

[19] 中华人民共和国国家知识产权局



[12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200710005974.9

[51] Int. Cl.

G01B 11/00 (2006.01)

G01B 11/02 (2006.01)

G01B 11/30 (2006.01)

G01C 3/06 (2006.01)

H01L 21/66 (2006.01)

[43] 公开日 2007 年 8 月 22 日

[11] 公开号 CN 101021410A

[22] 申请日 2007.2.15

[21] 申请号 200710005974.9

[30] 优先权

[32] 2006.2.15 [33] JP [31] 2006-038647

[32] 2006.12.28 [33] JP [31] 2006-355597

[71] 申请人 住友电气工业株式会社

地址 日本大阪府大阪市中央区北浜四丁目 5
番 33 号

[72] 发明人 石桥惠二 田中仁子

[74] 专利代理机构 中原信达知识产权代理有限责任

公司

代理人 林宇清 谢丽娜

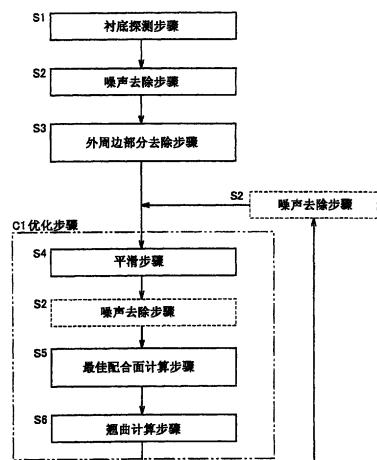
权利要求书 5 页 说明书 25 页 附图 9 页

[54] 发明名称

测量衬底后表面的翘曲的方法

[57] 摘要

一种测量衬底的后表面翘曲的方法，包括衬底探测步骤(S1)、最佳配合面计算步骤(S5)以及翘曲计算步骤(S6)。此外，该测量衬底后表面翘曲的方法在衬底探测步骤(S1)之后和最佳配合面计算步骤(S5)之前还可以包括：噪声去除步骤(S2)和外周边部分去除步骤(S3)；外周边部分去除步骤(S3)和平滑步骤(S4)；或噪声去除步骤(S2)、外周边去除步骤(S3)以及平滑步骤(S4)。由此，可以提供一种测量衬底的后表面翘曲的方法，该衬底的后表面具有高表面粗糙度。



1. 一种使用激光位移量测计（15）测量与衬底（10）的晶体生长表面（10c）相对的后表面（10r）的翘曲的方法，

所述衬底（10）被布置在衬底支撑台（12）上，

包括：

使用所述激光位移量测计（15）探测分别对应于所述衬底（10）的所述后表面（10r）上的多个测量点的多个位移值的衬底探测步骤（S1）；

除去所述多个位移值中包含的噪声的噪声去除步骤（S2）；

从所述多个位移值中除去分别对应于所述衬底（10）的外周边部分中的测量点的那些位移值，用于计算多个计算用的位移值的外周边部分去除步骤（S3）；

平滑所述多个计算用的位移值以计算翘曲面（30）的平滑步骤（S4）；

计算至所述翘曲面（30）具有最小距离的最佳配合面（50）的最佳配合面计算步骤（S5）；以及

计算从所述最佳配合面（50）至由相对于所述最佳配合面（50）的一侧上的所述翘曲面（30）的最大位移值表示的点的距离和从所述最佳配合面（50）至由相对于所述最佳配合面（50）的另一侧上的所述翘曲面（30）的最大位移值表示的点的距离的总和作为翘曲的翘曲计算步骤（S6）。

2. 根据权利要求1的测量衬底后表面翘曲的方法，其中所述衬底（10）被布置在具有三个支撑部分（12h）的所述衬底支撑台（12）上，以便所述衬底（10）的所述晶体生长表面（10c）被所述三个支撑部分（12h）支撑。

3. 根据权利要求1的测量衬底后表面翘曲的方法，其中通过激光聚焦技术测量所述激光位移量测计（15）和所述后表面（10r）上的所

述多个测量点之间的距离，同时以逐渐的方式，在二维方向上移动其上布置所述衬底（10）的所述衬底支撑台（12），来执行所述衬底探测步骤（S1）。

4. 根据权利要求1的测量衬底后表面翘曲的方法，其中使用中值滤波器执行所述噪声去除步骤（S2）。

5. 根据权利要求1的测量衬底后表面翘曲的方法，其中使用高斯滤波器执行所述平滑步骤（S4）。

6. 根据权利要求1的测量衬底后表面翘曲的方法，其中通过计算所述最佳配合面（50）以使所述最佳配合面（50）和由经受所述平滑的所述多个计算用的位移值的每一个所表示的每个点之间的每个距离的平方和最小化，来执行所述最佳配合面计算步骤（S5）。

7. 根据权利要求1的测量衬底后表面翘曲的方法，其中包括所述平滑步骤（S4）、所述最佳配合面计算步骤（S5）以及所述翘曲计算步骤（S6）的优化周期（C1）被重复一次或多次。

8. 根据权利要求7的测量衬底后表面翘曲的方法，其中在所述重复的优化周期（C1）之间的间隔中或在所述优化周期（C1）中的所述平滑步骤（S4）之后包括至少一个噪声去除步骤（S2）。

9. 一种使用激光位移量测计（15）测量与衬底（10）的晶体生长表面（10c）相对的后表面（10r）的翘曲的方法，

所述衬底（10）被布置在衬底支撑台（12）上，

包括：

使用所述激光位移量测计（15）探测分别对应于所述衬底（10）的所述后表面（10r）上的多个测量点的多个位移值的衬底探测步骤（S1）；

计算到分别由所述多个位移值表示的多个点具有最小距离的最佳配合面（50）的最佳配合面计算步骤（S5）；以及

在分别由所述多个位移值表示的多个点中，计算从所述最佳配合面（50）至由相对于所述最佳配合面（50）的一侧上的最大位移值表示的点的距离和从所述最佳配合面（50）至由相对于所述最佳配合面（50）的另一侧上的最大位移值表示的点的距离的总和作为翘曲的翘曲计算步骤（S6）。

10. 根据权利要求9的测量衬底后表面翘曲的方法，其中所述衬底（10）被布置在具有三个支撑部分（12h）的所述衬底支撑台（12）上，以便所述衬底（10）的所述晶体生长表面（10c）被所述三个支撑部分（12h）支撑。

11. 根据权利要求9的测量衬底后表面翘曲的方法，其中通过激光聚焦技术测量所述激光位移量测计（15）和所述后表面（10r）上的所述多个测量点之间的距离，同时以逐渐的方式，在二维方向上移动其上布置所述衬底（10）的所述衬底支撑台（12），来执行所述衬底探测步骤（S1）。

12. 根据权利要求9的测量衬底后表面翘曲的方法，在所述衬底探测步骤（S1）之后和所述最佳配合面计算步骤（S5）之前还包括：

除去所述多个位移值中包含的噪声的噪声去除步骤（S2）；以及

从所述多个位移值中除去分别对应于所述衬底的外周边部分中的测量点的那些位移值，用于计算多个计算用的位移值的外周边部分去除步骤（S3），以及

使用所述多个计算用的位移值作为所述最佳配合面计算步骤（S5）和所述翘曲计算步骤（S6）中的所述多个位移值。

13. 根据权利要求12的测量衬底后表面翘曲的方法，其中使用中值滤波器执行所述噪声去除步骤（S2）。

14. 根据权利要求12的测量衬底后表面翘曲的方法，其中所述衬底（10）被布置在具有三个支撑部分（12h）的所述衬底支撑台（12）上，以便所述衬底（10）的所述晶体生长表面（10c）被所述三个支撑部分（12h）支撑。

15. 根据权利要求12的测量衬底后表面翘曲的方法，其中通过激光聚焦技术测量所述激光位移量测计（15）和所述后表面（10r）上的所述多个测量点之间的距离，同时以逐渐的方式，在二维方向上移动其上布置所述衬底（10）的所述衬底支撑台（12），执行所述衬底探测步骤（S1）。

16. 根据权利要求9的测量衬底后表面翘曲的方法，在所述衬底探测步骤（S1）之后和所述最佳配合面计算步骤（S5）之前还包括：

从所述多个位移值中除去分别对应于所述衬底的外周边部分中的测量点的那些位移值，用于计算多个计算用的位移值的外周边部分去除步骤（S3）；以及

平滑所述多个计算用的位移值以计算翘曲面（30）的平滑步骤（S4），以及

使用分别由在所述翘曲面（30）上经受平滑的所述多个计算用的位移值所表示的多个点作为分别由所述最佳配合面计算步骤（S5）和所述翘曲计算步骤（S6）中的所述多个位移值表示的多个点。

17. 根据权利要求16的测量衬底后表面翘曲的方法，其中使用高斯滤波器执行所述平滑步骤（S4）。

18. 根据权利要求16的测量衬底后表面翘曲的方法，其中所述衬底（10）被布置在具有三个支撑部分（12h）的所述衬底支撑台（12）上，以便所述衬底（10）的所述晶体生长表面（10c）被所述三个支撑部分（12h）支撑。

19. 根据权利要求 16 的测量衬底后表面翘曲的方法，其中通过激光聚焦技术测量所述激光位移量测计（15）和所述后表面（10r）上的所述多个测量点之间的距离，同时以逐渐的方式，在二维方向上移动其上布置所述衬底（10）的所述衬底支撑台（12），来执行所述衬底探测步骤（S1）。

测量衬底后表面的翘曲的方法

技术领域

本发明涉及一种测量半导体器件等中使用的衬底后表面翘曲的方法，更具体地说涉及一种使用激光位移量测计测量衬底后表面（与晶体生长表面相对的表面；下面相同）的方法。

背景技术

在半导体器件等等中使用的衬底中，必须在衬底上形成具有良好质量的一个或多个半导体层，以便获得具有优异性能的半导体器件。由此，要求衬底具有减小翘曲（warpage）和表面粗糙度的晶体生长表面。晶体生长表面的翘曲可以通过采用光学干涉测量法的平面测试器来测量，以及晶体生长表面的表面粗糙度可以通过3D-SEM（三维扫描电子显微镜；下面相同）等来测量（例如参见，“Superprecision Wafer Surface Control Technology”，by Yoshiaki Matushita et al., the first edition, Science Forum Inc., February 28, 2000, pages 258-264 and 272-278（非专利文献1））。

为了在衬底上形成具有良好质量的一个或多个半导体层，要求衬底不仅具有减小的翘曲和表面粗糙度的晶体生长表面，而且具有减小的翘曲和表面粗糙度的后表面。如果后表面具有大的翘曲和表面粗糙度，那么当在衬底的晶体生长表面上形成半导体层时，这导致衬底的后表面和基座（意味着其上布置衬底的工作台；下面相同）之间形成的间隙部分增加。结果，从基座到衬底传递的热量被不匀地分布，以及在衬底的晶体生长表面上不能均匀地和稳定地形成半导体层。因此，不能形成具有良好质量的半导体层。

因此，为了制备适合于半导体器件的制造的衬底，不仅必须评估

衬底的晶体生长表面的翘曲和表面粗糙度，而且必须评估衬底后表面的翘曲和表面粗糙度。后表面的表面粗糙度可以通过3D-SEM等等来测量。

但是，后表面具有大于晶体生长表面的表面粗糙度，以及它常常具有不少于50nm的表面粗糙度Ra。由此，通过采用光学干涉测量法的平面测试器难以测量后表面的翘曲。此外，由于采用光学干涉测量法的平面测试器不能获得反射光束，因此它不能提供数据分析。

因此，对于研制一种测量衬底后表面翘曲以便制造具有优异性能的半导体器件的方法有着强烈的需要。

发明内容

本发明的一个目的是提供一种测量衬底后表面的翘曲的方法。

本发明是使用激光位移量测计，测量与衬底的晶体生长表面相对的后表面翘曲的方法，该衬底被布置在衬底支撑台上，该方法包括：使用激光位移量测计探测分别对应于衬底后表面上的多个测量点的多个位移值的衬底探测步骤；除去多个位移值中包含的噪声的噪声去除步骤；通过从多个位移值中除去分别对应于衬底的外周边部分中的测量点的那些位移值，计算多个计算用的位移值的外周边部分去除步骤；平滑该多个计算用的位移值，以计算翘曲面的平滑步骤；计算到翘曲面具有最小距离的最佳配合面的最佳配合面计算步骤；以及计算从最佳配合面到由相对于该最佳配合面的一侧上的翘曲面的最大位移值表示的点的距离和从该最佳配合面至由相对于最佳配合面的另一侧上的翘曲面的最大位移值表示的点的距离总和作为翘曲的翘曲计算步骤。

在根据本发明测量衬底后表面的翘曲的方法中，衬底可以被布置在具有三个支撑部分的衬底支撑台上，以便该衬底的晶体生长表面被三个支撑部分支撑。此外，可以通过激光聚焦技术，测量激光位移量

测计和后表面上的多个测量点之间的距离，同时以逐渐的方式，在二维方向上移动其上布置衬底的衬底支撑台，执行衬底探测步骤。此外，可以使用中值滤波器来执行噪声去除步骤。此外。可以使用高斯滤波器来执行平滑步骤。此外，可以通过计算最佳配合面，以使最佳配合面和由经受平滑的多个计算用的位移值的每一个表示的每个点之间的每个距离的平方和最小化，执行最佳配合面计算步骤。

此外，在根据本发明测量衬底后表面的翘曲的方法中，包括平滑步骤、最佳配合面计算步骤以及翘曲计算步骤的优化周期可以被重复一次或多次。此外，在重复的优化周期之间的间隔中或在优化周期中的平滑步骤之后，可以包括至少一个噪声去除步骤。

此外，本发明是使用激光位移量测计测量与衬底的晶体生长表面相对的后表面翘曲的方法，该衬底被布置在衬底支撑台上，该方法包括：使用激光位移量测计探测分别对应于衬底后表面上的多个测量点的多个位移值的衬底探测步骤；计算到分别由多个位移值表示的多个点具有最小距离的最佳配合面的最佳配合面计算步骤；以及在分别由多个位移值表示的多个点中，计算从该最佳配合面到由相对于该最佳配合面的一侧上的最大位移值表示的点的距离和从该最佳配合面至由相对于该最佳配合面的另一侧上的最大位移值表示的点的距离总和作为翘曲的翘曲计算步骤。

此外，根据本发明测量衬底后表面翘曲的方法在衬底探测步骤之后和最佳配合面计算步骤之前还可以包括：除去多个位移值中包含的噪声的噪声去除步骤；以及通过从多个位移值中除去分别对应于衬底的外周边部分中的测量点的那些位移值，计算多个计算用的位移值的外周边部分去除步骤，以及可以使用该多个计算用的多个位移值作为最佳配合面计算步骤和翘曲计算步骤中的多个位移值。在此情况下，可以使用中值滤波器执行噪声去除步骤。

此外，根据本发明测量衬底后表面翘曲的方法在衬底探测步骤之后和最佳配合面计算步骤之前还可以包括：通过从多个位移值中除去分别对应于衬底的外周边部分中的测量点的那些，计算多个位移值的外周边部分去除步骤；以及平滑该多个计算用的位移值以计算翘曲面的平滑步骤，以及可以使用分别由该在翘曲面上经受平滑的多个计算用的位移值表示的多个点作为分别由最佳配合面计算步骤和翘曲计算步骤中的多个位移值表示的多个点。在此情况下，可以使用高斯滤波器执行步骤。

此外，在根据本发明测量衬底的后表面翘曲的方法中，衬底可以被布置在具有三个支撑部分的衬底支撑台上，以便通过三个支撑部分支撑衬底的晶体生长表面。此外，可以通过激光聚焦技术，测量激光位移量测计和后表面上的多个测量点之间的距离，同时以逐渐的方式，在二维方向上移动其上布置衬底的衬底支撑台，执行衬底探测步骤。

根据本发明，可以提供一种测量衬底后表面的翘曲的方法。

从本发明的以下详细描述同时结合附图，将使本发明的上述及其他目的特点、方面和优点变得更明显。

附图说明

图1是说明根据本发明测量衬底后表面翘曲的方法例子的流程图。

图2示出了根据本发明测量衬底后表面翘曲的方法中使用的测量设备的示意性视图。

图3示出了根据本发明测量衬底后表面翘曲的方法中的多个测量点的示意性平面图。

图4示出了多个测量点的排列的示意性平面图。

图5A是用于8-相邻高斯滤波器的中心的示意性视图，说明用作系数的高斯函数 $f(x, y)$ 被排列的位置。

图5B是用于8-相邻高斯滤波器的中心的示意性视图，说明在归一

化之前具有 $\sigma=5$ 的系数的排列。

图5C是用于8-相邻高斯滤波器的中心的示意性视图，说明在归一化之后具有 $\sigma=5$ 的系数的排列。

图6A和6B示出了根据本发明测量衬底后表面翘曲的方法中的翘曲计算步骤的示意性视图。

图7是说明根据本发明测量衬底后表面翘曲的方法的另一例子的流程图。

图8是说明根据本发明测量衬底的后表面翘曲的方法的再一例子的流程图。

图9是说明根据本发明测量衬底后表面翘曲的方法的再一例子的流程图。

图10A和10B示出了根据本发明测量衬底后表面翘曲的方法中的翘曲计算步骤的另一例子的示意性视图。

图11A和11B示出了根据本发明测量衬底后表面翘曲的方法中的翘曲计算步骤的再一例子的示意性视图。

具体实施方式

第一实施例

参考图1，根据本发明测量衬底后表面翘曲的方法的一个实施例是，使用激光位移量测计，测量与衬底的晶体生长表面相对的后表面的翘曲的方法，该衬底被布置在衬底支撑台上。该方法包括：使用激光位移量测计探测分别对应于衬底后表面上的多个测量点的多个位移值的衬底探测步骤S1；除去多个位移值中包含的噪声的噪声去除步骤S2；通过从多个位移值中除去分别对应于衬底的外周边部分中的测量点的那些，计算多个计算用的位移值的外周边部分去除步骤S3；平滑该多个计算用的位移值以计算翘曲面的平滑步骤S4；计算到翘曲面具有最小距离的最佳配合面的最佳配合面计算步骤S5；以及计算从最佳配合面到相对于该最佳配合面的一侧上的翘曲面的最大位移值表示的点的距离和从该最佳配合面到相对于该最佳配合面的另一侧上的翘曲面的最大位移值表示的点的距离总和作为翘曲的翘曲计算步骤

S6。利用如上所述的测量方法，即使衬底具有高表面粗糙度的后表面（例如，具有不少于50nm的表面粗糙度Ra），也可以测量衬底后表面的翘曲。应当注意，表面粗糙度Ra是通过从其中心线的方向中的粗糙度曲线，采样具有参考长度的部分，累加从该采样部分的中心线至测量曲线的偏差的绝对值，并计算参考长度的平均值而获得的值。

此外，在图1中，用实心框围绕的步骤是不可缺少的步骤，以及用虚线框围绕的步骤是任意的步骤。尽管本实施例和图1描述了在噪声去除步骤S2之后执行外周边部分去除步骤S3，但是这些步骤可以以相反的顺序执行。

转向图2，激光位移量测计15是通过在衬底10的后表面10r上施加激光束21，测量衬底的后表面10r的位移量的设备。对于激光器的类型没有特别的限制，例如，使用具有670nm波长的红色半导体激光器。对于测量技术没有特别的限制，例如使用激光聚焦技术。尽管采用激光聚焦技术的激光位移量测计与采用光学干涉测量法的平坦测试器相比具有较低的测量准确度，但是它可以测量具有不少于50nm的表面粗糙度Ra的粗糙后表面。通过使用具有比红色半导体激光器更短波长的蓝色半导体激光，可以提高激光位移量测计的测量准确度。此外，与采用光学干涉测量法的平坦测试器不同，采用激光聚焦技术的激光位移量测计可以获得反射光束21r，因此它可以分析并处理该位移值。

参考图2和3，在衬底支撑台12上布置衬底10。尽管对于在衬底支撑台12上怎样布置衬底没有特别的限制，但是衬底10优选被布置在具有三个支撑部分12h的衬底支撑台12上，以便衬底10的晶体生长表面10c被三个支撑部分12h支撑。仅仅通过三个支撑部分12h，衬底10的晶体生长表面10c的外周边部分可以使翘曲测量过程中对晶体生长表面10c的损坏最小化。此外，即使当衬底20在被上述的三个部分支撑的同时倾斜时，通过计算到翘曲面（意味着表示后表面翘曲的弯曲表面；下面相同）具有最小距离的最佳配合面，并计算从最佳配合面至翘曲面

的距离，可以抵偿衬底的倾斜。

参考图1至3，尽管对于衬底探测步骤S1没有特别的限制，但是可以通过以逐渐的方式，在二维方向上（意味着图3中的X方向和Y方向；下面相同）移动衬底10的同时，测量激光位移量测计（meter）15和衬底10的后表面10r之间的距离L，来执行该步骤。通过以逐渐的方式，在二维方向上移动驱动单元14耦合的衬底支撑台12到驱动器部分13，可以执行二维方向上衬底10的逐渐移动。驱动单元14被位置控制单元16控制。

在此情况下，衬底的后表面上的多个测量点当中用激光束21照射的测量点100p（任意规定的测量点）的二维方向上的位置数据，经由位置控制单元16，被收集到数据分析单元18。这里，箭头32表示其中位置数据被传送的方向。

尽管对于怎样测量距离L没有特别的限制，但是它可以，例如，通过激光聚焦技术来测量。现在下面将描述激光聚焦技术。从激光位移量测计15中的光源发射的入射光束21i经由物镜（未示出）被施加到衬底后表面10r上的任意规定的测量点100p，物镜借助于音叉（tuning fork）在激光位移量测计15内以高速上下移动。来自任意规定的测量点100p的反射光束21r通过激光位移量测计15中的针孔（未示出）并到达光接收元件（未示出）。根据共焦原理，当入射光束21i被聚焦在衬底10的后表面10r上的任意规定测量点100p上时，在针孔的位置处，反射光束21r被聚焦为一个点，并进入该光接收元件。通过用传感器（未示出）测量音叉的位置，可以测量激光位移量测计15和衬底后表面10r上的任意规定测量点之间的距离L。利用该方法，可以测量衬底后表面10r上的任意规定测量点100p的位移值 $z_{(a, b)}$ （意味着Z方向上的位移值；下面相同）。

在此情况下，衬底后表面10r上的多个测量点10p当中的任意规定

测量点100p的位移值数据经由激光位移量测计控制单元17被收集到数据分析单元18。这里，箭头32表示其中位移值数据被传送的方向。

接下来，如图2和3所示，以逐渐的方式（例如，以恒定间距P在X方向或Y方向中）移动之后，执行以上测量，因此可以获得以间距P邻近于任意规定测量点100p的测量点的Z方向中的位移值数据。通过重复以上操作，可以获得二维方向（X方向和Y方向）中的位置数据和衬底后表面10r上的多个测量点10p的每一个的Z方向中的位移值。二维方向（X方向和Y方向）上的位置数据和如上所述获得的Z方向中的位移值数据被收集到数据分析单元18。

如图3所示，当在二维的方向（X方向和Y方向）中以恒定间距P，用逐渐的方式移动圆形的衬底时，可能有激光束被施加到衬底支撑台12而不是衬底后表面10r的情况。如图3所示，当衬底被布置在衬底支撑台12的凹入部分中时，在衬底支撑台12的非凹入部分的表面12a上可以有测量点120a，以及在衬底支撑台12的凹入部分的表面12b上可以有测量点120b。

在此情况下，参考图2，可以用如下所述除去的测量点120a和120b，探测分别对应于衬底后表面10r上的多个测量点的多个位移值。具体地，可以通过仅仅探测任意规定测量点100p，除去测量点120a和120b，该任意规定测量点100p到激光位移量测计15具有距离L，满足关系 $La < L < Lb$ ，其中La是激光位移量测计15和衬底支撑台12的非凹入部分的表面12a之间的距离，以及Lb是激光位移量测计15和衬底支撑台12的凹入部分的表面12b之间的距离。因而，可以获得分别对应于衬底的后表面10r上的多个测量点10p的多个位移值。

在本实施例中，尽管对于噪声去除步骤S2没有特别的限制，只要它除去多个位移值中包含的噪声，对于该步骤优选使用中值滤波器。参考图4，中值滤波器是，通过以升序或降序排列位移值 $z_{(a, b)}$ 和邻近

该位移值 $Z_{(a, b)}$ 的多个位移值 $Z_{(a-1, b+1)}$, $Z_{(a-1, b)}$, $Z_{(a-1, b-1)}$, $Z_{(a, b+1)}$, $Z_{(a, b-1)}$, $Z_{(a+1, b+1)}$, $Z_{(a+1, b)}$, 和 $Z_{(a+1, b-1)}$ （意味着分别对应于邻近任意规定测量点100p的多个测量点101p, 102p, 103p, 104p, 105p, 106p, 107p, 108p的位移值，下面相同）时获得的中值，代替多个位移值（意味着分别对应于衬底10的后表面10r上的多个测量点10p的多个位移值；下面相同）当中任意规定的位移值 $Z_{(a, b)}$ （意味着对应于任意规定测量点100p的位移值，下面相同）的滤波器。在图4中，以恒定间距P，在二维方向（X方向和Y方向）上排列位移值 $Z_{(a, b)}$ 和邻近该位移值 $Z_{(a, b)}$ 的多个位移值 $Z_{(a-1, b+1)}$, $Z_{(a-1, b)}$, $Z_{(a-1, b-1)}$, $Z_{(a, b+1)}$, $Z_{(a, b-1)}$, $Z_{(a+1, b+1)}$, $Z_{(a+1, b)}$, 和 $Z_{(a+1, b-1)}$ 。

尽管图4示出了邻近并围绕任意规定位移值的八个位移值 $Z_{(a-1, b+1)}$, $Z_{(a-1, b)}$, $Z_{(a-1, b-1)}$, $Z_{(a, b+1)}$, $Z_{(a, b-1)}$, $Z_{(a+1, b+1)}$, $Z_{(a+1, b)}$, 和 $Z_{(a+1, b-1)}$ 作为多个相邻位移值（这种中值滤波器被称作8-相邻中值滤波器），但是多个相邻测试点的数目不局限于八个。例如，也可以使用邻近位移值的24个测试点（这种中值滤波器被称作24-相邻中值滤波器）。

在本实施例中，对于外周边部分去除步骤S3没有特别的限制，只要它通过从多个位移值中除去分别对应于衬底的外周边部分中的测量点的那些位移值，计算多个计算用的位移值。但是，当在噪声去除步骤S2中使用8-相邻中值滤波器时，参考图3，优选从多个位移值中除去分别对应于从外周边10e向内的至少两个测量点111p和112p的位移值，作为分别对应于衬底的外周边部分中的测量点的位移值。

这是因为，当在噪声去除步骤S2中使用8-相邻中值滤波器时，参考图3，在从衬底的外周边10e向内的一个或两个点的位置处邻近一个位移值的八个位移值的至少一个是衬底支撑台12的非凹入部分的表面12a或凹入部分的表面12a的位移值，因此以上的噪声去除步骤未能除去噪声。以这种方式，从多个位移值除去分别对应于衬底的外周边部分中的测量点的位移值，以及获得用于计算的多个位移值。

在本实施例中，参考图6A和6B，尽管对于平滑步骤S4没有限制，只要它平滑用于计算的多个位移值以计算翘曲面30，但是对于该步骤但是它优选使用高斯滤波器。高斯滤波器是，使用高斯函数 $f(x, y)$ 作为加权系数，通过位移值 $z_{(a, b)}$ 和邻近该位移值 $z_{(a, b)}$ 的多个位移值 $z_{(a-1, b+1)}$ ， $z_{(a-1, b)}$ ， $z_{(a-1, b-1)}$ ， $z_{(a, b+1)}$ ， $z_{(a, b-1)}$ ， $z_{(a+1, b+1)}$ ， $z_{(a+1, b)}$ ， $z_{(a+1, b-1)}$ 的加权平均值 $z'_{(a, b)}$ 代替该多个计算用的位移值当中的任意规定位移值 $z_{(a, b)}$ 的滤波器。利用如上所述的平滑，即使后表面具有高的表面粗糙度（例如，不少于50nm的表面粗糙度Ra），也可以测量后表面的翘曲。

二维高斯函数 $f(x, y)$ 由以下公式(I)表示：

$$\begin{aligned} f(x, y) &= \frac{1}{N^2} \exp\left\{-\frac{(x-a)^2 + (y-b)^2}{2\sigma^2}\right\} \\ &= \frac{1}{N^2} \exp\left\{-\frac{(x-a)^2}{2\sigma^2}\right\} \cdot \exp\left\{-\frac{(y-b)^2}{2\sigma^2}\right\} \end{aligned} \quad (1)$$

其中a和b分别是X方向和Y方向上的任意规定测量点的坐标值， σ 是标准偏差(σ^2 是离差)，以及N是归一化常数。

如由公式(1)可以看到，测量点(x, y)和任意规定的测量点(a, b)之间的距离越大， $f(x, y)$ 变得越小和较少被加权。此外，值 σ 越大，源于测量点(x, y)和任意规定的测量点(a, b)之间的距离差异的加权差异变得越小。

尽管上面使用邻近并围绕任意规定位移值的八个位移值 $z_{(a-1, b+1)}$ ， $z_{(a-1, b)}$ ， $z_{(a-1, b-1)}$ ， $z_{(a, b+1)}$ ， $z_{(a, b-1)}$ ， $z_{(a+1, b+1)}$ ， $z_{(a+1, b)}$ ，和 $z_{(a+1, b-1)}$ 作为多个相邻位移值（这种高斯滤波器被称作8-相邻高斯滤波器），但是，多个相邻位移值的数目不局限于八个。例如，也可以使用邻近位移值的24位移值（这种高斯滤波器被称作24-相邻高斯滤波器）。

使用8-相邻高斯滤波器特别意味着任意地规定的位移值 $z_{(a, b)}$ 被图

5所示的多个位移值 $Z_{(a-1, b+1)}$, $Z_{(a-1, b)}$, $Z_{(a-1, b-1)}$, $Z_{(a, b+1)}$, $Z_{(a, b-1)}$, $Z_{(a+1, b+1)}$, $Z_{(a+1, b)}$, 和 $Z_{(a+1, b-1)}$ 的加权平均获得的加权平均值 $z'_{(a, b)}$ 代替, 通过高斯函数 $f(x, y)$ (其中 $x=a-1, a, a+1; y=b-1, b, b+1$) 加权的每个值作为图5A的核 (kernel) (意味着, 用于位移值的滤波器的系数矩阵; 下面相同) 中所示的系数。具体地, 它意味着根据以下公式 (2) 获得值 $z'_{(a, b)}$:

$$\begin{aligned} z'_{(a,b)} &= \sum_{x=a-1}^{a+1} \sum_{y=b-1}^{b+1} f(x,y) \cdot Z_{(x,y)} \\ &= \frac{1}{N^2} \sum_{x=a-1}^{a+1} \sum_{y=b-1}^{b+1} \exp\left\{-\frac{(x-a)^2 + (y-b)^2}{2\sigma^2}\right\} \cdot Z_{(x,y)} \\ &= \frac{1}{N^2} \sum_{x=a-1}^{a+1} \sum_{y=b-1}^{b+1} \exp\left\{-\frac{(x-a)^2}{2\sigma^2}\right\} \cdot \exp\left\{-\frac{(y-b)^2}{2\sigma^2}\right\} \cdot Z_{(x,y)} \\ (\text{其中 } N^2 &= \sum_{x=a-1}^{a+1} \sum_{y=b-1}^{b+1} \exp\left\{-\frac{(x-a)^2}{2\sigma^2}\right\} \cdot \exp\left\{-\frac{(y-b)^2}{2\sigma^2}\right\}) \end{aligned} \quad (2)$$

用作高斯滤波器的系数的高斯函数 $f(x, y)$ 由从任意规定的位移值的测量点 (a, b) 至测量点 (x, y) 的距离和通过标准偏差 σ 来决定。例如, 图5B说明在归一化之前, 具有 $\sigma=5$ 的8-相邻高斯滤波器的系数 $f(x, y)$ 值的排列, 以及图5C说明归一化之后8-相邻高斯滤波器的 $f(x, y)$ 值的排列。归一化意味着高斯滤波器的校正系数 $f(x, y)$, 以便系数 $f(x, y)$ 的总和是1, 同时保持系数 $f(x, y)$ 之间的比率。

由于高斯函数与X方向和Y方向的每一个无关, 如从公式 (1) 可以看到, 公式 (2) 可以分成为X方向上的总和以及Y方向上的总和的形式, 如以下公式 (3) 和 (4) 分别所示。这些支持将利用高斯滤波器的平滑应用于在通过首先采样X方向中的位移值随后采样Y方向中的位移值获得的多个位移值上执行数据处理的方法是算术合理的。

$$z'_{(a,y)} = \frac{1}{N} \sum_{x=a-1}^{a+1} \exp\left\{-\frac{(x-a)^2}{2\sigma^2}\right\} \cdot Z_{(x,y)} \quad (3)$$

$$z'_{(a,b)} = \frac{1}{N} \sum_{x=b-1}^{b+1} \exp\left\{-\frac{(x-b)^2}{2\sigma^2}\right\} \cdot Z_{(a,x)} \quad (4)$$

此外，由于高斯函数相对于X方向和Y方向上的面中的点对称，也可以执行圆形采样。这些由通过带入公式（2）到坐标变换获得的极坐标中，公式（4）中的部分加权幂函数中不包含角度 θ 的系数的事实来支持。

$$z_{(a,b)} = \frac{1}{N^2} \sum_{\theta} \sum_r \exp \left\{ -\frac{r^2}{2\sigma^2} \right\} \cdot z_{(x,y)} \quad (5)$$

在本实施例中，参考图6A和6B，对于最佳配合面计算步骤S5没有特别的限制，只要它计算至翘曲面30具有最小距离的最佳配合面50。在此情况下，计算最佳配合面50至翘曲面30具有最小距离意味着计算最佳配合面50至分别由在翘曲面30上经受平滑的多个计算用的位移值表示的多个点具有最小距离。优选计算最佳配合面50，使最佳配合面50和由在翘曲面30上经受平滑的多个计算用的位移值的每一个表示的每个点之间的每个距离的平方和最小化（最小平方法）。利用这种最小平方法，可以获得表示在三个点支撑的衬底10的整个后表面10r的平均倾斜的最佳配合面50。

此外，在本实施例中，参考图6A和6B，翘曲计算步骤S6计算从最佳配合面50至由相对于最佳配合面50的一侧上的翘曲面30的最大位移值表示点 z_p 的距离 D_+ 和从最佳配合面50至由相对于最佳配合面50的另一侧上的翘曲面30的最大位移值表示的点 z_v 的距离 D_- 的总和作为翘曲。对于这种计算方法没有特别的限制。例如，参考图11，本实施例中的翘曲计算步骤S6，在分别由在翘曲面30上经受平滑的多个计算用的位移值表示的多个点 z 中，计算从最佳配合面50至由相对于最佳配合面50的一侧上的最大位移值表示的点 z_p 的距离 D_+ 和从最佳配合面50至由相对于最佳配合面50的另一侧上的最大位移值表示的点 z_v 的距离 D_- 的总和作为翘曲。在图11中，从一侧上的最佳配合面50（包括最佳配合面50上的点）移动的点被表示为点 z_A ，以及从另一侧上的最佳配合面50移动的点被表示为点 z_B 。以这种方式，可以从翘曲面30补偿表示为最佳配合面50的衬底10的整个后表面10r的平均倾斜，以及可以准确地测量衬底的后表面10r的翘曲。

翘曲的方向可以使用符号来表示。例如，当后表面具有如图6A所示的凹入翘曲面30时，这种翘曲被称为正的（+）翘曲，以及当后表面具有如图6B所示的凸出翘曲面30时，这种翘曲被称为负的（-）翘曲。

第二实施例

参考图1至3，在根据本发明测量衬底后表面翘曲的方法的另一实施例中，提供一种使用激光位移量测计15测量与衬底10的晶体生长表面10c相对的后表面10r的翘曲的方法，以及衬底10被布置在衬底支持台12上。该方法包括：使用激光位移量测计15探测分别对应于衬底10的后表面10r上的多个测量点10p的多个位移值的衬底探测步骤S1；除去多个位移值中包含的噪声的噪声去除步骤S2；通过从多个位移值中除去分别对应于衬底10的外周边部分中的测量点的那些位移值，计算该多个计算用的位移值的外周边部分去除步骤S3；平滑该多个计算用的位移值以计算翘曲面的平滑步骤S4；计算到翘曲面具有最小距离的最佳配合面的最佳配合面计算步骤S5；以及计算从最佳配合面到由相对于该最佳配合面的一侧上的翘曲面的最大位移值表示的点的距离和从最佳配合面到由相对于该最佳配合面的另一侧上的翘曲面的最大位移值表示的点的距离总和作为翘曲的翘曲计算步骤S6，其中包括平滑步骤S4、最佳配合面计算步骤S5以及翘曲计算步骤S6的优化周期C1被重复一次或多次。

通过重复这种优化周期C1一次或多次，可以使衬底10的后表面10r的翘曲面更平滑，由此减小由于表面粗糙度的影响，因此可以更准确地测量后表面10r的翘曲。为了更准确地测量后表面10r的翘曲，优选最优化周期C1依次包括平滑步骤S4、最佳配合面计算步骤S5以及翘曲计算步骤S6。此外，该优化周期C1在平滑步骤S4之后可以包括噪声去除步骤S2。

尽管对于重复优化周期C1的数目没有特别的限制，但是该数目可

以被设为优化周期之前的翘曲值和优化周期之后的翘曲值之间的差值优选不超过 $0.5\mu\text{m}$ ，以及更优选不超过 $0.1\mu\text{m}$ 。此外，该数目可以被设为优化周期之前的翘曲值和优化周期之后的翘曲值之间的差值与优化周期之前的翘曲值的比率优选不超过0.05，更优选不超过0.01。

第三实施例

参考图1至3，在根据本发明测量衬底后表面翘曲的方法的再一实施例中，提供一种使用激光位移量测计15测量与衬底10的晶体生长表面10c相对的后表面10r的翘曲的方法，以及衬底10被布置在衬底支持台12上。该方法包括：使用激光位移量测计15探测分别对应于衬底10的后表面10r上的多个测量点10p的多个位移值的衬底探测步骤S1；除去多个位移值中包含的噪声的噪声去除步骤S2；通过从多个位移值中除去分别对应于衬底10的外周边部分中的测量点的那些位移值，计算多个计算用的位移值的外周边部分去除步骤S3；平滑该多个计算用的位移值以计算翘曲面的平滑步骤S4；计算到翘曲面具有最小距离的最佳配合面的最佳配合面计算步骤S5；以及计算从最佳配合面到由相对于最佳配合面的一侧上的翘曲面的最大位移值表示的点的距离和从最佳配合面到由相对于该最佳配合面的另一侧上的翘曲面的最大位移值表示的点的距离总和作为翘曲的翘曲计算步骤S6，其中包括平滑步骤S4、最佳配合面计算步骤S5以及翘曲计算步骤S6的优化周期C1被重复一次或多次。该方法在重复的优化周期C1之间的间隔中或在优化周期C1中的平滑步骤S4之后包括至少一个噪声去除步骤S2。

通过在重复的优化周期C1之间的间隔中或在优化周期C1中的平滑步骤S4之后执行至少一个噪声去除步骤S2，可以更有效地除去多个位移值中包含的噪声，以及可以更准确地测量后表面10r的翘曲。

根据第一至第三实施例，可以极其准确地测量衬底的后表面翘曲。但是，需要处理和分析测量的位移值的显著努力。因此，在本发明中，通过简化测量的位移值的处理和分析，可以迅速地和准确地测量衬底

的后表面翘曲，如以下的实施例所述。

第四实施例

参考图2, 3和7，在根据本发明测量衬底后表面翘曲的方法的再一实施例中，提供一种使用激光位移量测计15测量与衬底10的晶体生长表面10c相对的后表面10r的翘曲的方法，以及衬底10被布置在衬底支撑台12上。该方法包括：使用激光位移量测计15探测分别对应于衬底10的后表面10r上的多个测量点10p的多个位移值的衬底探测步骤S1；计算至分别由多个位移值表示的多个点具有最小距离的最佳配合面的最佳配合面计算步骤S5；以及在分别由多个位移值表示的多个点中，计算从最佳配合面到由相对于该最佳配合面的一侧上的最大位移值表示的点的距离和从最佳配合面到由相对于该最佳配合面的另一侧上的最大位移值表示的点的距离总和作为翘曲的翘曲计算步骤S6。

具体地，本实施例对应于测量衬底后表面翘曲的方法，其中从包括衬底探测步骤S1、噪声去除步骤S2、外周边部分去除步骤S3、平滑步骤S4、最佳配合面计算步骤S5以及翘曲计算步骤S6的第一实施例中的测量翘曲的方法省略了噪声去除步骤S2、外周边部分去除步骤S3以及平滑步骤S4。下面，将描述每个步骤。衬底探测步骤S1与第一实施例中的相同。

参考图7，在本实施例中，在衬底探测步骤S1之后执行最佳配合面计算步骤S5。由此，基于衬底探测步骤S1中探测的多个位移值执行最佳配合面计算步骤S5。亦即，在本实施例中的最佳配合面计算步骤S5中，计算到分别由多个位移值表示的多个点具有最小距离的最佳配合面。尽管对于计算到分别由多个位移值表示的多个点具有最小距离的最佳配合面的方法没有特别的限制，但是优选计算最佳配合面以使该最佳配合面和由多个位移值的每一个表示的每个点之间的每个距离的平方和最小化（最小平方法）。

此外，参考图7，在本实施例中，在衬底探测步骤S1之后执行的最佳配合面计算步骤S5之后执行翘曲计算步骤S6。由此，基于衬底探测步骤S1中探测的多个位移值和最佳配合面计算步骤S5中计算的最佳配合面执行翘曲计算步骤S6。亦即，参考图10A和10B，在分别由多个位移值表示的多个点z中，本实施例中的翘曲计算步骤S6计算从最佳配合面50至由相对于该最佳配合面50的一侧上的最大位移值表示点 z_p 的距离 D_+ 和从该最佳配合面50至由相对于该最佳配合面50的另一侧上的最大位移值表示的点 z_v 的距离 D_- 的总和作为翘曲。在图10A和10B中，从一侧上的最佳配合面50移动的点（包括最佳配合面50上的点）被表示为点 z_A ，以及从另一侧上的最佳配合面50移动的点被表示为点 z_B 。利用该方法，可以从分别由多个位移值表示的多个点z补偿表示为最佳配合面50的衬底10的整个后表面10r的平均倾斜，以及可以迅速地和准确地测量衬底10的后表面10r的翘曲。

第五实施例

参考图8，根据本发明测量衬底后表面翘曲的方法的再一实施例对应于第四实施例中的测量翘曲的方法，在衬底探测步骤S1之后和最佳配合面计算步骤S5之前还包括：除去多个位移值中包含的噪声的噪声去除步骤S2；以及通过从多个位移值中除去分别对应于衬底10的外周边部分中的测量点的那些位移值，计算多个计算用的位移值的外周边部分去除步骤S3，以及使用该多个计算用的位移值作为最佳配合面计算步骤S5和翘曲计算步骤S6中的多个位移值。

具体地，参考图2至4和8，本实施例中的测量翘曲的方法是使用激光位移量测计15测量与衬底10的晶体生长表面10c相对的后表面10r的翘曲的方法，以及衬底10被布置在衬底支撑台12上。该方法包括：使用激光位移量测计15探测分别对应于衬底10的后表面10r上的多个测量点10p的多个位移值的衬底探测步骤S1；除去多个位移值中包含的噪声的噪声去除步骤S2；通过从多个位移值中除去分别对应于衬底10的外周边部分中的测量点的那些位移值，计算多个计算用的位移值的外周

边部分去除步骤S3；计算至分别由该多个计算用的位移值表示的多个点具有最小距离的最佳配合面的最佳配合面计算步骤S5；以及在分别由多个计算用的位移值表示的多个点中，计算从该最佳配合面到相对于该最佳配合面的一侧上的翘曲面的最大位移值表示的点的距离和从该最佳配合面到相对于该最佳配合面的另一侧上的最大位移值表示的点的距离总和作为翘曲的翘曲计算步骤S6。由此，本实施例中的测量翘曲的方法是其中从第一实施例中的测量翘曲的方法省略掉平滑步骤S4的测量翘曲的方法。

下面，将描述每个步骤。衬底探测步骤S1、噪声去除步骤S2以及外周边部分去除步骤S3与第一实施例中的相同。尽管本实施例和图8还描述了在噪声去除步骤S2之后执行外周边部分去除步骤S3，如第一实施例和图1，但是这些步骤可以以相反的顺序执行。

参考图8，在本实施例中，在外周边部分去除步骤S3之后，执行最佳配合面计算步骤S5。由此，基于外周边部分去除步骤S3中所计算的多个计算用的位移值执行最佳配合面计算步骤S5。亦即，参考图10A和10B，在本实施例中的最佳配合面计算步骤S5中，计算到分别由多个计算用的位移值表示的多个点z具有最小距离的最佳配合面50。尽管对于计算到分别由多个计算用位移值表示的多个点z具有最小距离的最佳配合面50的方法没有特别的限制，但是优选计算最佳配合面50以便该最佳配合面50和由多个位移值的每一个表示的每个点之间的每个距离的平方和最小化（最小平方法）。

此外，参考图8，在本实施例中，在外周边部分去除步骤S3之后执行的最佳配合面计算步骤S5之后执行翘曲计算步骤S6。由此，基于外周边部分去除步骤S3中计算的多个计算用位移值和最佳配合面计算步骤S5中计算的最佳配合面执行翘曲计算步骤S6。亦即，参考图10A和10B，在分别由多个计算用的位移值表示的多个点z中，本实施例中的翘曲计算步骤S6计算从该最佳配合面50至由相对于该最佳配合面50的

一侧上的最大位移值表示点 z_p 的距离 D_+ 和从最佳配合面50至由相对于该最佳配合面50的另一侧上的最大位移值表示的点 z_v 的距离 D_- 的总和作为翘曲。在图10A和10B中，在一侧上从最佳配合面50位移的点（包括最佳配合面50上的点）被表示为点 z_A ，以及在另一侧上从最佳配合面50位移的点被表示为点 z_B 。

利用该方法，可以从分别由多个计算用的位移值表示的多个点 z 补偿表示为最佳配合面50的衬底10的整个后表面10r的平均倾斜，以及可以迅速地和准确地测量衬底10的后表面10r的翘曲。由于与第四实施例相比，本实施例中增加了噪声去除步骤S2和外周边部分去除步骤S3，因此可以更准确地测量衬底后表面的翘曲。此外，在本实施例中，与第一实施例一样，优选衬底被布置在具有三个支撑部分的衬底支撑上，以便衬底的晶体生长表面被三个支撑部分支撑，通过激光聚焦技术，测量激光位移量测计和后表面上的多个之间的距离，同时以逐渐的方式，在二维方向上移动其上布置衬底的衬底支撑台，执行衬底探测步骤S1，以及使用中值滤波器执行噪声去除步骤S2。

第六实施例

参考图9，根据本发明测量衬底后表面翘曲的方法的再一实施例对应于第四实施例中测量翘曲的方法，在衬底探测步骤S1之后和最佳配合面计算步骤S5之前还包括：通过从多个位移值中除去分别对于衬底10的外周边部分中的测量点的那些位移值，计算多个计算用的位移值的外周边部分去除步骤S3；以及平滑该多个计算用的位移值以计算翘曲面的平滑步骤S4，以及使用分别由在翘曲面上经受平滑的多个计算用的位移值表示的多个点作为最佳配合面计算步骤S5和翘曲计算步骤S6中分别由多个位移值表示的多个点。

具体地，参考图2至4和9，本实施例中的测量翘曲的方法是使用激光位移量测计15测量与衬底10的晶体生长表面10c相对的后表面10r的翘曲的方法，衬底10被布置在衬底支撑台12上。该方法包括：使用激

光位移量测计15探测分别对应于衬底10的后表面10r上的多个测量点10p的多个位移值的衬底探测步骤S1；通过从多个位移值中除去分别对应于衬底10的外周边部分中的测量点的那些位移值，计算多个计算用的位移值的外周边部分去除步骤S3；平滑该多个计算用的位移值以计算翘曲面的平滑步骤S4；计算至分别由在翘曲面上经受平滑的多个计算用的位移值表示的多个点具有最小距离的最佳配合面的最佳配合面计算步骤S5；以及在分别由在翘曲面上经受平滑的多个计算用的位移值表示的多个点中，计算从该最佳配合面到由相对于该最佳配合面的一侧上的最大位移值表示的点的距离和从该最佳配合面到由相对于该最佳配合面的另一侧上的最大位移值表示的点的距离总和作为翘曲的翘曲计算步骤S6。由此，本实施例中的测量翘曲的方法是其中从第一实施例中的测量翘曲的方法省略掉噪声去除步骤S2的测量翘曲的方法。

下面，将描述每个步骤。衬底探测步骤S1、外周边去除步骤S3以及平滑步骤S4与第一实施例中的相同。

参考图9，在本实施例中，在平滑步骤S4之后执行最佳配合面计算步骤S5。由此，与第一实施例一样，基于平滑步骤S4中计算的在翘曲面上经受平滑的多个计算用的位移值执行最佳配合面计算步骤S5。亦即，参考图11A和11B，在本实施例中的最佳配合面计算步骤S5中，计算最佳配合面50，该最佳配合面50至分别由在翘曲面30上经受平滑的多个计算用的位移值表示的多个点z具有最小距离。尽管对于计算最佳配合面50的方法没有特别的限制，最佳配合面50到分别由在翘曲面30上经受平滑的多个计算用的位移值表示的多个点z具有最小距离，但是优选计算最佳配合面50，以使最佳配合面50和由在翘曲面30上受到平滑的多个计算用的位移值的每一个表示的每个点之间的每个距离的平方和最小化（最小平方法）。

此外，参考图9，在本实施例中，在平滑步骤S4之后执行的最佳配

合面计算步骤S5之后执行翘曲计算步骤S6。由此，基于最佳配合面计算步骤S4中计算的在翘曲面上经受平滑的多个计算用的位移值和最佳配合面计算步骤S5中计算的最佳配合面执行翘曲计算步骤S6。亦即，参考图11A和11B，本实施例中的翘曲计算步骤S6计算从最佳配合面50至由相对于该最佳配合面50的一侧上的最大位移值表示的点 z_p 的距离 D_+ 和从该最佳配合面50至由相对于该最佳配合面50的另一侧上的最大位移值表示的点 z_v 的距离 D_- 的总和作为翘曲，在分别由多个计算用的位移值表示的多个点 z 中，该多个点 z 在翘曲面30上经受平滑。在图11A和11B中，在一侧上从最佳配合面50位移的点（包括最佳配合面50上的点）被表示为点 z_A ，以及在另一侧上从最佳配合面50位移的点被表示为点 z_B 。

利用该方法，可以从分别由多个计算用的位移值表示的多个点 z 补偿表示为最佳配合面50的衬底的整个后表面10r的平均倾斜，该多个点 z 在翘曲面30上受到平滑，以及可以迅速地和准确地测量衬底的后表面10r的翘曲。由于与第四实施例相比，在本实施例中增加了外周边部分去除步骤S3和平滑步骤S4，因此可以更准确地测量衬底后表面的翘曲。此外，在本实施例中，与第一实施例一样，优选衬底被布置在具有三个支撑部分的衬底支撑上，以便衬底的晶体生长表面被三个支撑部分支撑，通过激光聚焦技术，测量激光位移量测计和后表面上的多个之间的距离，同时以逐渐的方式，在二维方向上移动其上布置衬底的衬底支撑台，执行衬底探测步骤S1，以及使用高斯滤波器执行平滑步骤S4。

例子

第一比较例子

使用采用光学干涉测量法的平面测试器（由NIDEK Co., Ltd制造的FT-17（光学输出单元）和FA-200（分析单元））测量具有5.08cm（2英寸）直径×400μm厚度的GaN衬底的后表面翘曲，该GaN衬底具有1.5nm的晶体生长表面的表面粗糙度Ra和42nm的后表面的表面粗糙度

R_a。具有655nm激光波长的半导体激光器用于该平面测试器。利用约100μm的间距排列用于测量位移值的测量点，约70650个测量点处的位移被分析。GaN衬底的后表面具有8.5μm的翘曲。

通过以下步骤计算GaN衬底的晶体生长表面和后表面的表面粗糙度R_a：分别使用采用激光聚焦技术的激光位移量测计在750μm×700μm的范围内和使用3D-SEM在100μm×80μm的范围内执行测量；在粗糙度曲线的中心线的方向中，从每个测量范围中任意规定的粗糙度曲线采样具有参考长度的部分；累加从该采样部分的中心线至测量曲线的偏差的绝对值；以及计算参考长度的平均值。

第一例子

使用采用激光聚焦技术的激光位移量测计（由Keyence公司制造的LT-9010（激光输出单元）和LT-9500（激光控制单元））、XY位置控制器（由COMS Co., Ltd制造的CP-500）以及数据分析设备（由COMS Co., Ltd制造的CA-800）测量与第一比较例子相同的GaN衬底的后表面翘曲。具有670nm激光波长的半导体激光用于该激光位移量测计。

参考图1至3，首先在衬底支撑台12上布置GaN衬底（衬底10），以便其晶体生长表面10c的外周边部分被三个支撑部分12h支撑。然后，使用激光位移量测计15来探测分别对应于GaN衬底10的后表面10r上的多个测量点10p的多个位移值（衬底探测步骤S1）。在此情况下，用700μm的间距P排列测量点10p，以及测量分别对应于约5000个测量点10p的多个位移值。接下来，使用8-相邻中值滤波器除去多个位移值中包含的噪声（噪声去除步骤S2）。此后，通过从多个位移值除去分别对应于从衬底10的外周边10e向内达三个测量点的那些位移值，来计算多个计算用的位移值（外周边部分去除步骤S3）。

然后，在图5C所示的归一化之后，使用具有σ=5的8-相邻高斯滤波器平滑多个计算用的位移值，以计算翘曲面（平滑步骤S4）。接下来，

计算最佳配合面，以使最佳配合面50和由经受平滑的多个计算用的位移值的每一个表示的每个点之间的每个距离的平方和最小化（最佳配合面计算步骤S5）。此后，计算从最佳配合面至由相对于该最佳配合面的一侧上的翘曲面的最大位移值表示的点的距离和从该最佳配合面至由相对于该最佳配合面的另一侧上的翘曲面的最大位移值表示的点的距离的总和作为翘曲（翘曲计算步骤S6）。如上所述计算的翘曲是9.0 μm 。

接下来，再次使用8-相邻中值滤波器除去多个计算用的位移值中包含的噪声（噪声去除步骤S2）。此后，依次执行平滑步骤S4、最佳配合面计算步骤S5以及翘曲计算步骤S6的优化周期C1被重复一次。如上所述计算的翘曲是8.5 μm 。

然后，上述优化周期被再一次重复。如上所述计算的翘曲是8.3 μm ，与先前计算的翘曲具有不超过0.5 μm 差异。因此，优化周期被终止，以及衬底的后表面被确定具有8.3 μm 的翘曲。

如由第一例子和第一比较例子之间的比较看到，通过根据本发明测量翘曲的方法获得的翘曲几乎与通过使用采用光学干涉测量法的常规平面测试器测量获得的翘曲相同。由此，证实通过根据本发明测量翘曲的方法可以准确地测量衬底后表面的翘曲。

第二比较例子

进行尝试，与第一比较例子一样使用采用干涉测量法的相同平面测试器，以类似于第一比较例子的方式，测量具有直径5.08cm（2英寸） $\times 400\mu\text{m}$ 厚度的GaN衬底后表面的翘曲，该GaN衬底具有3nm的晶体生长表面的表面粗糙度Ra和57nm的后表面的表面粗糙度Ra。但是，由于将被测量的表面是粗糙的且因此散射光，因此未能获得执行测量需要的干涉条纹。因此，未能执行后表面的翘曲测量。

第二例子

以类似于第一例子的方式，测量与第二比较例子相同的GaN衬底的后表面翘曲。第一翘曲计算步骤S6之后计算的翘曲是 $10.9\mu\text{m}$ 。然后，执行噪声去除步骤S2，此后类似于第一例子的优化周期被重复一次。第二翘曲计算步骤S6之后计算的翘曲是 $10.2\mu\text{m}$ 。然后，上述优化周期被再一次重复。第三翘曲计算步骤S6之后计算的翘曲是 $10.0\mu\text{m}$ ，与先前计算的翘曲具有不超过 $0.5\mu\text{m}$ 的差异。因此，优化周期被终止，以及衬底的后表面决定具有 $10.0\mu\text{m}$ 的翘曲。

如由第二例子和第二比较例子之间的比较看到，在衬底具有不少于 50nm 的表面粗糙度Ra的粗糙后表面的情况下，根据本发明测量翘曲的方法能够测量衬底的粗糙后表面的翘曲，而使用采用光学干涉测量法的常规平面测试器的测量方法未能测量衬底的粗糙后表面的翘曲。

第三例子

使用采用激光聚焦技术的激光位移量测计（由Keyence公司制造的LT-9010（激光输出单元）和LT-9500（激光控制单元））、XY位置控制器（由COMS Co., Ltd制造的CP-500）以及数据分析设备（由COMS Co., Ltd制造的CA-800）测量与第二例子相同的GaN衬底的后表面翘曲。具有 670nm 激光波长的半导体激光器用于该激光位移量测计。

参考图2, 3和7，首先在衬底支撑台12上布置GaN衬底（衬底10），以便其晶体生长表面10c的外周边部分被三个支撑部分12h支撑。然后，使用激光位移量测计15来探测分别对应于GaN衬底10r0的后表面10r上的多个测量点10p的多个位移值（衬底探测步骤S1）。在此情况下，用 $700\mu\text{m}$ 的间距P排列测量点10p，以及测量分别对应于约5000个测量点10p的多个位移值。接下来，计算最佳配合面，以使最佳配合面和由经受平滑的多个计算用的位移值的每一个表示的每个点之间的每个距离的平方和最小化（最佳配合面计算步骤S5）。此后，在分别由多个位移值表示的多个点中，计算从最佳配合面至由相对于该最佳配合面的

一侧上的最大位移值表示的点的距离和从该最佳配合面至由相对于该最佳配合面的另一侧上的最大位移值表示的点的距离的总和作为翘曲（翘曲计算步骤S6）。如上所述计算的翘曲是 $11.5\mu\text{m}$ 。

第四例子

如下所述，测量与第二比较例子相同的GaN衬底的后表面翘曲。参考图8，与第三例子一样执行衬底探测步骤S1。接下来，使用8-相邻中值滤波器除去多个位移值中包含的噪声（噪声去除步骤S2）。此后，通过从多个位移值除去分别对应于从衬底10的外周边10e向内达三个测量点的那些位移值，计算多个计算用的位移值（外周边部分去除步骤S3）。接下来，计算最佳配合面，以使最佳配合面和由多个计算用的位移值的每一个表示的每个点之间的每个距离的平方和最小化（最佳配合面计算步骤S5）。此后，在分别由多个计算用的位移值表示的多个点中，计算从最佳配合面至由相对于该最佳配合面的一侧上的最大位移值表示的点的距离和从该最佳配合面至由相对于该最佳配合面的另一侧上的最大位移值表示的点的距离的总和作为翘曲（翘曲计算步骤S6）。如上所述计算的翘曲是 $11.1\mu\text{m}$ 。

第五例子

如下所述测量与第二比较例子相同的GaN衬底的后表面翘曲。参考图9，与第三例子一样执行衬底探测步骤S1。此后，通过从多个位移值中除去分别对应于从GaN晶体衬底10的外周边10e向内达三个测量点的那些位移值，计算多个计算用的位移值（外周边部分去除步骤S3）。然后，在图5C所示的归一化之后，使用具有 $\sigma=5$ 的8-相邻高斯滤波器平滑该多个计算用的位移值，以计算翘曲面（平滑步骤S4）。接下来，计算最佳配合面，以使最佳配合面和由在翘曲面上经受平滑的多个计算用的位移值的每一个表示的每个点之间的每个距离的平方和最小化（最佳配合面计算步骤S5）。此后，在分别由在翘曲面上受到平滑的多个计算用的位移值表示的多个点中，计算从最佳配合面至由相对于该最佳配合面的一侧上的最大位移值表示的点的距离和从最佳配合面

至由相对于该最佳配合面的另一侧上的最大位移值表示的点的距离的总和作为翘曲（翘曲计算步骤S6）。如上所述计算的翘曲是 $11.2\mu\text{m}$ 。

由第三至第五例子明白，在包括衬底探测步骤S1、最佳配合面计算步骤S5以及翘曲计算步骤S6（第三例子）的测量方法中，也可以以简单和容易的方法迅速地和准确地测量衬底后表面的翘曲；第三例子的测量方法还包括噪声去除步骤S2和外周边部分去除步骤S3（第四例子）；以及第三例子的测量方法还包括外周边去除步骤S3和平滑步骤S4（第五例子）。

尽管已经详细描述和图示了本发明，但是应当清楚地理解，这些仅仅是图例和例子，并不允许被限制，本发明的精神和范围仅仅由附加权利要求的措词限制。

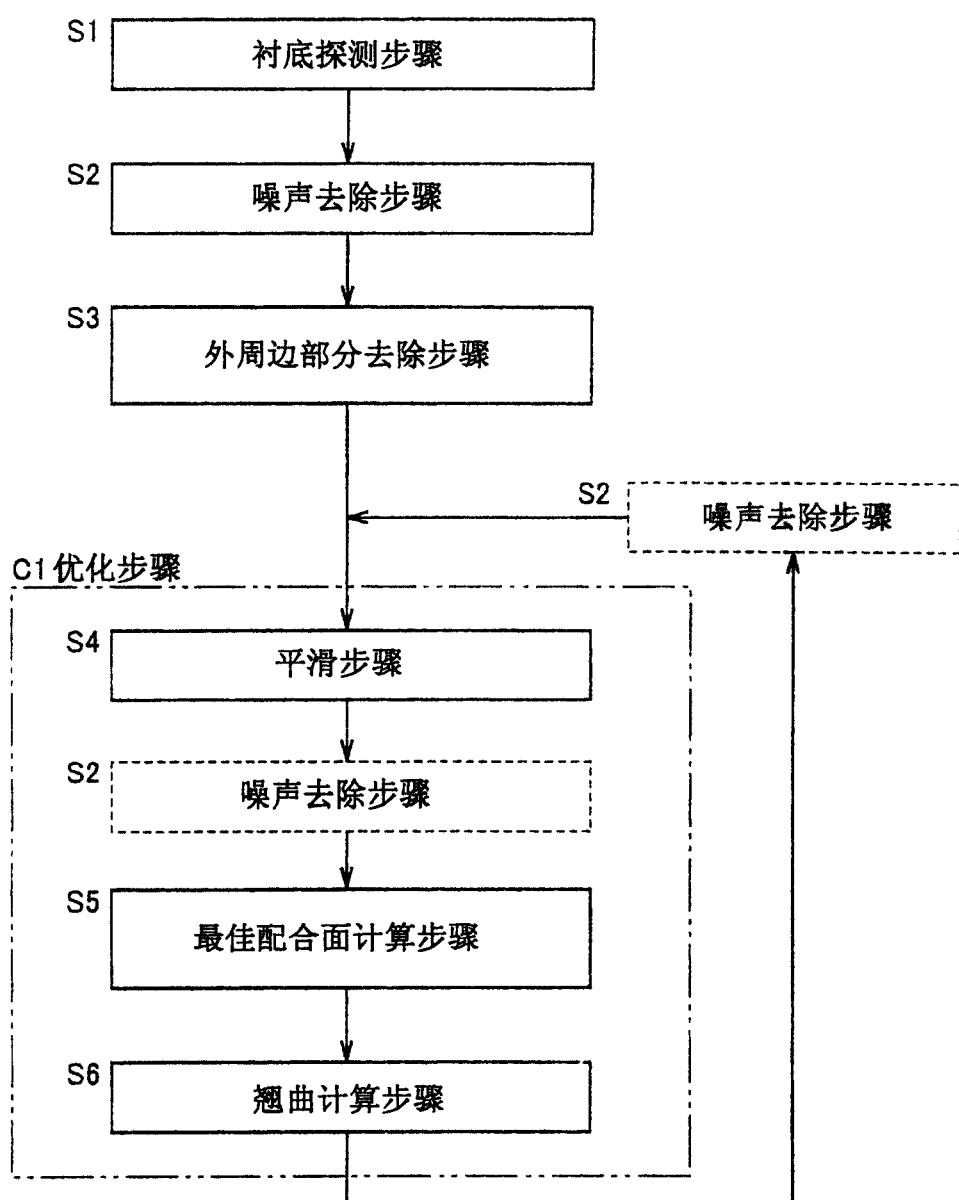


图1

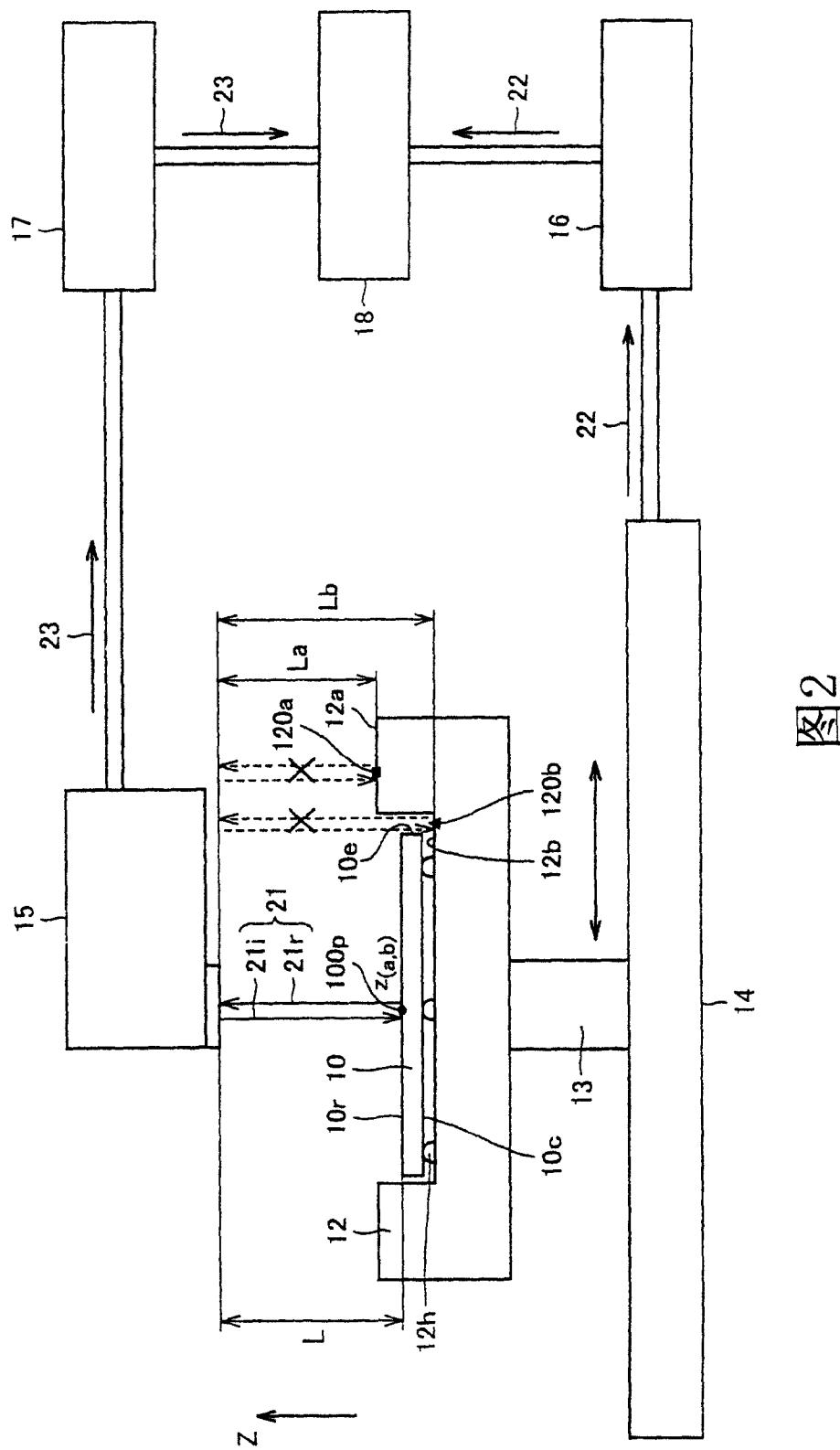


图2

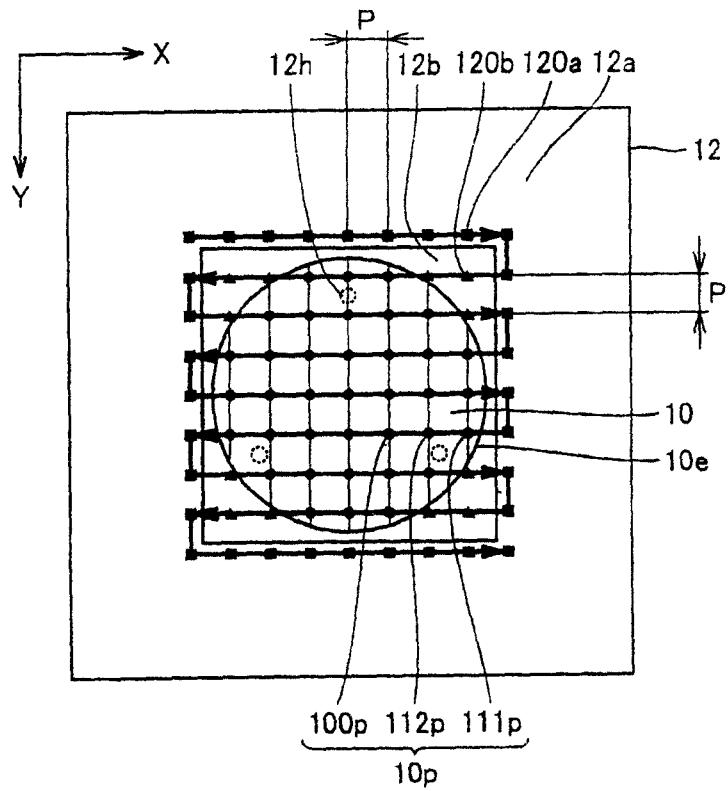


图3

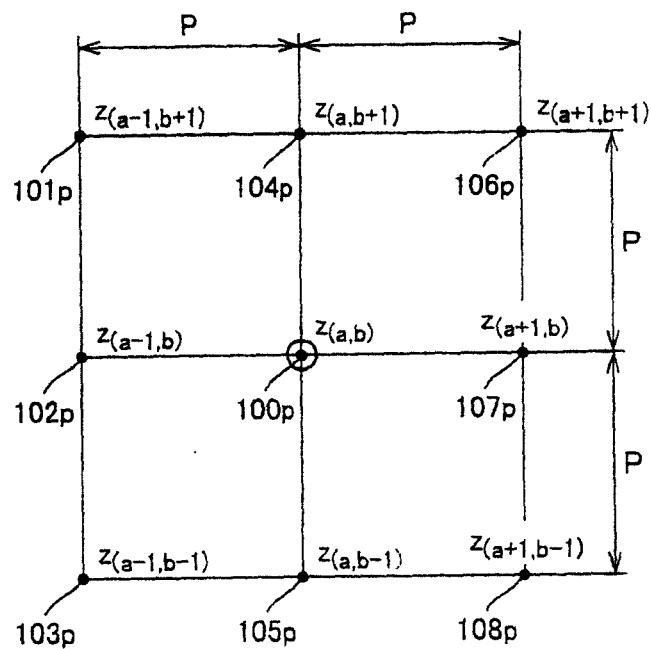


图4

$f(a-1,b+1)$	$f(a,b+1)$	$f(a+1,b+1)$
$f(a-1,b)$	$f(a,b)$	$f(a+1,b)$
$f(a-1,b-1)$	$f(a,b-1)$	$f(a+1,b-1)$

图5A

0.96	0.98	0.96
0.98	1.00	0.98
0.96	0.98	0.96

$\sigma=5$
归一化之前

图5B

0.110	0.112	0.110
0.112	0.114	0.112
0.110	0.112	0.110

$\sigma=5$
归一化之后

图5C

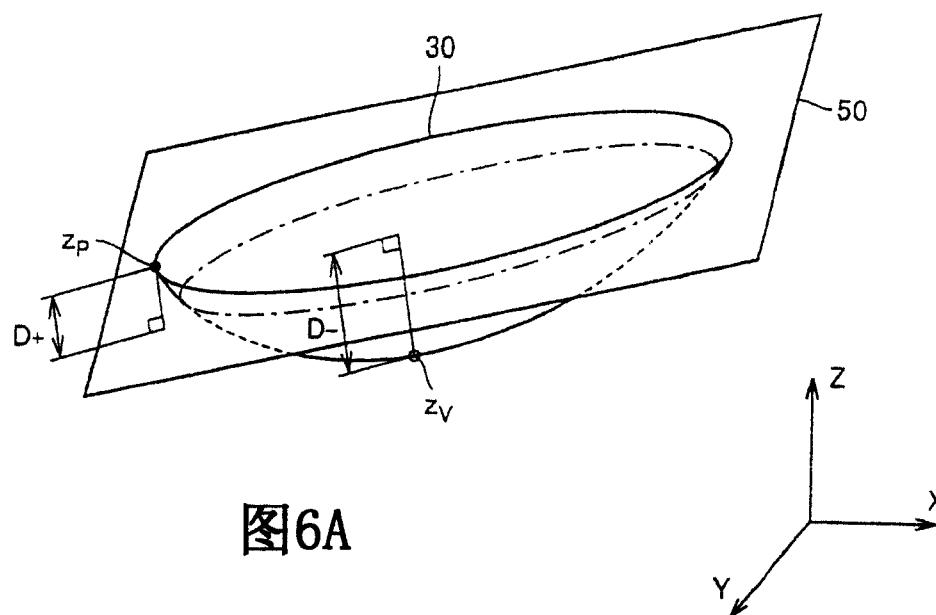


图6A

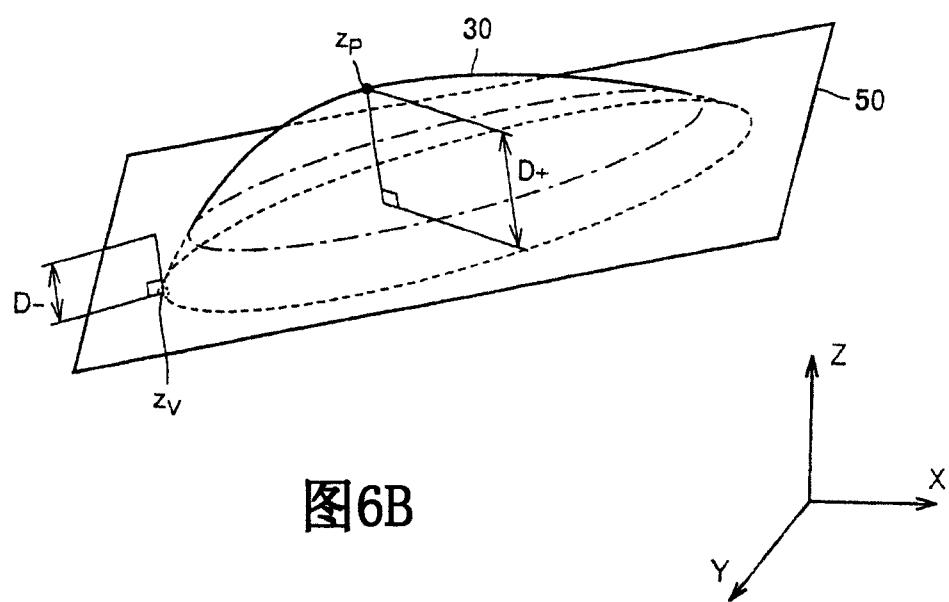


图6B

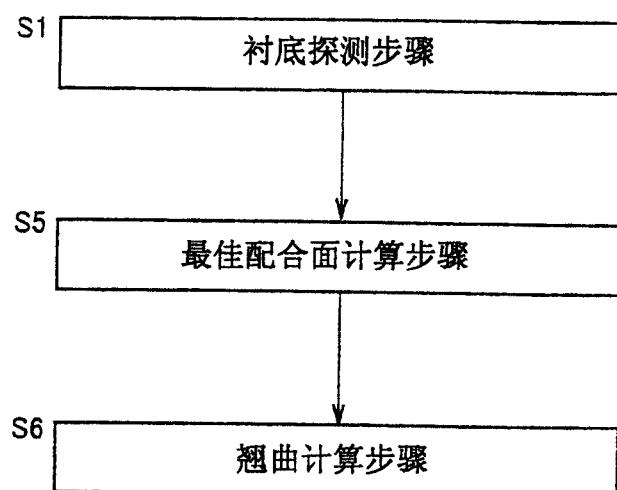


图7

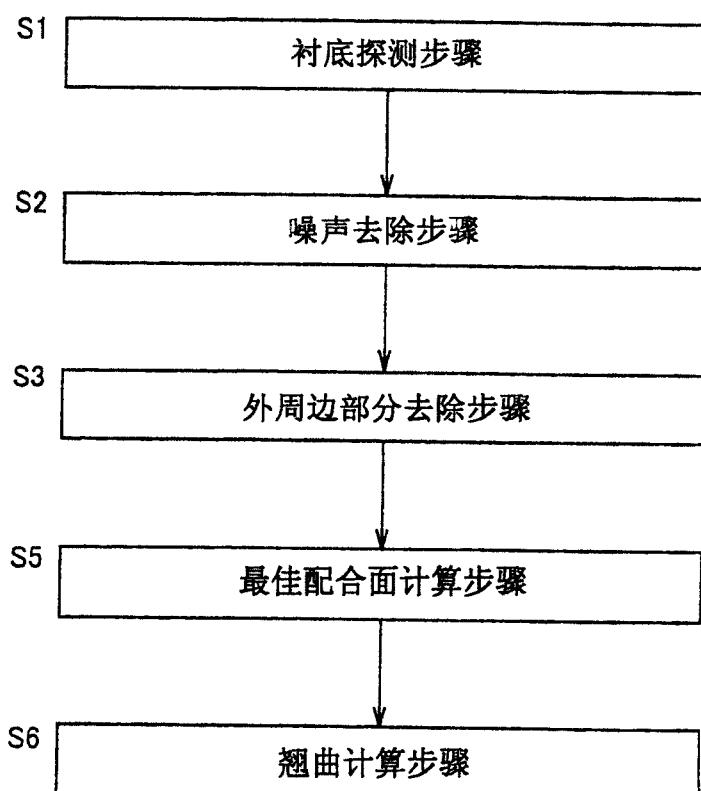


图8

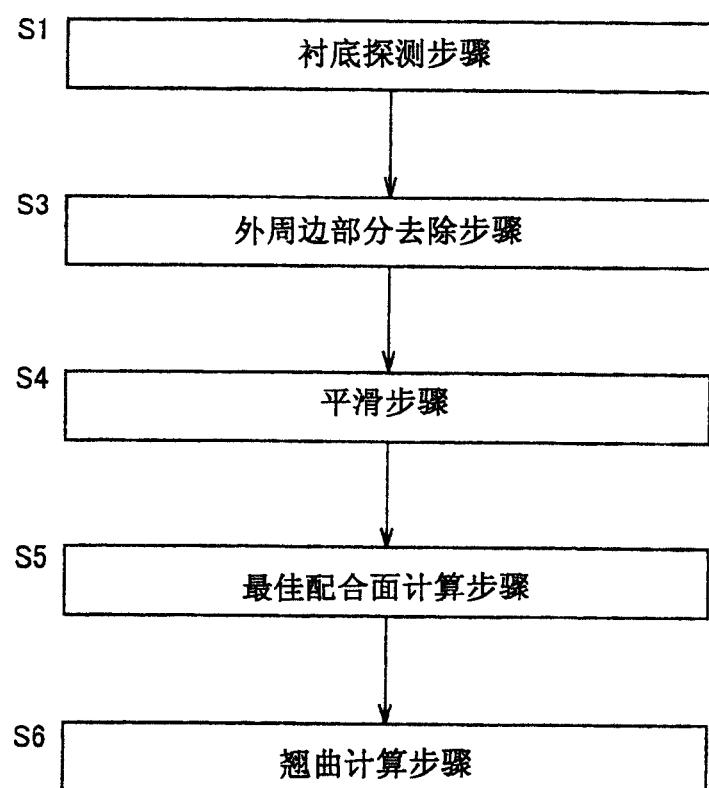


图9

