



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102007392 B

(45) 授权公告日 2013. 01. 16

(21) 申请号 201080001377. 9

G01N 21/45 (2006. 01)

(22) 申请日 2010. 01. 21

(56) 对比文件

(30) 优先权数据

2009-011530 2009. 01. 22 JP

JP 2003106934 A, 2003. 04. 09, 全文.

CN 101074900 A, 2007. 11. 21, 全文.

CN 101187631 A, 2008. 05. 28, 全文.

JP 4151159 B2, 2008. 09. 17, 全文.

(85) PCT申请进入国家阶段日

2010. 10. 15

(86) PCT申请的申请数据

PCT/JP2010/000311 2010. 01. 21

(87) PCT申请的公布数据

W02010/084748 JA 2010. 07. 29

(73) 专利权人 松下电器产业株式会社

地址 日本大阪府

(72) 发明人 日下雄介 武智洋平 福井厚司

滨野诚司 高田和政

(74) 专利代理机构 中科专利商标代理有限责任

公司 11021

代理人 张宝荣

(51) Int. Cl.

G01M 11/02 (2006. 01)

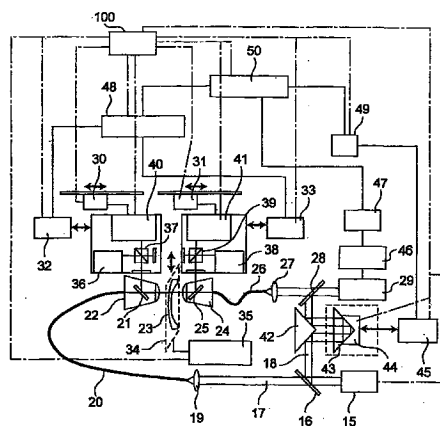
权利要求书 1 页 说明书 9 页 附图 10 页

(54) 发明名称

折射率测定装置

(57) 摘要

本发明提供一种折射率测定装置。以将被检物 (23) 夹在中间的方式配置两个探针光学系统 (22、24) 以便用于测定被检物 (23), 由此, 利用该被检物的干涉信号算出通过局部确定的被检物中的光的光程长度, 而且, 通过测定探针光学系统的位置而算出该部分的几何厚度, 求出光程长度和几何厚度这两个值, 并基于这些值和基准物的计算值, 求出被检物的折射率分布。



1. 一种折射率测定装置,其特征在于,具有:

光源、

将来自所述光源的光分成检查光和参照光的分光器、

使所述检查光聚光并照射到被检物表面的第一探针光学系统、

使透过所述被检物的所述检查光聚光的第二探针光学系统、

以使所述第一探针光学系统的光轴和所述第二探针光学系统的光轴保持同轴性的方式使所述第一探针光学系统和所述第二探针光学系统在一个光轴上位移的驱动机构、

使通过所述第二探针光学系统聚光的所述检查光和所述参照光干涉而得到干涉信号的受光元件、以及

基于通过所述受光元件得到的干涉信号算出所述被检物的折射率的算出部,

所述第一探针光学系统和所述第二探针光学系统中的一个探针光学系统的探针仅露出比其照射光的波长小的范围内的前端,所述探针的其他部分由不透明的覆盖层覆盖。

2. 如权利要求 1 所述的折射率测定装置,其特征在于,

所述算出部基于所述被检物的干涉信号的计算值、以及替换被检物而使用折射率和厚度已知的基准物预先求出的干涉信号的计算值,算出所述被检物的折射率。

3. 如权利要求 2 所述的折射率测定装置,其特征在于,具有:

将所述第一探针光学系统的位置和所述第二探针光学系统的位置作为相距第一探针光学系统的基准位置的差分以及相距第二探针光学系统的基准位置的差分而分别进行测距的第一测长机构、

设置于所述参照光的光程中并调整所述参照光的光程长度的参照光反射镜、以及

将所述参照光反射镜的位置作为相距参照光反射镜的基准位置的差分而进行测距的第二测长机构,

当将所述基准物的折射率设为 N_0 、将所述基准物的厚度设为 D_0 、将相距所述第一探针光学系统的基准位置的差分和相距所述第二探针光学系统的基准位置的差分的合计值设为 ΔD 、将相距所述参照光反射镜的基准位置的差分设为 ΔND 时,通过下述(式 1)由所述算出部算出所述被检物的折射率 N ,

$$N = (2 \Delta ND + N_0 \times D_0) / (\Delta D + D_0) \dots (\text{式 1}).$$

4. 如权利要求 1 或 2 所述的折射率测定装置,其特征在于,

所述第一探针光学系统和所述第二探针光学系统中的另一个探针光学系统的探针仅露出比其照射光的波长小的范围内的前端,所述另一个探针光学系统的所述探针的其他部分由透明的覆盖层覆盖。

5. 如权利要求 1 或 2 所述的折射率测定装置,其特征在于,

所述第一探针光学系统和所述第二探针光学系统中的另一个探针光学系统的探针仅露出比其照射光的波长小的范围内的前端,所述另一个探针光学系统的所述探针的其他部分无覆盖层而露出。

6. 如权利要求 1 或 2 所述的折射率测定装置,其特征在于,

还具有使所述第一探针光学系统和所述第二探针光学系统以保持同轴的状态联动地移动的移动机构,使所述第一探针光学系统和所述第二探针光学系统一边移动一边扫描所述被检物,算出所述被检物的折射率分布。

折射率测定装置

技术领域

[0001] 本发明涉及适于对具有非球面、球面或曲面的透镜等光学部件的折射率分布进行测定的折射率测定装置。

背景技术

[0002] 作为用于数字复印机或数码照相机等的光学元件,有成型透镜。

[0003] 该成型透镜与玻璃研磨透镜相比,非球面透镜的制作性优良、成本低,但因成型条件不同,也存在透镜内部的折射率分布容易产生不均匀性这样的不稳定方面。该透镜内部的折射率的不均匀性对透镜的光学特性产生很大影响,有可能成为导致成像性能恶化的原因。

[0004] 根据上述情况,为了使成型透镜的品质稳定,需要高精度地测定折射率的分布。

[0005] 近年来,有意使透镜内具有折射率梯度的 GRIN(Gradient-Index) 透镜在光通信领域等开始使用。该 GRIN 透镜由于能够将形状与折射率分离开,因此,在摄像系统等期待扩展其应用范围。

[0006] GRIN 透镜由于有意与玻璃剂(硝剂)相关联地设计折射率分布,因此,为了实现稳定的量产化,需要高精度地测定折射率的分布。

[0007] 作为应对上述情况的用于测定折射率的现有技术,存在如下方法:通过最小偏角法等测定偏角来求出折射率的方法、或者将被检物浸入折射率已知的溶液中进行观察并根据溶液的折射率间接地测定被检物的折射率的方法、或者观察平面波的参照光和平面波的检查光产生的干涉条纹的方法(马赫-曾德尔干涉仪),其中该平面波的检查光透过使被检物浸液于与其折射率大致相等的折射率已知的匹配液中的状态。

[0008] 图 6 是表示利用现有的马赫-曾德尔干涉仪的折射率测定装置的图。

[0009] 在图 6 中,自激光光源 1 出射的光通过聚光透镜 2 形成平行光后,通过半反镜 3 分支为参照光 4 和检查光 5。检查光 5 被全反镜 6 反射后,透过装满折射率与被检物 7 大致相等的匹配液的浸液槽 8 及浸入其中的被检物 7,产生对应于被检物 7 的折射率分布的光程差,在到达半反镜 9 后经由成像透镜 10 进入摄像元件 11。

[0010] 另一方面,参照光 4 透过补偿板 12,被全反镜 13 反射并到达半反镜 9 后,经由成像透镜 10 进入摄像元件 11。该补偿板 12 用于使自检查光 5 至摄像元件 11 的光程长度与自参照光 4 至摄像元件 11 的光程长度大致相等。

[0011] 在摄像元件 11 中,检查光 5 与参照光 4 合波,与其光程差相对应地产生干涉条纹 14。在观察该干涉条纹时,根据产生干涉条纹 14 的部位的条数,能够计算该部分的被检物 7 的光学厚度,于是,通过计算匹配液的折射率的差分,可以求出被检物 7 的折射率。

[0012] 在采用使用该匹配液的干涉仪的方法中,存在如下方法:使用提高匹配液的温度均匀性的浴槽的方法、导入相位偏移法以提高精度的方法、以及利用 CT 扫描仪能够计测三维分布的方法(例如参照专利文献 1)。

[0013] 专利文献 1:日本特开 2001-21448 号公报

[0014] 但是,在以往的测定偏角的方法中,需要将检物加工成规定的形状,存在必须破坏并研磨作为测定对象的光学元件的问题。

[0015] 而且,将被检物浸入折射率与被检物大致相等的匹配液中的方法虽然能够以非破坏方式进行测定,但匹配液的折射率的不均匀性成为产生较大误差的原因,从而存在其控制方法难的问题。另外还存在如下问题:被检物在匹配液中的折射率存在区域被缩小,并且,匹配液自身对环境及人体造成伤害的情况较多,有损测定的便利性。

发明内容

[0016] 本发明的目的在于提供一种折射率测定装置,其能够解决上述现有问题,并能够对被检物以非破坏方式简单地测定其折射率分布。

[0017] 为了实现上述目的,本发明如下构成。

[0018] 根据本发明的第一方式,提供一种折射率测定装置,其具有:

[0019] 光源、

[0020] 将来自所述光源的光分成检查光和参照光的分光器、

[0021] 使所述检查光聚光并照射到被检物表面的第一探针光学系统、

[0022] 使透过所述被检物的所述检查光聚光的第二探针光学系统、

[0023] 以使所述第一探针光学系统的光轴和所述第二探针光学系统的光轴保持同轴性的方式使所述第一探针光学系统和所述第二探针光学系统在一个光轴上位移的驱动机构、

[0024] 使通过所述第二探针光学系统聚光的所述检查光和所述参照光干涉而得到干涉信号的受光元件、以及

[0025] 基于通过所述受光元件得到的干涉信号算出所述被检物的折射率的算出部。

[0026] 根据本发明的第二方式,在第一方式所记载的折射率测定装置的基础上,所述算出部基于所述被检物的干涉信号的计算值、以及替换被检物而使用折射率和厚度已知的基准物预先求出的干涉信号的计算值,算出所述被检物的折射率。

[0027] 根据本发明的第三方式,在第二方式所记载的折射率测定装置的基础上,具有:

[0028] 将所述第一探针光学系统和所述第二探针光学系统的位置作为相距各自基准位置的差分而进行测距的第一测长机构、

[0029] 设置于所述参照光的光程中并调整所述参照光的光程长度的参照光反射镜、以及

[0030] 将所述参照光反射镜的位置作为相距其基准位置的差分而进行测距的第二测长机构,

[0031] 当将所述基准物的折射率设为 N_0 、将所述基准物的厚度设为 D_0 、将所述各探针光学系统相距所述基准位置的差分的合计值设为 ΔD 、将所述参照光反射镜相距所述基准位置的差分设为 ΔND 时,通过下述(式1)由所述算出部算出所述被检物的折射率 N ,

[0032] (数1)

[0033]
$$N = (2 \Delta ND + N_0 \times D_0) / (\Delta D + D_0) \dots (\text{式1})$$

[0034] 根据本发明的第四方式,在第一或第二方式所记载的折射率测定装置的基础上,所述第一探针光学系统和所述第二探针光学系统中的一个探针光学系统的探针仅露出比其照射光的波长小的范围内的前端,所述探针的其他部分由不透明的覆盖层覆盖,另一个探针光学系统的探针仅露出比其照射光的波长小的范围内的前端,所述另一个探针光学系

统的所述探针的其他部分由透明的覆盖层覆盖。

[0035] 根据本发明的第五方式,在第一或第二方式所记载的折射率测定装置的基础上,所述第一探针光学系统和所述第二探针光学系统中的一个探针光学系统的探针仅露出比其照射光的波长小的范围内的前端,所述探针的其他部分由不透明的覆盖层覆盖,另一个探针光学系统的探针仅露出比其照射光的波长小的范围内的前端,所述另一个探针光学系统的所述探针的其他部分无覆盖层而露出。

[0036] 根据本发明的第六方式,在第一或第二方式所记载的折射率测定装置的基础上,还具有使所述第一探针光学系统和所述第二探针光学系统以保持同轴的状态联动地移动的移动机构,使所述第一探针光学系统和所述第二探针光学系统一边移动一边扫描所述被检物,算出所述被检物的折射率分布。

[0037] 通过使用本发明,能够对被检物以非破坏方式简单地测定其折射率分布。

附图说明

[0038] 根据与针对附图的优选实施方式相关联的以下记述,可以明了本发明的目的和特征。

[0039] 图 1 是本发明第一实施方式的折射率测定装置的概念结构图;

[0040] 图 2 是所述第一实施方式的所述折射率测定装置的流程图;

[0041] 图 3 是表示来自所述第一实施方式的所述折射率测定装置中的探针光学系统的近场光向被检物表面照射的图;

[0042] 图 4A 是表示所述第一实施方式的所述折射率测定装置的测定基准物时的原理的图、图 4B 是表示所述第一实施方式的所述折射率测定装置的测定被检物时的原理的图;

[0043] 图 5 是所述第一实施方式的所述折射率测定装置中的干涉光强度的曲线图;

[0044] 图 6 是表示利用以往的马赫-曾德尔干涉仪的折射率测定装置的图;

[0045] 图 7 是用于说明在与所述第一实施方式的所述折射率测定装置中的第一探针光学系统和第二探针光学系统所构成的光轴垂直的平面上,能够使被检物位移的驱动部的一例的主视图;

[0046] 图 8 是用于说明图 7 的驱动部的一例的侧视图;

[0047] 图 9 是用于说明能够使所述第一实施方式的所述折射率测定装置中的第一探针光学系统及第二探针光学系统以保持同轴性的方式进行位移的驱动部的一例的侧视图。

具体实施方式

[0048] 以下,对于本发明的实施方式,参照附图进行说明。在以下的说明中,对于同一结构标注同一附图标记而省略其说明。

[0049] (第一实施方式)

[0050] 图 1 是本发明第一实施方式的折射率测定装置的概念结构图。图 2 是第一实施方式的折射率测定的流程图。下述的光源 15、驱动部 30、31、35、44、折射率算出部 50、计算部 48、计算部 49、干涉信号计算部 47、测长器 45、测长器 32、测长器 33、焦点检测部 40 及焦点检测部 41 等各部件分别利用控制部 100 控制各自的工作,并构成为能够自动测定作为光学部件的被检物 23 的折射率分布。

[0051] 在图 1 中,自 SLD(超辐射发光二极管)所代表的、发出低相干光的光源 15 出射的光束,通过分光器 16 分成检查光 17 和参照光 18。

[0052] 检查光 17 通过透镜 19 入射到光纤 20,接着入射到第一探针光学系统 22,并透过半反镜 21 照射到被检物 23。照射到被检物 23 的检查光 17 透过被检物 23 内并通过第二探针光学系统 24 聚光。通过第二探针光学系统 24 聚光的检查光透过半反镜 25 在光纤 26 中传播,通过透镜 27 被放大,并透过分光器 28 到达受光元件 29。

[0053] 第一探针光学系统 22 及第二探针光学系统 24 被配置成各光学系统所成的光轴同轴,通过各自的驱动部 30 及驱动部 31,以保持第一探针光学系统 22 及第二探针光学系统 24 的同轴性的方式在一个光轴上位移。而且,其位移量通过测长器 32 及测长器 33 被测量,并被记录于测长器 32 及测长器 33 各自内置的存储部中。测长器 32 及测长器 33 作为第一测长机构的一例起作用。驱动部 30 及驱动部 31 优选为使第一探针光学系统 22 和第二探针光学系统 24 以保持同轴的状态联动地移动的机构,但如果可以另行进行轴对准而使调整时间进一步增长,则也可以进行调整以使两探针光学系统 22、24 个别移动,最终达到同轴。

[0054] 驱动部 30 及驱动部 31 分别作为驱动机构的一例而起作用,且作为各驱动部 30 及驱动部 31 的一例,如图 9 所示,在一个光轴上相对向地配置。即、在设置台 80 上,第一探针光学系统 22 的探针 22a 被探针固定件 30c 支承。探针固定件 30c 立起固定于沿光轴即沿 Z 轴能够进退移动的第一 Z 轴驱动部 30a。第一 Z 轴驱动部 30a 在固定于设置台 80 上的支柱 30b 上能够沿光轴即沿 Z 轴进退移动。同样地,在设置台 80 上,第二探针光学系统 24 的探针 24a 以与第一探针光学系统 22 的探针 22a 相对向的方式被探针固定件 31c 支承。探针固定件 31c 立起固定于沿光轴即沿 Z 轴能够进退移动的第二 Z 轴驱动部 31a。第二 Z 轴驱动部 31a 在固定于设置台 80 上的支柱 31b 上能够沿光轴即沿 Z 轴进退移动。因此,通过适当驱动第一 Z 轴驱动部 30a 和第二 Z 轴驱动部 31a,第一探针光学系统 22 及第二探针光学系统 24 能够以保持同轴性的方式在一个光轴上位移。第一 Z 轴驱动部 30a 和第二 Z 轴驱动部 31a 分别由例如马达以及利用螺母和滚珠丝杠在马达驱动下的相对驱动的机构等公知机构构成。

[0055] 被检物 23 由支架(透镜支架)34 固定。该支架 34 可以利用驱动部 35,在与第一探针光学系统 22 和第二探针光学系统 24 所成的光轴垂直的平面上使被检物 23 位移。在图 7 及图 8 中表示支架 34 及驱动部 35 的一例。在支架 34 的环状支承体 34a 上,以 120 度间隔使三个支承部 34b 朝中心方向突出,从而能够支承被检物 23。在环状支承体 34a 的下端配置能够调整支架 34 使其绕图 7 的上下方向的轴旋转的旋转调整部 35a,在旋转调整部 35a 的下部配置能够对支架 34 及旋转调整部 35a 进行俯仰调整的俯仰调整部 35b,在俯仰调整部 35b 的下部配置能够使支架 34、旋转调整部 35a 和俯仰调整部 35b 沿 X 轴方向移动的 X 轴驱动部 35c,并且,在 X 轴驱动部 35c 的背后,配置有能够使 X 轴驱动部 35c 沿与 X 轴正交的 Y 轴方向移动的 Y 轴驱动部 35d,由此构成驱动部 35。从而,通过适当驱动 X 轴驱动部 35c、Y 轴驱动部 35d、俯仰调整部 35b 和旋转调整部 35a,能够使被检物 23 在与第一探针光学系统 22 和第二探针光学系统 24 所成的光轴垂直的平面上位移。X 轴驱动部 35c、Y 轴驱动部 35d、俯仰调整部 35b 和旋转调整部 35a 分别由例如马达、利用螺母和滚珠丝杠在马达驱动下的相对驱动的机构、齿轮机构或齿轮齿条副机构等公知的机构构成。

[0056] 而且,第一及第二探针光学系统 22、24 具备在各自的内部内置有聚焦机构且能够

使第一及第二探针光学系统 22、24 以一定距离聚焦到被检物 23 表面的机构。

[0057] 聚焦时,在第一及第二探针光学系统 22、24 中,自光源 36 出射的相干光在半反镜 37 及半反镜 21 被反射而到达被检物 23。而且,自光源 38 出射的相干光在半反镜 39 及半反镜 25 被反射而到达被检物 23。接着,分别在被检物 23 的表面被反射的光沿着相反的光程,透过半反镜 37 或半反镜 39,到达焦点检测部 40 或焦点检测部 41,从而得到对焦信号。

[0058] 该对焦信号在第一及第二探针光学系统 22、24 为近场探针时,例如通过将反射光和入射光的强度之比设为信号并进行保持,可以将被检物 23 的表面与第一及第二探针光学系统 22、24 之间的距离以纳米尺度(ナノスケール)保持为一定。或者,即便是如下方法,即对在近场探针的前端和被检物 23 表面之间产生的力学相互作用即剪切应力进行测定,以使该测定值成为固定值的方式控制探针的方法,也可以以纳米尺度将被检物 23 的表面和第一及第二探针光学系统 22、24 之间的距离保持为一定。

[0059] 另一方面,由分光器 16 分支的参照光 18 的光程通过镜 42 被折返而到达参照平面即作为参照光反射镜的一例的角立方反射器 43,被该角立方反射器 43 反射的反射光返回反射镜 42,并入射到分光器 28,被反射而到达受光元件 29。

[0060] 角立方反射器 43 能够通过作为第二测长机构的一例的驱动部 44,沿与其光轴相同的方向位移,通过该位移,可以调整参照光 18 的光程长度。驱动部 44 例如由马达以及利用螺母和滚珠丝杠在马达驱动下的相对驱动的机构等公知机构构成。

[0061] 而且,该角立方反射器 43 的位移量由测长器 45 测量,并记录在内置于测长器 45 的存储部中。

[0062] 在分光器 28 中,参照光和检查光重合,若两者的光程长度差处于自光源发出的光的相干长度的范围内,则产生干涉,干涉信号在受光元件 29 中被观测。在受光元件 29 中观测到的干涉光通过 A/D 转换器 46 转换为电信号,通过干涉信号计算部 47 判定其干涉强度。

[0063] 由测长器 32 及测长器 33 测量的第一探针光学系统 22 及第二探针光学系统 24 的位置信息被送入计算部 48,并在此计算几何厚度。

[0064] 由测长器 45 测量的角立方反射器 43 的位置信息被送入计算部 49,并在此计算光学厚度。

[0065] 基于由计算部 48 算出的几何厚度的值及由计算部 49 算出的光学厚度的值,由折射率算出部 50 计算折射率。

[0066] 在此,根据图 2 的流程图,对基于以上结构的作为被检物 23 的透镜的面间距的计测方法说明。

[0067] 在图 2 中,在步骤 S0(初始状态)中,第一探针光学系统 22 和第二探针光学系统 24 配置成使各光学系统的光轴同轴,并位于初始位置。

[0068] 接着,在步骤 S1 中,在支架 34 上,作为基准物 51 而保持有厚度(D0)和折射率(N0)已知的平面上的板(基准物 51),通过驱动部 35,设置成使该基准物 51 位于第一探针光学系统 22 及第二探针光学系统 24 之间。此时,该基准物 51 的平行度被调整成相对于第一探针光学系统 22 和第二探针光学系统 24 所成的光轴垂直。关于该调整方法将在后面论述。

[0069] 接着,在步骤 S2 中,第一探针光学系统 22 及第二探针光学系统 24 通过各光学系统内的聚焦机构,在基准物 51 的表面聚焦。

[0070] 接着,在步骤 S3 中,利用干涉信号计算部 47 评价干涉信号的强度。

[0071] 在此,当干涉信号非最大时(在图 2 的步骤 S3 中为“否”时),在步骤 S4 中,利用使角立方反射器 43 移动的驱动部 44 等使作为参照平面的角立方反射器 43 自动位移,以使被评价的干涉信号成为最大。

[0072] 接着,在步骤 S5 中,干涉信号被判定为最大时的角立方反射器 43 的位置,利用测长器 45 作为角立方反射器 43 位置的基准值(ZR0)被测量并记录。该值为测长器 45 的基准值。此时,将自测长器 45 朝向角立方反射器 43 的方向设为正值。

[0073] 接着,在步骤 S6 中,第一探针光学系统 22 及第二探针光学系统 24 的位置,利用测长器 32 及测长器 33,分别作为第一探针光学系统 22 的位置的基准值(Z10)、第二探针光学系统 24 的位置的基准值(Z20)被测距。该值为测长器 32 及测长器 33 的基准值。此时,在第一及第二探针光学系统 22、24 所成的光轴(Z 轴)上,将自各测长器朝向各探针光学系统的方向设为正值。而且,被检物的支架 34 与第一及第二探针光学系统 22、24 的相对位置(XY 轴)由其他测定机构来测定。此时,将自测量第一及第二探针光学系统 22、24 的各探针系统的位置的测长器 32 及 33 朝向各探针的方向设为正值。

[0074] 接着,在步骤 S7 中,第一探针光学系统 22 及第二探针光学系统 24 按照测定者的指令,利用驱动部 30 张开其间隔,将基准物 51 从支架 34 拆下。

[0075] 接着,在步骤 S8 中,在支架 34 上保持被测定物 23,且该被测定物 23 被设置成通过驱动部 35 而位于第一探针光学系统 22 及第二探针光学系统 24 之间。第一探针光学系统 22 及第二探针光学系统 24 通过各光学系统内的聚焦机构在被检物 23 的表面聚焦。根据该聚焦位置来确定对该被检物 23 的哪一部分的折射率进行测定,该聚焦位置由驱动部 35 控制。

[0076] 接着,在步骤 S10 中,通过干涉信号计算部 47 评价干涉信号的强度。

[0077] 在此,若干涉信号非最大(在图 2 的步骤 S10 中为“否”),则在步骤 S11 中,使角立方反射器 43 位移以使干涉信号成为最大。

[0078] 接着,在步骤 S12 中,干涉信号被判定为最大时的角立方反射器 43 的位置,利用测长器 45 作为角立方反射器 43 的测定值(ZR1)被测距并记录。

[0079] 接着,在步骤 S13 中,第一探针光学系统 22 及第二探针光学系统 24 的位置利用测长器 32 及测长器 33,分别作为第一探针光学系统 22 的测定值(Z11)、第二探针光学系统 24 的测定值(Z21)被测距。

[0080] 接着,在步骤 S14 中,该测定位置处的几何厚度 D 通过以下(式 1)由计算部 48 算出。

[0081] (数 2)

$$D = -(Z11+Z21)+(Z10+Z20)+D0 \quad (\text{式 1})$$

[0083] 第一探针光学系统 22 及第二探针光学系统 24 由于相距被检物 23 的表面总是保持一定的距离,因此,测定基准物 51 时(基准值)和测定被检物 23 时(测定值)的第一及第二探针光学系统 22、24 的位置的差分,与被检物 23 和基准物 51 的几何厚度的差分相当。关于其原理,通过图 4A 和图 4B 在后面论述。

[0084] 接着,在步骤 S15 中,该测定位置处的几何厚度 ND 通过以下(式 2)由计算部 48 算出。

[0085] (数 3)

[0086] $ND = -2 \times (ZR1 - ZR0) + N0 \times D0$ (式 2)

[0087] 在此,光源 15 为 SLD 所代表的低相干光源,参照光 18 及检查光 17 的光程长度差达到相干长度以下时产生干涉信号,该干涉信号刚好达到最大时,该差分成为零。因此,测定基准物 51 时及测定被检物 23 时的参照平面即角立方反射器 43 的位置的差分,与被检物 23 和基准物 51 的光程长度的差分相当。关于其原理,通过图 4A 和图 4B 在后面论述。在上述(式 2)中光程长度的值成为角立方反射器 43 的位置的差分的两倍是因为,由于是折返光学系统,故角立方反射器 43 的移动与参照光 18 的光程差的位移量的一半相当。

[0088] 接着,在步骤 S16 中,使用在步骤 S14 及步骤 S15 中求出的几何厚度及光程长度,如下述(式 3)所示,通过折射率算出部 50 求出测定点处的局部折射率 N。

[0089] (数 4)

[0090] $N = ND/D$ (式 3)

[0091] 而且,在(式 1)中,若两探针光学系统 22、24 位置的测定基准物时和测定被检物时的差分的合计值设为 ΔD ,则 ΔD 由下述(式 4)表示。

[0092] (数 5)

[0093] $\Delta D = -(Z11+Z21)+(Z10+Z20)$ (式 4)

[0094] 而且,在(式 2)中,若将参照光反射镜的位置的测定基准物时和测定被检物时的差分的合计值设为 ΔND ,则 ΔND 由下述(式 5)表示。

[0095] (数 6)

[0096] $\Delta ND = -ZR1+ZR0$ (式 5)

[0097] 此时,由(式 3)计算的局部折射率 N 由下述(式 6)表示。

[0098] (数 7)

[0099] $N = (2 \Delta ND + N0 \times D0) / (\Delta D + D0)$ (式 6)

[0100] 接着,在步骤 S17 中,由控制部 100 判断被检物 23 中的应测定的所有部位是否已被测定。当通过控制部 100 判断为并非所有部位都被测定时,在步骤 S17-1 中,第一探针光学系统 22 及第二探针光学系统 24 自向被检物 23 聚焦的聚焦状态退出,被检物 23 通过驱动部 35 移动到与此前已测定的部位不同的部分之后回到步骤 S9。在步骤 S17 中,在通过控制部 100 判断为被检物 23 中的应测定的所有部位都已被测定时,进入步骤 S18。

[0101] 在回到步骤 S9 之后,反复进行步骤 S10 ~ S17,求出不同部位的局部折射率。当被检物 23 中的应测定的所有部位都已被测定时,基于此,在步骤 S18 中制作折射率的 XY 分布。

[0102] 在此,在步骤 S0 中,基准物 51 与第一及第二探针光学系统 22、24 的轴之间的平行度的调整可以如下进行,即在前述步骤 S2 中,将使第一及第二探针光学系统 22、24 聚焦来测定第一及第二探针光学系统 22、24 的位移量的场所设置在 XY 平面上的多个部位,并对其测定数值进行比较来进行调整。第一及第二探针光学系统 22、24 在光轴方向上的位移量通过在各个部位读出测长器的值而求出,利用支架 34 调整基准物 51 的方向,以使该值在多个部位为一定值。由此,可以使基准物 51 与第一及第二探针光学系统 22、24 的轴的平行度一致。在该情况下,基准物 51 为完全平行的物体。

[0103] 以上,在本实施方式中,通过求出与折射率及厚度已知的基准物 51 的差分来算出

被检物 23 的折射率。

[0104] 以下,对本实施方式中的各结构要素的具体结构及更优选的结构进行论述。

[0105] 作为照射低相干光的光源 15 的具体例,可以利用超辐射发光二极管 (SLD)、将来自白色光源 (卤素灯或氙气灯) 的光利用单色器仅分光为特定波长域的单色光的元件、以及激光发光二极管等。其波长并未特别限定,可以使用自紫外线至红外光的波长范围,相干长度优选越短越好、具体而言为 $10\ \mu\text{m}$ 左右,另外光源 15 的波长优选为处于被检物 23 的透过率不下降这种程度的短波长侧。光源 15 的相干长度影响参照平面的位置精度。在本实施方式的结构中,通过结合相位偏移干涉法,干涉强度信号的宽度约为 $10\ \mu\text{m}$,作为参照平面的位置精度,能够以 $1\ \mu\text{m}$ 以下的精度进行计测。

[0106] 第一及第二探针光学系统 22、24,其开口为波长以下,对光进行导波的芯仅使光纤的前端露出并使其变尖,开口以外的部分优选为由金属等不透明的膜覆盖的近场探针。之所以这样是因为,对于被检物的表面和探针光学系统之间的距离为具有波长以上的开口的近场探针、或者物镜等光学元件而言,以波长的级别程度被控制,而对于开口为波长以下的近场探针而言,不依赖于光的波长,能够以纳米级进行控制。

[0107] 图 3 是表示来自本发明第一实施方式的探针光学系统的近场光向被检物表面照射的图。在此,仅对使用第一探针光学系统 22 的情况进行说明,但关于其原理,在第二探针光学系统 24 中也一样。

[0108] 在图 3 中,入射光 52 为自光源 15 或聚焦用光源 36 传播的光。该入射光 52 在第一探针光学系统 22 内的光纤 53 中传播,并在变细的前端产生近场光 54。而且,此时不仅存在在探针前端滞留的近场光,而且也存在自探针前端传播的传播光。

[0109] 在作为第一探针光学系统 22 的光纤 53 的前端,开设比照射光的波长小的范围即纳米级的开口,其周围被由金属等构成的不透明膜 55 (具有遮光性的不透明覆盖层) 覆盖。

[0110] 当近场光 54 处于相距被检物 23 的表面为纳米级左右的距离 (10nm 左右) 时,在被检物 23 的表面产生散射,一部分作为透过光 56 透过被检物 23 内。在该被检物 23 表面反射的后方散射光通过光纤 53 沿着相反的路径行进。而且,来自探针前端的传播光,其一部分在被检物 23 的表面朝后方反射,剩余部分通过被检物 23 内部。

[0111] 在图 3 中,近场光自探针前端的渗出半径 (染み出し半径) 为第一探针光学系统 22 前端的开口大小的程度,为数 $\text{nm} \sim 100\text{nm}$ 左右。

[0112] 另外,第二探针光学系统 24 与第一探针光学系统 22 同样地,对光进行导波的芯优选为使光纤前端变尖的近场探针,但第二探针光学系统 24 与第一探针光学系统 22 不同,其优选为尽可能地增大开口。之所以这样是因为,第二探针光学系统 24 需要将自被检物 23 出射的微弱的透过光尽可能多地聚光。具体而言,优选为例如通过将第二探针光学系统 24 的开口形成为波长程度的大小、或仅露出比照射光的波长小的范围内的前端而将其他部分用透明膜覆盖 (由透明覆盖层覆盖)、或完全不覆盖第二探针光学系统 24 等,从而尽可能地不被金属等不透明膜 (不透明覆盖层) 覆盖。

[0113] 而且,对第一及第二探针光学系统 22、24 的位移量及参照平面的位移量进行测距的测长器 32、33 为激光测长器,优选能够以纳米级精度进行测定。通过使用这些测长器 32、33,能够以纳米级的精度测定被检物的几何厚度。

[0114] 而且,由于第一及第二探针光学系统 22、24 都使用近场探针,因此,能够以纳米级

来控制被检物 23 的表面和第一及第二探针光学系统 22、24 之间的距离,并且,由于开口小,因此,具有能够确定透过被检物 23 中的光线的起点和终点的优点。

[0115] 作为受光元件 29,为了提高干涉信号的强度,优选利用光电倍增管或雪崩光电二极管等灵敏度高的检测器。

[0116] 根据以上结构,被检物的局部折射率通过测定其与基准物 51 的折射率之间的差分而求出,其依赖于被检物的特性,例如,在本实施方式所示的结构中,其精度为小数点后四位左右。

[0117] 图 4A 是表示本发明第一实施方式的测定基准物时的原理的图、图 4B 是表示本发明第一实施方式的测定被检物时的原理的图。

[0118] 在本实施方式中,使用图 4A、图 4B 所示的 $ZR0$ 、 $ZR1$ 、 $Z10$ 、 $Z11$ 、 $Z20$ 、 $Z21$ 、 $D0$ 、 D 、 $f1$ 、 $f2$ 的关系,求出上述(式 1)~(式 3)。

[0119] 而且,图 5 是表示本发明第一实施方式的干涉光的强度的曲线图。

[0120] 图 5 中横轴表示参照平面的移动量、纵轴表示干涉光的强度。在此,图 4A 所示的测定基准物 51 时干涉光的强度为 57、图 4B 所示的测定被检物时干涉光的强度为 58。这些干涉光仅在检查光 17 和参照光 18 的光程差为光源的相干长度以下时存在,其强度的半幅值与光源所包含的波长的半幅值大致相等。

[0121] 另外,本实施方式的折射率指的是考虑到波长分散的群折射率,而并非单波长的折射率(相位折射率)。

[0122] 通过将上述各种实施方式或变形例中的任意实施方式或变形例适当组合,可以起到各实施方式或变形例所具有的效果。

[0123] 工业实用性

[0124] 根据本发明的折射率测定装置,能够以非破坏且不使用匹配液的方法,简单地测定任意形状的被检物的折射率。由此,作为例如照相机等所使用的成型透镜的折射率分布测定器,可以利用本发明。

[0125] 虽然参照附图并与优选实施方式相关联地充分记载了本发明,但毫无疑问对本领域技术人员来说可以进行各种变形或修正。这样的变形或修正,只要不脱离权利要求限定的本发明的保护范围,应理解为包含在本发明中。

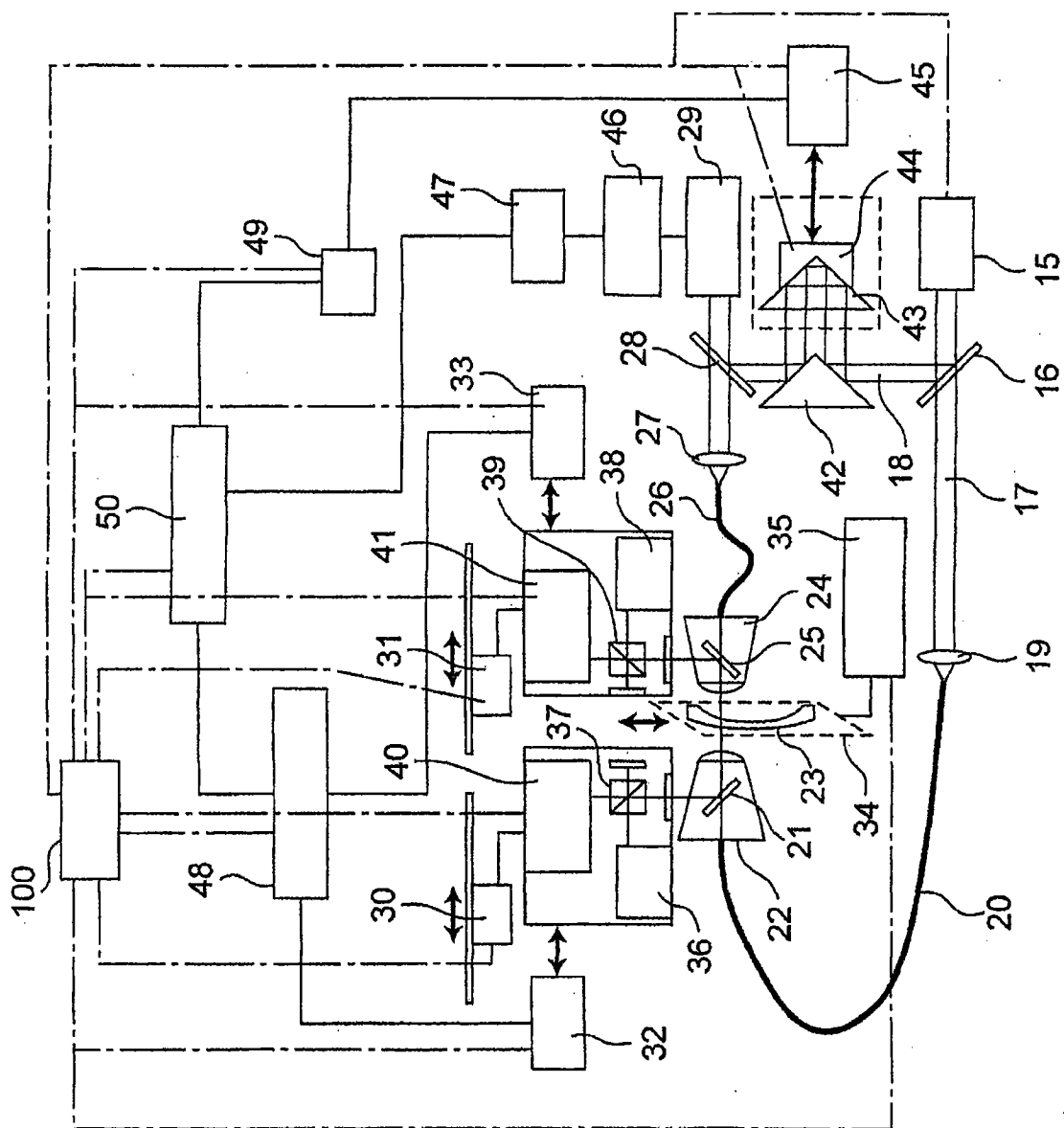


图 1

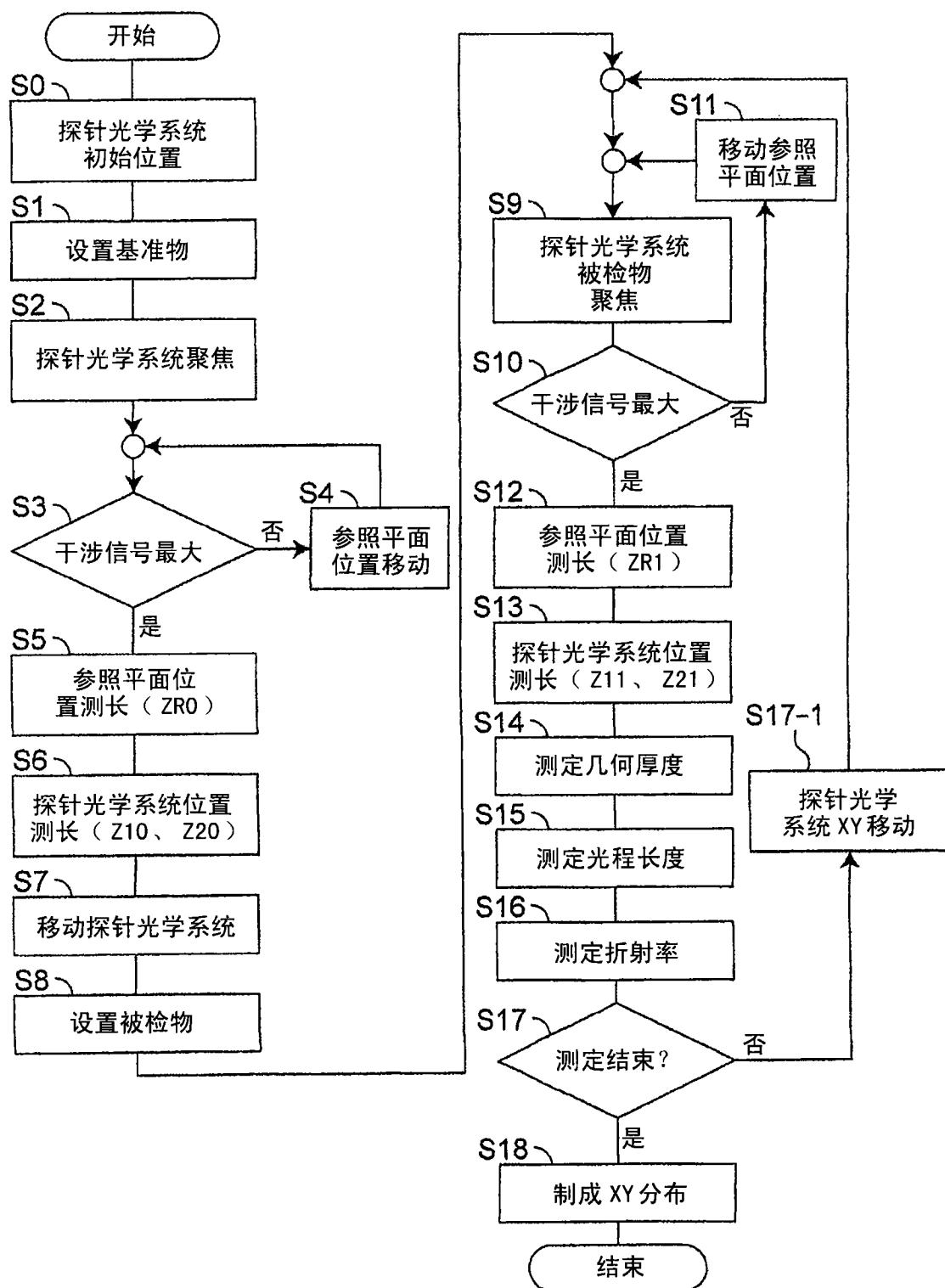


图 2

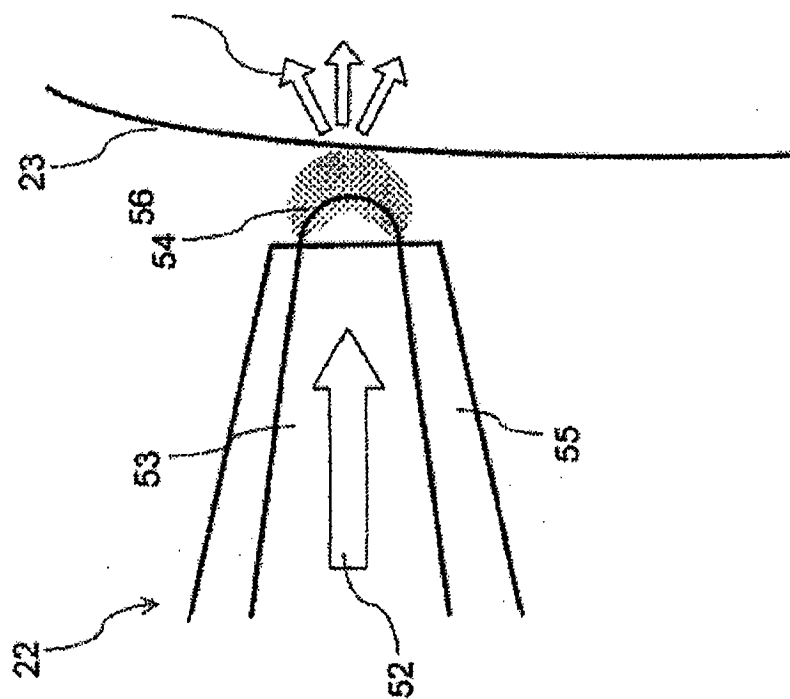


图 3

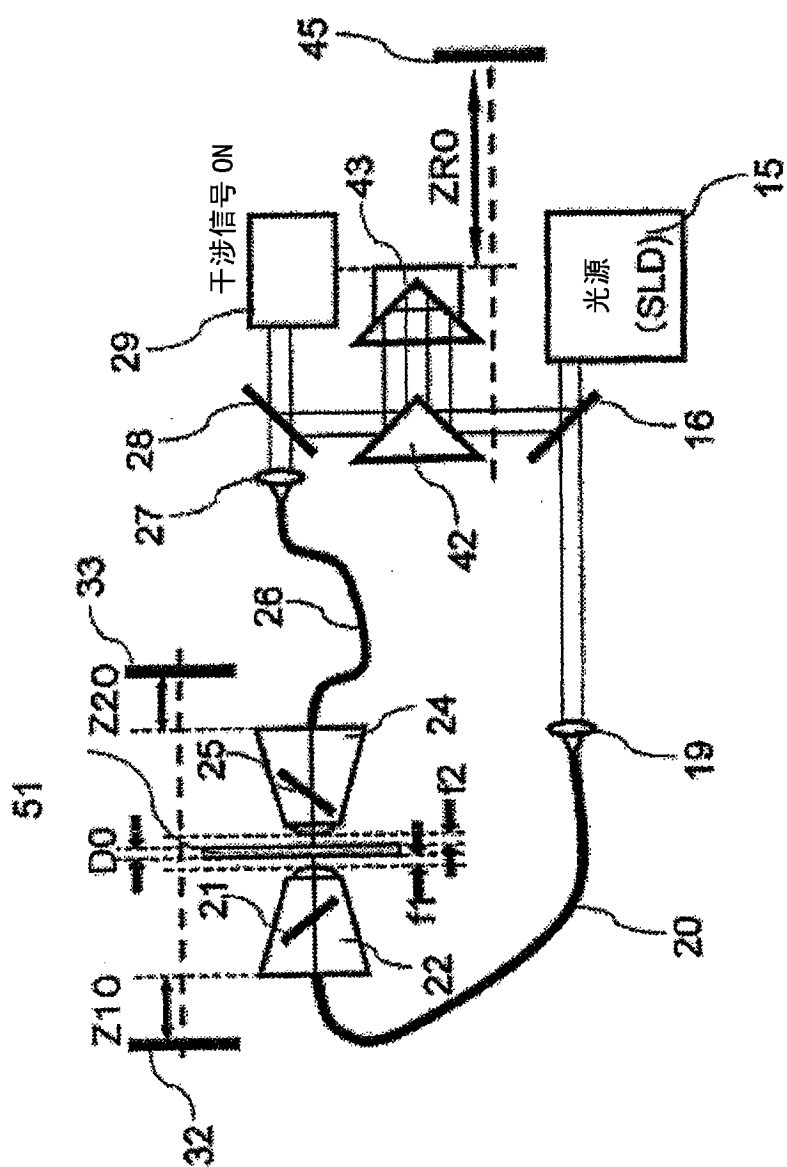


图 4A

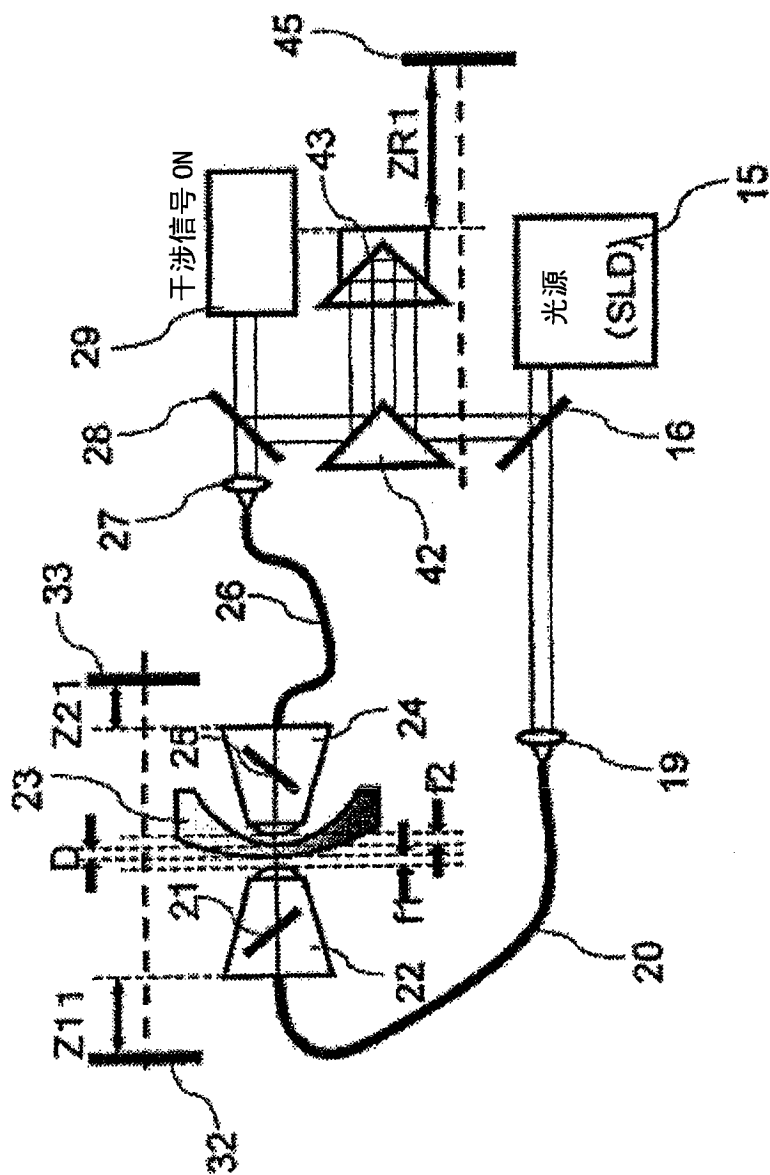


图 4B

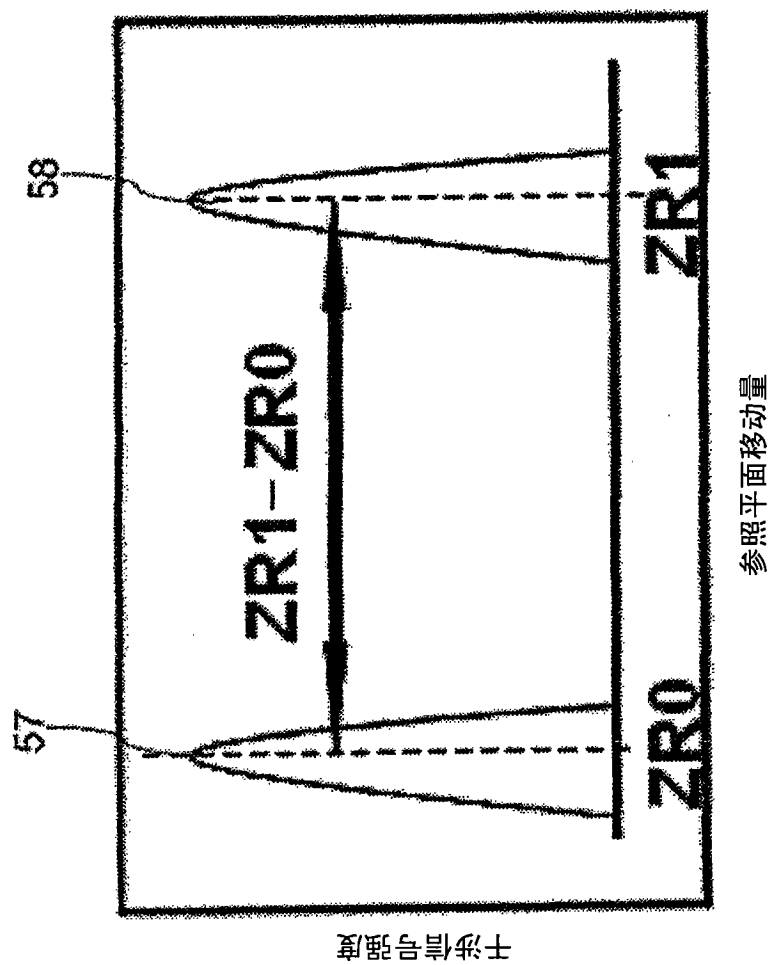


图 5

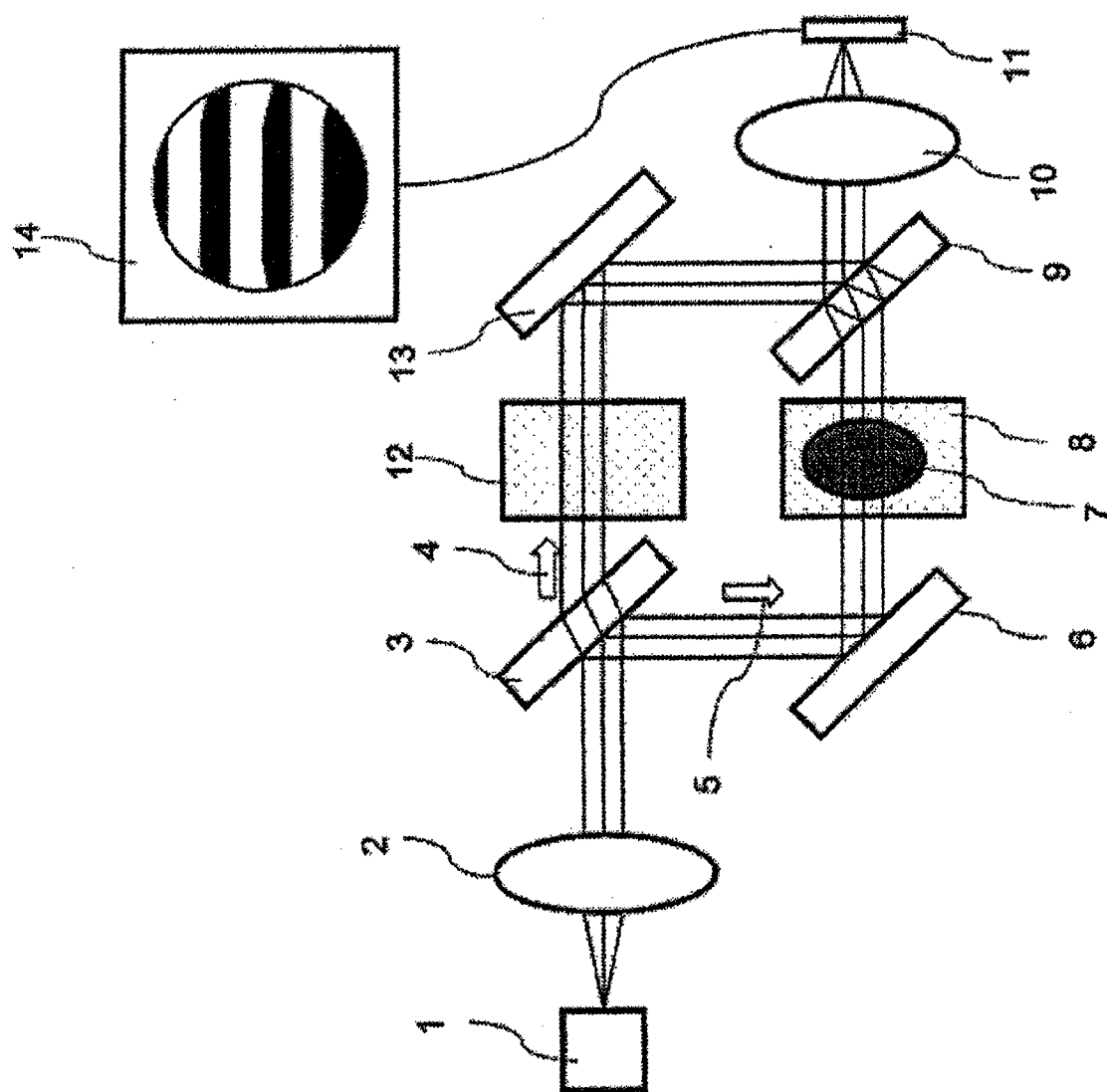


图 6

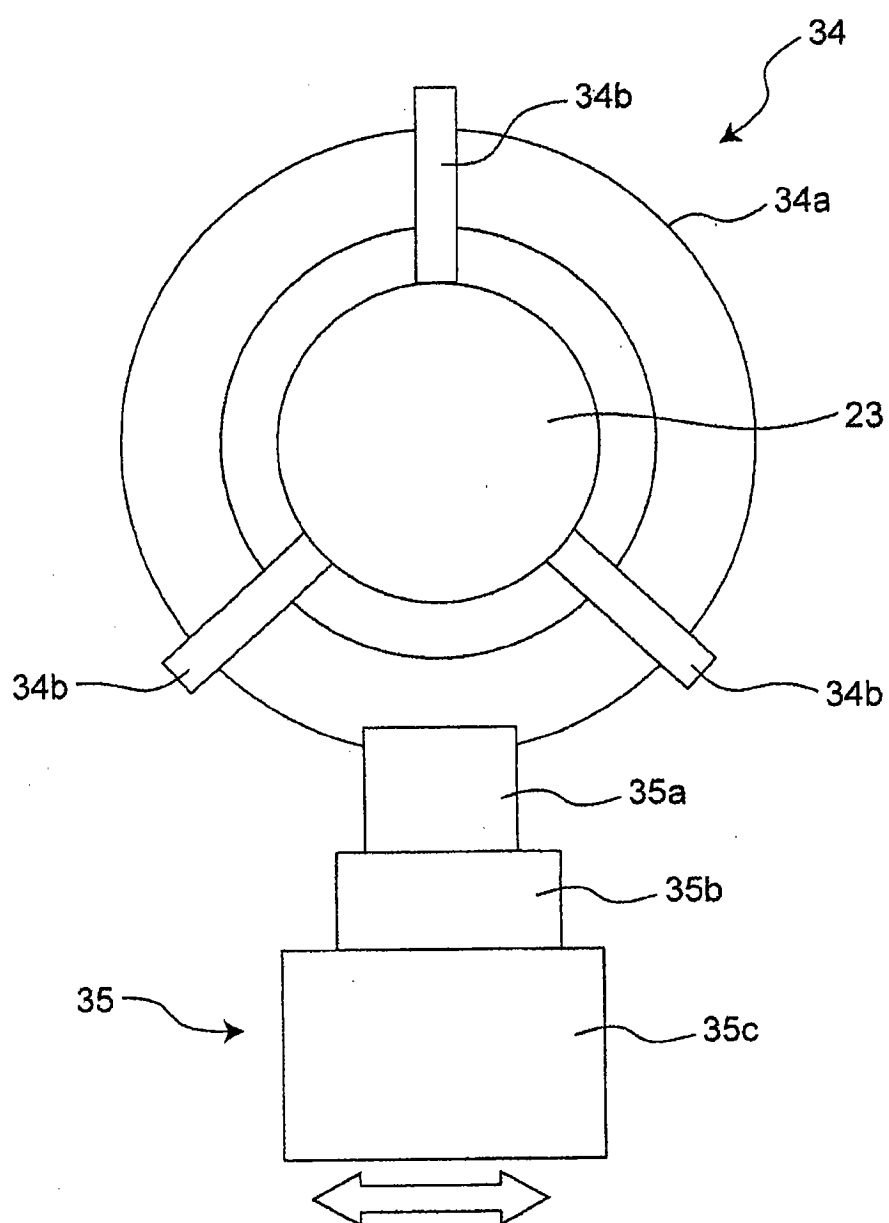


图 7

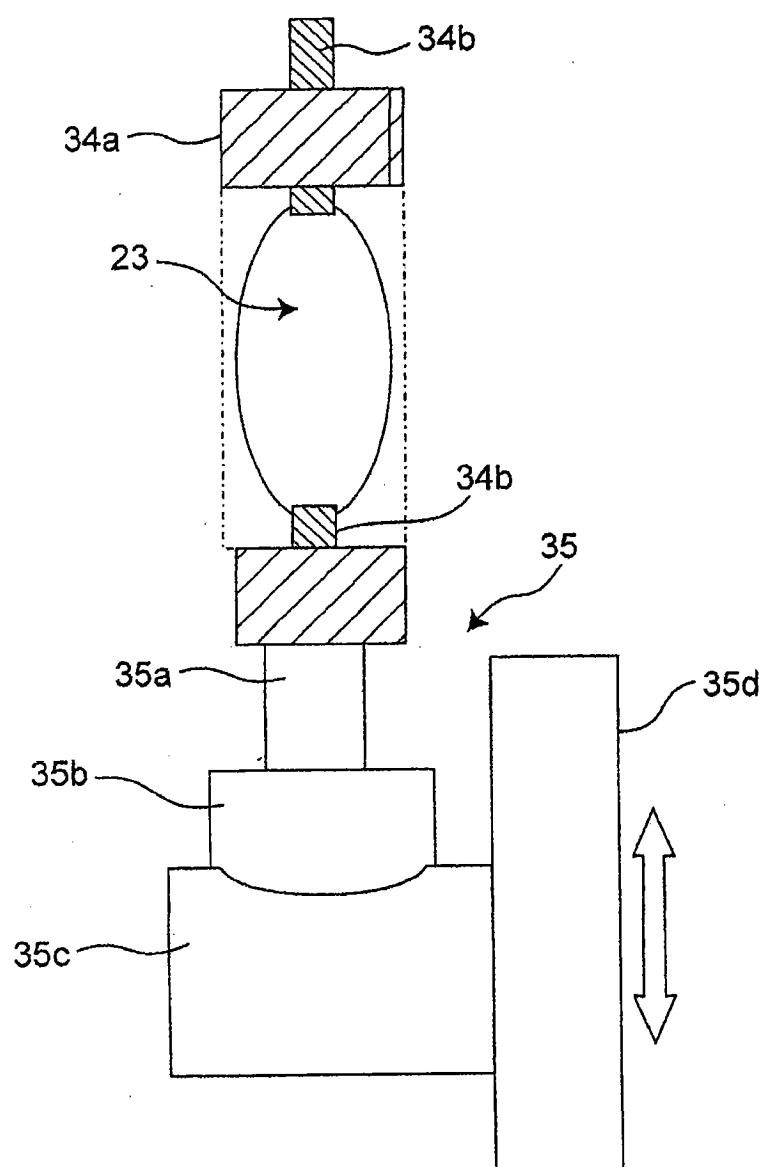


图 8

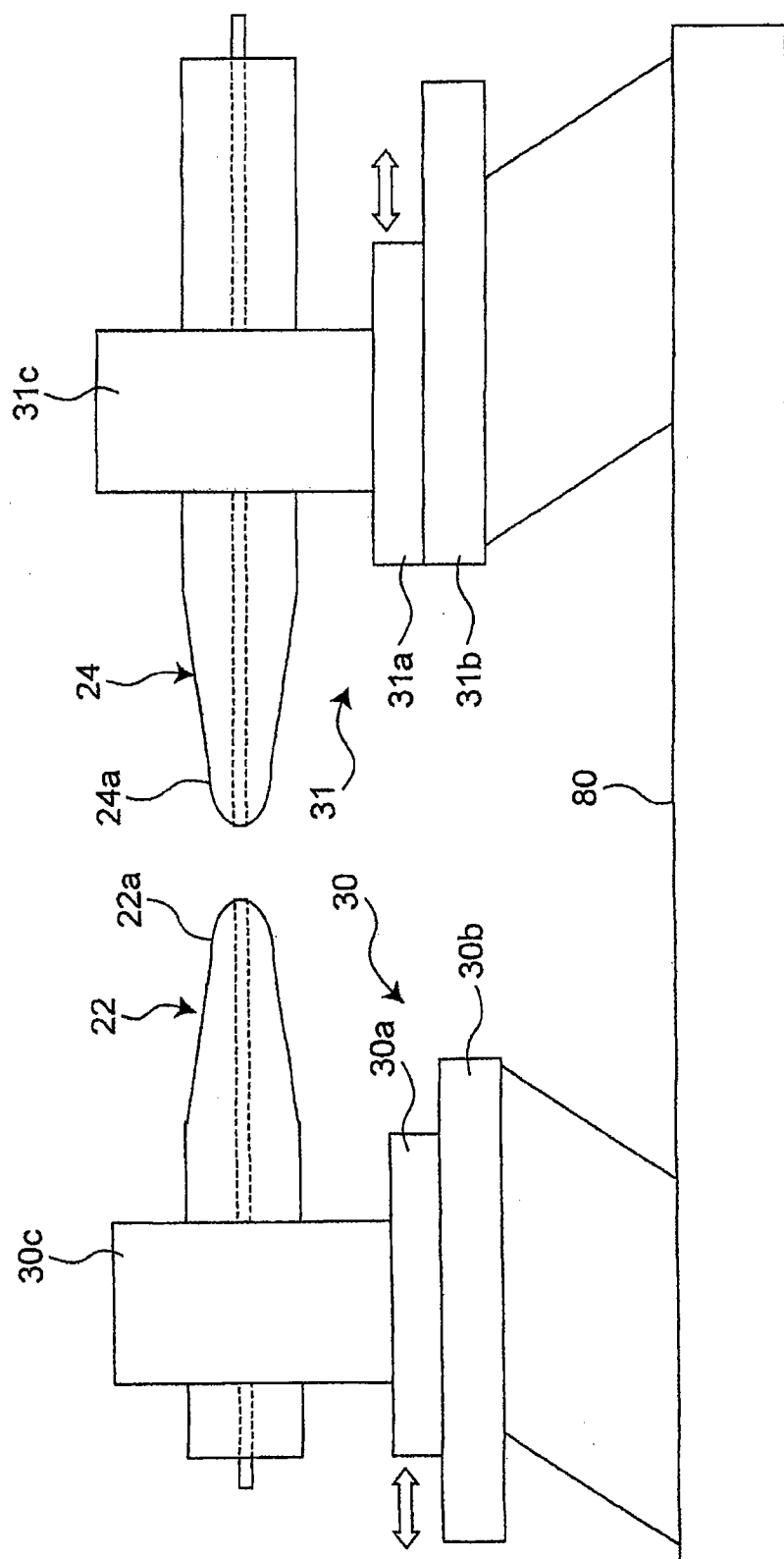


图 9