



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102574245 B

(45) 授权公告日 2014. 11. 12

(21) 申请号 201080045690. 2

(22) 申请日 2010. 09. 01

(30) 优先权数据

2009-208789 2009. 09. 10 JP

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2012. 04. 10

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/JP2010/065448 2010. 09. 01

(87) PCT国际申请的公布数据

W02011/030802 JA 2011. 03. 17

(73) 专利权人 爱信精机株式会社

地址 日本爱知县

(72) 发明人 渥美贵文 池田优二 大村悦二

(74) 专利代理机构 北京集佳知识产权代理有限公司

公司 11227

代理人 王轶 李洋

(51) Int. Cl.

B23K 26/38 (2014. 01)

B23K 26/046 (2014. 01)

B23K 26/067 (2006. 01)

B23K 26/40 (2014. 01)

B28D 5/00 (2006. 01)

H01L 21/301 (2006. 01)

C03B 33/09 (2006. 01)

(56) 对比文件

US 2006289410 A1, 2006. 12. 28,

JP 4110219 B2, 2008. 07. 02,

JP 2007-142001 A, 2007. 06. 07,

JP 2008-80346 A, 2008. 04. 10,

JP 2009-21597 A, 2009. 01. 29,

JP 2006-187783 A, 2006. 07. 20,

JP 2009-125777 A, 2009. 06. 11,

审查员 李婷

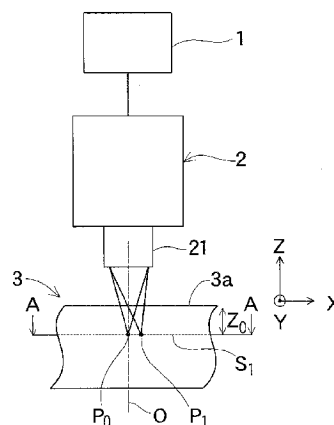
权利要求书3页 说明书13页 附图22页

(54) 发明名称

激光加工方法以及激光加工装置

(57) 摘要

本发明提供加工速度快、且能效高的激光加工方法以及激光加工装置。激光加工方法以使聚光透镜 (21) 的光轴 (O) 沿被切断部件 (3) 的切断预定线 (S0) 相对移动的方式向被切断部件 (3) 聚集照射激光, 由此在被切断部件 (3) 的内部以沿着切断预定线 (S0) 的方式形成成为切断起点的改性区域, 其特征在于, 在截面 (3b) 上同时形成多个截面聚光点 (P0、P1…), 该截面 (3b) 在距离被切断部件 (3) 的表面 (3a) 规定深度的位置与聚光透镜 (21) 的光轴 (O) 正交且与表面 (3a) 平行, 此时, 使多个截面聚光点 (P0、P1…) 中的至少一个截面聚光点形成于切断预定线 (S0) 朝截面 (3b) 的投影线上, 由此形成一个或多个具有期望形状的所述内部改性区域。



1. 一种激光加工方法,该激光加工方法是以使聚光透镜的光轴沿被切断部件的切断预定线进行相对移动的方式向被切断部件聚集照射激光,由此在所述被切断部件的内部以沿着所述切断预定线的方式形成成为切断起点的改性区域,

所述激光加工方法的特征在于,

在截面上的位置同时在 $0\text{nsec} \sim \text{子nsec}$ 的范围内形成多个截面聚光点,该截面在距离所述被切断部件的表面规定深度的位置与所述聚光透镜的光轴正交且与所述表面平行,此时,使所述多个截面聚光点中的至少一个截面聚光点形成于所述切断预定线朝所述截面的投影线上,由此形成一个或多个具有期望形状的所述内部改性区域,

将所述多个截面聚光点连结而成的图形是三角形。

2. 一种激光加工方法,该激光加工方法是以使聚光透镜的光轴沿被切断部件的切断预定线进行相对移动的方式向被切断部件聚集照射激光,由此在所述被切断部件的内部以沿着所述切断预定线的方式形成成为切断起点的改性区域,

所述激光加工方法的特征在于,

从距离所述被切断部件的表面规定深度的位置开始沿深度方向同时在 $0\text{nsec} \sim \text{子nsec}$ 的范围内形成多个深度聚光点,此时,使所述多个深度聚光点中的至少一个深度聚光点形成于所述聚光透镜的光轴上,由此形成一个或多个具有期望形状的所述内部改性区域,

将所述多个深度聚光点连结而成的图形是三角形。

3. 一种激光加工方法,该激光加工方法是以使聚光透镜的光轴沿被切断部件的切断预定线进行相对移动的方式向被切断部件聚集照射激光,由此在所述被切断部件的内部以沿着所述切断预定线的方式形成成为切断起点的改性区域,所述激光加工方法的特征在于,

在截面上的位置同时在 $0\text{nsec} \sim \text{子nsec}$ 的范围内形成多个截面聚光点,该截面在距离所述被切断部件的表面规定深度的位置与所述聚光透镜的光轴正交且与所述表面平行,此时,使所述多个截面聚光点中的至少一个截面聚光点形成于所述切断预定线朝所述截面的投影线上,由此形成一个或多个具有期望形状的所述内部改性区域,将所述多个截面聚光点连结而成的图形是平行四边形,使构成所述平行四边形的锐角的两个顶点位于所述切断预定线朝所述截面的投影线上。

4. 一种激光加工方法,该激光加工方法是以使聚光透镜的光轴沿被切断部件的切断预定线进行相对移动的方式向被切断部件聚集照射激光,由此在所述被切断部件的内部以沿着所述切断预定线的方式形成成为切断起点的改性区域,

所述激光加工方法的特征在于,

从距离所述被切断部件的表面规定深度的位置开始沿深度方向在同时 $0\text{nsec} \sim \text{子nsec}$ 的范围内形成多个深度聚光点,此时,使所述多个深度聚光点中的至少一个深度聚光点形成于所述聚光透镜的光轴上,由此形成一个或多个具有期望形状的所述内部改性区域,将所述多个深度聚光点连结而成的图形是平行四边形,使构成所述平行四边形的锐角的两个顶点位于所述聚光透镜的光轴上。

5. 根据权利要求 1 或 3 所述的激光加工方法,其特征在于,

利用所述多个截面聚光点在所述截面上的空间位置、与该聚光点处的能量密度的组合,来形成具有所述期望形状的所述内部改性区域。

6. 根据权利要求 2 或 4 所述的激光加工方法,其特征在于,

利用所述多个深度聚光点在包含所述割断预定线的面内的空间位置、与该聚光点处的能量密度的组合,来形成具有所述期望形状的所述内部改性区域。

7. 一种激光加工装置,该激光加工装置是以使聚光透镜的光轴沿被割断部件的割断预定线进行相对移动的方式向被割断部件聚集照射激光,由此在所述被割断部件的内部以沿着所述割断预定线的方式形成成为割断起点的改性区域,

所述激光加工装置的特征在于,

所述激光加工装置具备光学系统,在截面上的位置同时在 0nsec ~ 子 nsec 的范围内形成多个截面聚光点,该截面在距离所述被割断部件的表面规定深度的位置与所述聚光透镜的光轴正交且与所述表面平行,此时,该光学系统使所述多个截面聚光点中的至少一个截面聚光点形成于所述割断预定线朝所述截面的投影线上,所述激光加工装置形成一个或多个具有期望形状的所述内部改性区域,

将所述多个截面聚光点连结而成的图形是三角形。

8. 根据权利要求 7 所述的激光加工装置,其特征在于,

所述光学系统具备分光器、反射镜以及聚光透镜,

利用所述分光器对所述激光进行分割,并利用所述反射镜对分割后的激光进行反射进而使该激光以相对于光轴成规定角度 θ_0 的方式向所述聚光透镜入射,由此沿所述割断预定线形成多个截面聚光点。

9. 根据权利要求 7 所述的激光加工装置,其特征在于,

所述光学系统具备声光调制器、光栅对以及聚光透镜,

利用声光调制器产生引起了波长位移的一次光束、以及并未引起波长位移的 0 次光束,并利用光栅对来设置光路差,使所述激光向所述聚光透镜入射,由此沿所述割断预定线形成多个截面聚光点。

10. 一种激光加工装置,该激光加工装置是以使聚光透镜的光轴沿被割断部件的割断预定线进行相对移动的方式向被割断部件聚集照射激光,由此在所述被割断部件的内部以沿着所述割断预定线的方式形成成为割断起点的改性区域,

所述激光加工装置的特征在于,

所述激光加工装置具备光学系统,从距离所述被割断部件的表面规定深度的位置开始沿深度方向同时在 0nsec ~ 子 nsec 的范围内形成多个截面聚光点,此时,该光学系统使所述多个深度聚光点中的至少一个深度聚光点形成于所述聚光透镜的光轴上,所述激光加工装置形成一个或多个具有期望形状的所述内部改性区域,

将所述多个深度聚光点连结而成的图形是三角形。

11. 根据权利要求 10 所述的激光加工装置,其特征在于,

所述光学系统具备分光器、反射镜、中继透镜以及聚光透镜,

使所述激光经由所述分光器向所述聚光透镜入射,并且利用所述中继透镜使利用所述分光器反射后的激光形成成为扩展角 α 的激光,进而使该激光向所述聚光透镜入射,由此沿深度方向形成多个深度聚光点。

12. 一种激光加工装置,该激光加工装置是以使聚光透镜的光轴沿被割断部件的割断预定线进行相对移动的方式向被割断部件聚集照射激光,由此在所述被割断部件的内部以

沿着所述割断预定线的方式形成成为割断起点的改性区域，

所述激光加工装置的特征在于，

所述激光加工装置具备光学系统，在截面上的位置在 0nsec ~ 子 nsec 的范围内形成多个截面聚光点，该截面在距离所述被割断部件的表面规定深度的位置与所述聚光透镜的光轴正交且与所述表面平行，此时，该光学系统使所述多个截面聚光点中的至少一个截面聚光点形成于所述割断预定线朝所述截面的投影线上，所述激光加工装置形成一个或多个具有期望形状的所述内部改性区域，

将所述多个截面聚光点连结而成的图形是平行四边形，使构成所述平行四边形的锐角的两个顶点位于所述割断预定线朝所述截面的投影线上。

13. 一种激光加工装置，该激光加工装置是以使聚光透镜的光轴沿被割断部件的割断预定线进行相对移动的方式向被割断部件聚集照射激光，由此在所述被割断部件的内部以沿着所述割断预定线的方式形成成为割断起点的改性区域，

所述激光加工装置的特征在于，

所述激光加工装置具备光学系统，从距离所述被割断部件的表面规定深度的位置开始沿深度方向在 0nsec ~ 子 nsec 的范围内形成多个截面聚光点，此时，该光学系统使所述多个深度聚光点中的至少一个深度聚光点形成于所述聚光透镜的光轴上，所述激光加工装置形成一个或多个具有期望形状的所述内部改性区域，

将所述多个深度聚光点连结而成的图形是平行四边形，使构成所述平行四边形的锐角的两个顶点位于所述聚光透镜的光轴上。

激光加工方法以及激光加工装置

技术领域

[0001] 本发明涉及激光加工方法以及激光加工装置,沿被切断部件的切断预定线聚集照射激光,从而使成为切断起点的改性区域形成于被切断部件的内部。

背景技术

[0002] 以往,当欲将半导体基板、压电陶瓷基板、蓝宝石基板、玻璃基板等的硬脆材料板体切断时,在被切断板体的内部沿切断预定线对板体聚集照射具有透明的波长的短脉冲激光,从而在内部形成微小裂纹簇集而成的微细熔融痕迹(改性区域),然后施加应力,利用以该微细熔融痕迹为起点朝板体的厚度方向产生的裂纹将板体切断(例如,参照专利文献 1)。

[0003] 并且,还已知有如下加工方法:将一束脉冲激光分割成三束并使其间存在时间差(使第二束比第一束延迟,使第三束比第二束延迟),然后错开位置进行聚光照射(例如,参照专利文献 2)。

[0004] 专利文献 1:日本特开 2005-271563 号公报

[0005] 专利文献 2:日本特开 2006-167804 号公报

[0006] 然而,在该现有的激光加工方法中,由于激光聚集于圆形点,因此使裂纹产生并使其生长的内部应力各向同性地发挥作用。因而,裂纹会在沿着切断预定线的方向以外的方向上产生并生长,从而无法使裂纹的产生、生长集中在切断预定线方向上。其结果,会损伤切断面的平坦度。并且,还存在如下问题:当沿切断预定线对圆形点进行照射时,每单位长度的照射点的数量增多,从而加工速度会降低。进而,当被切断板体厚时,虽然需要使焦点位置在厚度方向错开而进行反复加工,但是必须在厚度方向上减小错开量,从而加工速度会越来越低。

[0007] 对于将一束脉冲激光分割成三束并使其间存在时间差、然后错开位置进行聚光照射的加工方法,期待通过在切断预定线方向上形成为将 3 点连接而能够提高切断预定线方向上的加工速度(相对于聚光透镜的光轴的移动速度)。并且,期待通过在厚度方向上形成为将 3 点连接而能够增大焦点位置在厚度方向上错开的量,从而能够提高厚度方向上的加工速度(聚光透镜的厚度方向上的相对移动速度)。

[0008] 然而,在存在时间差并被连续照射的三束脉冲光中,除了最初照射的第一束脉冲光以外,后续的脉冲光会受到因此前照射的脉冲光所引起的热量的影响。即,若作为被切断部件的脆性材料被会引起非结晶迁移这样的温度加热,则会进行韧性材料化,因此即使后续的脉冲光对被此前的脉冲光加热后的区域附近进行照射,也难以产生伴随于温度差的应力,并且会因受到材料物理性质的变化(例如熔化)的影响而使得裂纹难以生长。其结果,加工速度不会变得如预期那样高。

[0009] 并且,由于作为被切断部件的脆性材料针对激光的折射率及吸收系数也随温度变化,因此即使后续的脉冲光对被此前的脉冲光加热后的区域附近进行照射,激光在到达聚光点之前也会被吸收,从而还具有足够的能量未到达聚光点的问题、或聚光点的位置偏离

的问题。若聚光点的位置偏离,则无法在厚度方向上将3点连接,从而无法增大使焦点位置在厚度方向上错开的量。其结果,厚度方向上的加工速度(聚光透镜的厚度方向上的相对移动速度)降低。

发明内容

[0010] 本发明是鉴于上述问题而完成的,其课题在于提供一种加工速度快、且能效高的激光加工方法以及激光加工装置。

[0011] 为了解决上述课题而完成的本发明的激光加工方法,以使聚光透镜的光轴沿被割断部件的割断预定线进行相对移动的方式向被割断部件聚集照射激光,由此在上述被割断部件的内部以沿着上述割断预定线的方式形成成为割断起点的改性区域,该激光加工方法的特征在于,在截面上的位置同时形成多个截面聚光点,该截面在距离上述被割断部件的表面规定深度的位置与上述聚光透镜的光轴正交且与上述表面平行,此时,使上述多个截面聚光点中的至少一个截面聚光点形成于上述割断预定线朝上述截面的投影线上,由此形成一个或多个具有期望形状的上述内部改性区域。

[0012] 并且,为了解决上述课题而完成的本发明的其它激光加工方法,以使聚光透镜的光轴沿被割断部件的割断预定线进行相对移动的方式向被割断部件聚集照射激光,由此在上述被割断部件的内部以沿着上述割断预定线的方式形成成为割断起点的改性区域,该激光加工方法的特征在于,从距离上述被割断部件的表面规定深度的位置开始沿深度方向同时形成多个深度聚光点,此时,使上述多个深度聚光点中的至少一个深度聚光点形成于上述聚光透镜的光轴上,由此形成一个或多个具有期望形状的上述内部改性区域。

[0013] 并且,为了解决上述课题而完成的本发明的其它激光加工方法,以使聚光透镜的光轴沿被割断部件的割断预定线进行相对移动的方式向被割断部件聚集照射激光,由此在上述被割断部件的内部以沿着上述割断预定线的方式形成成为割断起点的改性区域,该激光加工方法的特征在于,在截面上的位置同时形成多个截面聚光点,该截面在距离上述被割断部件的表面规定深度的位置与上述聚光透镜的光轴正交且与上述表面平行,此时,使上述多个截面聚光点中的至少一个截面聚光点形成于上述割断预定线朝上述截面的投影线上,并且从上述规定深度的位置开始沿深度方向也同时形成多个深度聚光点,此时,使上述多个深度聚光点中的至少一个深度聚光点形成于上述聚光透镜的光轴上,由此形成一个或多个具有期望形状的上述内部改性区域。

[0014] 优选地,在上述激光加工方法中,优选上述激光是超短脉冲激光。

[0015] 并且,在上述激光加工方法中,优选将上述多个截面聚光点连结而成的图形是三角形。

[0016] 并且,优选将上述多个深度聚光点连结而成的图形是三角形。

[0017] 并且,优选将上述多个截面聚光点连结而成的图形是平行四边形,使构成上述平行四边形的锐角的两个顶点位于上述割断预定线朝上述截面的投影线上。

[0018] 并且,优选将上述多个深度聚光点连结而成的图形是平行四边形,使构成上述平行四边形的锐角的两个顶点位于上述聚光透镜的光轴上。

[0019] 并且,优选利用上述多个截面聚光点在上述截面上的空间位置、与该聚光点处的能量密度的组合,来形成具有上述期望形状的上述内部改性区域。

[0020] 并且,优选利用上述多个深度聚光点在包含上述割断预定线的面内的空间位置、与该聚光点处的能量密度的组合,来形成具有上述期望形状的上述内部改性区域。

[0021] 为了解决上述课题而完成的本发明的激光加工装置,以使聚光透镜的光轴沿被割断部件的割断预定线进行相对移动的方式向被割断部件聚集照射激光,由此在上述被割断部件的内部以沿着上述割断预定线的方式形成成为割断起点的改性区域,该激光加工装置的特征在于,该激光加工装置具备光学系统,在截面上的位置同时形成多个截面聚光点,该截面在距离上述被割断部件的表面规定深度的位置与上述聚光透镜的光轴正交且与上述表面平行,此时,该光学系统使上述多个截面聚光点中的至少一个截面聚光点形成于上述割断预定线朝上述截面的投影线上,该激光加工装置形成一个或多个具有期望形状的上述内部改性区域。

[0022] 并且,为了解决上述课题而完成的本发明的其它激光加工装置,以使聚光透镜的光轴沿被割断部件的割断预定线进行相对移动的方式向被割断部件聚集照射激光,由此在上述被割断部件的内部以沿着上述割断预定线的方式形成成为割断起点的改性区域,该激光加工装置的特征在于,该激光加工装置具备光学系统,从距离上述被割断部件的表面规定深度的位置开始沿深度方向同时形成多个深度聚光点,此时,该光学系统使上述多个深度聚光点中的至少一个深度聚光点形成于上述聚光透镜的光轴上,该激光加工装置形成一个或多个具有期望形状的上述内部改性区域。

[0023] 并且,为了解决上述课题而完成的本发明的其它激光加工装置,以使聚光透镜的光轴沿被割断部件的割断预定线进行相对移动的方式向被割断部件聚集照射激光,由此在上述被割断部件的内部以沿着上述割断预定线的方式形成成为割断起点的改性区域,该激光加工装置的特征在于,该激光加工装置具备光学系统,在截面上的位置同时形成多个截面聚光点,该截面在距离上述被割断部件的表面规定深度的位置与上述聚光透镜的光轴正交且与上述表面平行,此时,该光学系统使上述多个截面聚光点中的至少一个截面聚光点形成于上述割断预定线朝上述截面的投影线上,并且从上述规定深度的位置开始沿深度方向也同时形成多个深度聚光点,此时,该光学系统使上述多个深度聚光点中的至少一个深度聚光点形成于上述聚光透镜的光轴上,该激光加工装置形成一个或多个具有期望形状的上述内部改性区域。

[0024] 由于在截面上的位置同时形成多个截面聚光点,该截面在距离被割断部件的表面规定深度的位置与上述聚光透镜的光轴正交且与上述表面平行,因此无需抑制基于韧性材料化而产生的应力、以及基于物理性质变化的裂纹伸展,并且能够提高割断预定线方向上的加工速度。

[0025] 由于从距离被割断部件的表面规定深度的位置开始沿深度方向同时形成多个深度聚光点,因此无需抑制基于韧性材料化而产生的应力、以及基于物理性质变化的裂纹伸展,并且能够提高厚度方向上的加工速度。

[0026] 由于在截面上的位置同时形成多个截面聚光点,该截面在距离被割断部件的表面规定深度的位置与上述聚光透镜的光轴正交且与上述表面平行,并且从上述规定深度的位置开始沿深度方向同时形成多个深度聚光点,因此能够同时提高割断预定线方向上的加工速度以及厚度方向上的加工速度。

[0027] 若激光是超短脉冲激光,即使将一束激光分割成多束,各激光的脉冲的峰值对非

结晶的相移所需的恒定的阈值也十分充裕。并且,脉冲照射在产生热源之前结束,从而脉冲本身不会受到热量的影响,能够稳定地利用期望的热源对裂纹进行控制。

[0028] 由于将多个截面聚光点连结而成的图形是三角形,因此楔效应在割断预定线方向的一个方向上发挥作用,从而能够更加提高割断预定线方向上的加工速度。

[0029] 由于将多个深度聚光点连结而成的图形是三角形,因此楔效应在厚度方向的一个方向上发挥作用,从而能够更加提高厚度方向上的加工速度。

[0030] 由于将多个截面聚光点连结而成的图形是平行四边形,使构成上述平行四边形的锐角的两个顶点位于上述割断预定线朝上述截面的投影线上,因此楔效应在割断预定线方向的两个方向上发挥作用,从而能够更加提高割断预定线方向上的加工速度。

[0031] 由于将多个深度聚光点连结而成的图形是平行四边形,使构成上述平行四边形的锐角的两个顶点位于上述聚光透镜的光轴上,因此楔效应在厚度方向的两个方向上发挥作用,从而能够更加提高厚度方向上的加工速度。

[0032] 由于利用多个截面聚光点在上述截面上的空间位置、与该聚光点处的能量密度的组合,来形成具有上述期望形状的上述内部改性区域,因此能够自如地对割断预定线方向上的楔效应的作用进行控制。

[0033] 由于利用多个深度聚光点在包含上述割断预定线的面内的空间位置、与该聚光点处的能量密度的组合,来形成具有上述期望形状的上述内部改性区域,因此能够自如地对厚度方向上的楔效应的作用进行控制。

附图说明

[0034] 图 1 是本发明所涉及的实施方式 1 的激光加工装置的概要结构图。

[0035] 图 2 是图 1 的被割断部件 3 的立体图。

[0036] 图 3 是图 1 的 A-A 线剖视图。

[0037] 图 4 是用于说明实施方式 1 的变形方式的图 1 的 A-A 线剖视图。

[0038] 图 5 是用于说明实施方式 1 的其它变形方式的图 1 的 A-A 线剖视图。

[0039] 图 6 是示出实施方式 1 的激光加工装置的光学系统的一例的图。

[0040] 图 7 是示出图 6 的光学系统的变形方式的图。

[0041] 图 8 是实施方式 2 的激光加工装置的概要结构图。

[0042] 图 9 是图 8 的被割断部件 3 的立体图。

[0043] 图 10 是图 9 的 B-B 线剖视图。

[0044] 图 11 是用于说明实施方式 2 的变形方式的图 9 的 B-B 线剖视图。

[0045] 图 12 是用于说明实施方式 2 的其它变形方式的图 9 的 B-B 线剖视图。

[0046] 图 13 是示出实施方式 2 的激光加工装置的光学系统的一例的图。

[0047] 图 14 是示出图 13 的光学系统的变形方式的图。

[0048] 图 15 是实施方式 3 的激光加工装置的概要结构图。

[0049] 图 16 是图 15 的被割断部件 3 的立体图。

[0050] 图 17 是图 16 的 A-A 线剖视图及 B-B 线剖视图。

[0051] 图 18 是示出实施方式 3 的激光加工装置的光学系统的一例的图。

[0052] 图 19 是示出图 18 的光学系统的变形方式的图。

- [0053] 图 20 是示出图 18 的光学系统的其它变形方式的图。
- [0054] 图 21 是示出图 18 的光学系统的其它变形方式的图。
- [0055] 图 22 是刚形成两个聚光点之后的热源温度分布图案。
- [0056] 图 23 是在以改变时间差 τ 的方式形成三个聚光点的情况下经过 10nsec 以后的热源温度分布图案。
- [0057] 图 24 是在两个聚光点（点径： $2\mu\text{m}$ ）之间的间隔为 $2\mu\text{m}$ 的情况下的热源温度分布图案与应力分布图案。
- [0058] 图 25 是在两个聚光点（点径： $2\mu\text{m}$ ）之间的间隔为 $4\mu\text{m}$ 的情况下的热源温度分布图案与应力分布图案。
- [0059] 图 26 是示出聚光点间隔与应力之间的关系的图表。
- [0060] 图 27 是示出应力的时间变化的图表。
- [0061] 图 28 是对实施例的聚光点的空间配置进行说明的图、以及激光加工后的蓝宝石的透视照片。
- [0062] 图 29 是对比较例的聚光点的空间配置进行说明的图、以及激光加工后的蓝宝石的透视照片。
- [0063] 标号说明：
- [0064] 21、201、2A1、20A1、20B1、2B1、2C1、2D1、2E1…聚光透镜；0…光轴；S0…切断预定线；3…被切断部件；3a…表面；3b…截面；P0、P1、P2、P3…截面聚光点；Q0、Q1、Q2、Q3…深度聚光点；2、20、2A、20A、20B、2B、2C、2D、2E…光学系统。

具体实施方式

[0065] （实施方式 1）

[0066] 以下基于附图对用于实施本发明的方式进行详细说明。

[0067] 图 1 是实施方式 1 的激光加工装置的概要结构图。图 2 是图 1 的被切断部件 3 的立体图，图 3 是图 1 的 A-A 线剖视图。

[0068] 如图 1～图 3 所示，本实施方式的激光加工装置具备光学系统 2，在截面 3b 上同时形成多个截面聚光点 P0、P1，该截面 3b 在距离被切断部件 3 的表面 3a 规定深度的位置 Z 处与聚光透镜 21 的光轴 0 正交且与表面 3a 平行，此时，该光学系统 2 使多个截面聚光点 P0、P1 中的至少一个截面聚光点形成于切断预定线 S0 朝截面 3b 的投影线 S1 上。

[0069] 标号 1 表示针对被切断部件 3 产生具有透明波长的重复超短脉冲激光的光源。作为光源 1，采用能够产生波长为 $1\mu\text{m} \sim 2\mu\text{m}$ 、脉冲宽度为 10fs～20ps、重复频率为 100kHz～10MHz 的激光、并涂覆有铒 (Er) 或镱 (Yb) 的锁模光纤激光器 (mode lock fiber laser)，由此在玻璃、蓝宝石、水晶、硅等的被切断部件 3 的聚光点位置对激光进行多光子吸收，从而形成内部改性区域。

[0070] 在本实施方式中，两个聚光点 P0、P1 形成于切断预定线 S0 朝截面 3b 的投影线 S1 上。使未图示的移动载台在 X 方向上移动，由此在 S1 上按 P0、P1 的顺序依次形成成对的两个聚光点 P0、P1。

[0071] 由于两个聚光点 P0、P1 互相接触或接近，因此如图 3(a) 所示，该两个聚光点 P0、P1 在短时间内融合而形成椭圆状热源温度分布图案 e。由于两个聚光点 P0、P1 处于投影线

S1 上,因此椭圆状热源温度分布图案 e 的长轴也处于投影线 S1 上。其结果,由于在被割断部件 3 内产生应力的各向异性,即产生使裂纹在长轴方向上生长的应力,因此能够使接下来形成的两个聚光点 P0、P1 之间的间隔增大。即,能够提高移动载台的朝 X 方向的输送速度(割断方向上的加工速度)。

[0072] 并且,由于同时形成两个聚光点 P0、P1,因此不存在足够的能量未到达聚光点的问题、以及聚光点的位置偏离这样的问题。

[0073] 接下来,对实施方式 1 的变形方式进行说明。如图 3(b) 所示,可以将两个聚光点 P0、P1 之间的间隔扩大从而形成规定的间隔。于是,两个聚光点 P0、P1 并不融合,而是形成独立的圆形状热源温度分布图案 γ_0 、 γ_1 。拉伸应力作用于独立的圆形状热源温度分布图案 γ_0 、 γ_1 之间,从而促进裂纹在投影线 S1 方向(割断方向)上的伸展。

[0074] 并且,如图 4 所示,可以同时形成 3 个聚光点 P0、P1、P2。此时,将向 P0、P1、P2 注入的能量密度设为 E_0 、 E_1 、 E_2 ,并使其满足 $E_0 > E_1 > E_2$,由此使得应力的各向异性(楔效应)提高,从而能够更加提高加工速度。

[0075] 并且,如图 5(a) 所示,将 3 个聚光点 P0、P1、P2 连结的图形可以描绘出三角形。3 个聚光点 P0、P1、P2 融合而形成三角形热源温度分布图案 f,能够使楔效应向左发挥作用。

[0076] 并且,如图 5(b) 所示,将 4 个聚光点 P0、P1、P2、P3 连结的图形可以描绘出平行四边形,并可以使构成平行四边形的锐角的两个顶点 P0、P3 位于投影线 S1 上。4 个聚光点 P0、P1、P2、P3 融合而形成平行四边形热源温度分布图案 g,能够使楔效应向左右发挥作用,从而能够更加提高割断方向上的加工速度。

[0077] 此处,对本发明中的同时形成多个聚光点的事项中的“同时”进行说明。完全同时地在空间上不同的位置形成多个聚光点是无法实现的,在多个聚光点之间存在时间宽度(时间差) τ 是理所当然的。因此通过模拟实验尝试对允许何种程度的时间差 τ 进行了调查(参照后述的模拟 2)。其结果,当被割断部件是典型的蓝宝石时,获得的结果为 $\tau = 0.3 \text{ nsec}$ 。因此,在本发明中,将 $0 \text{ nsec} \sim$ 若干 nsec 的范围定义为“同时”。

[0078] 像本实施方式这样地,由于通过利用超短脉冲激光在极小的部位产生热量、且实现了非常高的温度,因此本实施方式具有以下两个优点。

[0079] 首先,由于熔融区域是局部,因此韧性材料化的范围小,从而能够保持其周围的脆性。其结果,当热应力发挥作用时,裂纹会良好地伸展。由于若脉冲宽度长,则熔融范围大,因此会抑制基于韧性材料化的裂纹的伸展。

[0080] 接下来,由于峰值能量高,因此温度梯度陡峭。因此,会产生大的热应力。由于若脉冲宽度长,则峰值能量小,因此温度梯度平缓,并且形成为一边进行热扩展一边持续进行热量输入的状态,从而温度梯度越来越平缓,难以产生热应力。

[0081] 另外,当多束激光同时照射、且各点的间隔为波长的 5 倍以下那么窄时,光束彼此间会互相干涉,从而存在强度分布根据该干涉程度的不同而变动的可能性,因此必须在考虑该影响的基础上进行加工。因此,为了维持期望的强度分布、并更有效地获得期望的热源温度分布图案,优选以设置与脉冲宽度相当的时间差的方式来照射各光束。像本实施方式这样地,能够利用超短脉冲激光,并能够在本发明中所定义的“同时”的范围内以使光束间存在与脉冲宽度相当的时间差的方式进行照射,因此具有如下优点:能够避免由在时间上处于前面的脉冲所产生的热量的影响。

[0082] 作为本实施方式的激光加工方法中的光学系统 2, 例如存在图 6 所示的结构。图中的标号 22、23 表示分光器, 标号 24、25 表示反射镜。

[0083] 利用分光器 22 将从光源 1 射出的激光分割成两束。对于在分光器 22 反射后的激光, 在反射镜 24 被反射, 并使其以与光轴 0 成角度 θ_0 的方式向聚光透镜 21 入射。利用接下来的分光器 23 将从分光器 22 透过的激光进一步分割成两束。对于在分光器 23 反射后的激光, 在反射镜 25 被反射, 并使其以与光轴 0 成角度 θ_1 的方式入射到聚光透镜 21。从分光器 22 透过的激光在光轴 0 上前进并向聚光透镜 21 入射。

[0084] 在光轴 0 上前进而入射后的激光被聚集到投影线 S1 与光轴 0 的交点, 从而形成聚光点 P0。以与光轴 0 成角度 θ_0 的方式入射后的激光在投影线 S1 上被聚集到与聚光点 P0 距离 X0 的位置, 从而形成聚光点 P2。以与光轴 0 成角度 θ_1 的方式入射后的激光在投影线 S1 上被聚集到与聚光点 P0 距离 X1 的位置, 从而形成聚光点 P1。

[0085] 若将聚光透镜 21 的焦距设为 F, 则具有如下关系,

[0086] $X0 = F \tan \theta_0$

[0087] $X1 = F \tan \theta_1$

[0088] 因此通过改变 θ 便能够改变 3 个聚光点 P0、P1、P2 之间的间隔。

[0089] 另外, 在图 6 的光学系统 2 中, 虽然形成了 3 个聚光点 P0、P1、P2 的激光的光路不同, 但是为了满足上述的同时的条件必须减小光路差。通过使用光延迟介质能够调整光路差。

[0090] 接下来对光学系统 2 的变形方式进行说明。能够将图 7 所示的光学系统 20 用作光学系统 2。利用 AOM (声光调制器) 202 产生引起了波长位移的光束 (一次光)、以及并未引起波长位移的光束 (0 次光), 并将上述光束插入到光栅对 (grating pair) 203。为了满足同时的条件而利用光栅对 203 来调整两束光束的光路差。通过改变 AOM 202 的声波频率来使 θ 变化, 或者通过调整光栅对 203 的栅格的条数 (间距)、次数来使向聚光透镜 201 入射的角度变化, 从而使聚光点在 X 方向上的位置变化。

[0091] 利用来自外部的电信号使 AOM 202 的声波频率变化, 由此能够控制聚光点的位置。

[0092] (实施方式 2)

[0093] 图 8 是实施方式 2 的激光加工装置的概要结构图。图 9 是图 8 的被切断部件 3 的立体图, 图 10 是图 9 的 B-B 线剖视图。

[0094] 如图 8 ~ 图 10 所示, 本实施方式的激光加工装置具备如下光学系统 2A, 该光学系统 2A 使多个深度聚光点 Q0、Q1 从与被切断部件 3 的表面 3a 距离规定深度 Z0 的位置开始沿深度方向同时形成, 此时, 该光学系统 2A 使多个深度聚光点 Q0、Q1 中的至少一个深度聚光点形成于聚光透镜 2A1 的光轴 0 上。

[0095] 在本实施方式中, 在光轴 0 上以与表面 3a 距离 Z0 的深度形成聚光点 Q0, 聚光点 Q1 在光轴 0 上、且在深度方向 (Z 方向) 上形成于比聚光点 Q0 更深的位置。使未图示的移动载台在 X 方向上移动, 由此在 X 方向上按 Q0、Q1 的顺序依次形成两个聚光点 Q0、Q1。

[0096] 由于两个聚光点 Q0、Q1 一部分重叠、接触或接近, 因此如图 10 (a) 所示, 两个聚光点 Q0、Q1 融合而形成椭圆状点 e。由于两个聚光点 Q0、Q1 处于投影线光轴 0 上, 因此椭圆状点 e 的长轴也处于光轴 0 上。其结果, 会产生应力的各向异性, 即会产生使裂纹在长轴方向 (深度方向) 上生长的应力, 从而能够使在深度方向上同时形成的点 Q0、Q1 之间的深度

方向上的间隔增大。即,能够提高移动载台的朝 Z 轴方向的输送速度(厚度方向上的加工速度)。

[0097] 并且,由于同时形成两个聚光点 Q0、Q1,因此不存在足够的能量未到达聚光点的问题、以及聚光点的位置偏离这样的问题。

[0098] 接下来,对实施方式 2 的变形方式进行说明。如图 10(b) 所示,可以使两个聚光点 P0、P1 形成间隔规定的间隔以上的间隔。于是,两个聚光点 Q0、Q1 并不融合,而是形成独立的圆形热源温度分布图案 γ_0 、 γ_1 。拉伸应力作用于独立的圆形热源温度分布图案 γ_0 、 γ_1 之间,从而促进裂纹在光轴 0 方向(厚度方向)上的伸展。

[0099] 并且,如图 11 所示,可以同时形成 3 个聚光点 Q0、Q1、Q2。此时,将向 Q0、Q1、Q2 注入的能量密度设为 E_0 、 E_1 、 E_2 ,并使其满足 $E_0 > E_1 > E_2$,由此使得应力的各向异性(楔效应)提高,从而能够更加提高加工速度。

[0100] 并且,如图 12(a) 所示,将 3 个聚光点 Q0、Q1、Q2 连结的图形可以描绘出三角形。3 个聚光点 Q0、Q1、Q2 融合而形成三角形热源温度分布图案 f,能够使楔效应向上发挥作用。

[0101] 并且,如图 12(b) 所示,将 4 个聚光点 Q0、Q1、Q2、Q3 连结的图形可以描绘出平行四边形,并可以使构成平行四边形的锐角的两个顶点 Q0、Q3 位于光轴 0 上。4 个聚光点 Q0、Q1、Q2、Q3 融合而形成平行四边形热源温度分布图案 g,能够使楔效应向上下发挥作用,从而能够更加提高厚度方向上的加工速度。

[0102] 作为本实施方式的激光加工装置中的光学系统 2A,例如存在图 13 所示的结构。图中的标号 2A2、2A3 表示分光器,标号 2A4、2A5 表示反射镜。标号 2A6 表示中继透镜。

[0103] 利用分光器 2A2 将从光源 1 射出的激光分割成两束。使透过分光器 2A2 的激光透过分光器 2A3 而向聚光透镜 2A1 入射。对于在分光器 2A2 反射的激光,利用中继光学系统 2A6 转换成扩展角为 α 的激光,然后利用分光器 2A3 对其进行反射进而使其向聚光透镜 2A1 入射。

[0104] 如图 13(b) 所示,透过分光器 2A3 的激光被聚集到聚光透镜 2A1 的焦点位置,从而形成聚光点 Q0。在分光器 2A3 反射后的激光被聚集到聚光透镜 Q0 的下方、且与 Q0 距离 Z1 的位置,从而形成聚光点 Q1。

[0105] 若将利用分光器 2A3 反射后的激光在聚光透镜 2A1 上的光束的半径设为 R,则具有如下关系,

$$[0106] \quad Z1 = \{RF / (R - F \tan \alpha)\} - F$$

[0107] 因此通过改变扩展角 α 便能够改变聚光点 Q0、Q1 之间的间隔。

[0108] 另外,在图 13 的光学系统 2A 中,虽然形成两个聚光点 Q0、Q1 的激光的光路不同,但是为了满足上述的同时的条件必须使用光延迟介质来减小光路差。

[0109] 接下来对光学系统 2A 的变形方式进行说明。能够将图 14 所示的光学系统 20A、20B 用作光学系统 2A。

[0110] 如图 14(a) 所示,使用曲率在中心部与周边部不同的多焦点透镜 20A1,由此能够使聚光点分离。虽然附图中举例示出了使 Z 方向上的聚光点分离的方法,但是也能够使 X 方向上的聚光点分离。

[0111] 并且,如图 14(b) 所示,通过使用衍射透镜(菲涅耳透镜)20B1,能够使 Z 方向上的聚光点分离。通过调整衍射透镜 20B1 的槽形状能够调整聚光点处的基于各衍射光的强度。

[0112] (实施方式 3)

[0113] 图 15 是实施方式 3 的激光加工装置的概要结构图。图 16 是图 15 的被切断部件 3 的立体图。图 17(a) 是图 16 的 A-A 线剖视图,图 17(b) 是图 16 的 B-B 线剖视图。

[0114] 如图 15 ~ 图 17 所示,本实施方式的激光加工装置具备光学系统 2B,在截面 3b 上同时形成多个截面聚光点 P0、P1,该截面 3b 在距离被切断部件 3 的表面 3a 规定深度的位置 Z0 与聚光透镜 2B1 的光轴 O 正交且与表面 3a 平行,此时,该光学系统 2B 使多个截面聚光点 P0、P1 中的至少一个截面聚光点形成于切断预定线 S0 朝截面 3b 的投影线 S1 上,并且从规定深度的位置 Z0 开始沿深度方向同时形成多个深度聚光点 Q0、Q1,此时,该光学系统 2B 使多个深度聚光点 Q0、Q1 中的至少一个深度聚光点形成于聚光透镜 2B1 的光轴 O 上。

[0115] 在本实施方式中,两个聚光点 P0、P1 形成于切断预定线 S0 朝截面 3b(XY 平面)的投影线 S1 上,在光轴 O 上以从表面 3a 距离 Z0 的深度形成聚光点 Q0,聚光点 Q1 在光轴 O 上形成于比聚光点 Q0 更深的位置(距离表面 3a 为 $(Z0+Z1)$)。

[0116] 由于两个聚光点 P0、P1 互相接触或接近,因此如图 17(a) 所示,该两个聚光点 P0、P1 在短时间内融合而形成椭圆点 e1。由于两个聚光点 P0、P1 处于投影线 S1 上,因此椭圆状热源温度分布图案 e1 的长轴也处于投影线 S1 上。其结果,会产生应力的各向异性,即会产生使裂纹在长轴方向上生长的应力,因此能够使接下来形成的两个聚光点 P0、P1 之间的间隔增大。因此,能够提高移动载台的朝 X 方向的输送速度(切断方向上的加工速度)。

[0117] 由于两个聚光点 Q0、Q1 一部分重叠、接触或接近,因此如图 17(b) 所示,该两个聚光点 Q0、Q1 在短时间内融合而形成椭圆状点 e2。由于两个聚光点 Q0、Q1 处于光轴 O 上,因此椭圆状热源温度分布图案 e2 的长轴也处于光轴 O 上。其结果,会产生应力的各向异性,即会产生使裂纹在长轴方向(深度方向)上生长的应力,从而能够使在深度方向上同时形成的其它点 Q0、Q1 在深度方向上的间隔增大。即,能够增大使焦点位置在厚度方向上错开的量,从而能够提高厚度方向上的加工速度(聚光透镜的厚度方向上的相对移动速度)。

[0118] 作为本实施方式的激光加工方法中的光学系统 2B,例如存在图 18 所示的结构。图中的标号 2B2、2B3、2B4、2B5 表示分光器,标号 2B6、2B7、2B8、2B9 表示反射镜,标号 2B10 和 2B11 表示中继透镜。

[0119] 利用分光器 2B2 将从光源 1 射出的激光分割成两束,利用分光器 2B3 对一方的激光进行进一步分割。

[0120] 从分光器 2B2 透过的激光,透过分光器 2B3、2B4、2B5 进而向聚光透镜 2B1 入射,从而形成聚光点 P0(Q0)。

[0121] 对于在分光器 2B2 反射后的激光,利用中继透镜 2B10 转换成扩展角为 α 的激光。然后,该激光在分光器 2B4 被反射进而向聚光透镜 2B1 入射,从而形成聚光点 Q1。另外,能够通过改变中继透镜 2B10 的透镜间隔(Z 方向上的距离)来改变扩展角。

[0122] 利用中继透镜 2B11 将在分光器 2B3 反射后的激光的传播方向改变。然后,该激光在分光器 2B5 反射进而从与光轴 O 成角度 θ 的方向朝聚光透镜 2B1 入射,从而形成聚光点 P1。另外,在中继透镜 2B11 的倍率高的情况下,通过改变中继透镜 2B11 的轴偏角(煽り角)能够改变传播方向。

[0123] 另外,在图 18 的光学系统 2B 中,虽然形成 3 个聚光点 P0(Q0)、P1、Q1 的激光的光路不同,但是为了满足上述的同时的条件必须减小光路差。

[0124] 接下来对光学系统 2B 的变形方式进行说明。可以将图 19 所示的光学系统 2C 用作光学系统 2B。使通过衍射光栅 2C2 而获得的多次衍射光独立地在反射镜 2C3 ~ 2C7 反射,并在聚光透镜 2C1 聚集回射光。

[0125] 对独立地反射各 n 次光的反射镜 2C3 ~ 2C7 进行配置,通过调节各反射镜相对于入射光束的角度,能够分别使回射光相对于聚光透镜 2C1 的入射角发生变化,并使聚光点 P_0 、 P_1 形成于被割断部件 3 的割断预定线 S_0 朝截面 (XY 平面) 的投影线 S_1 上。

[0126] 由于在反射镜 2C7 的调节角 α 与相对于聚光透镜 2C1 的入射角 β 之间具有 $\beta = 2\alpha \cos \theta_t / \cos \theta_i$ 的关系,因此通过调节 α 能够改变入射角 β 。此处, θ_i 是相对于衍射光栅 2C2 的入射角, θ_t 是从衍射光栅 2C2 的射出角。

[0127] 并且,通过调整各反射镜 2C3 ~ 2C7 的反射面的曲率,能够分别使回射光向聚光透镜 2C1 入射时的扩展角 (或收缩角) 发生变化,从而能够形成相对于 Z 方向在期望的空间内分离的聚光点。

[0128] 通过调节衍射光栅的光栅形状,能够将各 n 次光的强度最优化成期望的强度。

[0129] 并且,可以将图 20 所示的光学系统 2D 用作光学系统 2B。利用光束扩展器 2D2 使从光源 1 射出的一束光束扩展,并使扩展后的光束向安装于小孔 2D3 ~ 2D5 的多个玻璃棒 2D6 ~ 2D8 入射。通过改变玻璃棒 2D6 ~ 2D8 的射出侧的端面角度,能够使向聚光透镜 2D1 入射的光束的角度发生变化,从而能够使聚光点在 X 方向上的位置发生变化。

[0130] 并且,通过调整玻璃棒 2D6 ~ 2D8 的射出侧端面的曲率,能够分别使向聚光透镜 2D1 入射时的扩展角 (或收缩角) 发生变化,从而能够使 Z 方向上的位置发生变化。或者,使用自聚焦透镜 (具有越靠近直径外侧折射率越小的折射率分布的透镜) 来取代简单的玻璃棒,由此能够分别使向聚光透镜 2D1 入射时的扩展角 (或收缩角) 发生变化,从而能够使 Z 方向上的位置发生变化。

[0131] 更加优选地,若通过叠装 6 角形的玻璃而形成复眼透镜 (fly eye lens),则暗角部分会消失,因此能够抑制损失。

[0132] 在通常的高斯光束中,分离后的各焦点之间的强度分布也以高斯分布为基准。为了使各聚光点的强度分布均匀,必须在小孔 2D3 ~ 2D5 的上游放置顶帽 (top hat) 分布转换光学系统,使得向各小孔入射的光束的强度相等。

[0133] 进而,可以将图 21 所示的光学系统 2E 用作光学系统 2B。利用开孔锥形镜对 (axicon mirror pair) 2E2 使从光源 1 射出的光束分离成中心小的光束与圆环 (donuts) 型的光束,从而在聚光透镜 2E1 进行聚光。为了使在锥形镜对 2E2 内折返的激光、与从中心的孔穿过的激光到达聚光透镜 2E1 的时间一致,对延迟介质 2E3 的长度进行调整,使得在锥形镜对 2E2 内折返的光路长、与延迟介质 2E3 内的有效光路长一致。通过改变延迟介质 2E3 的射出侧端面角度,会使向聚光透镜 2E1 入射的光束的角度发生变化,从而能够使聚光点在 X 方向上的位置发生变化。并且,通过调整延迟介质 2E3 的射出侧端面的曲率,会分别使向聚光透镜入射时的扩展角 (或收缩角) 发生变化,从而能够使 Z 方向上的位置发生变化。或者,将自聚焦透镜用作延迟介质 2E3 以取代简单的均匀介质,由此也分别能够使向聚光透镜入射时的扩展角 (或收缩角) 发生变化,从而能够使 Z 方向上的位置发生变化。

[0134] 接下来,对本发明的模拟结果与实验结果进行说明。

[0135] [模拟 1] 对于利用实施方式 1 的激光加工装置同时形成的多个聚光点在短时间内

融合而成为一个椭圆状热源温度分布图案的情况,使用“基于内部圆筒热源列的热传导数值解析模型”进行了模拟。

[0136] 主要的模拟条件如下。

[0137] 被割断部件:蓝宝石

[0138] 聚光点形成深度 Z_0 : $20\text{ }\mu\text{m}$

[0139] 聚光点直径: $2\text{ }\mu\text{m}$

[0140] 聚光点中心间隔: $2\text{ }\mu\text{m}$

[0141] 聚光点个数: 3

[0142] 每个聚光点处的激光脉冲能量: $0.25\text{ }\mu\text{J}$

[0143] 图 22 中示出了模拟结果。在照射激光脉冲以后经过了大约 10ps , 形成了图 22(a) 所示的椭圆状热源温度分布图案。图 22(b) 示出了从图 22(a) 开始经过了 10ns 后的椭圆状热源温度分布图案。中心的最黑的区域约为 4000°K , 外侧的发白的区域约为 1500°K , 中间区域约为 $2500^\circ\text{K} \sim 3000^\circ\text{K}$ 。

[0144] 根据该模拟可知, 若同时聚集照射多个激光脉冲, 则几乎在瞬间 (大约 10ps 以后) 内融合从而会发现椭圆状热源温度分布图案。

[0145] [模拟 2] 对于以时间差零 ($\tau = 0$) 形成三个聚光点时的热源温度分布图案的形状尺寸、与以时间差 0.003nsec 、 0.03nsec 、 0.3nsec 形成三个聚光点时的热源温度分布图案的形状尺寸, 使用“基于内部圆筒热源列的热传导数值解析模型”进行了模拟。

[0146] 主要的模拟条件如下。

[0147] 被割断部件:蓝宝石

[0148] 聚光点形成深度 Z_0 : $5\text{ }\mu\text{m}$

[0149] 聚光点直径: $2\text{ }\mu\text{m}$

[0150] 聚光点中心间隔: $2\text{ }\mu\text{m}$

[0151] 聚光点个数: 3

[0152] 聚光点的时间差: 0sec 、 0.003nsec 、 0.03nsec 、 0.3nsec

[0153] 每个聚光点处的激光脉冲能量: $1\text{ }\mu\text{J}$

[0154] 图 23 中示出了模拟结果。图 23 是自形成三个聚光点起经过了 10nsec 以后的热源的温度分布图案, (a) 以时间差零形成三个聚光点时的热源温度分布图案, (b) 是使正中央的聚光点比两侧的聚光点延迟 0.003nsec 形成时的热源温度分布图案, (c) 是使两侧的聚光点比正中央的聚光点延迟 0.003nsec 形成时的热源温度分布图案, (d) 是使正中央的聚光点比两侧的聚光点延迟 0.03nsec 形成时的热源温度分布图案, (e) 是使两侧的聚光点比正中央的聚光点延迟 0.03nsec 形成时的热源温度分布图案, (f) 是使正中央的聚光点比两侧的聚光点延迟 0.3nsec 形成时的热源温度分布图案, (g) 是使两侧的聚光点比正中央的聚光点延迟 0.3nsec 形成时的热源温度分布图案。

[0155] 根据图 23 可知, 即使是在本模拟中最大幅度延迟的 $\tau = 0.3\text{nsec}$ 时的温度分布图案 (f)、(g), 与 $\tau = 0$ 时的温度分布图案 (a) 相比形状及尺寸也相同。因此, 在使多个聚光点形成于蓝宝石的情况下, 只要使多个聚光点的时间差处于至少 0.3nsec 以内, 就能够获得与同时 (时间差为零) 形成时具有相同的形状尺寸的热源温度分布图案。

[0156] [模拟 3] 对于使两个聚光点的间隔发生变化时的热源的温度分布图案, 使用“基

于内部圆筒热源列的热传导数值解析模型”进行了模拟。接下来,使用“基于有限元法的应力解析模型”对此时的应力分布进行了求解。

[0157] 主要的模拟条件如下。

[0158] 被割断部件:蓝宝石

[0159] 聚光点形成深度 Z_0 : $20\ \mu\text{m}$

[0160] 聚光点直径: $2\ \mu\text{m}$

[0161] 聚光点中心间隔: $2\ \mu\text{m}$ 、 $4\ \mu\text{m}$ 、 $6\ \mu\text{m}$

[0162] 聚光点个数: 2

[0163] 每个聚光点处的激光脉冲能量: $1\ \mu\text{J}$

[0164] 解析区域: $5\ \mu\text{m} \times 10\ \mu\text{m}$

[0165] 单元: 二次元 4 节点线形单元

[0166] 单元个数: 5000

[0167] 节点数: 5151

[0168] 初始温度: 0°C

[0169] 图 24 ~ 图 26 中示出了模拟结果。图 24 及图 25 分别示出了聚光点中心间隔为 $2\ \mu\text{m}$ 及 $4\ \mu\text{m}$ 时的热源温度分布图案及应力分布图案(将聚光点中心间隔为 $6\ \mu\text{m}$ 的情况割爱省略)。图 26 是以采用图 24 等的应力分布图案的最大应力为纵轴、且采用聚光点间隔为横轴的方式进行图表化而成的图表。

[0170] 根据图 24 及图 25 可知,虽然在点间隔为 $2\ \mu\text{m}$ 的情况下,自发现热源起经过 20ns 以后融合而形成椭圆状热源温度分布图案,但是若点间隔为至少 $4\ \mu\text{m}$ 以上,则不会进行融合。

[0171] 并且可知,在点间隔为 $2\ \mu\text{m}$ 的情况下,仅在热源的外侧产生拉伸应力,与此相对,若点间隔为至少 $4\ \mu\text{m}$ 以上,则拉伸张力会作用于两个圆形热源之间。

[0172] [模拟 4] 对于根据通过实施方式 1 的激光加工装置而发现的椭圆状热源温度分布图案所产生的应力,使用“基于有限元法的应力解析模型”进行了求解。

[0173] 主要的模拟条件如下。

[0174] 被割断部件:蓝宝石

[0175] 椭圆状热源的长径 $\times$ 短径: $2\ \mu\text{m} \times 0.5\ \mu\text{m}$

[0176] 每个椭圆状热源处的激光脉冲能量: $1\ \mu\text{J}$

[0177] 图 27 中示出了模拟结果。在照射激光脉冲经过了大约 100ps 以后,热源的中心温度达到 9843°K ,此时(图 27 的横轴 0ns 的时刻)表现出最大应力。虽然曲线 τ 示出了 Y 方向的应力,曲线 ι 示出了 X 方向的应力,但是根据图 27 可知,与椭圆状热源温度分布图案的长轴正交的方向(Y 方向)的拉伸应力大于长轴方向(X 方向)的拉伸应力。

[0178] 图 27 中还示出了圆形热源的应力曲线 ω 。据此可知,虽然在椭圆状热源温度分布图案刚产生以后,作用有比圆形热源大的拉伸张力,但是由于冷却速度比圆形热源快,因此在经过了规定时间以后拉伸应力会变得比圆形热源小。

[0179] 根据这些情况可知,聚集照射脉冲激光,使得产生如下热源温度分布图案:在作用有最大应力的时刻与长轴正交的方向的应力超过被割断部件的破坏阈值,另一方面,长轴方向的应力为被割断部件的破坏阈值以下,由此能够使裂纹仅在椭圆的长轴方向上产生。

[0180] 并且可知：由于应力随着时间的流逝而减小，当处于初期的温度高的状态时作用有最大的应力，因此必须在产生裂纹的破坏应力能够发挥作用的时间界限之前形成具有椭圆轮廓的热源。

[0181] < 实施例 >

[0182] 利用实施方式 1 的激光加工装置进行了加工实验。加工条件如下。

[0183] 光源 1：具有下述规格、性能的锁模光纤激光器（美国 imra 公司，模型 D1000）

[0184] 中心波长：1045nm

[0185] 光束直径：4mm

[0186] 模式：单束（高斯分布）

[0187] 脉冲宽度：700fs

[0188] 脉冲能量：10 μ J（最大）

[0189] 重复频率：100kHz（最大）

[0190] 平均能量：1000mW（最大）

[0191] 聚光透镜 21：显微镜用物镜（焦距：4mm，数值孔径：0.65）

[0192] 聚光点直径：2 μ m

[0193] 被割断部件 3：蓝宝石

[0194] 同时聚光点个数：2

[0195] 聚光点中心间隔：2 μ m

[0196] 载台扫描速度：1000mm/s（相邻的两个聚光点之间的间隔为 10 μ m，参照图 28(a)。）

[0197] 图 28(b) 是对蓝宝石进行内部加工的透视图。可知：裂纹从两个同时聚光点开始在割断方向上完美整齐地延伸。

[0198] < 比较例 >

[0199] 在上述实施例的加工条件的基础上，除了将同时聚光点个数设为 1、以及将载台扫描速度设为 500mm/s（点间隔为 5 μ m，参照图 29(a)）以外，其它加工条件与上述实施例皆相同。

[0200] 图 29(b) 是对蓝宝石进行内部加工的透视图。可知：在与将聚光点连接的方向不同的方向（结晶方位）上，产生了对割断无益处的多余的裂纹。

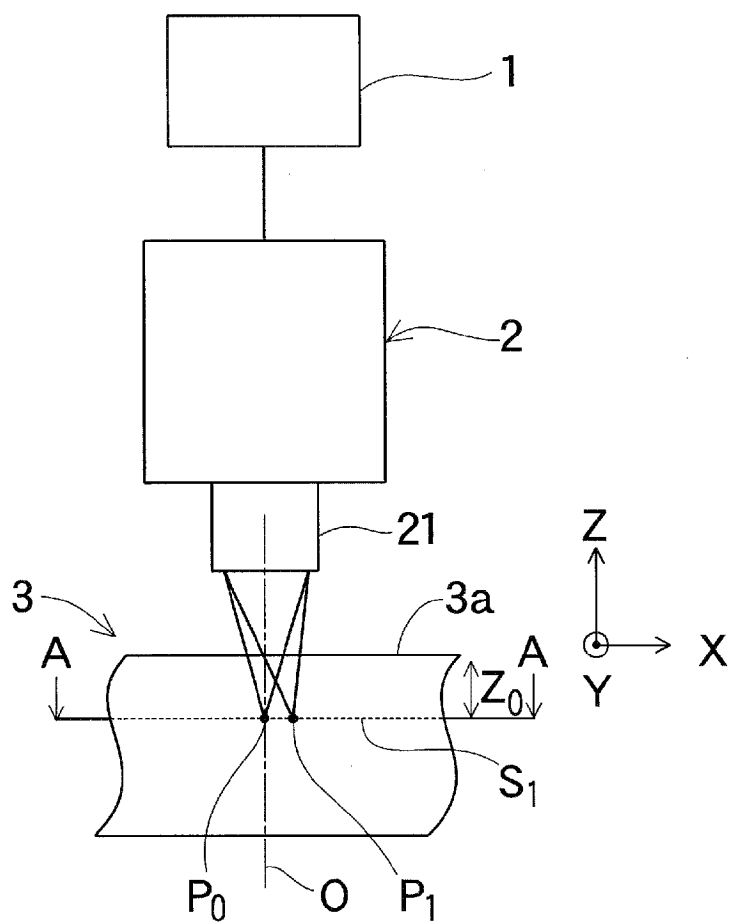


图 1

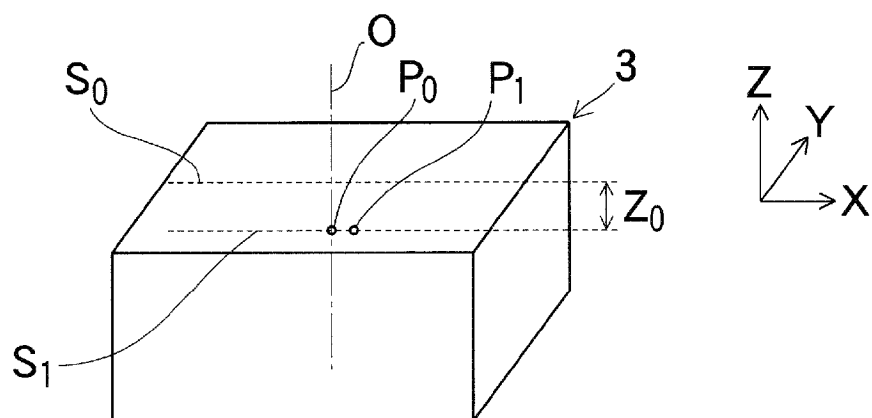


图 2

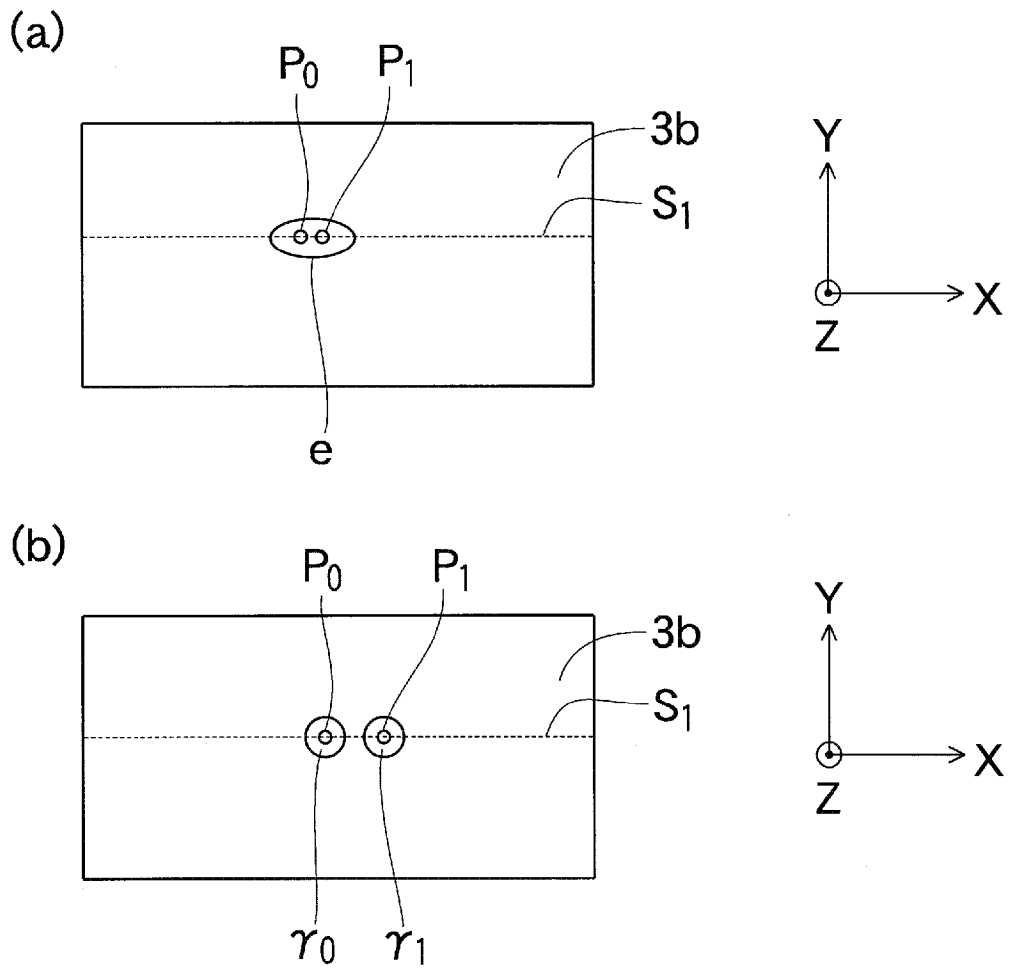


图 3

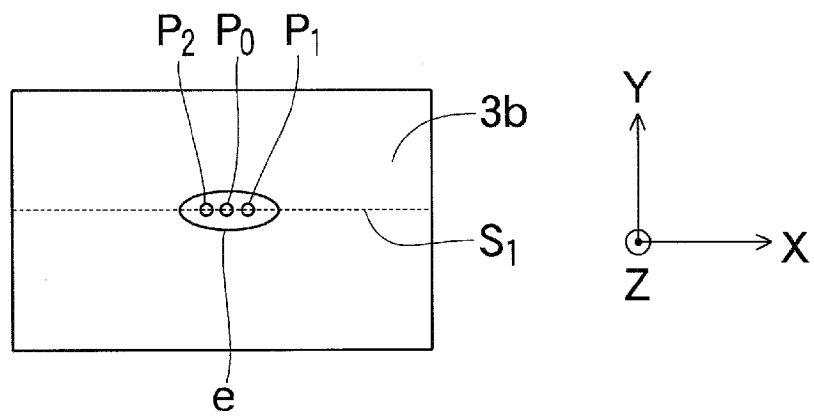


图 4

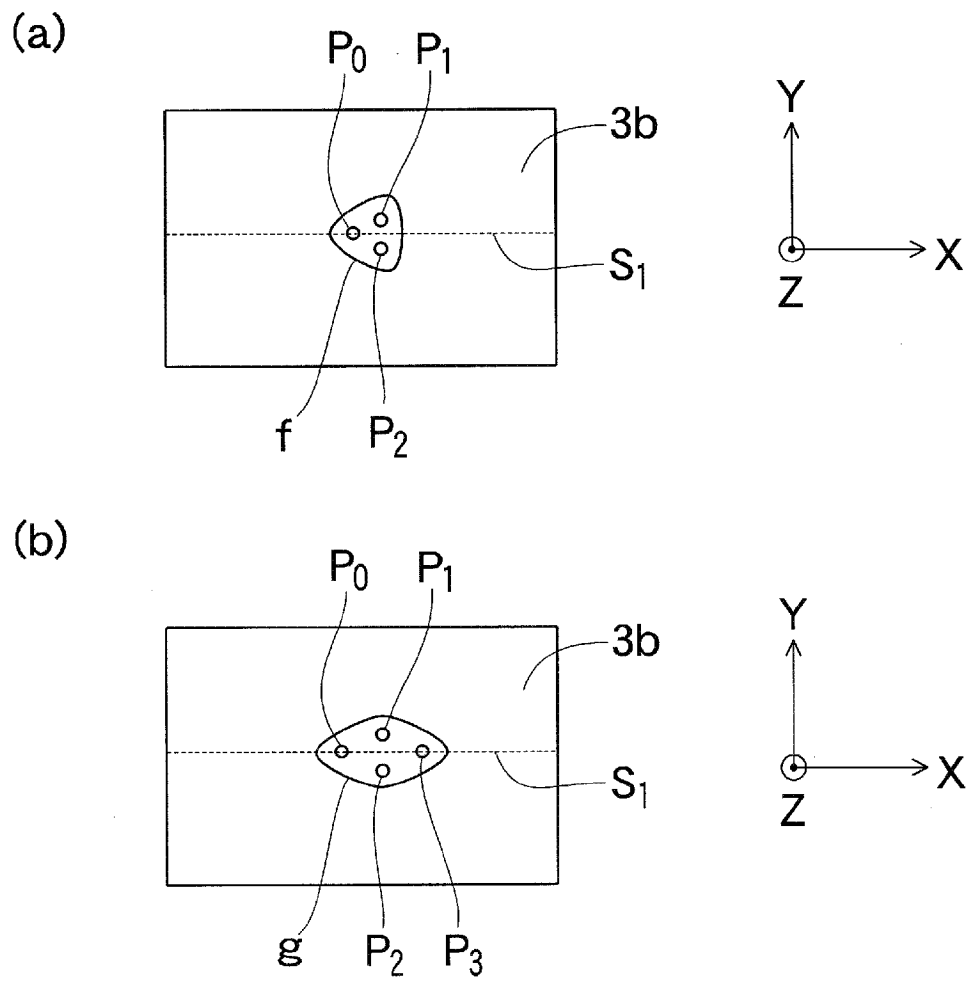


图 5

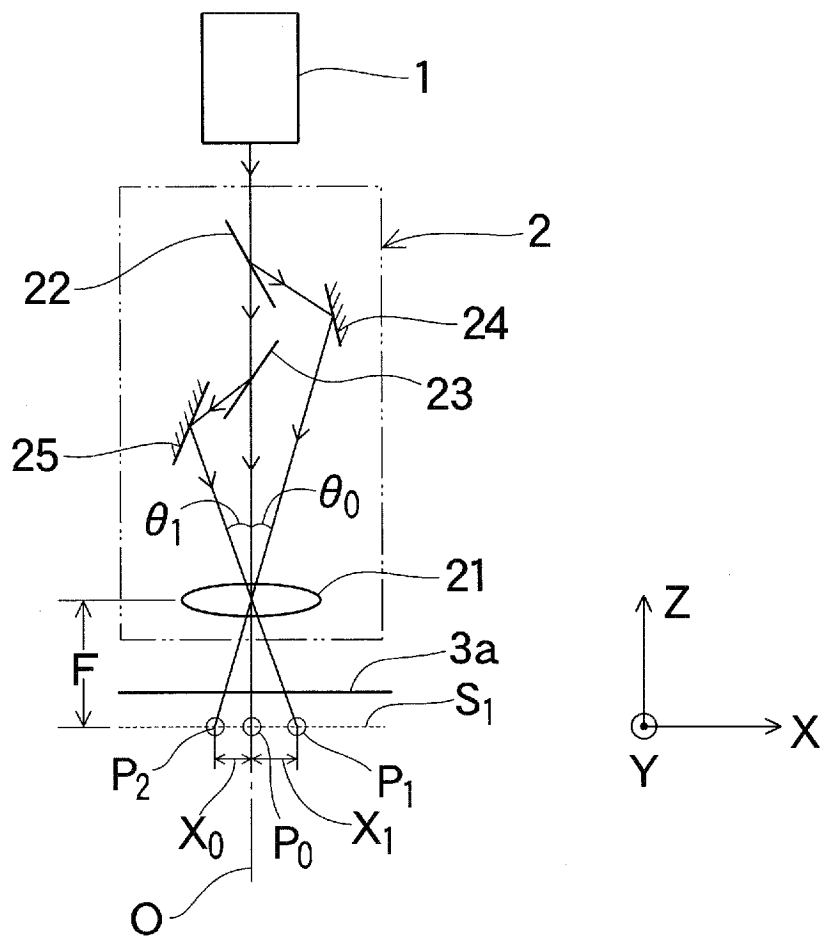


图 6

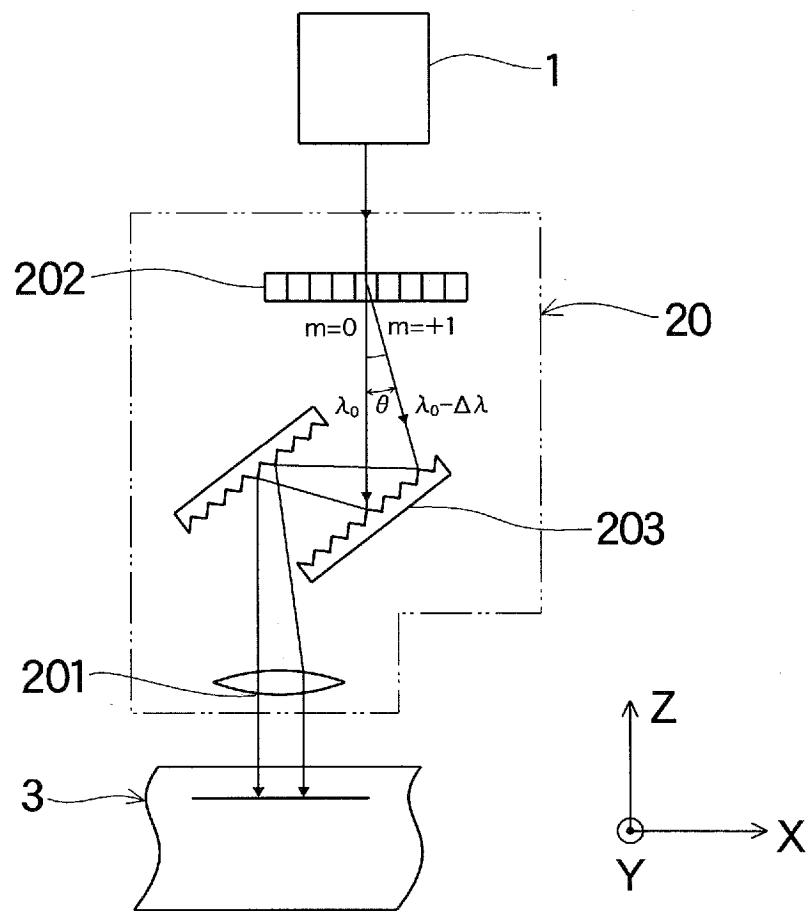


图 7

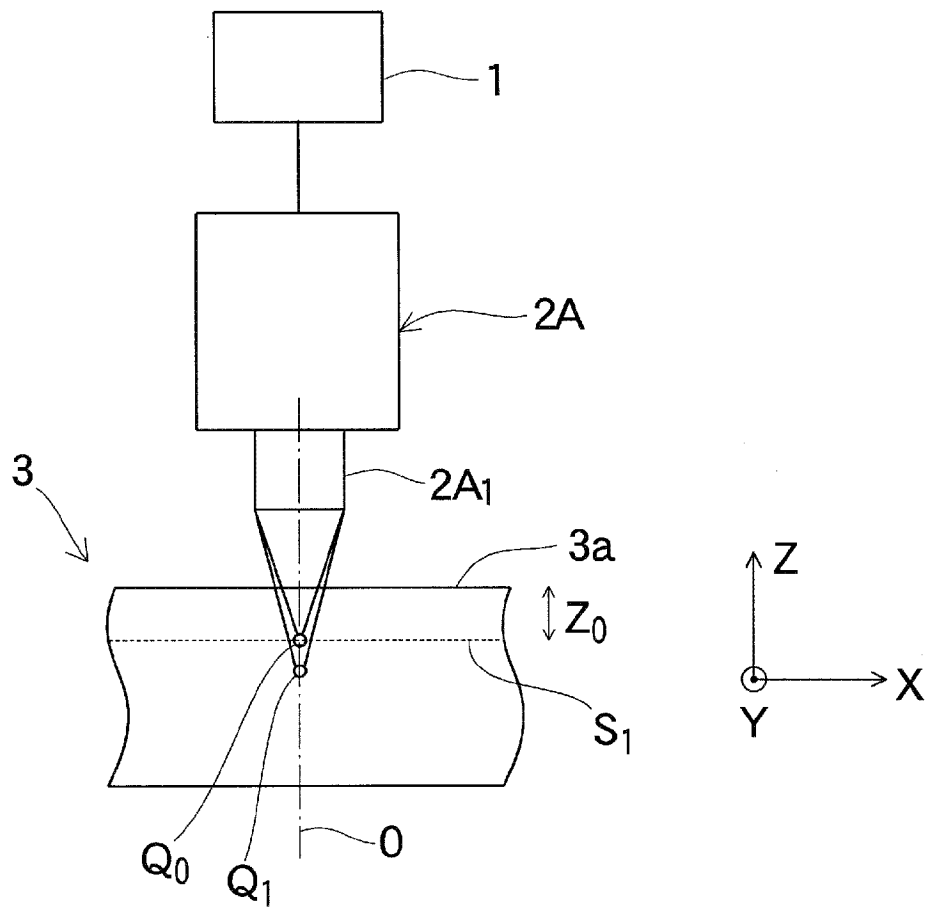


图 8

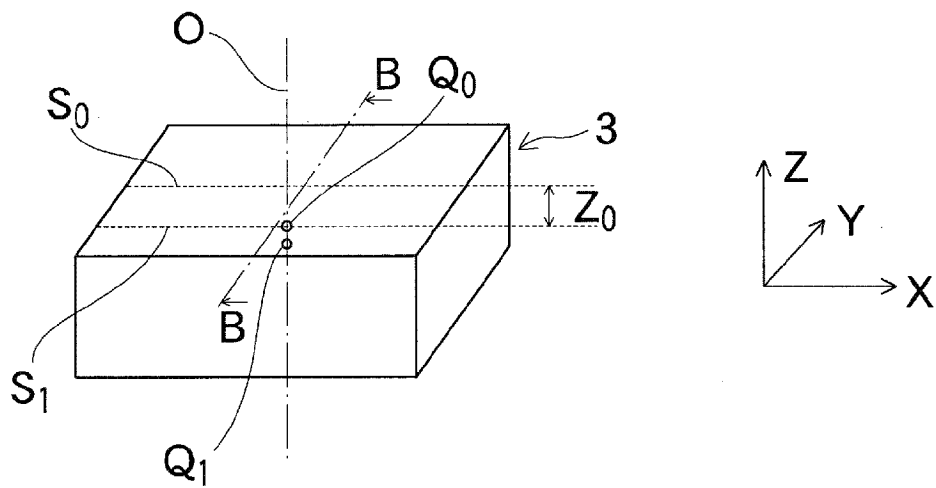
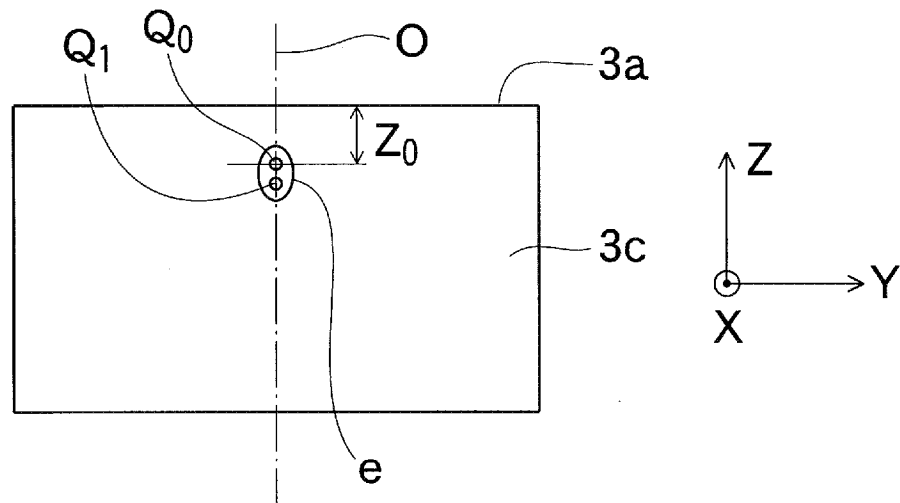


图 9

(a)



(b)

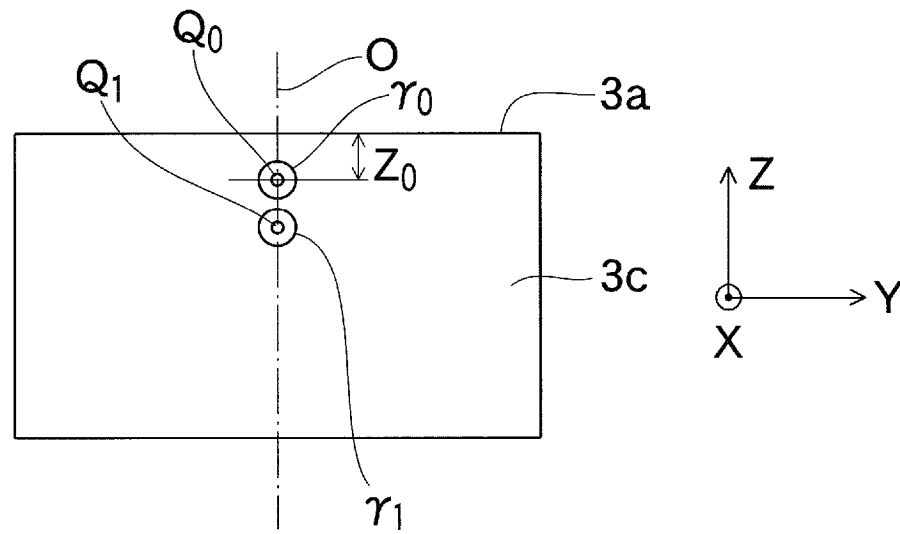


图 10

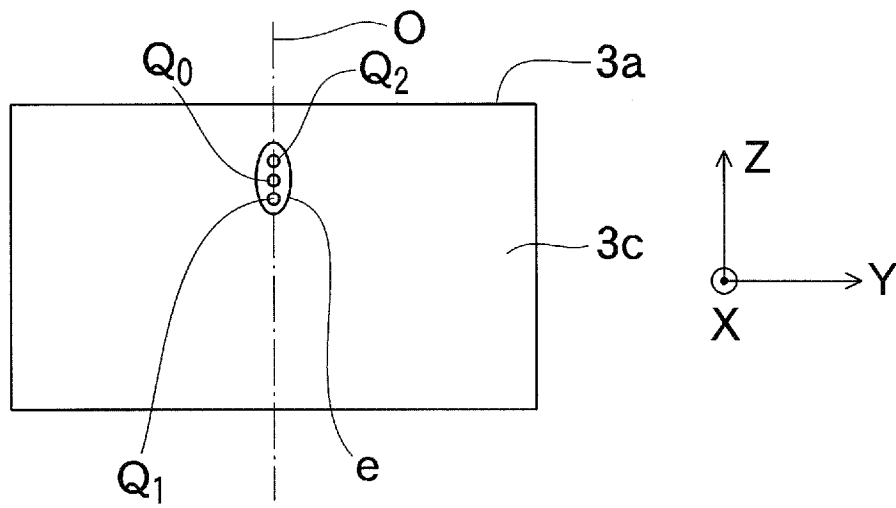
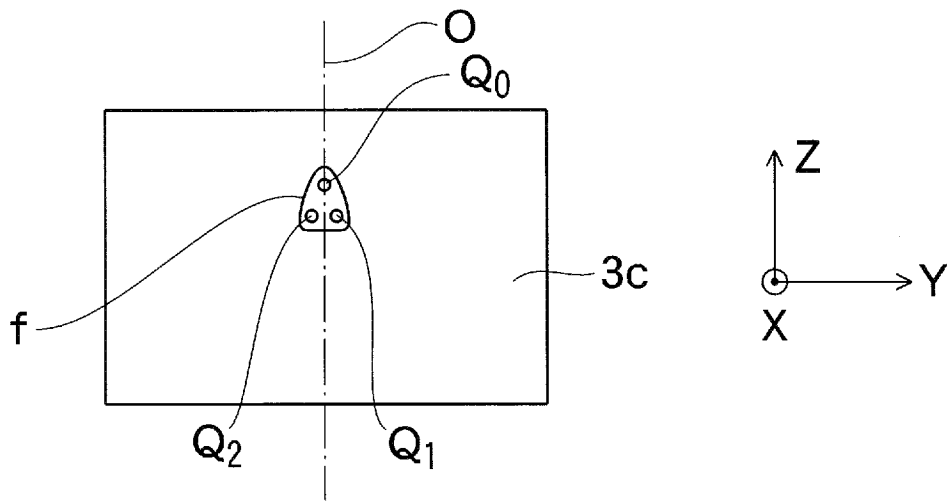


图 11

(a)



(b)

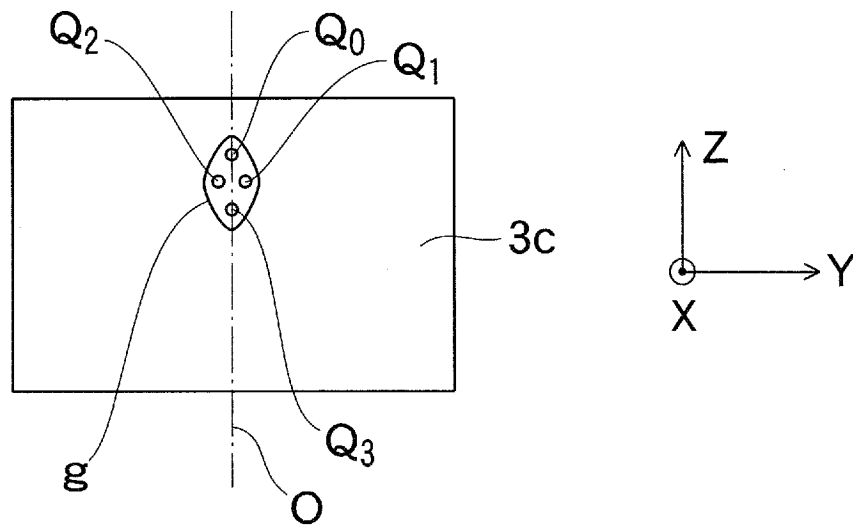
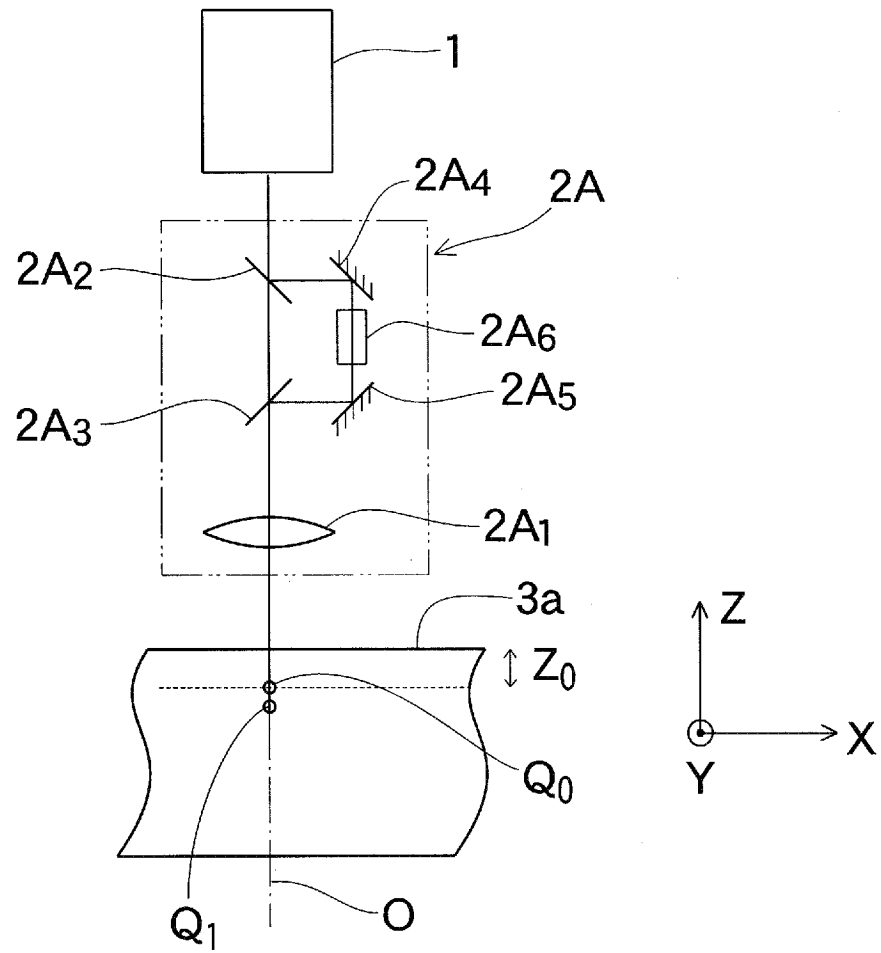


图 12

(a)



(b)

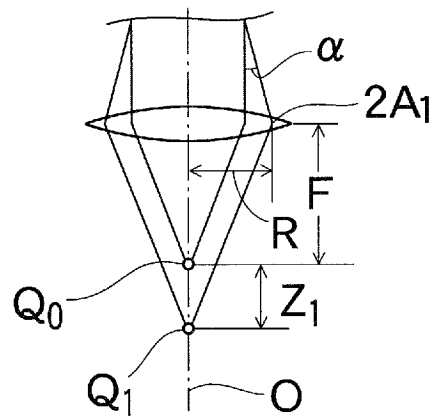
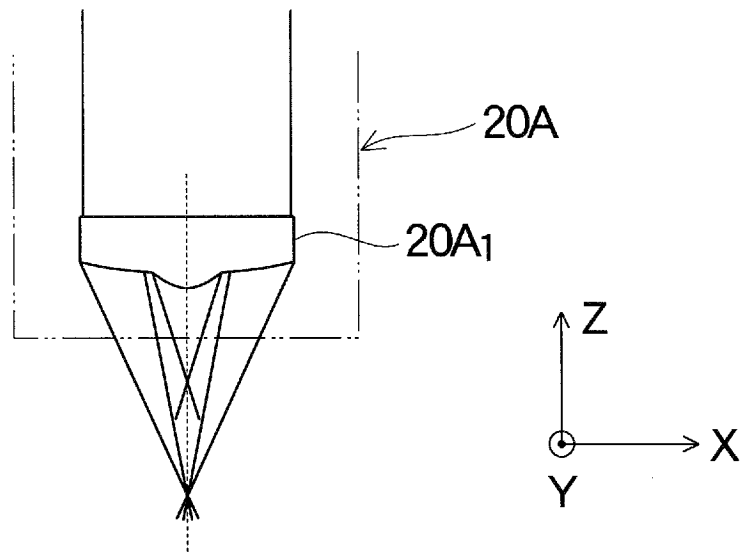


图 13

(a)



(b)

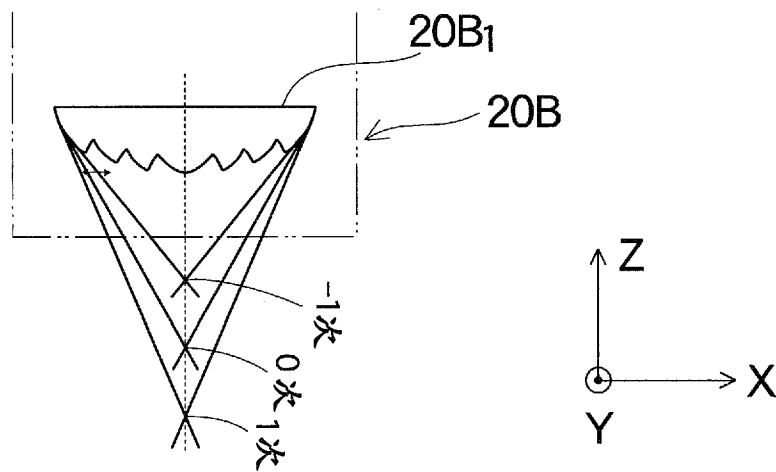


图 14

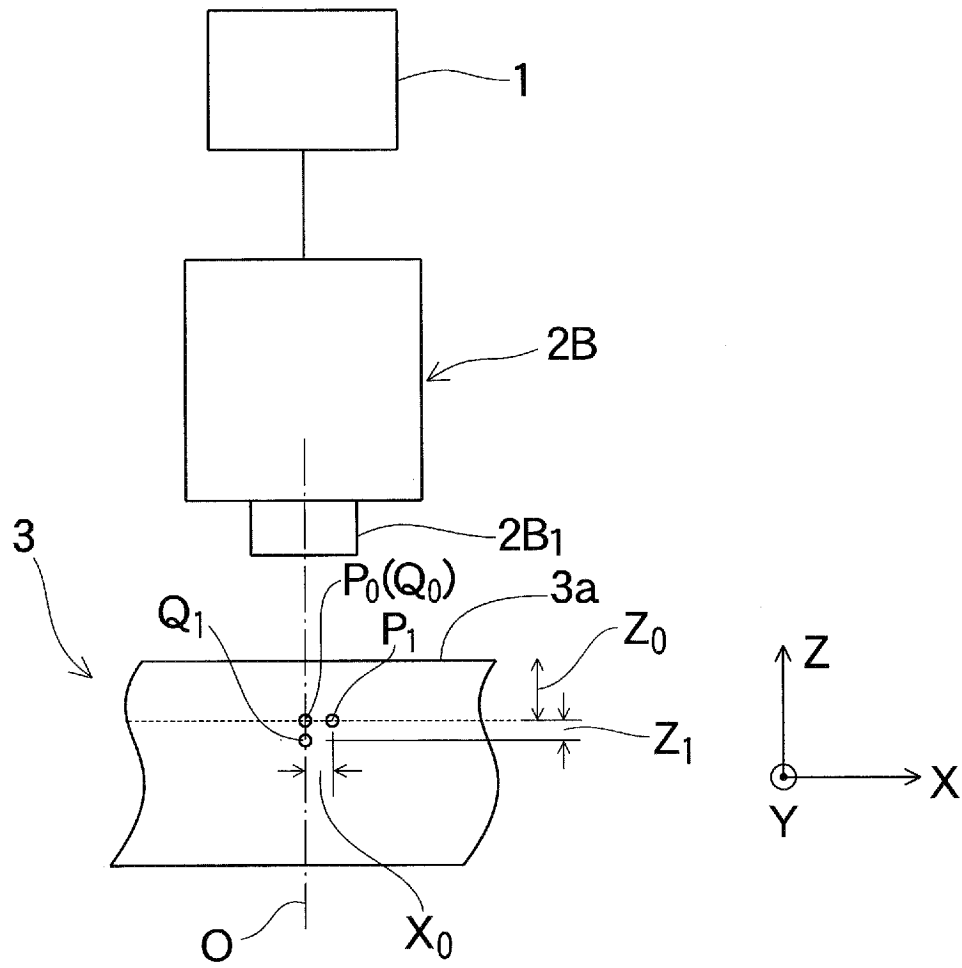


图 15

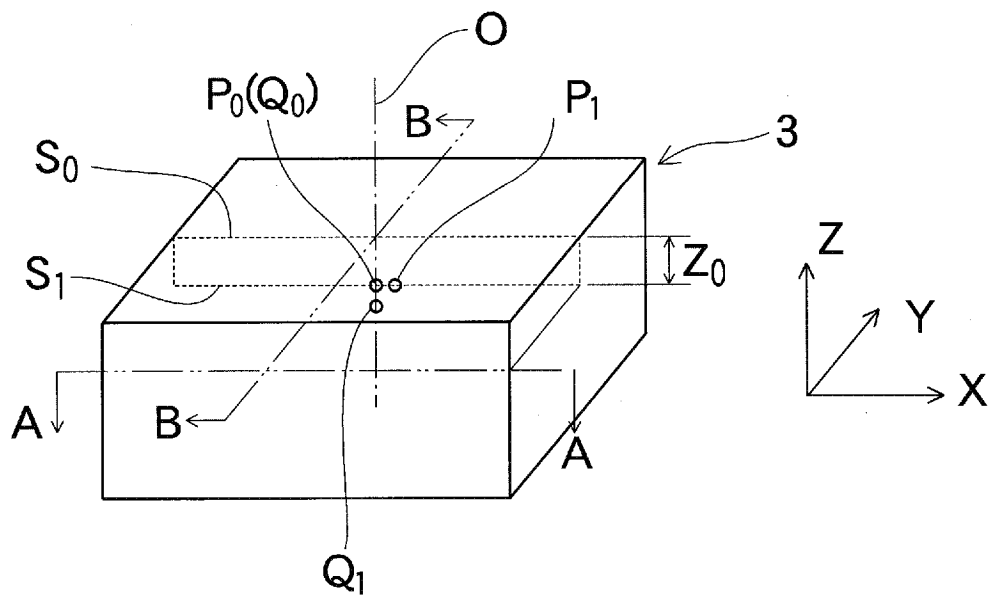
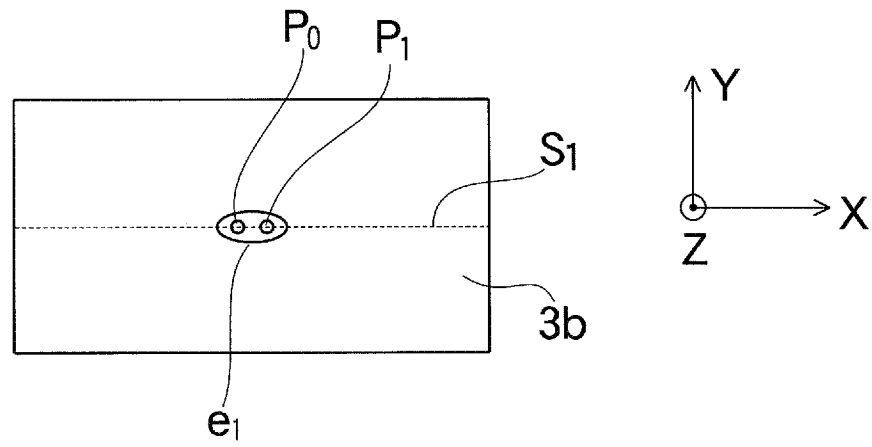


图 16

(a)



(b)

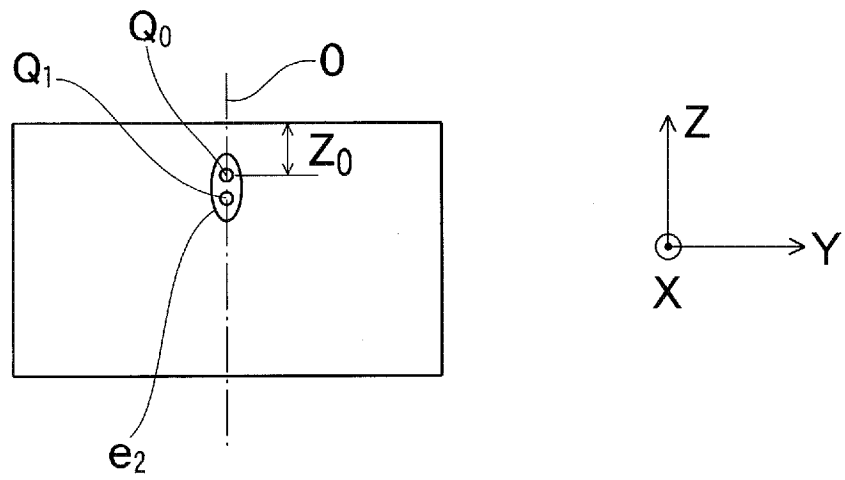


图 17

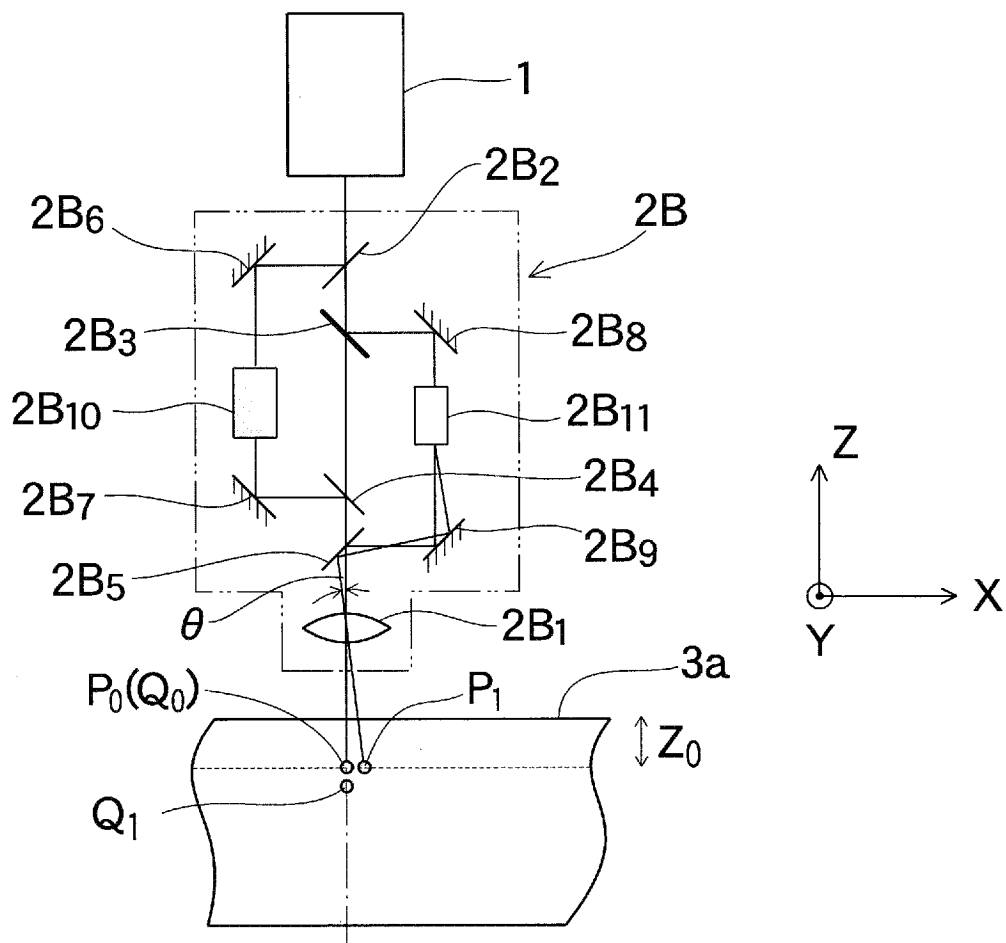


图 18

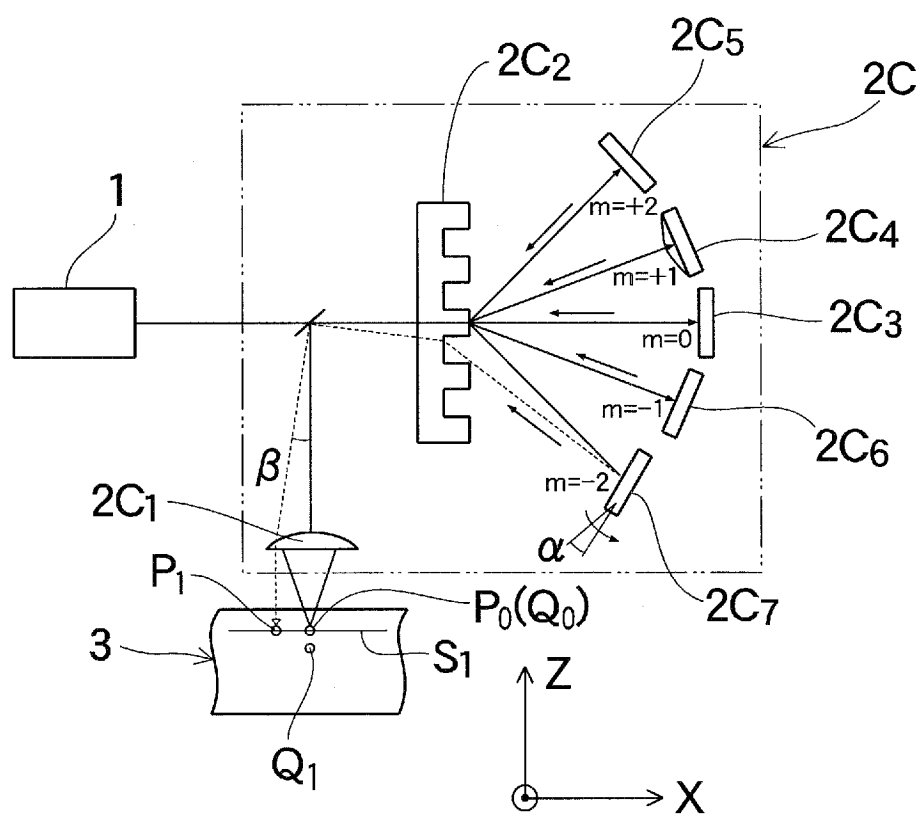


图 19

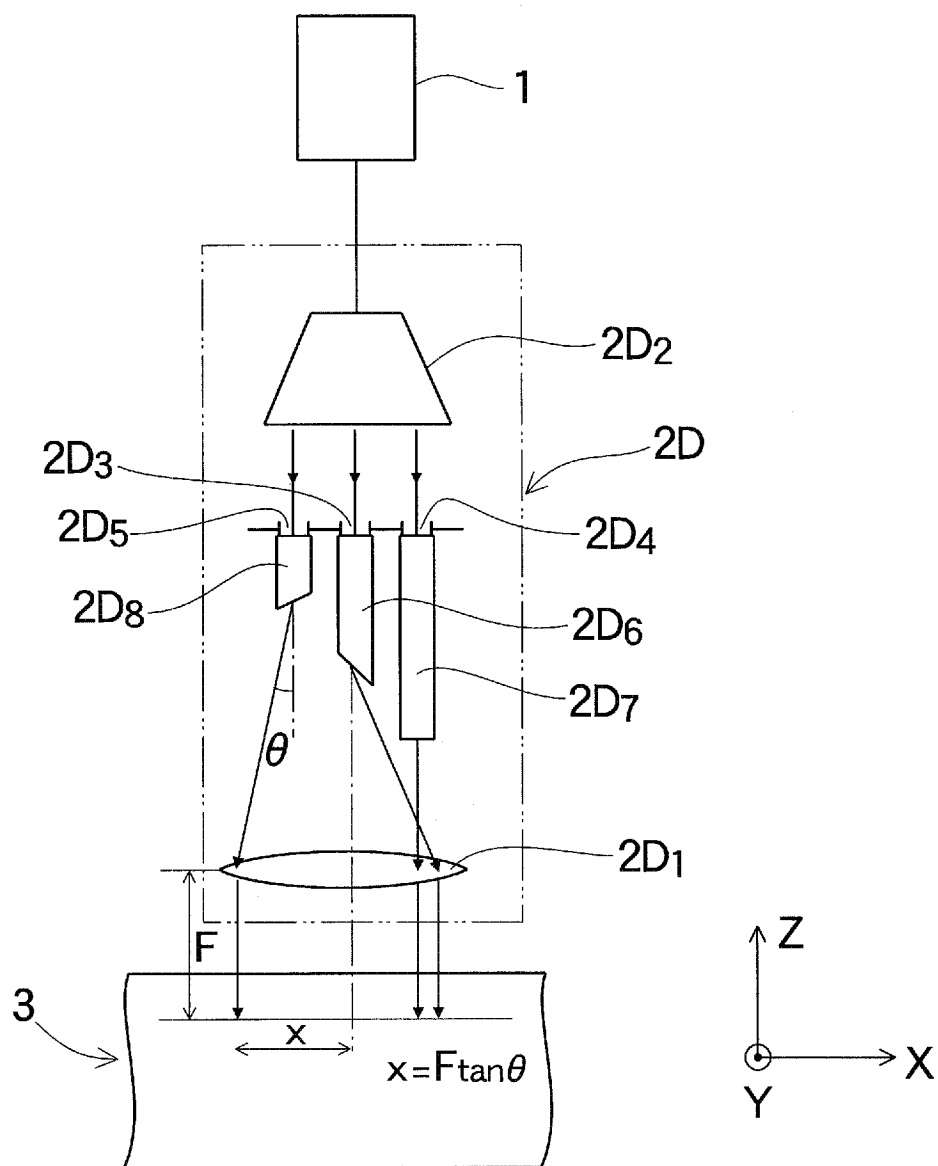


图 20

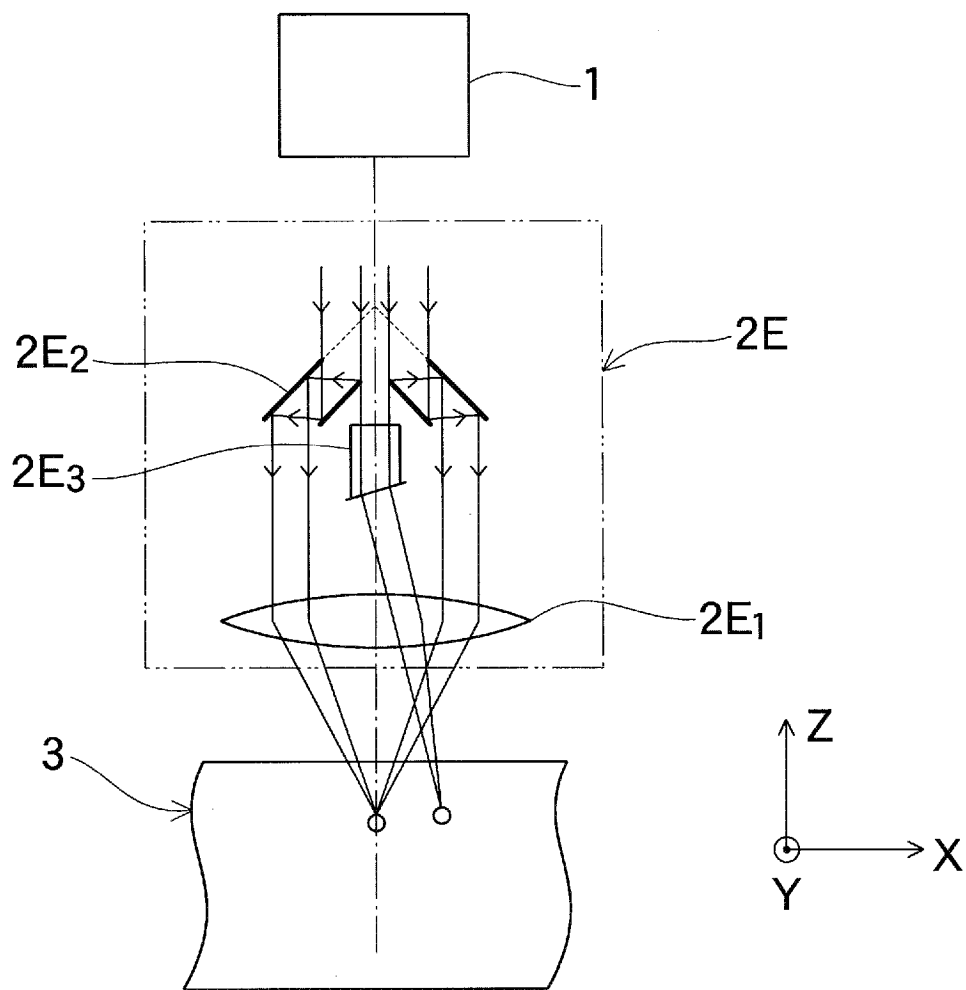


图 21

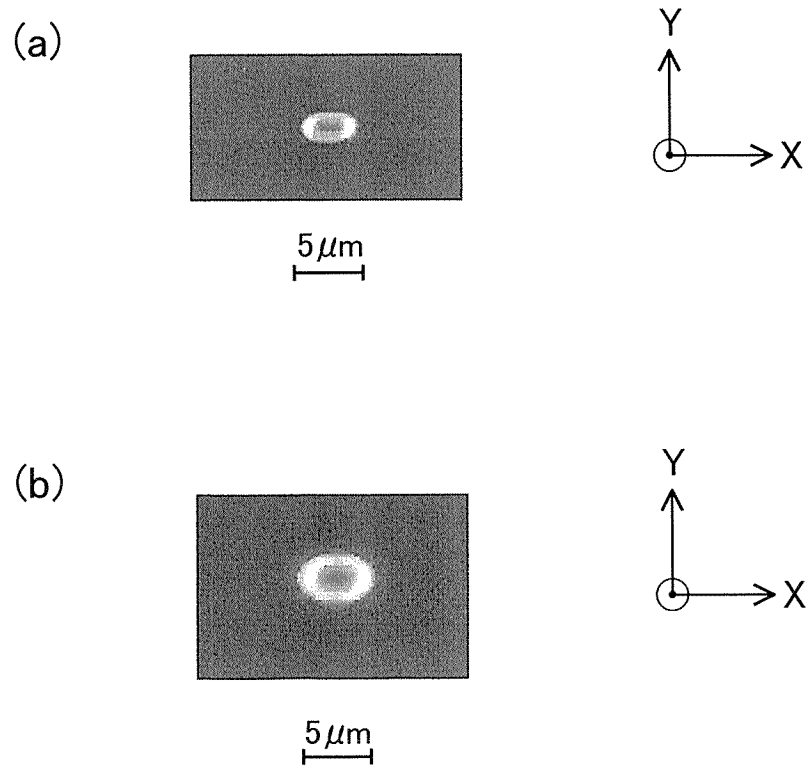


图 22

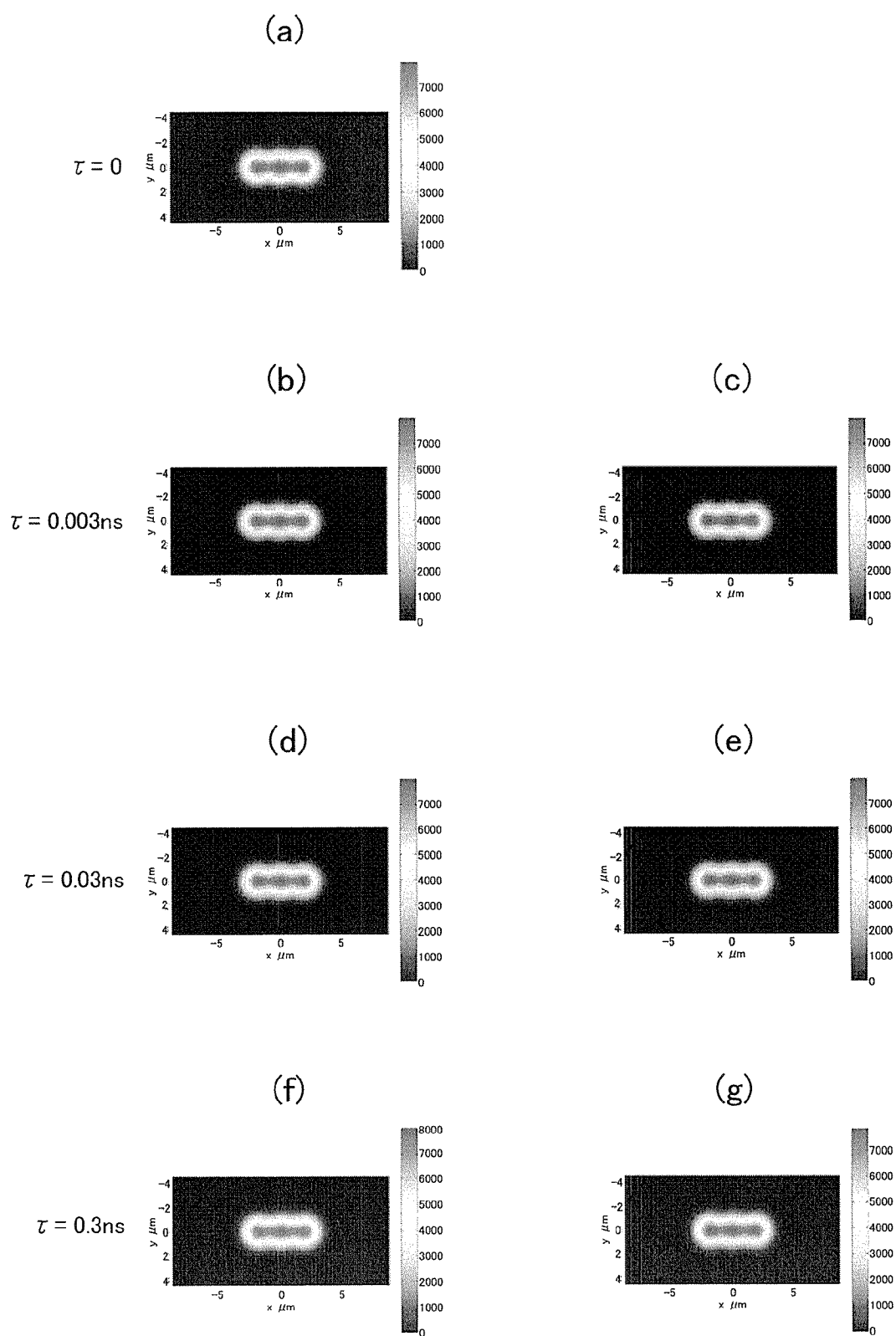


图 23

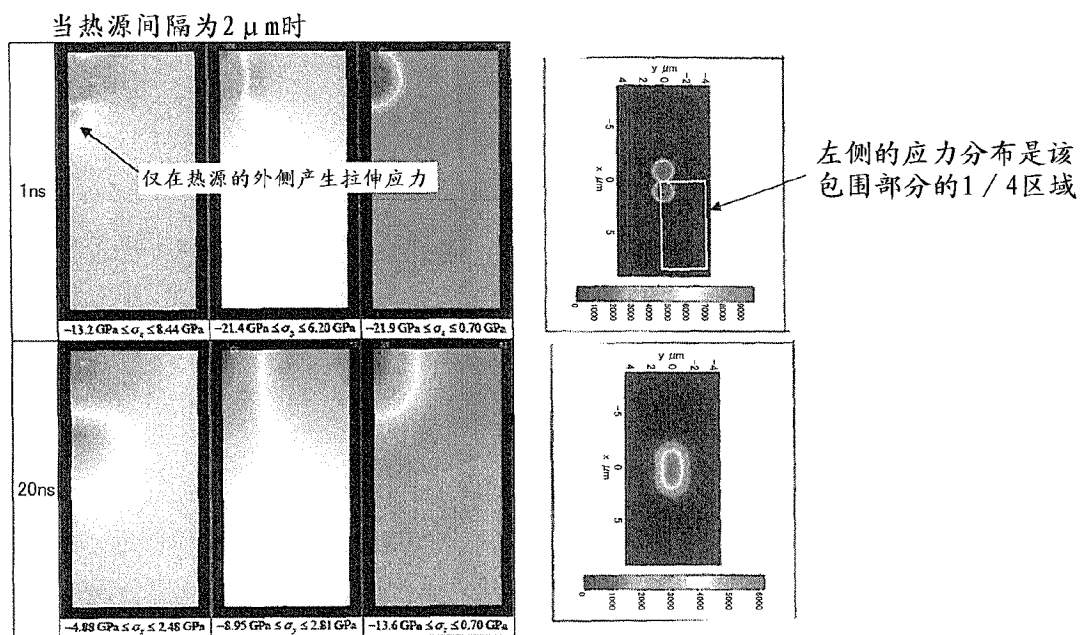


图 24

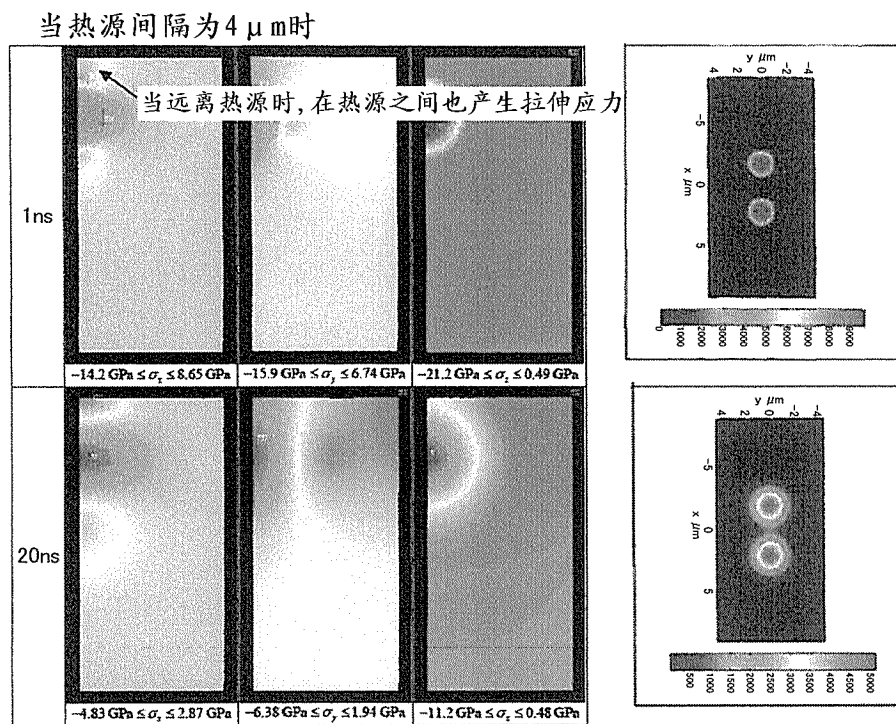


图 25

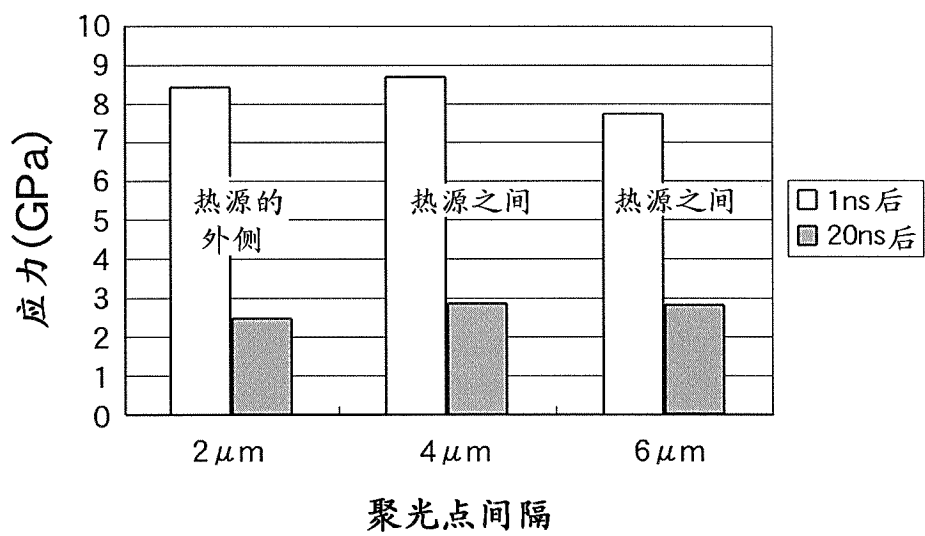


图 26

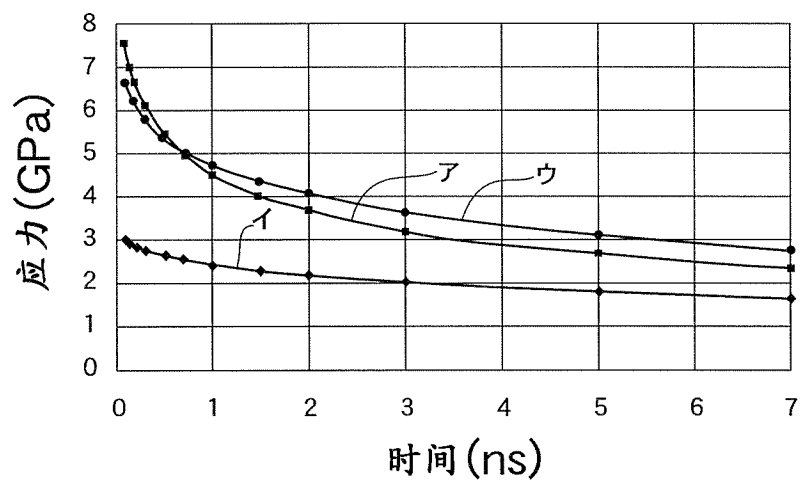


图 27

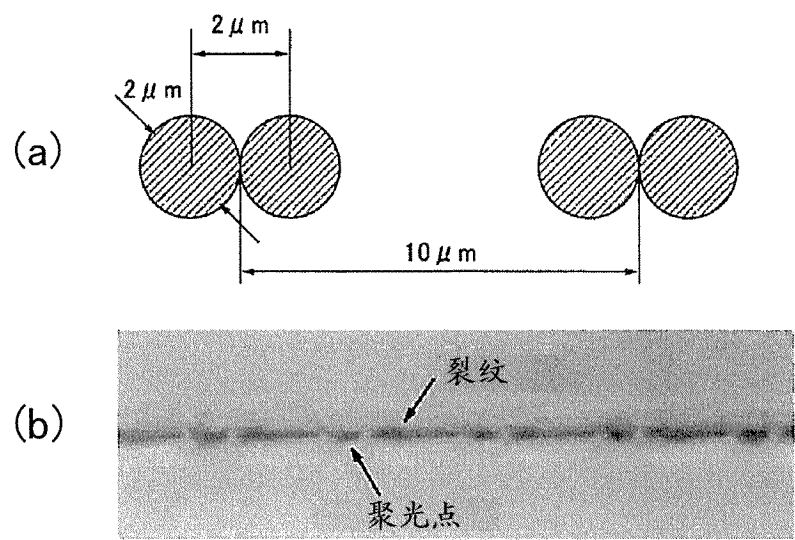


图 28

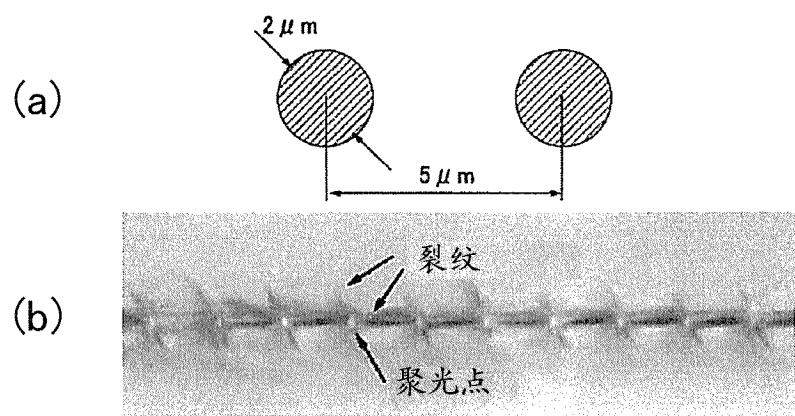


图 29