



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101772398 B

(45) 授权公告日 2014. 02. 12

(21) 申请号 200880101826. X

(22) 申请日 2008. 07. 28

(30) 优先权数据

2007-203529 2007. 08. 03 JP

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2010. 02. 03

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/JP2008/063531 2008. 07. 28

(87) PCT国际申请的公布数据

W02009/020004 JA 2009. 02. 12

(73) 专利权人 浜松光子学株式会社

地址 日本静岡県

(72) 发明人 中野诚 久野耕司 箴岛哲也

井上卓 熊谷正芳

(74) 专利代理机构 北京尚诚知识产权代理有限公司 11322

代理人 龙淳

(51) Int. Cl.

B23K 26/38 (2006. 01)

B23K 26/00 (2006. 01)

B23K 26/04 (2006. 01)

B23K 26/06 (2006. 01)

B23K 26/40 (2006. 01)

B28D 5/00 (2006. 01)

C03B 33/09 (2006. 01)

(56) 对比文件

JP 2001228449 A, 2001. 08. 24, 说明书第 [0015] 段.

US 20030010889 A1, 2003. 01. 16, 全文.

US 20070051706 A1, 2007. 03. 08, 全文.

CN 1967815 A, 2007. 05. 23, 全文.

US 20040002199 A1, 2004. 01. 01, 说明书第 37 列第 45 行至第 38 列第 27 行、图 91, 92.

审查员 仓公林

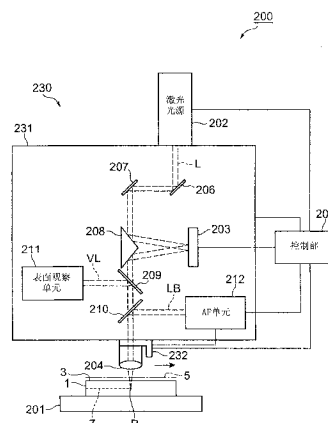
权利要求书2页 说明书22页 附图26页

(54) 发明名称

激光加工方法、激光加工装置及其制造方法

(57) 摘要

本发明涉及激光加工方法、激光加工装置及其制造方法。以使被聚光于加工对象物 (1) 的内部的激光 (L) 的像差为规定的像差以下的方式被反射型空间光调制器 (203) 调制后的激光 (L) 被照射于加工对象物 (1)。因此, 能够极力减小在对准激光 (L) 的聚光点 (P) 的位置所产生的激光 (L) 的像差, 并能够提高在该位置的激光 (L) 的能量密度, 从而能够形成作为切断的起点的功能较好的改质区域 (7)。并且, 由于使用反射型空间光调制器 (203), 因此, 相比于透过型空间光调制器, 能够提高激光 (L) 的利用效率。这样的激光 (L) 的利用效率的提高在将作为切断的起点的改质区域 (7) 形成于板状的加工对象物 (1) 的情况下是特别重要的。



1. 一种激光加工方法,其特征为,

是使聚光点对准板状的加工对象物的内部并照射激光,从而沿着所述加工对象物的切断预定线形成作为切断的起点的改质区域的激光加工方法,

准备反射型空间光调制器、聚光光学系统和调整光学系统,所述反射型空间光调制器调制所述激光,所述聚光光学系统将被所述反射型空间光调制器调制后的所述激光聚光于所述加工对象物的内部,所述调整光学系统具有具备作为透镜的功能的第1光学元件以及第2光学元件并且被配置于所述反射型空间光调制器和所述聚光光学系统之间的光路上,

配置所述第1光学元件以及所述第2光学元件,使得所述反射型空间光调制器与所述第1光学元件之间的距离为所述第1光学元件的第1焦距,所述聚光光学系统与所述第2光学元件之间的距离为所述第2光学元件的第2焦距,所述第1光学元件与所述第2光学元件之间的距离为所述第1焦距与所述第2焦距的和,并且所述第1光学元件与所述第2光学元件为两侧远心光学系统,

在形成所述改质区域时,以使在所述加工对象物的内部的对准所述激光的聚光点的位置上产生的所述激光的像差为规定的像差以下的方式,通过反射型空间光调制器调制所述激光。

2. 一种激光加工方法,其特征为,

是使聚光点对准板状的加工对象物的内部并照射激光,从而沿着所述加工对象物的切断预定线,以并排于所述加工对象物的厚度方向的方式形成多列作为切断的起点的改质区域的激光加工方法,

准备反射型空间光调制器、聚光光学系统和调整光学系统,所述反射型空间光调制器调制所述激光,所述聚光光学系统将被所述反射型空间光调制器调制后的所述激光聚光于所述加工对象物的内部,所述调整光学系统具有具备作为透镜的功能的第1光学元件以及第2光学元件并且被配置于所述反射型空间光调制器和所述聚光光学系统之间的光路上,

配置所述第1光学元件以及所述第2光学元件,使得所述反射型空间光调制器与所述第1光学元件之间的距离为所述第1光学元件的第1焦距,所述聚光光学系统与所述第2光学元件之间的距离为所述第2光学元件的第2焦距,所述第1光学元件与所述第2光学元件之间的距离为所述第1焦距与所述第2焦距的和,并且所述第1光学元件与所述第2光学元件为两侧远心光学系统,

在多列所述改质区域中,在形成一列或者多列包含离所述加工对象物的激光入射面最远的改质区域的所述改质区域时,对应于所要形成的所述改质区域,以使将所述激光聚光于所述加工对象物的内部的聚光光学系统与所述加工对象物之间的距离为规定的距离的方式,改变所述聚光光学系统与所述加工对象物之间的距离,同时以使在所述加工对象物的内部的对准所述激光的聚光点的位置上产生的所述激光的像差为规定的像差以下的方式,通过反射型空间光调制器调制所述激光。

3. 如权利要求2所述的激光加工方法,其特征为,

在相对于所述加工对象物而将所述切断预定线设定为多条的情况下,在沿着一条所述切断预定线而形成了多列所述改质区域之后,沿着另一条所述切断预定线而形成多列所述改质区域。

4. 如权利要求2所述的激光加工方法,其特征为,

在相对于所述加工对象物而将所述切断预定线设定为多条的情况下,在沿着多条所述切断预定线而形成了一列所述改质区域之后,沿着多条所述切断预定线而形成另一列所述改质区域。

5. 一种激光加工装置,其特征为,

是使聚光点对准板状的加工对象物的内部并照射激光,从而沿着所述加工对象物的切断预定线形成作为切断的起点的改质区域的激光加工装置,

其具备,

支承台,其支承所述加工对象物;

激光光源,其射出所述激光;

反射型空间光调制器,其调制从所述激光光源射出的所述激光;

聚光光学系统,其将被所述反射型空间光调制器调制后的所述激光聚光于被所述支承台所支承的所述加工对象物的内部;

调整光学系统,其具有具备作为透镜的功能的第 1 光学元件以及第 2 光学元件并且被配置于所述反射型空间光调制器和所述聚光光学系统之间的光路上;以及

控制部,在形成所述改质区域时,以使所述激光的聚光点位于距离所述加工对象物的激光入射面为规定的距离的位置并且使所述激光的聚光点沿着所述切断预定线相对地移动的方式,对所述支承台以及所述聚光光学系统中的至少一个进行控制,同时以使在所述加工对象物的内部的对准所述激光的聚光点的位置上产生的所述激光的像差为规定的像差以下的方式控制所述反射型空间光调制器,

所述第 1 光学元件以及所述第 2 光学元件被配置为:使得所述反射型空间光调制器与所述第 1 光学元件之间的距离为所述第 1 光学元件的第 1 焦距,所述聚光光学系统与所述第 2 光学元件之间的距离为所述第 2 光学元件的第 2 焦距,所述第 1 光学元件与所述第 2 光学元件之间的距离为所述第 1 焦距与所述第 2 焦距的和,并且所述第 1 光学元件与所述第 2 光学元件为两侧远心光学系统。

6. 如权利要求 5 所述的激光加工装置,其特征为,

所述控制部针对以并排于所述加工对象物的厚度方向的方式沿着所述切断预定线而被形成有多列的所述改质区域的每一个,将用于以使所述激光的聚光点位于距离所述激光入射面为所述规定的距离的位置的方式对所述支承台以及所述聚光光学系统中的至少一个进行控制的控制信号、以及用于以使在所述加工对象物的内部的对准所述激光的聚光点的位置上产生的所述激光的像差为所述规定的像差以下的方式控制所述反射型空间光调制器的控制信号,相对应地进行存储。

7. 如权利要求 5 或 6 所述的激光加工装置,其特征为,

所述调整光学系统被配置在所述反射型空间光调制器与将从所述反射型空间光调制器射出的所述激光反射的反射部材之间。

激光加工方法、激光加工装置及其制造方法

技术领域

[0001] 本发明涉及用于沿着切断预定线切断板状的加工对象物的激光加工方法、激光加工装置及其制造方法。

背景技术

[0002] 作为现有的激光加工装置,在专利文献1中记载有:通过激光发散点移动机构来使从激光光源射出的激光发散,并通过聚光光学系统来将发散后的激光聚光于加工对象物的内部的规定的位置。根据该激光加工装置,能够减轻在加工对象物的内部的规定位置所发生的激光的像差。

[0003] 而且,在专利文献2中记载有:通过利用空间光调制器来调制激光,从而进行激光的波阵面补偿的波阵面补偿装置。另外,在专利文献3中记载有:通过利用空间光调制器来调制激光,从而使激光聚光于加工对象物的内部的多个位置的激光加工装置。

[0004] 专利文献1:国际公开第2005/106564号小册子

[0005] 专利文献2:日本特开2005-292662号公报

[0006] 专利文献3:日本特开2006-68762号公报

发明内容

[0007] 发明所要解决的问题

[0008] 然而,在使聚光点对准板状的加工对象物的内部并照射激光、从而沿着切断预定线来形成改质区域的技术中,由于距加工对象物的激光入射面的距离等的加工条件,存在形成作为切断的起点的功能较差(例如难以产生割裂)的改质区域的情况。

[0009] 因此,本发明有鉴于上述问题,其目的在于提供能够可靠地形成作为切断的起点的改质区域的激光加工方法、激光加工装置及其制造方法。

[0010] 解决问题的方法

[0011] 为了达成上述目的,本发明所涉及的激光加工方法的特征为,是通过使聚光点对准板状的加工对象物的内部并照射激光,从而沿着加工对象物的切断预定线来形成作为切断的起点的改质区域的激光加工方法,在形成改质区域时,以在加工对象物的内部使激光的波阵面为规定的波阵面的方式通过反射型空间光调制器来调制激光。

[0012] 另外,本发明所涉及的激光加工方法的特征为,是通过使聚光点对准板状的加工对象物的内部并照射激光,从而沿着加工对象物的切断预定线来形成作为切断的起点的改质区域的激光加工方法,在形成改质区域时,以使被聚光于加工对象物的内部的激光的像差为规定的像差以下的方式通过反射型空间光调制器来调制激光。

[0013] 在这些激光加工方法中,以在加工对象物的内部使激光的波阵面为规定的波阵面的方式(或者是,以使被聚光于加工对象物的内部的激光的像差为规定的像差以下的方式)通过反射型空间光调制器被调制的激光被照射于加工对象物。因此,例如使在对准激光的聚光点的位置所产生的激光的像差为大致0,并提高在该位置的激光的能量密度,因而

能够形成作为切断的起点的功能较好（例如容易产生割裂）的改质区域。并且，由于使用反射型空间光调制器，因此，相比于透过型空间光调制器，能够提高激光的利用效率。这样的激光的利用效率的提高在将作为切断的起点的改质区域形成于板状的加工对象物的情况下是特别重要的。因而，根据这些的激光加工方法，可以可靠地形成作为切断的起点的改质区域。

[0014] 本发明所涉及的激光加工方法的特征为，是使聚光点对准板状的加工对象物的内部并照射激光，从而沿着加工对象物的切断预定线，以并排于加工对象物的厚度方向的方式形成多列作为切断的起点的改质区域的激光加工方法，在多列改质区域中，在形成一列或者多列包含离加工对象物的激光入射面最远的改质区域的改质区域时，对应于所要形成的改质区域，以使将激光聚光于加工对象物的内部的聚光光学系统与加工对象物之间的距离为规定的距离的方式来改变聚光光学系统与加工对象物之间的距离，同时以在加工对象物的内部使激光的波阵面为规定的波阵面的方式通过反射型空间光调制器调制激光。

[0015] 另外，本发明所涉及的激光加工方法的特征为，是使聚光点对准板状的加工对象物的内部并照射激光，从而沿着加工对象物的切断预定线，并以并排于加工对象物的厚度方向的方式形成多列作为切断的起点的改质区域的激光加工方法，在多列改质区域中，在形成一列或者多列包含离加工对象物的激光入射面最远的改质区域的改质区域时，对应于所要形成的改质区域，以使将激光聚光于加工对象物的内部的聚光光学系统与加工对象物之间的距离为规定的距离的方式来改变聚光光学系统与加工对象物之间的距离，同时以使被聚光于加工对象物的内部的激光的像差为规定的像差以下的方式通过反射型空间光调制器调制激光。

[0016] 在这些激光加工方法中，在多列改质区域中，在形成一列或者多列包含离加工对象物的激光入射面最远的改质区域的改质区域时，通过反射型空间光调制器被调制的激光被照射于加工对象物。这样，在形成离激光入射面最远的改质区域时，需要通过反射型空间光调制器来进行激光的调制，这是由于：形成改质区域的位置距离激光入射面越远，则在对准激光的聚光点的位置所产生的激光的像差越大。因此，根据这些激光加工方法，即使在相对于一条切断预定线而形成多列改质区域的情况下，也可以可靠地形成作为切断的起点的改质区域。

[0017] 此时，在相对于加工对象物而将切断预定线设定为多条的情况下，如果在沿着一条切断预定线而形成多列改质区域之后，沿着另一条切断预定线而形成多列改质区域，则可以实现如下所述那样的效果。即在加工对象物的激光入射面存在有起伏的情况下，为了将激光的聚光点高精度地对准距离激光入射面为规定的距离的位置，取得沿着切断预定线的激光的入射面的位移数据，并根据该位移数据对聚光光学系统与加工对象物之间的距离进行微调。因此，如果在沿着一条切断预定线而形成了多列改质区域之后，沿着另一条切断预定线来形成多列改质区域，则能够减少位移数据的切换次数，并可以在各切断预定线将多列改质区域高精度地形成于距离激光入射面为规定的距离的位置。

[0018] 另外，在相对于加工对象物而将切断预定线设定为多条的情况下，如果在沿着多条切断预定线而形成了一列改质区域之后，沿着多条切断预定线而形成另一列改质区域，则可以实现如下所述那样的效果。即在通过形成沿着一条切断预定线的多列改质区域从而使加工对象物割裂的情况下，如果在沿着一条切断预定线而形成了多列改质区域之后，沿

着另一条切断预定线而形成多列改质区域,则由于加工对象物的割裂而在加工对象物的位置上产生偏移。因此,为了沿着切断预定线高精度地形成改质区域,有必要对加工对象物的位置进行修正。然而,如果在沿着多条切断预定线而形成一列改质区域之后,沿着多条切断预定线形成另一列改质区域,则能够防止由于加工对象物的割裂而使加工对象物的位置偏移,并减少加工对象物的位置的修正次数,从而可以在短时间内沿着多条切断预定线形成多列改质区域。

[0019] 本发明所涉及的激光加工方法的特征为,是使聚光点对准板状的加工对象物的内部并照射激光,从而沿着加工对象物的切断预定线来形成作为切断的起点的改质区域的激光加工方法,在形成改质区域时,以使被聚光于加工对象物的内部的激光的数值孔径为规定的数值孔径的方式通过反射型空间光调制器调制激光。

[0020] 在该激光加工方法中,以使被聚光于加工对象物的内部的激光的数值孔径为规定的数值孔径的方式被反射型空间光调制器调制后的激光被照射于加工对象物。因此,例如对应于加工对象物的材质以及到达应该形成改质区域的位置的距离等,而使激光的数值孔径变化,从而能够形成作为切断的起点的功能较好的改质区域。

[0021] 本发明所涉及的激光加工方法的特征为,是使聚光点对准板状的加工对象物的内部并照射激光,从而沿着加工对象物的切断预定线,以并排于加工对象物的厚度方向的方式来形成多列作为切断的起点的改质区域的激光加工方法,在多列改质区域中,在形成除了距离加工对象物的激光入射面或者加工对象物中的与激光入射面相对的相对表面最近的改质区域之外的改质区域时,相比于形成距离激光入射面或者相对表面最近的改质区域的情况,以使被聚光于加工对象物的内部的激光的数值孔径变小的方式通过反射型空间光调制器调制激光。

[0022] 在该激光加工方法中,作为对于切断的起点而特别重要的改质区域,在形成距离加工对象物的激光入射面或者加工对象物中的与激光入射面相对的相对表面最近的改质区域之时,相比于形成其它的改质区域的情况,以使被聚光于加工对象物的内部的激光的数值孔径变大的方式被反射型空间光调制器调制后的激光被照射于加工对象物。因此,能够将距离加工对象物的激光入射面或者加工对象物中的与激光入射面相对的相对表面最近的改质区域设为作为切断的起点的功能极好的改质区域(例如包含割裂的改质区域)。

[0023] 此时,优选,在沿着切断预定线并以并排于加工对象物的厚度方向的方式形成至少三列改质区域的情况下,在至少三列改质区域中,在形成除了距离激光入射面最近的改质区域以及距离激光入射面最近的改质区域之外的改质区域时,相比于形成距离激光入射面最近的改质区域以及距离激光入射面最近的改质区域的情况,以使被聚光于加工对象物的内部的激光的数值孔径变小的方式通过反射型空间光调制器调制激光。在该情况下,作为对于切断的起点而特别重要的改质区域,在形成距离激光入射面最近的改质区域以及距离激光入射面最近的改质区域时,相比于形成其间的改质区域的情况,以使被聚光于加工对象物的内部的激光的数值孔径变大的方式被反射型空间光调制器调制后的激光被照射于加工对象物。因此,能够将距离激光入射面最近的改质区域以及距离激光入射面最近的改质区域设为作为切断的起点的功能极好的改质区域(例如包含割裂的改质区域)。

[0024] 本发明所涉及的激光加工方法的特征为,是使聚光点对准板状的加工对象物的内部并照射激光,从而沿着加工对象物的切断预定线形成作为切断的起点的改质区域的激光

加工方法,在形成改质区域时,以使激光的光学特性为规定的光学特性的方式通过多个反射型空间光调制器调制激光。

[0025] 在该激光加工方法中,以使激光的光学特性为规定的光学特性的方式被多个反射型空间光调制器调制后的激光被照射于加工对象物。这样,如果使用多个反射型空间光调制器,则能够控制作为激光的光学特性的光束直径以及光轴等。由此,可以可靠地形成作为切断的起点的改质区域。

[0026] 本发明所涉及的激光加工装置的特征为,是使聚光点对准板状的加工对象物的内部并照射激光,从而沿着加工对象物的切断预定线形成作为切断的起点的改质区域的激光加工装置,具备:支承台,其支承加工对象物;激光光源,其射出激光;反射型空间光调制器,其调制从激光光源射出的激光;聚光光学系统,其使被反射型空间光调制器调制后的激光聚光于被支承台所支承的加工对象物的内部;以及控制部,在形成改质区域时,以使激光的聚光点位于距离加工对象物的激光入射面为规定的距离的位置并且使激光的聚光点沿着切断预定线相对地移动的方式,对支承台以及聚光光学系统中的至少一个进行控制,同时以在加工对象物的内部使激光的波阵面为规定的波阵面的方式,控制反射型空间光调制器。

[0027] 根据该激光加工装置,能够将以在加工对象物的内部使激光的波阵面为规定的波阵面的方式被反射型空间光调制器调制后的激光沿着切断预定线而照射于加工对象物。由此,可以可靠地形成作为切断的起点的改质区域。在此,所谓的“控制部对支承台以及聚光光学系统中的至少一个进行控制”,不仅包含控制部对支承台以及聚光光学系统中的至少一个进行直接控制的情况,也包含控制部通过对包含支承台的系统以及包含聚光光学系统的系统中的至少一个进行直接控制从而对支承台以及聚光光学系统中的至少一个进行间接控制的情况。

[0028] 此时,优选,控制部在以并排于加工对象物的厚度方向的方式而沿着切断预定线被形成有多列的改质区域的每一个中,将用于以使激光的聚光点位于距离激光入射面为规定的距离的位置的方式对支承台以及聚光光学系统中的至少一个进行控制的控制信号、以及用于以在加工对象物的内部使激光的波阵面为规定的波阵面的方式控制反射型空间光调制器的控制信号相对应地进行存储。在该情况下,能够分别对应于应该形成的多列改质区域,使在加工对象物的内部中激光的波阵面为规定的波阵面。

[0029] 本发明所涉及的激光加工装置的特征为,是使聚光点对准板状的加工对象物的内部并照射激光,从而沿着加工对象物的切断预定线形成作为切断的起点的改质区域的激光加工装置,具备:支承台,其支承加工对象物;激光光源,其射出激光;反射型空间光调制器,其调制从激光光源射出的激光;聚光光学系统,其使被反射型空间光调制器调制后的激光聚光于被支承台所支承的加工对象物的内部;以及控制部,在形成改质区域时,以使激光的聚光点位于距离加工对象物的激光入射面为规定的距离的位置并且使激光的聚光点沿着切断预定线来相对地移动的方式,对支承台以及聚光光学系统中的至少一个进行控制,同时以使被聚光于加工对象物的内部的激光的像差为规定的像差以下的方式,控制反射型空间光调制器。

[0030] 根据该激光加工装置,能够将以使被聚光于加工对象物的内部的激光的像差为规定的像差以下的方式被反射型空间光调制器调制后的激光沿着切断预定线而照射于加工

对象物。由此,可以可靠地形成作为切断的起点的改质区域。

[0031] 此时,优选,控制部在以并排于加工对象物的厚度方向的方式沿着切断预定线而被形成有多列的改质区域的每一个中,将用于以使激光的聚光点位于距离激光入射面为规定的距离的位置的方式对支承台以及聚光光学系统中的至少一个进行控制的控制信号、以及用于以使被聚光于加工对象物的内部的激光的像差为规定的像差以下的方式控制反射型空间光调制器的控制信号相对应地进行存储。在该情况下,能够分别对应于应该形成的多列改质区域,使被聚光于加工对象物的内部的激光的像差为规定的像差以下。

[0032] 本发明所涉及的激光加工装置的特征为,是使聚光点对准板状的加工对象物的内部并照射激光,从而沿着加工对象物的切断预定线形成作为切断的起点的改质区域的激光加工装置,具备:支承台,其支承加工对象物;激光光源,其射出激光;多个反射型空间光调制器,其调制从激光光源射出的激光;聚光光学系统,其将被反射型空间光调制器调制后的激光聚光于被支承台所支承的加工对象物的内部;以及控制部,在形成改质区域时,以使激光的聚光点位于距离加工对象物的激光入射面为规定的距离的位置并且使激光的聚光点沿着切断预定线相对地移动的方式,对支承台以及聚光光学系统中的至少一个进行控制,控制部具有以使激光的光学特性为规定的光学特性的方式控制反射型空间光调制器的功能。

[0033] 根据该激光加工装置,由于具备多个反射型空间光调制器,因此,能够对作为激光的光学特性的光束直径以及光轴等进行控制。因此,即使在因为某些原因而造成在激光的光轴产生偏移的情况下,也能够容易地对该偏移进行修正,从而可以可靠地形成作为切断的起点的改质区域。

[0034] 本发明所涉及的激光加工装置的制造方法的特征为,是通过将聚光点对准加工对象物的内部并照射激光,从而沿着加工对象物的切断预定线形成作为切断的起点的改质区域的激光加工装置的制造方法,该激光加工装置具备:支承台,其支承板状的加工对象物;激光光源,其射出激光;反射型空间光调制器,其调制从激光光源射出的激光;聚光光学系统,其使被反射型空间光调制器调制后的激光聚光于被支承台所支承的加工对象物的内部;以及控制部,控制反射型空间光调制器,该制造方法包含:准备基准激光加工装置,并对从基准激光加工装置的基准聚光光学系统射出的基准激光的波阵面进行测量,从而取得基准波阵面数据的工序;测量从聚光光学系统射出的激光的波阵面,从而取得波阵面数据的工序;以及根据基准波阵面数据以及波阵面数据,计算出用于以使激光的波阵面为基准激光的波阵面的方式对反射型空间光调制器进行控制的控制信号,并将控制信号存储于控制部中的工序。

[0035] 根据该激光加工装置的制造方法,将通过形成作为切断的起点的功能较好的改质区域而得到的激光加工装置作为基准激光加工装置进行准备,从而能够消除装置间的个体差异,并能够制造具有与基准激光加工装置同等的性能的激光加工装置。

[0036] 发明的效果

[0037] 根据本发明,能够可靠地形成作为切断的起点的改质区域。

附图说明

[0038] 图1为在改质区域的形成中所使用的激光加工装置的大致构成图。

- [0039] 图 2 为作为形成改质区域的对象的加工对象物的平面图。
- [0040] 图 3 为沿着图 2 的加工对象物的 III-III 线的剖面图。
- [0041] 图 4 为激光加工后的加工对象物的平面图。
- [0042] 图 5 为沿着图 4 的加工对象物的 V-V 线的剖面图。
- [0043] 图 6 为沿着图 4 的加工对象物的 VI-VI 线的剖面图。
- [0044] 图 7 为表示激光加工后的硅片的切断面的照片的图。
- [0045] 图 8 为表示激光的波长与硅基板的内部的透过率之间的关系的图表。
- [0046] 图 9 为表示激光的峰值功率密度与裂纹点的大小之间的关系的图表。
- [0047] 图 10 为本实施方式所涉及的激光加工装置的大致构成图。
- [0048] 图 11 为图 10 的激光加工装置的反射型空间光调制器的分解立体图。
- [0049] 图 12 为在本实施方式所涉及的激光加工装置的制造方法中所使用的基准激光加工装置的大致构成图。
- [0050] 图 13 为在本实施方式所涉及的激光加工装置的制造方法中所使用的激光加工装置的大致构成图。
- [0051] 图 14 为在本实施方式所涉及的激光加工装置的制造方法中所使用的激光加工装置的大致构成图。
- [0052] 图 15 为在本实施方式所涉及的激光加工装置的制造方法中所使用的激光加工装置的大致构成图。
- [0053] 图 16 为作为本实施方式所涉及的激光加工方法的对象的加工对象物的平面图。
- [0054] 图 17 为被实施本实施方式所涉及的激光加工方法的图 16 的加工对象物的剖面图。
- [0055] 图 18 为被实施本实施方式所涉及的激光加工方法的图 16 的加工对象物的剖面图。
- [0056] 图 19 为本实施方式所涉及的其它的激光加工装置的大致构成图。
- [0057] 图 20 为对图 19 的激光加工装置的反射型空间光调制器的配置进行说明的说明图。
- [0058] 图 21 为对本实施方式所涉及的其它的激光加工方法进行说明的说明图。
- [0059] 图 22 为对本实施方式所涉及的其它的激光加工方法进行说明的说明图。
- [0060] 图 23 为本实施方式所涉及的其它的激光加工装置的大致构成图。
- [0061] 图 24 为在本实施方式所涉及的激光加工装置的制造方法中所使用的其它的基准激光加工装置的大致构成图。
- [0062] 图 25 为在本实施方式所涉及的激光加工装置的制造方法中所使用的其它的激光加工装置的大致构成图。
- [0063] 图 26 为在本实施方式所涉及的激光加工装置的制造方法中所使用的其它的激光加工装置的大致构成图。
- [0064] 图 27 为在本实施方式所涉及的激光加工装置的制造方法中所使用的其它的激光加工装置的大致构成图。
- [0065] 图 28 为本实施方式所涉及的其它的激光加工装置的大致构成图。
- [0066] 图 29 为本实施方式所涉及的其它的激光加工装置的大致构成图。

- [0067] 符号的说明
- [0068] 1…加工对象物
- [0069] 3…表面（激光入射面）
- [0070] 5…切断预定线
- [0071] 7、7₁ ~ 7₄…改质区域
- [0072] 200…激光加工装置
- [0073] 200s…基准激光加工装置
- [0074] 201…支承台
- [0075] 202…激光光源
- [0076] 203…反射型空间光调制器
- [0077] 204…聚光光学系统
- [0078] 204s…基准聚光光学系统
- [0079] 205…控制部
- [0080] L…激光
- [0081] Ls…基准激光
- [0082] P…聚光点

具体实施方式

[0083] 以下,参照附图,对本发明的最佳实施方式进行详细的说明。在此,在各图中,对相同或者相当的部分标记相同的符号,省略重复的说明。

[0084] 在本实施方式所涉及的激光加工方法以及激光加工装置中,使聚光点对准板状的加工对象物的内部并照射激光,从而沿着切断预定线在加工对象物中形成改质区域。

[0085] 因此,首先参照图 1 ~ 图 9,对本实施方式所涉及的激光加工方法以及激光加工装置中的改质区域的形成进行说明。

[0086] 如图 1 所示,激光加工装置 100 具备:使激光(加工用激光)L 脉冲振动的激光光源 101、以使激光 L 的光轴的方向改变 90° 的方式配置的分色镜(dichroic mirror)103、以及用于使激光 L 聚光的聚光用透镜 105。另外,激光加工装置 100 具备:用于支承被照射有由聚光用透镜 105 聚光的激光 L 的加工对象物 1 的支承台 107、用于使支承台 107 在 X、Y、Z 轴方向上移动的平台 111、为了调节激光 L 的输出以及脉冲宽度等而对激光光源 101 进行控制的激光光源控制部 102 和对平台 111 的移动进行控制的平台控制部 115。

[0087] 在该激光加工装置 100 中,从激光光源 101 射出的激光 L 通过分色镜 103 而使其光轴的方向改变 90°,并通过聚光透镜 105 而被聚光于被载置在支承台 107 上的加工对象物 1 的内部。与此同时,使平台 111 移动,加工对象物 1 相对于激光 L 而沿着切断预定线 5 相对移动。由此,沿着切断预定线 5 在加工对象物 1 中形成作为切断的起点的改质区域。以下,对该改质区域进行详细的说明。

[0088] 如图 2 所示,在板状的加工对象物 1 中设置有助于切断加工对象物 1 的切断预定线 5。切断预定线 5 是延伸为直线状的假想线。在加工对象物 1 的内部形成改质区域的情况下,如图 3 所示,在使聚光点 P 对准加工对象物 1 的内部的状态下,使激光 L 沿着切断预定线 5(即沿着图 2 的箭头 A 方向)相对地移动。由此,如图 4 ~ 图 6 所示,改质区域 7 沿

着切断预定线 5 而被形成于加工对象物 1 的内部,沿着切断预定线 5 形成的改质区域 7 作为切断起点区域 8。

[0089] 另外,所谓聚光点 P 是指激光 L 聚光的地方。另外,切断预定线 5 不限于直线状,可以是曲线状,并且不限于假想线,可以是在加工对象物 1 的表面 3 实际引出的线。另外,改质区域 7 可以被连续地形成,也可以被间断地形成。另外,改质区域 7 可以至少被形成于加工对象物 1 的内部。另外,存在以改质区域 7 为起点而形成有龟裂的情况,龟裂以及改质区域 7 可以露出于加工对象物 1 的外表面(表面、背面、或者是外周面)。

[0090] 在此,激光 L 在透过加工对象物 1 的同时,在加工对象物 1 的内部的聚光点附近被特别吸收,由此,在加工对象物 1 中形成改质区域 7(即内部吸收型激光加工)。因而,由于在加工对象物 1 的表面 3 激光 L 几乎不被吸收,因此加工对象物 1 的表面 3 不会熔融。一般而言,在通过从表面 3 被熔融而被除去从而形成有孔或槽等的除去部(表面吸收型激光加工)的情况下,加工区域从表面 3 侧逐渐地向背面侧进展。

[0091] 然而,通过本实施方式所涉及的激光加工方法以及激光加工装置形成的改质区域是指作为密度、折射率、机械强度或者其它的物理特性与周围不同的状态的区域。例如存在(1)熔融处理区域、(2)裂纹区域、绝缘破坏区域、(3)折射率变化区域等,也存在混合存在有这些区域的区域。

[0092] 本实施方式所涉及的激光加工方法以及激光加工装置的改质区域是通过激光的局部吸收或者多光子吸收等现象而被形成。所谓多光子吸收是指下述现象:如果光子的能量 $h\nu$ 比材料的吸收的能带隙 (bandgap) E_g 小则成为光学透明,因此在材料中产生吸收的条件是为 $h\nu > E_g$,但是即使是光学透明的,如果使激光 L 的强度足够大,则在 $nh\nu > E_g$ 的条件 ($n = 2, 3, 4, \dots$) 下在材料中产生吸收。通过多光子吸收而形成熔融处理区域例如被记载于熔接学会全国大会演讲概要第 66 集(2000 年 4 月)的第 72 ~ 73 页的“由皮秒脉冲激光而得到的硅的加工特性评价”中。

[0093] 另外,也可以利用如“D. Du, X. Liu, G. Korn, J. Squier, and G. Mourou, ‘Laser Induced Breakdown by Impact Ionization in SiO_2 with Pulse Widths from 7ns to 150fs’, Appl Phys Lett 64(23), Jun. 6, 1994”中所记载的那样通过使用脉冲宽度为从几皮秒到飞秒(femto second)的超短脉冲激光从而形成的改质区域。

[0094] (1) 改质区域包含熔融处理区域的情况

[0095] 将聚光点对准加工对象物(例如硅那样的半导体材料)的内部,并在聚光点的电场强度为 $1 \times 10^8 (\text{W}/\text{cm}^2)$ 以上且脉冲宽度为 $1 \mu\text{s}$ 以下的条件下照射激光 L。由此,在聚光点附近激光 L 被吸收从而加工对象物的内部被局部地加热,通过该加热而在加工对象物的内部形成熔融处理区域。

[0096] 所谓熔融处理区域是一旦熔融后再固化的区域、或是熔融状态中的区域、或是从熔融状态再固化的状态的区域,也能够指相变化区域或是结晶构造变化的区域。另外,所谓熔融处理区域也能够指在单结晶构造、非晶质构造、多结晶构造中、某一构造变化成另一构造的区域。即例如指从单结晶构造变化成非晶质构造的区域、从单结晶构造变化成多结晶构造的区域、从单结晶构造变化成包含非晶质构造及多结晶构造的构造的区域。在加工对象物为单晶硅构造的情况下,熔融处理区域是例如非晶硅构造。

[0097] 图 7 为表示激光所照射的硅片(半导体基板)的一部分中的剖面的照片的图。如

图 7 所示,在半导体基板 11 的内部形成有熔融处理区域 13。

[0098] 对于在相对入射的激光的波长具有透过性的材料的内部形成熔融处理区域 13 的情况进行说明。图 8 为表示激光的波长与硅基板的内部的透过率之间的关系的曲线图。在此,去除了硅基板的表面侧和背面侧的各自的反射成分,仅表示内部的透过率。对于硅基板的厚度 t 分别为 $50\mu\text{m}$ 、 $100\mu\text{m}$ 、 $200\mu\text{m}$ 、 $500\mu\text{m}$ 、 $1000\mu\text{m}$ 表示上述关系。

[0099] 例如,在作为 Nd:YAG 激光的波长的 1064nm 中,硅基板的厚度为 $500\mu\text{m}$ 以下的情况下,已知在硅基板的内部 80% 以上的激光 L 透过。图 7 所示的半导体基板 11 的厚度为 $350\mu\text{m}$,因此熔融处理区域 13 形成在半导体基板 11 的中心附近,即距离表面 $175\mu\text{m}$ 的部分。该情况下的透过率,参考厚度 $200\mu\text{m}$ 的硅片,则为 90% 以上,因此激光 L 只有一些会在半导体基板 11 的内部被吸收,绝大部分会透过。但是,通过在 $1\times 10^8(\text{W}/\text{cm}^2)$ 以上且脉冲宽度为 $1\mu\text{s}$ 以下的条件下将激光 L 聚光在硅片内部,从而激光在聚光点及其附近被局部吸收,在半导体基板 11 的内部形成熔融处理区域 13。

[0100] 而且,在硅片中有时会以熔融处理区域为起点产生龟裂。另外,有时会使龟裂包含在熔融处理区域中而形成龟裂,在该情况下,该龟裂有时是遍及熔融处理区域中的整个面而形成,有时是仅在一部分或多个部分上形成。再者,该龟裂有时会自然成长,有时也会因为对硅片施加力而成长。龟裂从熔融处理区域自然成长的情况存在:从熔融处理区域熔融的状态成长的情况、以及在从熔融处理区域熔融的状态再固化时成长的情况中的任一个。在此,无论何种情况,熔融处理区域形成在硅片的内部,在切断面上,如图 7 所示,在内部形成有熔融处理区域。

[0101] (2) 改质区域包含裂纹区域的情况

[0102] 向加工对象物(例如玻璃或是由 LiTaO_3 构成的压电材料)的内部对准聚光点,并在聚光点的电场强度为 $1\times 10^8(\text{W}/\text{cm}^2)$ 以上且脉冲宽度为 $1\mu\text{s}$ 以下的条件下照射激光 L。该脉冲宽度的大小是激光 L 被吸收而在加工对象物的内部形成裂纹区域的条件。由此,在加工对象物的内部会产生所谓光学损伤的现象。由于该光学损伤会在加工对象物的内部引起热应变,因此在加工对象物的内部会形成包含一个或多个裂纹的裂纹区域。裂纹区域也可称为绝缘破坏区域。

[0103] 图 9 是表示电场强度与裂纹的大小之间的关系的实验结果的图。横轴为峰值功率密度,由于激光 L 为脉冲激光,因此电场强度以峰值功率密度来表示。纵轴表示由于 1 脉冲的激光 L 而形成在加工对象物的内部的裂纹部分(裂纹点)的大小。裂纹点就是集中裂纹区域。裂纹点的大小是裂纹点的形状中长度最长的部分的大小。图表中以黑色圆点表示的数据是聚光用透镜(C)的倍率为 100 倍、数值孔径(NA)为 0.80 的情况。另一方面,图表中以白色圆点表示的数据是聚光用透镜(C)的倍率为 50 倍、数值孔径(NA)为 0.55 的情况。已知峰值功率密度从 $10^{11}(\text{W}/\text{cm}^2)$ 左右就会开始在加工对象物的内部产生裂纹点,并且随着峰值功率密度越大,裂纹点也就越大。

[0104] (3) 改质区域包含折射率变化区域的情况

[0105] 向加工对象物(例如玻璃)的内部对准聚光点,并且在聚光点的电场强度为 $1\times 10^8(\text{W}/\text{cm}^2)$ 以上且脉冲宽度为 1ns 以下的条件下照射激光 L。这样,在脉冲宽度极短的状态下,如果激光 L 在加工对象物的内部被吸收,则该能量不会转化成热能,而是会在加工对象物的内部引起离子价数变化、结晶化或极化配向等的永远的构造变化,并形成折射率

变化区域。

[0106] 在此,所谓改质区域是包含熔融处理区域、绝缘破坏区域、折射率变化区域等或是混合存在有这些区域的区域,是在该材料中改质区域的密度相比于非改质区域的密度发生变化的区域,或是形成有晶格缺陷的区域。也能够将这些统称为高密转移区域。

[0107] 另外,熔融处理区域或折射率变化区域、改质区域的密度相比于非改质区域的密度发生变化的区域、形成有晶格缺陷的区域,进而可能会在这些区域的内部或在改质区域与非改质区域的界面包含(内包)龟裂(割裂、微裂纹)。所内包的龟裂可能会遍及改质区域的整个面或是仅在一部分或多个部分形成。

[0108] 此外,如果考虑加工对象物的结晶构造及其劈开性等,并且如以下所述形成改质区域,则可以高精度地将加工对象物切断。

[0109] 即在由硅等的钻石构造的单结晶半导体构成的基板的情况下,优选,在沿着(111)面(第1劈开面)或(110)面(第2劈开面)的方向上形成改质区域。另外,由GaAs等的闪锌矿型结构的III-V族化合物半导体构成的基板的情况下,优选,在沿着(110)面的方向上形成改质区域。再者,在具有蓝宝石(Al_2O_3)等的六方晶系的结晶构造的基板的情况下,优选,以(0001)面(C面)为主面,在沿着(1120)面(A面)或(1100)面(M面)的方向上形成改质区域。

[0110] 另外,如果沿着为了形成上述改质区域的方向(例如沿着单晶硅基板中的(111)面的方向)或是沿着与为了形成改质区域的方向垂直的方向在基板上形成定向平面(Orientation Flat),则通过以该定向平面为基准,可以容易且正确地在基板上形成改质区域。

[0111] 接着,对本实施方式所涉及的激光加工装置进行说明。

[0112] 如图10所示,激光加工装置200具备:支承板状的加工对象物1的支承台201、射出激光L的激光光源202、调制从激光光源202射出的激光L的反射型空间光调制器203、将被反射型空间光调制器203调制后的激光L聚光于被支承台201所支承的加工对象物1的内部的聚光光学系统204、以及对反射型空间光调制器203进行控制的控制部205。激光加工装置200使聚光点P对准加工对象物1的内部并照射激光,从而沿着加工对象物1的切断预定线5形成作为切断的起点的改质区域7。

[0113] 反射型空间光调制器203被设置于筐体231内,激光光源202被设置于筐体231的顶板。另外,聚光光学系统204包含多个透镜而被构成,并通过包含压电元件等而被构成的驱动单元232而被设置于筐体231的底板。并且通过被设置于筐体231的部件而构成激光引擎(engine)230。在此,控制部205也可以被设置于激光引擎230的筐体231内。

[0114] 在筐体231设置有使筐体231沿着加工对象物1的厚度方向移动的移动机构(图中没有表示)。由此,由于能够对应于加工对象物1的深度而使激光引擎230上下移动,因而可以使聚光光学系统204的位置变化,从而可以使激光L聚光于加工对象物1的所期望的深度位置。在此,替代在筐体231设置移动机构,也可以在支承台201设置使支承台201沿着加工对象物1的厚度方向移动的移动机构。另外,也可以利用后述的AF单元212而使聚光光学系统204沿着加工对象物1的厚度方向移动。并且,也可以将它们进行组合。

[0115] 控制部205除了对反射型空间光调制器203进行控制之外,也对激光加工装置200的整体进行控制。例如,控制部205在形成改质区域7时,以使激光L的聚光点P位于距离

加工对象物 1 的表面 (激光入射面) 3 为规定的距离的位置并且使激光 L 的聚光点 P 沿着切断预定线 5 相对地移动的方式, 对包含聚光光学系统 204 的激光引擎 230 进行控制。在此, 控制部 205 为了使激光 L 的聚光点 P 相对于加工对象物 1 相对地移动, 也可以不对包含聚光光学系统 204 的激光引擎 230 进行控制, 而对支承台 201 进行控制, 或者是也可以对包含聚光光学系统 204 的激光引擎 230 以及支承台 201 这两者进行控制。

[0116] 从激光光源 202 射出的激光 L 在筐体 231 内被反射镜 206、207 依次反射, 之后被棱镜等的反射部材 208 反射并入射到反射型空间光调制器 203。入射到反射型空间光调制器 203 的激光 L 通过反射型空间光调制器 203 被调制, 并从反射型空间光调制器 203 被射出。从反射型空间光调制器 203 射出的激光 L 在筐体 231 内以沿着聚光光学系统 204 的光轴的方式被反射部材 208 反射, 并依次透过分光镜 (beam splitter) 209、210 而入射到聚光光学系统 204。入射到聚光光学系统 204 的激光 L 通过聚光光学系统 204 而被聚光于载置在支承台 201 上的加工对象物 1 的内部。

[0117] 另外, 激光加工装置 200 在筐体 231 内具备用于对加工对象物 1 的表面 3 进行观察的表面观察单元 211。表面观察单元 211 将被分光镜 209 反射并且透过分光镜 210 的可视光 VL 射出, 并通过检测由聚光光学系统 204 被聚光并在加工对象物 1 的表面 3 被反射的可视光 VL, 从而取得加工对象物 1 的表面 3 的像。

[0118] 再者, 激光加工装置 200 在筐体 231 内具备 AF (auto focus) 单元 212, 该 AF 单元 212 用于即使在加工对象物 1 的表面 3 存在起伏的情况下, 也可将激光 L 的聚光点 P 高精度地对准距离表面 3 为规定的距离的位置。AF 单元 212 通过射出被分光镜 210 反射的 AF 用激光 LB, 并检测通过聚光光学系统 204 被聚光并在加工对象物 1 的表面 3 被反射的 AF 用激光 LB, 从而例如使用非点像差法而取得沿着切断预定线 5 的表面 3 的位移数据。并且, AF 单元 212 在形成改质区域 7 时, 根据取得的位移数据对驱动单元 232 进行驱动, 从而以沿着加工对象物 1 的表面 3 的起伏的方式使聚光光学系统 204 沿着其光轴方向往返移动, 从而对聚光光学系统 204 与加工对象物 1 之间的距离进行微调。

[0119] 在此, 对反射型空间光调制器 203 进行说明。如图 11 所示, 反射型空间光调制器 203 具备: 硅基板 213、被设置在硅基板 213 上的金属电极层 214、被设置在金属电极层 214 上的反射镜层 215、被设置于反射镜层 215 上的液晶层 216、被设置于液晶层 216 上的透明电极层 217、以及被设置于透明电极层 217 上的玻璃板 218。金属电极层 214 以及透明电极层 217 具备被配置为矩阵状的多个电极部 214a、217a, 金属电极层 214 的各电极部 214a 与透明电极层 217 的各电极部 217a 在反射型空间光调制器 203 的层叠方向上相互相对。

[0120] 在如上所述构成的反射型空间光调制器 203 中, 激光 L 从外部依次透过玻璃板 218 以及透明电极层 217 并入射到液晶层 216, 被反射镜层 215 反射, 并从液晶层 216 依次透过透明电极层 217 以及玻璃板 218 而射出至外部。此时, 在相互相对的一对电极部 214a、217a 的每一个上施加电压, 对应于该电压, 在液晶层 216 中被相互相对的一对电极部 214a、217a 夹着的部分的折射率发生变化。由此, 在构成激光 L 的多条光线的各条中, 在与各光线的行进方向垂直的规定的方向的成分的相位上产生偏移, 从而激光 L 被整形 (相位调制)。

[0121] 控制部 205 在形成改质区域 7 时, 以使被聚光于加工对象物 1 的内部的激光 L 的像差为规定的像差以下的方式 (换言之, 以在加工对象物 1 的内部使激光 L 的波阵面为规定的波阵面的方式), 对相互相对的一对电极部 214a、217a 的每一个施加电压, 从而对反射

型空间光调制器 203 进行控制。控制部 205 将用于使入射到反射型空间光调制器 203 的激光 L 的光束波形（光束波阵面）整形（调制）的波阵面整形（像差修正）波形信息输入到反射型空间光调制器 203 中。并且，通过基于输入的波形信息的信号而使与反射型空间光调制器 203 的一对电极 214a、217a 的每一个对应的液晶层 216 的折射率发生变化，从而使从反射型空间光调制器 203 射出的激光 L 的光束波形（光束波阵面）整形（调制）。在此，可以将输入到反射型空间光调制器 203 的波形信息逐次输入，也可以选择性地输入预先存储的波形信息。

[0122] 然而，严格来说，通过反射型空间光调制器 203 被调制（修正）后的激光 L 由于在空间中传播而使波阵面形状发生了变化。特别是，在从反射型空间光调制器 203 射出的激光 L 或者入射到聚光光学系统 204 的激光 L 是具有规定的扩散范围的光（即平行光以外的光）的情况下，在反射型空间光调制器 203 的波阵面形状与在聚光光学系统 204 的波阵面形状并不一致，其结果，有可能会对作为目的的精密的内部加工造成妨碍。因此，使在反射型空间光调制器 203 的波阵面形状与在聚光光学系统 204 的波阵面形状一致是重要的。为此，优选，通过测量等而求得在激光 L 从反射型空间光调制器 203 传播至聚光光学系统 204 时的波阵面形状的变化，并将考虑了该波阵面形状的变化的波阵面整形（像差修正）波形信息输入到反射型空间光调制器 203。

[0123] 或者是，为了使在反射型空间光调制器 203 的波阵面形状与在聚光光学系统 204 的波阵面形状一致，如图 23 所示，在反射型空间光调制器 203 与聚光光学系统 204 之间行进的激光 L 的光路上，可以设置调整光学系统 240。由此，可以实现正确的波阵面整形。

[0124] 调整光学系统 240 具有至少 2 个透镜（第 1 光学元件）241a 以及透镜（第 2 光学元件）241b。透镜 241a、241b 用于使在反射型空间光调制器 203 的波阵面形状与在聚光光学系统 204 的波阵面形状近似地一致。透镜 241a、241b 以使反射型空间光调制器 203 与透镜 241a 之间的距离为透镜 241a 的焦距（第 1 焦距） f_1 、使聚光光学系统 204 与透镜 241b 之间的距离为透镜 241b 的焦距（第 2 焦距） f_2 、使透镜 241a 与透镜 241b 之间的距离为 f_1+f_2 ，并且使透镜 241a 与透镜 241b 为两侧远心（telecentric）光学系统的方式，被配置在反射型空间光调制器 203 与反射部材 208 之间。

[0125] 通过这样的配置，即使是具有 1° 以下左右的小的扩散角的激光 L，也能够使在反射型空间光调制器 203 的波阵面与在聚光光学系统 204 的波阵面一致。在此，在要求进一步的正确性的情况下，优选，使反射型空间光调制器 203 与液晶层 216 与透镜 241a 的主点之间的距离为 f_1 。然而，如图 11 所示，由于反射型空间光调制器 203 非常薄，并且液晶层 216 与玻璃板 217 之间的距离也极小，因此在液晶层 216 与玻璃板 217 之间的波阵面形状的变化程度也极小。因此，可以简单地在反射型空间光调制器 203 的构成上，将容易设定焦距的位置（例如反射型空间光调制器 203 的表面（表面附近）等）与透镜 241a 之间的距离设定为 f_1 ，通过这样做，从而可以使调整变得容易。另外，在要求进一步的正确性的情况下，优选，使聚光光学系统 204 的主点与透镜 241b 的主点之间的距离为 f_2 。然而，聚光光学系统 204 包含多个透镜而被构成，在主点的定位可能较为困难。在该情况下，可以简单地在聚光光学系统 204 的构成上，将容易设定焦距的位置（例如聚光光学系统 204 的表面（表面附近）等）与透镜 241b 之间的距离设定为 f_2 ，通过这样做，从而使调整变得容易。

[0126] 另外，激光 L 的光束直径被 f_1 与 f_2 的比所决定（入射到聚光光学系统 204 的激

光 L 的光束直径是从反射型空间光调制器 203 射出的激光 L 的光束直径的 f_2/f_1 倍)。因此,即使在激光 L 是平行光、或者具有小的扩散范围的光中的任意一种的情况下,也能够在保持从反射型空间光调制器 203 射出的角度的状态下,在入射到聚光光学系统 204 的激光 L 中得到所期望的光束直径。

[0127] 如以上所述,根据调整光学系统 240,也可以对激光 L 的光束直径以及扩散角进行调整。在将作为切断的起点的改质区域 7 形成于加工对象物 1 的激光加工方法中,相比于为了实现精密的切断而从表面进行加工的激光加工方法,基于激光 L 的扩散角以及光束直径的聚光条件是极为重要的,为了高精度地形成适于切断的改质区域 7,可能在聚光光学系统 204 中不需要平行光而需要具有小的扩散角(例如几 mrad ~ 几十 mrad 左右)的激光 L。因此,在设置反射型空间光调制器 203 的情况和未设置反射型空间光调制器 203 的情况下,为了满足用于形成改质区域 7 的基本的加工条件,有必要使入射到聚光光学系统 204 的激光 L 的光束直径以及扩散角(与未设置反射型空间光调制器 203 的情况)一致。

[0128] 因此,通过使用调整光学系统 240,从而能够在维持被反射型空间光调制器 203 调制后的波阵面(像差)的状态下,使激光 L 被聚光光学系统 204 聚光,并且能够通过具有规定的光束直径以及规定的扩散角的激光 L 而在内部形成改质区域。由此,能够通过具有规定的扩散角的激光 L 而高效地利用聚光光学系统 204 的有效直径,并可以形成适于切断的精密的改质区域。

[0129] 在此,优选,调整光学系统 240 的透镜 241a、241b 设置在反射型空间光调制器 203 与反射部材 208 之间的激光 L 的光路上。其理由如下所述。即如果在平板状的反射部材 208 或分光镜 209、210 入射具有大的扩散的光(透镜 241a 与透镜 241b 之间的光),则会产生球面像差或者非点像差。因此,如果将透镜 241b 配置在反射部材 208 的后段,则从透镜 241a 射出的相对于光轴具有角度的光,在入射到反射部材 208 或者分光镜 209、210 之后,入射到透镜 241b,因而会受到球面像差或者非点像差的影响,而使入射到聚光光学系统 204 的激光 L 的精度降低。另外,优选,调整光学系统 240 具备使透镜 241a、241b 的各自的位置独立而进行微调的机构。另外,为了有效地使用反射型空间光调制器 203 的有效区域,也可以在反射型空间光调制器 203 与激光光源 202 之间的激光 L 的光路上设置光束扩展器(expander)。

[0130] 接下来,对作为本实施方式所涉及的激光加工装置的制造方法的上述的激光加工装置 200 的制造方法进行说明。

[0131] 首先,如图 12 所示,准备具有与上述的激光加工装置 200 大致相同的构成的基准激光加工装置 200s。基准激光加工装置 200s 为通过形成作为切断的起点的功能较好的改质区域 7 而得到的激光加工装置,例如是在一定的条件下,在沿着被设定为格子状的多条切断预定线 5 而形成改质区域 7 从而切断加工对象物 1 的情况下,未切断部分为规定的比例以下的激光加工装置。

[0132] 对于该基准激光加工装置 200s,设置参考球面镜 221 来替代加工对象物 1,使得参考球面镜 221 的光轴与基准聚光光学系统 204s 的光轴一致,同时设置波阵面测量器 222 来替代 AF 单元 212。然后,通过波阵面测量器 222 对从基准激光加工装置 200s 的基准聚光光学系统 204s 射出的基准激光 Ls 的波阵面进行测量,并取得基准波阵面数据。在此,参考球面镜 221 由于以高于波阵面测量器 222 的精度而被制作,因此能够忽视由于通过参

考球面镜 221 使基准激光 Ls 被反射而产生的基准激光 Ls 的波阵面的扰乱。

[0133] 接下来,如图 13 所示,准备具备支承台 201、激光光源 202、反射型空间光调制器 203、聚光光学系统 204 和控制部 205 的最终调整前的激光加工装置 200。

[0134] 对于该激光加工装置 200,设置参考球面镜 221 来替代加工对象物 1,使得参考球面镜 221 的光轴与聚光光学系统 204 的光轴一致,同时设置波阵面测量器 222 来替代 AF 单元 212。然后,通过波阵面测量器 222 来对从激光加工装置 200 的聚光光学系统 204 射出的激光 L 的波阵面进行测量,并取得波阵面数据。

[0135] 接下来,根据基准波阵面数据以及波阵面数据,来计算用于以使激光 L 的波阵面为基准激光 Ls 的波阵面的方式控制反射型空间光调制器 203 的控制信号,并将该控制信号存储于控制部 205。具体而言,将基准波阵面数据以及波阵面数据作为泽尼克 (Zernike) 多项式而取得,并取得基准波阵面数据的泽尼克多项式与波阵面数据的泽尼克多项式之间的差,计算消除了该差的控制信号,并存储于控制部 205 中。例如,在基准波阵面数据的泽尼克多项式为“(1×第 1 项)+(4×第 2 项)+(4×第 3 项)”,且波阵面数据的泽尼克多项式为“(1×第 1 项)+(2×第 2 项)+(4×第 3 项)”的情况下,计算使波阵面数据的泽尼克多项式的第 2 项进而为 2 倍的控制信号,并存储于控制部 205 中。

[0136] 在此,关于不将波阵面测量器 222 直接配置在聚光光学系统 204 的出射侧来对激光 L 的波阵面进行测量,是由于以下的理由。即在通过将聚光点 P 对准板状的加工对象物 1 的内部并照射激光 L,从而形成作为切断的起点的改质区域 7 的情况下,通过聚光光学系统 204 而被聚光于加工对象物 1 的内部的激光 L 的数值孔径非常大,例如为 0.55 ~ 0.80。因此,激光 L 的强度会变弱,或者构成激光 L 的多条光线间的相位差会超过波阵面测量器 222 的测定限度。这在基准激光加工装置 200s 中测量基准激光 Ls 的波阵面的情况下,也是同样的。

[0137] 如以上所述,准备通过形成作为切断的起点的功能较好的改质区域 7 而得到的激光加工装置,来作为基准激光加工装置 200s,从而能够消除装置间的个体差异,并能够制造具有与基准激光加工装置 200s 同等的性能的激光加工装置 200。

[0138] 接下来,如图 14 所示,在激光加工装置 200 中,在分光镜 210 与聚光光学系统 204 之间设置参考平面镜 223,使得其与激光 L 的光轴垂直。然后,通过波阵面测量器 222 来对依次被参考平面镜 223 以及分光镜 210 反射的激光 L 的波阵面进行测量,并将波阵面数据作为泽尼克多项式而取得。在此,参考平面镜 223 由于以高于波阵面测量器 222 的精度而制作,因此能够忽视由于通过参考平面镜 223 使激光 L 被反射而产生的激光 L 的波阵面的扰乱。

[0139] 接下来,如图 15 所示,准备由与加工对象物 1 相同的材料所构成的规定厚度的参考硅片 (wafer) 224,并在激光加工装置 200 中,以使被聚光光学系统 204 聚光的激光 L 的聚光点 P 位于参考硅片 224 的背面 (激光射出面) 的方式,来设置参考硅片 224。再者,在参考硅片 224 的出射侧设置参考球面镜 221,使得其光轴与聚光光学系统 204 的光轴一致。然后,通过波阵面测量器 222,来对依次透过聚光光学系统 204 以及参考硅片 224、被参考球面镜 221 反射、依次透过参考硅片 224 以及聚光光学系统 204、并被分光镜 210 反射的激光 L 的波阵面进行测量,并将波阵面数据作为泽尼克多项式而取得。在此,参考硅片 224 由于以高于波阵面测量器 222 的精度而制作,因此能够忽视由于激光 L 透过参考硅片

224 而产生的激光 L 的波阵面的扰乱。

[0140] 接下来,求出在图 14 的状态下取得的波阵面数据的泽尼克多项式和图 15 的状态下取得的波阵面数据的泽尼克多项式之间的差。由此,即使由于被分光镜 210 反射而使激光 L 的波阵面扰乱,也能够消除该波阵面的扰乱。然后,计算用于以使泽尼克多项式之间的差为规定的差以下的方式(即在使激光 L 的聚光点 P 位于距离加工对象物 1 的表面 3 为规定的距离(与参考硅片 224 的规定厚度相等)的位置的情况下,以使在该位置所产生的激光 L 的像差为规定的像差以下的方式)控制反射型空间光调制器 203 的控制信号。

[0141] 在此,如果泽尼克多项式之间的差为规定的差以下,则用于控制反射型空间光调制器 203 的控制信号是不需要的。另外,也可以计算用于以使泽尼克多项式之间的差为大致 0 的方式(即在使激光 L 的聚光点 P 位于距离加工对象物 1 的表面 3 为规定的距离(与参考硅片 224 的规定厚度相等)的位置的情况下,以使在该位置所产生的激光 L 的像差为大致 0 的方式)控制反射型空间光调制器 203 的控制信号。

[0142] 用于控制该反射型空间光调制器 203 的控制信号的计算是通过例如将参考硅片 224 的规定厚度从 $50\mu\text{m}$ 直到 $700\mu\text{m}$ 为止一次改变 $50\mu\text{m}$ 而进行的。然后,使用于以使被聚光于加工对象物 1 的内部的激光 L 的像差为规定的像差以下的方式(换言之,以在加工对象物 1 的内部使激光 L 的波阵面为规定的波阵面的方式)控制反射型空间光调制器 203 的控制信号、以及用于以使激光 L 的聚光点 P 位于距离加工对象物 1 的表面 3 为规定的距离的位置的方式控制包含聚光光学系统 204 的激光引擎 230 的控制信号,相对应地存储在控制部 205 中。

[0143] 由此,在对于一条切断预定线 5,以并排于加工对象物 1 的厚度方向的方式形成多列改质区域 7 的情况下,能够对应于应该形成的多列改质区域 7 的各个,使被聚光于加工对象物 1 的内部的激光 L 的像差为规定的像差以下(换言之,能够在加工对象物 1 的内部使激光 L 的波阵面为规定的波阵面)。

[0144] 然而,严格来说,被反射型空间光调制器 203、203s 调制(修正)后的激光 L 由于在空间中传播,因而波阵面形状发生变化。特别是,在从反射型空间光调制器 203、203s 射出的激光 L 或者入射到聚光光学系统 204、204s 的激光 L 是具有规定的扩散范围的光(即平行光以外的光)的情况下,在反射型空间光调制器 203、203s 的波阵面形状与在聚光光学系统 204、204s 的波阵面形状并不一致,其结果,可能对作为目的的精密的内部加工造成妨碍。因此,使在反射型空间光调制器 203、203s 的波阵面形状与在聚光光学系统 204、204s 的波阵面形状一致,是必要的。另外,使在聚光光学系统 204、204s 的波阵面形状与在波阵面测量器 222 的波阵面形状一致、以及使在反射型空间光调制器 203、203s 的波阵面形状与在波阵面测量器 222 的波阵面形状一致,也是重要的。为此,优选,通过测量等而求出激光 L 从反射型空间光调制器 203、203s 传播到聚光光学系统 204、204s 时的波阵面形状的变化,并将考虑了该波阵面形状的变化了的波阵面整形(像差修正)波形信息输入至反射型空间光调制器。

[0145] 或者是,为了使在反射型空间光调制器 203、203s 的波阵面形状与在聚光光学系统 204、204s 的波阵面形状一致,如图 24 ~ 27 所示,通过设置调整光学系统 240、250,从而可以实现更加正确的波阵面整形。该图 24 ~ 27 所示的激光加工装置的制造方法,基本上与图 12 ~ 图 15 所示的激光加工装置的制造方法相同。不同点在于存在调整光学系统 240、

250。

[0146] 首先,调整光学系统 240 具有至少 2 个的透镜 241a、241b。透镜 241a、241b 用于使在反射型空间光调制器 203、203s 的波阵面形状与在聚光光学系统 204、204s 的波阵面形状近似地一致。透镜 241a、241b 被配置在反射型空间光调制器 203 与反射部材 208 之间,使得反射型空间光调制器 203 与透镜 241a 之间的距离为透镜 241a 的焦距 f_1 、聚光光学系统 204 与透镜 241b 之间的距离为透镜 241b 的焦距 f_2 、透镜 241a 与透镜 241b 之间的距离为 f_1+f_2 、并且使透镜 241a 与透镜 241b 为两侧远心光学系统。

[0147] 通过这样进行配置,即使是具有小的扩散角的激光 L,也能够使在反射型空间光调制器 203、203s 的波阵面形状与在聚光光学系统 204、204s 的波阵面形状一致。

[0148] 激光 L 的光束直径被 f_1 与 f_2 的比决定(入射到聚光光学系统 204、204s 的激光 L 的光束直径是从反射型空间光调制器 203、203s 射出的激光 L 的光束直径的 f_2/f_1 倍)。因此,即使在激光 L 是平行光、或者具有小的扩散的光中的任意一种的情况下,也能够保持从反射型空间光调制器 203、203s 射出的角度的状态下,在入射到聚光光学系统 204、204s 的激光 L 中得到所期望的光束直径。

[0149] 另外,调整光学系统 250 具有至少 2 个透镜 251a、251b。透镜 251a、251b 用于使在聚光光学系统 204、204s 或者参考平面镜 223 的波阵面形状与在波阵面测量器 222 的波阵面形状近似地一致。在此,关于调整光学系统 250 的配置,是基于与调整光学系统 240 相同的技术思想。另外,优选,调整光学系统 240、250 具备使其分别具有的透镜的各自的位置独立地进行微调的机构。

[0150] 接下来,对作为本实施方式所涉及的激光加工方法的上述的激光加工装置 200 中实施的激光加工方法进行说明。

[0151] 首先,准备加工对象物 1。如图 16 所示,加工对象物 1 例如是由硅构成的厚度 $300\mu\text{m}$ 的半导体基板。在该半导体基板的表面,一般形成有在平行于定向平面 6 的方向以及垂直于定向平面 6 的方向上被配置为矩阵状的多个功能元件(图中没有表示)。另外,所谓功能元件,例如是通过结晶成长所形成的半导体动作层、光电二极管等的受光元件、激光二极管等的发光元件、或者作为电路形成的电路元件等。

[0152] 接下来,将加工对象物 1 固定在激光加工装置 200 的支承台 201 上。然后,将在平行于定向平面 6 的方向上延伸的多条切断预定线 5a 以及在垂直于定向平面 6 的方向上延伸的多条切断预定线 5b 设定为格子状,使得其通过邻接的功能元件之间。在此,以使激光 L 的聚光点 P 位于距离加工对象物 1 的表面 3 为 $270\mu\text{m}$ 、 $210\mu\text{m}$ 、 $150\mu\text{m}$ 、 $50\mu\text{m}$ 的位置的方式,沿着各切断预定线 5a、5b,以并排于加工对象物 1 的厚度方向的方式形成 4 列包含熔融处理区域的改质区域 7。

[0153] 起初,从控制部 205 输出用于对包含聚光光学系统 204 的激光引擎 230 的位置进行控制的控制信号,并如图 17(a) 所示,以使激光 L 的聚光点 P 位于距离加工对象物 1 的表面 3 为 $270\mu\text{m}$ 的位置的方式,对包含聚光光学系统 204 的激光引擎 230 进行控制。然后,以使激光 L 的聚光点 P 沿着一条切断预定线 5a 相对地移动的方式,对包含聚光光学系统 204 的激光引擎 230 进行控制。同时,从控制部 205 输出用于对反射型空间光调制器 203 进行控制的控制信号,并以使被聚光于加工对象物 1 的内部的激光 L 的像差为规定的像差以下的方式,控制反射型空间光调制器 203。由此,沿着一条切断预定线 5a 形成作为切断的起点

的改质区域 7_1 。

[0154] 在此,用于对反射型空间光调制器 203 进行控制的控制信号,与用于以使激光 L 的聚光点 P 位于距离加工对象物 1 的表面 3 为 $270\ \mu\text{m}$ 的位置的方式对包含聚光光学系统 204 的激光引擎 230 的位置进行控制的控制信号相对应地,被存储于控制部 205 中。

[0155] 接下来,从控制部 205 输出用于对包含聚光光学系统 204 的激光引擎 230 进行控制的控制信号,并如图 17(b) 所示,以使激光 L 的聚光点 P 位于距离加工对象物 1 的表面 3 为 $210\ \mu\text{m}$ 的位置的方式,对包含聚光光学系统 204 的激光引擎 230 进行控制。然后,以使激光 L 的聚光点 P 沿着相同的一条切断预定线 5a 相对地移动的方式,对包含聚光光学系统 204 的激光引擎 230 进行控制。同时,从控制部 205 输出用于对反射型空间光调制器 203 进行控制的控制信号,并以使被聚光于加工对象物 1 的内部的激光 L 的像差为规定的像差以下的方式,控制反射型空间光调制器 203。由此,沿着相同的一条切断预定线 5a,形成作为切断的起点的改质区域 7_2 。

[0156] 在此,用于对反射型空间光调制器 203 进行控制的控制信号,与用于以使激光 L 的聚光点 P 位于距离加工对象物 1 的表面 3 为 $210\ \mu\text{m}$ 的位置的方式对包含聚光光学系统 204 的激光引擎 230 的位置进行控制的控制信号相对应地,被存储于控制部 205 中。另外,使激光 L 的聚光点 P 沿着切断预定线 5a 相对地移动的方向,为了提高改质区域 7_2 的形成速度,可以是与形成改质区域 7_1 的情况相反的方向。

[0157] 接下来,从控制部 205 输出用于对包含聚光光学系统 204 的激光引擎 230 进行控制的控制信号,并如图 18(a) 所示,以使激光 L 的聚光点 P 位于距离加工对象物 1 的表面 3 为 $150\ \mu\text{m}$ 的位置的方式,对包含聚光光学系统 204 的激光引擎 230 进行控制。然后,以使激光 L 的聚光点 P 沿着相同的一条切断预定线 5a 相对地移动的方式,对包含聚光光学系统 204 的激光引擎 230 进行控制。同时,从控制部 205 输出用于对反射型空间光调制器 203 进行控制的控制信号,并以使被聚光于加工对象物 1 的内部的激光 L 的像差为规定的像差以下的方式,控制反射型空间光调制器 203。由此,沿着相同的一条切断预定线 5a,形成作为切断的起点的改质区域 7_3 。

[0158] 在此,用于对反射型空间光调制器 203 进行控制的控制信号,与用于以使激光 L 的聚光点 P 位于距离加工对象物 1 的表面 3 为 $150\ \mu\text{m}$ 的位置的方式对包含聚光光学系统 204 的激光引擎 230 的位置进行控制的控制信号相对应地,被存储于控制部 205 中。另外,使激光 L 的聚光点 P 沿着切断预定线 5a 相对地移动的方向,为了提高改质区域 7_3 的形成速度,可以是与形成改质区域 7_2 的情况相反的方向。

[0159] 接下来,从控制部 205 输出用于对包含聚光光学系统 204 的激光引擎 230 进行控制的控制信号,并如图 18(b) 所示,以使激光 L 的聚光点 P 位于距离加工对象物 1 的表面 3 为 $50\ \mu\text{m}$ 的位置的方式,对包含聚光光学系统 204 的激光引擎 230 进行控制。然后,以使激光 L 的聚光点 P 沿着相同的一条切断预定线 5a 相对地移动的方式,对包含聚光光学系统 204 的激光引擎 230 进行控制。同时,从控制部 205 输出用于对反射型空间光调制器 203 进行控制的控制信号,并以使被聚光于加工对象物 1 的内部的激光 L 的像差为规定的像差以下的方式,控制反射型空间光调制器 203。由此,沿着相同的一条切断预定线 5a,形成作为切断的起点的改质区域 7_4 。

[0160] 在此,用于对反射型空间光调制器 203 进行控制的控制信号,与用于以使激光 L 的

聚光点 P 位于距离加工对象物 1 的表面 3 为 $50\mu\text{m}$ 的位置的方式对包含聚光光学系统 204 的激光引擎 230 的位置进行控制的控制信号相对应地,被存储于控制部 205 中。另外,使激光 L 的聚光点 P 沿着切断预定线 5a 相对地移动的方向,为了提高改质区域 74 的形成速度,可以是与形成改质区域 7₃ 的情况相反的方向。

[0161] 如以上所述,沿着相同的一条切断预定线 5a 形成了 4 列改质区域 7₁ ~ 7₄,然后,沿着另一条切断预定线 5a 而形成 4 列改质区域 7₁ ~ 7₄。然后,分别沿着全部的切断预定线 5a 而形成了 4 列改质区域 7₁ ~ 7₄,然后,与沿着切断预定线 5a 形成改质区域 7₁ ~ 7₄ 的情况同样地,分别沿着全部的切断预定线 5b 形成 4 列的改质区域 7₁ ~ 7₄。

[0162] 这样,在相对于加工对象物 1 而将切断预定线 5 设定为多条的情况下,如果在沿着一条切断预定线 5 而形成了多列改质区域 7 之后,沿着另一条切断预定线 5 而形成多列改质区域 7,则可以得到下述的效果。即 AF 单元 212 即使在加工对象物 1 的表面 3 存在有起伏的情况下,为了使激光 L 的聚光点 P 高精度地对准距离表面 3 为规定的距离的位置,也取得沿着切断预定线 5 的表面 3 的位移数据,并根据该位移数据对聚光光学系统 204 与加工对象物 1 之间的距离进行微调整。因此,如果在沿着一条切断预定线 5 而形成了多列改质区域 7 之后,沿着另一条切断预定线 5 来形成多列改质区域 7,则能够减少位移数据的切换次数,并可以在各切断预定线 5 将多列改质区域 7 高精度地形成于距离加工对象物 1 的表面 3 为规定的距离的位置。

[0163] 如以上所说明的那样,在本实施方式所涉及的激光加工方法中,以使被聚光于加工对象物 1 的内部的激光 L 的像差为规定的像差以下的方式(或者是,以在加工对象物 1 的内部使激光 L 的波阵面为规定的波阵面的方式)被反射型空间光调制器 203 调制后的激光 L,被照射于加工对象物 1。因此,能够极力减小在对准激光 L 的聚光点 P 的位置所产生的激光 L 的像差,并提高在该位置的激光 L 的能量密度,从而能够形成作为切断的起点的功能较好的改质区域 7。并且,由于使用反射型空间光调制器 203,因此相比于透过型空间光调制器,能够提高激光 L 的利用效率。这样的激光 L 的利用效率的提高在将作为切断的起点的改质区域 7 形成于板状的加工对象物 1 的情况下是特别重要的。因此,根据本实施方式所涉及的激光加工方法,可以可靠地形成作为切断的起点的改质区域 7。其结果,对于形成有改质区域 7 的加工对象物 1,如果通过延伸胶带(expand tape)等而施加应力,则由于改质区域 7 充分地发挥了作为切断的起点的功能,因此能够将加工对象物 1 沿着切断预定线 5 而高精度地进行切断,并可以防止产生未切断部分。

[0164] 本发明不限于上述的实施方式。

[0165] 例如,在上述实施方式中,在沿着一条切断预定线 5 而形成了多列改质区域 7 之后,沿着另一条切断预定线 5 形成多列改质区域 7,但是,也可以在沿着多条切断预定线 5 而形成了一列改质区域 7 之后,沿着多条切断预定线 5 形成另一列改质区域 7。

[0166] 在该情况下,可以得到以下的效果。即在通过沿着一条切断预定线 5 而形成多列改质区域 7 从而使加工对象物 1 割裂的情况下,如果在沿着一条切断预定线 5 而形成了多列改质区域 7 之后,沿着另一条切断预定线 5 形成多列改质区域 7,则由于加工对象物 1 的割裂而在加工对象物 1 的位置上产生偏移。因此,为了沿着切断预定线 5 高精度地形成改质区域 7,有必要对加工对象物 1 的位置进行修正。然而,如果在沿着多条切断预定线 5 而形成了一列改质区域 7 之后,沿着多条切断预定线 5 形成另一列改质区域 7,则能够防止由

于加工对象物 1 的割裂而使加工对象物 1 的位置产生偏移,并减少加工对象物 1 的位置的修正次数,从而可以在短时间内沿着多条切断预定线 5 而形成多列改质区域 7。

[0167] 另外,在多列改质区域 7 中,可以在形成一系列或者多列包含距离作为加工对象物 1 的激光入射面的表面 3 最远的改质区域 7 的改质区域 7 时,对应于所要形成的改质区域 7,以使将激光 L 聚光于加工对象物 1 的内部的聚光光学系统 204 与加工对象物 1 之间的距离为规定的距离的方式改变聚光光学系统 204 与加工对象物 1 之间的距离,同时以在加工对象物 1 的内部使激光 L 的波阵面为规定的波阵面的方式(或者是,以使被聚光于加工对象物的内部的激光 L 的像差为规定的像差以下的方式),通过反射型空间光调制器 203 调制激光 L。

[0168] 这样,在形成离作为加工对象物 1 的激光入射面的表面 3 最远的改质区域 7 时,需要通过反射型空间光调制器 203 进行激光 L 的调制,这是由于:如果形成改质区域 7 的位置距离激光入射面越远,则在对准激光 L 的聚光点 P 的位置所产生的激光 L 的像差越大。即例如在形成距离作为加工对象物 1 的激光入射面的表面 3 最近的改质区域 7 的情况下,即使不通过反射型空间光调制器 203 来调制激光 L,在被聚光于加工对象物 1 的内部的激光 L 的像差为规定的像差以下时,不需要通过反射型空间光调制器 203 进行激光 L 的调制。由此,即使在对于一条切断预定线 5 而形成多列改质区域 7 的情况下,也可以可靠地形成作为切断的起点的改质区域 7。在此,在不进行由反射型空间光调制器 203 得到的激光 L 的调制的情况下,将反射型空间光调制器 203 以作为通常的反射镜而加以利用的方式进行控制(即在未输入波形信息的状态下或者是在 OFF 状态下进行使用)。

[0169] 另外,可以在支承台 201 上设置使支承台 201 在加工对象物 1 的厚度方向上移动的移动机构来替代使激光引擎 230 移动。另外,也可以利用 AF 单元 212 而使聚光光学系统 204 在加工对象物 1 的厚度方向上移动。另外,也可以将它们进行组合。

[0170] 另外,如图 29 所示,上述的反射型空间光调制器 203 或者调整光学系统 240 也可以适用于具备光程长度改变机构 300 的激光加工装置 200,该光程长度改变机构 300 替代了 AF 单元 212。光程长度改变机构 300 根据由高度位置检测机构(图中没有表示)检测出的加工对象物 1 的表面 3 的高度位置,使多个偏向镜 301 的设置角度改变,从而使透镜 303 与透镜 304 之间的光程长度改变,并使被聚光光学系统 204 聚光的激光 L 的聚光点 P 的位置改变。这是因为:到达被聚光光学系统 204 聚光的激光 L 的聚光点 P 的位置的距离是被从透镜 303 直到透镜 304 为止的光程长度的函数表示的。在此,作为高度位置检测机构,例如可以举出以规定的入射角度将激光 L 入射到加工对象物 1 的表面 3,并根据该反射光的高度位置的变化,来检测表面 3 的高度位置。

[0171] 另外,如图 19 所示,激光加工装置 200 也可以具备支承台 201、激光光源 202、对从激光光源 202 射出的激光 L 进行调制的多个(在此为 2 个)反射型空间光调制器 203a、203b、聚光光学系统 204 和控制部 205。控制部 205 具有以使激光 L 的光学特性为规定的光学特性的方式对反射型空间光调制器 203a、203b 进行控制的功能。在此,如图 20 所示,2 个反射型空间光调制器 203a、203b 由于以与两侧远心光学系统的透镜 403a、403b 的配置等价的方式而被配置,因此能够控制作为激光 L 的光学特性的光束直径以及光轴等。另外,通过至少 1 个反射型空间光调制器 203a 或者 203b,能够以在加工对象物 1 的内部使激光 L 的波阵面为规定的波阵面的方式(或者是,以使被聚光于加工对象物 1 的内部的激光 L 的

像差为规定的像差以下的方式) 调制激光 L。

[0172] 根据该激光加工装置 200, 由于具备多个反射型空间光调制器 203a、203b, 因此能够控制作为激光 L 的光学特性的光束直径以及光轴等。因此, 即使在由于何种原因而在激光 L 的光轴产生偏移的情况下, 也能够容易地修正该偏移, 从而可以可靠地形成作为切断的起点的改质区域 7。

[0173] 此时, 如图 28 所示, 可以设置调整光学系统 240。调整光学系统 240 的配置位置根据由反射型空间光调制器 203a、203b 中的哪一个来控制波阵面而不同。在由反射型空间光调制器 203a 来控制波阵面的情况下, 以使反射型空间光调制器 203a 与透镜 241a 之间的距离为焦距 f_1 的方式进行配置。另一方面, 在由反射型空间光调制器 203b 来控制波阵面的情况下, 以使反射型空间光调制器 203b 与透镜 241a 之间的距离为焦距 f_1 的方式进行配置。并且, 不论在哪种情况下, 将透镜 241a 与透镜 241b 之间的距离设为 f_1+f_2 , 并将透镜 241b 与聚光光学系统 204 之间的距离设为 f_2 。

[0174] 另外, 在形成改质区域 7 时, 也可以以使被聚光于加工对象物 1 的内部的激光 L 的数值孔径为规定的数值孔径的方式通过反射型空间光调制器 203 来调制激光 L。在该情况下, 例如对应于加工对象物 1 的材质或者直到应该形成改质区域 7 的位置为止的距离等, 使激光 L 的数值孔径变化, 从而能够形成作为切断的起点的功能较好的改质区域 7。

[0175] 另外, 如图 21、22 所示, 对于一条切断预定线 5, 以在加工对象物 1 的厚度方向上并排的方式, 形成至少三列 (在此为 3 列) 作为切断的起点的改质区域 7 的情况下, 也可以如下所述形成改质区域 $7_1 \sim 7_3$ 。

[0176] 首先, 如图 21(a) 所示, 将以使被聚光于加工对象物 1 的内部的激光 L 的数值孔径为相对较大的方式被反射型空间光调制器 203 调制后的激光 L 照射于加工对象物 1, 从而沿着切断预定线 5, 形成距离作为加工对象物 1 的激光入射面的表面 3 最远的改质区域 7_1 。

[0177] 接下来, 如图 21(b) 所示, 将以使被聚光于加工对象物 1 的内部的激光 L 的数值孔径为相对较小的方式被反射型空间光调制器 203 调制后的激光 L 照射于加工对象物 1, 从而沿着切断预定线 5 形成改质区域 7_2 。

[0178] 接下来, 如图 22 所示, 将以使被聚光于加工对象物 1 的内部的激光 L 的数值孔径为相对较大的方式被反射型空间光调制器 203 调制后的激光 L 照射于加工对象物 1, 从而沿着切断预定线 5 形成距离作为加工对象物 1 的激光入射面的表面 3 最近的改质区域 7_3 。

[0179] 如以上所述, 在三列改质区域 $7_1 \sim 7_3$ 中, 在形成除了距离作为加工对象物 1 的激光入射面的表面 3 最远的改质区域 7_1 以及距离表面 3 最近的改质区域 7_3 以外的改质区域 7_2 时, 相比于形成改质区域 7_1 、 7_3 的情况, 以使被聚光于加工对象物 1 的内部的激光 L 的数值孔径为较小的方式, 通过反射型空间光调制器 203 调制激光 L。即作为对于切断的起点特别重要的改质区域 7, 在形成距离作为加工对象物 1 的激光入射面的表面 3 最远的改质区域 7_1 以及距离表面 3 最近的改质区域 7_3 时, 相比于形成这两者间的改质区域 7_2 的情况, 以使被聚光于加工对象物 1 的内部的激光 L 的数值孔径为较大的方式, 通过反射型空间光调制器 203 调制激光 L, 并将被调制后的激光 L 照射于加工对象物 1。

[0180] 由此, 能够将距离作为加工对象物 1 的激光入射面的表面 3 最远的改质区域 7_1 以及距离表面 3 最近的改质区域 7_3 , 设为作为切断的起点的功能极好的改质区域 7 (例如包含割裂的改质区域 7)。另外, 将其间的改质区域 7_2 作为在加工对象物 1 的厚度方向上相对较

长的改质区域 7 (例如包含熔融处理区域的改质区域 7), 从而能够减少沿着切断预定线 5 的激光 L 的扫描次数。

[0181] 在此, 优选, 在沿着切断预定线 5, 以在加工对象物 1 的厚度方向并排的方式形成多列 (例如 2 列) 改质区域 7 的情况下, 在多列改质区域 7 中, 在形成除了距离作为加工对象物 1 的激光入射面的表面 3 或者距离加工对象物 1 中的作为与激光入射面相对的相对表面的背面 21 最近的改质区域 7 之外的改质区域 7 时, 相比于形成距离表面 3 或者背面 21 最近的改质区域 7 的情况, 以使被聚光于加工对象物 1 的内部的激光 L 的数值孔径为较小的方式, 通过反射型空间光调制器 203 调制激光 L。

[0182] 在该激光加工方法中, 作为对于切断的起点特别重要的改质区域 7, 在形成距离加工对象物的表面 3 或者背面 21 最近的改质区域时, 相比于形成其它的改质区域 7 的情况, 以使被聚光于加工对象物 1 的内部的激光 L 的数值孔径为较大的方式, 通过反射型空间光调制器 203 调制激光 L, 并将被调制后的激光 L 照射于加工对象物 1。因此, 能够将距离加工对象物的表面 3 或者背面 21 最近的改质区域设为作为切断的起点的功能极好的改质区域 (例如包含割裂的改质区域)。

[0183] 另外, 可以不使包含聚光光学系统 204 的激光引擎 230 或者支承台 201 移动, 通过反射型空间光调制器 203 调制激光 L, 从而将激光 L 的聚光点 P 对准距离作为加工对象物 1 的激光入射面的表面 3 为规定的距离的位置。具体而言, 在被聚光于距离加工对象物 1 的表面 3 相对较深的位置的情况下, 可以以使从反射型空间光调制器 203 射出并入射到聚光光学系统 204 的激光 L 的扩散角为相对较小的方式, 控制反射型空间光调制器 203, 在被聚光于距离加工对象物 1 的表面 3 相对较浅的位置的情况下, 可以以使从反射型空间光调制器 203 射出并入射到聚光光学系统 204 的激光 L 的扩散角为相对较大的方式, 控制反射型空间光调制器 203。

[0184] 另外, 在上述实施方式中, 将波阵面数据作为泽尼克多项式而取得, 但是并不限于此。例如也可以将波阵面数据作为赛德尔 (Seidel) 的 5 像差或者勒让德 (Legendre) 多项式等而取得。

[0185] 另外, 在上述实施方式中, 基于实测来计算用于以使被聚光于加工对象物 1 的内部的激光 L 的像差为规定的像差以下的方式 (或者是, 以在加工对象物 1 的内部使激光 L 的波阵面为规定的波阵面的方式) 对反射型空间光调制器 203 进行控制的控制信号, 但是, 也可以基于模拟等来计算。在基于模拟等而计算控制信号的情况下, 当然可以将控制信号存储在控制部 205 中, 但是, 也可以不将控制信号存储在控制部 205 中, 可以在即将形成改质区域 7 之前计算控制信号。

[0186] 另外, 如果厚度为 $20\mu\text{m}$ 左右, 则由于加工对象物 1 容易弯曲, 因此为了在距离作为加工对象物 1 的激光入射面的表面 3 为规定的距离的位置形成改质区域 7, 优选, 通过玻璃板等的激光透过部材来将加工对象物 1 的表面 3 推压于支承台 201 侧。然而, 在该情况下, 由于激光透过部材的影响而产生像差, 从而使激光 L 的聚光度劣化。因此, 如果对激光透过部材进行考虑, 并以使被聚光于加工对象物 1 的内部的激光 L 的像差为规定的像差以下的方式, 通过反射型空间光调制器 203 调制激光 L, 则能够可靠地形成作为切断的起点的改质区域 7。

[0187] 另外, 形成改质区域 7 时的激光入射面并不限于加工对象物 1 的表面 3, 也可以为

加工对象物 1 的背面 21。

[0188] 另外,在上述实施方式中,在由半导体材料构成的加工对象物 1 的内部,形成了包含熔融处理区域的改质区域 7,但是,在由玻璃或者压电材料等的其它材料构成的加工对象物 1 的内部,可以形成裂纹区域或者折射率变化区域等的其它的改质区域 7。

[0189] 产业上的利用可能性

[0190] 根据本发明,能够可靠地形成作为切断的起点的改质区域。

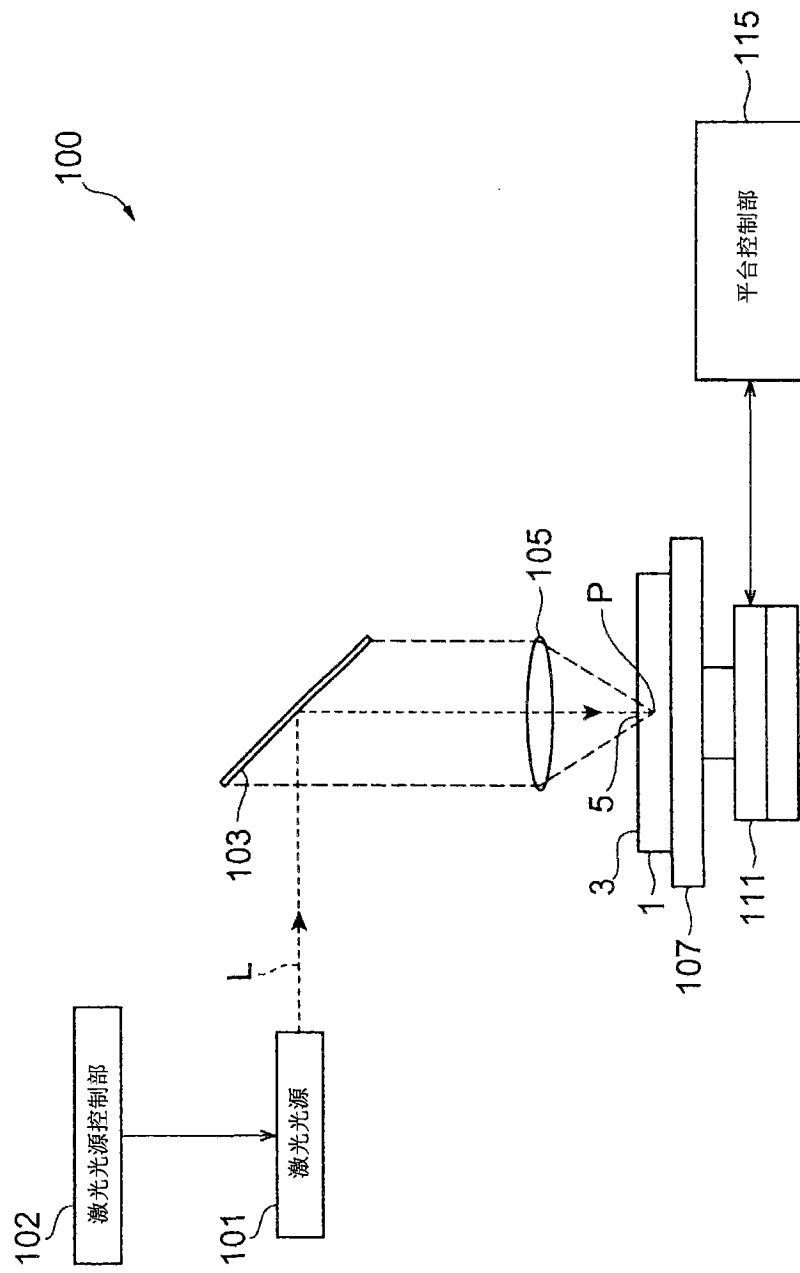


图 1

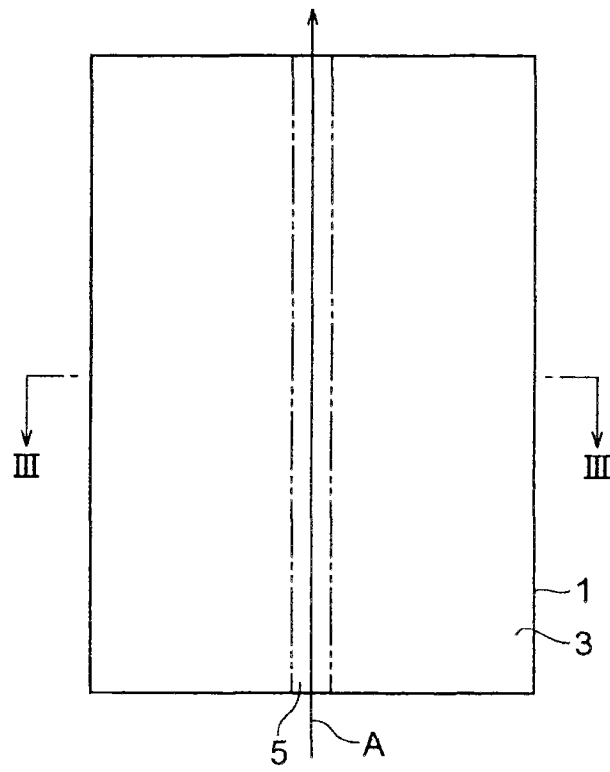


图 2

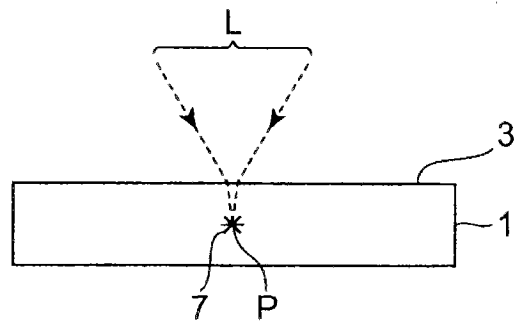


图 3

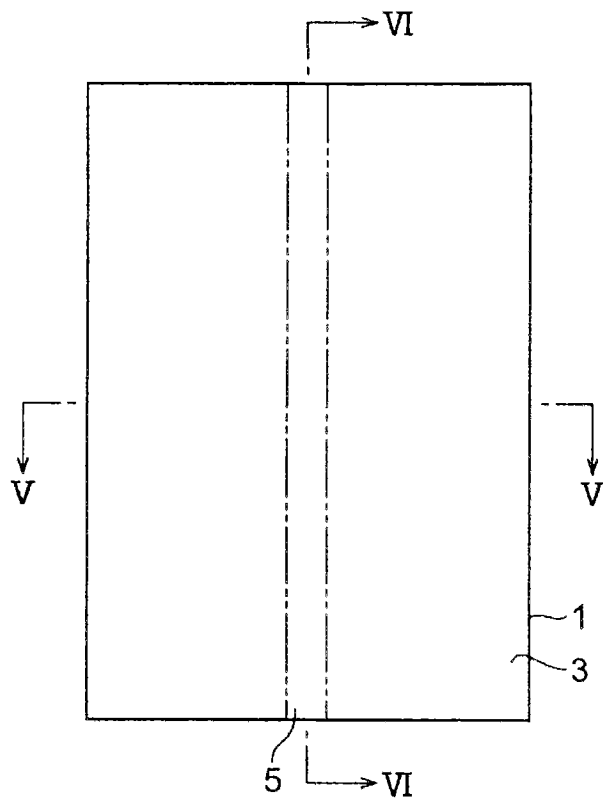


图 4

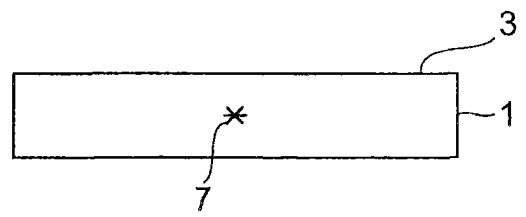


图 5

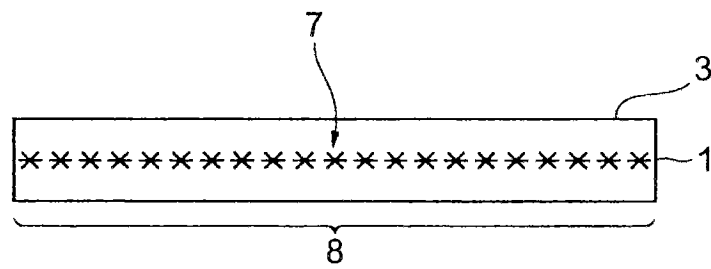


图 6

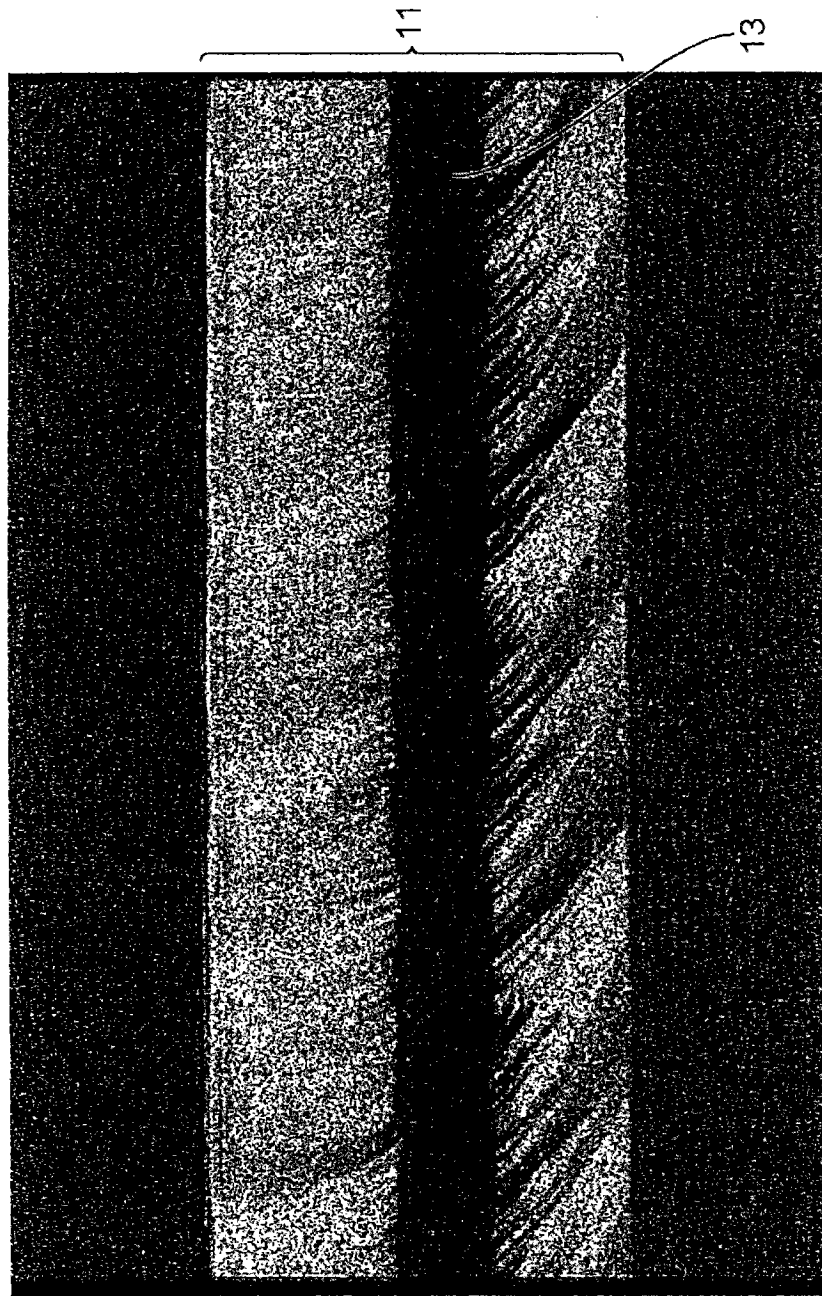


图 7

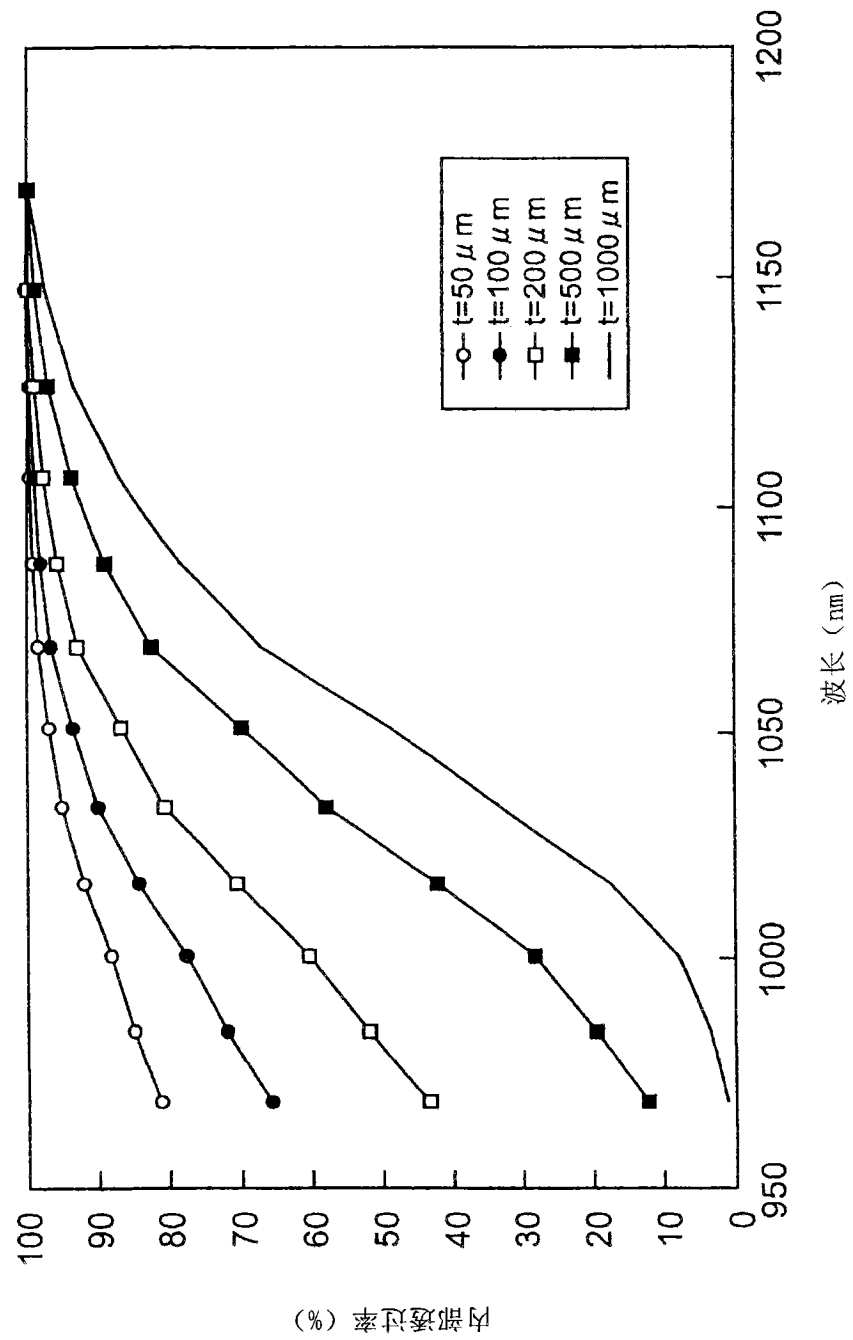


图 8

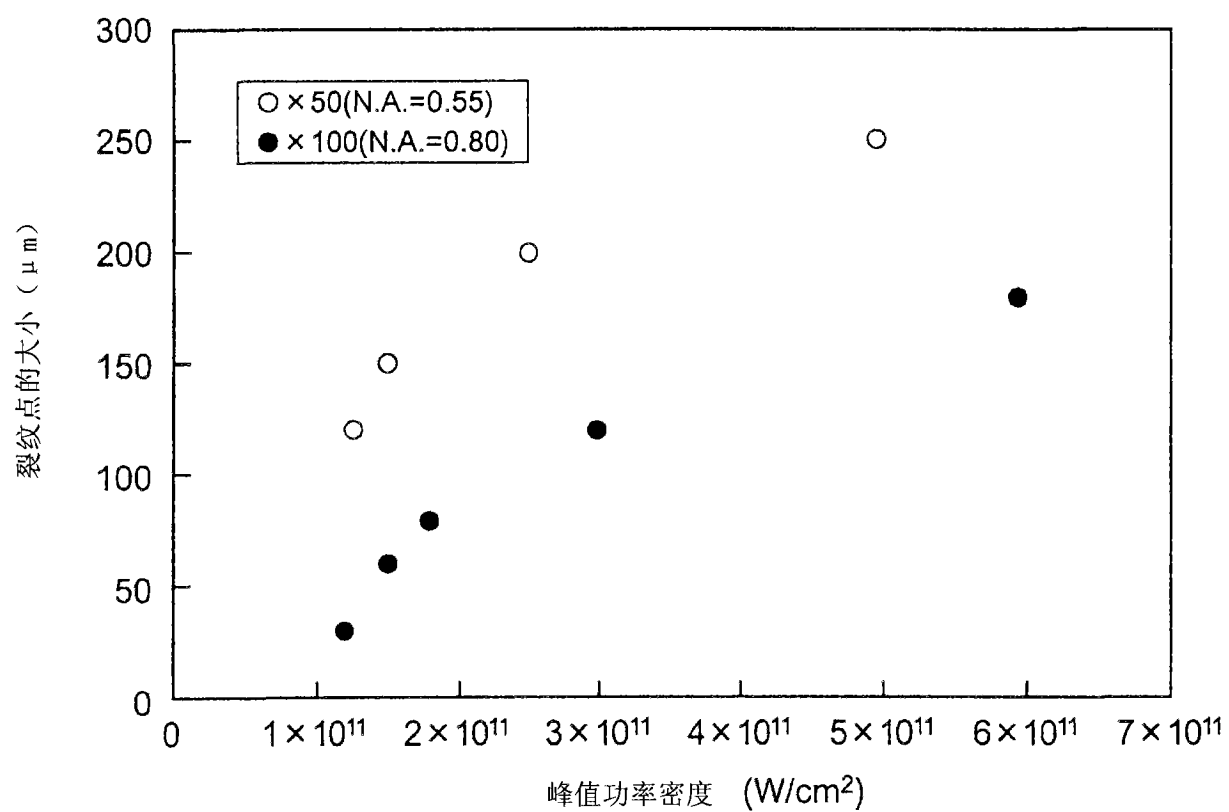


图 9

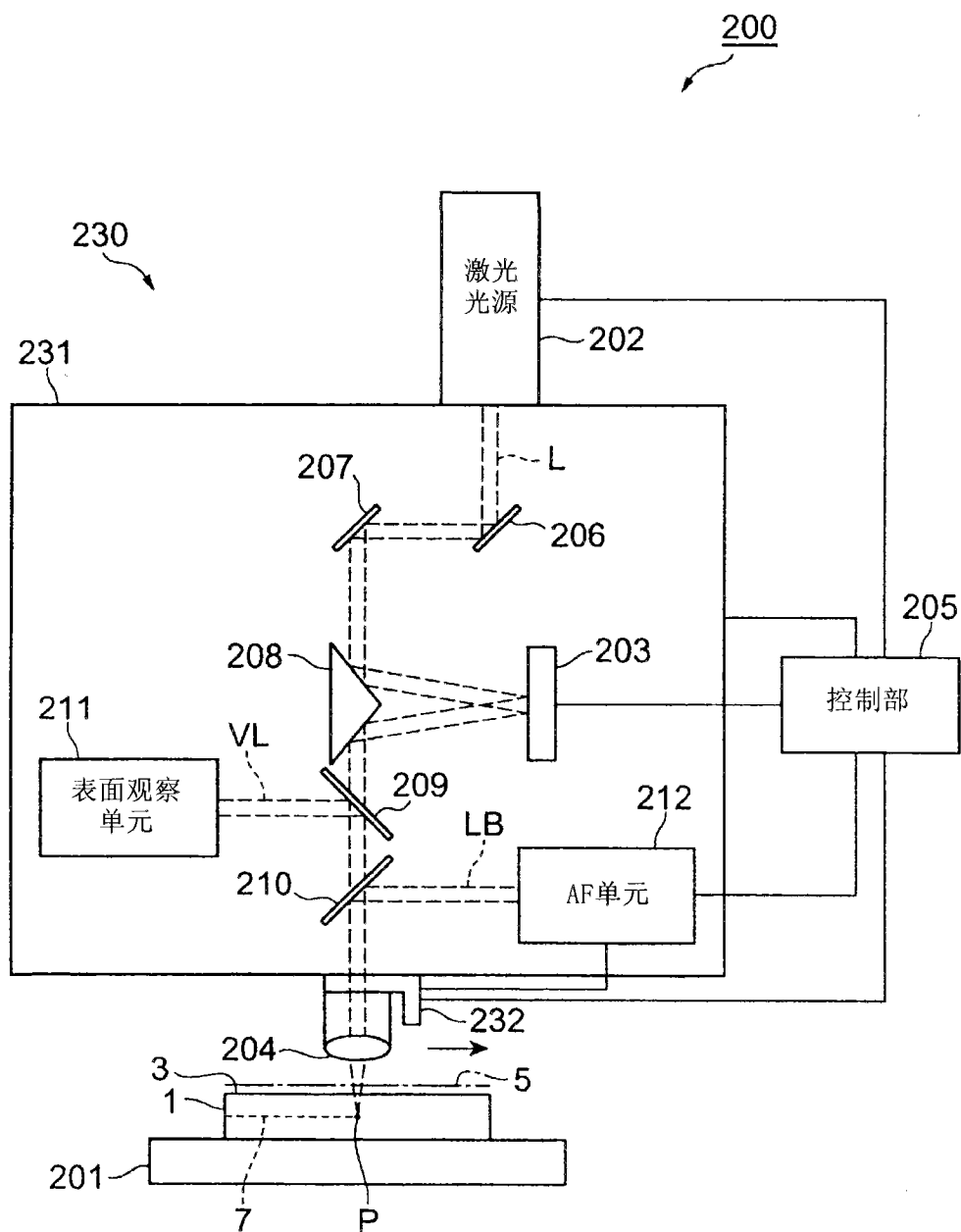


图 10

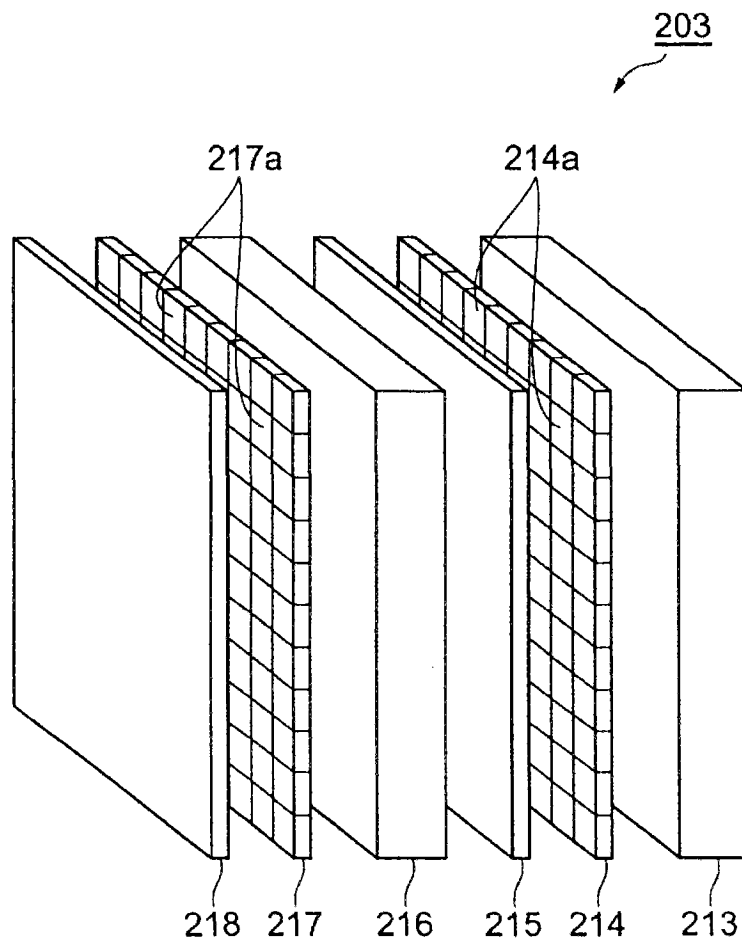


图 11

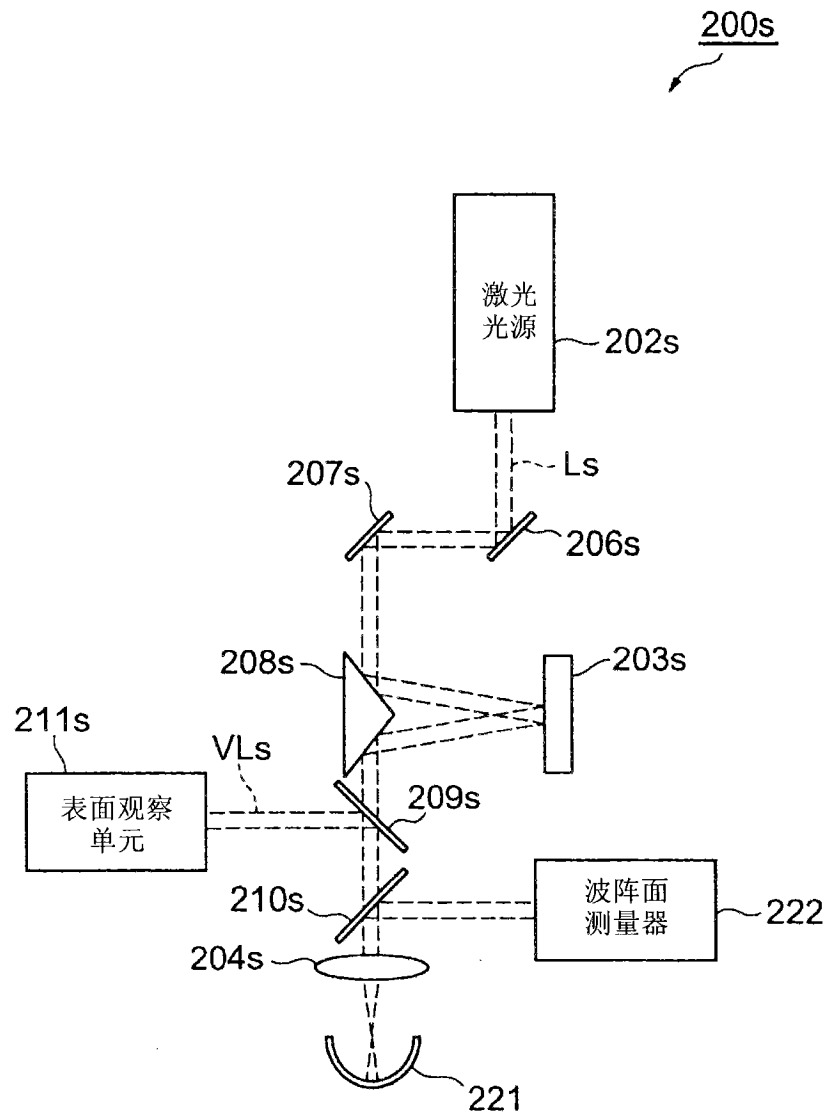


图 12

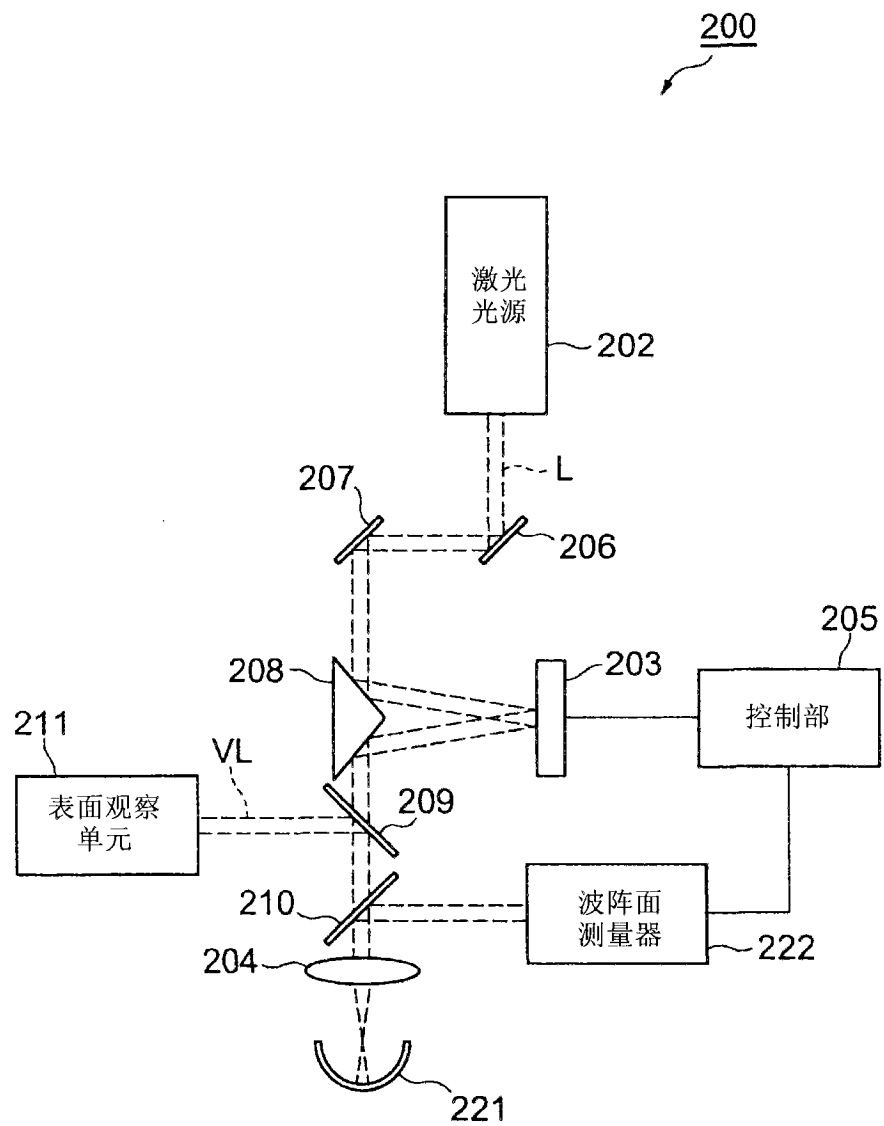


图 13

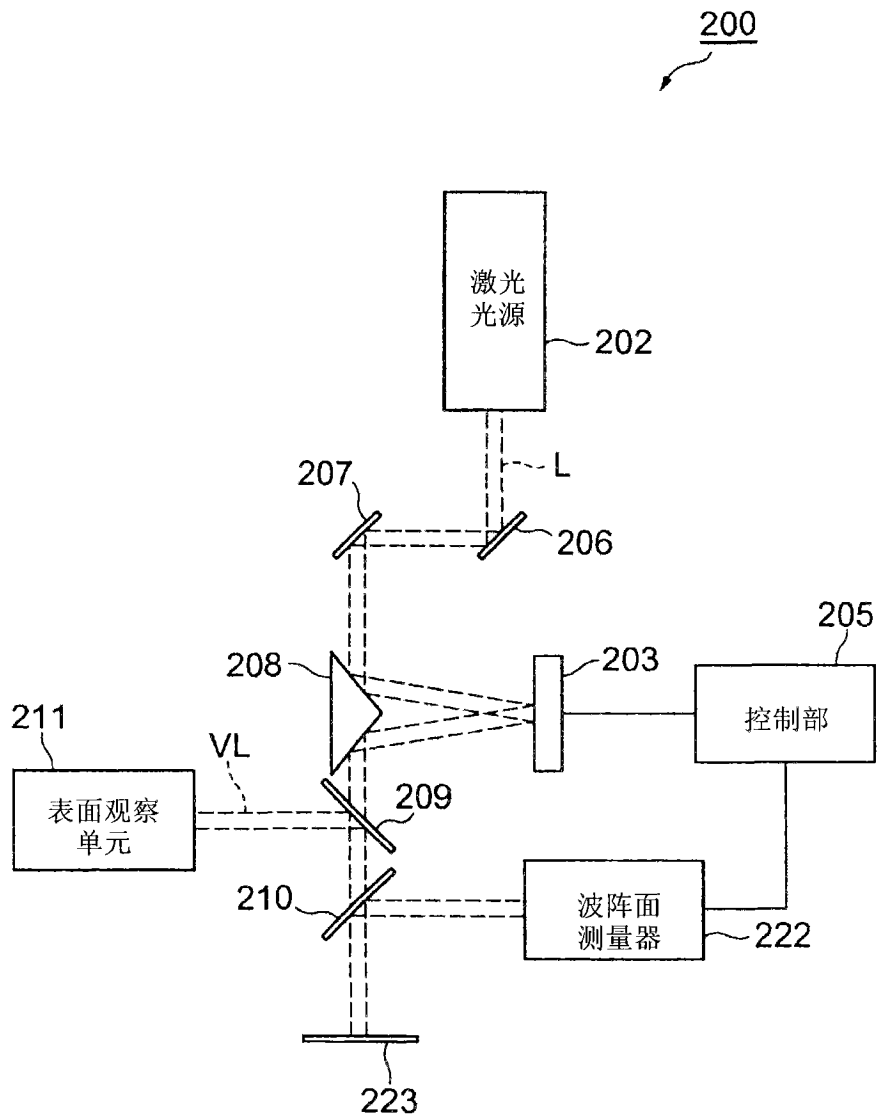


图 14

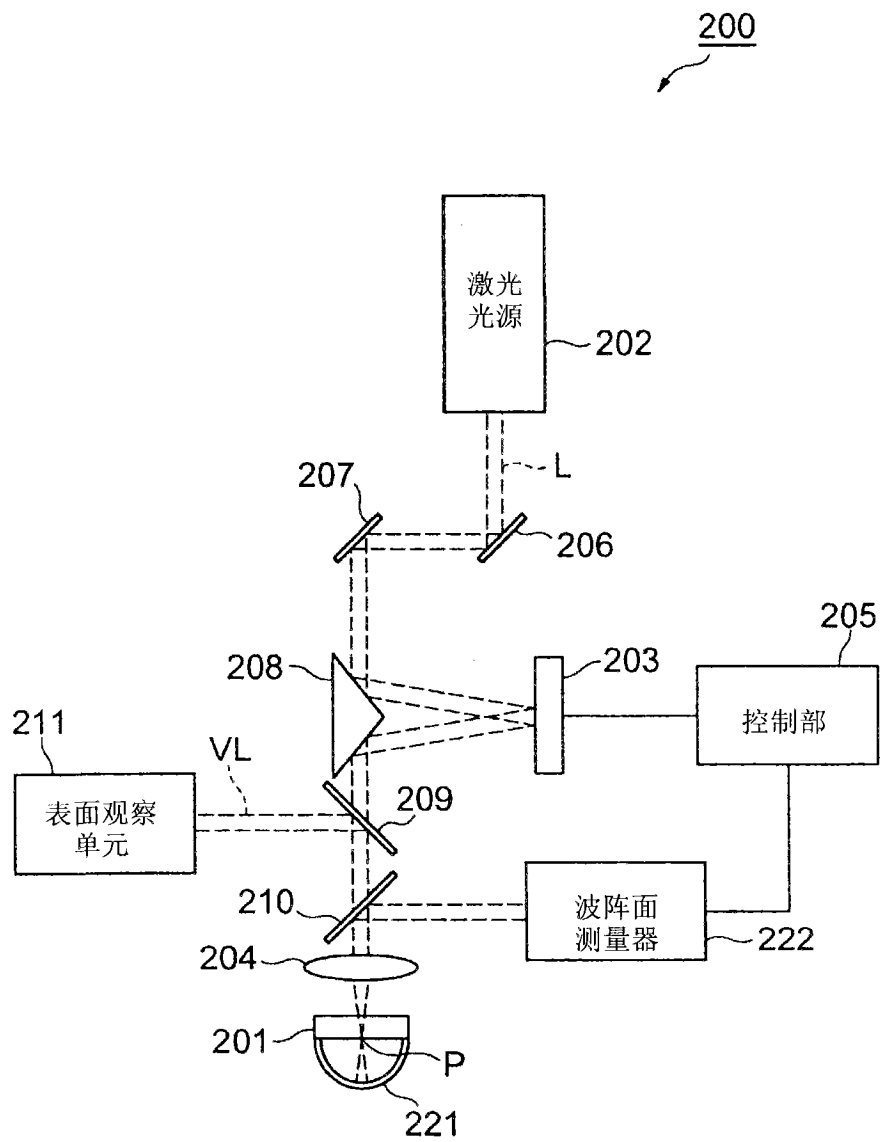


图 15

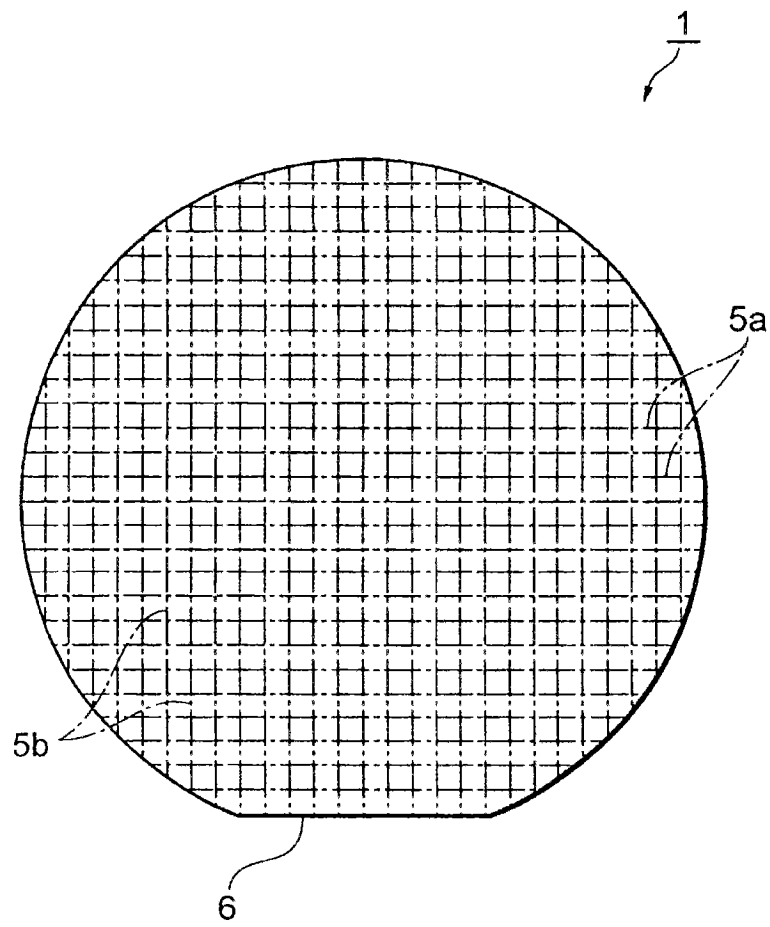


图 16

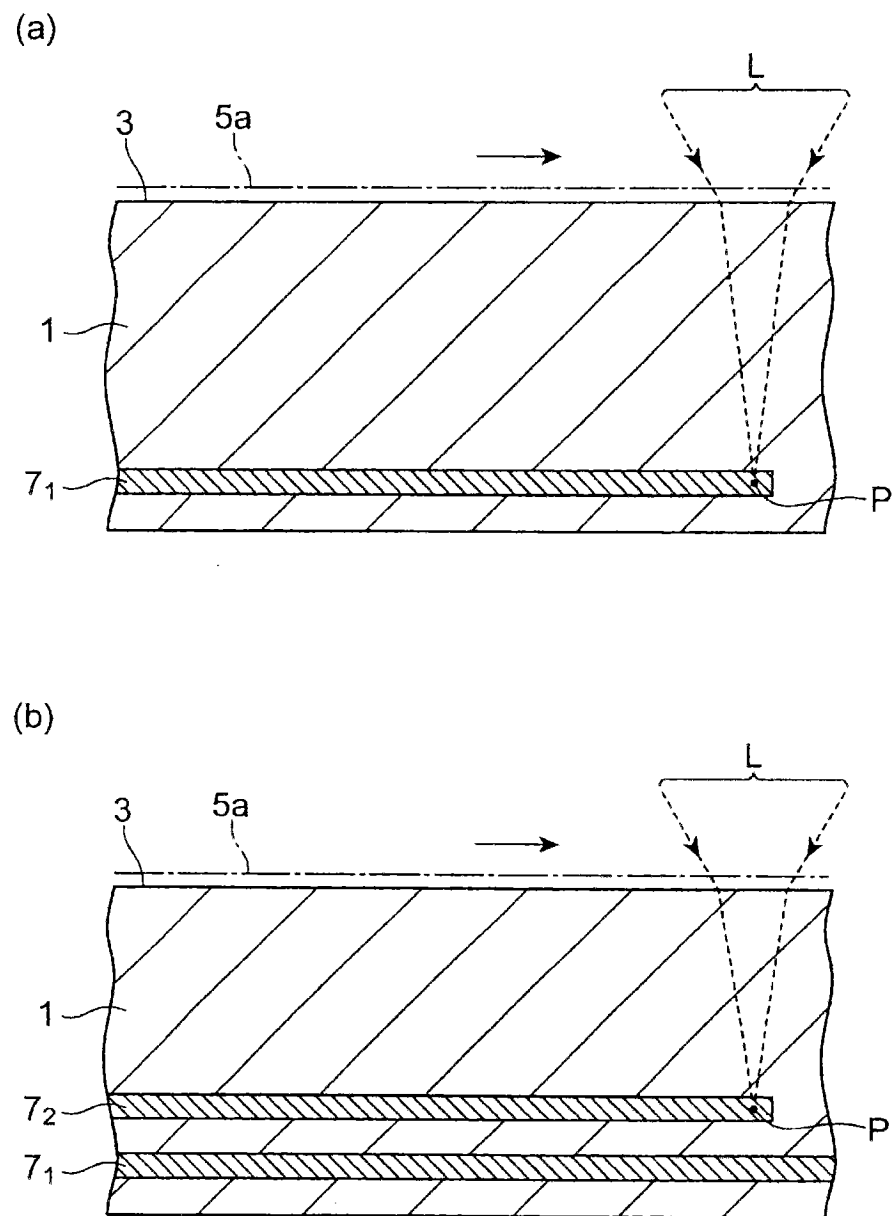


图 17

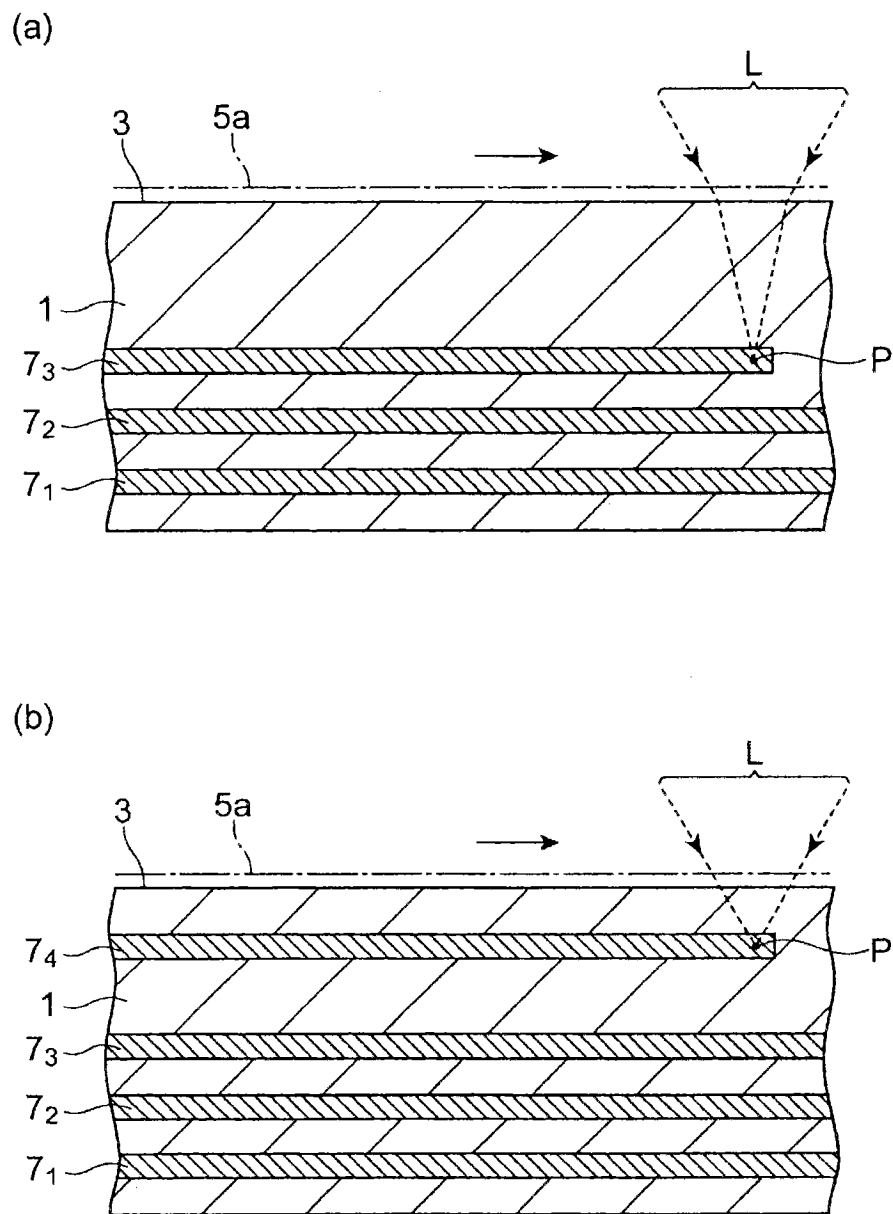


图 18

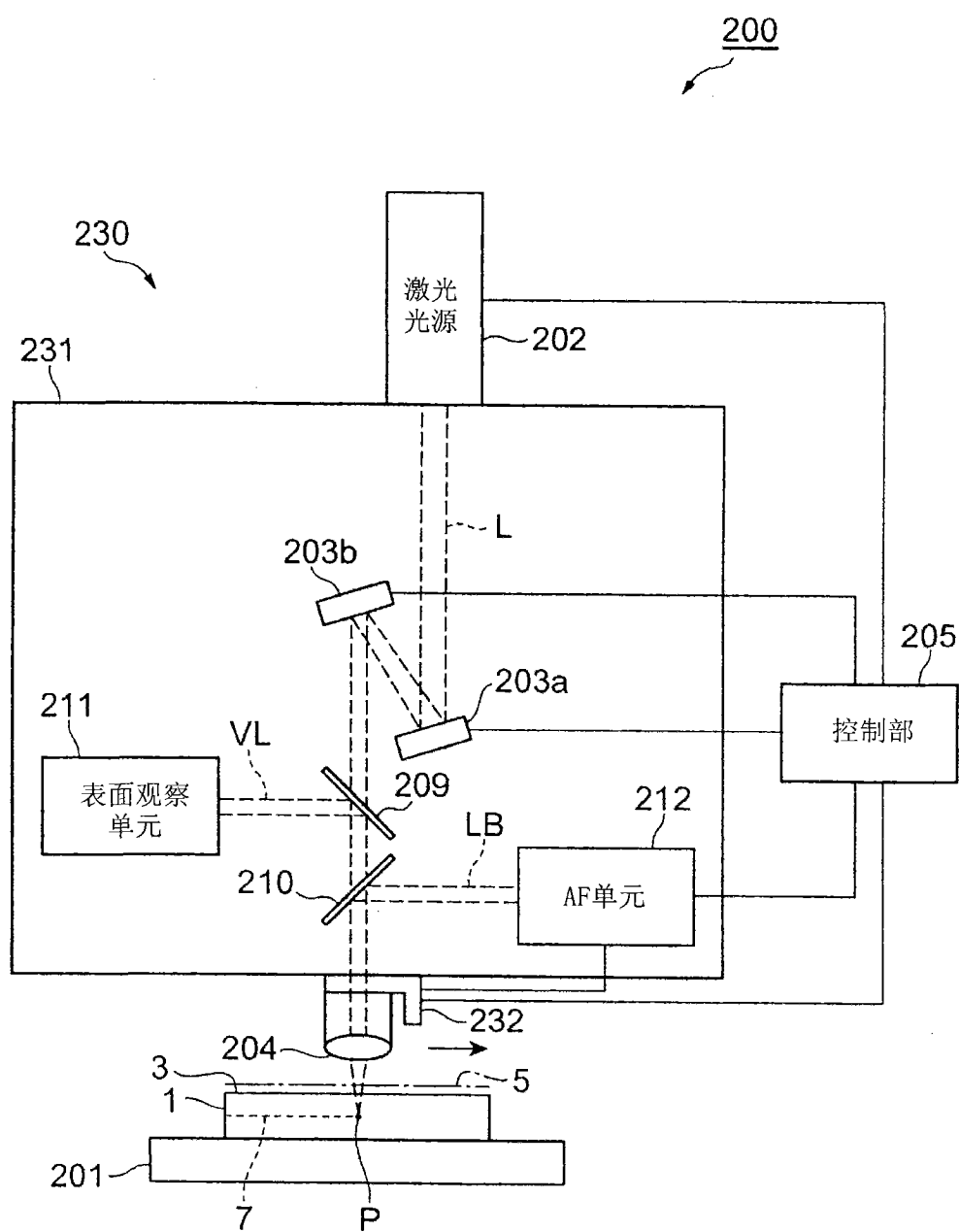
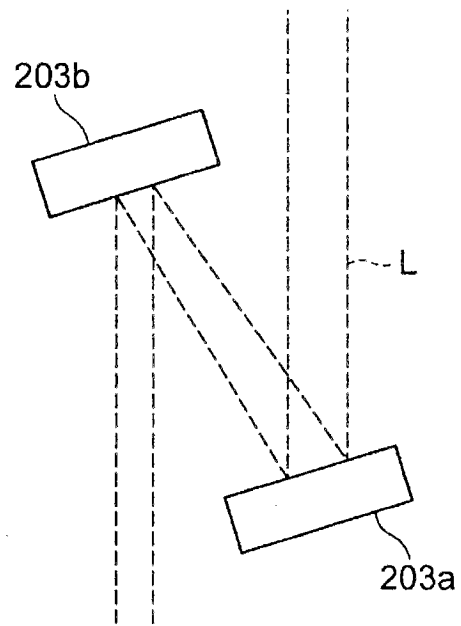


图 19

(a)



(b)

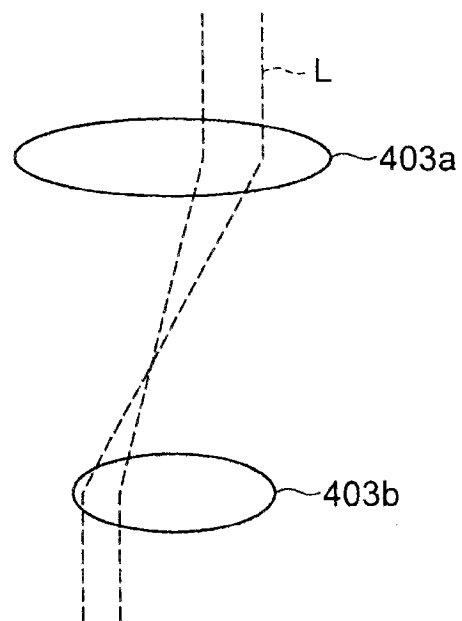
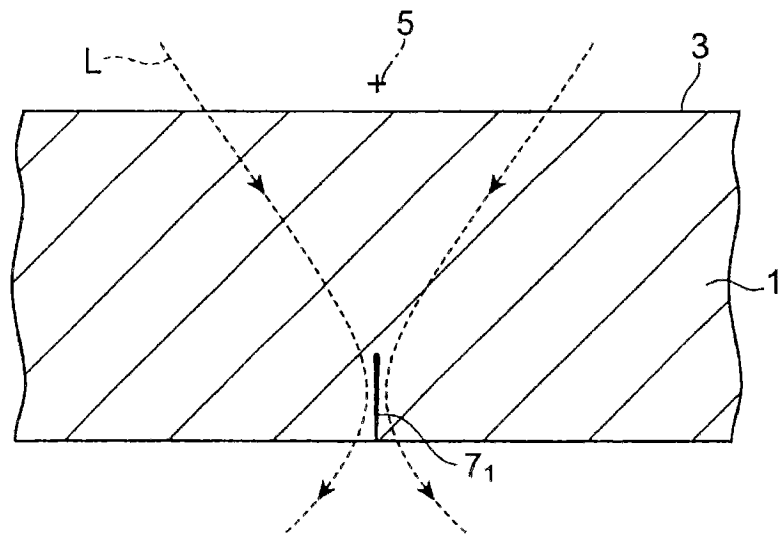


图 20

(a)



(b)

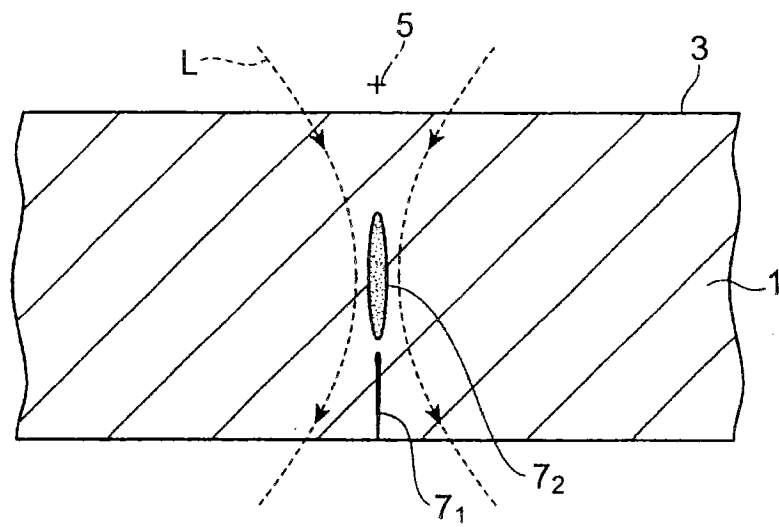


图 21

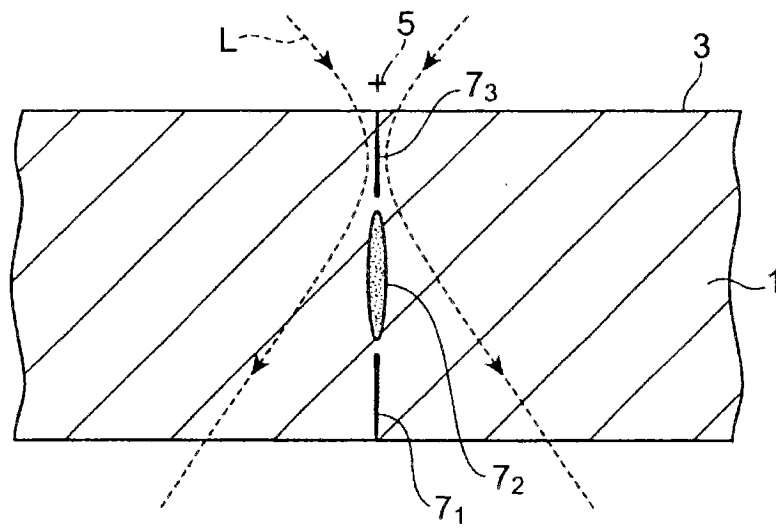


图 22

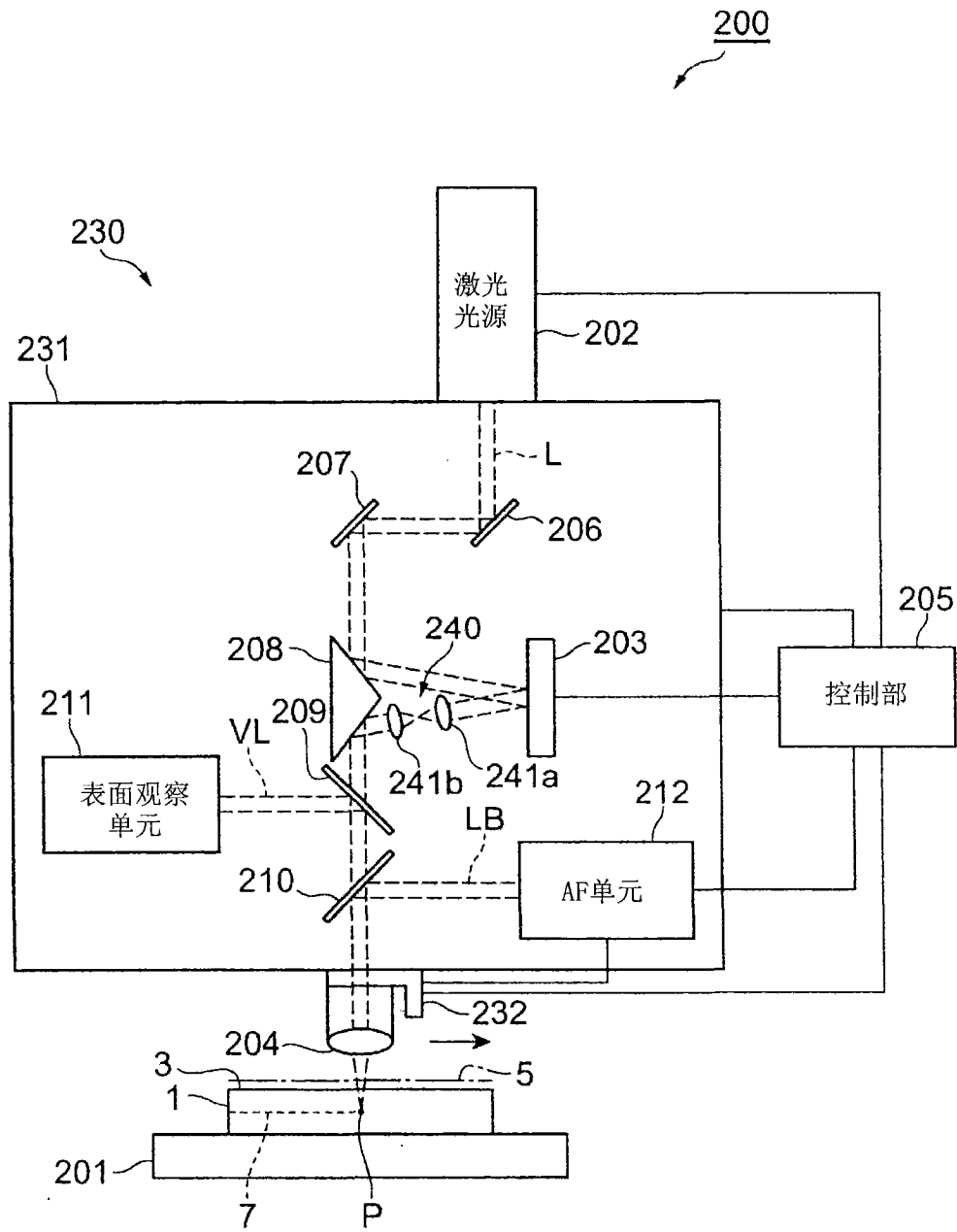


图 23

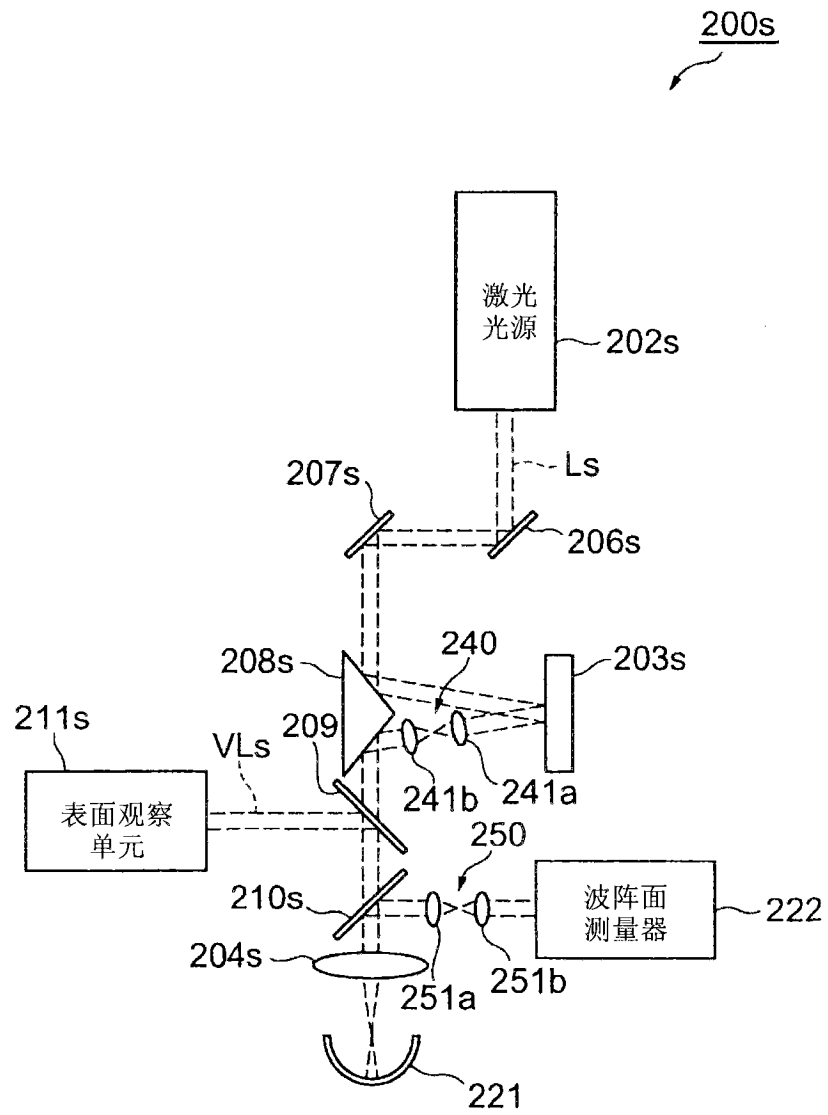


图 24

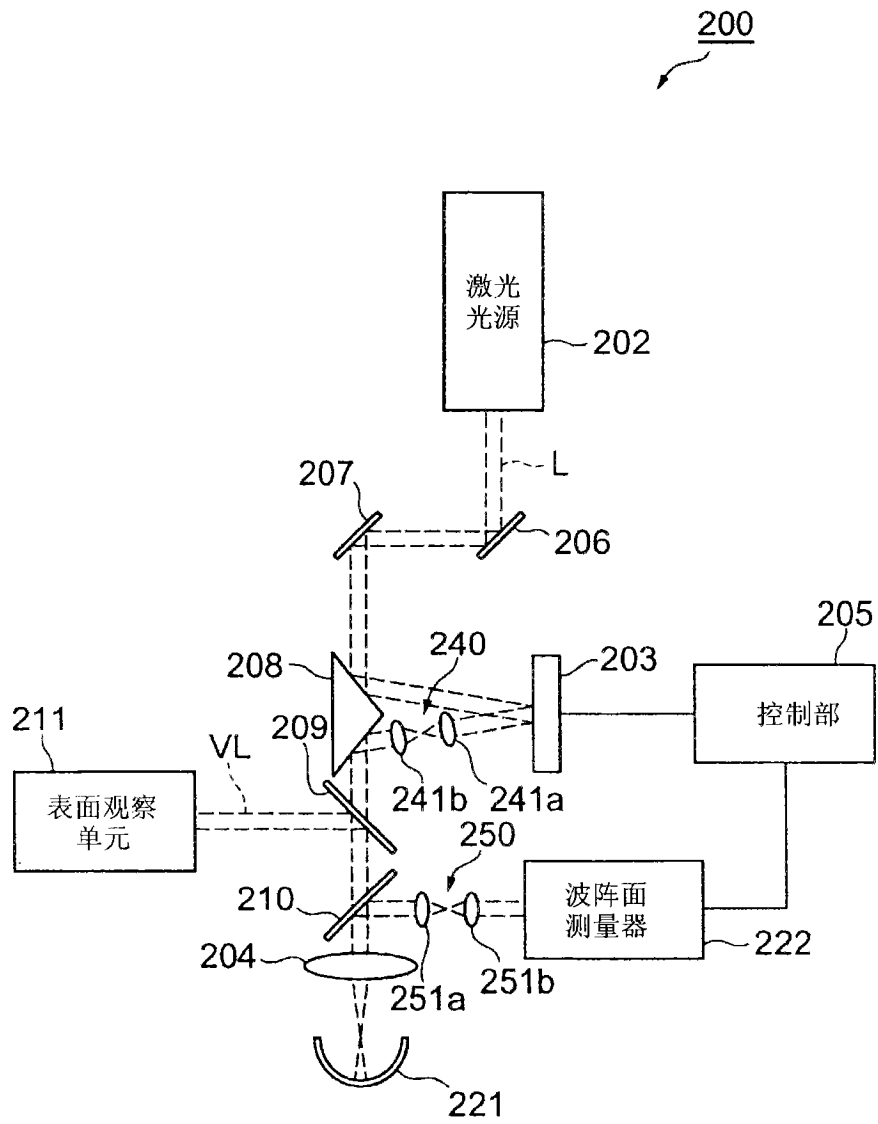


图 25

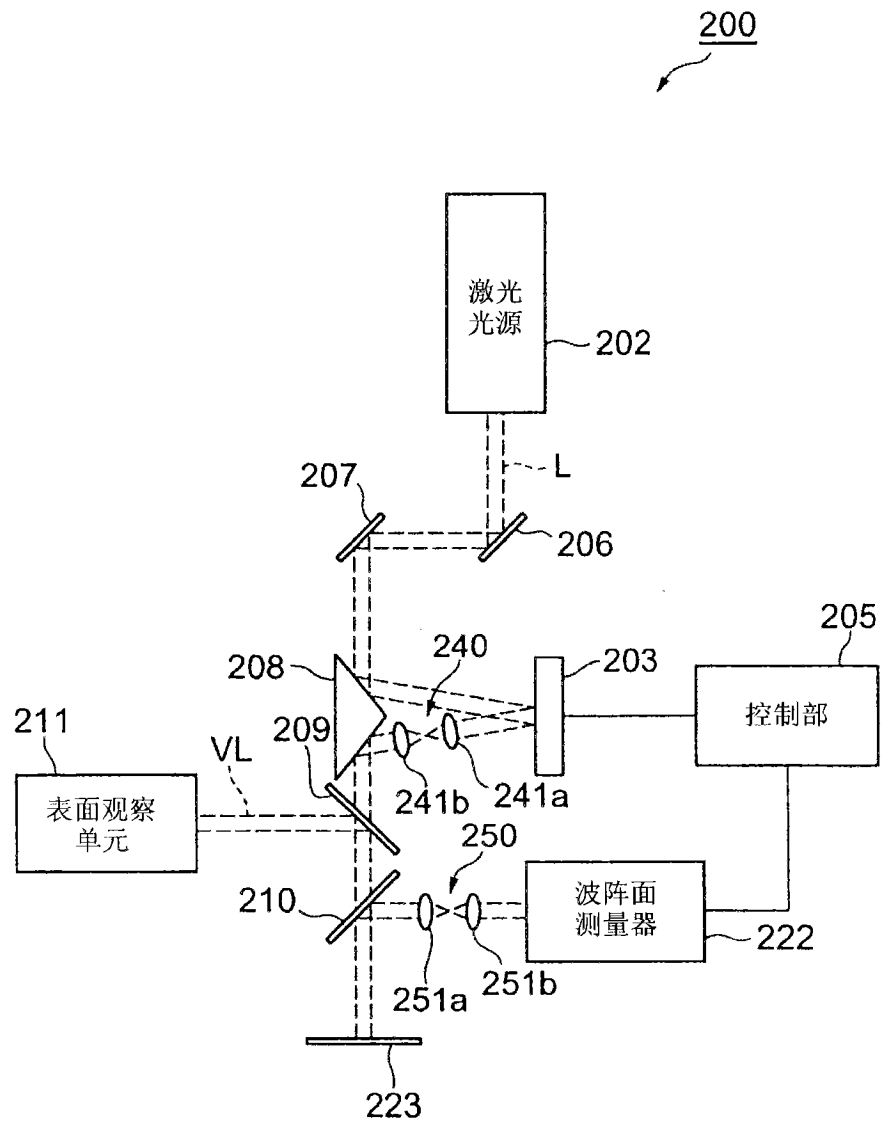


图 26

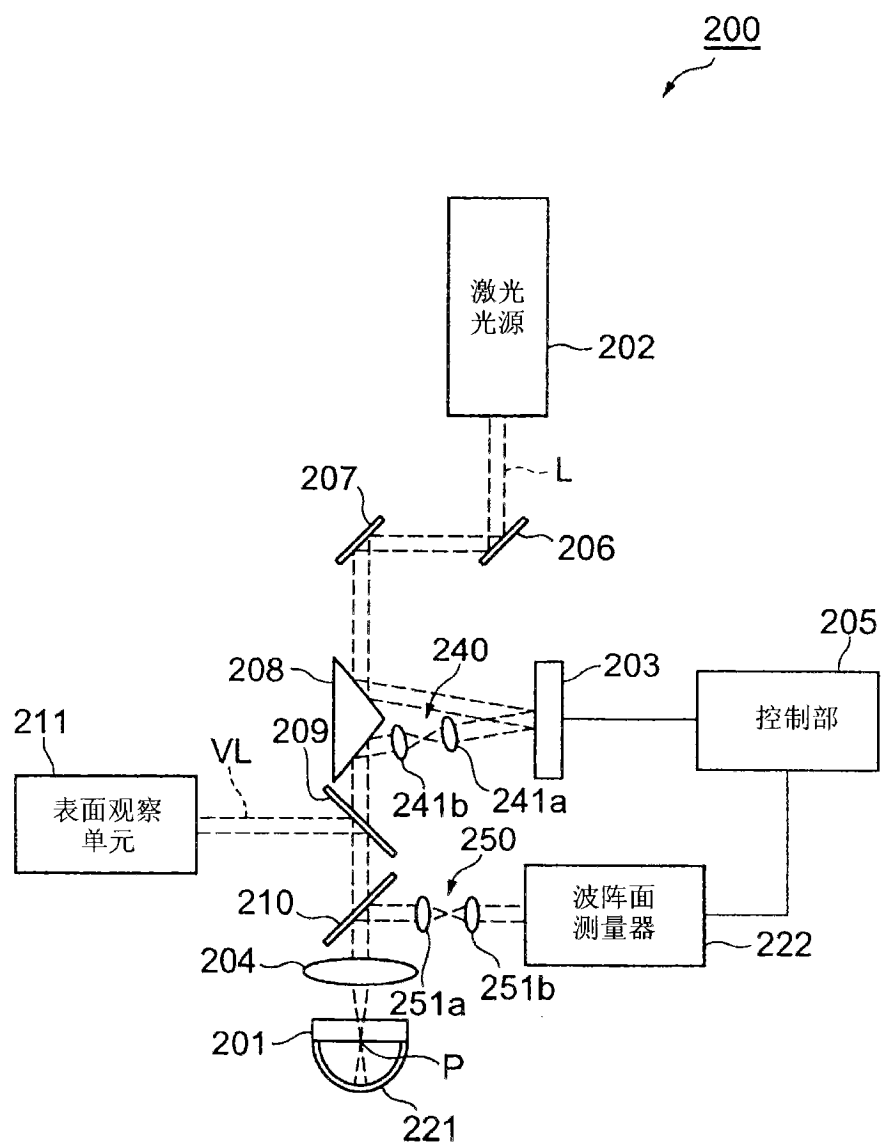


图 27

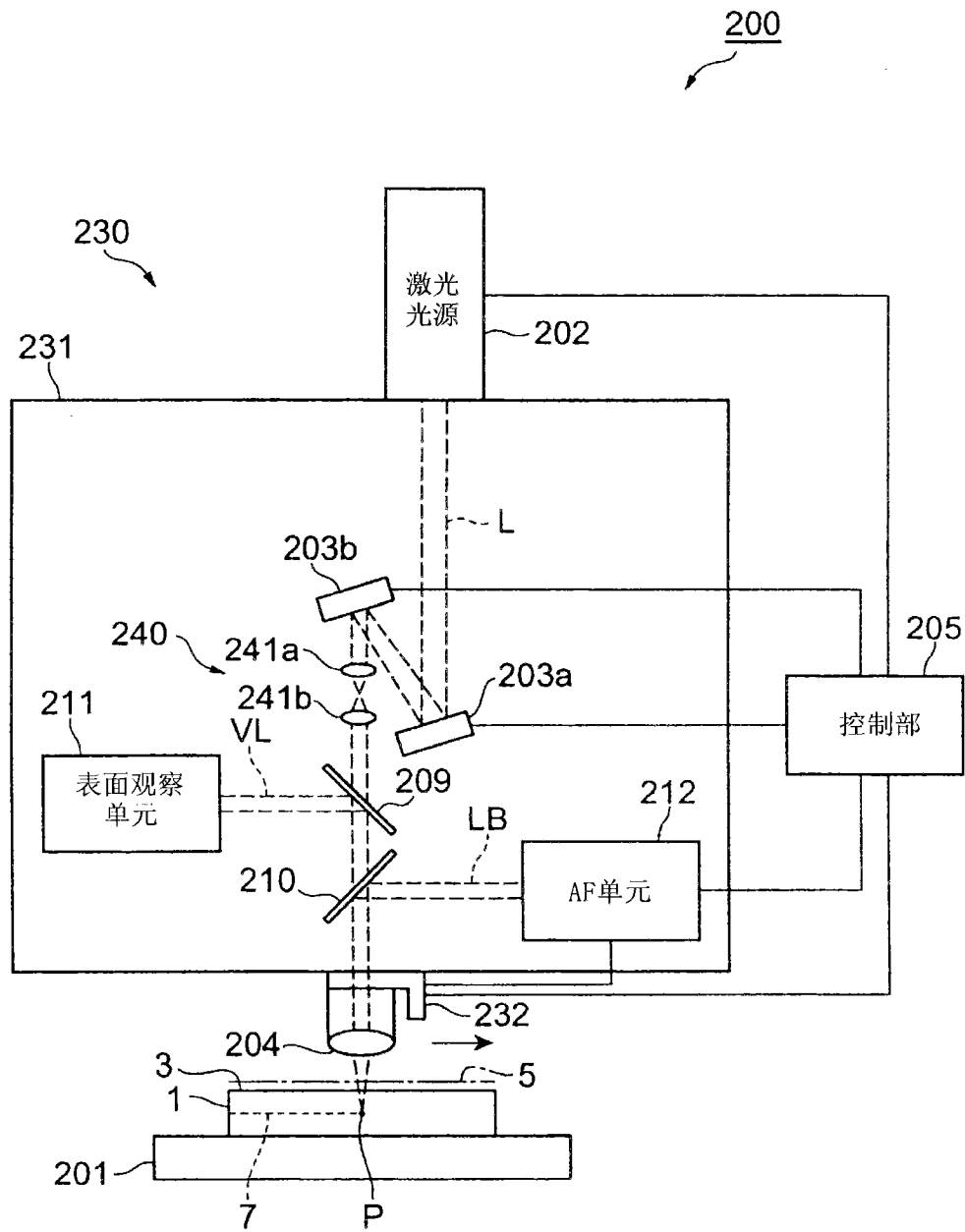


图 28

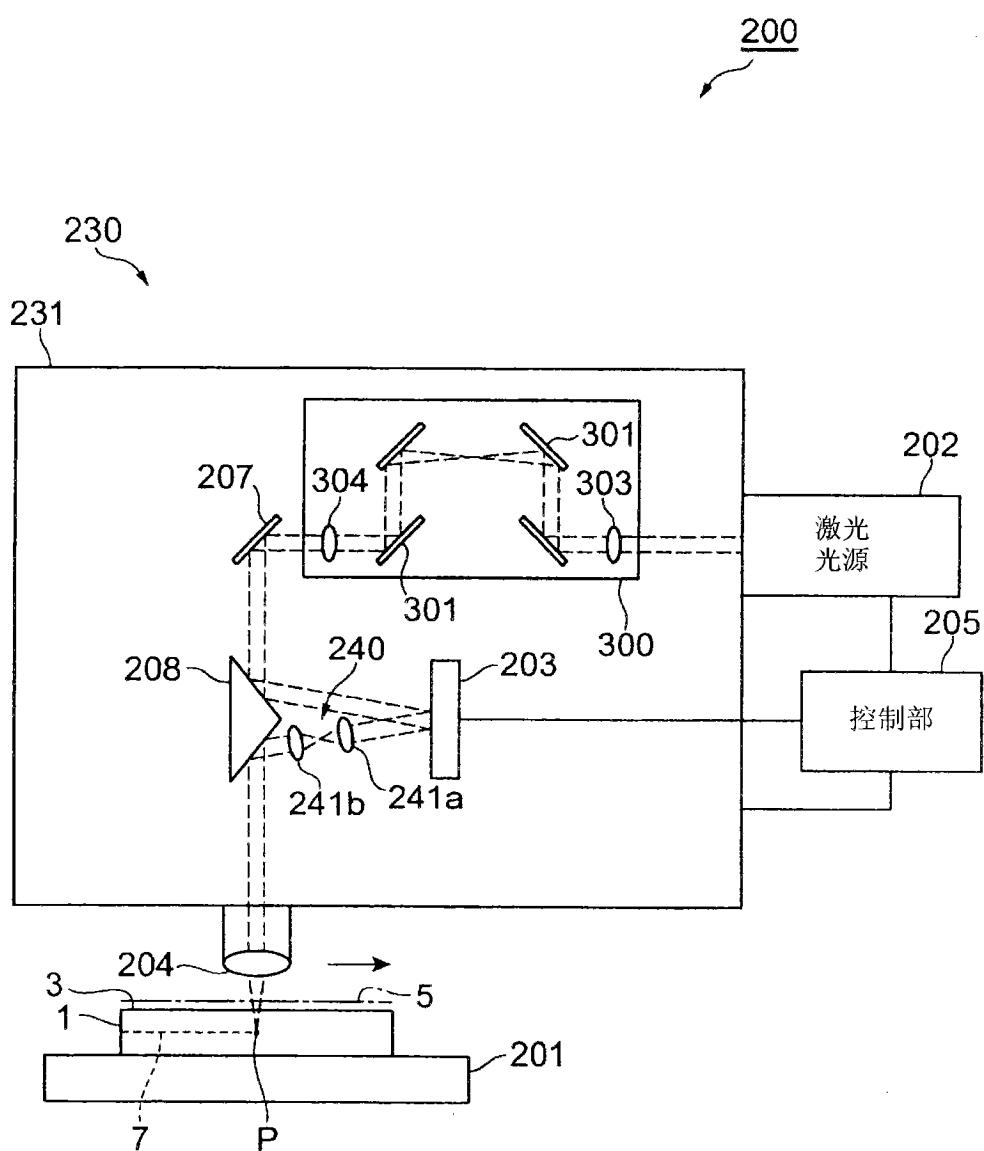


图 29