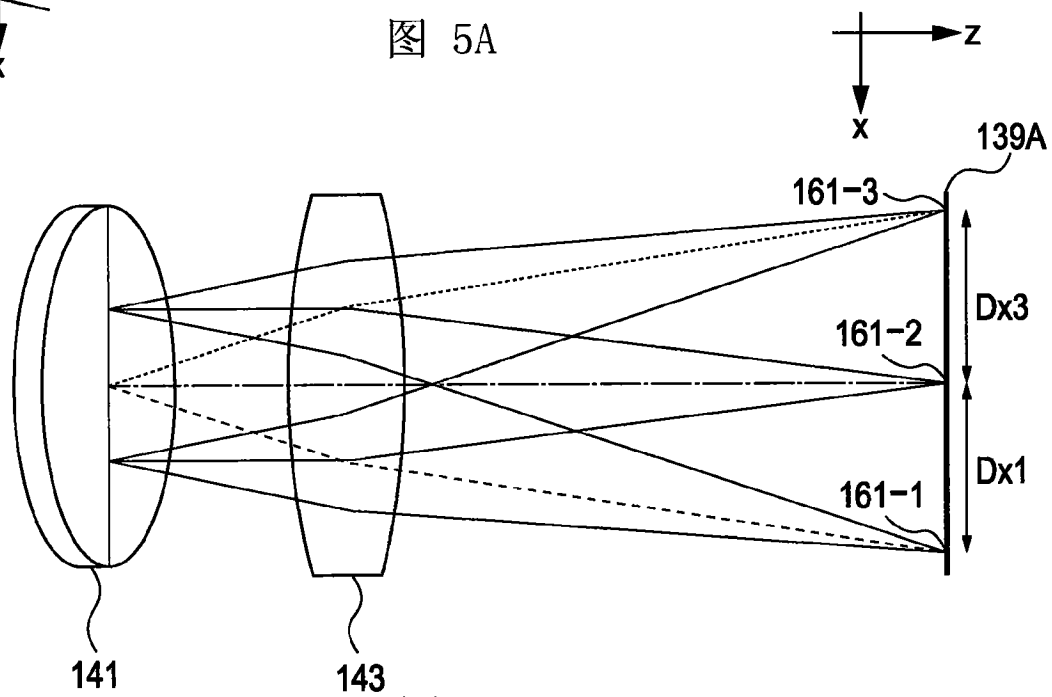


图 5B

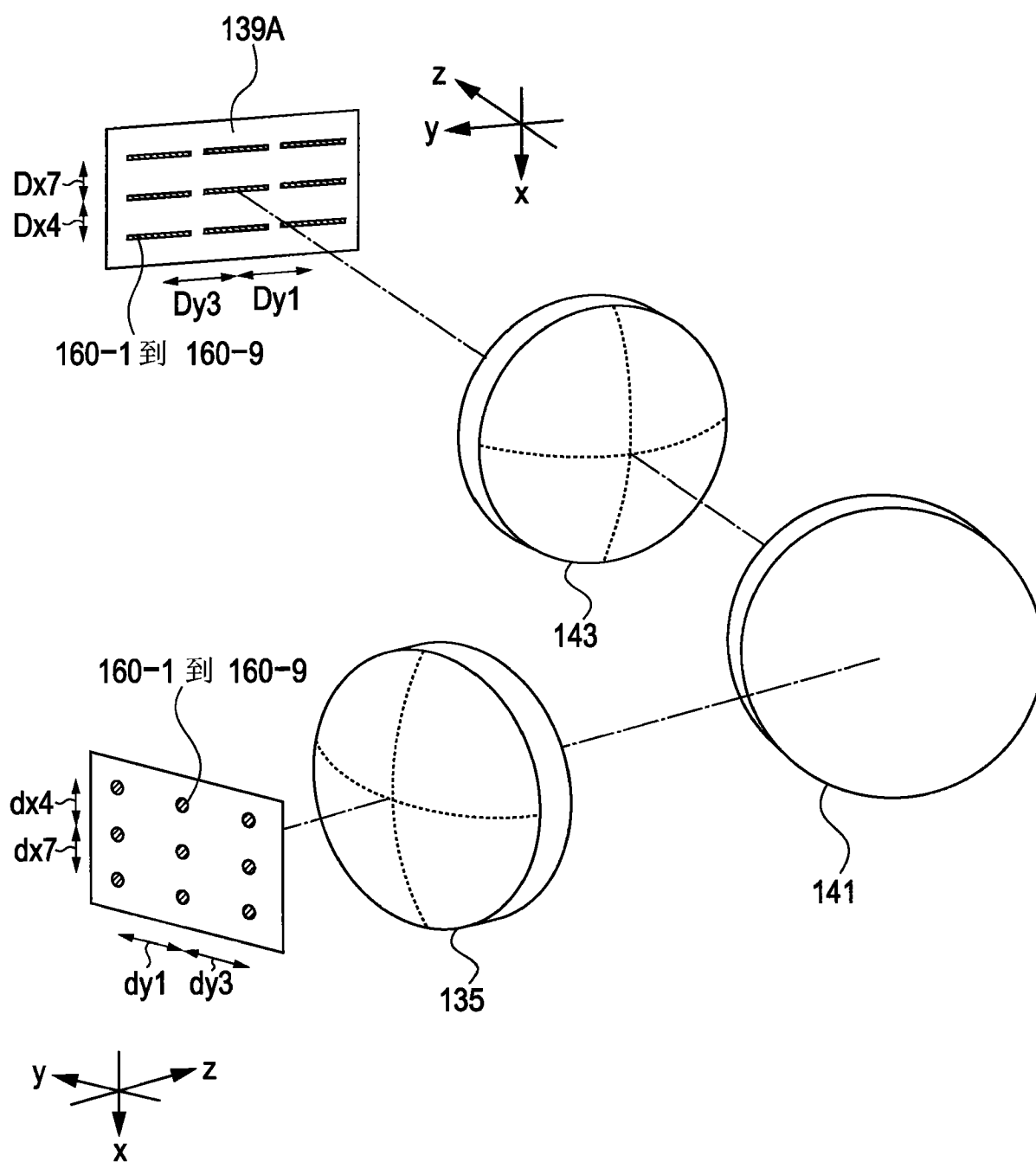


图 6

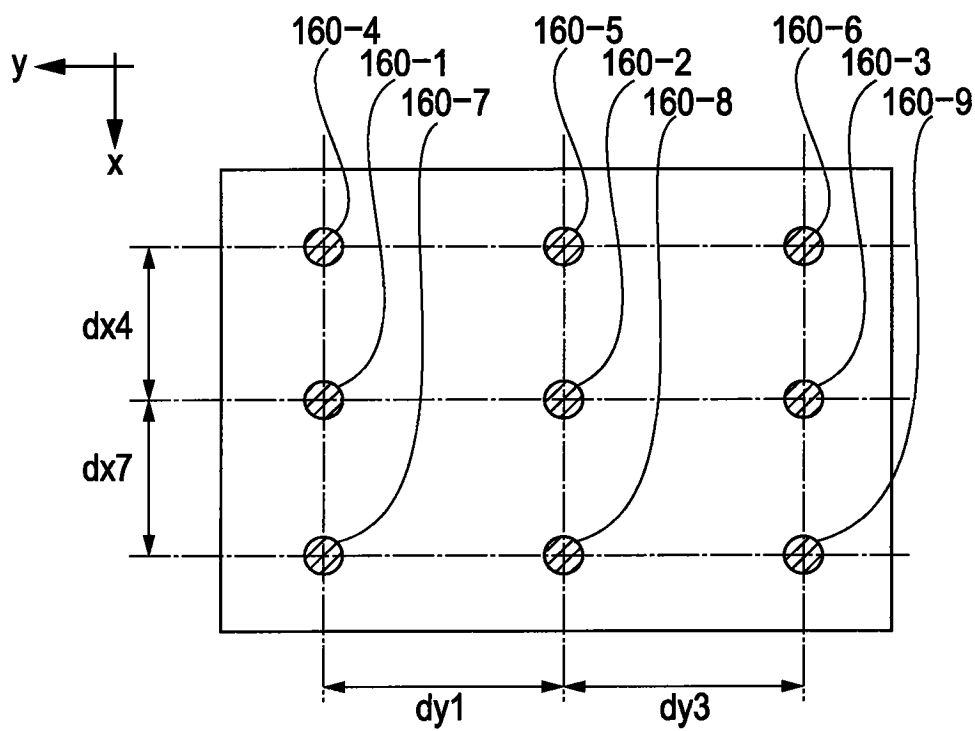


图 7A

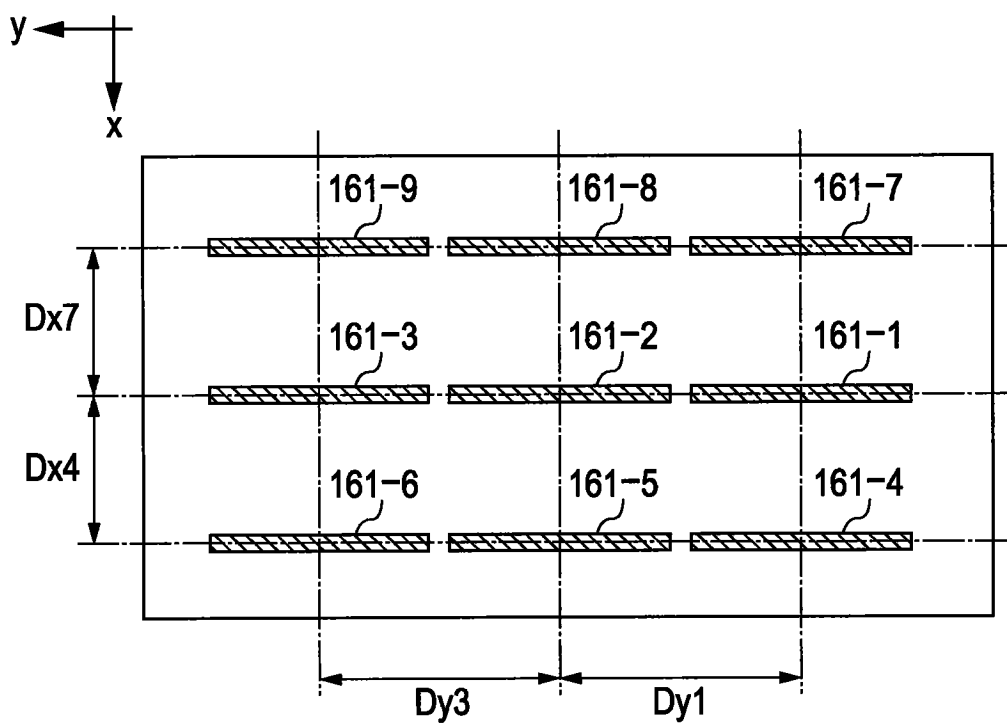


图 7B

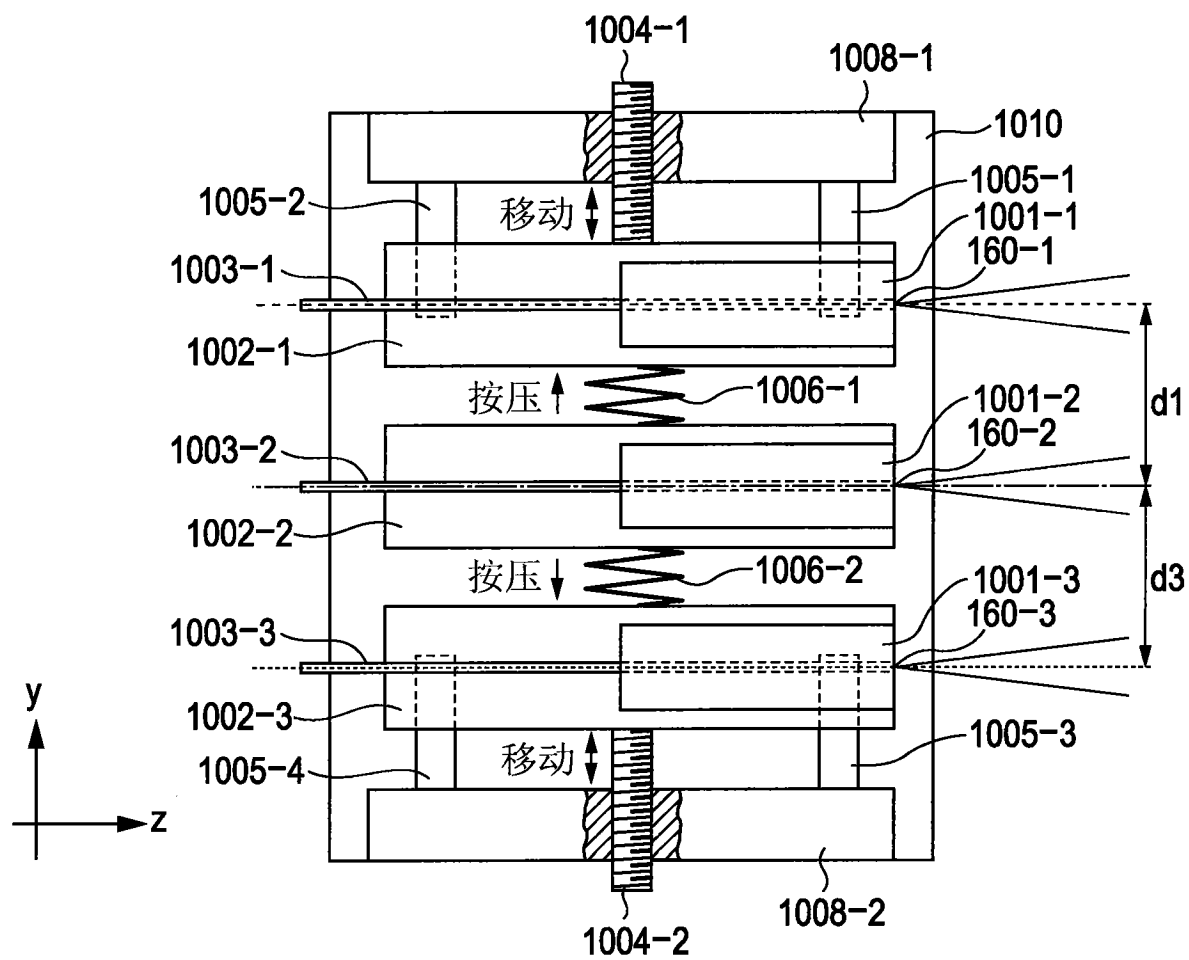


图 8A

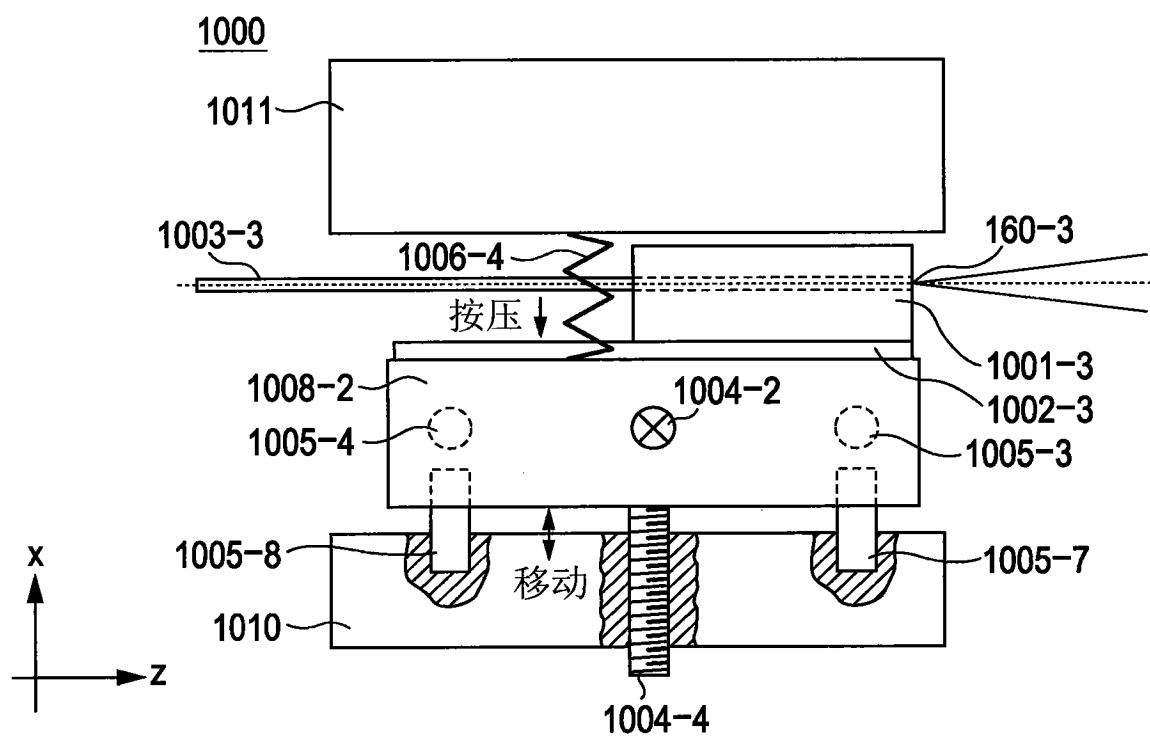


图 8B

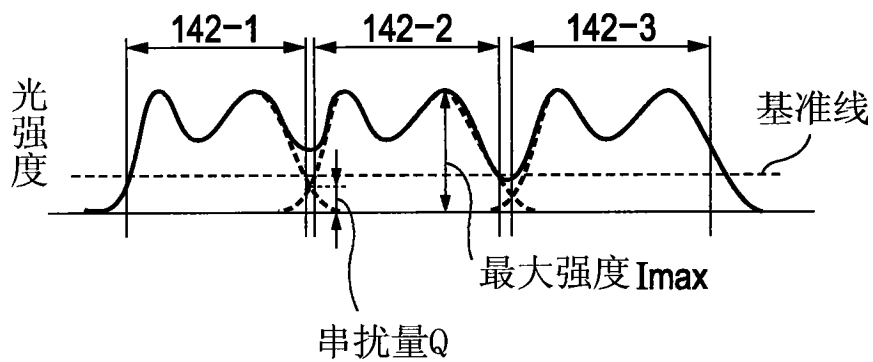


图 9A

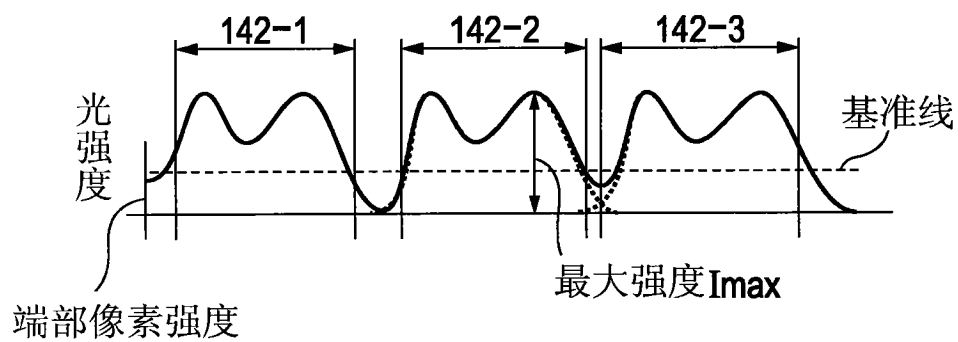


图 9B

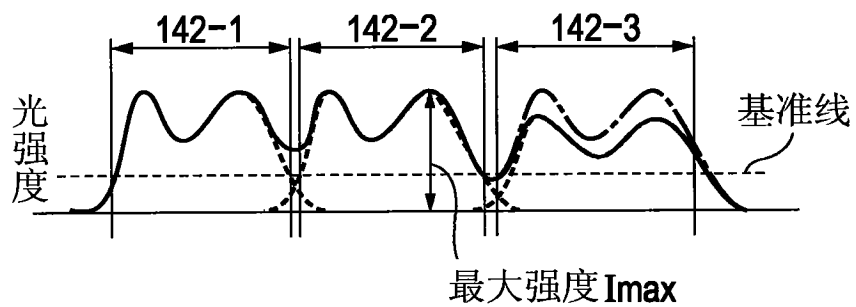


图 9C

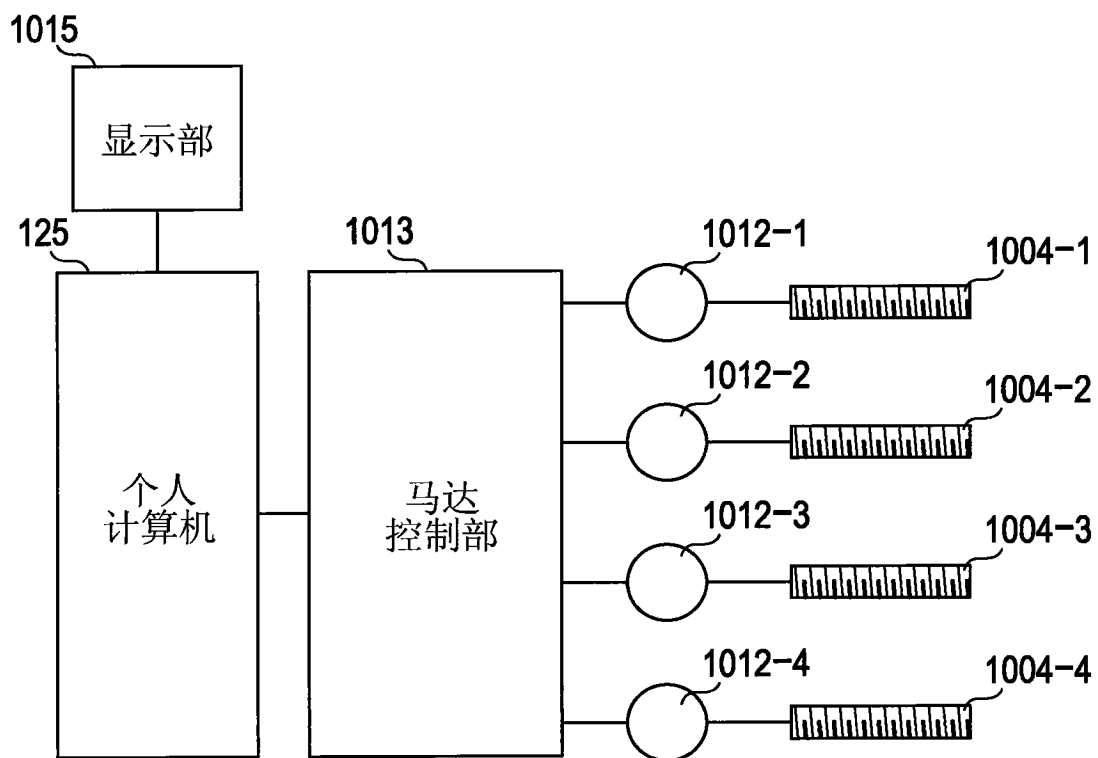


图 10A

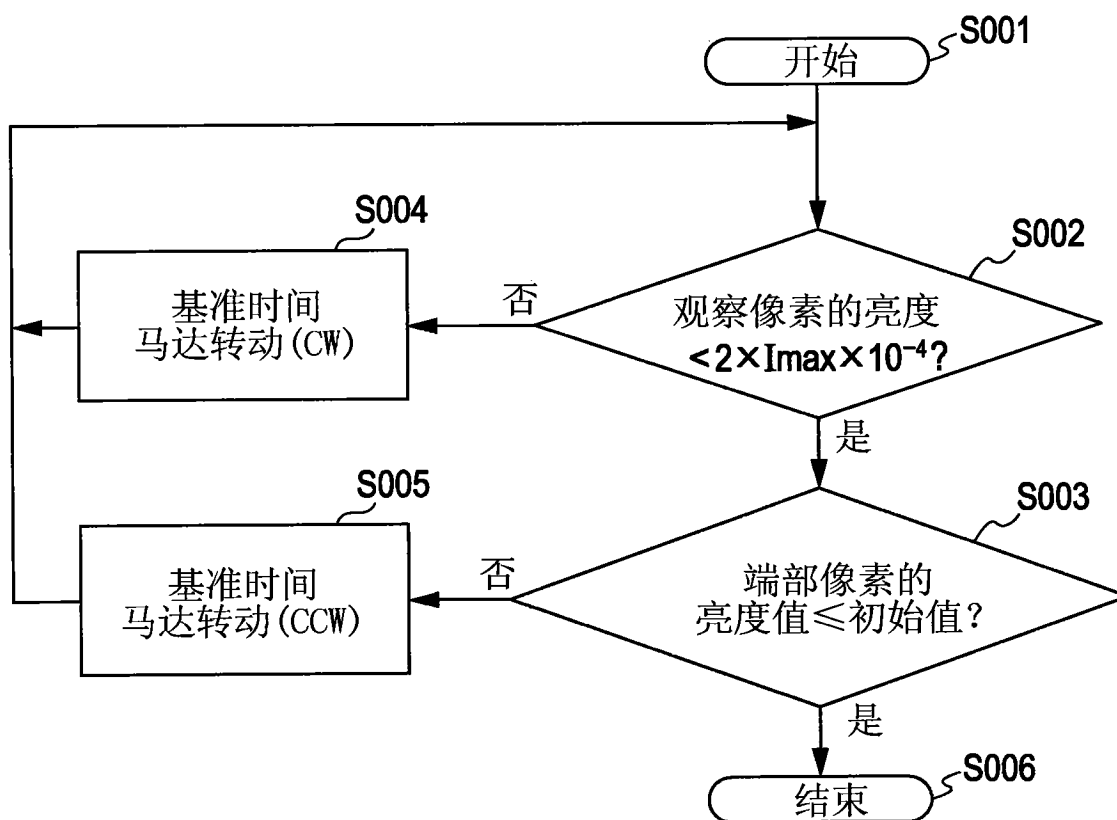


图 10B