



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 106662431 B

(45)授权公告日 2019.10.25

(21)申请号 201580042360.0

(74)专利代理机构 上海专利商标事务所有限公司 31100

(22)申请日 2015.07.08

代理人 周全

(65)同一申请的已公布的文献号

(51)Int.CI.

申请公布号 CN 106662431 A

G01B 11/06(2006.01)

(43)申请公布日 2017.05.10

G01B 9/02(2006.01)

(30)优先权数据

G01B 11/24(2006.01)

2014-161422 2014.08.07 JP

(56)对比文件

(85)PCT国际申请进入国家阶段日

JP 2004340680 A, 2004.12.02, 说明书

2017.02.06

[0009]-[0011], [0030], [0036]-[0045], [0069]段, 图1.

(86)PCT国际申请的申请数据

JP H08338709 A, 1996.12.24, 说明书

PCT/JP2015/069618 2015.07.08

[0037], [0079]-[0087]段.

(87)PCT国际申请的公布数据

CN 1904547 A, 2007.01.31, 全文.

W02016/021359 JA 2016.02.11

CN 102589474 A, 2012.07.18, 全文.

(73)专利权人 NTN株式会社

CN 102331241 A, 2012.01.25, 全文.

地址 日本大阪府

CN 102445167 A, 2012.05.09, 全文.

(72)发明人 大庭博明

审查员 司盟

权利要求书3页 说明书15页 附图17页

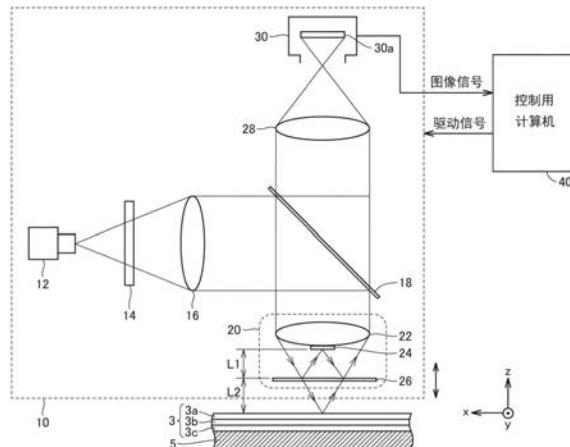
(54)发明名称

形状测定装置、涂敷装置及形状测定方法

(57)摘要

物镜(20)将来自落射光源(12)的白色光分离为两个光束,使一方照射透明膜(3)的表面并使另一方照射参照镜(24),获得来自两面的反射光的干涉光。控制用计算机(40)使物镜(20)定位到透明膜(3)的上方后,使透明膜(3)和物镜(20)沿着上下方向相对移动的同时,拍摄多张干涉光的图像。控制用计算机(40)在CCD相机(30)的拍摄周期内,按拍摄顺序向拍摄的多张的图像附上图像编号,并对构成图像的各像素执行:求出多个亮度成为波峰的图像编号的第1阶段处理和拍摄多张图像后根据多个亮度成为波峰的图像编号来检测透明膜(3)的膜厚或凹凸部的高度的第2阶段处理。

CN 106662431 B



1. 一种形状测定装置, 测定透明膜的膜厚或在所述透明膜的表面形成的凹凸部的高度, 其特征在于,

所述透明膜由单层或多层透明膜层叠形成,

该形状测定装置包括:

头部, 其包含: 输出白色光的照明装置; 用于将所述照明装置射出的白色光分离为两个光束, 使一方照射所述透明膜的所述表面而另一方照射参照面, 使来自这两面的反射光干涉来获得干涉光的物镜; 观察经由所述物镜获得的所述干涉光的观察光学系统; 经由所述观察光学系统拍摄所述干涉光的拍摄装置;

定位装置, 其用于使所述头部与所述透明膜相对移动, 使所述头部定位到所述透明膜的所述表面的上方的期望位置; 以及

形状检测部, 其通过控制所述定位装置及所述拍摄装置, 将所述物镜定位到所述透明膜的上方后, 使从所述透明膜到所述物镜为止的上下方向的距离连续地变化的同时, 拍摄多张所述干涉光的图像, 根据拍摄到的所述多张的图像, 检测所述透明膜的膜厚或所述凹凸部的高度,

所述形状检测部执行:

在所述拍摄装置的拍摄周期内, 按拍摄顺序向拍摄到的所述多张图像附上图像编号, 并对构成所述图像的多个像素的各个像素, 求出多个亮度成为波峰的图像编号的第1阶段处理; 以及

所述拍摄装置拍摄所述多张图像后, 根据由所述第1阶段处理求出的多个所述亮度成为波峰的图像编号, 检测所述透明膜的膜厚或所述凹凸部的高度的第2阶段处理,

所述形状检测部在所述第1阶段处理中, 将在当前的拍摄周期拍摄到的图像设为图像编号*i*的图像*f_i*, *i*是1以上的整数,

按所述图像*f_i*的像素, 算出包含所述图像*f_i*的规定张数的连续图像中的亮度的平均值, 并且算出表示亮度相对于所述平均值的偏差的亮度相对值, 且将该亮度相对值成为阈值以上的像素设定成亮度呈现波峰的候补像素,

所述图像*f_i*中的所述候补像素的亮度相对值比最新的所述候补像素的亮度相对值大时, 将所述亮度成为波峰的候补的图像编号更新为图像编号*i*,

当所述亮度成为波峰的候补的图像编号以阈值张数连续未进行更新时, 判定所述图像编号*i*是所述亮度成为波峰的图像编号。

2. 如权利要求1所述的形状测定装置, 其特征在于,

所述形状检测部在所述第2阶段处理中, 通过对按像素检测的所述透明膜的膜厚进行求和, 来算出所述透明膜的体积。

3. 如权利要求1所述的形状测定装置, 其特征在于,

所述形状检测部在所述第1阶段处理中, 将所述图像*f_i*中的亮度相对值成为最小的像素设定成亮度呈现为波峰和波峰之间的波谷的候补像素,

所述图像*f_i*中的所述亮度相对值的最小值比最新的所述亮度相对值的最小值小时, 将所述亮度成为波谷的候补的图像编号更新为图像编号*i*,

判定所述亮度成为波峰的图像编号后, 在所述亮度相对值的最小值以阈值张数连续未进行更新时, 判定所述图像编号*i*是亮度成为波谷的图像编号。

4. 如权利要求3所述的形状测定装置,其特征在于,

所述形状检测部通过按顺序反复执行判定所述亮度成为波峰的图像编号的处理和判定所述亮度成为波谷的图像编号的处理,求出多个所述亮度成为波峰的图像编号。

5. 如权利要求1所述的形状测定装置,其特征在于,

所述形状检测部在所述第2阶段处理中,对所述多个亮度成为波峰的图像编号的各个图像编号,用以所述亮度成为波峰的图像编号的图像为中心的前后 $\pm n$ 张的合计($2n+1$)张图像来算出亮度的包络线, n 是1以上的整数,将所述包络线成为波峰时的图像编号确定为所述亮度成为波峰的图像编号,并且算出所确定的所述亮度成为波峰的图像编号所对应的所述头部的位置,

根据算出的多个所述头部的位置,检测所述透明膜的膜厚或所述凹凸部的高度。

6. 如权利要求1所述的形状测定装置,其特征在于,

所述照明装置是白色LED,

还具备设于所述照明装置和所述物镜之间,用于使所述白色LED的发光频谱具有的2个波峰中长波长侧的白色光选择性透过的滤光片。

7. 一种涂敷装置,其特征在于,具备:

涂敷机构,其通过在基板的主面上涂敷透明的液状材料,形成由单层或多层透明膜层叠而成的透明膜;

头部,其包含:输出白色光的照明装置;用于将所述照明装置射出的白色光分离为两个光束,使一方照射所述透明膜的表面而另一方照射参照面,使来自这两面的反射光干涉,获得干涉光的物镜;观察经由所述物镜获得的所述干涉光的观察光学系统;以及经由所述观察光学系统拍摄所述干涉光的拍摄装置;

定位装置,其用于使所述头部和所述透明膜相对移动,使所述头部定位到所述透明膜的所述表面的上方的期望位置;以及

形状检测部,其通过控制所述定位装置及所述拍摄装置,在将所述物镜定位到所述透明膜的上方后,使从所述透明膜到所述物镜为止的上下方向的距离连续地变化的同时,拍摄多张所述干涉光的图像,根据拍摄到的所述多张的图像,检测所述透明膜的膜厚或凹凸部的高度,

所述形状检测部执行:

在所述拍摄装置的拍摄周期内,按拍摄顺序向拍摄到的所述多张图像附上图像编号,并对构成所述图像的多个像素的各个像素,求出多个亮度成为波峰的图像编号的第一阶段处理;和

所述拍摄装置拍摄所述多张图像后,根据由所述第一阶段处理求出的多个所述亮度成为波峰的图像编号,检测所述透明膜的膜厚或所述凹凸部的高度的第二阶段处理,

所述形状检测部在所述第一阶段处理中,将在当前的拍摄周期拍摄到的图像设为图像编号*i*的图像 f_i ,*i*是1以上的整数,

按所述图像 f_i 的像素,算出包含所述图像 f_i 的规定张数的连续图像中的亮度的平均值,并且算出表示亮度相对于所述平均值的偏差的亮度相对值,且将该亮度相对值成为阈值以上的像素设定成亮度呈现波峰的候补像素,

所述图像 f_i 中的所述候补像素的亮度相对值比最新的所述候补像素的亮度相对值大

时,将所述亮度成为波峰的候补的图像编号更新为图像编号i,

当所述亮度成为波峰的候补的图像编号以阈值张数连续未进行更新时,判定所述图像编号i是所述亮度成为波峰的图像编号。

8.一种形状测定方法,测定透明膜的膜厚或在所述透明膜的表面形成的凹凸部的高度,其特征在于,

所述透明膜由单层或多层透明膜层叠形成,

使头部与所述透明膜相对移动来使所述头部定位到所述透明膜的所述表面的上方的期望位置的步骤,其中,所述头部包含:输出白色光的照明装置;用于将所述照明装置射出的白色光分离为两个光束,使一方照射所述透明膜的所述表面而另一方照射参照面,使来自这两面的反射光干涉,获得干涉光的物镜;观察经由所述物镜获得的所述干涉光的观察光学系统;经由所述观察光学系统拍摄所述干涉光的拍摄装置;以及

在将所述物镜定位到所述透明膜的上方后,使从所述透明膜到所述物镜为止的上下方向的距离连续地变化的同时,拍摄多张所述干涉光的图像,根据拍摄到的所述多张的图像,检测所述透明膜的膜厚或所述凹凸部的高度的步骤,

检测所述透明膜的膜厚或所述凹凸部的高度的步骤执行:

在所述拍摄装置的拍摄周期内,按拍摄顺序向拍摄到的所述多张图像附上图像编号,并对构成所述图像的多个像素的各个像素,求出多个亮度成为波峰的图像编号的第1阶段处理;和

所述拍摄装置拍摄所述多张图像后,根据由所述第1阶段处理求出的多个所述亮度成为波峰的图像编号,检测所述透明膜的膜厚或所述凹凸部的高度的第2阶段处理,

检测所述透明膜的膜厚或所述凹凸部的高度的步骤中,在所述第1阶段处理中,将在当前的拍摄周期拍摄到的图像设为图像编号i的图像 f_i ,i是1以上的整数,

按所述图像 f_i 的像素,算出包含所述图像 f_i 的规定张数的连续图像中的亮度的平均值,并且算出表示亮度相对于所述平均值的偏差的亮度相对值,且将该亮度相对值成为阈值以上的像素设定成亮度呈现波峰的候补像素,

所述图像 f_i 中的所述候补像素的亮度相对值比最新的所述候补像素的亮度相对值大时,将所述亮度成为波峰的候补的图像编号更新为图像编号i,

当所述亮度成为波峰的候补的图像编号以阈值张数连续未进行更新时,判定所述图像编号i是所述亮度成为波峰的图像编号。

9.如权利要求8所述的形状测定方法,其特征在于,

在检测所述透明膜的膜厚或所述凹凸部的高度的步骤中,所述第2阶段处理中,通过对按像素检测到的所述透明膜的膜厚进行求和,算出所述透明膜的体积。

形状测定装置、涂敷装置及形状测定方法

技术领域

[0001] 本发明涉及形状测定装置、涂敷装置及形状测定方法,特别地说,涉及测定透明膜的膜厚或在该透明膜的表面形成的凹凸部的高度的技术。

背景技术

[0002] 采用前端径为数十 μm 的涂敷针、光斑径为数 μm ~数十 μm 的激光的图形加工技术通过与微米级的精密定位技术组合,即使是微细的图形,也能够在规定的位置准确加工。因此,以往被用于平板显示器的修正操作、太阳能电池的划线操作等(例如,参照特开2007-268354号公报(专利文献1),特开2009-122259号公报(专利文献2),特开2009-237086号公报(专利文献3))。特别地是,采用涂敷针的加工技术能够涂敷点胶机不擅长的粘度高的糊料,因此,最近也用于比平板显示器厚的10 μm 以上的膜的形成。例如,用于MEMS (Micro Electro Mechanical Systems:微机电系统)、传感器等的半导体装置的电子电路图形、印刷基板布线的形成。另外,由未来具有前景的制造技术即印刷电子技术制作的图形也归类为厚膜,因此是今后有望扩大用途的加工技术。

[0003] 现有技术文献

[0004] 专利文献

[0005] 专利文献1:特开2007-268354号公报

[0006] 专利文献2:特开2009-122259号公报

[0007] 专利文献3:特开2009-237086号公报

[0008] 专利文献4:特开2008-286630号公报

发明内容

[0009] 发明所要解决的技术问题

[0010] 采用涂敷针的墨水涂敷中,涂敷墨水处的品质的判定是重要的。例如,专利文献3公开了通过墨水涂敷来修正构成液晶显示器的彩色滤光片中的缺陷的缺陷修正方法。该专利文献3中,拍摄包含修正处理前后的缺陷的区域的图像,比较修正处理前后的图像的亮度,根据比较结果来检测修正处理的异常。

[0011] 上述专利文献3采用将涂敷墨水的对象设为彩色滤光片且对彩色滤光片中脱色的白色缺陷涂敷与存在白色缺陷的像素同色的墨水的方法。彩色滤光片由R(红)、G(绿)、B(蓝)3色构成,因此,与像素同色的墨水的对比度高。从而,检测墨水涂敷前后的图像的变化是比较容易的。

[0012] 但是,以涂敷针为对象的墨水如上述彩色滤光片的情况那样,对比度未必都高。例如在粘接剂、生物相关的样品中,对比度低,即使是可见光显微镜图像也有时难以检测墨水涂敷前后的图像的变化。若采用这样的墨水,则无法采用上述专利文献3记载的基于墨水涂敷前后的图像比较的判定手法。

[0013] 这里,作为上述图像比较以外的方法,即,即使对对比度低、特别是透明对象物也

有效的方法,有检测对象物的三维形状的方法。其中,作为采用白色干涉计的检测方法,例如特开2008-286630号公报(专利文献4)公开了观测透明膜的表面的反射光形成的干涉光及透明膜的背面的反射光形成的干涉光,按干涉光求出干涉光强度的波峰后,根据波峰间的距离和透明膜的折射率来检测透明膜的膜厚的方法。

[0014] 上述专利文献4中,图像处理中主要为了确定二值化阈值而采用的判别分析法用于求出2个干涉光强度的波峰。该判别分析法利用图像的亮度直方图呈现双峰性时类间方差在两个山峰间达到最大的性质,以类间方差达到最大的亮度作为阈值,求出各波峰。

[0015] 更具体地说,专利文献4中,将干涉光强度与其平均值的差的绝对值设为直方图中的频度,将获得各干涉光强度的图像的拍摄位置设为亮度,然后求出类间方差达到最大的拍摄位置,作为分离2个波峰的拍摄位置。然后,以求出的拍摄位置为中心,将处于一侧的波峰设为来自透明膜的背面的反射光形成的干涉光的强度的波峰,处于另一侧的波峰设为来自透明膜的表面的反射光形成的干涉光的强度的波峰。

[0016] 但是,上述专利文献4记载的技术存在以下的问题。第一,判别分析法对呈现双峰性的数据有效,但是,存在难以应对具有3个以上的波峰的数据的问题。因此,在透明膜由2层以上的透明膜层叠形成的情况下,可获得3个以上的干涉光强度的波峰时,难以通过判别分析法检测这3个以上的干涉光强度的波峰。

[0017] 第二,求出类间方差的运算需要大量的步骤,但是该运算必须逐个像素进行,因此存在需要大量处理时间的问题。另外,通过电子电路实现运算处理以缩短处理时间时,导致装置成本上升。

[0018] 本发明为了解决该问题而提出,其目的是提供:能够以简易且低廉的装置结构来测定由至少一层透明膜形成的对象物中的各透明膜的膜厚及在各透明膜的表面形成的凹凸部的高度的形状测定装置、涂敷装置及形状测定方法。

[0019] 解决技术问题所采用的技术方案

[0020] 本发明的形状测定装置测定透明膜的膜厚或在透明膜的表面形成的凹凸部的高度。透明膜由单层或多层透明膜层叠形成。

[0021] 形状测定装置具备:头部,其包含:输出白色光的照明装置;用于将照明装置射出的白色光分离为两个光束,使一方照射透明膜的表面而另一方照射参照面,使来自这两面的反射光干涉来获得干涉光的物镜;观察经由物镜获得的干涉光的观察光学系统;以及经由观察光学系统拍摄干涉光的拍摄装置;

[0022] 定位装置,其用于使头部与透明膜相对移动,使头部定位到透明膜的表面的上方的期望位置;以及

[0023] 形状检测部,其通过控制定位装置及拍摄装置,从而在将物镜定位到透明膜的上方后,使从透明膜到物镜为止的上下方向的距离连续地变化的同时,拍摄多张干涉光的图像,根据拍摄到的多张图像,检测透明膜的膜厚或凹凸部的高度。

[0024] 形状检测部执行:在拍摄装置的拍摄周期内,按拍摄顺序向拍摄的多张图像附上图像编号,并对构成图像的多个像素的各个像素,求出多个亮度成为波峰的图像编号的第一阶段处理;和拍摄装置拍摄多张图像后,根据由第一阶段处理求出的多个亮度成为波峰的图像编号,检测透明膜的膜厚或凹凸部的高度的第二阶段处理。

[0025] 本发明的涂敷装置具备:

[0026] 通过在基板的主面上涂敷透明的液状材料,形成由单层或多层透明膜层叠而成的透明膜的涂敷部;

[0027] 头部,其包含:输出白色光的照明装置;用于将照明装置射出的白色光分离为两个光束,使一方照射透明膜的表面而另一方照射参照面,使来自这两面的反射光干涉来获得干涉光的物镜;观察经由物镜获得的干涉光的观察光学系统;经由观察光学系统拍摄干涉光的拍摄装置;

[0028] 定位装置,其用于使头部和涂敷部相对移动,使头部定位到涂敷部的表面的上方的期望位置;以及

[0029] 形状检测部,其通过控制定位装置及拍摄装置,在将物镜定位到涂敷部的上方后,使从涂敷部到物镜为止的上下方向的距离连续地变化的同时,拍摄多张干涉光的图像,根据拍摄到的多张图像,检测透明膜的膜厚或凹凸部的高度。

[0030] 形状检测部执行:在拍摄装置的拍摄周期内,按拍摄顺序向拍摄的多张图像附上图像编号,并对构成图像的多个像素的各个像素,求出多个亮度成为波峰的图像编号的第1阶段处理;和拍摄装置拍摄多张图像后,根据由第1阶段处理求出的多个亮度成为波峰的图像编号,检测涂敷部的膜厚或凹凸部的高度的第2阶段处理。

[0031] 本发明的形状测定方法,测定由单层或多层透明膜层叠形成的透明膜的膜厚或在透明膜的表面形成的凹凸部的高度,其具备:

[0032] 使头部与透明膜相对移动,使头部定位到透明膜的表面的上方的期望位置的步骤,其中,头部包含:输出白色光的照明装置;用于将照明装置射出的白色光分离为两个光束,使一方照射透明膜的表面而另一方照射参照面,使来自这两面的反射光干涉来获得干涉光的物镜;观察经由物镜获得的干涉光的观察光学系统;经由观察光学系统拍摄干涉光的拍摄装置;和

[0033] 在将物镜定位到透明膜的上方后,使从透明膜到物镜为止的上下方向的距离连续地变化的同时,拍摄多张干涉光的图像,根据拍摄到的多张图像,检测透明膜的膜厚或凹凸部的高度的步骤。

[0034] 检测透明膜的膜厚或凹凸部的高度的步骤执行:在拍摄装置的拍摄周期内,按拍摄顺序向拍摄的多张图像附上图像编号,并对构成图像的多个像素的各个像素,求出多个亮度成为波峰的图像编号的第1阶段处理;和拍摄装置拍摄多张图像后,根据由第1阶段处理求出的多个亮度成为波峰的图像编号,检测透明膜的膜厚或凹凸部的高度的第2阶段处理。

[0035] 发明效果

[0036] 根据本发明,能够以简易且低廉的装置结构测定至少由一层透明膜形成的对象物中的各透明膜的膜厚及在各透明膜的表面形成的凹凸部的高度。

附图说明

[0037] 图1是表示本发明实施例的形状测定装置的整体结构图。

[0038] 图2是图1所示物镜的部分的放大图。

[0039] 图3是表示物镜的位置变化时的干涉光的强度的变化的图。

[0040] 图4是用于说明本实施例的形状测定装置的控制结构的功能方框图。

- [0041] 图5是本实施例的形状测定方法所涉及的流程图。
- [0042] 图6汇总了波峰检测处理中使用的各种变量的定义。
- [0043] 图7是表示图像 f_i 上的1像素 (x, y) 的亮度值 $f_i(x, y)$ 和图像编号 i 的关系的图。
- [0044] 图8是表示图5的步骤S30的处理的详细步骤的流程图。
- [0045] 图9是图8的步骤S05的处理中的波峰搜索过程的说明图。
- [0046] 图10是图8的步骤S09的处理中的波峰确定过程的说明图。
- [0047] 图11是图8的步骤S12的处理中的波谷搜索过程的说明图。
- [0048] 图12是图8的步骤S13的处理中的波谷确定过程的说明图。
- [0049] 图13是第二个波峰的搜索过程的说明图。
- [0050] 图14是对比度值 M_i 的说明图。
- [0051] 图15是用于说明各透明膜的膜厚的算出方法的图。
- [0052] 图16是干涉光中的可干涉距离的说明图。
- [0053] 图17是表示本实施例的涂敷装置的整体结构的立体图。
- [0054] 图18是表示观察光学系统及墨水涂敷机构的主要部分的立体图。
- [0055] 图19是从图18的A方向观察主要部分的图。

具体实施方式

[0056] 以下,参照图面详细说明本发明的实施例。另外,图中的同一或相当部分附上同一符号,不重复其说明。

[形状测定装置的构成]

[0058] 图1是本发明实施例的形状测定装置的整体结构图。参照图1,本实施例的形状测定装置测定设于对象物即基板5的主面上的透明膜3的膜厚。形状测定装置还测定在透明膜3的表面形成的凹凸部的高度。

[0059] 透明膜3由单层或两层以上的透明膜层叠形成。透明膜3由多个透明膜构成时,构成透明膜3的各个透明膜也可以以互异的材质构成。作为一例,透明膜3由3层透明膜3a~3c组成。图1的构成图中,用X轴及Y轴定义形成基板5的主面的二维平面,将基板5的厚度方向定义为Z轴。

[0060] 形状测定装置具备由落射光源12(照明装置)、滤光片14、会聚透镜16、半反射镜18、物镜20、成像透镜28及CCD(Coupled Charged Device:电荷耦合元件)相机30(拍摄装置)构成的头部10和控制整个装置的动作的控制用计算机40。头部10搭载于未图示Z载物台。Z载物台使头部10相对于基板5在垂直方向(Z轴方向)移动。

[0061] 落射光源12是例如白色LED(Light Emitting Diode:发光二极管)等的高亮度的白色光源。落射光源12采用白色光源时,不同于采用激光等的单一波长的光源的情况,仅仅在物镜20的焦点位置,干涉光强度达到最大。因此,适于测定对象物的形状。

[0062] 在落射光源12的射出部设置滤光片14。落射光源12射出的光经过滤光片14后,获得中心波长 λ_0 (nm)的白色光。另外,落射光源12采用白色LED时,滤光片14优选由使白色LED的发光频谱具有的2个波峰中的长波长侧的光选择性透过的低通滤光片构成。滤光片14的详细情况将后述。

[0063] 物镜20由二束干涉物镜组成。二束干涉物镜通过使光源射出的白色光分离为两个

光束,一方照射对象物的表面而另一方照射参照面,使来自对象物的表面的反射光与来自参照面的反射光干涉。本实施例中,物镜20采用二束干涉物镜,能够使焦点位置的干涉光强度达到最大。

[0064] 物镜20作为一例,由米劳型干涉物镜组成的。米劳型干涉物镜包含透镜22、参照镜24和分光器26。另外,物镜20也可以采用迈克尔逊型、林尼克型的干涉物镜。

[0065] 通过滤光片14的光由会聚透镜16会聚后,由半反射镜18向透镜22的方向反射。入射透镜22的光由分光器26分为沿着透明膜3的方向通过的光和向参照镜24的方向反射的光。由透明膜3的表面反射的光和由参照镜24的表面反射的光再次由分光器26合流,由透镜22会聚。然后,从透镜22出来的光通过半反射镜18后,经成像透镜28入射CCD相机30的拍摄面30a。

[0066] 控制用计算机40通过输出驱动信号使头部10和透明膜3相对于Z载物台在上下方向(Z轴方向)相对移动,将头部10定位到透明膜3的表面的上方的规定位置。定位头部10后,控制用计算机40还通过驱动Z载物台而使头部10在Z轴方向移动,从而使物镜20在光轴方向(Z轴方向)移动。从而,从透明膜3的表面到分光器26为止的Z轴方向的距离L2变化。根据该距离L2与从分光器26到参照镜24为止的Z轴方向的距离L1的差,在来自透明膜3的表面的反射光和来自参照镜24的反射光之间产生光程差。根据该光程差,来自透明膜3的表面的反射光和来自参照镜24的反射光发生干涉,从而产生干涉光。

[0067] 控制用计算机40使从透明膜3的表面到物镜20(分光器26)为止的Z轴方向的距离L2连续地变化,同时用CCD相机30拍摄多张由上述光程差发生的干涉光。

[0068] 半反射镜18及成像透镜28构成观察经由物镜20获得的干涉光的观察光学系统。由观察光学系统观察的干涉光由CCD相机30变换为图像信号(电气信号)。干涉光的强度即亮度在来自透明膜3的反射光和来自参照镜24的反射光的光程相等时最大。另外,此时,物镜20的焦点在透明膜3的表面对焦。

[0069] 这里,通过二光束物镜向单层的透明膜入射白色光时,白色光在透明膜的表面及透明膜的背面(透明膜和基板的边界)分别反射。图2是图1所示物镜20的部分的放大图。图2(a)是表示由来自透明膜的表面的反射光和来自参照镜24的反射光形成干涉光的情形。图2(b)表示由来自透明膜的背面的反射光和来自参照镜24的反射光形成干涉光的情形。

[0070] 参照图2(a),在来自透明膜的表面的反射光和来自参照镜24的反射光的光程相等时,来自透明膜的表面的反射光形成的干涉光的强度最大。另一方面,参照图2(b),在来自透明膜的背面的反射光和来自参照镜24的反射光的光程相等时,来自透明膜的背面的反射光形成的干涉光的强度最大。

[0071] 图2(b)中,若透明膜的折射率设为n,膜厚设为t,则反射光的光程比图2(a)长 $2nt$ 。

[0072] 图3是表示物镜20的位置Z变化时的干涉光的强度的变化的图。图中,横轴表示物镜20的位置Z,纵轴表示干涉光的强度。

[0073] 参照图3,干涉光的强度呈现2个波峰。一个波峰因来自透明膜的背面的反射光形成的干涉光的强度最大而呈现。另一个波峰因来自透明膜的表面的反射光形成的干涉光的强度最大而呈现。若一个波峰呈现时的物镜20的位置Z和另一个波峰呈现时的物镜20的位置Z的差设为距离D,则距离D是依赖于透明膜的膜厚t的值。详细地说,若透明膜的折射率设为n,则透明膜的膜厚t能够由 $D/(2n)$ 表达。

[0074] 如图1所示,本实施例中,透明膜3由2层以上的透明膜层叠形成。因此,从透明膜3的表面到分光器26为止的距离L2变化时,干涉光的强度呈现至少3个波峰。因而,控制用计算机40获取由CCD相机30拍摄的多张的图像后,根据获取到的多张图像,检测干涉光的强度所呈现的3个以上的波峰。然后,控制用计算机40根据检测到的3个以上的波峰分别对应的距离L2及各透明膜的折射率,检测各透明膜的膜厚。另外,控制用计算机40检测在各透明膜的表面形成的凹凸部的高度。

[0075] [透明膜的形状测定方法]

[0076] 以下,说明由本实施例的形状测定装置执行的透明膜的形状测定方法。本实施例的透明膜的形状测定例如在由墨水涂敷机构(未图示)在基板5的主面上涂敷多层透明的墨水的工序执行后,在测定墨水涂敷部的形状的工序中执行。

[0077] 图4是用于说明本实施例的形状测定装置的控制构成的功能方框图。参照图4,形状测定装置的控制结构由CCD相机30、获取装置42、处理装置44及驱动装置45构成。CCD相机30搭载于头部10。获取装置42、处理装置44及驱动装置45设于控制用计算机40的内部。

[0078] 驱动装置45使搭载头部10的Z载物台移动到搜索开始位置。若将当前的Z载物台的位置设为 Z_p ,Z载物台移动的范围即搜索范围设为 Δ ,则例如使Z载物台移动到初始位置($Z_p - \Delta/2$)。这里,将Z载物台的负极方向设为靠近基板5的方向,正方向设为远离基板5的方向。搜索设为从初始位置($Z_p - \Delta/2$)沿着正方向即Z载物台远离基板5的方向进行。从而,从初始位置($Z_p - \Delta/2$)沿着正方向搜索 Δ 的范围。另外,搜索方向不必是远离基板5的方向,也可以是靠近基板5的方向。

[0079] CCD相机30拍摄由半反射镜18及成像透镜28(图1)构成的观察光学系统25观察的干涉光。Z载物台开始移动,成为匀速状态后,获取装置42开始CCD相机30拍摄的图像的采样。Z载物台以预定速度 v ($\mu\text{m}/\text{秒}$)移动。Z载物台的移动速度 v ($\mu\text{m}/\text{秒}$)如下确定。若白色光的中心波长设为 λ (μm),CCD相机30的垂直同步信号的频率设为 F (Hz),则移动速度 v ($\mu\text{m}/\text{秒}$)确定为在图像的采样周期 $1/F$ (秒)的期间使Z载物台仅仅移动 $\lambda/8$ (μm)。该移动速度 v 按白色光的相位增量与 $\pi/2$ 相当,满足奈奎斯特原理。通过使相位每隔 $\pi/2$ 变化,能够容易地检测干涉光强度的波峰。

[0080] 获取装置42以一定周期(最好CCD相机30的垂直同步信号的周期)进行图像的采样。具体地说,获取装置42以CCD相机30的垂直同步信号作为触发信号,开始图像的采样。然后,获取装置42在图像的采样结束后,立即将采样图像向处理装置44传送。此时,获取装置42向处理装置44的存储部46直接地传送图像。该图像传送采用例如DMA(Direct Memory Access:直接内存访问)传送。获取装置42进行的图像的采样及传送以图像的采样周期1/F(秒)反复执行。

[0081] 处理装置44包含存储部46和中央处理部48。图像 f_i 以图像的采样周期 $1/F$ (秒)从获取装置42传送到存储部46。另外,采样图像按拍摄顺序附上图像编号。图像 f_i 表示第i个拍摄的图像。图像编号i取*i*=1,2,·N(N是3以上的整数)的值。即,合计N张的图像 f_1 ~ f_N 传送到存储部46。

[0082] 存储部46按照顺序存储从获取装置42传送的图像 f_i 。中央处理部48向存储部46传送图像 f_i 后,紧接着执行第1阶段处理即检测干涉光强度的波峰的处理。中央处理部48通过后述的方法,对构成图像 f_i 的多个像素的各像素,检测亮度值成为波峰时的图像编号。

[0083] 上述的第1阶段处理结束后,中央处理部48根据按像素检测的与3个以上的波峰分别对应的3个以上的图像编号,执行检测各透明膜的膜厚或各透明膜中的凹凸部的高度的第2阶段处理。该第2阶段处理中,通过比较检测的透明膜的膜厚和规定的阈值,能够判定基板5的主面上涂敷的墨水是否具有期望的膜厚。

[0084] 另外,按像素算出的透明膜的膜厚的合计值能够视为基板5的主面上涂敷的墨水的体积。从而,通过比较各像素的透明膜的膜厚的合计值和规定的阈值,能够判定墨水的涂敷量是否达到期望的涂敷量。

[0085] 图5是本实施例的形状测定方法所涉及的流程图。另外,图5所示流程图能够通过执行控制用计算机40中预先存储的程序而实现。

[0086] 参照图5,获取装置42以图像的采样周期 $1/F$ (秒)进行图像的采样(步骤S10)。获取装置42在图像编号*i*的图像 f_i 的采样结束后,向处理装置44的存储部46直接地传送采样的图像 f_i (步骤S20)。存储部46按照顺序存储传送的图像 f_i 。

[0087] 处理装置44的中央处理部48向存储部46传送图像 f_i 后,作为第1阶段处理(波峰检测处理),对构成图像 f_i 的各像素,检测亮度值成为波峰时的图像编号(步骤S30)。中央处理部48使该波峰检测处理在传送下一个的第(*i*+1)个图像 f_{i+1} 的时刻之前就结束。即,第1阶段处理在图像的采样周期 $1/F$ (秒)的期间执行。中央处理部48将按像素检测的亮度值成为波峰的图像编号存储到存储部46(步骤S40)。

[0088] 接着,中央处理部48判定在搜索范围内的全部图像的采样是否结束(步骤S50)。第*N*个图像 f_N 的采样未结束时(步骤S50中为否),判定搜索范围内的图像的采样未结束,处理返回开头。

[0089] 另一方面,第*N*个图像 f_N 的采样结束时(步骤S50中为是),中央处理部48判定搜索范围内的全部图像的采样结束,执行第2阶段处理(形状检测处理)。中央处理部48根据存储部46存储的按像素亮度值成为波峰的图像编号,检测各透明膜的膜厚或各透明膜中的凹凸部的高度(步骤S60)。

[0090] (波峰检测处理)

[0091] 以下,详细说明第1阶段处理即波峰检测处理(图5的步骤S30)的步骤。波峰检测处理中,如上所述,按构成图像 f_i 的像素检测亮度值成为波峰的图像编号。

[0092] 图6汇总了波峰检测处理中使用的各种变量的定义。参照图6,用座标(x,y)特定构成第*i*个图像 f_i 的各像素。 $f_i(x,y)$ 表示第*i*个图像 f_i 上的一个像素(x,y)的亮度值。

[0093] 图7是表示图像 f_i 上的一个像素(x,y)的亮度值 $f_i(x,y)$ 和图像编号*i*的关系的图。图中,横轴表示图像编号*i*($1 \leq i \leq N$),纵轴表示像素(x,y)的亮度值 $f_i(x,y)$ 。图中的黑圈表示在图像 f_i 的采样中实际取得的亮度值 $f_i(x,y)$ 。另一方面,图中的实线表示搜索范围内的像素(x,y)的位置的干涉光强度的变化。

[0094] 参照图7,干涉光强度在特定的图像编号的附近呈现波峰。与之伴随,特定的图像编号的附近的亮度值 $f_i(x,y)$ 也呈现波峰。干涉光强度的波峰点对应的Z载物台的位置是像素(x,y)的焦点位置。中央处理部48根据亮度值 $f_i(x,y)$ 和图像编号*i*的关系,检测与像素(x,y)的位置的干涉光强度的波峰对应的图像编号。

[0095] 图8是表示图5的步骤S30的处理(波峰检测处理)的详细步骤的流程图。参照图8,中央处理部48取得第*k*个($1 < k < N$)图像 f_k 时,用合计*k*张图像开始波峰检测处理。

[0096] 中央处理部48首先取得第i个图像 f_i 后(步骤S01),用包含图像 f_i 的k张图像,算出像素(x,y)的亮度值的平均值a(以下,称为“亮度平均值”) (步骤S02)。具体地说,采用从第(i-k+1)个图像 f_{i-k+1} 到第i个图像 f_i 的合计k张图像,由下式(1)算出亮度平均值a。

[0097] [式1]

$$[0098] a = \frac{\sum_{n=i-k+1}^i f_i(x, y)}{k} \quad (1)$$

[0099] 接着,中央处理部48采用算出的亮度平均值a,算出各像素的亮度值 $f_i(x, y)$ 的相对值(以下,称为“亮度相对值”)。具体地说,若图像 f_i 上的像素(x,y)的亮度相对值设为 $d_i(x, y)$,则亮度相对值 $d_i(x, y)$ 如下式(2)所示,与相对于亮度平均值a的亮度值 $f_i(x, y)$ 的偏差相当。

[0100] [式2]

$$[0101] d_i(x, y) = |f_i(x, y) - a_i(x, y)| \quad (2)$$

[0102] 接着,中央处理部48比较图像 f_i 的各像素的亮度相对值 $d_i(x, y)$ 和规定的阈值 T_f 。中央处理部48将亮度相对值 $d_i(x, y)$ 成为阈值 T_f 以上的像素(x,y)设定成亮度值 $f_i(x, y)$ 呈现波峰的像素的候补(以下,称为“候补像素”)。这样,中央处理部48从构成图像 f_i 的多个像素中提取出候补像素(x,y)(步骤S03)。

[0103] 接着,中央处理部48对提取出的候补像素(x,y)检测亮度值的波峰。首先,中央处理部48设定表示候补像素(x,y)的波峰的检测状态的旗标 $F(x, y)$ 。旗标 $F(x, y)$ 如图6所示,在未检测到亮度值的波峰状态时设定成值“0”。另一方面,在搜索到亮度值的波峰的状态时,将旗标 $F(x, y)$ 设定成值“1”。另外,在搜索相邻的2个波峰间出现的“波谷”的状态时,将旗标 $F(x, y)$ 设定成值“2”。中央处理部48在参照旗标 $F(x, y)$ 的同时,检测候补像素(x,y)的亮度值的波峰。

[0104] 具体地说,首先,中央处理部48判定是否旗标 $F(x, y) = 0$ (步骤S04)。旗标 $F(x, y) = 0$ 时(步骤S04中为是),中央处理部48执行搜索亮度值的波峰的处理(波峰搜索处理)(步骤S05)。

[0105] 波峰搜索处理中,根据亮度相对值 $d_i(x, y)$,按图像编号从小到大的顺序检测与在亮度值 $f_i(x, y)$ 呈现的多个波峰对应的多个图像编号。以下的说明中,一个像素(x,y)中,将检测到的波峰的个数设为 $c(x, y)$,最新的波峰候补的图像编号设为 $p_{\max}(x, y)$,最新的波峰候补的强度(相对亮度值)设为 $d_{\max}(x, y)$ 。另外,将最新的波谷候补的图像编号设为 $p_{\min}(x, y)$,最新的波谷候补的强度(相对亮度值)设为 $d_{\min}(x, y)$,最新的波峰的图像编号设为 $n(x, y)$ 。这些值都在搜索开始前的初始状态下初始化为值“0”。

[0106] 另外,本实施例中,作为一例,设定波峰个数 $c(x, y)$ 的上限值 $N_p = 4$ 。检测到的波峰的图像编号按照检测的顺序存储为 $n_j(x, y)$ ($1 \leq j \leq N_p$)。初始状态下,波峰的图像编号 $n_1(x, y) \sim n_{N_p}(x, y)$ 的值全部初始化为“-1”。

[0107] 存储部46具有存储单元二维排列而成的存储区域,使得与CCD相机30的分辨率具有相同的分辨率。在各存储单元存储对应的像素(x,y)的 $F, c, p_{\max}, p_{\min}, d_{\max}, d_{\min}, n, n_j$ 。即,存储部46保存 $F, c, p_{\max}, p_{\min}, d_{\max}, d_{\min}, n, n_j$ 的合计8个二维排列。

[0108] 图9是图8的步骤S05的处理中的波峰搜索过程的说明图。图9表示搜索第一个波峰

的过程。图中的黑圈表示实际取得的亮度值 $f_i(x, y)$ ，实线表示亮度值 $f_i(x, y)$ 的推移。另一方面，图中的虚线表示下一个图像 f_{i+1} 以后预测的亮度值 $f_i(x, y)$ 的推移。另外，设定波峰个数 $c(x, y) = 0$ (初始值)。

[0109] 参照图9，中央处理部48算出最新的波峰的图像编号 $n(x, y)$ 和图像编号 i 的差 Δ_i 。该差 Δ_i 与从最新的波峰的图像编号 $n(x, y)$ 到图像编号 i 为止的图像数相当。第一个波峰的搜索中， $n(x, y) = 0$ (初始值)，因此图像数 $\Delta_i = i$ 。中央处理部48比较图像数 Δ_i 和阈值 T_d 。第一个波峰的搜索中，阈值 T_d 设定成与图像数 Δ_i 相等的值。从而，第一个波峰的搜索中， $\Delta_i \geq T_d$ 的关系总是成立。

[0110] 中央处理部48比较像素 (x, y) 的亮度相对值 $d_i(x, y)$ 和最新的波峰候补的强度 $d_{max}(x, y)$ 。亮度相对值 $d_i(x, y)$ 比 $d_{max}(x, y)$ 大时，中央处理部48将 $d_{max}(x, y)$ 的值更新为亮度相对值 $d_i(x, y)$ ，即 $(d_{max}(x, y) = d_i(x, y))$ 。中央处理部48还将最新的波峰候补的图像编号 $p_{max}(x, y)$ 更新为 i ，即 $(p_{max}(x, y) = i)$ (步骤S06)。另外，中央处理部48将最新的波峰的图像编号 $n(x, y)$ 设定成 i 。另一方面，亮度相对值 $d_i(x, y)$ 为 $d_{max}(x, y)$ 以下时，中央处理部48不更新 $d_{max}(x, y)$ 及 $p_{max}(x, y)$ 。

[0111] 中央处理部48还将旗标 $F(x, y)$ 设定成值“1”(步骤S07)。设定旗标 $F(x, y)$ 后，处理返回开头。

[0112] 返回图8，在旗标 $F(x, y)$ 非0时(步骤S04中为否)，接着，中央处理部48判定是否旗标 $F(x, y) = 1$ (步骤S08)。旗标 $F(x, y) = 1$ 时(步骤S08中为是)，中央处理部48执行确定亮度值的波峰的处理(波峰确定处理) (步骤S09)。

[0113] 图10是图8的步骤S09的处理中的波峰确定过程的说明图。图10表示确定第一个波峰的过程。与图9同样，图中的黑圈表示实际取得的亮度值 $f_i(x, y)$ ，实线表示亮度值 $f_i(x, y)$ 的推移。另一方面，图中的虚线表示下一个图像 f_{i+1} 以后预测的亮度值 $f_i(x, y)$ 的推移。另外，设定波峰个数 $c(x, y) = 0$ (初始值)。

[0114] 参照图10，中央处理部48算出最新的波峰候补的图像编号 $p_{max}(x, y)$ 和图像编号 i 的差 Δ_w 。该差 Δ_w 与从最新的波峰候补的图像编号 $p_{max}(x, y)$ 到图像编号 i 为止的图像数相当。中央处理部48比较图像数 Δ_w 和预定的阈值 T_w 。图像数 Δ_w 比阈值 T_w 大时，中央处理部48将 $p_{max}(x, y)$ 确定为波峰的图像编号，将最新的波峰的图像编号 $n(x, y)$ 设定成 $p_{max}(x, y)$ 。中央处理部48使波峰个数 $c(x, y)$ 向上计数(加一) (步骤S10)。

[0115] 中央处理部48还将旗标 $F(x, y)$ 设定成值“2”(步骤S11)。在旗标 $F(x, y)$ 设定后，处理返回开头。另一方面，图像数 Δ_w 为阈值 T_w 以下时，维持旗标 $F(x, y) = 1$ 的同时，处理返回开头。

[0116] 返回图8，在旗标 $F(x, y)$ 非1时(步骤S08中为否)，即，旗标 $F(x, y) = 2$ 时，中央处理部48执行搜索亮度值的波峰和波峰之间的波谷的处理(波谷搜索处理) (步骤S12)。

[0117] 图11是图8的步骤S 12的处理中的波谷搜索过程的说明图。图11表示搜索第一个波峰和第二个波峰之间的波谷的过程。图中的黑圈表示实际取得的亮度值 $f_i(x, y)$ ，实线表示亮度值 $f_i(x, y)$ 的推移。另一方面，图中的虚线表示下一个图像 f_{i+1} 以后预测的亮度值 $f_i(x, y)$ 的推移。

[0118] 参照图11，中央处理部48比较像素 (x, y) 的亮度相对值 $d_i(x, y)$ 和最新的波谷候补的强度 $d_{min}(x, y)$ 。亮度相对值 $d_i(x, y)$ 比 $d_{min}(x, y)$ 小时，中央处理部48将 $d_{min}(x, y)$ 的值更新

为亮度相对值 $d_i(x, y)$ ，即 $(d_{\min}(x, y) = d_i(x, y))$ 。中央处理部48还将最新的波谷候补的图像编号 $p_{\min}(x, y)$ 更新为 i ，即 $(p_{\min}(x, y) = i)$ 。

[0119] 另一方面，亮度相对值 $d_i(x, y)$ 为 $d_{\min}(x, y)$ 以上时，中央处理部48执行确定亮度值的波谷的处理（波谷确定处理）（步骤S13）。图12是图8的步骤S13的处理中的波谷确定过程的说明图。图12表示确定第一个波峰和第二个波峰之间的波谷的过程。图中的黑圈表示实际取得的亮度值 $f_i(x, y)$ ，实线表示亮度值 $f_i(x, y)$ 的推移。另一方面，图中的虚线表示下一个图像 f_{i+1} 以后预测的亮度值 $f_i(x, y)$ 的推移。

[0120] 参照图12，中央处理部48算出最新的波谷候补的图像编号 $p_{\min}(x, y)$ 和图像编号 i 的差 Δw 。该差 Δw 与从最新的波谷候补的图像编号 $p_{\min}(x, y)$ 到图像编号 i 为止的图像数相当。中央处理部48比较图像数 Δw 和阈值 T_w 。图像数 Δw 比阈值 T_w 大时，中央处理部48将 $p_{\min}(x, y)$ 确定为波谷的图像编号。

[0121] 接着，中央处理部48为了转移到第二个波峰的搜索处理，将最新的波峰候补的强度 $d_{\max}(x, y)$ 的值初始化为“0”（步骤S14）。中央处理部48还通过将旗标 $F(x, y)$ 设定成值“0”，返回亮度值的波峰未被检测的状态（步骤15）。

[0122] 如上所述，检测到亮度值 $f_i(x, y)$ 的波谷后，通过设定旗标 $F(x, y) = 0$ ，执行第二个波峰的搜索处理（步骤S05）及第二个波峰的确定处理（步骤S09）。中央处理部48通过与上述第一个波峰的搜索处理及确定处理同样的步骤，执行第二个波峰的搜索处理及确定处理。

[0123] 图13是第二个波峰的搜索过程的说明图。图中的黑圈表示实际取得的亮度值 $f_i(x, y)$ ，实线表示亮度值 $f_i(x, y)$ 的推移。另一方面，图中的虚线表示下一个图像 f_{i+1} 以后预测的亮度值 $f_i(x, y)$ 的推移。另外，设定波峰个数 $c(x, y) = 1$ 。

[0124] 参照图13，中央处理部48算出最新的波峰的图像编号 $n(x, y)$ 和图像编号 i 的差 Δi 。该差 Δi 与从最新的波峰的图像编号 $n(x, y)$ 到图像编号 i 为止的图像数相当。中央处理部48比较图像数 Δi 和阈值 T_d 。阈值 T_d 在第二个以后的波峰的搜索过程中设定成规定值。

[0125] 中央处理部48比较像素 (x, y) 的亮度相对值 $d_i(x, y)$ 和最新的波峰候补的强度 $d_{\max}(x, y)$ 。亮度相对值 $d_i(x, y)$ 比 $d_{\max}(x, y)$ 大时，中央处理部48将 $d_{\max}(x, y)$ 的值更新为亮度相对值 $d_i(x, y)$ ，即 $(d_{\max}(x, y) = d_i(x, y))$ 。中央处理部48还将最新的波峰候补的图像编号 $p_{\max}(x, y)$ 更新为 i ，即 $(p_{\max}(x, y) = i)$ 。另外，中央处理部48将最新的波峰的图像编号 $n(x, y)$ 设定成 i ，并且将旗标 $F(x, y)$ 设定成值“1”。从而，执行第二个波峰的确定处理。

[0126] 中央处理部48在第1阶段处理即波峰检测处理（图5的步骤S30）中，反复执行上述波峰搜索处理、波峰确定处理、波谷搜索处理及波谷确定处理，直到波峰个数 $c(x, y)$ 达到上限值 N_p 。从而，对于图像 f_i 上的各像素 (x, y) ，亮度值成为波峰的图像编号 $n_j(x, y)$ 被检测到 N_p 个，存储于存储部46。

[0127] 本实施例中，中央处理部48使用从获取装置42向存储部46传送图像 f_i 的时刻到获取装置42开始下一个图像 f_{i+1} 的采样的时刻的期间来执行第1阶段处理即波峰检测处理。例如在CCD相机30的分辨率设为 640×480 ，亮度值 $f_i(x, y)$ 假定为1字节时，从获取装置42向存储部46传送的图像数据的尺寸成为307,200字节。另一方面，CCD相机30的垂直同步信号的频率若设为120Hz，则图像的采样周期成为1/120秒。从而，获取装置42按1/120秒（约8.3毫秒）获取307,200字节的图像数据，向处理装置44的存储部46传送。从获取装置42向存储部46的数据传送能够通过采用DMA传送以约2毫秒的时间进行。从而，处理装置44利用从采样周

期即约8.3m秒中减去数据传送所需的约2m秒后的约6.3m秒的时间,执行第1阶段处理。

[0128] 这样,按图像的采样周期,利用数据传送后的空闲时间执行第1阶段处理。从而,在搜索范围内的全部图像的采样结束时,波峰的图像编号按照检测的顺序存储在存储部46的二维排列 n_j 。

[0129] (形状测定处理)

[0130] 接着,详细说明第2阶段处理即形状检测处理(图5的步骤S60)的步骤。

[0131] 如上所述,存储部46合计存储 N_p 个保持波峰的图像编号的二维排列 n_j 。其中的 n_1 存储第一个波峰的图像编号。 n_2, n_3, \dots, n_{N_p} 分别存储第二个以后的波峰的图像编号。

[0132] 中央处理部48从二维排列 n_1 按照顺序求出亮度值成为波峰的准确的图像编号。具体地说,中央处理部48参照二维排列 n_j ,对各像素读出波峰的图像编号 $p (= n_j(x, y))$ 。然后,中央处理部48采用以波峰的图像编号 p 的图像 f_p 为中心的前后 $\pm n$ 张的合计 $(2n+1)$ 张的图像,求出对比度值 $M_i \# (x, y)$ 的波峰点。

[0133] 用图14说明对比度值 $M_i \#$ 。图14(a)是表示图像编号 i 和亮度值 $f_i(x, y)$ 的关系的图。图14(b)是表示图像编号 i 和对比度值 $M_i \# (x, y)$ 的关系的图。图14(c)是表示Z载物台的位置和移动速度的关系的图。

[0134] 图14(a)~(c)中,亮度值 $f_i(x, y)$ 及对比度值 $M_i \# (x, y)$ 都在图像编号 p 的附近呈现波峰。该波峰点对应的Z载物台的位置是像素 (x, y) 的焦点位置。

[0135] 对比度值 $M_i \# (x, y)$ 表示图14(a)所示亮度值 $f_i(x, y)$ 的包络线。采用以图像 f_i 为中心的前后 ± 2 张的合计5张的图像 $f_{i-2}, f_{i-1}, f_i, f_{i+1}, f_{i+2}$ 的亮度值,由下式(3)算出对比度值 $M_i \#$ 。

[0136] [式3]

[0137] $M_i \# = (f_{i-1}(x, y) - f_{i+1}(x, y))^2 - (f_{i-2}(x, y) - f_i(x, y))(f_i(x, y) - f_{i+2}(x, y)) \quad (3)$

[0138] 中央处理部48对以图像编号 p 的图像 f_p 为中心的合计 $(2n+1)$ 张的图像 $f_{p-n}, f_{p-n+1}, \dots, f_{p-1}, f_p, f_{p+1}, \dots, f_{p+n-1}, f_{p+n}$,分别用上述式(3)算出对比度值 $M_i \# (x, y)$ 。即,中央处理部48算出合计 $(2n+1)$ 个对比度值 $M_{p-n} \#, M_{p-n+1} \#, \dots, M_{p-1} \#, M_p \#, M_{p+1} \#, \dots, M_{p+n-1} \#, M_{p+n} \#$ 。

[0139] 如图14(b)所示,对比度值 $M_i \#$ 具有以波峰点为中心的左右对称的山峰的倾向。因此,采用二次函数或高斯函数,能够近似为表示对比度值 $M_i \#$ 的曲线。因而,中央处理部48用二次函数或高斯函数来近似对比度值 $M_i \#$,从求出的函数求出对比度值 $M_i \#$ 成为波峰的图像编号 p 。然后,将图像编号 p 对应的Z载物台的位置设为像素 (x, y) 的高度。另外,图像编号 p 对应的Z载物台位置若设为 $Z_j(x, y)$,则 $Z_j(x, y)$ 能够采用白色光的中心波长 λ 由下式(4)表达。

[0140] [式4]

$$[0141] Z_j(x, y) = \frac{\lambda}{8} p \quad (4)$$

[0142] 另外,本实施例中,说明了由二次函数或高斯函数近似对比度值 $M_i \#$ 的构成,但是,也可以求出 $(2n+1)$ 个对比度值 $M_i \#$ 的重心位置,将求出的重心位置作为波峰点。该重心位置表示图14(b)所示的左右对称数据的中心位置。表示重心位置的图像编号 p 所对应的Z载物台位置 $Z_j(x, y)$ 能够用下式(5)算出。

[0143] [式5]

$$[0144] Z_j(x, y) = \frac{\sum_{j=i-n}^{i+n} M_j \# \times Z_j}{\sum_{j=i-n}^{i+n} M_j \#} \quad (5)$$

[0145] 如上所述,中央处理部48根据二维排列 n_j ,按像素 (x, y) 求出与对比度值 $Mi\#(x, y)$ 成为波峰的图像编号 p 对应的 Z 载物台位置 $Z_j(x, y)$ 。即,中央处理部48与二维排列 n_1, n_2, \dots, n_{N_p} 分别对应地算出合计 N_p 个 Z 载物台位置 $Z_1(x, y)、Z_2(x, y)、\dots Z_{N_p}(x, y)$ 。算出的 N_p 个 Z 载物台位置存储于存储部46。

[0146] 接着,中央处理部48采用存储部46存储的 Z 载物台位置 $Z_j(x, y)$ ($1 \leq j \leq N_p$),算出构成透明膜3的透明膜3a~3c(图1)各自的膜厚。

[0147] 图15是各透明膜的膜厚的算出方法的说明图。参照图15,透明膜3由3层透明膜3a~3c构成时,算出合计4个 Z 载物台位置 $Z_1(x, y)、Z_2(x, y)、Z_3(x, y)、Z_4(x, y)$ 。 Z 载物台位置 $Z_1(x, y)$ 是与第一个波峰的图像编号 $n_1(x, y)$ 对应的 Z 载物台位置。第一个波峰的图像编号 $n_1(x, y)$ 表示来自最下层的透明膜3c的背面的反射光形成的干涉光的强度成为波峰的图像编号。

[0148] Z 载物台位置 $Z_2(x, y)$ 是与第二个波峰的图像编号 $n_2(x, y)$ 对应的 Z 载物台位置。第二个波峰的图像编号 $n_2(x, y)$ 表示来自透明膜3c的表面(中间的透明膜3b的背面)的反射光形成的干涉光的强度成为波峰的图像编号。

[0149] Z 载物台位置 $Z_3(x, y)$ 是第三个波峰的图像编号 $n_3(x, y)$ 对应的 Z 载物台位置。第三个波峰的图像编号 $n_3(x, y)$ 表示来自透明膜3b的表面(最上层的透明膜3a的背面)的反射光形成的干涉光的强度成为波峰的图像编号。

[0150] Z 载物台位置 $Z_4(x, y)$ 是与第四个波峰的图像编号 $n_4(x, y)$ 对应的 Z 载物台位置。第四个波峰的图像编号 $n_4(x, y)$ 表示来自透明膜3a的表面的反射光形成的干涉光的强度成为波峰的图像编号。

[0151] 这里,算出最下层的透明膜3c的膜厚时,通过下式(6)算出 Z 载物台位置 $Z_1(x, y)$ 和 Z 载物台位置 $Z_2(x, y)$ 的差 D_c 。若透明膜3c的折射率设为 n_c ,则透明膜3c的膜厚 t_c 能够由下式(7)算出。

[0152] [式6]

$$[0153] D_c = |Z_1(x, y) - Z_2(x, y)| \quad (6)$$

[0154] [式7]

$$[0155] t_c = \frac{D_c}{n_c} \quad (7)$$

[0156] 通过同样的手法,能够采用 Z 载物台位置 $Z_2(x, y)$ 和 Z 载物台位置 $Z_3(x, y)$ 的差 D_b 及透明膜3b的折射率 n_b 由下式(8)算出透明膜3b的膜厚 t_b 。

[0157] [式8]

$$[0158] t_b = \frac{D_b}{n_b} = \frac{|Z_2(x, y) - Z_3(x, y)|}{n_b} \quad (8)$$

[0159] 另外,能够采用 Z 载物台位置 $Z_3(x, y)$ 和 Z 载物台位置 $Z_4(x, y)$ 的差 D_a 及透明膜3a的

折射率 n_a ，由下式(9)算出透明膜3a的膜厚 t_a 。

[0160] [式9]

$$[0161] t_a = \frac{D_a}{n_a} = \frac{|Z_3(x, y) - Z_4(x, y)|}{n_a} \quad (9)$$

[0162] 中央处理部48通过将算出的透明膜3a、3b、3c的膜厚 t_a 、 t_b 、 t_c 分别与阈值比较，能够判定涂敷的墨水是否为期望的膜厚。另外，各透明膜中，按像素算出的膜厚 t 的合计值能够视为透明膜的体积。从而，通过比较该合计值和阈值，能够判定涂敷的墨水的量是否为期望的涂敷量。

[0163] 而且，中央处理部48能够用Z载物台位置 $Z_j(x, y)$ 算出在透明膜的表面形成的凹凸部的高度。例如，Z载物台位置 $Z_2(x, y)$ 表示像素 (x, y) 中的透明膜3c的表面的高度。从而，通过在多个像素间比较Z载物台位置 $Z_2(x, y)$ ，能够算出透明膜3c中的凹凸部的高度。

[0164] 另外，本实施例中，通过尽可能扩展照射透明膜的白色光的波长域，能够缩短干涉光中的可干涉距离。图16是干涉光中的可干涉距离的说明图。图16表示从透明膜的表面到物镜为止的距离变化时的干涉光的强度的变化。图中，横轴表示从透明膜的表面到物镜为止的距离，纵轴表示干涉光的强度。

[0165] 参照图16，可干涉距离表示由物镜的分光器分割的白色光干涉的最大光程差。若白色光的中心波长设为 λ_0 ，波长域设为 $\Delta\lambda$ ，则可干涉距离 L 可用下式(10)表达。根据下式(10)，例如白色光的中心波长 $\lambda_0=560\text{nm}$ ，波长域 $\Delta\lambda=200\text{nm}$ 时，可干涉距离 $L=1568\text{nm}$ 。

[0166] [式10]

$$[0167] L = \frac{(\lambda_0)^2}{\Delta\lambda} \quad (10)$$

[0168] 图3所示的干涉光强度的波形中，通过缩短各干涉光的可干涉距离，能够减小来自透明膜的表面的反射光形成的干涉光和来自透明膜的背面的反射光形成的干涉光的重叠。从而，能够容易地分离2个干涉光。

[0169] 本实施例中，落射光源12(图1)采用白色LED。白色LED的发光频谱具有波长450nm及560nm的2个波峰。波长450nm的波峰的附近与波长560nm的波峰的附近比较，频谱幅度较窄，因此，设白色光的中心波长 $\lambda_0=450\text{nm}$ 时，无法扩展波长域 $\Delta\lambda$ 。

[0170] 因而，本实施例中，为了设白色光的中心波长 $\lambda_0=560\text{nm}$ ，用滤光片14使波长560nm附近的光选择性透过。作为这样的滤光片14，能够采用在白色光的发光频谱中，以波长450nm的波峰和波长560nm的波峰之间的波谷所对应的波长480nm附近为边界，使长波长侧的白色光通过的低通滤光片。从而，能够获得200nm以上的波长域 $\Delta\lambda$ ，因此能够缩短可干涉距离 L 。从而，能够容易地分离来自透明膜的表面的反射光形成的干涉光和来自透明膜的背面的反射光形成的干涉光。

[0171] [涂敷装置的构成]

[0172] 最后，作为应用本实施例的形状测定装置的装置的一例，说明涂敷装置的概要。

[0173] 图17是表示本实施例的涂敷装置1的整体结构的立体图。本实施例的涂敷装置1构成为能够在基板5的主面上涂敷多层透明的墨水(液状材料)。参照图17，涂敷装置1具备：由观察光学系统2、CCD相机30、切割用激光装置4、墨水涂敷机构7及墨水固化用光源6构成的

涂敷头部；使该涂敷头部相对于涂敷对象的基板5在垂直方向(Z轴方向)移动的Z载物台8；搭载Z载物台8并在X轴方向移动的X载物台9；搭载基板5并在Y轴方向移动的Y载物台11；控制整个装置的动作的控制用计算机40；显示由CCD相机30拍摄的图像等的监视器50；以及用于向控制用计算机40输入来自操作者的指令的操作面板52。

[0174] 观察光学系统2包含照明用光源，观察基板5的表面状态、由墨水涂敷机构7涂敷的墨水的状态。由观察光学系统2观察的图像通过CCD相机30变换为电气信号，由监视器50显示。切割用激光装置4经由观察光学系统2向基板5上的无用部分照射激光并除去。

[0175] 墨水涂敷机构7在基板5的主面上涂敷墨水。墨水固化用光源6包含例如CO₂激光，向由墨水涂敷机构7涂敷的墨水照射激光使之固化。

[0176] 另外，该装置结构是一例，例如，可以采用使搭载观察光学系统2等的Z载物台8搭载于X载物台，而且使X载物台搭载于Y载物台并使Z载物台8能够在XY方向移动的称为龙门式的结构，只要能够使搭载观察光学系统2等的Z载物台8相对于对象的基板5在XY方向相对地移动的结构，则可以是任何的结构。

[0177] 接着，说明采用多个涂敷针的墨水涂敷机构的例。图18是表示观察光学系统2及墨水涂敷机构7的主要部分的立体图。参照图18，该涂敷装置1具备可动板15、倍率不同的多个(例如5个)物镜19以及用于涂敷不同材质组成的墨水的多个(例如5个)涂敷单元17。

[0178] 可动板15设为能够在观察光学系统2的观察镜筒2a的下端和基板5之间沿着X轴方向及Y轴方向移动。另外，在可动板15形成例如5个贯通孔15a。

[0179] 物镜19在Y轴方向以规定的间隔并分别与贯通孔15a对应地固定到可动板15的底面。5个涂敷单元17分别与5个物镜19相邻配置。通过使可动板15移动，能够在对象的基板5的上方配置期望的涂敷单元17。

[0180] 图19(a)～(c)是从图18的A方向观察主要部分的图，是表示墨水涂敷动作的图。涂敷单元17包含涂敷针170和墨盒1172。首先，如图19(a)所示，使期望的涂敷单元17的涂敷针170定位在对象的基板5的上方。此时，涂敷针170的前端部浸渍在墨盒1172内的墨水内。

[0181] 然后，如图19(b)所示，使涂敷针170下降，使涂敷针170的前端部从墨盒1172的底部的孔突出。此时，在涂敷针170的前端部附着墨水。接着，如图19(c)所示，使涂敷针170及墨盒1172下降，使涂敷针170的前端部与基板5接触，在基板5涂敷墨水。然后，返回图19(a)的状态。

[0182] 除此之外，采用多个涂敷针的墨水涂敷机构的各种技术是已知的，因此详细的说明省略。例如记载于专利文献1等。涂敷装置1通过采用例如图18所示的机构作为墨水涂敷机构7，能够涂敷多个墨水中的期望的墨水，另外，能够采用多个涂敷针中期望涂敷径的涂敷针来涂敷墨水。

[0183] 本实施例的形状测定装置的头部10(图1)设于例如涂敷装置1的观察光学系统2。控制用计算机40控制墨水涂敷机构7进行墨水涂敷动作后，通过使Z载物台8移动，使头部10定位在墨水涂敷部(透明膜)的表面的上方的规定位置。控制用计算机40还使Z载物台8相对于基板5移动的同时，由CCD相机30拍摄干涉光的图像。控制用计算机40按像素检测干涉光强度成为波峰的Z载物台位置，用检测的Z载物台位置，算出墨水涂敷部(透明膜)的膜厚或凹凸部的高度。

[0184] (作用效果)

[0185] 根据本发明实施例的形状测定装置、涂敷装置及形状测定方法,能够使2个以上的透明膜层叠形成的透明膜和物镜在上下方向相对移动的同时拍摄多张图像,按构成拍摄的图像的像素,检测在干涉光的强度呈现的3个以上的波峰。从而,能够检测各透明膜的膜厚及在各透明膜的表面形成的凹凸部的高度。

[0186] 另外,按构成图像的像素检测亮度值成为波峰的图像编号的第1阶段处理中,通过采用了各像素的亮度值的简单运算处理,能够检测在亮度值的变化呈现的3个以上的波峰。从而,控制用计算机不要求高运算处理能力,因此能够简易且廉价地构成形状测定装置。

[0187] 而且,上述第1阶段处理能够利用拍摄装置的拍摄周期内的空闲时间(图像传送后的空闲时间)进行,因此,能够减轻全部图像的拍摄结束后的数值运算处理。其结果,能够缩短形状测定工序的操作时间。

[0188] 应该认为本次公开的实施例只是在全部的方面进行例示而不是限制。本发明的范围不是由上述说明而是由权利要求的范围说明,包含与权利要求的范围均等的意味及范围内的全部变更。

[0189] 标号说明

[0190] 1涂敷装置,2、25观察光学系统,2a观察镜筒,3、3a～3c透明膜,4切割用激光装置,5基板,6墨水固化用光源,7墨水涂敷机构,8Z载物台,9X载物台,10头部,11Y载物台,12落射光源,14滤光片,15可动板,15a贯通孔,16会聚透镜,17涂敷单元,18半反射镜,19、20物镜,22透镜,24参照镜,26分光器,28成像透镜,30CCD相机,30a拍摄面,40控制用计算机,42获取装置,44处理装置,45驱动装置,46存储部,48中央处理部,50监视器,52操作面板。

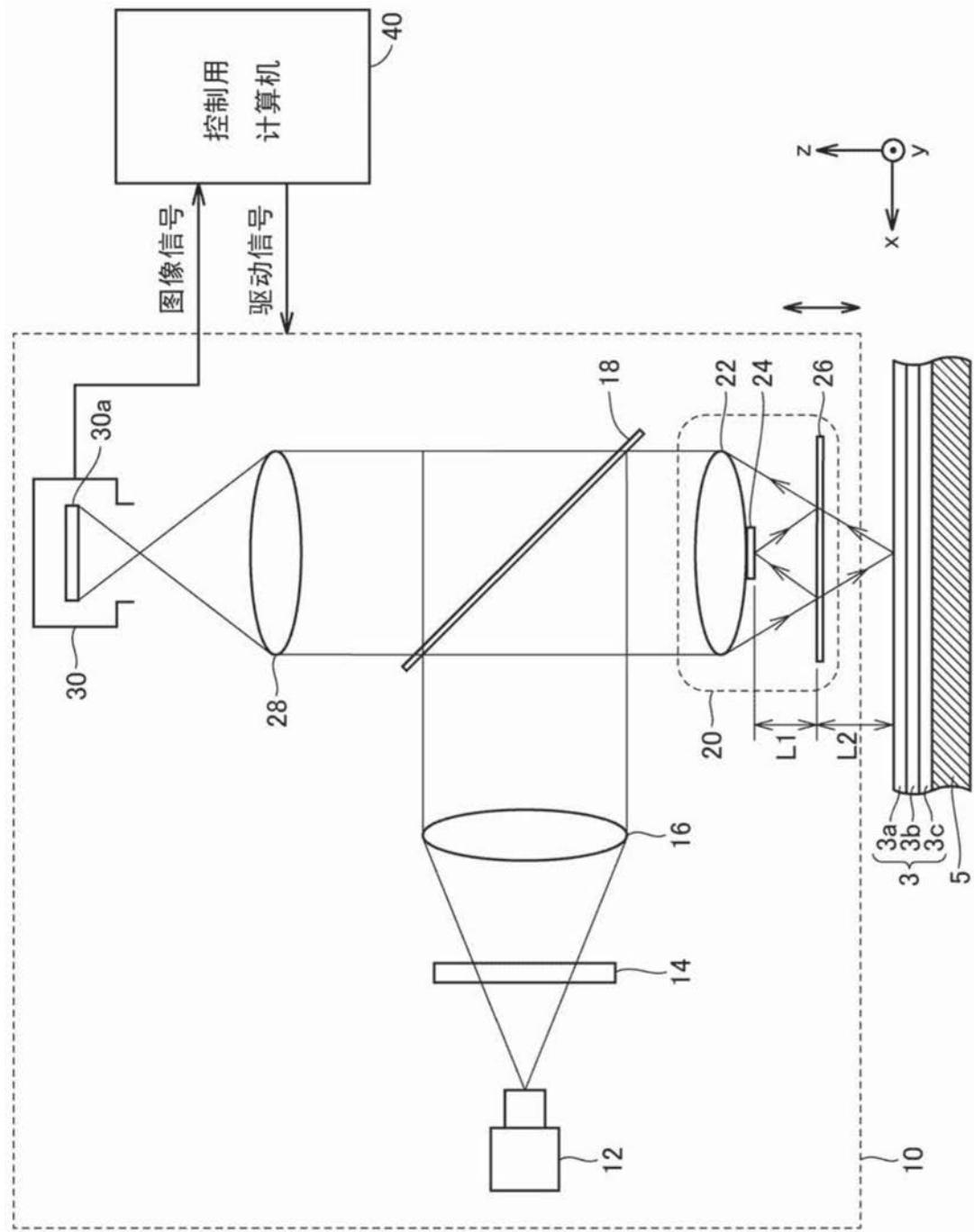


图1

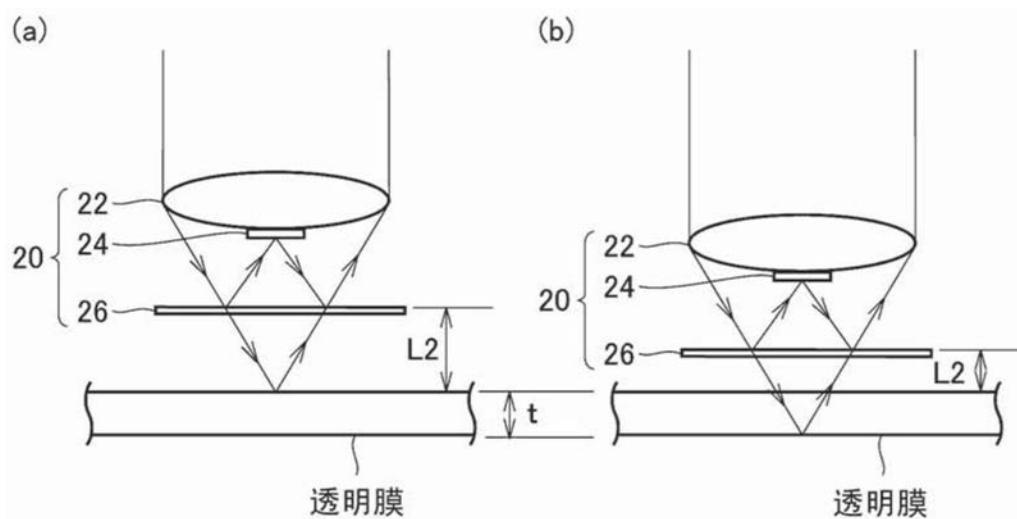


图2

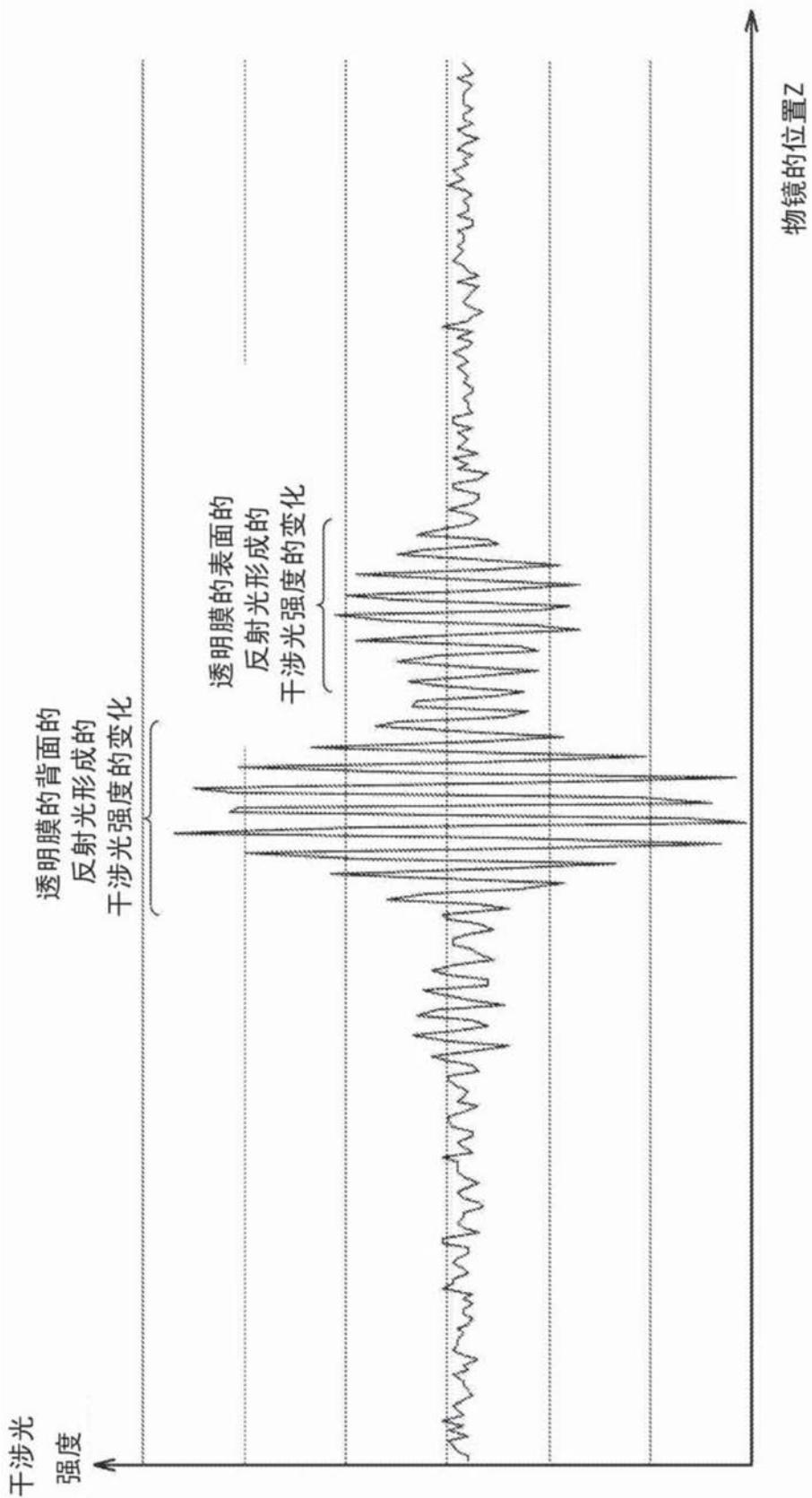


图3

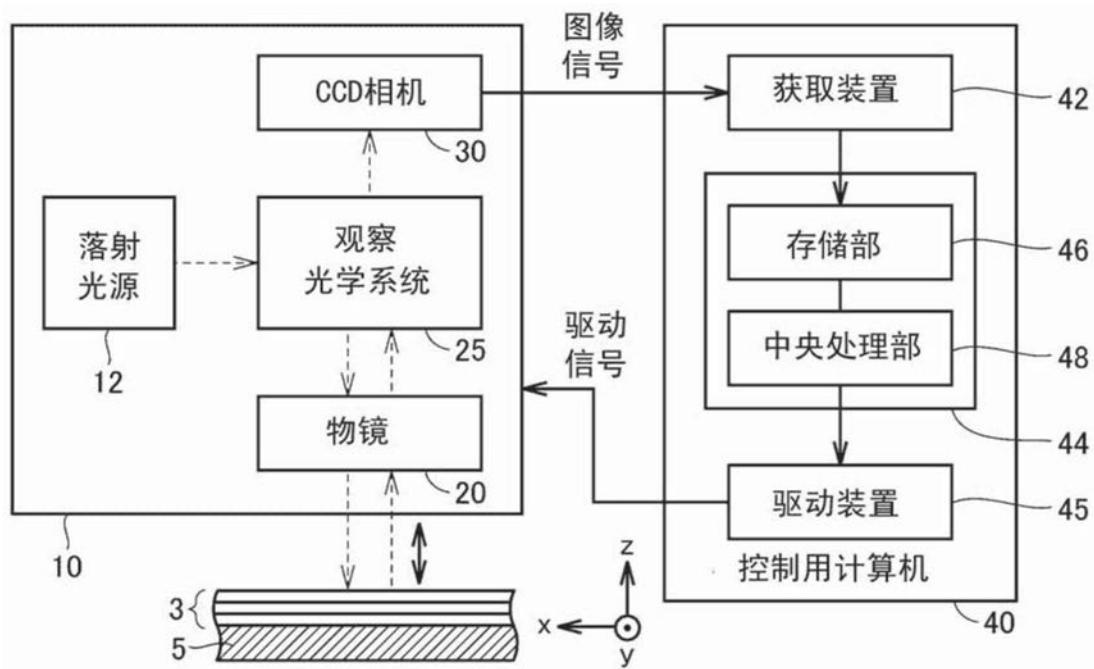


图4

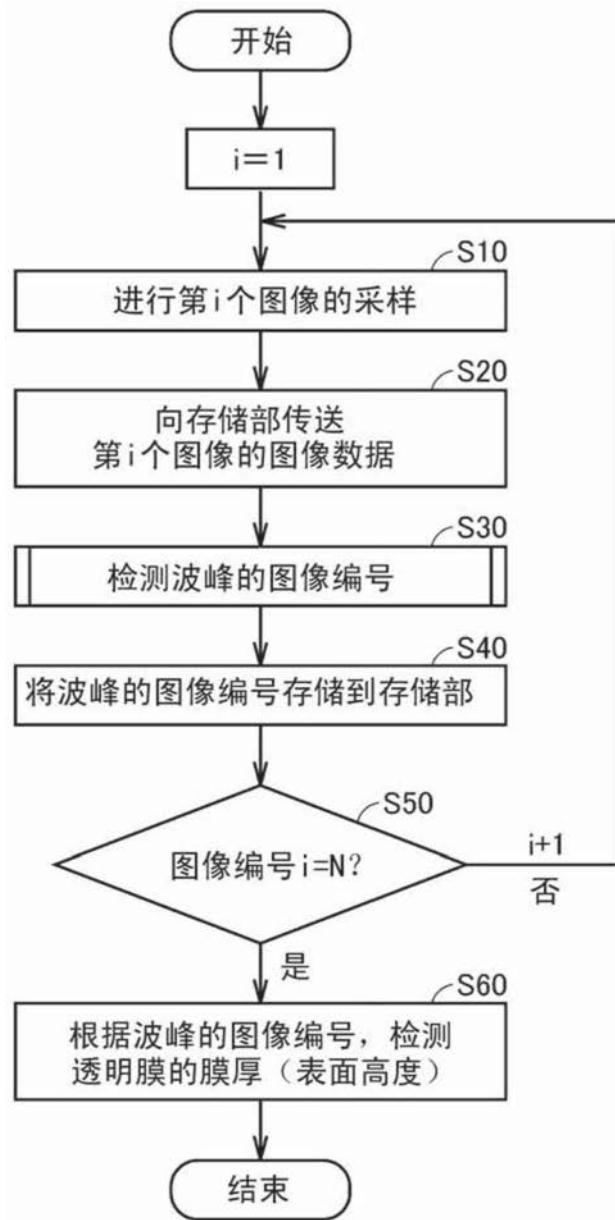


图5

f_i	第 i 个 ($1 \leq i \leq N$) 图像
$f_i(x, y)$	图像 f_i 上的像素 (x, y) 的亮度值
a	图像 $f_{i-k+1} \sim f_i$ 的亮度平均值
$d_i(x, y)$	图像 f_i 上的像素 (x, y) 的亮度相对值
候补像素 (x, y)	满足 $d_i(x, y) \geq T_f$ 的像素 (x, y)
$F(x, y)$	表示候补像素 (x, y) 的波峰检测状态的旗标 $F(x, y)=0$: 未检测到波峰 $F(x, y)=1$: 搜索波峰中 $F(x, y)=2$: 搜索波峰间的波谷中
$c(x, y)$	像素 (x, y) 的波峰个数
$p_{\max}(x, y)$	像素 (x, y) 中的最新的波峰候补的图像编号
$d_{\max}(x, y)$	最新的波峰候补的像素 (x, y) 的强度
$p_{\min}(x, y)$	像素 (x, y) 中的最新的波谷候补的图像编号
$d_{\min}(x, y)$	最新的波谷候补的像素 (x, y) 的强度
$n(x, y)$	像素 (x, y) 中的最新的波峰的图像编号
$n_j(x, y)$	判定为像素 (x, y) 中的波峰的图像编号 $n_j(x, y) = n_1(x, y), n_2(x, y), \dots, n_{N_p}(x, y)$

图6

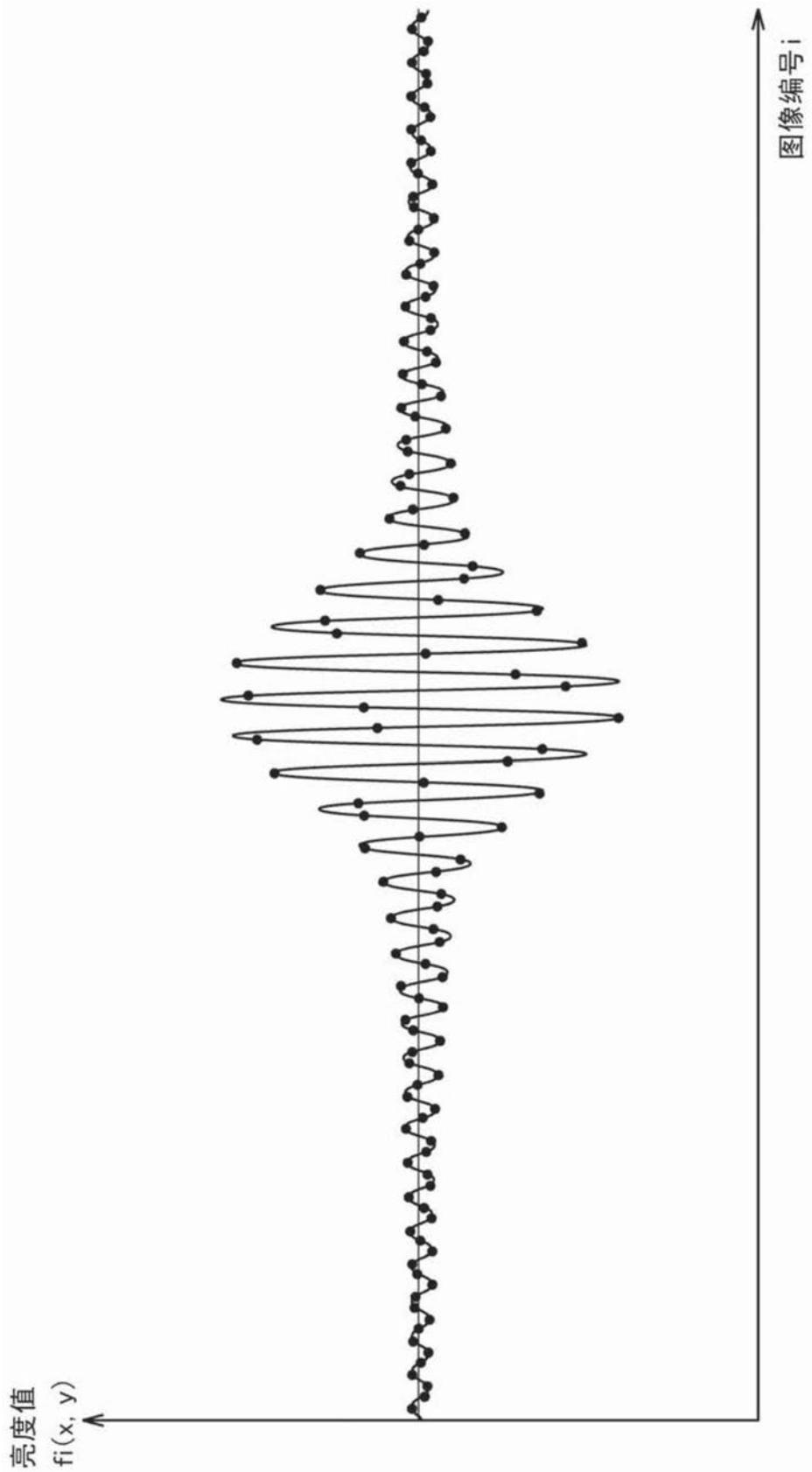


图7

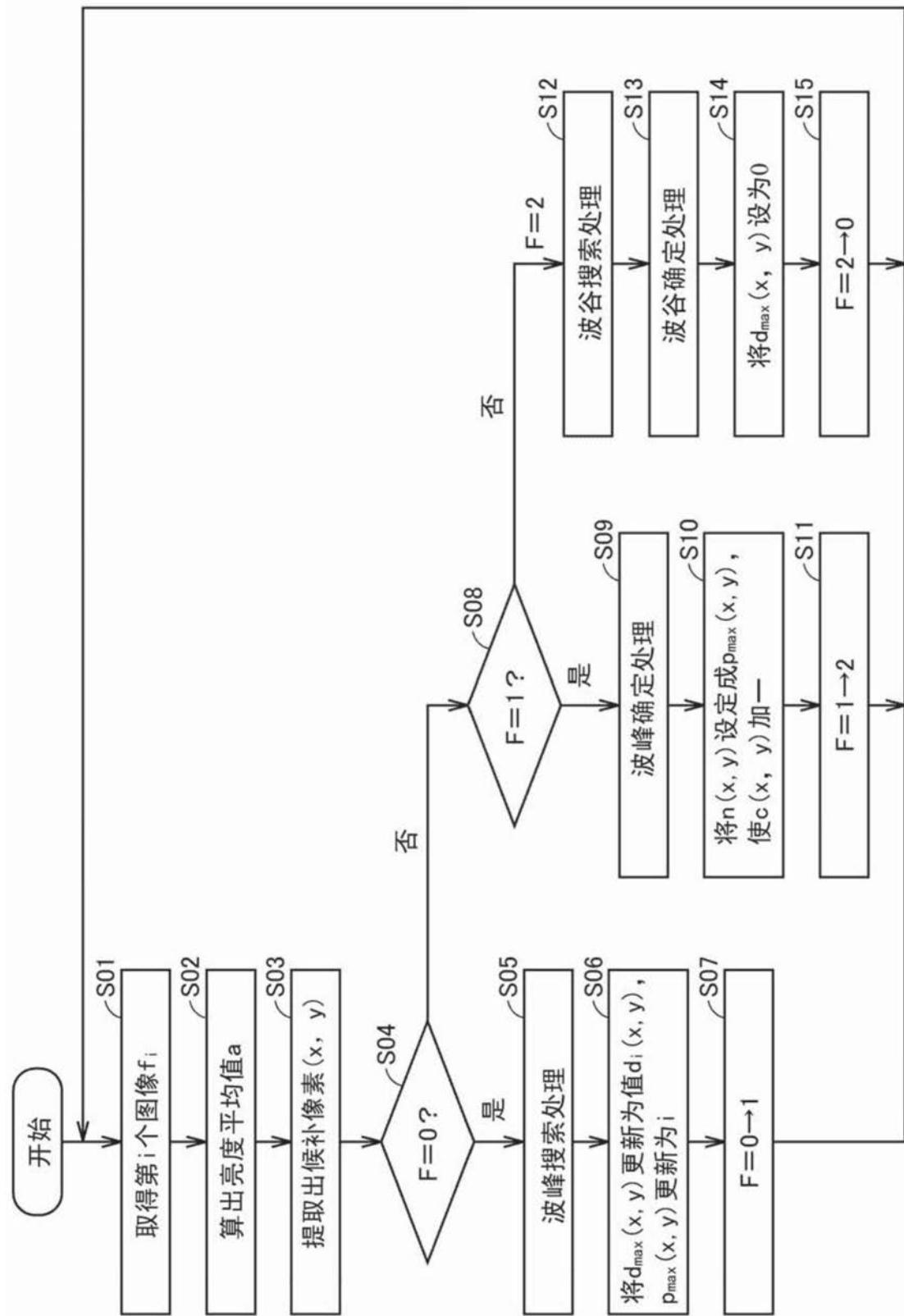


图8

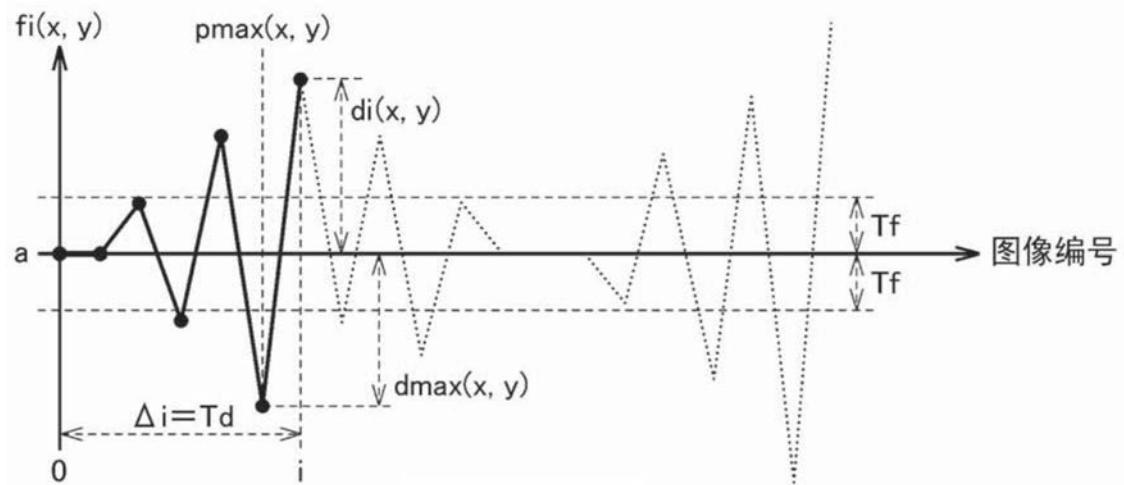


图9

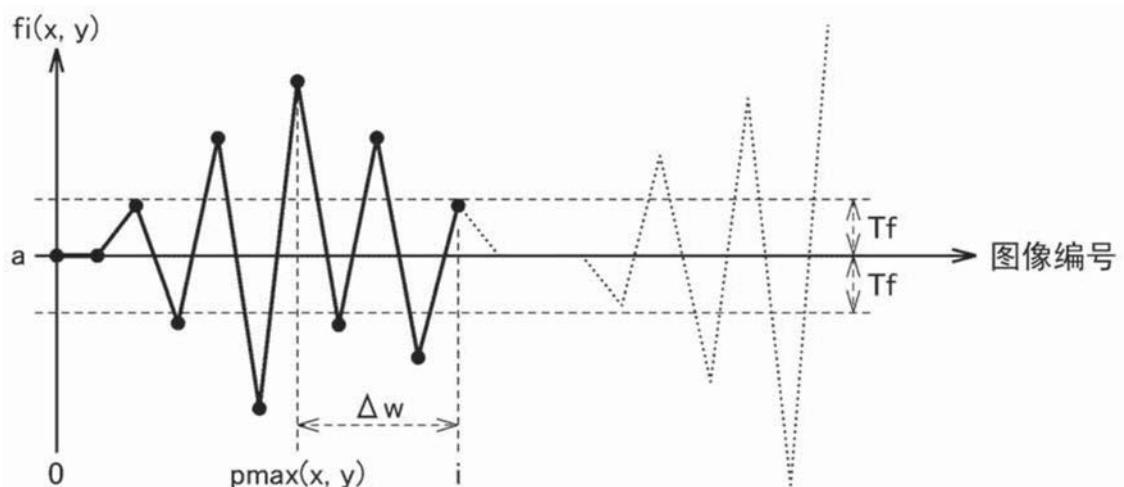


图10

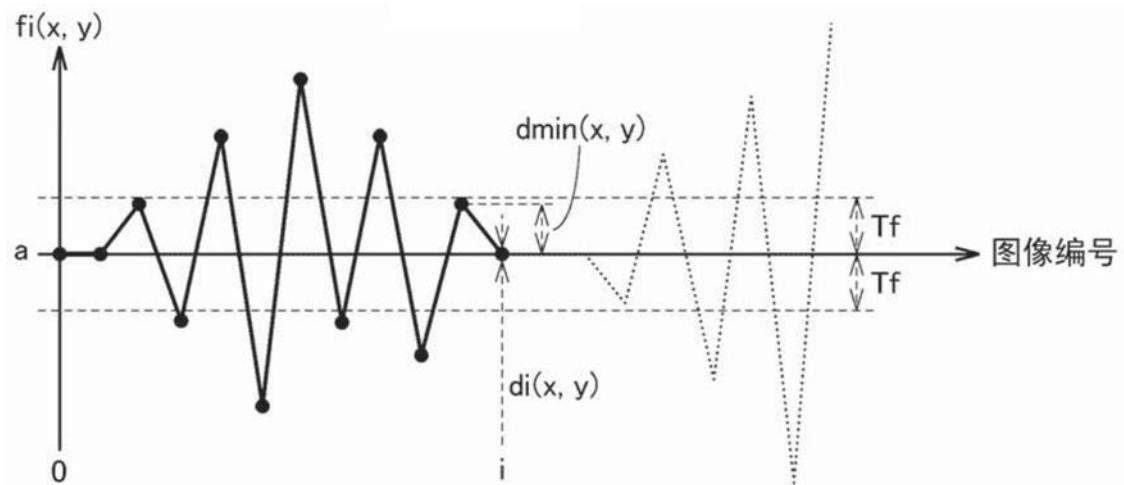


图11

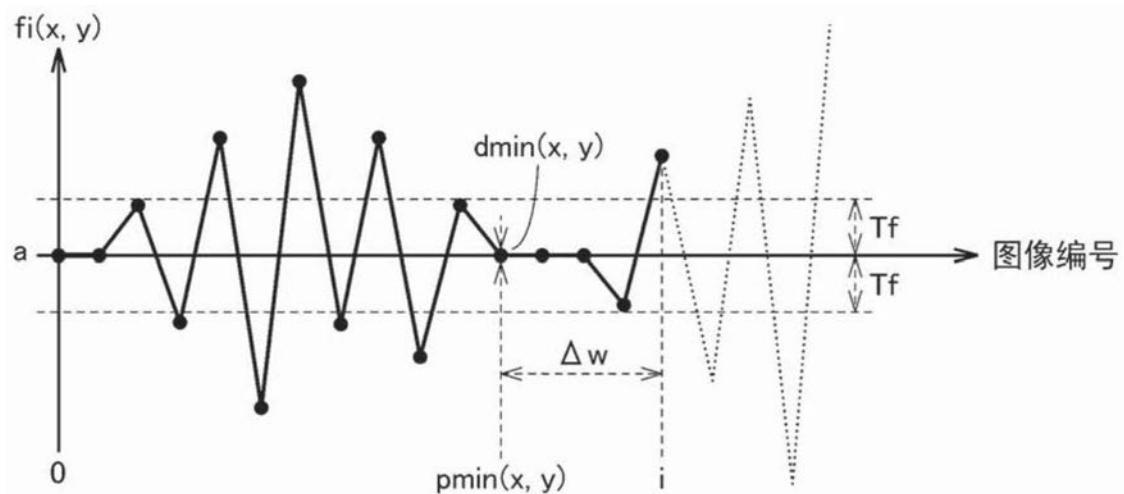


图12

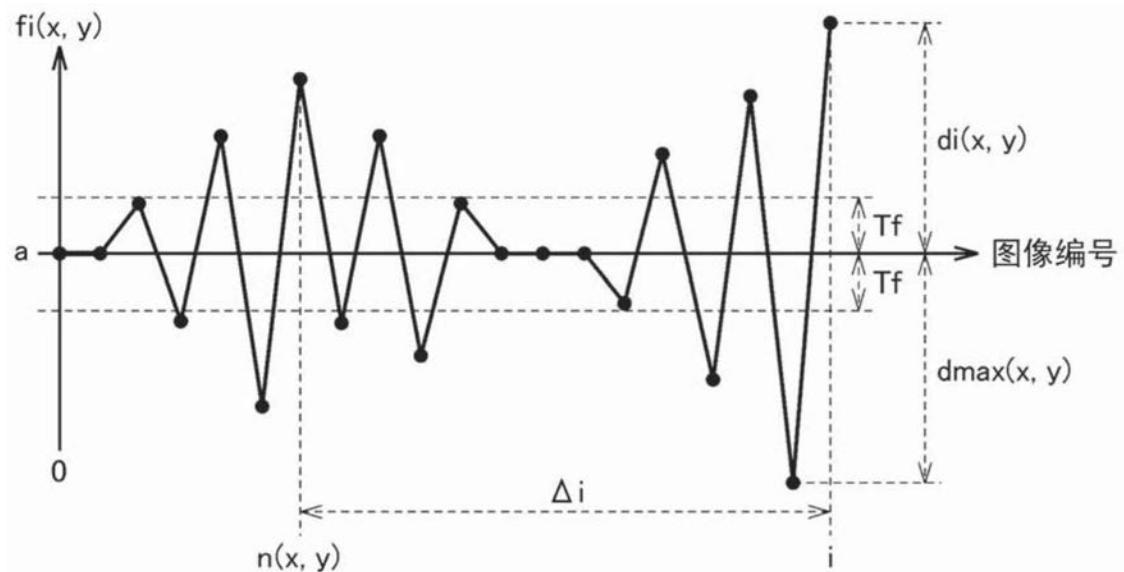


图13

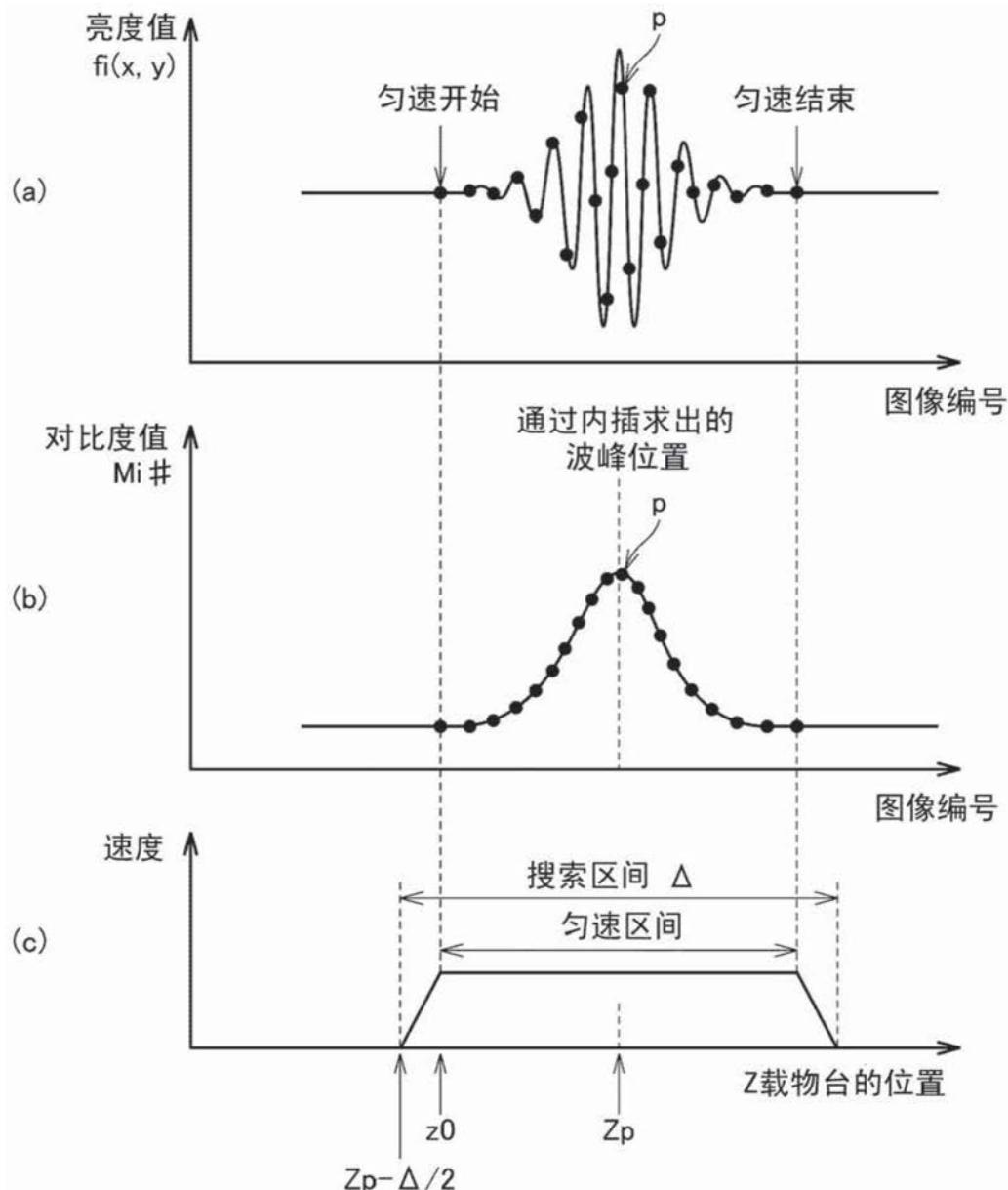


图14

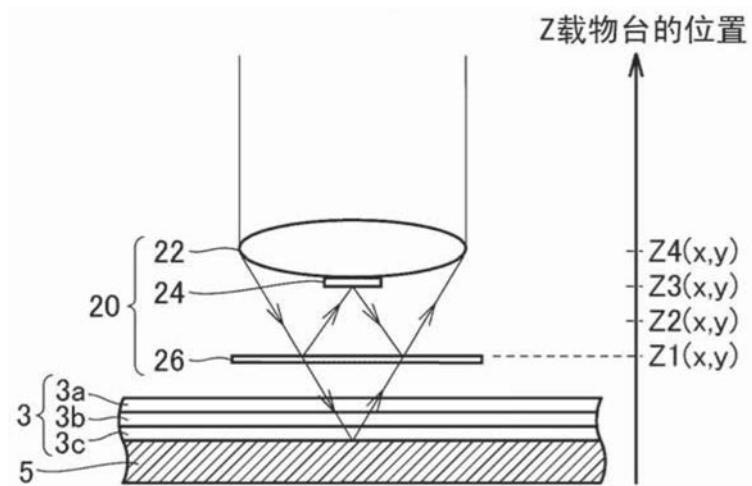


图15

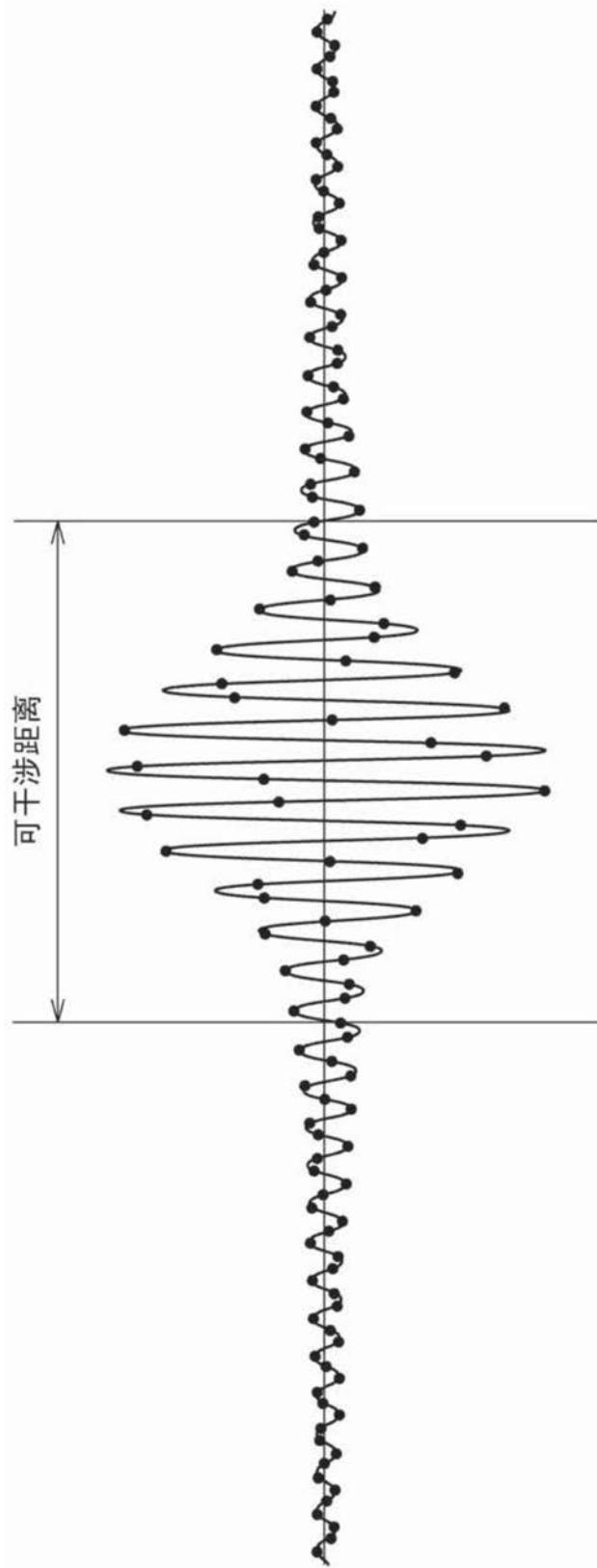


图16

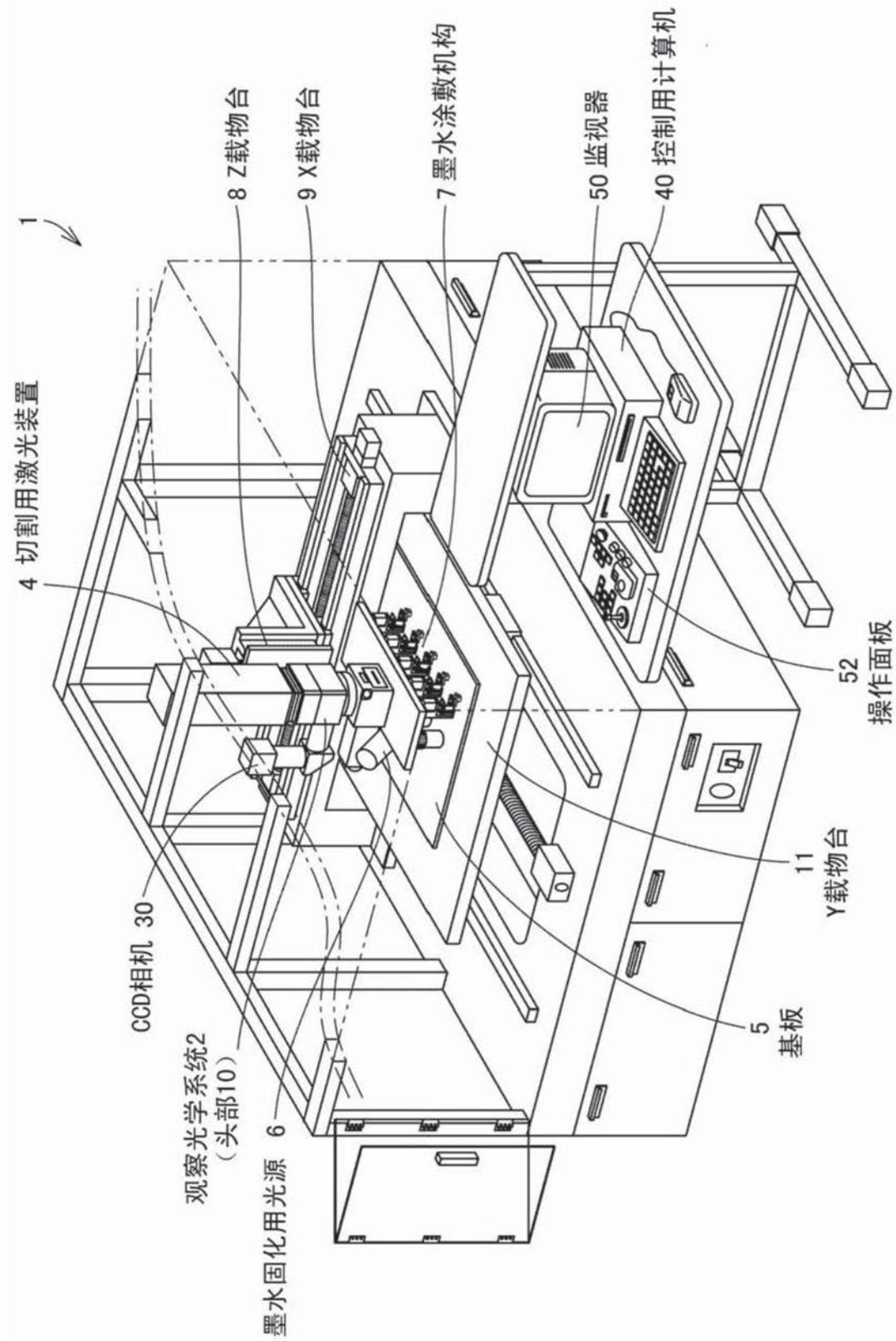


图17

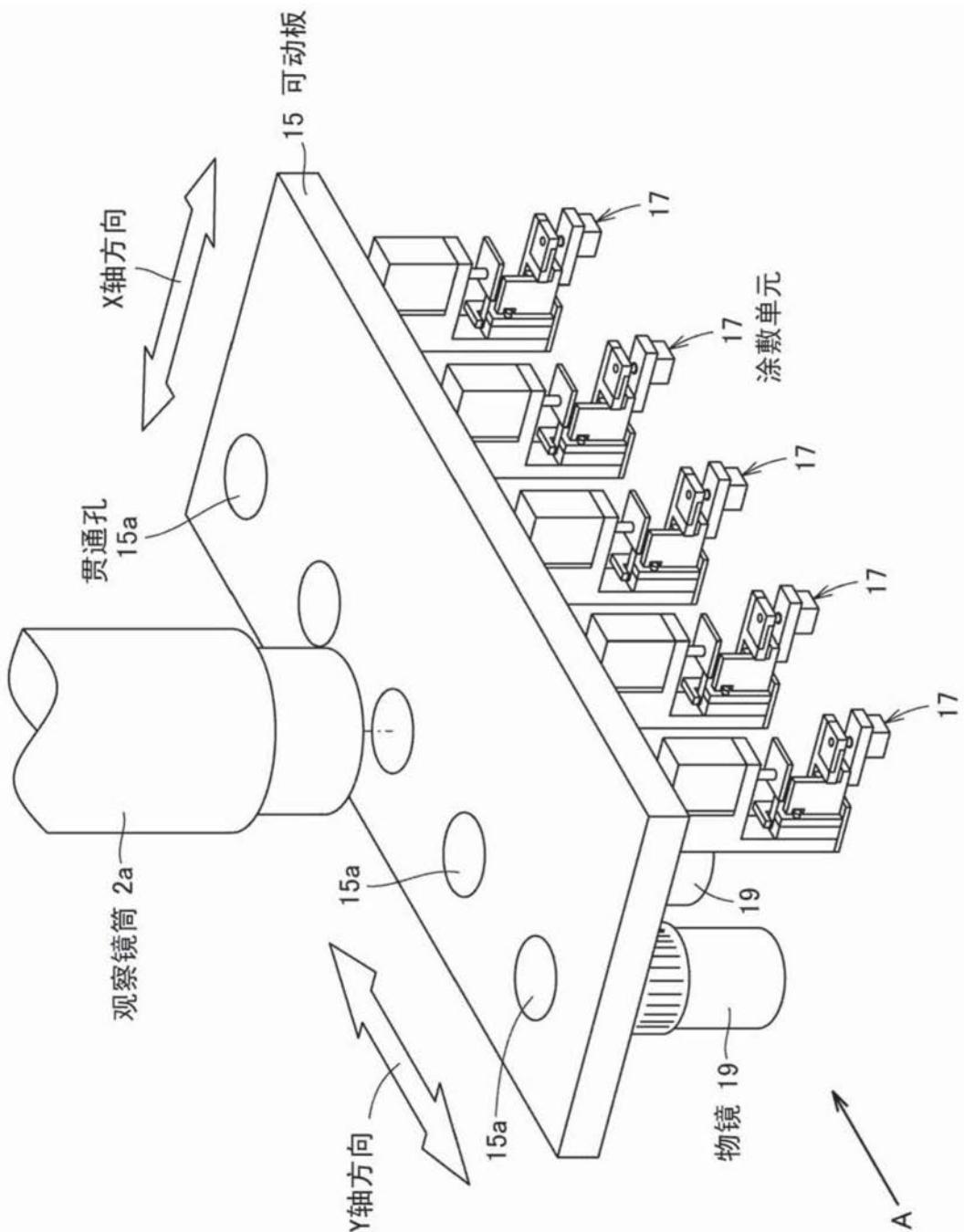


图18

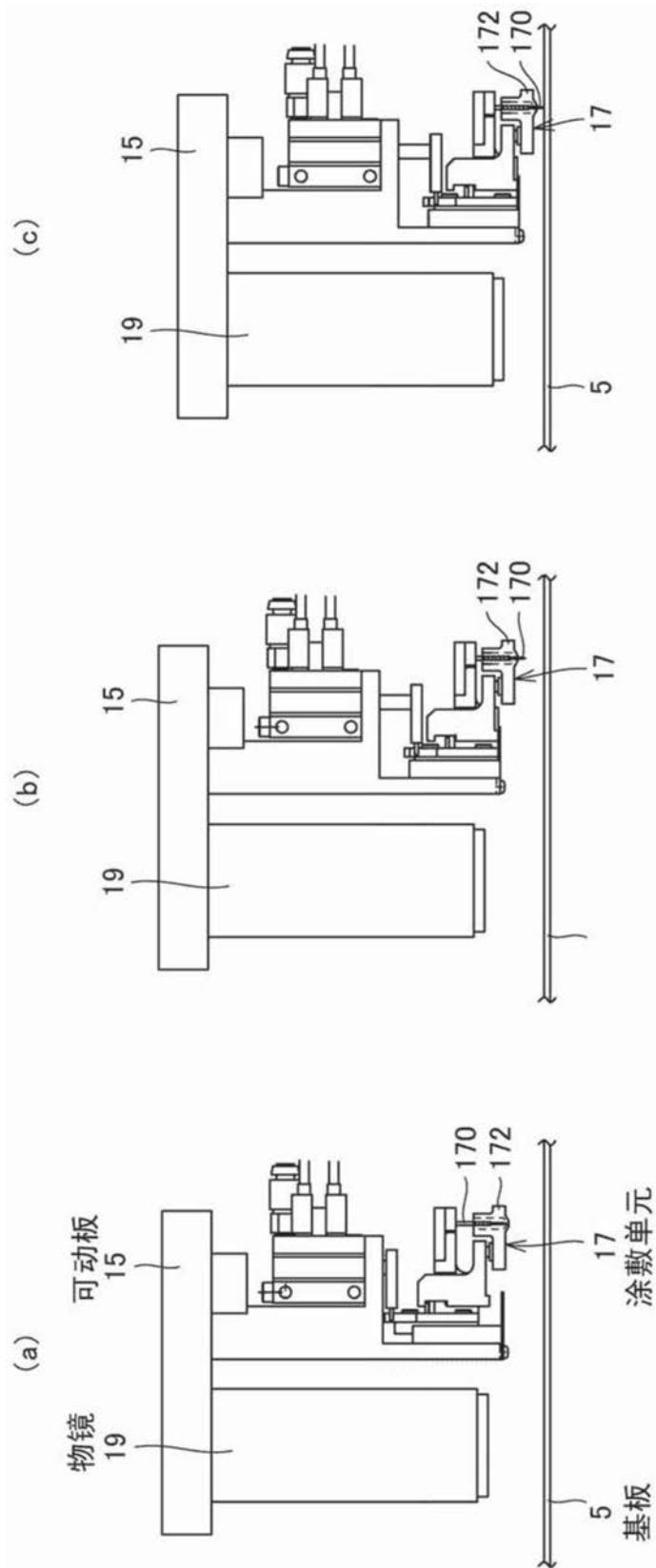


图19