(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 107238733 B
(45)授权公告日 2020.07.03

(21)申请号 201710178412.8

(22)申请日 2017.03.23

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 107238733 A

(43)申请公布日 2017.10.10

(30)优先权数据
2016-065007 2016.03.29 JP

(73)专利权人 日本株式会社日立高新技术科学
地址 日本东京都

(72)发明人 繁野雅次 渡边和俊 渡边将史
山本浩令 茅根一夫

(74)专利代理机构 北京三友知识产权代理有限公司 11127
代理人 李辉 黄纶伟

(51)Int.Cl.
G01Q 60/00(2010.01)
G01Q 20/02(2010.01)
G01B 21/30(2006.01)

(56)对比文件
US 2013205454 A1,2013.08.08,说明书第46-64段,附图1-11.
JP H0727560 A,1995.01.27,说明书第10-20段,附图1-8.
JP H07248334 A,1995.09.26,说明书第18-60段,附图1-6.
CN 102721834 A,2012.10.10,全文.
CN 1854793 A,2006.11.01,全文.
CN 1710403 A,2005.12.21,全文.
CN 1490606 A,2004.04.21,全文.

审查员 李思源

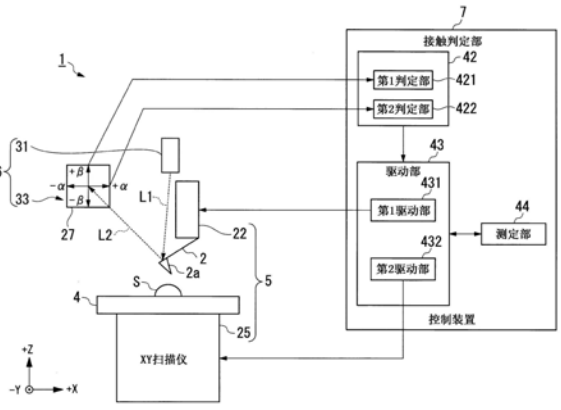
权利要求书2页 说明书13页 附图12页

(54)发明名称

扫描型探针显微镜及其探针接触检测方法

(57)摘要

本发明提供扫描型探针显微镜及其探针接触检测方法,其在探针接触的试样表面是斜面的情况下能改善检测出探针与试样表面的接触的压接力的值相比于水平面产生变化的现象。该扫描型探针显微镜使探针与试样表面接触,利用上述探针扫描上述试样表面,具备:悬臂,其在前端具有上述探针;位移检测部,其检测上述悬臂的挠曲量和扭曲量;以及接触判定部,其根据由上述位移检测部检测到的无变形的悬臂中的全方位的挠曲量和扭曲量,判定上述探针对于上述试样表面的一次接触。



CN 107238733 B

1.一种扫描型探针显微镜,使探针与试样表面接触,利用所述探针扫描所述试样表面,该扫描型探针显微镜具备:

悬臂,其在前端具有所述探针;

位移检测部,其检测所述悬臂的挠曲量和扭曲量;

接触判定部,其根据由所述位移检测部检测到的无变形的悬臂中的全方位的挠曲量和扭曲量,判定所述探针对于所述试样表面的一次接触;

测定部,其在使所述探针与所述试样表面接触时,测定任意一方相对于另一方进行相对移动的距离即相对距离;

移动驱动部,其在由所述测定部测定所述相对距离之后,使所述探针向从所述试样离开的方向进行退避,移动至所述试样的下一测定位置;以及

计算部,其根据所述挠曲量以及所述扭曲量,计算使所述探针向从所述试样离开的方向退避的退避距离,

所述移动驱动部具备:XY扫描仪,在所述退避之后,该XY扫描仪使得所述探针移动至测定下降位置,该测定下降位置位于所述下一测定位置的正上方,并且在该测定下降位置不接触所述探针;以及Z方向驱动装置,其使所述探针从所述测定下降位置下降到所述下一测定位置,

基于所述计算部的所述退避距离的计算是与所述扫描的方向上的所述试样的斜面的倾斜对应地进行的,其中,所述扫描的方向上的所述试样的斜面的倾斜是根据所述扭曲量而决定的。

2.根据权利要求1所述的扫描型探针显微镜,其中,

所述接触判定部在所述挠曲量与所述扭曲量中的至少任意一个超过预定范围的情况下,判定为所述探针与所述试样表面接触。

3.根据权利要求2所述的扫描型探针显微镜,其中,

所述移动驱动部进行控制而使得由所述位移检测部检测到的所述扭曲量或所述挠曲量中的一方维持预定的边界值且另一方处于范围内,在这样的状态下利用所述探针进行扫描。

4.一种扫描型探针显微镜的探针接触检测方法,使探针与试样表面接触,利用所述探针扫描所述试样表面,

该扫描型探针显微镜的探针接触检测方法具备以下的步骤:

位移检测步骤,检测在前端具有所述探针的悬臂的挠曲量和扭曲量;以及

接触判定步骤,根据通过所述位移检测步骤检测出的无变形的悬臂中的全方位的挠曲量和扭曲量,判定所述探针对于所述试样表面的一次接触,

测定步骤,在使所述探针与所述试样表面接触时,测定任意一方相对于另一方进行相对移动的距离即相对距离;

退避步骤,根据所述挠曲量以及所述扭曲量,计算使所述探针向从所述试样离开的方向退避的退避距离,并且使所述探针向从所述试样离开的方向退避;以及

移动步骤,在所述测定步骤中测定所述相对距离之后,使所述探针移动至所述试样的下一测定位置,

在所述退避步骤之后,XY扫描仪使得所述探针移动至测定下降位置,该测定下降位置

位于所述下一测定位置的正上方，并且在该测定下降位置不接触所述探针，Z方向驱动装置使所述探针从所述测定下降位置下降到所述下一测定位置，

在所述退避步骤中，所述退避距离的计算是与所述扫描的方向上的所述试样的斜面的倾斜对应地进行的，其中，所述扫描的方向上的所述试样的斜面的倾斜是根据所述扭曲量而决定的。

扫描型探针显微镜及其探针接触检测方法

技术领域

[0001] 本发明涉及扫描型探针显微镜及其探针接触检测方法。

背景技术

[0002] 目前公知以下这样的扫描型探针显微镜，在恒定地保持在悬臂的前端形成的探针与试样间的相互作用(例如，悬臂的振幅或悬臂的挠曲)的同时，在试样表面使探针连续地进行扫描，由此来测定试样表面的凸凹形状(参照专利文献1)。但是，在专利文献1所记载的扫描型探针显微镜中，因为探针与试样始终相接，所以有可能发生探针的磨损或试样的损伤。

[0003] 与此相对，在专利文献2、3中提出了以下这样的间歇性测定方法，仅在预先设定的多个试样表面的测定点使探针与试样表面接触并间歇地扫描试样表面，由此来测定试样表面的凸凹形状。在此方法中，当对悬臂施加的力(挠曲)为固定值以上时，判定探针与试样表面进行了接触，测量探针与试样接触时的探针的高度。由此，间歇性测定方法与专利文献1相比，探针与试样表面仅在测定点接触，所以以最小的接触就足够了，能够降低探针的磨损或试样的损伤。

[0004] 现有技术文献

[0005] 专利文献

[0006] 专利文献1:日本特开平10-62158号公报

[0007] 专利文献2:日本特开2001-33373号公报

[0008] 专利文献3:日本特开2007-85764号公报

发明内容

[0009] 发明所要解决的课题

[0010] 但是，悬臂的挠曲除了探针压接试样表面的力(以下，称为“压接力”。)以外，还受到所压接的试样表面的形状的影响。例如，在探针接触的试样表面是斜面的情况下，存在悬臂的挠曲为固定值以上需要与水平面相比更大的压接力的情况。因此，在作为测定点的试样表面是斜面的情况下，存在检测探针与试样表面的接触的压接力的值与水平面相比发生变化的情况。因此，存在在试样表面的斜面的形状测定中产生误差并且引起探针的磨损或试样的变形的情况。这样的问题不仅限于间歇性测定方法的问题，而是具有使探针与试样表面接触的工序的测定方法共同的问题。

[0011] 本发明是鉴于这样的情况而作出的，其目的是提供以下这样的扫描型探针显微镜及其探针接触检测方法，作为感知探针与试样表面的接触的悬臂变形，不仅挠曲连扭曲也成为了对象，而且可通过将作为各个变形方向从无变形起的上下挠曲与左右扭曲的全方位作为对象来改善在探针接触的试样表面是斜面时产生的力的值的变化量。

[0012] 解决问题的手段

[0013] 本发明的一方式是扫描型探针显微镜，使探针与试样表面接触，利用上述探针扫

描上述试样表面，该扫描型探针显微镜具备：悬臂，其在前端具有上述探针；位移检测部，其检测上述悬臂的挠曲量和扭曲量；以及接触判定部，其根据由上述位移检测部检测到的无变形的悬臂中的全方位的挠曲量和扭曲量，判定上述探针对于上述试样表面的一次接触。

[0014] 另外，本发明的一方式是上述的扫描型探针显微镜，其中，上述接触判定部在上述挠曲量与上述扭曲量中的至少任意一个超过预定范围的情况下，判定为上述探针与上述试样表面接触。

[0015] 另外，本发明的一方式是上述的扫描型探针显微镜，其中，还具备测定部，该测定部在使上述探针与上述试样表面接触时，测定任意一方相对于另一方进行相对移动的距离即相对距离。

[0016] 另外，本发明的一方式是上述的扫描型探针显微镜，其中，还具备移动驱动部，该移动驱动部在由上述测定部测定上述相对距离之后，使上述探针向从上述试样离开的方向进行退避，移动至上述试样的下一测定位置。

[0017] 另外，本发明的一方式是上述的扫描型探针显微镜，其中，还具备计算部，该计算部根据上述挠曲量以及上述扭曲量，计算使上述探针向从上述试样离开的方向退避的退避距离。

[0018] 另外，本发明的一方式是上述的扫描型探针显微镜，其中，上述移动驱动部在上述退避之后，使上述探针移动至位于与上述探针不接触的上述下一测定位置的正上方的测定下降位置，并从上述测定下降位置下降到上述测定位置。

[0019] 另外，本发明的一方式是上述的扫描型探针显微镜，其中，还具备移动驱动部，该移动驱动部进行控制而使的由上述位移检测部检测到的上述扭曲量或上述挠曲量中的一方维持预定的边界值且另一方成为范围内，在这样的状态下利用上述探针进行扫描。

[0020] 另外，本发明的一方式是扫描型探针显微镜的探针接触检测方法，使探针与试样表面接触，利用上述探针扫描上述试样表面，该扫描型探针显微镜的探针接触检测方法具备以下的步骤：位移检测步骤，检测在前端具有上述探针的悬臂的挠曲量和扭曲量；以及接触判定步骤，根据通过上述位移检测步骤检测出的无变形的悬臂中的全方位的挠曲量和扭曲量，判定上述探针对于上述试样表面的一次接触。

[0021] 发明效果

[0022] 如以上所说明的那样，根据本发明能够提供在探针接触的试样表面是斜面的情况下能改善检测出探针与试样表面的接触的压接力的值相比于水平面发生变化的现象的扫描型探针显微镜及其探针接触检测方法。

附图说明

[0023] 图1是示出本实施方式中的扫描型探针显微镜1的概括结构的一例的图。

[0024] 图2是本实施方式中的具有斜面的试样S与悬臂2的立体图。

[0025] 图3是说明本实施方式中的第1范围以及第2范围的图。

[0026] 图4是本实施方式中的拱顶状的试样S的俯视图，是示出试样S的形状测定的测定点(1)～(7)的图。

[0027] 图5是示出探针2a接触到本实施方式中的试样S的测定点(1)时的悬臂2的位移的图。

[0028] 图6是示出探针2a接触到本实施方式中的试样S的测定点(2)时的悬臂2的位移的图。

[0029] 图7是示出探针2a接触到本实施方式中的试样S的测定点(3)时的悬臂2的位移的图。

[0030] 图8是示出探针2a接触到本实施方式中的试样S的测定点(4)时的悬臂2的位移的图。

[0031] 图9是示出探针2a接触到本实施方式中的试样S的测定点(5)时的悬臂2的位移的图。

[0032] 图10是示出探针2a接触到本实施方式中的试样S的测定点(6)时的悬臂2的位移的图。

[0033] 图11是示出探针2a接触到本实施方式中的试样S的测定点(7)时的悬臂2的位移的图。

[0034] 图12是示出检测本实施方式的控制装置7中的探针2a与试样s1的表面的接触的接触检测处理的流程的图。

[0035] 图13是示出检测本实施方式的控制装置7中的探针2a与试样s1的表面的接触的接触检测处理的其它例的流程的图。

[0036] 标号说明

[0037] 1 扫描型探针显微镜

[0038] 2 悬臂

[0039] 5 移动驱动部

[0040] 6 位移检测部

[0041] 7 控制装置

[0042] 42 接触判定部

[0043] 43 驱动部

[0044] 44 测定部

[0045] 421 第1判定部

[0046] 422 第2判定部

具体实施方式

[0047] 以下,虽然通过发明的实施方式来说明本发明,但以下的实施方式不限定权利要求范围所涉及的发明。另外,实施方式所说明的特征组合在发明的解决手段中并非都是必须的。此外,在附图中,对相同或类似的部分标注同一符号,有时省略重复的说明。

[0048] 实施方式中的扫描型探针显微镜使探针与试样表面接触,扫描该试样表面,根据该探针的挠曲量和扭曲量,判定探针是否与试样表面接触。以下,采用附图说明实施方式的扫描型探针显微镜。

[0049] 图1是示出本实施方式的扫描型探针显微镜1的概括结构的一例的图。如图1所示,扫描型探针显微镜1具备悬臂2、试样台4、移动驱动部5、位移检测部6以及控制装置7。

[0050] 悬臂2在前端具备探针2a。悬臂2固定其基端,前端成为自由端。悬臂2是具有小的弹簧常数K的弹性杆部件,当前端的探针2a与试样S的表面接触时,前端的探针2a产生与按

压试样S的表面的压接力相应的挠曲。另外，悬臂2当在前端的探针2a与试样S的表面接触的情况下在该试样S的表面具有倾斜时，产生与该倾斜以及前端的探针2a和试样S的表面的接触点即支点的支点反作用力相应的扭曲或挠曲。本实施方式中的扫描型探针显微镜1的特征之一在于，根据由前端的探针2a与试样S的表面接触而产生的悬臂2的挠曲和扭曲，来检测探针2a与试样S的表面的接触。

[0051] 移动驱动部5具备Z方向驱动装置22以及XY扫描仪25。

[0052] Z方向驱动装置22在其下端安装有悬臂2，使悬臂2在与水平面垂直的方向(Z方向)上进行移动。例如，Z方向驱动装置22是压电元件。Z方向驱动装置22根据从控制装置7输出的第1驱动信号，使悬臂2接近于试样S的表面，或者使悬臂2从试样S的表面退避(或脱离)。但是，Z方向驱动装置22以及XY扫描仪25只要是在试样侧一体化的配置或在悬臂侧一体化的配置等能相对地进行3维形状观察的扫描的结构，就无所谓配置关系。

[0053] 在XY扫描仪25上载置有试样台4。在试样台4上以与悬臂2的探针2a相对配置的方式载置有试样S。XY扫描仪25当从控制装置7输出第2驱动信号时，根据该第2驱动信号的电压值或极性，使探针2a和试样S相对于XY方向进行相对移动。此外，在图1中与试样台4的表面平行的面是水平面，这里，利用正交的2轴X、Y，定义为XY平面。

[0054] 位移检测部6检测悬臂2的挠曲量和扭曲量。在本实施方式中，说明位移检测部6采用光杠杆方式(optical lever)来检测悬臂2的挠曲量和扭曲量的情况。

[0055] 位移检测部6具备光照射部31以及光检测部33。

[0056] 光照射部31针对在悬臂2的背面形成的未图示的反射面照射激光L1。

[0057] 光检测部33接受在上述反射面上反射的激光L2。光检测部33是具有接受在该背面反射的激光L2的4分割的受光面27的光检测器。即，调整光路(通常在受光面27的中心附近)以使在悬臂2的背面反射的激光L2入射到光检测部33的4分割的多个受光面27。以下，采用图1以及图2，来说明本实施方式中的悬臂2的挠曲量与扭曲量的检测方法。

[0058] 图2是具有斜面的试样S和悬臂2的立体图。

[0059] 悬臂2在探针2a与试样S的表面接触的情况下，向Z方向与Y方向的任意一方或双方产生位移。在本实施方式中，将在Z方向上产生的悬臂2的位移称为挠曲量，将在Y方向上产生的悬臂2的位移称为扭曲量。例如，在初始条件下，将以对探针2a未施加力的状态下反射的激光L2的光检测部33的受光面27中的入射点位置作为受光面27的中心位置。此外，所谓对探针2a未施加力的状态是指例如探针2a与试样S的表面未接触的悬臂无变形的状态。

[0060] 在接触模式中，当探针2a与试样S的表面接触时，通过对探针2a施加力，在悬臂2上产生挠曲量或扭曲量。因此，在产生了挠曲量或扭曲量的悬臂2的背面反射的激光L2的反射点位置从其中心位置进行位移。从而，扫描型探针显微镜1可通过捕捉光检测部33的受光面27中的该点位置的移动方向，来检测对探针2a施加的力的大小和方向。例如，在图1中，当在悬臂2上产生扭曲量时，可在光检测部33的受光面27中捕捉α方向的点位置的变化。另外，当在悬臂2上产生挠曲量时，可在受光面27中捕捉β方向的点位置的变化。来自中心位置的点位置的变化量依赖于扭曲量或挠曲量。另外，当悬臂2在+Z方向上挠曲时，光检测部33的受光面27中的激光L2的反射点在+β方向上进行变化。另外，当悬臂2在-Z方向上挠曲时，光检测部33的受光面27中的激光L2的反射点在-β方向上进行变化。另一方面，当悬臂2在+Y方向上产生扭曲量时，光检测部33的受光面27中的激光L2的反射点位置在+α方向上产生变化。

另外，当悬臂2在-Y方向上产生扭曲量时，光检测部33的受光面27中的激光L2的反射点在-α方向上产生变化。

[0061] 光检测部33将与受光面27的±Z方向的激光L2的反射点位置相应的第1检测信号输出至控制装置7。即，第1检测信号是与悬臂2的挠曲量相应的DIF信号(挠曲信号)。另外，光检测部33将于受光面27的±Y方向的激光L2的反射点位置相应的第2检测信号输出至控制装置7。即，第2检测信号是与悬臂2的扭曲量相应的FFM信号(扭曲信号)。

[0062] 如图1所示，控制装置7具备接触判定部42、驱动部43以及测定部44。

[0063] 接触判定部42根据从光检测部33输出的第1检测信号以及第2检测信号，判定探针2a是否与试样S的表面接触。即，接触判定部42根据悬臂2的挠曲量和扭曲量，判定探针2a是否与试样S的表面接触。

[0064] 接触判定部42具备第1判定部421以及第2判定部422。

[0065] 第1判定部421在从光检测部33输出的第1检测信号所示的挠曲量超过第1范围的情况下，判定为探针2a与试样S的表面接触。第1判定部421在判定为探针2a与试样S的表面接触的情况下，将表示探针2a与试样S的表面接触的情况的第1接触信号输出至驱动部43。

[0066] 第2判定部422在从光检测部33输出的第2检测信号所示的扭曲量超过第2范围的情况下，判定为探针2a与试样S的表面接触。第2判定部422在判定为探针2a与试样S的表面接触的情况下，将表示探针2a与试样S的表面接触的情况的第2接触信号输出至驱动部43。这样，接触判定部42在从光检测部33输出的第1检测信号所示的挠曲量超过第1范围的第1条件以及从光检测部33输出的第2检测信号所示的扭曲量超过第2范围的第2条件中的至少任意一个成立的情况下，判定为探针2a与试样S的表面接触。上述虽然是独立判定第1检测信号和第2检测信号的例子，但也可以在接触判定部42内，对“第1检测信号的平方”与“第2检测信号的平方”进行求和，在该和的平方根的正数为一定以上时判断为相接等利用与特性相应的设定值进行判定。

[0067] 以下，采用图3说明本实施方式中的第1范围以及第2范围。图3是说明本实施方式中的第1范围以及第2范围的图。

[0068] 如图3所示，第1范围具备挠曲上限阈值以及挠曲下限阈值。挠曲上限值是通过探针2a与试样S的表面接触而在+Z方向上挠曲的悬臂2的挠曲量。另一方面，挠曲下限值是通过探针2a与试样S的表面接触而在-Z方向上挠曲的悬臂2的挠曲量。因此，第1判定部421在从光检测部33输出的第1检测信号所示的挠曲量超过挠曲上限值的情况或第1检测信号所示的挠曲量低于挠曲下限值的情况下，判定为探针2a与试样S的表面接触。

[0069] 第2范围具备扭曲上限阈值以及扭曲下限阈值。扭曲上限值是通过探针2a与试样S的表面接触而在+Y方向上扭曲的悬臂2的扭曲量。另一方面，扭曲下限值是通过探针2a与试样S的表面接触而在-Y方向上扭曲的悬臂2的扭曲量。因此，第2判定部422在从光检测部33输出的第2检测信号所示的扭曲量超过扭曲上限值的情况或第2检测信号所示的扭曲量低于扭曲下限值的情况下，判定为探针2a与试样S的表面接触。这样，在图3所示的挠曲量与扭曲量的2维座标中，当第1检测信号所示的挠曲量和第2检测信号所示的扭曲量表示的位置位于斜线所示的范围之外时，判定为探针2a与试样S的表面接触。

[0070] 以下，说明判定本实施方式中的探针2a与试样S的表面的接触的方法。图4是拱顶状的试样S的俯视图，是示出探针2a与试样S的表面接触的位置即试样S的形状测定的测定

点(1)～(7)的图。

[0071] 图5是示出探针2a接触到本实施方式中的试样S的测定点(1)时的悬臂2的位移的图。图5(a)示出探针2a接触到测定点(1)的状态下的、从-Y方向观察的悬臂2的侧视图，图5(b)示出探针2a接触到测定点(1)的状态下的、从-X方向观察的悬臂2的侧视图。图5(c)示出在探针2a接触到测定点(1)之后还进行按压的状态下的、从-Y方向观察的悬臂2的侧视图，图5(d)示出在探针2a接触到测定点(1)之后还进行按压的状态下的、从-X方向观察的悬臂2的侧视图。

[0072] 如图5(a)、(b)所示，在探针2a接触到测定点(1)的一次接触状态的情况下，虽然在悬臂2上产生一些挠曲量，但因为在测定点(1)的表面上没有倾斜(是水平的)，所以不产生扭曲量。另外，如图5(c)、(d)所示，在从探针2a接触到测定点(1)的状态进行压接的二次接触状态的情况下，悬臂2产生与压接力相应的挠曲量。但是，因为在测定点(1)的表面上没有倾斜，所以不产生扭曲量。因此，接触判定部42通过第1检测信号所示的挠曲量是否超过挠曲上限阈值，判定探针2a是否接触到试样S的表面。

[0073] 图6是示出探针2a接触到本实施方式中的试样S的测定点(2)时的悬臂2的位移的图。图6(a)示出探针2a接触到测定点(2)的状态下的、从-Y方向观察的悬臂2的侧视图，图6(b)示出探针2a接触到测定点(2)的状态下的、从-X方向观察的悬臂2的侧视图。图6(c)示出在探针2a接触到测定点(2)之后还进行按压的状态下的、从-Y方向观察的悬臂2的侧视图，图6(d)示出在探针2a接触到测定点(2)之后还按压的状态下的、从-X方向观察的悬臂2的侧视图。

[0074] 如图6(a)、(b)所示，在探针2a接触到测定点(2)的一次接触状态的情况下，悬臂2由于与压接力对应的垂直抗力，而在与试样S的表面垂直的轴方向上，产生与使探针2a倾斜的力和压接力对应的-Z方向的挠曲量。但是，因为在测定点(2)的表面上没有±Y方向的倾斜，所以不产生扭曲量。另一方面，如图6(c)、(d)所示，在从探针2a接触到测定点(2)的状态压接的二次接触状态的情况下，悬臂2当其压接力超出产生由垂直抗力引起的挠曲量的力时，挠曲方向发生变化，产生在+Z方向上挠曲的量。但是，因为在测定点(2)的表面上没有±Y方向的倾斜，所以不产生扭曲量。

[0075] 现有的扫描型探针显微镜仅在+Z方向的挠曲量超过固定值时，判定为探针2a与试样S的表面接触。因此，现有的扫描型探针显微镜在探针2a接触到测定点(2)的一次接触状态(图6(a)、(b))下，在-Z方向上产生挠曲量，所以无法判定探针2a与试样S的接触。因此，现有的扫描型探针显微镜利用更大的压接力来压接试样S，当悬臂2在+Z方向挠曲的二次接触状态时(图6(c)、(d))，判定探针2a与试样S的接触。所以，存在引起探针2a的磨损或试样S的变形的情况。本实施方式的扫描型探针显微镜1在悬臂2的挠曲量超过第1范围的情况下，判定为探针2a与试样S的表面接触，所以与挠曲方向无关，都能够判定探针2a与试样S的一次接触状态。因此，能够抑制探针2a的磨损或试样S的变形。

[0076] 图7是示出探针2a接触到本实施方式中的试样S的测定点(3)时的悬臂2的位移的图。图7(a)示出探针2a接触到测定点(3)的状态下的、从-Y方向观察的悬臂2的侧视图，图7(b)示出探针2a接触到测定点(3)的状态下的、从-X方向观察的悬臂2的侧视图。图7(c)示出在探针2a接触到测定点(3)之后还进行按压的状态下的、从-Y方向观察的悬臂2的侧视图，图7(d)示出在探针2a接触到测定点(3)之后还进行按压的状态下的、从-X方向观察的悬臂2

的侧视图。

[0077] 如图7(a)、(b)所示，在探针2a接触到测定点(3)的情况下，悬臂2由于与压接力对应的垂直抗力，而在与试样S的表面垂直的轴方向上，产生与使探针2a倾斜的力和压接力对应的+Z方向的挠曲量。但是，因为在测定点(3)的表面上没有±Y方向的倾斜，所以不产生扭曲量。另一方面，如图7(c)、(d)所示，在从探针2a接触到测定点(3)的状态进行压接的情况下，悬臂2产生与压接力相应的挠曲量。但是，因为在测定点(3)的表面上没有±Y方向的倾斜，所以不产生扭曲量。因此，接触判定部42通过第1检测信号所示的挠曲量是否超过挠曲上限阈值，判定探针2a是否与试样S的表面接触。

[0078] 图8是示出探针2a接触到本实施方式中的试样S的测定点(4)时的悬臂2的位移的图。图8(a)示出探针2a接触到测定点(4)的状态下的、从-Y方向观察的悬臂2的侧视图，图8(b)示出探针2a接触到测定点(4)的状态下的、从-X方向观察的悬臂2的侧视图。图8(c)示出在探针2a接触到测定点(4)之后还进行按压的状态下的、从-Y方向观察的悬臂2的侧视图，图8(d)示出在探针2a接触到测定点(4)之后还进行按压的状态下的、从-X方向观察的悬臂2的侧视图。

[0079] 如图8(a)、(b)所示，在探针2a接触到测定点(4)的情况下，悬臂2产生一些挠曲量，并且由于与压接力对应的垂直抗力而产生+Y方向的扭曲量。这时因为，在测定点(4)中的试样S的表面上具有+Y方向的倾斜。另外，如图8(c)、(d)所示，在从探针2a接触到测定点(4)的状态进行压接时，悬臂2产生与压接力对应的挠曲量，并且由于与压接力对应的垂直抗力而产生+Y方向的扭曲量。

[0080] 这里，在悬臂2上产生的挠曲量除了压接力以外，还受该压接的试样S的表面的倾斜的影响。例如，在探针2a接触的试样S的表面是斜面的情况下，为了使悬臂2的挠曲量成为固定值以上，需要比水平面更大的压接力。因此，在比较测定点(1)与测定点(4)的情况下，为了产生与测定点(1)等同的挠曲量，需要更大的压接力。

[0081] 在现有的扫描型探针显微镜中，将上述固定值设定为探针2a接触到测定点(1)时的挠曲量。这是因为，在现有的扫描型探针显微镜中将悬臂2的挠曲设定为固定。因此，在现有的扫描型探针显微镜中，在探针2a接触到测定点(4)的状态(图8(a)、(b))下，不能检测出探针2a与试样S的接触。因此，现有的扫描型探针显微镜以更大的压接力对试样S进行压接，当悬臂2产生超过固定值的程度的-Z方向的挠曲量时，检测出探针2a与试样S的接触(图8(c)、(d))。因此，存在引起探针2a的磨损或试样S的变形的情况。本实施方式的扫描型探针显微镜1可根据悬臂2的扭曲量来检测探针2a与试样S的接触。即，扫描型探针显微镜1在探针2a接触到具有斜面的测定点(4)时(图8(a)、(b))，可根据悬臂2的扭曲量，来检测探针2a与试样S的接触。因此，能够抑制探针2a的磨损或试样S的变形。

[0082] 图9是示出探针2a接触到试样S的测定点(5)时的悬臂2的位移的图。图9(a)示出探针2a接触到测定点(5)的状态下的、从+Y方向观察的悬臂2的侧视图，图9(b)示出探针2a接触到测定点(5)的状态下的、从-X方向观察的悬臂2的侧视图。图9(c)示出在探针2a接触到测定点(5)之后还进行按压的状态下的、从+Y方向观察的悬臂2的侧视图，图9(d)示出在探针2a接触到测定点(5)之后还进行按压的状态下的、从-X方向观察的悬臂2的侧视图。

[0083] 如图9(a)、(b)所示，在探针2a接触到测定点(5)的情况下，悬臂2产生一些挠曲量，并且由于与压接力对应的垂直抗力而产生+Y方向的扭曲量。这是因为，在测定点(5)中的试

样S的表面上具有-Y方向的倾斜。另外，如图9(c)、(d)所示，在从探针2a接触到测定点(5)的状态进行压接时，悬臂2产生与压接力相应的挠曲量，并且由于与压接力对应的垂直抗力而产生-Y方向的扭曲量。

[0084] 这里，在悬臂2上产生的挠曲量除了压接力以外，还受该压接的试样S的表面的倾斜的影响。例如，在探针2a接触的试样S的表面是斜面的情况下，为了使悬臂2的挠曲量成为固定值以上，需要比水平面更大的压接力。因此，在比较测定点(1)和测定点(5)的情况下，为了产生与测定点(1)等同的挠曲量，需要更大的压接力。

[0085] 在现有的扫描型探针显微镜中，将上述固定值设定为探针2a接触到测定点(1)时的挠曲量。因此，在现有的扫描型探针显微镜中，在探针2a接触到测定点(5)的状态(图9(a)、(b))下，不能检测出探针2a与试样S的接触。因此，现有的扫描型探针显微镜以更大的压接力对试样S进行压接，当悬臂2产生超过固定值的程度的+Z方向的挠曲量时，检测出探针2a与试样S的接触(图9(c)、(d))。因此，存在引起探针2a的磨损或试样S的变形的情况。本实施方式的扫描型探针显微镜1可根据悬臂2的扭曲量，来检测探针2a与试样S的接触。即，扫描型探针显微镜1在探针2a接触到具有斜面的测定点(5)的情况下(图9(a)、(b))，可根据悬臂2的扭曲量来检测探针2a与试样S的接触。因此，能够抑制探针2a的磨损或试样S的变形。

[0086] 图10是示出探针2a接触到试样S的测定点(6)时的悬臂2的位移的图。图10(a)示出探针2a接触到测定点(6)的状态下的、从-Y方向观察的悬臂2的侧视图，图10(b)示出探针2a接触到测定点(6)的状态下的、从-X方向观察的悬臂2的侧视图。图10(c)示出在探针2a接触到测定点(6)之后还进行按压的状态下的、从-Y方向观察的悬臂2的侧视图，图10(d)示出在探针2a接触到测定点(6)之后还进行按压的状态下的、从-X方向观察的悬臂2的侧视图。

[0087] 如图10(a)、(b)所示，在探针2a接触到测定点(6)的情况下，悬臂2由于与压接力对应的垂直抗力，而在与试样S的表面垂直的轴方向上产生与倾斜探针2a的力和压接力的对应的+Z方向的挠曲量。另外，悬臂2由于与压接力对应的垂直抗力而产生-Y方向的扭曲。另外，如图10(c)、(d)所示，在从探针2a接触到测定点(6)的状态进行压接时，悬臂2产生与压接力相应的挠曲量，并且由于与压接力对应的垂直抗力而产生-Y方向的扭曲量。因此，接触判定部42可通过第1检测信号所示的挠曲量是否超过挠曲上限阈值或第2检测信号所示的扭曲量是否超过扭曲上限阈值，判定探针2a是否与试样S的表面接触。

[0088] 图11是示出探针2a接触到试样S的测定点(7)时的悬臂2的位移的图。图11(a)示出探针2a接触到测定点(7)的状态下的、从-Y方向观察的悬臂2的侧视图，图11(b)示出探针2a接触到测定点(7)的状态下的、从-X方向观察的悬臂2的侧视图。图11(c)示出在探针2a接触到测定点(7)之后还进行按压的状态下的、从-Y方向观察的悬臂2的侧视图，图11(d)示出在探针2a接触到测定点(7)之后还进行按压的状态下的、从-X方向观察的悬臂2的侧视图。

[0089] 如图11(a)、(b)所示，在探针2a接触到测定点(7)的一次接触状态的情况下，悬臂2由于与压接力对应的垂直抗力，而在与试样S的表面垂直的轴方向上产生与使探针2a倾斜的力和压接力对应的-Z方向的挠曲量。另外，悬臂2由于与压接力对应的垂直抗力而产生-Y方向的扭曲量。另一方面，如图11(c)、(d)所示，在从探针2a接触到测定点(6)的状态进行压接的二次接触状态的情况下，悬臂2当其压接力超出产生由垂直抗力引起的挠曲量的力时，挠曲方向产生变化，在+Z方向上产生挠曲量。另外，悬臂2由于与压接力对应的垂直抗力而

产生-Y方向的扭曲量。

[0090] 现有的扫描型探针显微镜仅仅在+Z方向的挠曲量超过固定值时，判定为探针2a与试样S的表面接触，所以在探针2a接触到测定点(7)的一次接触状态(图11(a)、(b))下，无法判定探针2a与试样S的接触。因此，如上所述，现有的扫描型探针显微镜以更大的压接力对试样S进行压接，当悬臂2在+Z方向上挠曲的二次接触状态(图11(c)、(d))时，检测出探针2a与试样S的接触。因此，存在引起探针2a的磨损或试样S的变形的情况。本实施方式的扫描型探针显微镜1在悬臂2的挠曲量超过第1范围的情况下，判定为探针2a与试样S的表面接触，所以与挠曲方向无关，都能够判定探针2a与试样S的一次触接触状态。因此，能够抑制探针2a的磨损或试样S的变形。

[0091] 如上所述，在现有的扫描型探针显微镜中，根据探针接触的试样表面的形状，在检测探针2a与试样S的接触的接触检测时的压接力中产生偏差。在本实施方式的扫描型探针显微镜1中，除了抬起方向(+Z方向)引起的挠曲量以外，即使是下落方向(-Z方向)、扭曲方向(±Y方向)的位移(扭曲量)，也能全方位地检测并判定试样S与探针2a相接的状态，因此能够减低由于试样S的表面倾斜的影响而引起的压接力的偏差，并预先防止探针2a向试样S产生过剩的压接。

[0092] 返回图1，驱动部43控制由移动驱动部5进行的悬臂2的驱动。驱动部43通过利用移动驱动部5使悬臂2下降，来使探针2a与试样S的表面接触。并且，测定部44在探针2a与试样S的表面接触时，测定悬臂移动的距离，由此测定试样S的表面的凸凹形状。这样，测定部44在探针2a与试样S的表面接触时，测定相对于另一方进行相对移动的距离即相对距离(以下，简称为“相对距离”。)。在本实施方式中，虽然相对距离是在探针2a与试样S的表面接触之前使悬臂2下降的移动距离，但也可以是在探针2a与试样S的表面接触之前使试样S上升的移动距离。此外，测定部44可测定试样S的表面的物性。例如，测定部44在探针2a与试样S的表面接触的状态下连续地扫描试样S的表面，由此可测定试样S的表面的凸凹形状。另外，驱动部43可利用间歇性测定方法进行测定，该间歇性测定方法仅在预先设定的多个试样S的表面的测定点使探针2a与试样S的表面接触，由此间歇地扫描试样S的表面，并测定试样S的表面的凸凹形状。间歇性测定方法当探针2a在预先设定的多个测定点之间移动时，为了避免试样S与凸部的接触，而使探针2a在从试样S的表面分开一定距离(以下，称为“抬离的距离”。)的状态下进行移动，在下一测定点处使探针2a接近于试样S的表面。并且，此测定方法使探针2a与试样S的表面接触，进行试样S的表面的凸凹形状的测定，然后再次使探针2a退避至分开了抬离距离的位置。

[0093] 在本实施方式中，说明控制装置7采用间歇性测定方法的情况。

[0094] 驱动部43具备第1驱动部431以及第2驱动部432。

[0095] 第1驱动部431在扫描试样S的表面的情况下，为了使探针2a与试样S的表面接触而将第1驱动信号输出至Z方向驱动装置22，使悬臂2下降。由此，第1驱动部431使探针2a与试样S的表面接近。

[0096] 第1驱动部431在从接触判定部42输出第1接触信号与第2接触信号中的至少任意一个时，停止对Z方向驱动装置22输出第1驱动信号，由此停止悬臂2的下降动作。

[0097] 在利用第1驱动部431停止悬臂2的下降动作之后，测定部44测定相对距离。第1驱动部431在由测定部44进行的相对距离的测定结束时，使探针2a从试样S的表面退避抬离距

离。并且，第2驱动部432为了使探针2a移动到位于下一测定位置的正上方的测定下降位置，而对XY扫描仪25输出第2驱动信号。然后，第1驱动部431使悬臂2从该测定下降位置下降，在下一测定位置处使探针2a接触，开始由测定部44再次测定相对距离。

[0098] 测定部44在探针2a与试样S的表面接触的状态下，测定试样S的表面的凸凹形状。即，测定部44通过在每个测定位置取得相对距离，来测定试样S的表面的凸凹形状。例如，测定部44可根据探针2a与试样S的表面接触的状态下的第1驱动信号的电压值，计算相对距离。另外，测定部44可利用传感器(未图示)直接测量第1驱动部431的位移，或者利用传感器(未图示)直接测量探针的高度。

[0099] 以下，说明检测本实施方式的控制装置7中的探针2a与试样S1的表面的接触的接触检测处理的流程。图12是示出检测本实施方式的控制装置7中的探针2a与试样S1的表面的接触的接触检测处理的流程的图。此外，初始条件为探针2a位于预定的测定点中的测定下降位置的情况。

[0100] 第1驱动部431为了使探针2a与试样S的表面接触，而将第1驱动信号输出至Z方向驱动装置22，开始通过降低悬臂2来使探针2a接近于试样S的表面的接近动作(步骤S100)。

[0101] 第1判定部421判定从光检测部33输出的第1检测信号所示的挠曲量是否处于第1范围外(步骤S101)。第1判定部421在从光检测部33输出的第1检测信号所示的挠曲量是第1范围外时，判定为探针2a与试样S的表面接触，并将第1接触信号输出至第1驱动部431。第2判定部422在判定为从光检测部33输出的第1检测信号所示的挠曲量是第1范围内时，判定从光检测部33输出的第2检测信号所示的扭曲量是否是第2范围外(步骤S102)。第2判定部422在从光检测部33输出的第2检测信号所示的扭曲量是第2范围外时，判定为探针2a与试样S的表面接触，并将第2接触信号输出至第1驱动部431。第2判定部422在从光检测部33输出的第2检测信号所示的扭曲量不是第2范围外时，继续悬臂的接近动作。此外，在图12中，在步骤S101的处理之后执行步骤S102的处理，但不仅限于此。本实施方式中的控制装置7在步骤S102的处理之后，可进行步骤S101的处理，或者并列地进行步骤S101的处理和步骤S102的处理。

[0102] 第1驱动部431在取得第1接触信号与第2接触信号中的至少任意一个的情况下，通过停止对Z方向驱动装置22输出第1驱动信号，来停止悬臂2的接近动作(步骤S103)。

[0103] 测定部44在探针2a与试样S的表面接触的状态下，根据第1驱动信号的电压值计算相对距离，由此测定试样S的表面的凸凹形状(步骤S104)。

[0104] 第1驱动部431在由测定部44进行的预定的测定位置中的凸凹形状的测定结束时，使探针2a从试样S的表面退避抬离距离(步骤S105)。然后，第2驱动部432通过向XY扫描仪25输出第2驱动信号，来使探针2a移动到位于下一测定位置的正上方的测定下降位置(步骤S106)。

[0105] 此外，扫描型探针显微镜1在接触检测处理中，不仅仅是上述的各个时系列的测定，还可以进行並列的测定(以下，称为“並列测定”。)。例如，测定部44在由接触判定部42测定输出第1接触信号与第2接触信号中的至少任意一个时的相对距离的同时，第1驱动部431反转对Z方向驱动装置22的第1驱动信号的输出，由此使悬臂2的下降动作进行反转。以下，说明本实施方式中的並列测定。图13是示出本实施方式中的接触检测处理的並列测定的流程的图。

[0106] 第1驱动部431为了使探针2a与试样S的表面接触，而将第1驱动信号输出至Z方向驱动装置22，并使悬臂2下降，由此开始使探针2a接近于试样S的表面的接近动作(步骤S200)。

[0107] 第1判定部421判定从光检测部33输出的第1检测信号所示的挠曲量是否是第1范围外(步骤S201)。第1判定部421在从光检测部33输出的第1检测信号所示的挠曲量是第1范围外的情况下，判定为探针2a与试样S的表面接触，将第1接触信号输出至第1驱动部431。第2判定部422在判定为从光检测部33输出的第1检测信号所示的挠曲量是第1范围内的情况下，判断从光检测部33输出的第2检测信号所示的扭曲量是否是第2范围外(步骤S202)。第2判定部422在从光检测部33输出的第2检测信号所示的扭曲量是第2范围外的情况下，判定为探针2a与试样S的表面接触，并将第2接触信号输出至第1驱动部431。

[0108] 例如，测定部44在开始接触检测处理时，连续地测定相对距离。并且，测定部44将从接触判定部42输出第1接触信号与第2接触信号中的至少任意一个时的相对距离决定为在探针2a与试样S接触时的相对距离(步骤S203)。此外，测定部44仅在从接触判定部42输出第1接触信号和第2接触信号的情况下，可测定相对距离。

[0109] 第1驱动部431在利用测定部44决定相对距离的同时，使探针2a从试样S的表面退避抬离距离(步骤S203)。然后，第2驱动部432通过对XY扫描仪25输出第2驱动信号，来使探针2a移动至位于下一测定位置的正上方的测定下降位置(步骤S204)。

[0110] 这样，本实施方式中的并列测定可不停止悬臂2，测定悬臂的探针2a与试样S接触时的相对距离。当在停止悬臂2之后测定相对距离时，悬臂2在停止悬臂2之前的稍许时间会驶过(overrun)，从而存在测定部44的测定值的误差增加并且施加对应该误差量的对于试样S按压的力的情况。

[0111] 本实施方式的扫描型探针显微镜1因为能够同时进行探针2a与试样S的接触的检测和此接触时的相对距离的测定，所以能够抑制悬臂2的驶过，抑制测定部44的测定值的误差增加。因此，扫描型探针显微镜1能够降低对于试样S较强按压的力的情况。

[0112] 如上所述，本实施方式中的扫描型探针显微镜1使探针2a接触到试样S的表面，利用探针2a扫描试样S的表面，该扫描型探针显微镜根据悬臂2的挠曲量和扭曲量，判定探针2a是否与试样S的表面接触。具体地说，扫描型探针显微镜1在悬臂2的挠曲量超过第1范围的第1条件和悬臂2的扭曲量超过第2范围的第2条件中的至少任意一个成立的情况下，判定为探针2a与试样S的表面接触。由此，在探针2a接触的试样S的表面是斜面的情况下，能够改善检测探针2a与试样S的表面的接触的接触检测的压接力的值相比于水平面发生变化的现象。

[0113] 另外，在上述的实施方式中，扫描型探针显微镜1可根据由光检测部33输出的第2检测信号所示的扭曲量，判定在扫描方向中的试样S的表面上是否具有倾斜。另外，扫描型探针显微镜1可根据由光检测部33输出的第2检测信号所示的扭曲量的大小，来预测扫描方向中的试样S的表面的倾斜的大小(角度)。另外，扫描型探针显微镜1可根据由光检测部33输出的第2检测信号所示的扭曲量的符号，判定扫描方向中的试样S的表面的倾斜是下倾斜还是上倾斜。

[0114] 另外，在上述的实施方式中，扫描型探针显微镜1还可以具备计算部，该计算部根据由光检测部33输出的第2检测信号所示的扭曲量，计算使探针2a在从试样S离开的方向上

退避的抬离距离。即，扫描型探针显微镜1在间歇性测定方法中，可根据悬臂2的扭曲量来决定向下一测定下降位置移动时的抬离距离。例如，计算部根据由光检测部33输出的第2检测信号所示的扭曲量的大小或符号，来决定抬离距离。另外，计算部具有使扭曲量与抬离距离相关联的表，通过从上述表中选择与由光检测部33输出的第2检测信号所示的扭曲量对应的抬离距离，可决定抬离距离。抬离距离的最佳值根据试样S的表面的形状而不同。因此，在扫描不知道试样表面的形状的未知试样的情况下，需要事先估计最佳的抬离距离。在本实施方式中，因为可根据扫描方向中的试样S的斜面的倾斜来决定抬离距离，所以在使探针2a移动至位于下一测定位置的正上方的测定下降位置的情况下，能够减低探针2a与试样S的接触且缩短测定时间。

[0115] 另外，在上述的实施方式中，扫描型探针显微镜1在使探针2a移动至位于下一测定位置的正上方的测定下降位置的情况下，可根据由光检测部33输出的第2检测信号所示的扭曲量，来检测探针2a与试样S的表面的接触。例如，扫描型探针显微镜1在探针2a向位于下一测定位置的正上方的测定下降位置移动时检测探针2a与试样S的表面的接触的情况下，停止该移动，使探针2a从试样S的表面向+Z方向进行退避。由此，在探针2a移动至测定下降位置的情况下，即使探针2a与试样S接触，与现有的相比也能够抑制探针2a的磨损或试样S的损伤。

[0116] 另外，在上述的实施方式中，扫描型探针显微镜1在间歇性测定方法内的退避动作中，可根据第1检测信号所示的挠曲量和第2检测信号所示的扭曲量，判定探针2a与试样S的表面未接触的情况。

[0117] 另外，在上述的实施方式中，扫描型探针显微镜1在探针2a与试样S的表面接触的状态下连续地扫描试样S的表面时，可控制Z方向驱动装置22，以使第1检测信号所示的挠曲量是第1范围内且第2检测信号所示的扭曲量是第2范围内。由此，即使在试样S的表面具有斜面的情况下，也能够使探针2a与试样S的表面的距离保持为固定的距离。

[0118] 另外，在上述的实施方式中，不是使试样台4移动，而是使悬臂2进行移动，由此能够使探针2a与试样S针对XY方向相对地进行移动。

[0119] 可利用计算机来实现上述的实施方式中的控制装置7。在此情况下，可通过在计算机可读取的记录介质中记录用于实现该功能的程序，使计算机系统读入并执行该记录介质所记录的程序，来予以实现。此外，这里所说的“计算机系统”是指包含OS或周边设备等硬件的系统。另外，所谓“计算机可读取的记录介质”是指软盘、光磁盘、ROM、CD-ROM等可移动介质、内置于计算机系统的硬盘等存储装置。此外，所谓“计算机可读取的记录介质”还可以包含如经由互联网等网络或电话线路等通信线路发送程序时的通信线那样在短时间之内动态地保持程序的介质以及如成为此时的服务器或客户机的计算机系统内部的挥发性存储器那样在固定时间内保持程序的介质。另外，上述程序可以是用于实现上述功能的一部分的程序，还可以是通过与在计算机系统中已经记录的程序的组合来实现上述功能的程序，可以是采用FPGA(Field Programmable Gate Array:现场可编程门阵列)等可编程逻辑设备来实现的程序。

[0120] 以上，参照附图详细地叙述了本发明的实施方式，但具体的结构不被该实施方式所限定，还包含不脱离本发明要旨的范围的设计等。

[0121] 在权利要求的范围、说明书以及附图中示出的装置、系统、程序以及方法内的动

作、顺序、步骤以及阶段等各个处理的执行顺序未特别明示为“更前”、“之前”等，另外，只要不是在后面的处理中采用前面处理的输出，就应该留意到能够以任意的顺序来实现。关于权利要求的范围、说明书以及附图中的动作流程，即使为了方便而采用“首先”“接着”等进行说明，也不表示必须以此顺序来实施。

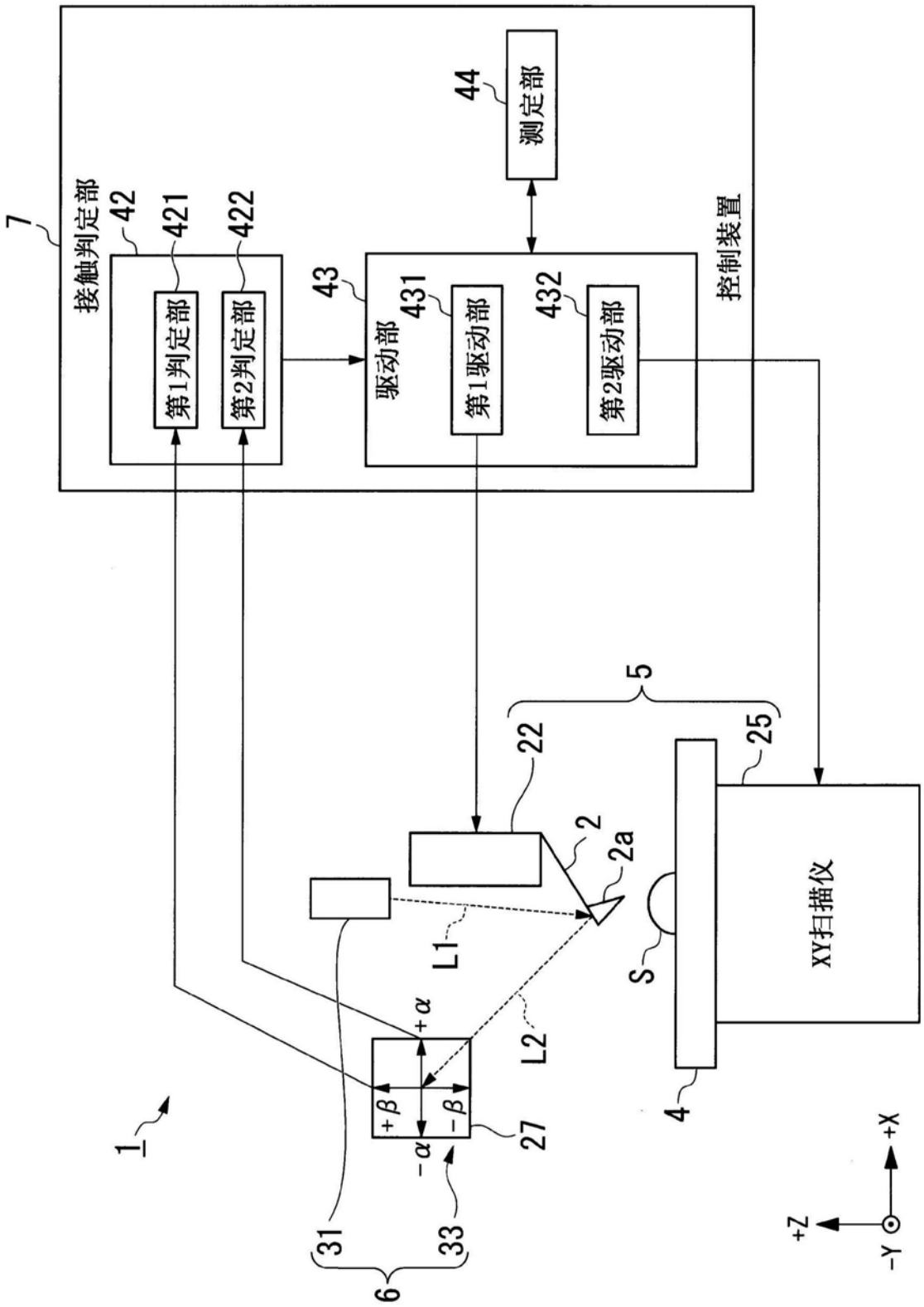

7
接触判定部
42
421
第1判定部
422
第2判定部
43
驱动部
431
第1驱动部
432
第2驱动部
44
测定部
控制装置
5
22
25
2
2a
XY扫描仪
L1
L2
S
+α
-α
+β
-β
27
4
1
31
33
6
+X
+Z
-Y

图1

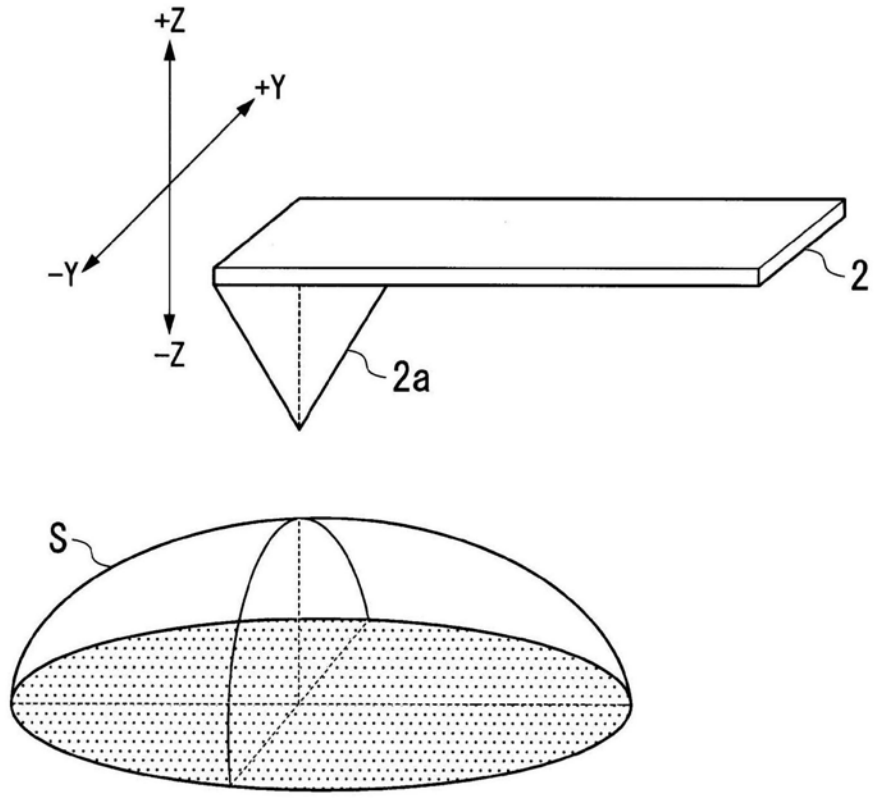


图2

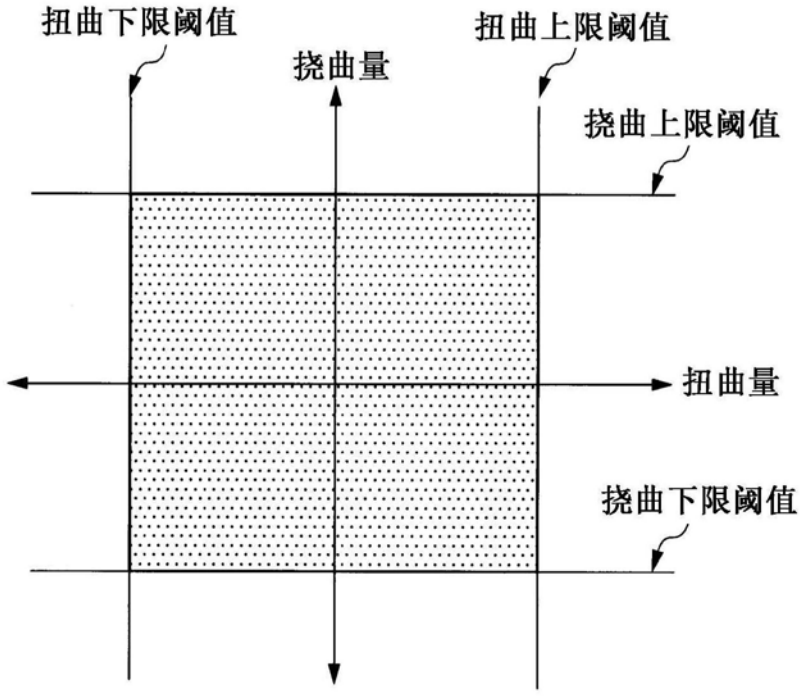


图3

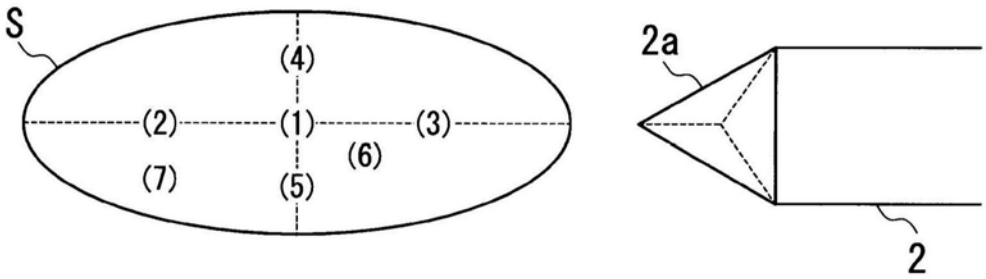


图4

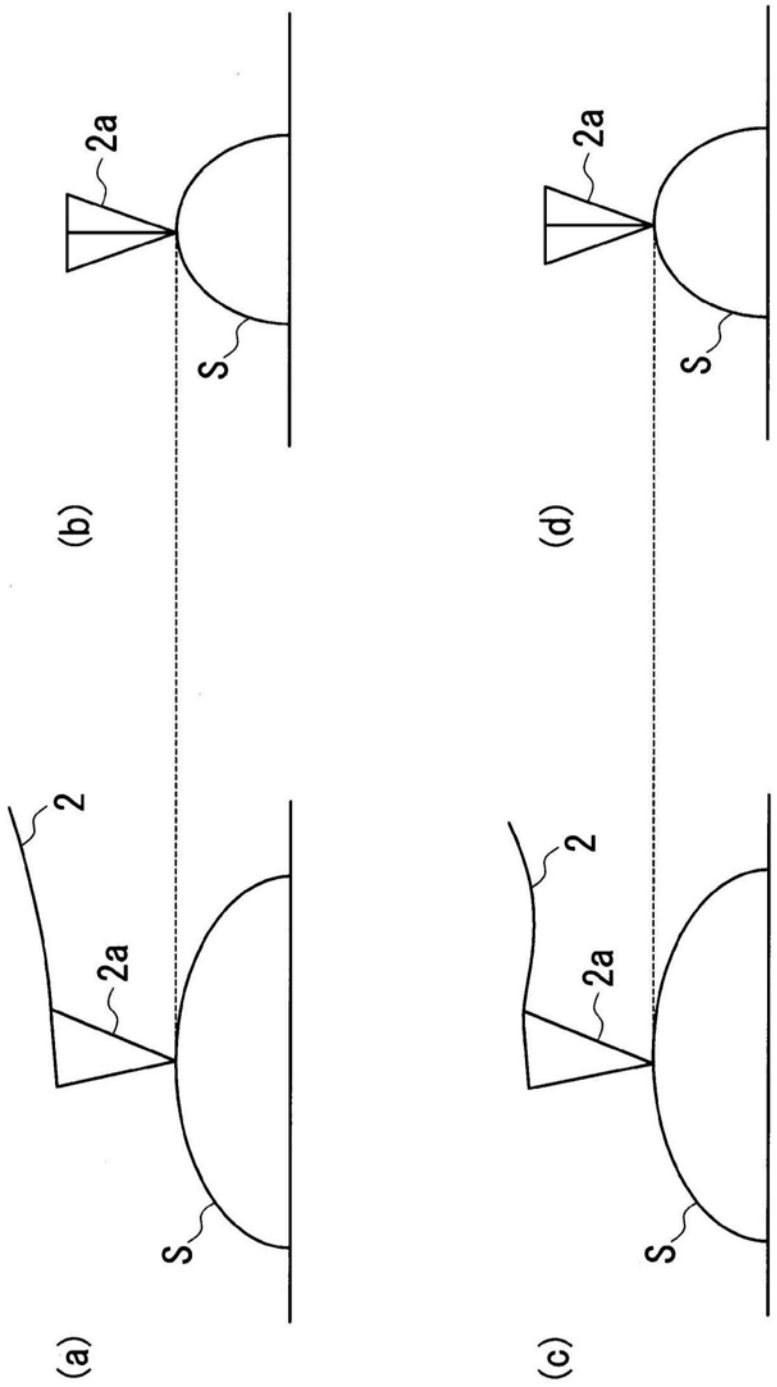


图5

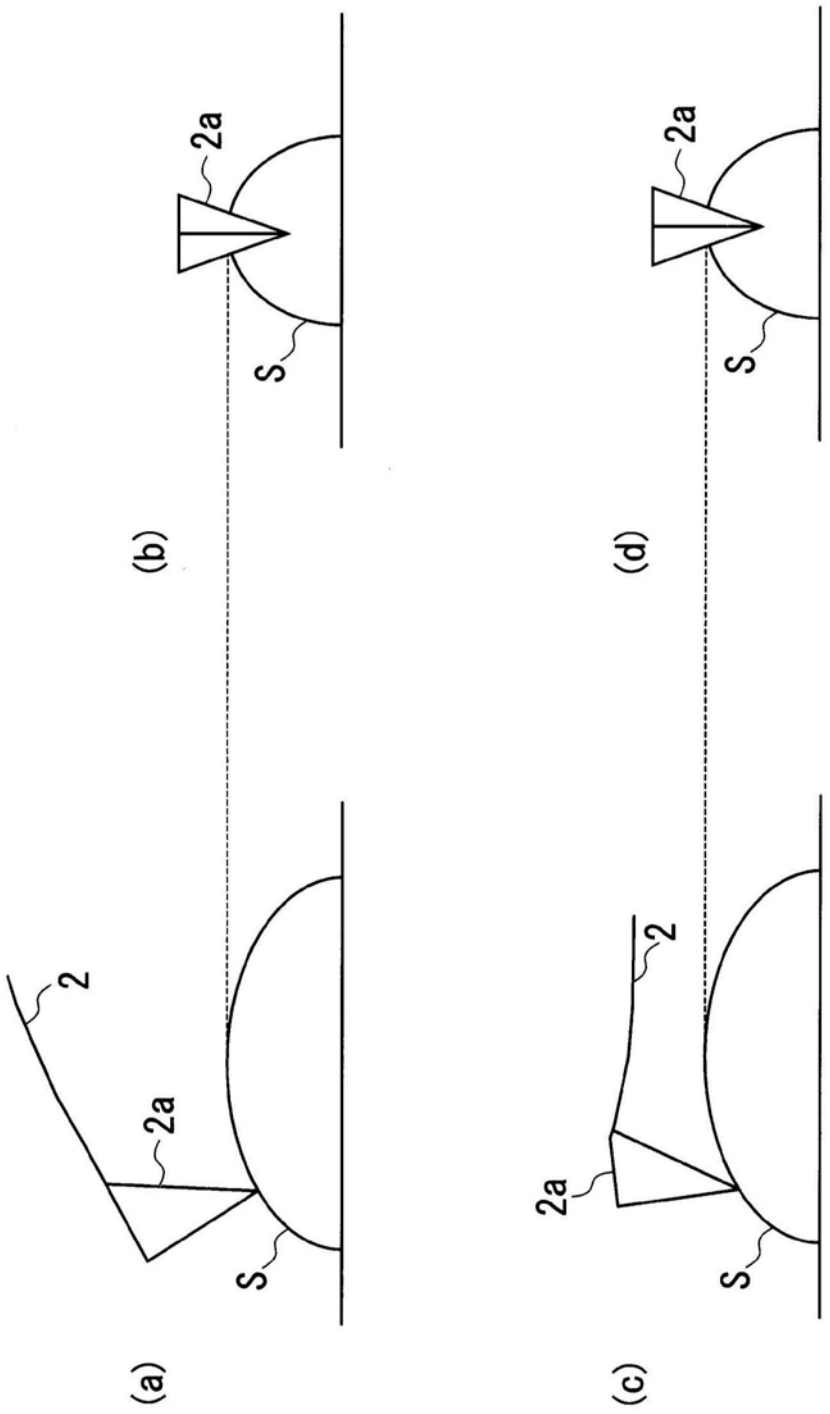


图6

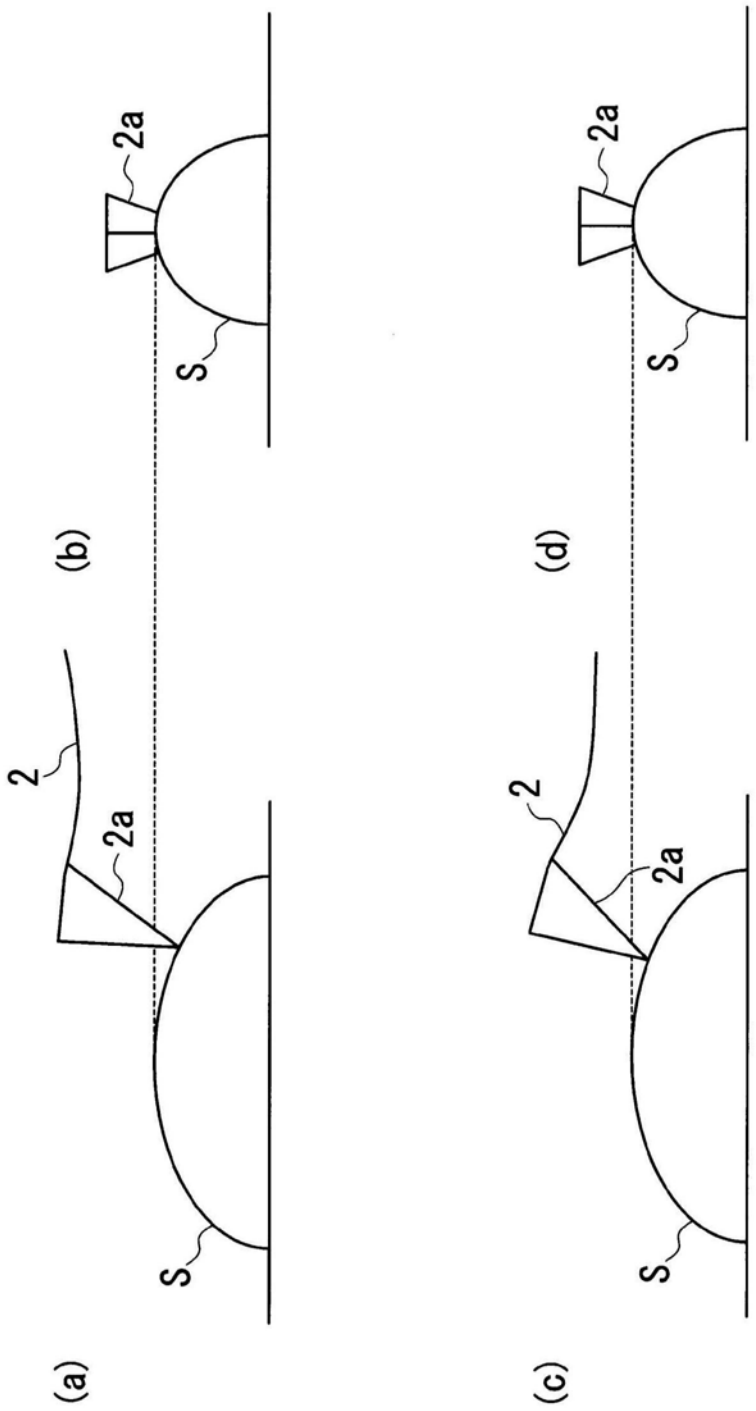


图7

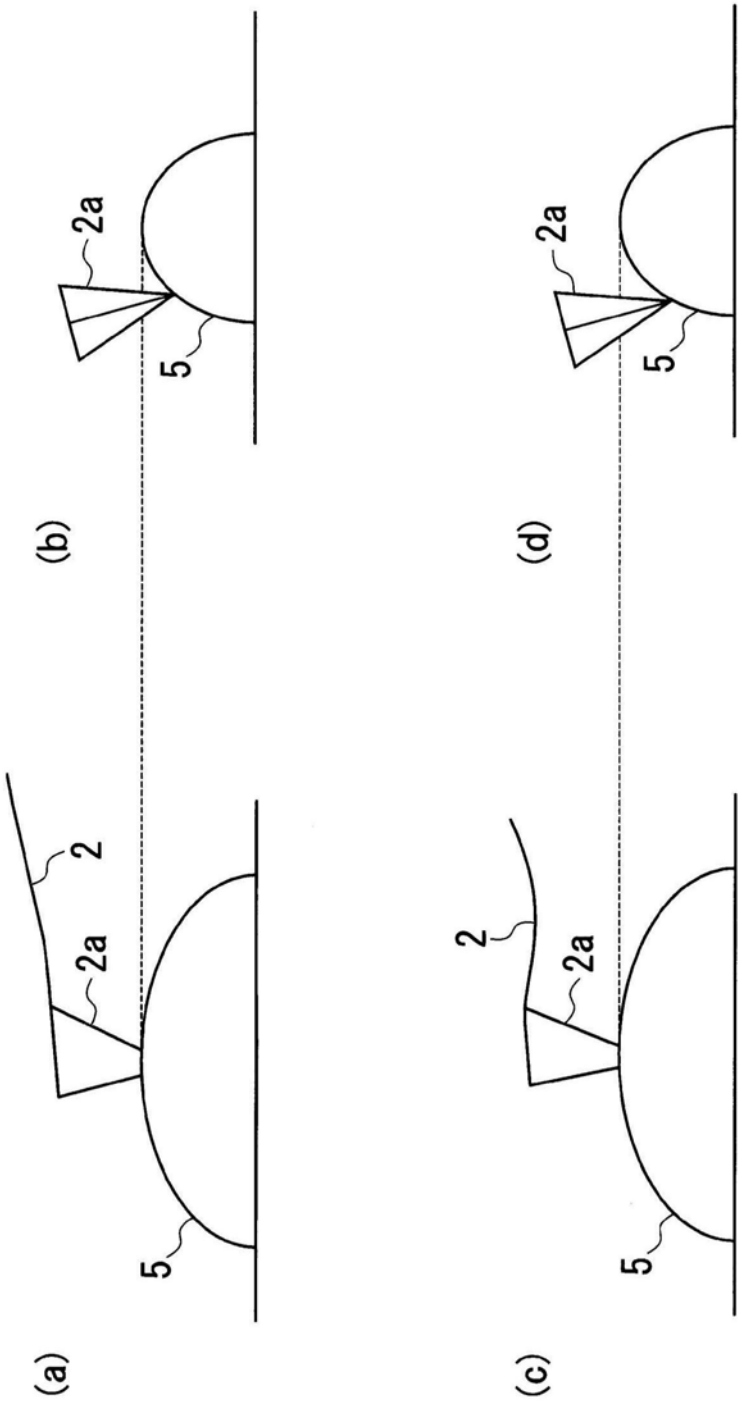


图8

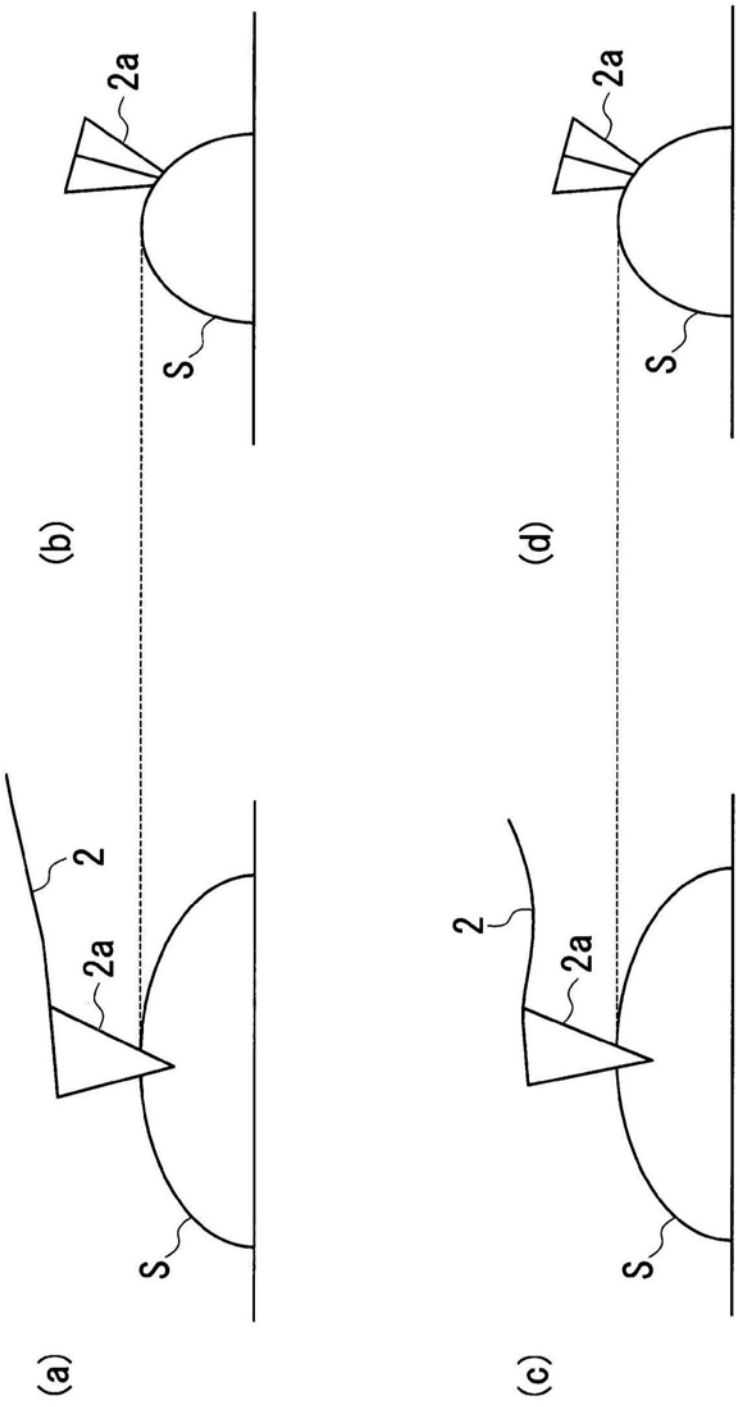


图9

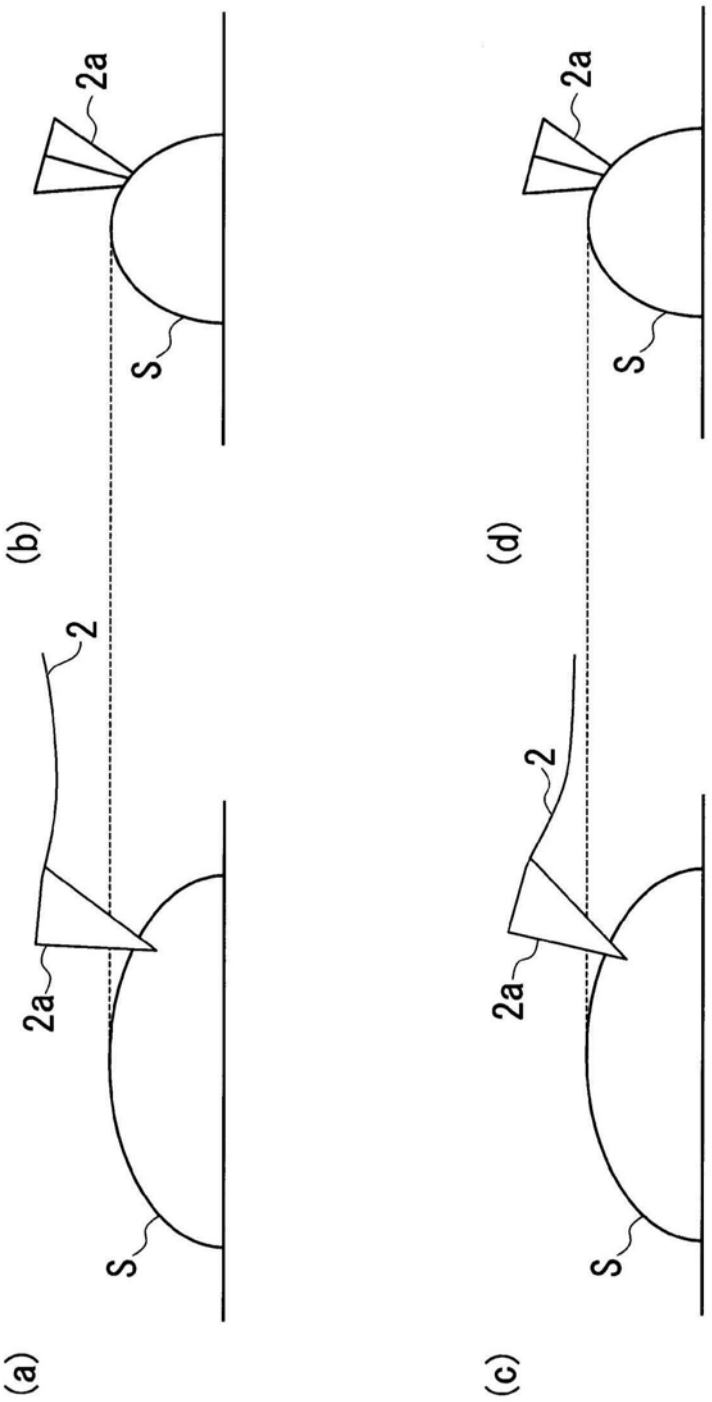


图10

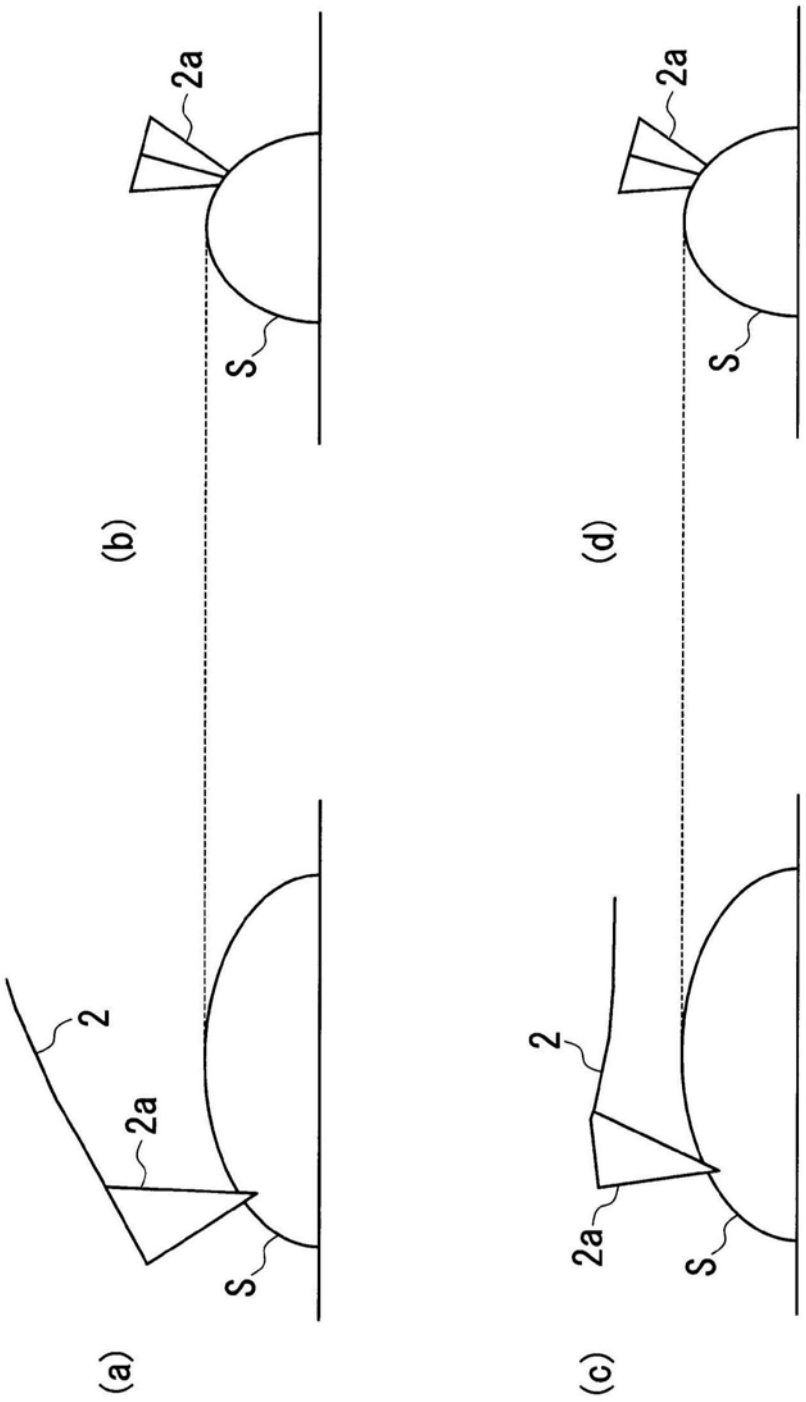


图11

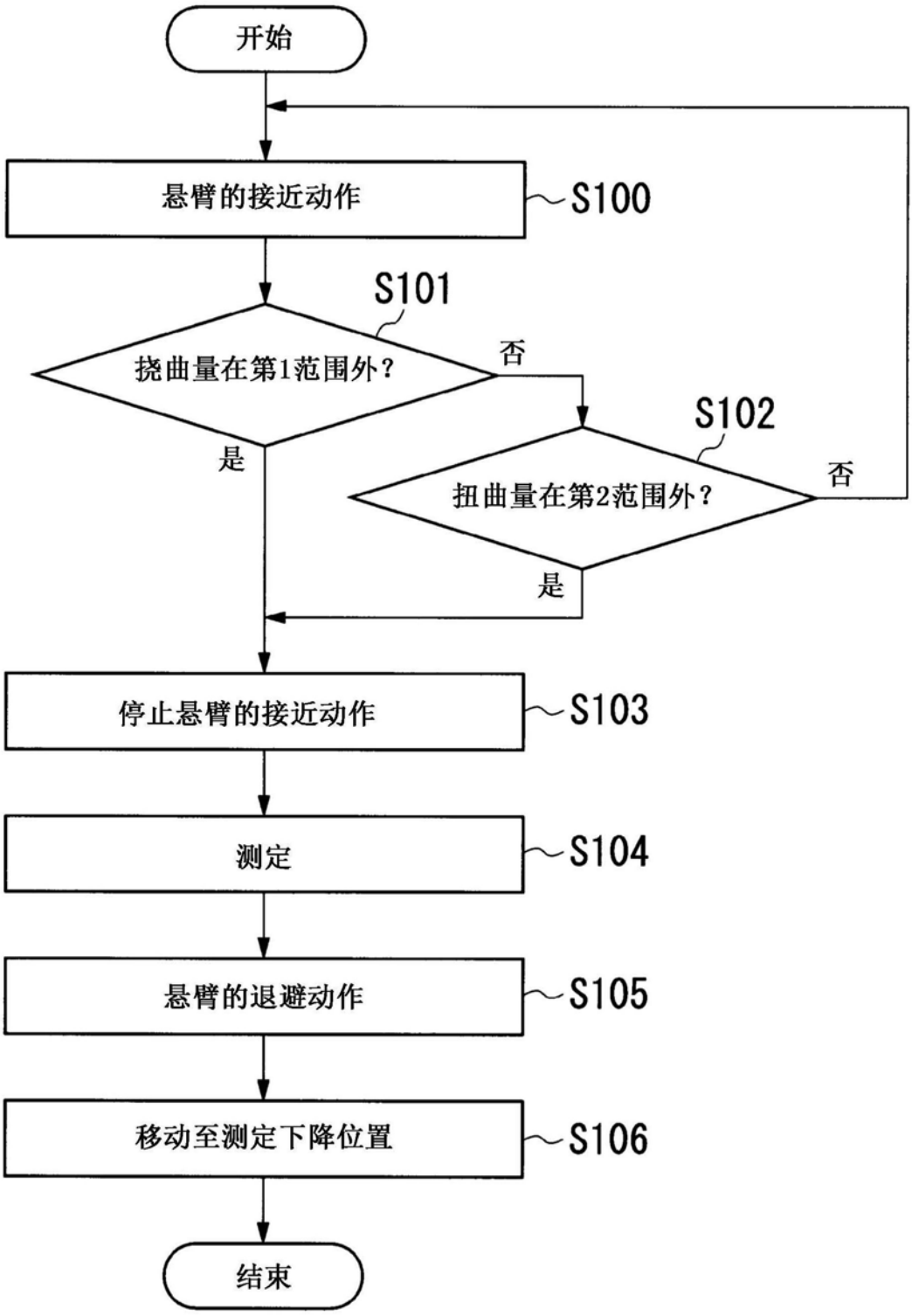

开始
悬臂的接近动作
S100
S101
挠曲量在第1范围外？
否
是
S102
扭曲量在第2范围外？
否
是
停止悬臂的接近动作
S103
测定
S104
悬臂的退避动作
S105
移动至测定下降位置
S106
结束

图12

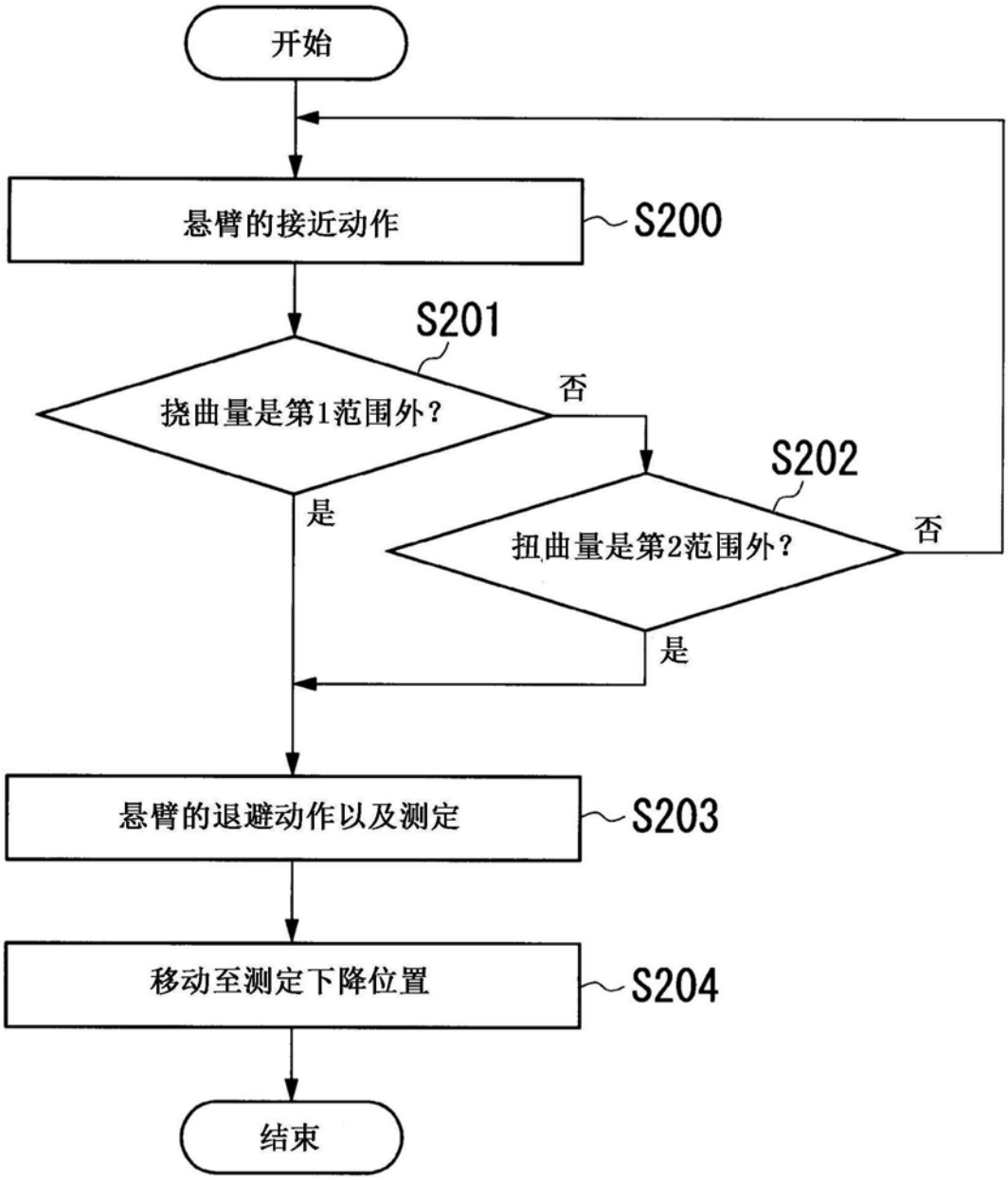

开始
悬臂的接近动作
S200
S201
挠曲量是第1范围外？
否
是
S202
扭曲量是第2范围外？
否
是
悬臂的退避动作以及测定
S203
移动至测定下降位置
S204
结束

图13