



## (12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101195190 B

(45) 授权公告日 2010. 10. 06

(21) 申请号 200710149118. 0

C03B 33/08 (2006. 01)

(22) 申请日 2001. 09. 13

C03B 33/09 (2006. 01)

H01L 21/78 (2006. 01)

(30) 优先权数据

2000-278306 2000. 09. 13 JP

(62) 分案原申请数据

01818225. 9 2001. 09. 13

(73) 专利权人 滨松光子学株式会社

地址 日本静冈县

(72) 发明人 福世文嗣 福满宪志 内山直己

和久田敏光

(74) 专利代理机构 北京尚诚知识产权代理有限公司

公司 11322

代理人 龙淳

(56) 对比文件

WO 97/07927 A1, 1997. 03. 06, 全文.

JP 特开平 11-138896 A, 1999. 05. 25, 全文.

CN 1259924 A, 2000. 07. 12, 全文.

JP 特开平 11-267861 A, 1999. 10. 05, 全文.

审查员 孙玉帅

(51) Int. Cl.

B23K 26/00 (2006. 01)

B23K 26/38 (2006. 01)

B23K 26/40 (2006. 01)

C03C 23/00 (2006. 01)

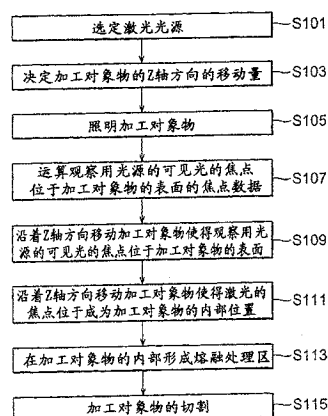
权利要求书 5 页 说明书 54 页 附图 55 页

(54) 发明名称

激光加工方法和装置, 以及半导体芯片及其制造方法

(57) 摘要

本发明涉及激光加工方法和装置, 以及半导体芯片及其制造方法, 其中该激光加工方法为, 向晶片状的加工的对象物内部对准聚光点并照射激光, 从而沿着加工对象物的切割预定线在加工对象物的内部形成由多光子吸收产生的改质区域, 且在入射至加工对象物的激光的入射方向上改变激光的聚光点的位置, 从而沿着入射方向并列地形成多个改质区域, 利用多个已形成的改质区域, 沿着加工对象物的切割预定线在距加工对象物的激光入射面规定距离的内侧形成成为切割的起点的区域。



1. 一种激光加工方法,其特征在于:

向晶片状的加工对象物内部对准聚光点(condensed point)并照射激光,从而沿着所述加工对象物的切割预定线在所述加工对象物的内部形成由多光子吸收产生的改质区域,且

在入射至所述加工对象物的激光的入射方向上改变激光的聚光点的位置,从而沿着所述入射方向并列地形成多个所述改质区域,

利用多个已形成的所述改质区域,沿着所述加工对象物的切割预定线在距所述加工对象物的激光入射面规定距离的内侧形成成为切割的起点的区域。

2. 一种激光加工方法,其特征在于:

向晶片状的加工对象物内部对准聚光点并照射激光,从而沿着所述加工对象物的切割预定线在所述加工对象物的内部形成改质区域,且

在入射至所述加工对象物的激光的入射方向上改变激光的聚光点的位置,从而沿着所述入射方向并列地形成多个所述改质区域,

利用多个已形成的所述改质区域,沿着所述加工对象物的切割预定线在距所述加工对象物的激光入射面规定距离的内侧形成成为切割的起点的区域。

3. 一种激光加工方法,其特征在于:

向晶片状的加工对象物内部对准聚光点,并以聚光点上的峰值功率密度为 $1 \times 10^8 \text{ W/cm}^2$ 以上且脉冲宽度为 $1 \mu\text{s}$ 以下的条件照射激光,从而沿着所述加工对象物的切割预定线在所述加工对象物的内部形成改质区域,且

在入射至所述加工对象物的激光的入射方向上改变激光的聚光点的位置,从而沿着所述入射方向并列地形成多个所述改质区域,

利用多个已形成的所述改质区域,沿着所述加工对象物的切割预定线在距所述加工对象物的激光入射面规定距离的内侧形成成为切割的起点的区域。

4. 如权利要求1~3中任何一项所述的激光加工方法,其特征在于:

多个要形成的所述改质区域逐列依次形成。

5. 如权利要求1~3中任何一项所述的激光加工方法,其特征在于:

多个要形成的所述改质区域,从相对于所述激光入射面远的一方开始依次地形成。

6. 如权利要求1~3中任何一项所述的激光加工方法,其特征在于:

所述改质区域包括,作为在所述加工对象物的所述内部产生了裂纹的区域的裂纹区域,作为在所述内部进行了熔融处理的区域的熔融处理区域,以及作为在所述内部折射率改变了的区域的折射率变化区域中的至少任何一种。

7. 一种激光加工方法,其特征在于:

向由半导体材料构成的晶片状的加工对象物的内部对准聚光点并照射激光,从而沿着所述加工对象物的切割预定线在所述加工对象物的内部形成熔融处理区域,且

在入射至所述加工对象物的激光的入射方向上改变激光的聚光点的位置,从而沿着所述入射方向并列地形成多个所述熔融处理区域,

利用多个已形成的所述熔融处理区域,沿着所述加工对象物的切割预定线在距所述加工对象物的激光入射面规定距离的内侧形成成为切割的起点的区域。

8. 如权利要求7所述的激光加工方法,其特征在于:

多个要形成的所述熔融处理区域逐列依次形成。

9. 如权利要求 7 或 8 所述的激光加工方法,其特征在于:

多个要形成的所述熔融处理区域,从相对于所述激光入射面远的一方开始顺序地形成。

10. 如权利要求 1~3、7、8 中任何一项所述的激光加工方法,其特征在于:

在形成成为所述切割的起点的区域后,沿着所述切割预定线切割所述加工对象物。

11. 一种激光加工方法,其特征在于:

向加工对象物的内部对准进行了 1 以外椭圆率的椭圆偏光后的激光的聚光点,且使表示激光的椭圆偏光的椭圆的长轴在所述加工对象物中沿着在第 1 方向上延伸的多个第 1 切割预定线的各个而向所述加工对象物照射激光,从而沿着所述第 1 切割预定线的各个在所述加工对象物的内部形成由多光子吸收产生的第 1 改质区域;并且,向所述加工对象物的内部对准进行了 1 以外椭圆率的椭圆偏光后的激光的聚光点,且使表示激光的椭圆偏光的椭圆的长轴在所述加工对象物中沿着在与所述第 1 方向相交的第 2 方向上延伸的多个第 2 切割预定线的各个而向所述加工对象物照射激光,从而沿着所述第 2 切割预定线的各个在所述加工对象物的内部形成由多光子吸收产生的第 2 改质区域;以所述第 1 和所述第 2 改质区域为切割的起点,沿着所述第 1 和所述第 2 切割预定线将所述加工对象物分割为多个芯片。

12. 如权利要求 11 所述的激光加工方法,其特征在于:

在沿着各个所述第 1 切割预定线在所述加工对象物的内部形成由多光子吸收产生的所述第 1 改质区域后,沿着各个所述第 2 切割预定线在所述加工对象物的内部形成由多光子吸收产生的所述第 2 改质区域。

13. 一种激光加工方法,其特征在于:

向由半导体材料构成的加工对象物的内部对准进行了 1 以外椭圆率的椭圆偏光后的激光的聚光点,且使表示激光的椭圆偏光的椭圆的长轴在所述加工对象物中沿着在第 1 方向上延伸的多个第 1 切割预定线的各个而向所述加工对象物照射激光,从而沿着所述第 1 切割预定线的各个在所述加工对象物的内部形成第 1 熔融处理区域;并且,向所述加工对象物的内部对准进行了 1 以外椭圆率的椭圆偏光后的激光的聚光点,且使表示激光的椭圆偏光的椭圆的长轴在所述加工对象物中沿着在与所述第 1 方向相交的第 2 方向上延伸的多个第 2 切割预定线的各个而向所述加工对象物照射激光,从而沿着所述第 2 切割预定线的各个在所述加工对象物的内部形成第 2 熔融处理区域;以所述第 1 和所述第 2 熔融处理区域为切割的起点,沿着所述第 1 和所述第 2 切割预定线将所述加工对象物分割为多个芯片。

14. 如权利要求 13 所述的激光加工方法,其特征在于:

所述椭圆偏光是椭圆率为零的直线偏光。

15. 一种激光加工方法,其特征在于:

向晶片状的加工对象物的内部对准聚光点并照射激光,从而沿着在所述加工对象物中在第 1 方向上延伸的多个第 1 切割预定线的各个,在所述加工对象物的内部形成第 1 改质区域;并且,沿着在所述加工对象物中在与所述第 1 方向相交的第 2 方向上延伸的多个第 2 切割预定线的各个,在所述加工对象物的内部形成第 2 改质区域;以所述第 1 和所述第 2 改质区域为切割的起点,沿着所述第 1 和所述第 2 切割预定线将所述加工对象物分割为多个

芯片。

16. 一种激光加工方法,其特征在于,包括如下工序:

向固定在具有弹性的薄片上的晶片状加工对象物的内部对准聚光点并照射激光,从而在所述加工对象物中沿着在第1方向上延伸的多个第1切割预定线的各个,在所述加工对象物的内部形成第1改质区域;并且,在所述加工对象物中沿着在与所述第1方向相交的第2方向上延伸的多个第2切割预定线的各个,在所述加工对象物的内部形成第2改质区域的工序;和

经由所述薄片向所述加工对象物施加应力,从而以所述第1和所述第2改质区域为切割的起点,沿着所述第1和所述第2切割预定线将所述加工对象物分割为多个芯片的工序。

17. 一种激光加工装置,是在加工对象物的内部形成成为切割的起点的改质区域的激光加工装置,其特征在于:

具有,

载置所述加工对象物的载置台,

出射激光的激光光源,

向载置于所述载置台上的所述加工对象物的内部汇聚从所述激光光源出射的激光,并在该激光的聚光点的位置上形成改质区域的汇聚用透镜,

控制所述载置台的移动的控制部;

所述控制部,以规定位置为基准使所述载置台或者所述汇聚用透镜在所述加工对象物的厚度方向上仅移动第1移动量,以使激光的聚光点位于所述加工对象物的内部,并在使所述载置台相对于所述加工对象物的厚度方向固定的状态下,使所述载置台在与所述加工对象物的厚度方向垂直的方向上移动,以使激光的聚光点沿着所述加工对象物的切割预定线移动;然后

以所述规定位置为基准使所述载置台或者所述汇聚用透镜在所述加工对象物的厚度方向上仅移动第2移动量,以使激光的聚光点位于所述加工对象物的内部,并在使所述载置台相对于所述加工对象物的厚度方向固定的状态下,使所述载置台在与所述加工对象物的厚度方向垂直的方向上移动,以使激光的聚光点沿着所述切割预定线移动。

18. 如权利要求17所述的激光加工装置,其特征在于:

所述规定位置为所述加工对象物的激光入射面。

19. 如权利要求17所述的激光加工装置,其特征在于:

所述控制部,至少根据所述加工对象物的厚度和折射率决定所述第1移动量和所述第2移动量。

20. 如权利要求17或19所述的激光加工装置,其特征在于:

所述规定位置是,使规定的可视光的焦点位于载置于所述载置台上的所述加工对象物的表面时的所述载置台的位置。

21. 一种激光加工方法,其特征在于,包括如下工序:

向晶片状的加工对象物的内部对准聚光点并照射激光,从而在所述加工对象物中沿着在第1方向上延伸的多个第1切割预定线的各个,在所述加工对象物的内部形成第1改质区域的工序;

向所述加工对象物的内部对准聚光点并照射激光,从而在所述加工对象物中沿着在与

所述第 1 方向大致垂直的第 2 方向上延伸的多个第 2 切割预定线的各个,在所述加工对象物的内部形成第 2 改质区域的工序;和

以所述第 1 和所述第 2 改质区域为切割的起点,沿着所述第 1 和所述第 2 切割预定线将所述加工对象物分割为多个芯片的工序。

22. 如权利要求 21 所述的激光加工方法,其特征在于:

所述改质区域为熔融处理区域。

23. 如权利要求 21 所述的激光加工方法,其特征在于:

所述改质区域为裂纹区域。

24. 如权利要求 21 所述的激光加工方法,其特征在于:

所述改质区域为折射率变化区域。

25. 如权利要求 21 所述的激光加工方法,其特征在于:

所述加工对象物为半导体材料基板。

26. 如权利要求 21 所述的激光加工方法,其特征在于:

所述加工对象物为玻璃基板。

27. 如权利要求 21 所述的激光加工方法,其特征在于:

所述加工对象物为压电材料基板。

28. 如权利要求 21 所述的激光加工方法,其特征在于:

所述改质区域为熔融处理区域,所述熔融处理区域是,由单晶构造改变为非晶构造的区域,由单晶构造改变为多晶构造的区域,或由单晶构造改变为包含非晶构造和多晶构造的构造的区域。

29. 一种激光加工装置,是在晶片状的加工对象物的内部形成成为切割的起点的改质区域的激光加工装置,其特征在于,具有:

载置所述加工对象物的载置台;

出射脉冲激光的激光光源;

向载置于所述载置台上的所述加工对象物的内部汇聚从所述激光光源出射的脉冲激光,并利用 1 个脉冲的脉冲激光的照射,在其脉冲激光的聚光点的位置上形成改质点的汇聚用透镜;和

控制部,该控制部具有如下功能,使相邻的所述改质点间的距离大致一定地,利用沿着所述加工对象物的切割预定线而形成的多个所述改质点形成所述改质区域,为此,在使所述脉冲激光的聚光点位于所述加工对象物的内部的状态下,使脉冲激光的重复频率和脉冲激光的聚光点的移动速度大致一定,并使脉冲激光的聚光点沿着所述切割预定线直线移动。

30. 如权利要求 29 所述的激光加工装置,其特征在于:

所述控制部,控制所述载置台和所述汇聚用透镜的至少 1 者的移动。

31. 一种半导体芯片,其特征在于:

从半导体材料基板切割而得的切割面由到达基板的表面和背面的破裂形成,且,其厚度方向上的内部的一部分由熔融处理区域形成,该熔融处理区域是,通过激光照射,由单晶构造改变为非晶构造的区域,由单晶构造改变为多晶构造的区域,或由单晶构造改变为包含非晶构造和多晶构造的构造的区域,所述厚度方向上的所述熔融处理区域的位置在相互

垂直的所述切割面中不同。

32. 如权利要求 31 所述的半导体芯片,其特征在于:

所述熔融处理区域在所述切割面的厚度方向上并列为多个。

33. 如权利要求 31 所述的半导体芯片,其特征在于:

所述一部分包括所述切割面的厚度方向上的中央部分。

34. 一种半导体芯片的制造方法,其特征在于,包括如下工序:

向半导体基板的内部对准聚光点并照射激光,从而在所述半导体基板中沿着在第 1 方向上延伸的多个第 1 切割预定线的各个,在所述半导体基板的内部形成第 1 改质区域;并且,在所述半导体基板中在沿着与所述第 1 方向相交的第 2 方向上延伸的多个第 2 切割预定线的各个,在所述半导体基板的内部形成第 2 改质区域的工序;

以所述第 1 和所述第 2 改质区域为切割的起点,沿着所述第 1 和所述第 2 切割预定线切割所述半导体基板,从而得到具有形成了所述第 1 或所述第 2 改质区域的切割面的多个半导体芯片的工序;

所述第 1 和所述第 2 改质区域与所述半导体基板的表面和背面分离。

35. 如权利要求 34 所述的半导体芯片的制造方法,其特征在于:

所述半导体芯片被形成了所述第 1 或所述第 2 改质区域的切割面包围。

36. 如权利要求 34 或 35 所述的半导体芯片的制造方法,其特征在于:

所述第 1 和所述第 2 改质区域为熔融处理区域。

## 激光加工方法和装置,以及半导体芯片及其制造方法

[0001] (本申请是 2001 年 9 月 13 日递交的发明名称为“激光加工方法以及激光加工装置”的申请 01818225.9 的分案申请)

### 技术领域

[0002] 本发明涉及在半导体材料基板,压电材料基板或者玻璃基板等加工对象物的切割中使用的激光加工方法以及激光加工装置。

### 背景技术

[0003] 激光的应用之一是切割,由激光进行的一般的切割如下。例如,在半导体晶片或者玻璃基板这样的加工对象物的切割位置,照射加工对象物吸收的波长的激光,通过激光的吸收在切割的位置从切割对象物的表面向背面进行加热熔融,切割加工对象物。但是,在该方法中,在加工对象物的表面中成为切割位置的区域周围也被熔融。由此,在加工对象物是半导体晶片的情况下,在形成于半导体晶片的表面的半导体元件中,有可能熔融位于上述区域附近的半导体元件。

[0004] 作为防止加工对象物的表面熔融的方法,例如有在特开 2000-219528 号公报或者特开 2000-15467 号公报中公开的由激光进行的切割方法。在这些公报的切割方法中,通过激光加热加工对象物的切割位置,然后通过冷却加工对象物,使在加工对象物的切割位置中产生热冲击,切割加工对象物。

[0005] 但是,在这些公报的切割方法中,如果在加工对象物中产生的热冲击大,则在加工对象物的表面,有可能发生偏离了切割预定线的切割或者切割到没有进行激光照射的位置等的不必要的切割。由此,在这些切割方法中不能够进行精密切割。特别是,在加工对象物是半导体晶片、形成了液晶显示装置的玻璃基板或者形成了电极图形的玻璃基板情况下,由于这些不必要的切割,有可能损伤半导体芯片、液晶显示装置或者电极图形。另外,在这些切割方法中,由于平均输入功率大,因此对于半导体芯片等的热损伤也大。

### 发明内容

[0006] 本发明的目的在于提供在加工对象物的表面不发生不必要的切割而且不熔融其表面的激光加工方法以及激光加工装置。

[0007] (1) 本发明的激光加工方法特征在于具备在加工对象物的内部对准聚光点照射激光,沿着加工对象物的切割预定线,在加工对象物的内部形成由多光子吸收产生的改质区的工序。

[0008] 如果依据本发明的激光加工方法,则通过在加工对象物的内部对准聚光点照射激光,而且利用多光子吸收这样的现象,在加工对象物的内部形成改质区。如果在加工对象物的切割位置有某些起点,则能够用比较小的力分割加工对象物进行切割。如果依据本发明的激光加工方法,则通过把改质区作为起点,沿着切割预定线分割加工对象物,能够切割加工对象物。由此,由于能够用比较小的力切割加工对象物,因此能够在加工对象物的表面不

发生偏离切割预定线的不必要的切割而进行加工对象物的切割。

[0009] 另外,如果依据本发明的激光加工方法,则在加工对象物的内部局部地发生多光子吸收形成改质区。由此,由于在加工对象物的表面几乎不吸收激光,因此不会熔融加工对象物的表面。另外,所谓聚光点是激光聚光的位置。切割预定线既可以是在加工对象物的表面或者内部实际引出的线,也可以是假设的线。以上说明(1)在后面说明的(2)~(6)中也将涉及。

[0010] 本发明的激光加工方法特征在于具备在加工对象物的内部对准聚光点,在聚光点中的峰值功率密度为  $1 \times 10^8$  (W/cm<sup>2</sup>) 以上而且脉冲宽度为  $1 \mu\text{s}$  以下的条件下照射激光,沿着加工对象物的切割预定线在加工对象物的内部形成包括裂纹区的改质区的工序。

[0011] 如果依据本发明的激光加工方法,则在加工对象物的内部对准聚光点,在聚光点中的峰值功率密度为  $1 \times 10^8$  (W/cm<sup>2</sup>) 以上而且脉冲宽度为  $1 \mu\text{s}$  以下的条件下照射激光。因此,在加工对象物的内部发生由多光子吸收引起的光损伤的现象。由于该光损伤在加工对象物的内部感应热畸变,由此在加工对象物的内部形成裂纹区。由于该裂纹区是上述改质区的一个例子,因此如果依据本发明的激光加工方法,则能够进行在加工对象物的表面不会发生熔融或者偏离切割预定线的不必要的分割的激光加工。作为该激光加工方法的加工对象物,例如是包括玻璃的部件。另外,所谓峰值功率密度指的是脉冲激光的聚光点的电场强度。

[0012] 本发明的激光加工方法的特征在于具备在加工对象物的内部对准聚光点,在聚光点中的峰值功率密度为  $1 \times 10^8$  (W/cm<sup>2</sup>) 以上而且脉冲宽度为  $1 \mu\text{s}$  以下的条件下照射激光,沿着加工对象物的切割预定线在加工对象物的内部形成包括熔融处理区的改质区的工序。

[0013] 如果依据本发明的激光加工方法,则在加工对象物的内部对准聚光点,在聚光点中的峰值功率密度为  $1 \times 10^8$  (W/cm<sup>2</sup>) 以上而且脉冲宽度为  $1 \mu\text{s}$  以下的条件下照射激光。由此,加工对象物的内部通过多光子吸收局部地进行加热。通过该加热在加工对象物的内部形成熔融处理区。由于该熔融处理区是上述改质区的一个例子,因此如果依据本发明的激光加工方法,则能够进行在加工对象物的表面不会发生熔融或者偏离切割预定线的不必要的分割的激光加工。作为该激光加工方法的加工对象物,例如是包括半导体材料的部件。

[0014] 本发明的激光加工方法的特征在于具备在加工对象物的内部对准聚光点,在聚光点中的峰值功率密度为  $1 \times 10^8$  (W/cm<sup>2</sup>) 以上而且脉冲宽度为  $1 \mu\text{s}$  以下的条件下照射激光,沿着加工对象物的切割预定线在加工对象物的内部形成包括作为折射率发生变化的区域的折射率变化区的改质区的工序。

[0015] 如果依据本发明的激光加工方法,则在加工对象物的内部对准聚光点,在聚光点中的峰值功率密度为  $1 \times 10^8$  (W/cm<sup>2</sup>) 以上而且脉冲宽度为  $1 \mu\text{s}$  以下的条件下照射激光。像本发明这样,如果使脉冲宽度极短,使得在加工对象物的内部引起多光子吸收,则由多光子吸收产生的功率不转化为热能,在加工对象物的内部形成感应离子价变化、结晶或者分极取向等永久的构造变化,形成折射率变化区。该折射率变化区由于是上述改质区的一个例子,因此如果依据本发明的激光加工方法,则能够进行在加工对象物的表面不会发生熔融或者偏离切割预定线的不必要的分割的激光加工。作为该激光加工方法的加工对象物,例如是包括玻璃的部件。

[0016] 能够在上述本发明的激光加工方法中适用的形态如下。从激光光源出射的激光能



够包含脉冲激光。如果依据脉冲激光,则由于在空间而且时间上使激光的功率集中,因此即使激光光源是 1 个,也能够使激光的聚光点的电场强度(峰值功率密度)成为能够发生多光子吸收的大小。

[0017] 所谓在加工对象物的内部激光的照射激光,能够例示把从 1 个激光光源出射的激光聚光,在加工对象物的内部聚光照射激光。如果这样做,则由于使激光聚光,因此即使激光光源是 1 个,也能够使激光的聚光点的电场强度成为能够发生多光子吸收的大小。

[0018] 所谓在加工对象物的内部聚光照射激光,能够例示把从多个激光光源出射的各个激光在加工对象物的内部对准聚光点,从不同方向进行照射。如果这样做,则由于使用多个激光光源,则能够使激光的聚光点的电场强度成为能够发生多光子吸收的大小。由此,与脉冲激光相比较,即使是瞬时功率小的连续波激光也能够形成改质区。从多个激光光源出射的各个激光也可以从加工对象物的表面入射。另外,多个激光光源也可以包括出射从加工对象物的表面入射的激光的激光光源和出射从加工对象物的背面入射的激光的激光光源。多个激光光源也可以包括沿着切割预定线阵列形地配置了激光光源的光源单元。如果这样做,则由于沿着切割预定线同时形成多个聚光点,因此能够使加工速度提高。

[0019] 改质区通过对于在加工对象物的内部对准了的激光点的聚光点,相对地移动加工对象物而形成。如果这样做,则通过上述相对地移动,沿着加工对象物的表面上的切割预定线在加工对象物的内部形成改质区。

[0020] 在形成改质区的工序以后,还可以具备沿着切割预定线切割加工对象物的切割工序。在改质区形成工序中不能够切割加工对象物的情况下,由该切割工序切割加工对象物。切割工序由于把改质区作为起点分割加工对象物,因此能够用比较小的力切割加工对象物。由此,能够进行在加工对象物的表面不会发生偏离切割预定线的不必要的分割的加工对象物的切割。

[0021] 作为加工对象物,例示了包括玻璃、压电材料以及半导体材料的部件。另外,作为加工对象物,还有具有所照射的激光的透射性的部件。另外,该激光加工方法能够在表面形成了电子器件或者电极图形的加工对象物中适用。所谓电子器件,指的是半导体元件、液晶等显示装置、压电元件等。

[0022] 本发明的激光加工方法的特征在于具备在半导体材料的内部对准聚光点,在聚光点中的峰值功率密度为  $1 \times 10^8 (\text{W}/\text{cm}^2)$  以上而且脉冲宽度为  $1 \mu\text{s}$  以下的条件下照射激光,沿着半导体材料的切割预定线在半导体材料的内部形成改质区的工序。另外,本发明的激光加工方法的特征在于在压电材料的内部对准聚光点,在聚光点中的峰值功率密度为  $1 \times 10^8 (\text{W}/\text{cm}^2)$  以上而且脉冲宽度为  $1 \mu\text{s}$  以下的条件下照射激光,沿着压电材料的切割预定线在压电材料的内部形成的改质区的工序。如果依据这些激光加工方法,则根据与上述本发明的激光加工方法相同的理由,能够进行在加工对象物的表面不会发生熔融或者偏离切割预定线的不必要的分割的激光加工。

[0023] 在本发明的激光加工方法中,能够在加工对象物的表面上形成多个电路部分,在与形成于多个电路部分中的邻接的电路部分之间的间距面对的加工对象物的内部对准激光的聚光点。如果这样做,则在形成于邻接的电路部分之间的间距的位置,能够可靠地切割加工对象物。

[0024] 在本发明的激光加工方法中,能够在多个电路部分中以不被照射激光的角度聚光

激光。如果这样做,则能够防止激光入射到电路部分中,能够保护电路部分不被激光照射。

[0025] 本发明的激光加工方法的特征在于具备在半导体材料的内部对准聚光点照射激光,沿着半导体材料的切割预定线在半导体材料的内部形成熔融处理区的工序。如果依据本发明的激光加工方法,则根据与上述相同的理由,能够进行在加工对象物的表面不会发生不必要的分割而且不会熔融其表面的激光加工。另外,熔融处理区的形成既有多光子吸收的原因,也有其它的原因。

[0026] (2) 本发明的激光加工方法的特征在于具备通过在加工对象物上照射激光,使得成为 1 以外的椭圆率的椭圆偏振光的激光的聚光点对准在加工对象物的内部,而且表示激光的椭圆偏振光的椭圆的长轴沿着加工对象物的切割预定线,沿着切割预定线在加工对象物的内部形成由多光子吸收产生的改质区的工序。

[0027] 如果依据本发明的激光加工方法,则通过在加工对象物上照射激光,使得表示激光的椭圆偏振光的椭圆的长轴沿着加工对象物的切割预定线,形成改质区。如果依据本发明,则可知如果使用成为椭圆偏振光的激光,则沿着表示椭圆偏振光的椭圆的长轴方向(即,偏振光的倾斜强的方向)促进改质区的形成。由此,如果在加工对象物上照射激光,使得表示椭圆偏振光的椭圆的长轴方向沿着加工对象物的切割预定线,形成改质区,则能够沿着切割预定线有效地形成改质区。从而,如果依据本发明的激光加工方法,则能够使加工对象物的加工速度提高。

[0028] 另外,如果依据本发明的激光加工方法,则由于在沿着切割预定线的方向以外抑制改质区的形成,因此能够沿着切割预定线精密地切割加工对象物。

[0029] 这里,所谓椭圆率是椭圆的短轴长度的一半/长轴长度的一半。激光的椭圆率越小,越能够促进沿着切割预定线的方向形成改质区,而且越能够抑制除此以外方向的形成。椭圆率能够考虑加工对象物的厚度或者材质等确定。线偏振光是椭圆率为 0 的椭圆偏振光。

[0030] 本发明的激光加工方法的特征在于具备通过在聚光点中的峰值功率密度为  $1 \times 10^8 (\text{W}/\text{cm}^2)$  以上而且脉冲宽度为  $1 \mu\text{s}$  以下的条件下照射激光,使得把成为 1 以外的椭圆率的椭圆偏振光的激光聚光点对准在加工对象物的内部,而且表示激光的椭圆偏振光的椭圆的长轴沿着加工对象物的切割预定线,沿着切割预定线在加工对象物的内部形成包括裂纹区的改质区的工序。

[0031] 如果依据本发明的激光加工方法,则由于在加工对象物上照射激光使得表示激光的椭圆偏振光的椭圆的长轴沿着加工对象物的切割预定线,因此与上述本发明的激光加工方法相同,能够有效地形成改质区,另外,能够沿着加工预定线精密切割加工对象物。

[0032] 本发明的激光加工方法的特征在于具备通过在聚光点中的峰值功率密度为  $1 \times 10^8 (\text{W}/\text{cm}^2)$  以上而且脉冲宽度为  $1 \mu\text{s}$  以下的条件下照射激光,使得把成为 1 以外的椭圆率的椭圆偏振光的激光聚光点对准在加工对象物的内部,而且表示激光的椭圆偏振光的椭圆的长轴沿着加工对象物的切割预定线,沿着切割预定线在加工对象物的内部形成包括熔融处理区的改质区的工序。

[0033] 如果依据本发明的激光加工方法,则由于在加工对象物上照射激光使得表示激光的椭圆偏振光的椭圆的长轴沿着加工对象物的切割预定线,因此与上述本发明的激光加工方法相同,能够有效地形成改质区,另外,能够沿着加工预定线精密切割加工对象物。

[0034] 本发明的激光加工方法的特征在于具备通过在聚光点中的峰值功率密度为  $1 \times 10^8 (\text{W}/\text{cm}^2)$  以上而且脉冲宽度为  $1 \mu\text{s}$  以下的条件下照射激光,使得把成为 1 以外的椭圆率的椭圆偏振光的激光聚光点对准在加工对象物的内部,而且表示激光的椭圆偏振光的椭圆的长轴沿着加工对象物的切割预定线,沿着切割预定线在加工对象物的内部形成包括作为折射率变化的区域的折射率变化区的改质区的工序。

[0035] 如果依据本发明的激光加工方法,则由于在加工对象物上照射激光使得表示激光的椭圆偏振光的椭圆的长轴沿着加工对象物的切割预定线,因此与上述本发明的激光加工方法相同,能够有效地形成改质区,另外,能够沿着加工预定线精密地切割加工对象物。

[0036] 能够适用上述本发明的激光加工方法的形态如下。

[0037] 能够使用具有椭圆率为 0 的椭圆偏振光的激光。椭圆率为 0 时成为线偏振光。如果依据线偏振光,则能够把改质区的沿着切割预定线方向的尺寸做成最大限度的同时把除此以外方向的尺寸做成最小限度。另外,能够根据  $1/4$  波长板的方位角变化调节椭圆偏振光的椭圆率。如果使用  $1/4$  波长板,则仅使方位角变化就能够调节椭圆率。

[0038] 在形成改质区的工序以后,如果通过  $1/2$  波长板使激光的偏振光旋转大致  $90^\circ$ ,在加工对象物上照射激光。另外,在形成改质区的工序以后,能够以加工对象物的厚度方向为轴,使加工对象物旋转大致  $90^\circ$ ,在加工对象物上照射激光。通过这些动作,能够在加工对象物的内部形成在沿着加工对象物的表面的方向延伸而且与改质区交叉的其它的改质区。从而,例如,能够有效地形成沿着 X 轴方向以及 Y 轴方向的切割预定线的改质区。

[0039] 本发明的激光加工方法的特征在于具备通过在加工对象物上照射激光,使得成为 1 以外的椭圆率的椭圆偏振光的激光的聚光点对准在加工对象物的内部,而且表示激光的椭圆偏振光的椭圆的长轴沿着加工对象物的切割预定线,沿着切割预定线切割加工对象物的工序。

[0040] 如果依据本发明激光加工方法,则在加工对象物的内部对准聚光点照射激光,使得表示激光的椭圆偏振光的椭圆的长轴沿着加工对象物的切割预定线。由此,能够沿着切割预定线有效地切割加工对象物。本发明的激光加工方法还可以通过使加工对象物吸收激光,加热熔融加工对象物,切割加工对象物。另外,本发明的激光加工方法还可以通过加工对象物上照射激光使得发生多光子吸收,由此在加工对象物的内部形成改质区,以改质区为起点切割加工对象物。

[0041] 本发明的激光加工装置的特征在于具备出射脉冲宽度为  $1 \mu\text{s}$  以下的脉冲激光的激光光源;把从激光光源出射的脉冲激光调节为 1 以外的椭圆率的椭圆偏振光的椭圆率调节装置;进行调节,使得表示由椭圆率调节装置调节了的脉冲激光的椭圆偏振光的椭圆的长轴沿着加工对象物的切割预定线的长轴调节装置;聚光脉冲激光,使得由长轴调节装置调节了的脉冲激光的聚光点的峰值功率密度成为  $1 \times 10^8 (\text{W}/\text{cm}^2)$  以上的聚光装置;把由聚光装置聚光了的脉冲激光的聚光点对准加工对象物的内部的装置;沿着切割预定线使脉冲激光的聚光点相对移动的移动装置。

[0042] 如果依据本发明的激光加工装置,则根据与上述本发明的激光加工方法相同的理由,能够进行在加工对象物的表面不会发生熔融或者偏离切割预定线的不必要的分割的激光切割加工。另外,由于在加工对象物上照射激光使得表示激光的椭圆偏振光的椭圆的长轴沿着加工对象物的切割预定线,因此与上述本发明的激光加工方法相同,能够有效地形

成改质区,另外,能够沿着切割预定线精密地切割加工对象物。

[0043] 能够适用在上述本发明的激光加工装置中的形态如下。

[0044] 能够具备把由椭圆率调节装置调节的脉冲激光的偏电光旋转大致  $90^\circ$  的  $90^\circ$  旋转调节装置。另外,能够具备把以加工对象物的厚度方向为轴放置加工对象物的载置台旋转大致  $90^\circ$  的旋转装置。根据这些装置,能够使表示脉冲激光的椭圆偏振光的椭圆的长轴沿着在加工对象物的表面的方向延伸,而且与切割预定线相交叉的方向延伸的其它的切割预定线。从而,例如,能够有效地形成沿着 X 轴方向以及 Y 轴方向的切割预定线的改质区。

[0045] 本发明的激光加工装置的特征在于具备出射脉冲宽度为  $1\mu\text{m}$  以下而且具有线偏振光的脉冲激光的激光光源;进行调节使得从激光光源出射的脉冲激光的线偏振光的朝向沿着加工对象物的切割预定线的线偏振光调节装置;聚光脉冲激光使得由线偏振光调节装置调节了的脉冲激光的聚光点的峰值功率密度为  $1\times 10^8(\text{W}/\text{cm}^2)$  以上的聚光装置;把由聚光装置聚光了的脉冲激光的聚光点对准加工对象物的内部的装置;沿着切割预定线使脉冲激光的聚光点相对移动的移动装置。

[0046] 如果依据本发明的激光加工装置,则根据与上述本发明的激光加工方法相同的理由,能够进行在加工对象物的表面不会发生熔融或者偏离切割预定线的不必要的分割的激光切割加工。另外,如果依据本发明的激光加工装置,则与上述本发明的激光加工方法相同,能够有效地形成改质区,另外,能够沿着切割预定线精密地切割加工对象物。

[0047] 本发明的激光加工装置的特征在于具备出射脉冲宽度为  $1\mu\text{m}$  以下的脉冲激光的激光光源;根据脉冲激光的容量大的输入,调节从激光光源出射的脉冲激光的功率的大小的功率调节装置;聚光脉冲激光使得从激光光源出射的脉冲激光的聚光点的峰值功率密度为  $1\times 10^8(\text{W}/\text{cm}^2)$  以上的聚光装置;把由聚光装置聚光了的脉冲激光的聚光点对准加工对象物的内部的装置;沿着加工对象物的切割预定线使脉冲激光的聚光点相对移动的移动装置,通过在加工对象物的内部对准聚光点,在加工对象物上照射 1 个脉冲的脉冲激光,在加工对象物的内部形成 1 个改质区,还具备预先存储由功率调节装置调节的脉冲激光的功率大小与改质点的尺寸的相关关系的相关关系存储装置;根据输入的脉冲激光的功率大小从相关关系存储装置选择以该大小的功率形成的改质点的尺寸的尺寸选择装置;显示由尺寸选择装置选择了的改质点的尺寸的尺寸显示装置。

[0048] 如果依据本发明,则可知能够进行控制使得如果减小脉冲激光的功率则减小改质点,如果加大脉冲激光的功率则增大改质点。所谓改质点是由 1 个脉冲的脉冲激光形成的改质部分,通过把改质点汇集构成改质区。改质点的尺寸控制对于对象加工物的切割带来影响。即,如果改质点过大,则沿着加工对象物的切割预定线的切割精度以及切割面的平坦性恶化。另一方面,对于厚度大的加工对象物如果改质点极小,则难以进行加工对象物的切割。如果依据本发明的激光加工装置,则通过调节脉冲激光功率的大小,能够进行改质点的尺寸控制。因此,能够沿着切割预定线精密地切割加工对象物,另外能够得到平坦的切割面。

[0049] 另外,本发明的激光加工装置具备预先存储了脉冲激光的功率大小与改质点的尺寸的相关关系的相关关系存储装置。根据输入的脉冲激光的功率大小,从相关关系存储装置选择以该大小的功率形成的改质点的尺寸,显示被选择的改质点的尺寸。由此,能够在激光加工之前了解输入到激光加工装置中的脉冲激光的功率大小形成的改质点的尺寸。

[0050] 本发明的激光加工装置的特征在于具备出射脉冲宽度为  $1\mu s$  以下的脉冲激光的激光光源;聚光脉冲激光使得从该激光光源出射的脉冲激光的聚光点的峰值功率密度为  $1\times 10^8(W/cm^2)$  以上的聚光透镜;根据数值孔径的大小的输入,调节包括聚光用透镜的光学系统的数值孔径大小的数值孔径调节装置;把由聚光用透镜聚光了的脉冲激光的聚光点对准加工对象物的内部的装置;沿着加工对象物的切割预定线使脉冲激光的聚光点相对移动的移动装置,通过在加工对象物的内部对准聚光点,在加工对象物上照射 1 个脉冲的脉冲激光,在加工对象物的内部形成 1 个改质区,还具备预先存储由数值孔径调节装置调节的脉冲激光的数值孔径的大小与改质点的尺寸的相关关系的相关关系存储装置;根据输入的数值孔径的大小从相关关系存储装置选择以该大小的数值孔径形成的改质点的尺寸的尺寸选择装置;显示由尺寸选择装置选择了的改质点的尺寸的尺寸显示装置。

[0051] 如果依据本发明,则可知能够进行控制使得如果增大包括聚光用透镜的光学系统的数值孔径的大小则减小改质点,如果减小该数值孔径则增大改质点。由此,如果依据本发明的激光加工装置,则通过调节包括聚光用透镜的光学系统的数值孔径的大小能够进行改质点的尺寸控制。

[0052] 另外,本发明的激光加工装置具备预先存储了数值孔径的大小与改质点的尺寸的相关关系的相关关系存储装置。根据输入的数值孔径的大小,从相关关系存储装置选择以该大小的数值孔径形成的改质点的尺寸,显示被选择的改质点的尺寸。由此,能够在激光加工之前了解根据输入到激光加工装置中的数值孔径的大小形成的改质点的尺寸。

[0053] 本发明的激光加工装置的特征在于具备出射脉冲宽度为  $1\mu s$  以下的脉冲激光的激光光源;包括多个使从激光光源出射的脉冲激光的聚光点的峰值功率密度成为  $1\times 10^8(W/cm^2)$  以上那样把脉冲激光进行聚光的聚光用透镜,而且能够选择多个聚光用透镜的透镜选择装置,还具备包括多个聚光用透镜的光学系统的各个数值孔径不同,根据由透镜选择装置选择的聚光用透镜把聚光了的脉冲激光的聚光点对准加工对象物的内部的装置;沿着加工对象物的切割预定线使脉冲激光的聚光点相对移动的移动装置,在加工对象物的内部对准聚光点,在加工对象物的照射 1 个脉冲的脉冲激光,在加工对象物的内部形成 1 个改质点,还具备预先存储了包括多个聚光用透镜的光学系统的数值孔径的大小与改质点的尺寸的相关关系的相关关系存储装置;根据包括所选择的聚光用透镜的光学系统的数值孔径的大小从相关关系存储装置选择以该大小的数值孔径形成的改质点的尺寸的尺寸选择装置;显示由尺寸选择装置选择了的改质点的尺寸的尺寸显示装置。

[0054] 如果依据本发明的激光加工装置,则能够进行改质点的尺寸控制。另外,能够在激光加工之前了解包括根据所选择的聚光用透镜的光学系统的数值孔径的大小形成的改质点的尺寸。

[0055] 本发明的激光加工装置的特征在于具备出射脉冲宽度为  $1\mu s$  以下的脉冲激光的激光光源;根据脉冲激光的功率大小的输入调节从激光光源出射的脉冲激光的功率的大小的功率调节装置;聚光脉冲激光使得从激光光源出射的脉冲激光的聚光点的峰值功率密度为  $1\times 10^8(W/cm^2)$  以上的聚光用透镜;根据数值孔径的大小的输入调节包括聚光用透镜的光学系统的数值孔径的大小的数值孔径调节装置;把由聚光用透镜聚光了的脉冲激光的聚光点对准加工对象物的内部的装置;沿着加工对象物的切割预定线使脉冲激光的聚光点相对移动的移动装置,通过在加工对象物的内部对准聚光点,在加工对象物上照射 1 个脉冲

的脉冲激光,在加工对象物的内部形成 1 个改质点,还具备预先存储了由功率调节装置调节的脉冲激光的功率的大小以及由数值孔径调节装置调节的数值孔径的大小的组与改质点的尺寸的相关关系的相关关系存储装置;根据所输入的脉冲激光的功率的大小以及所输入的数值孔径的大小,从相关关系存储装置选择以这些大小形成的改质点的尺寸的尺寸选择装置;显示由尺寸选择装置选择的改质点的尺寸的尺寸显示装置。

[0056] 如果依据本发明的激光加工装置,则由于能够把功率的调节与数值孔径的调节相组合,因此能够增加改质点的尺寸可控制的大小的种类。另外,根据与上述本发明的激光加工装置相同的理由,能够在激光加工之前了解改质点的尺寸。

[0057] 本发明的激光加工装置的特征在于具备出射脉冲宽度为  $1\mu\text{s}$  以下的脉冲激光的激光光源;根据脉冲激光的功率大小的输入,调节从激光光源出射的脉冲激光的功率的大小的功率调节装置;包括多个使从激光光源出射的脉冲激光的聚光点的峰值功率密度成为  $1\times 10^8(\text{W}/\text{cm}^2)$  以上那样把脉冲激光进行聚光的聚光用透镜,而且能够选择多个聚光用透镜的透镜选择装置,还具备包括多个聚光用透镜的光学系统的各个数值孔径不同,根据由透镜选择装置选择的聚光用透镜把聚光了的脉冲激光的聚光点对准加工对象物的内部的装置;沿着加工对象物的切割预定线使脉冲激光的聚光点相对移动的移动装置,在加工对象物的内部对准聚光点,在加工对象物上照射 1 个脉冲的脉冲激光,在加工对象物的内部形成 1 个改质点,还具备预先存储了由功率调节装置调节的脉冲激光的功率的大小以及包括多个聚光用透镜的光学系统的数值孔径的大小的组与改质点的尺寸的相关关系的相关关系存储装置;根据所输入的脉冲激光的功率的大小以及包括所选择的聚光用透镜的光学系统的数值孔径的大小,从相关关系存储装置选择以这些大小形成的改质点的尺寸的尺寸选择装置;显示由尺寸选择装置选择的改质点的尺寸的尺寸显示装置。

[0058] 如果依据本发明的激光加工装置,则根据与上述本发明的激光加工装置相同的理由,能够增加改质点的尺寸可控制的大小的种类,而且能够在激光加工之前了解改质点的尺寸。

[0059] 以上所说明的激光加工装置能够具备生成由尺寸选择装置选择的改质点的图像的图像生成装置;显示由图像生成装置生成的图像的图像显示装置。如果依据这些装置,则能够在激光加工之前视觉地把握所形成的改质点。

[0060] 本发明的激光加工装置的特征在于具备出射脉冲宽度为  $1\mu\text{s}$  以下的脉冲激光的激光光源;调节从激光光源出射的脉冲激光的功率大小的功率调节装置;聚光脉冲激光使得从激光光源出射的脉冲激光的聚光点的峰值功率密度为  $1\times 10^8(\text{W}/\text{cm}^2)$  以上的聚光装置;把由聚光装置聚光了的脉冲激光的聚光点对准加工对象物的内部的装置;沿着加工对象物的切割预定线使脉冲激光的聚光点相对移动的移动装置,在加工对象物的内部对准聚光点,在加工对象物上照射 1 个脉冲的脉冲激光,在加工对象物的内部形成 1 个改质点,还具备预先存储了由功率调节装置调节的脉冲激光功率的大小与改质点的尺寸的相关关系的相关关系存储装置;根据改质点的尺寸的输入,从相关关系存储装置选择能够形成该尺寸的脉冲激光的功率的大小的功率选择装置,通过在加工对象物的内部对准聚光点,在加工对象物上照射 1 个脉冲的脉冲激光,在加工对象物的内部形成 1 个改质点,还具备预先存储了由功率调节装置调节的脉冲激光的功率大小与该质点的尺寸的相关关系的相关关系存储装置;根据改质点的尺寸的输入,从相关关系存储装置选择能够形成该尺寸的脉冲激

光的功率的大小的功率选择装置,功率调节装置调节从激光光源出射的脉冲激光功率的大小,使得成为由功率选择装置选择的功率的大小。

[0061] 如果依据本发明的激光加工装置,则具备预先存储了脉冲激光的功率大小与改质点的尺寸的相关关系的相关关系存储装置。根据改质点的尺寸的输入,从相关关系存储装置选择能够形成该尺寸的脉冲激光功率的大小。功率调节装置调节从激光光源出射的脉冲激光的尺寸的大小使得成为由功率选择装置选择的容量的大小。由此,能够形成所希望尺寸的改质点。

[0062] 本发明的激光加工装置的特征在于具备出射脉冲宽度为  $1\mu s$  以下的脉冲激光的激光光源;聚光脉冲激光使得从激光光源出射的脉冲激光的聚光点的峰值功率密度为  $1 \times 10^8 (W/cm^2)$  以上的聚光用透镜;调节包括聚光用透镜的光学系统的数值孔径的大小的数值孔径调节装置;把由聚光用透镜聚光了的脉冲激光的聚光点对准加工对象物的内部的装置;沿着加工对象物的切割预定线使脉冲激光的聚光点相对移动的移动装置,通过在加工对象物的内部对准聚光点,在加工对象物上照射 1 个脉冲的脉冲激光,在加工对象物的内部形成 1 个改质点,还具备预先存储了由数值孔径调节装置调节的数值孔径的大小与改质点的尺寸的相关关系的相关关系存储装置;根据改质点的尺寸的输入,从相关关系存储装置选择能够形成该尺寸的数值孔径的大小的数值孔径选择装置,数值孔径调节装置调节包括聚光用透镜的光学系统的数值孔径的大小使得成为由数值孔径选择装置选择的数值孔径的大小。

[0063] 如果依据本发明的激光加工装置,则具备预先存储了数值孔径的大小与改质点的尺寸的相关关系的相关关系存储装置。根据改质点的尺寸的输入,从相关关系存储装置选择能够形成该尺寸的数值孔径的大小。数值孔径调节装置调节包括聚光用透镜的光学系统的数值孔径的大小使得成为由数值孔径选择装置选择的数值孔径的大小。由此,能够形成所希望尺寸的改质点。

[0064] 本发明的激光加工装置的特征在于具备出射脉冲宽度为  $1\mu s$  以下的脉冲激光的激光光源;包括多个使得从激光光源出射的脉冲激光的聚光点的峰值功率密度成为  $1 \times 10^8 (W/cm^2)$  以上那样聚光脉冲激光的聚光用透镜,而且能够选择多个聚光用透镜的透镜选择装置,包括多个聚光用透镜的光学系统的各个数值孔径不同,还具备把由透镜选择装置选择的聚光用透镜聚光的脉冲激光的聚光点对准加工对象物的内部的装置;沿着加工对象物的切割预定线使脉冲激光的聚光点相对移动的移动装置,通过在加工对象物的内部对准聚光点,在加工对象物上照射 1 个脉冲的脉冲激光,在加工对象物的内部形成 1 个改质点,还具备预先存储了多个聚光用透镜的数值孔径的大小与改质点的尺寸的相关关系的相关关系存储装置;根据改质点的尺寸的输入,从相关关系存储装置选择能够形成该尺寸的数值孔径的大小的数值孔径选择装置,透镜选择装置进行多个聚光用透镜的选择,使得成为由数值孔径选择装置所选择的数值孔径的大小。

[0065] 如果依据本发明的激光加工装置,则根据改质点的尺寸的输入,从相关关系存储装置选择能够形成该尺寸的数值孔径的大小。透镜选择装置进行多个聚光用透镜的选择使得成为由数值孔径选择装置所选择的数值孔径的大小。由此,能够形成所希望尺寸的改质点。

[0066] 本发明的激光加工装置的特征在于具备出射脉冲宽度为  $1\mu s$  以下的脉冲激光的

激光光源 ; 调节从激光光源出射的脉冲激光的功率大小的功率调节装置 ; 聚光脉冲激光使得从激光光源出射的脉冲激光的聚光点的峰值功率密度为  $1 \times 10^8 (\text{W}/\text{cm}^2)$  以上的聚光用透镜 ; 调节包括聚光用透镜的光学系统的数值孔径的大小的数值孔径调节装置 ; 把由聚光用透镜聚光的脉冲激光的聚光点对准加工对象物的内部的装置 ; 沿着加工对象物的切割预定线使脉冲激光的聚光点相对移动的移动装置, 通过在加工对象物的内部对准聚光点, 在加工对象物上照射 1 个脉冲的脉冲激光, 在加工对象物的内部形成 1 个改质点, 还具备预先存储了由功率调节装置调节的脉冲激光功率的大小以及由数值孔径调节装置调节的数值孔径的大小的组与改质点的尺寸的相关关系的相关关系存储装置 ; 根据改质点的尺寸的输入, 从相关关系存储装置选择能够形成该尺寸的功率以及数值孔径的大小的组的组选择装置, 功率调节装置以及数值孔径调节装置调节从激光光源出射的脉冲激光的功率大小以及包括聚光用透镜的光学系统的数值孔径的大小, 使得成为由组选择装置所选择的功率以及数值孔径的大小。

[0067] 如果依据本发明的激光加工装置, 则根据改质点的尺寸的输入, 从相关关系存储装置选择能够形成该尺寸的功率的大小以及数值孔径的大小的组合。而且, 分别调节从激光光源出射的脉冲激光功率的大小以及包括聚光用透镜的光学系统的数值孔径的大小, 使得成为所选择的功率的大小以及数值孔径的大小。由此, 能够形成所希望尺寸的改质点。另外, 由于组合功率的大小以及数值孔径的大小, 因此能够增加改质点的尺寸可控制的大小的种类。

[0068] 本发明的激光加工装置的特征在于具备出射脉冲宽度为  $1 \mu\text{s}$  以下的脉冲激光的激光光源 ; 调节从上述激光光源出射的脉冲激光的功率大小的功率调节装置 ; 包括多个使得从激光光源出射的脉冲激光的聚光点的峰值功率密度为  $1 \times 10^8 (\text{W}/\text{cm}^2)$  以上那样聚光脉冲激光的聚光用透镜, 而且能够选择多个聚光用透镜的透镜选择装置, 包括多个聚光用透镜的光学系统的每一个数值孔径不同, 还具备把由透镜选择装置所选择的聚光用透镜聚光的脉冲激光的聚光点对准加工对象物的内部的装置 ; 沿着加工对象物的切割预定线使脉冲激光的聚光点相对移动的移动装置, 通过在加工对象物的内部对准聚光点, 在加工对象物上照射 1 个脉冲的脉冲激光, 在加工对象物的内部形成 1 个改质点, 还具备预先存储了由功率调节装置调节的脉冲激光的功率大小以及多个聚光用透镜的数值孔径的大小的组与改质点的尺寸的相关关系的相关关系存储装置 ; 根据改质点的尺寸的输入, 从相关关系存储装置选择能够形成该尺寸的功率以及数值孔径的大小的组的组选择装置, 功率调节装置以及透镜选择装置进行从激光光源出射的脉冲激光的功率大小的调节以及多个聚光用透镜的选择, 使得成为由组选择装置所选择的功率以及数值孔径的大小。

[0069] 如果依据本发明的激光加工装置, 则根据改质点的尺寸的输入, 从相关关系存储装置选择能够形成该尺寸的功率的大小以及数值孔径的大小的组合。分别进行从激光光源出射的脉冲激光的功率大小的调节以及多个聚光用透镜的选择, 使得成为所选择的功率的大小以及数值孔径的大小。另外, 由于把功率的大小以及数值孔径的大小相组合, 因此能够增加改质点的尺寸的可控制大小的种类。

[0070] 在本发明的激光加工装置中, 能够具备显示由功率选择装置所选择的功率大小的选择装置 ; 显示由数值孔径选择装置所选择的数值孔径的大小的选择装置 ; 显示由组选择装置所选择的组合的功率大小以及数值孔径的大小的显示装置。如果依据这些装置, 则能



够根据改质点的尺寸的输入,了解激光加工装置动作时的功率、数值孔径。

[0071] 在本发明的激光加工装置中,能够沿着切割预定线在加工对象物的内部形成多个改质点。根据这些改质点规定改质区。改质区包括在加工对象物的内部作为发生裂纹的区域的裂纹区,在加工对象物的内部作为熔融处理的区域的熔融处理区以及在加工对象物的内部作为折射率变化的区域的折射率变化区中的至少某一种。

[0072] 另外,作为功率调节装置的形态,例如具有包括 ND 滤光片以及偏振光滤光片中的至少某一种的形态。另外,还具有具备包括激光光源激励用激光器,而且激光加工装置控制激励用激光器的驱动电流的驱动电流控制装置的形态。根据这些形态,能够调节脉冲激光的功率的大小。另外,作为数值孔径调节装置的形态,例如有包括光束扩展器以及可变光阑中的至少某一种的形态。

[0073] 本发明的激光加工方法的特征在于具备通过在加工对象物的内部对准脉冲激光的聚光点,在加工对象物上照射脉冲激光,沿着加工对象物的切割预定线在加工对象物的内部形成由多光子吸收产生的改质区的第 1 工序;进行调节使得脉冲激光的功率成为比第 1 工序大或者小,而且通过在加工对象物的内部对准脉冲激光的聚光点,在加工对象物上照射脉冲激光,沿着加工对象物的另外的切割预定线在加工对象物的内部形成由多光子吸收产生的其它的改质区的第 2 工序。

[0074] 另外,本发明的激光加工方法的特征在于具备通过在加工对象物的内部对准脉冲激光的聚光点,在加工对象物上照射脉冲激光,沿着加工对象物的切割预定线在加工对象物的内部形成由多光子吸收产生的改质区的第 1 工序;进行调节使得把脉冲激光聚光的包括聚光用透镜的光学系统的数值孔径比第 1 工序大或者小,而且通过在加工对象物的内部对准脉冲激光的聚光点,在加工对象物上照射脉冲激光,沿着加工对象物的另外的切割预定线在加工对象物的内部形成由多光子吸收产生的其它的改质区的第 2 工序。

[0075] 如果依据本发明的激光加工方法,则例如在加工对象物的结晶方位由于某种原因存在易于切割方向和难以切割的方向时,减小构成沿着易于切割的方向形成的改质区的改质点的尺寸,加大构成沿着难以切割的方向形成的其它的改质区的改质点的尺寸。由此,能够在易于切割的方向得到平坦的切割面,另外在难以切割的方向也能够进行切割。

[0076] (4) 本发明的激光加工装置的特征在于具备出射脉冲宽度为  $1\mu s$  以下的脉冲激光的激光光源;根据输入频率的大小,调节从激光光源出射的脉冲激光的重复频率的大小的频率调节装置;聚光脉冲激光使得从激光光源出射的脉冲激光的聚光点的峰值功率密度为  $1 \times 10^8 (W/cm^2)$  以上的聚光装置;把由聚光装置聚光了的脉冲激光的聚光点对准加工对象物的内部的装置;沿着加工对象物的切割预定线使脉冲激光的聚光点相对移动的移动装置,通过在加工对象物的内部对准聚光点,在加工对象物上照射 1 个脉冲的脉冲激光,在加工对象物的内部形成 1 个改质点,通过在加工对象物的内部对准聚光点而且沿着切割预定线使聚光点相对移动,在加工对象物上照射多个脉冲的脉冲激光,沿着切割预定线,在加工对象物的内部形成多个改质点,还具备根据所输入的频率的大小运算相邻的改质点之间的距离的距离运算装置;显示由距离计算装置运算的距离的距离显示装置。

[0077] 如果依据本发明,则在脉冲激光的聚光点的相对移动速度一定的情况下,可知能够控制成使得如果减小激光脉冲的重复频率,则由 1 个脉冲的脉冲激光形成的改质部分(称为改质点)与由随后的 1 个脉冲的脉冲激光形成的改质点之间的距离加大。反之,可知

能够控制成使得如果加大脉冲激光的重复频率则减小该距离。另外,在本说明书中,该距离表现为相邻的改质点之间的距离或者间距。

[0078] 由此,通过加大或者减小脉冲激光的重复频率调节,能够控制相邻的改质点之间的距离。通过根据加工对象物的种类或者厚度等改变该距离,能够进行与加工对象物相对应的切割加工。另外,通过沿着切割预定线在加工对象物的内部形成多个改质点规定改质区。

[0079] 另外,如果依据本发明的激光加工装置,则根据所输入的频率的大小运算相邻的改质点之间的距离,显示所运算的距离。由此,对于根据输入到激光加工装置中的频率的大小形成的改质点,能够在激光加工之前能够了解相邻的改质点之间的距离。

[0080] 本发明的激光加工装置的特征在于具备出射脉冲宽度为  $1\mu s$  以下的脉冲激光的激光光源;聚光脉冲激光使得从激光光源出射的脉冲激光的聚光点的峰值功率密度为  $1 \times 10^8 (W/cm^2)$  以上的聚光装置;把由聚光装置聚光了的脉冲激光的聚光点对准加工对象物的内部的装置;沿着加工对象物的切割预定线使脉冲激光的聚光点相对移动的移动装置;根据输入的速度的大小调节由移动装置进行的脉冲激光的聚光点的相对移动速度的大小的速度调节装置通过在加工对象物的内部对准聚光点,在加工对象物上照射 1 个脉冲的脉冲激光,在加工对象物的内部形成 1 个改质点,通过在加工对象物的内部对准聚光点,沿着切割预定线使聚光点相对移动,在加工对象物上照射多个脉冲的脉冲激光,沿着切割预定线在加工对象物的内部形成多个改质点,还具备根据所输入的速度的大小运算相邻的改质点之间的距离的距离运算装置;显示由距离运转装置运算的距离的距离显示装置。

[0081] 如果依据本发明,则在脉冲激光的重复频率一定的情况下,可知能够控制成使得如果减小脉冲激光的聚光点的相对移动速度则相邻的改质点之间的距离减小,反之能够控制成使得如果加大脉冲激光的聚光点的相对移动速度则相邻的改质点之间的距离加大。由此,通过进行加大或者减小脉冲激光的相对聚光点的相对移动速度的调节,能够控制相邻的改质点之间的距离。通过根据加工对象物的种类或者厚度等改变该距离,能够进行与加工对象物相对应的切割加工。另外,作为脉冲激光的聚光点的相对移动,既可以固定脉冲激光的聚光点使加工对象物移动,也可以固定加工对象物使脉冲激光的聚光点移动,还可以使双方都移动。

[0082] 另外,如果依据本发明的激光加工装置,则根据所输入的速度的大小运算相邻的改质点之间的距离,显示所运算的距离。由此,对于根据输入到激光加工装置中的速度的大小所形成的改质点,能够在激光加工之前了解相邻的改质点之间的距离。

[0083] 本发明的激光加工装置的特征在于具备出射脉冲宽度为  $1\mu s$  以下的脉冲激光的激光光源;根据输入频率的大小,调节从激光光源出射的脉冲激光的重复频率的大小的频率调节装置;聚光脉冲激光使得从激光光源出射的脉冲激光的聚光点的峰值功率密度为  $1 \times 10^8 (W/cm^2)$  以上的聚光装置;把由聚光装置聚光了的脉冲激光的聚光点对准加工对象物的内部的装置;沿着加工对象物的切割预定线使脉冲激光的聚光点相对移动的移动装置;根据输入的速度的大小调节由移动装置进行的脉冲激光的聚光点的相对移动速度的大小的速度调节装置,通过在加工对象物的内部对准聚光点,在加工对象物上照射 1 个脉冲的脉冲激光,在加工对象物的内部形成 1 个改质点,通过在加工对象物的内部对准聚光点,沿着切割预定线使聚光点相对移动,在加工对象物上照射多个脉冲的脉冲激光,沿着切割

预定线在加工对象物的内部形成多个改质点,还具备根据所输入的频率的大小和速度的大小运算相邻的改质点之间的距离的距离运算装置;显示由距离运转装置运算的距离的距离显示装置。

[0084] 如果依据本发明的激光加工装置,则通过调节脉冲激光的重复频率的大小以及脉冲激光的聚光点的相对移动速度的大小,能够控制相邻的改质点之间的距离。通过组合这些调节,能够对于该距离增加可控制的大小的种类。另外,如果依据本发明的激光加工装置,则能够在激光加工之前了解相邻的改质点之间的距离。

[0085] 在这些激光加工装置中,能够具备预先存储由激光加工装置形成的改质点的尺寸的尺寸存储装置;根据存储在尺寸存储装置中的尺寸和由距离运算装置运算了的距离,生成沿着切割预定线形成的多个改质点的图像的图像生成装置;显示由图像形成装置生成的图像的图像显示装置。如果依据这些装置,则能够在激光加工之前视觉地把握所形成的多个改质点即改质区。

[0086] 本发明的激光加工装置的特征在于具备出射脉冲宽度为  $1\mu s$  以下的脉冲激光的激光光源;调节从激光光源出射的脉冲激光的重复频率的大小的频率调节装置;聚光脉冲激光使得从激光光源出射的脉冲激光的聚光点的峰值功率密度为  $1 \times 10^8 (W/cm^2)$  以上的聚光装置;把由聚光装置聚光了的脉冲激光的聚光点对准加工对象物的内部的装置;沿着加工对象物的切割预定线使脉冲激光的聚光点相对移动的移动装置,通过在加工对象物的内部对准聚光点,在加工对象物上照射 1 个脉冲的脉冲激光,在加工对象物的内部形成 1 个改质点,通过在加工对象物的内部对准聚光点,而且沿着切割预定线使聚光点相对移动,在加工对象物上照射多个脉冲的脉冲激光,沿着切割预定线在加工对象物的内部形成多个改质点,还具备根据所输入的相邻的改质点之间的距离,为了使相邻的改质点之间的距离成为该大小,运算从激光光源出射的脉冲激光的重复频率的大小的频率运算装置,频率调节装置调节从激光光源出射的脉冲激光的重复频率的大小使得成为由频率运算装置所运算的频率的大小。

[0087] 如果依据本发明的激光加工装置,则根据所输入的相邻的改质点之间的距离的大小,为了使相邻的改质点之间的距离成为该大小,运算从激光光源出射的脉冲激光的重复频率的大小。频率调节装置调节从激光光源出射的脉冲激光的重复频率的大小使得成为由频率运算装置所运算的频率的大小。由此,能够使相邻的改质点之间的距离成为所希望的大小。

[0088] 在本发明的激光加工装置中,能够具备显示由频率运算装置所运算的频率的大小的频率显示装置。如果依据该装置,则在根据相邻的改质点之间的距离的大小使激光加工装置动作时,能够在激光加工之前了解频率。

[0089] 本发明的激光加工装置的特征在于具备出射脉冲宽度为  $1\mu s$  以下的脉冲激光的激光光源;聚光脉冲激光使得从激光光源出射的脉冲激光的聚光点的峰值功率密度为  $1 \times 10^8 (W/cm^2)$  以上的聚光装置;把由聚光装置聚光了的脉冲激光的聚光点对准加工对象物的内部的装置;沿着加工对象物的切割预定线使脉冲激光的聚光点相对移动的移动装置;调节由移动装置产生的脉冲激光的聚光点的相对移动速度的大小的速度调节装置,通过在加工对象物的内部对准聚光点,在加工对象物上照射 1 个脉冲的脉冲激光,在加工对象物的内部形成 1 个改质点,通过在加工对象物的内部对准聚光点,而且沿着切割预定线

使聚光点相对移动,在加工对象物上照射多个脉冲的脉冲激光,沿着切割预定线在加工对象物的内部形成多个改质点,还具备根据所输入的相邻的改质点之间的距离,为了使相邻的改质点之间的距离成为该大小,运算由移动装置产生的脉冲激光的聚光点的相对移动速度的大小的速度运算装置,速度调节装置调节由移动装置产生的脉冲激光的聚光点的相对移动速度的大小使得成为由速度运算装置所运算的相对移动速度的大小。

[0090] 如果依据本发明的激光加工装置,则根据所输入的相邻的改质点之间的距离的大小,为了使相邻的改质点之间的距离成为该大小,运算由移动装置产生的脉冲激光的聚光点的相对移动速度的大小。速度调节装置调节由移动装置产生的脉冲激光的聚光点的相对移动速度的大小使得成为由速度运算装置所运算的相对移动速度的大小。由此,能够使相邻的改质点之间的距离成为所希望的大小。

[0091] 在本发明的激光加工装置中,能够具备显示由速度运算装置所运算的相对移动速度的大小的速度显示装置。如果依据该装置,则在根据所输入的相邻的改质点之间的距离的大小使激光加工装置动作时,能够在激光加工之前了解相对移动速度。

[0092] 本发明的激光加工装置的特征在于具备出射脉冲宽度为  $1\mu s$  以下的脉冲激光的激光光源;调节从激光光源出射的脉冲激光的重复频率的大小的频率调节装置;聚光脉冲激光使得从激光光源出射的脉冲激光的聚光点的峰值功率密度为  $1 \times 10^8 (W/cm^2)$  以上的聚光装置;把由聚光装置聚光了的脉冲激光的聚光点对准加工对象物的内部的装置;沿着加工对象物的切割预定线使脉冲激光的聚光点相对移动的移动装置;调节由移动装置产生的脉冲激光的聚光点的相对移动速度的大小的速度调节装置,通过在加工对象物的内部对准聚光点,在加工对象物上照射 1 个脉冲的脉冲激光,在加工对象物的内部形成 1 个改质点,通过在加工对象物的内部对准聚光点,而且沿着切割预定线使聚光点相对移动,在加工对象物上照射多个脉冲的脉冲激光,沿着切割预定线在加工对象物的内部形成多个改质点,还具备根据所输入的相邻的改质点之间的距离,为了使相邻的改质点之间的距离成为该大小,运算从激光光源出射的脉冲激光的重复频率的大小和由移动装置产生的脉冲激光的聚光点的相对移动速度的大小的组合的组合运算装置,频率调节装置调节从激光光源出射的脉冲激光的重复频率的大小使得成为由组合运算装置所运算的频率的大小,速度调节装置调节由移动装置产生的脉冲激光的聚光点的相对移动速度的大小使得成为由组合运算装置所运算的相对移动速度的大小。

[0093] 如果依据本发明的激光加工装置,则根据所输入的相邻的改质点之间的距离的大小,为了使相邻的改质点之间的距离成为该大小,运算脉冲激光的重复频率的大小和脉冲激光的聚光点的相对移动速度的大小的组合,调节脉冲激光的重复频率的大小以及脉冲激光的聚光点的相对移动速度的大小,使得成为频率调节装置以及速度调节装置所运算的组合的值。由此,能够使相邻的改质点之间的距离成为所希望的大小。

[0094] 在本发明的激光加工装置中,能够具备显示由组合运算装置所运算的频率的大小以及相对移动速度的大小的显示装置。如果依据该装置,则在根据所输入的相邻的改质点之间的距离的大小使激光加工装置动作时,能够在激光加工之前了解频率和相对移动速度的组合。

[0095] 根据上述所有的本发明的激光加工装置,能够沿着切割预定线在加工对象物的内部形成多个改质点。根据这些改质点规定改质区。改质区包括在加工对象物的内部作为发

生了裂纹的区域的裂纹区,在加工对象物的内部作为熔融处理了的区域的熔融处理区以及在加工对象物的内部作为折射率发生了变化的区域的折射率变化区中的至少某一种。

[0096] 如果依据上述所有的本发明的激光加工装置,则由于能够调节相邻的改质点之间的距离,因此能够沿着切割预定线连续地形成或者断续地形成改质区。如果连续地形成改质区,则与没有连续形成的情况相比较,容易进行以改质区为起点的加工对象物的切割。如果断续地形成改质区,则由于改质区沿着切割预定线不连续,因此切割预定线的位置保持某种程度的强度。

[0097] (5) 本发明的激光加工方法的特征在于具备通过在加工对象物的内部对准聚光点,在加工对象物上照射激光,沿着加工对象物的切割预定线在加工对象物的内部形成由多光子吸收产生的改质区,而且,通过改变在加工对象物上所照射的激光对于加工对象物的入射方向中的激光的聚光点的位置,使得沿着入射方向并列那样形成多个改质区的工序。

[0098] 如果依据本发明的激光加工方法,则通过改变照射在加工对象物上的激光对于加工对象物的入射方向中的激光的聚光点的位置,使得沿着入射方向并列那样形成多个改质区。因此,在切割加工对象物时能够增加成为起点的位置。从而,即使在加工对象物的厚度比较大等的情况下,也能够进行加工对象物的切割。另外,作为入射方向,例如有加工对象物的厚度方向或者与厚度方向正交的方向。

[0099] 本发明的激光加工方法的特征在于具备通过在加工对象物的内部对准激光的聚光点,在加工对象物上照射激光,沿着加工对象物的切割预定线,在加工对象物的内部形成改质区,而且,通过改变照射在加工对象物上的激光对于加工对象物的入射方向中的激光的聚光点的位置,使得沿着入射方向并列那样形成多改质区的工序。另外,本发明的激光加工方法的特征在于具备在激光的聚光点中的峰值功率密度为  $1 \times 10^8 (\text{W}/\text{cm}^2)$  以上而且脉冲宽度为  $1 \mu\text{s}$  以下的条件下,通过在加工对象物的内部对准激光的聚光点,在加工对象物上照射激光,沿着加工对象物的切割预定线在加工对象物的内部形成改质区,而且,通过改变照射在加工对象物上的激光对于加工对象物的入射方向中的激光的聚光点的位置,使得沿着入射方向并列那样形成多个改质区的工序。

[0100] 这些本发明的激光加工方法根据与上述本发明的激光加工方法相同的理由,能够在加工对象物的表面不发生不必要的分割,而且能够进行在其表面不熔融的激光加工,并且在切割加工对象物时增加成为起点的位置。其中,改质区的形成既有多光子吸收的原因,也有其它的原因。

[0101] 在本发明的激光加工方法中具有以下的形态。

[0102] 多个改质区能够从对于照射在加工对象物上的激光入射的加工对象物的入射面远的地方开始顺序形成。由此,能够在入射面与激光的聚光点之间没有改质区的状态下形成多个改质区。由此,由于不存在由已经形成的改质区散射激光,因此能够均匀地形成各个改质区。

[0103] 另外,改质区包括在加工对象物的内部作为发生了裂纹的区域的裂纹区,在内部作为熔融处理了的区域的熔融处理区以及在内部作为折射率发生了变化的区域的折射率变化区中的至少某一种。

[0104] 本发明的激光加工方法的特征在于具备使激光的聚光点越过加工对象物的激光

的入射面,对准加工对象物的内部,而且在加工对象物的厚度方向,从厚度一半的位置调节到接近或者远离入射面的位置,通过在加工对象物上照射激光,沿着加工对象物的切割预定线在加工对象物的内部形成由多光子吸收产生的改质区的工序。

[0105] 如果依据本发明的激光加工方法,则如果在加工对象物的厚度方向使激光的聚光点从厚度一半的位置调节到接近入射面的位置,则在加工对象物的内部中的入射面(例如表面)一侧形成改质区,另一方面,如果调节到远离入射面的位置,则在与加工对象物的内部中的入射面相对的面(例如背面)一侧形成改质区。如果在加工对象物的表面或者背面发生沿着切割预定线的分割则能够容易地切割加工对象物。如果依据本发明的激光加工方法,则能够在加工对象物的内部中的表面一侧或者背面一侧形成改质区。由此,由于能够容易地在表面或者背面一侧形成沿着切割预定线的分割,因此能够容易地切割加工对象物。其结果,如果依据本发明的激光加工方法则能够进行有效的切割。

[0106] 在本发明的激光加工方法中,能够在入射面上形成电子器件以及电极图形中的至少一方,能够在厚度方向把照射在加工对象物上的激光的聚光点从厚度一半的位置调节到接近入射面的位置。如果依据本发明的激光加工方法,则通过在加工对象物的入射面(例如表面)以及相对的面(例如背面)方向从改质区生长裂纹,切割加工对象物。如果在入射面一侧形成改质区,则由于改质区与入射面的距离比较短,因此能够减小裂纹成长方向的偏移。由此,当在加工对象物的入射面上形成电子器件或者电极图形时,能够不损伤电子器件进行切割。另外,所谓电子器件指的是半导体元件、液晶等显示装置、压电元件等。

[0107] 本发明的激光加工方法的特征在于具备通过在加工对象物的内部对准激光的聚光点,在加工对象物上照射激光,沿着加工对象物的切割预定线在加工对象物的内部形成多光子吸收产生的改质区的第1工序;在第1工序以后,通过在加工对象物的厚度方向,在加工对象物的内部使激光的聚光点对准与第1工序中的激光的聚光位置不同的位置,在加工对象物上照射激光,沿着加工对象物的另外的切割预定线,在加工对象物的内部,与改质区立体交叉那样形成其它的改质区的第2工序。

[0108] 如果依据本发明的激光加工方法,则由于在加工对象物的切割面之间交叉的切割中,在成为切割面之间的交叉场所的位置,改质区与其它的改质区没有重叠,因此能够防止降低成为交叉场所的位置的切割精度。由此,能够进行高精度的切割。

[0109] 在本发明的激光加工方法中还能够从改质区的侧面,在加工对象物的激光的入射面一侧形成其它的改质区。由此,在成为交叉场所的位置,在其它的改质区形成时由于不会由改质区散射所照射的激光,因此能够均匀地形成其它的改质区。

[0110] 在以上说明的本发明的激光加工方法中具有以下的形态。

[0111] 通过把在加工对象物上照射激光的条件取为激光的聚光点中的峰值功率密度为 $1 \times 10^8 (\text{W}/\text{cm}^2)$ 以上,脉冲宽度为 $1 \mu\text{s}$ 以下,还能够加工对象物的内部形成包括裂纹区的改质区。如果这样做,则在加工对象物的内部将发生由多光子吸收产生的光损伤的现象。根据该光损伤,在加工对象物的内部感应热畸变,由此在加工对象物的内部形成裂纹区。该裂纹区是上述改质区的一个例子。作为该激光加工方法的加工对象物,例如是包括玻璃的部件。另外,所谓峰值功率密度指的是脉冲激光的聚光点的电场强度。

[0112] 通过把在加工对象物上照射激光的条件取为激光的聚光点中的峰值功率密度为 $1 \times 10^8 (\text{W}/\text{cm}^2)$ 以上,脉冲宽度为 $1 \mu\text{s}$ 以下,还能够加工对象物的内部形成包括熔融处理

区的改质区。如果这样做,则加工对象物的内部通过多光子吸收被局部地加热。通过该加热在加工对象的内部形成熔融处理区。该熔融处理区是上述改质区的一个例子。作为该激光加工方法的加工对象物,例如是包括半导体材料的部件。

[0113] 通过把在加工对象物上照射激光的条件取为激光的聚光点中的峰值功率密度为  $1 \times 10^8 (\text{W}/\text{cm}^2)$  以上,脉冲宽度为  $1 \mu\text{s}$  以下,还能够在加工对象物的内部形成包括作为折射率变化的区域的折射率变化区的改质区。这样,如果使脉冲宽度极短,在加工对象物的内部引起多光子吸收,则由多光子吸收产生的功率不转化为热能,而是在加工对象物的内部感应离子价变化、结晶或者分极取向状态等的永久的构造变化,生成折射率变化区。该折射率变化区是上述改质区的一个例子。作为该激光加工方法的加工对象物,例如是包括玻璃的部件。

[0114] 在加工对象物上照射的激光的聚光点在厚度方向的位置调节能够包括通过把在加工对象物上照射的激光的聚光点在厚度方向中的所希望的位置作为从入射面到内部的距离,用加工对象物对于在加工对象物上照射的激光的折射率除该距离,运算厚度方向中的加工对象物的相对移动量的数据的运算工序;为了使在加工对象物上照射的激光的聚光点位于入射面上,运算所必需的厚度方向中的加工对象物的其它的相对移动量的数据的其它的运算工序;根据其它的相对移动量的数据使加工对象物沿着厚度方向相对移动的移动工序;在移动工序以后,根据相对移动量的数据使加工对象物沿着厚度方向相对移动其它的移动工序。如果这样做,则能够以入射面为基准,把加工对象物的厚度方向中的激光的聚光点的位置调节到加工对象物的内部的预定位置。即,在以入射面为基准的情况下,加工对象物的厚度方向中的加工对象物的相对移动量和加工对象物对于在加工对象物上照射的激光的折射率之积成为从入射面到激光的聚光点的距离。从而,如果使加工对象物移动到通过用上述折射率除从入射面到加工对象物的内部的距离得到的相对移动量,则能够使激光的聚光点对准加工对象物的厚度方向中的所希望的位置。

[0115] 本发明的激光加工装置的特征在于具备出射脉冲宽度为  $1 \mu\text{s}$  以下的脉冲激光的激光光源;聚光脉冲激光使得从激光光源出射的脉冲激光的聚光点的峰值功率密度为  $1 \times 10^8 (\text{W}/\text{cm}^2)$  以上的聚光装置;沿着加工对象物的切割预定线使得由聚光装置聚光了的脉冲激光的聚光点相对移动的移动装置;作为用于把由聚光装置聚光了的脉冲激光的聚光点对准加工对象物的内部的所希望的位置的厚度方向中的加工对象物的相对移动量的数据,存储把所希望的位置作为从由激光光源出射的脉冲激光入射到加工对象物的入射面到内部的距离,通过用加工对象物对于从激光光源出射的脉冲激光的折射率除该距离得到的相对移动量的数据的存储装置;为了使由聚光装置聚光了的脉冲激光的聚光点对准入射面,运算所必需的厚度方向中的加工对象物的其它的相对移动量的数据的运算装置;根据由存储装置存储的相对移动量的数据以及由运算装置运算了的其它的相对移动量的数据,使加工对象物沿着厚度方向相对移动其它的移动装置。

[0116] 另外,本发明的激光加工装置的特征在于具备出射脉冲宽度为  $1 \mu\text{s}$  以下的脉冲激光的激光光源;聚光脉冲激光使得从激光光源出射的脉冲激光的聚光点的峰值功率密度为  $1 \times 10^8 (\text{W}/\text{cm}^2)$  以上的聚光装置;使得由聚光装置聚光了的脉冲激光的聚光点对准加工对象物的内部的装置;在加工对象物的厚度的范围内调节由聚光装置聚光了的脉冲激光的聚光点的位置的装置;沿着加工对象物的切割预定线使脉冲激光的聚光点相对移动的移动

装置。

[0117] 如果依据这些本发明的激光加工装置,则根据与上述本发明的激光加工方法相同的理由,能够进行在加工对象物的表面不发生熔融或者偏离切割预定线的不必要的分割的激光加工,或者能够进行在加工对象物的内部控制了加工对象物的厚度方向中的脉冲激光的聚光点的位置的激光加工。

#### [0118] 附图说明

[0119] 图 1 是用本实施形态的激光加工方法正在进行加工的加工对象物的平面图。

[0120] 图 2 是沿着图 1 所示的加工对象物的 II-II 线的剖面图。

[0121] 图 3 是用本实施形态的激光加工方法进行激光加工以后的加工对象物的平面图。

[0122] 图 4 是沿着图 3 所示的加工对象物的 IV-IV 线的剖面图。

[0123] 图 5 是沿着图 3 所示的加工对象物的 V-V 线的剖面图。

[0124] 图 6 是用本实施形态的激光加工方法切割了的加工对象物的平面图。

[0125] 图 7 是示出本实施形态的激光加工方法中的电场强度与裂纹大小的关系的曲线图。

[0126] 图 8 是本实施形态的激光加工方法的第 1 工序中的加工对象物的剖面图。

[0127] 图 9 是本实施形态的激光加工方法的第 2 工序中的加工对象物的剖面图。

[0128] 图 10 是本实施形态的激光加工方法的第 3 工序中的加工对象物的剖面图。

[0129] 图 11 是本实施形态的激光加工方法的第 4 工序中的加工对象物的剖面图。

[0130] 图 12 示出了用本实施形态的激光加工方法切割了的硅晶片的一部分中的剖面的照片。

[0131] 图 13 是示出本实施形态的激光加工方法中的激光的波长与硅基板的内部透射率的关系的曲线图。

[0132] 图 14 是能够在本实施形态的第 1 例的激光加工方法中使用的激光加工装置的概略结构图。

[0133] 图 15 是用于说明本实施形态的第 1 例中的激光加工方法的流程图。

[0134] 图 16 是用于说明能够用本实施形态的第 1 例的激光加工方法进行切割的图形的加工对象物的平面图。

[0135] 图 17 是说明设置多个激光光源的本实施形态的第 1 例的激光加工方法的模式图。

[0136] 图 18 是说明设置多个激光光源的本实施形态的第 1 例的其它激光加工方法的模式图。

[0137] 图 19 是示出在本实施形态的第 2 例中,保持为晶片板状态的压电元件晶片的概略平面图。

[0138] 图 20 是示出在本实施形态的第 2 例中,保持为晶片板状态的压电元件晶片的概略剖面图。

[0139] 图 21 是用于说明本实施形态的第 2 例的切割方法的流程图。

[0140] 图 22 是用本实施形态的第 2 例的切割方法正在照射激光的光透射性材料的剖面图。

[0141] 图 23 是用本实施形态的第 2 例的切割方法照射了激光的光透射性材料的平面图。

[0142] 图 24 是沿着图 23 所示的光透射性材料的 XXIV-XXIV 线的剖面图。



- [0143] 图 25 是沿着图 23 所示的光透射性材料的 XXV-XXV 线的剖面图。
- [0144] 图 26 是沿着延缓聚光点移动速度时的图 23 所示的光透射性材料的 XXV-XXV 线的剖面图。
- [0145] 图 27 是沿着进一步延缓聚光点移动速度时的图 23 所示的光透射性材料的 XXV-XXV 线的剖面图。
- [0146] 图 28 是示出本实施形态的第 2 例的切割方法的第 1 工序的压电元件晶片等的剖面图。
- [0147] 图 29 是示出本实施形态的第 2 例的切割方法的第 2 工序的压电元件晶片等的剖面图。
- [0148] 图 30 是示出本实施形态的第 2 例的切割方法的第 3 工序的压电元件晶片等的剖面图。
- [0149] 图 31 是示出本实施形态的第 2 例的切割方法的第 4 工序的压电元件晶片等的剖面图。
- [0150] 图 32 是示出本实施形态的第 2 例的切割方法的第 5 工序的压电元件晶片等的剖面图。
- [0151] 图 33 示出通过照射线偏振光的脉冲激光在内部形成了裂纹区的样品的平面照片。
- [0152] 图 34 示出了通过照射圆偏振光的脉冲激光在内部形成了裂纹区的样品的平面照片。
- [0153] 图 35 是沿着图 33 所示样品的 XXXV-XXXV 线的剖面图。
- [0154] 图 36 是沿着图 34 所示样品的 XXXVI-XXXVI 线的剖面图。
- [0155] 图 37 是沿着用本实施形态的第 3 例的激光加工方法形成了裂纹区的加工对象物的切割预定线部分的平面图。
- [0156] 图 38 是沿着用作为比较的激光加工方法形成了裂纹区的加工对象物的切割预定线部分的平面图。
- [0157] 图 39 是示出生成了本实施形态的第 3 例的椭圆偏振光的激光和用其形成的裂纹区。
- [0158] 图 40 是本实施形态的第 3 例的激光加工装置的概略结构图。
- [0159] 图 41 是包含在本实施形态的第 3 例中的椭圆率调节单元中的 1/4 波长板的斜视图。
- [0160] 图 42 是包含在本实施形态的第 3 例中的 90 度旋转调节单元中的 1/2 波长板的斜视图。
- [0161] 图 43 是用于说明本实施形态的第 3 例的激光加工方法的流程图。
- [0162] 图 44 是用本实施形态的第 3 例的激光加工方法照射了具有椭圆偏振光的激光的硅晶片的平面图。
- [0163] 图 45 是用本实施形态的第 3 例的激光加工方法照射了具有线偏振光的激光的硅晶片的平面图。
- [0164] 图 46 是在图 44 所示的硅晶片上用本实施形态的第 3 例的激光加工方法照射了具有椭圆偏振光的激光的硅晶片的平面图。

[0165] 图 47 是在图 45 所示的硅晶片上用本实施形态的第 3 例的激光加工方法照射了具有线偏振光的激光的硅晶片的平面图。

[0166] 图 48 是本实施形态的第 4 例的激光加工装置的概略结构图。

[0167] 图 49 是在图 44 所示的硅晶片上用本实施形态的第 4 例的激光加工方法照射了具有椭圆偏振光的激光的硅晶片的平面图。

[0168] 图 50 是使用本实施形态的第 5 例的激光加工方法比较大地形成了裂纹点时的加工对象物的平面图。

[0169] 图 51 是沿着图 50 所示的切割预定线上的 LI-LI 切割了时的剖面图。

[0170] 图 52 是沿着图 50 所示的切割预定线上的 LII-LII 切割了时的剖面图。

[0171] 图 53 是沿着图 50 所示的切割预定线上的 LIII-LIII 切割了时的剖面图。

[0172] 图 54 是沿着图 50 所示的切割预定线上的 LIV-LIV 切割了时的剖面图。

[0173] 图 55 是沿着图 50 所示的切割预定线切割了时的剖面图。

[0174] 图 56 是使用本实施形态的第 5 例的激光加工方法比较小地形成了裂纹点时的沿着切割预定线的加工对象物的剖面图。

[0175] 图 57 是沿着切割预定线切割了图 56 所示的加工对象物的平面图。

[0176] 图 58 是示出使用预定数值孔径的聚光用透镜在加工对象物的内部聚光了脉冲激光的状态的加工对象物的剖面图。

[0177] 图 59 是包括以由图 58 所示的激光的照射产生的多光子吸收为原因形成的裂纹点的加工对象物的剖面图。

[0178] 图 60 是使用了比图 58 所示的例子大的数值孔径的聚光用透镜时的加工对象物的剖面图。

[0179] 图 61 是包括以由图 60 所示的激光的照射产生的多光子吸收为原因形成的裂纹点的加工对象物的剖面图。

[0180] 图 62 是使用了比图 58 所示的例子小的功率的脉冲激光时的加工对象物的剖面图。

[0181] 图 63 是包括以由图 62 所示的激光的照射产生的多光子吸收为原因形成的裂纹点的加工对象物的剖面图。

[0182] 图 64 是使用了比图 60 所示的例子小的功率的脉冲激光时的加工对象物的剖面图。

[0183] 图 65 是包括以由图 64 所示的激光的照射产生的多光子吸收为原因形成的裂纹点的加工对象物的剖面图。

[0184] 图 66 是沿着与图 57 所示的切割预定线正交的 LXVI-LXVI 切割了的剖面图。

[0185] 图 67 是本实施形态的第 5 例的激光加工装置的概略结构图。

[0186] 图 68 是示出在本实施形态的第 5 例的激光加工装置中具备的总体控制单元一例的一部分的框图。

[0187] 图 69 是示出包含在本实施形态的第 5 例的激光加工装置的总体控制单元中的相关关系存储单元的表的一例。

[0188] 图 70 是示出包含在本实施形态的第 5 例的激光加工装置的总体控制单元中的相关关系存储单元的表的其它例子。

[0189] 图 71 是示出包含在本实施形态的第 5 例的激光加工装置的总体控制单元中的相关关系存储单元的表的另一个例子。

[0190] 图 72 是本实施形态的第 6 例的激光加工装置的概略结构图。

[0191] 图 73 示出没有配置光束扩展器时的由聚光用透镜进行的激光的聚光。

[0192] 图 74 示出配置了光束扩展器时的由聚光用透镜进行的激光的聚光。

[0193] 图 75 是本实施形态的第 7 例的激光加工装置的概略结构图。

[0194] 图 76 示出没有配置可变光阑时的由聚光用透镜进行的激光的聚光。

[0195] 图 77 示出配置了可变光阑时的由聚光用透镜进行的激光的聚光。

[0196] 图 78 是本实施形态的激光加工装置的变形例中所具备的总体控制单元的一例的框图。

[0197] 图 79 是本实施形态的激光加工装置的变形例中所具备的总体控制单元的另一例的框图。

[0198] 图 80 是本实施形态的激光加工装置的变形例中所具备的总体控制单元的又一例的框图。

[0199] 图 81 是沿着用本实施形态的第 8 例的激光加工形成了裂纹区的加工对象物的切割预定线部分的一例的平面图。

[0200] 图 82 是沿着用本实施形态的第 8 例的激光加工形成了裂纹区的加工对象物的切割预定线部分的另一例的平面图。

[0201] 图 83 是沿着用本实施形态的第 8 例的激光加工形成了裂纹区的加工对象物的切割预定线部分的又一例的平面图。

[0202] 图 84 是本实施形态的第 8 例的激光加工装置的激光光源中具备的 Q 开关激光的概略结构图。

[0203] 图 85 是示出本实施形态的第 8 例的激光加工装置的总体控制单元一例的一部分的框图。

[0204] 图 86 是示出本实施形态的第 8 例的激光加工装置的总体控制单元的其它例的一部分的框图。

[0205] 图 87 是示出本实施形态的第 8 例的激光加工装置的总体控制单元的又一例的一部分的框图。

[0206] 图 88 是示出本实施形态的第 8 例的激光加工装置的总体控制单元的又一例的一部分的框图。

[0207] 图 89 是使用本实施形态的第 9 例的激光加工方法在加工对象物的内部形成了裂纹区的加工对象物的一例的斜视图。

[0208] 图 90 是形成了从图 89 所示的裂纹区延伸的裂纹的加工对象物的斜视图。

[0209] 图 91 是使用本实施形态的第 9 例的激光加工方法在加工对象物的内部形成了裂纹区的加工对象物的其它例子的斜视图。

[0210] 图 92 是使用本实施形态的第 9 例的激光加工方法在加工对象物的内部形成了裂纹区的加工对象物的又一例的斜视图。

[0211] 图 93 是示出激光的聚光点位于加工对象物的表面的状态。

[0212] 图 94 是示出激光的聚光点位于加工对象物的内部的状态。

[0213] 图 95 是用于说明本实施形态的第 9 例的激光加工方法的流程图。

[0214] 图 96 是使用本实施形态的第 10 例的激光加工方法在加工对象物的内部形成了裂纹区的加工对象物的一例的斜视图。

[0215] 图 97 是图 96 所示的加工对象物的部分剖面图。

[0216] 图 98 是使用本实施形态的第 10 例的激光加工方法在加工对象物的内部形成了裂纹区的加工对象物的其它例的斜视图。

[0217] 图 99 是图 98 所示的加工对象物的部分剖面图。

[0218] 图 100 是使用本实施形态的第 10 例的激光加工方法在加工对象物的内部形成了裂纹区的加工对象物的又一例的斜视图。

#### [0219] 具体实施方式

[0220] 以下,使用附图说明本发明理想的实施形态。本实施形态的激光加工方法以及激光加工装置通过多光子吸收形成改质区。多光子吸收是在使激光的强度非常大的情况下发生的现象。首先,简单地说明多光子吸收。

[0221] 与材料的吸收带隙  $E_g$  相比较,如果光子的功率  $h\nu$  小,则成为光学上的透明。由此,在材料中发生吸收的条件是  $h\nu > E_g$ 。但是,即使是光学上的透明,如果使激光的强度非常大,则在  $nh\nu > E_g$  的条件 ( $n = 2, 3, 4, \dots$ ) 下在材料中发生吸收。把该现象称为多光子吸收。在脉冲波的情况下,激光的强度由激光的聚光点的峰值功率密度 ( $W/cm^2$ ) 决定,例如,在峰值功率密度为  $1 \times 10^8 (W/cm^2)$  以上的条件下发生多光子吸收。峰值功率密度根据 (聚光点中的激光的每一个脉冲的能量)  $\div$  (激光的光束点截面积  $\times$  脉冲宽度) 求出。另外,在连续波的情况下,激光的强度由激光的聚光点的电场强度 ( $W/cm^2$ ) 决定。

[0222] 使用图 1 ~ 图 6 说明利用这种多光子吸收的本实施形态的激光加工的原理。图 1 是正在进行激光加工的加工对象物 1 的平面图,图 2 是沿着图 1 所示的加工对象物 1 的 II-II 线的剖面图,图 3 是激光加工后的加工对象物 1 的平面图,图 4 是沿着图 3 所示的加工对象物 1 的 IV-IV 线的剖面图,图 5 是沿着图 3 所示的加工对象物 1 的 V-V 线的剖面图,图 6 是被切割了的加工对象物 1 的平面图。

[0223] 如图 1 以及图 2 所示,在加工对象物 1 的表面 3 上有切割预定线 5。切割预定线 5 是直线形延伸的假想线。本实施形态的激光加工在产生多光子吸收的条件下,在加工对象物 1 的内部对准聚光点 P,在加工对象物 1 上照射激光,形成改质区 7。另外,所谓聚光点是激光 L 聚光了的位置。

[0224] 通过沿着切割预定线 5 (即沿着箭头 A 方向) 使激光 L 相对移动,使聚光点 P 沿着切割预定线 5 移动。由此,如图 3 ~ 图 5 所示,沿着切割预定线 5 仅在加工对象物 1 的内部形成改质区 7。本实施形态的激光加工方法不是通过加工对象物 1 吸收激光 L 使加工对象物 1 发热形成改质区 7,而是使激光 L 透过加工对象物 1,在加工对象物 1 的内部发生多光子吸收形成改质区 7。由此,在加工对象物 1 的表面 3 上由于几乎不吸收激光 L,因此不熔融加工对象物 1 的表面。

[0225] 在加工对象物 1 的切割中,如果在切割的位置具有起点,则由于加工对象物 1 从该起点开始分割,因此如图 6 所示能够以比较小的力切割加工对象物 1。由此,能够在加工对象物 1 的表面 3 上不发生不必要的分割进行加工对象物 1 的切割。

[0226] 另外,以改质区作为起点的加工对象物的切割考虑以下两种情况。一种情况是在

改质区形成以后,通过在加工对象物上加入人为的力,以改质区作为起点分割加工对象物后切割加工对象物。这是例如在加工对象物的厚度大时的切割。所谓加入人为的力,例如,沿着加工对象物的切割预定线在加工对象物上加入弯曲应力或折断应力,或者通过在加工对象物上提供温差,使得发生热应力。

[0227] 另一种情况是通过形成改质区,以改质区为起点,朝向加工对象物的截面方向(厚度方向)自然分割,其结果切割加工对象物。该切割例如在加工对象物的厚度小时,能够在改质区为 1 个的情况下进行,在加工对象物的厚度大时,能够通过沿着厚度方向形成多个改质区进行。另外,在该自然分割的情况下,由于也在切割的位置的表面上,不分割到没有形成改质区的部分,能够仅割断形成了改质区的部分,因此能够很好地控制割断。近年来,由于硅晶片等半导体晶片的厚度具有越来越薄的倾向,因此这种控制性良好的割断方法非常有效。

[0228] 进而,在本实施形态中,作为由多光子吸收形成的改质区,有以下的(1)~(3)。

[0229] (1) 改质区是包括一个或者多个裂纹的裂纹区的情况

[0230] 在加工对象物(例如由玻璃或者  $\text{LiTaO}_3$  构成的压电材料)的内部对准聚光点,在聚光点中的电场强度为  $1 \times 10^8 (\text{W}/\text{cm}^2)$  以上而且脉冲宽度为  $1 \mu\text{s}$  以下的条件下照射激光。该脉冲宽度的大小是使得发生多光子吸收而且在加工对象物表面不产生多余的损伤,仅在加工对象物的内部能够形成裂纹区的条件。由此,在加工对象物的内部发生由多光子吸收产生的光学损伤这样的现象。根据该光学损伤在加工对象物的内部诱发热畸变,由此在加工对象物的内部形成裂纹区。作为电场强度的上限值,例如是  $1 \times 10^{12} (\text{W}/\text{cm}^2)$ 。脉冲宽度最好是例如  $1\text{ns} \sim 200\text{ns}$ 。另外,由多光子吸收产生的裂纹区的形成例如记载在第 45 次激光热加工研究会论文集(1998 年 12 月)的第 23 页~第 28 页的「由固体激光高次谐波产生的玻璃基板的内部条纹」中。

[0231] 本发明者们通过实验求出了电场强度与裂纹大小的关系。实验条件如下。

[0232] (A) 加工对象物:硼硅酸玻璃(厚度  $700 \mu\text{m}$ )

[0233] (B) 激光器

[0234] 光源:半导体激光激励 Nd:YAG 激光器

[0235] 波长:  $1064\text{nm}$

[0236] 激光点截面积:  $3.14 \times 10^{-8} \text{cm}^2$

[0237] 振荡形态:Q 开关脉冲

[0238] 重复频率:  $100\text{kHz}$

[0239] 脉冲宽度:  $30\text{ns}$

[0240] 输出:输出  $< 1\text{mJ}$ /脉冲

[0241] 激光品质:  $\text{TEM}_{00}$

[0242] 偏振光特性:线偏振光

[0243] (C) 聚光用透镜

[0244] 对于激光波长的透射率:  $60\%$

[0245] (D) 放置加工对象物的载置台的移动速度:  $100\text{mm}/\text{秒}$

[0246] 另外,所谓激光品质是  $\text{TEM}_{00}$ ,意味着聚光性高,而且能够聚光到激光的波长左右。

[0247] 图 7 是表示上述实验结果的曲线。横轴是峰值功率密度,由于激光是脉冲激光,因

此电场强度用峰值功率密度表示。纵轴示出由 1 个脉冲的激光在加工对象物的内部形成的裂纹部分（裂纹点）的大小。汇集裂纹点构成裂纹区。裂纹点的大小是在裂纹点的形状中为最大部分的大小。曲线中用黑圆圈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，曲线中用白圆圈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。可知从峰值功率密度为  $10^{11}(\text{W}/\text{cm}^2)$  左右开始在加工对象物的内部发生裂纹点，随着峰值功率密度加大，裂纹点也加大。

[0248] 其次，使用图 8～图 11 说明在本实施形态的激光加工方法中，由裂纹区形成产生的加工对象物切割的机理。如图 8 所示，在产生多光子吸收的条件下在加工对象物 1 的内部对准聚光点 P，在加工对象物 1 上照射激光 L，沿着切割预定线在内部形成裂纹区 9。裂纹区 9 是包括 1 个或者多个裂纹的区域。如图 9 所示，以裂纹区 9 为起点进一步生长裂纹，如图 10 所示，裂纹到达加工对象物 1 的表面 3 和背面 21，如图 11 所示，通过分割加工对象物 1 来切断加工对象物 1。到达加工对象物的表面和背面的裂纹既有自然生长的情况，也有通过在加工对象物上加入力生长的情况。

[0249] (2) 改质区是熔融处理区的情况

[0250] 在加工对象物（例如硅那样的半导体材料）的内部对准聚光点，在聚光点中的电场强度为  $1 \times 10^8(\text{W}/\text{cm}^2)$  以上而且脉冲宽度为  $1 \mu\text{s}$  以下的条件下照射激光。由此，加工对象物的内部通过多光子吸收被局部地加热。通过该加热在加工对象物的内部形成熔融处理区。所谓熔融处理区意味着一旦熔融后再次固化的区域、熔融状态中的区域以及从熔融开始进行再次固化的状态中的区域中的至少某一种。另外，还能够指熔融处理区相变化的区域或者结晶构造变化了的区域。另外，作为熔融处理区还能够指在单晶体构造，非晶体构造，多晶体构造中，某种构造变化为其它构造的区域。即，例如，从单晶体构造变化为非晶体构造的区域，从单晶体构造变化为多晶体构造的区域，从单晶体构造变化为包括非晶体构造以及多晶体构造的区域。在加工对象物是单晶硅构造的情况下，熔融处理区例如是非晶硅构造。另外，作为电场强度的上限值，例如是  $1 \times 10^{12}(\text{W}/\text{cm}^2)$ 。脉冲宽度最好例如是  $1\text{ns} \sim 200\text{ns}$ 。

[0251] 本发明者们通过实验确认了在硅晶片的内部形成熔融处理区。实验条件如下。

[0252] (A) 加工对象物：硅晶片（厚度  $350 \mu\text{m}$ ，外径 4 英寸）

[0253] (B) 激光器

[0254] 光源：半导体激光激励 Nd:YAG 激光器

[0255] 波长： $1064\text{nm}$

[0256] 激光点截面积： $3.14 \times 10^{-8}\text{cm}^2$

[0257] 振荡形态：Q 开关脉冲

[0258] 重复频率： $100\text{kHz}$

[0259] 脉冲宽度： $30\text{ns}$

[0260] 输出： $20 \mu\text{J}/\text{脉冲}$

[0261] 激光品质： $\text{TEM}_{00}$

[0262] 偏振光特性：线偏振光

[0263] (C) 聚光用透镜

[0264] 倍率：50 倍

[0265] NA :0.55

[0266] 对于激光波长的透射率 :60%

[0267] (D) 放置加工对象物的载置台的移动速度 :100mm/ 秒

[0268] 图 12 示出了通过上述条件下的激光加工切割了的硅晶片的一部分中的剖面的照片。在硅晶片 11 的内部形成着熔融处理区 13。另外,根据上述条件形成的熔融处理区的厚度方向的大小是 100  $\mu\text{m}$  左右。

[0269] 说明通过多光子吸收形成了熔融处理区 13 的过程。图 13 是示出激光的波长与硅基板的内部的透射率的关系的曲线。其中,除去硅基板的表面一侧和背面一侧的各个反射成分,仅示出内部的透射率。对于硅基板的厚度  $t$  为 50  $\mu\text{m}$ , 100  $\mu\text{m}$ , 200  $\mu\text{m}$ , 500  $\mu\text{m}$ , 1000  $\mu\text{m}$  的各种情况示出上述关系。

[0270] 例如,在 Nd:YAG 激光器的波长 1064nm 中,硅基板的厚度为 500  $\mu\text{m}$  以下的情况下,在硅基板的内部激光透过 80% 以上。如图 12 所示,由于硅晶片 11 的厚度是 350  $\mu\text{m}$ ,因此由多光子吸收产生的熔融处理区形成在硅基板的中心附近,即距表面 175  $\mu\text{m}$  的部分上。这时的透射率如果参考厚度 200  $\mu\text{m}$  的硅晶片,则由于成为 90% 以上,因此在硅晶片 11 在内部吸收的激光很少,几乎全部透过。这一点意味着不是在硅晶片 11 的内部吸收激光,在硅晶片 11 的内部形成了熔融处理区(即,通过由激光进行的通常的加热形成融处理区),而是通过多光子吸收形成了熔融处理区。由多光子吸收进行的熔融处理区的形成例如记载在焊接学会全国大会讲演概要第 66 集(2000 年 4 月)的第 72 页~第 73 页的「皮秒脉冲激光进行的硅加工特性评价」中。

[0271] 另外,硅晶片以熔融处理区为起点,朝向剖面方向发生分割,通过该分割到过硅晶片的表面和背面,最终进行切割。到达硅晶片的表面和背面的该分割具有自然生长的情况,也有通过在加工对象部上加入力生长的情况。另外,从熔融处理区在硅晶片的表面和背面自然生长分割是从一旦熔融后再次固化的状态的区域生长分割的情况,从熔融状态的区域生长分割的情况以及从熔融开始再次进行固化的状态的区域生长分割的情况中的至少某一种。在任一种情况下切割后的切割面都如图 12 所示仅在内部形成熔融处理区。在加工对象物的内部形成熔融处理区的情况下,由于分割时难以产生偏离切割预定线的不必要的分割,因此容易进行割断控制。

[0272] (3) 改质区是折射率变化区的情况

[0273] 在加工对象物(例如玻璃)的内部对准聚光点,在聚光点中的电场强度为  $1 \times 10^8 (\text{W}/\text{cm}^2)$  以上而且脉冲宽度为 1ns 以下的条件下照射激光。如果使脉冲宽度极短,在加工对象物的内部引起多光子吸收,则由多光子吸收产生的功率不转化为热能,在加工对象物的内部感应离子价变化,结晶或者极化取向等的永久的构造变化,形成折射率变化区。作为电场强度的上限值,例如是  $1 \times 10^{12} (\text{W}/\text{cm}^2)$ 。脉冲宽度最好例如是 1ns 以下,更理想的是 1ps 以下。由多光子吸收进行的折射率变化区的形成例如记载第 42 次激光热加工研究会论文集(1997 年 11 月)第 105 页~第 111 页的「毫微微秒激光照射产生的对于玻璃内部的光感应构造形成」中。

[0274] 其次说明本实施形态的具体例子。

[0275] [第 1 例]

[0276] 说明本实施形态的第 1 例的激光加工方法。图 14 是能够在该方法中使用的激光

加工装置 100 的概略结构图。激光加工装置 100 具备发生激光 L 的激光光源 101 ;为了调节激光的输出或者脉冲宽度等控制激光光源 101 的激光光源控制单元 102 ;配置成具有激光的反射功能而且把激光的光轴朝向改变  $90^{\circ}$  的分色镜 103 ;聚光由分色镜 103 反射的激光的聚光用透镜 105 ;放置照射了由聚光用透镜 105 聚光了的激光的加工对象物 1 的载置台 107 ;用于使载置台 107 沿着 X 轴方向移动的 X 轴载物台 109 ;用于使载置台 107 沿着与 X 轴方向正交的 Y 轴方向移动的 Y 轴载物台 111 ;用于使载置台 107 沿着与 X 轴以及 Y 轴方向正交的 Z 轴方向移动的 Z 轴载物台 113 ;用于控制这三个载物台 109、111、113 的移动的载物台控制单元 115。

[0277] 由于 Z 轴方向是与加工对象物 1 的表面 3 正交的方向,因此成为入射到加工对象物 1 的激光的聚光点深度的方向。由此,通过使 Z 轴载物台 113 沿着 Z 轴方向移动,能够在加工对象物 1 的内部对准激光的聚光点 P。另外,该聚光点 P 沿着 X(Y) 轴方向的移动通过由 X(Y) 轴载物台 109(111) 使加工对象物 1 沿着 X(Y) 轴方向移动而进行。X(Y) 轴载物台 109(111) 是移动装置的一个例子。

[0278] 激光光源 101 是发生脉冲激光的 Nd:YAG 激光器。作为能够在激光光源 101 中使用的激光器,除此以外,还有 Nd:YVO<sub>4</sub> 激光器或者 Nd:YLF 激光器或者钛蓝宝石激光器等。在形状裂纹区或者熔融处理区时,使用 Nd:YAG 激光器,Nd:YVO<sub>4</sub> 激光器,Nd:YLF 激光器比较适宜。在形成折射率变化区域时,使用钛蓝宝石激光器比较适宜。

[0279] 第 1 例中,在加工对象物 1 的加工中使用脉冲激光,而如果能够引起多光子吸收则也可以是连续波激光。另外,在本发明中激光包括激光束的含义。聚光用透镜 105 是聚光装置的一个例子。Z 轴载物台 113 是把激光的聚光点对准在加工对象物的内部的装置的一个例子。通过使聚光用透镜 105 沿着 Z 轴方向移动,能够在加工对象物的内部对准激光的聚光点。

[0280] 激光加工装置 100 还具备为了用可见光线照明放置在载置台 107 上的加工对象物 1 而发生可见光线的观察用光源 117 ;配置在与分色镜 103 以及聚光用透镜 105 相同光轴上的可见光用的光束分裂器 119。在光束分裂器 119 与聚光用透镜 105 之间配置着分色镜 103。光束分裂器 119 配置成使得具有反射可见光线的大约一半,透过其余一半的功能,而且把可见光线的光轴朝向改变  $90^{\circ}$ 。从观察用光源 117 发生的可见光线由光束分裂器 119 反射大约一半,该被反射的可见光线透过分色镜 103 以及聚光用透镜 105,照明包括加工对象物 1 的切割预定线 5 等的表面 3。

[0281] 激光加工装置 100 还具备配置在与光束分裂器 119,分色镜 103 以及聚光用透镜 105 相同光轴上的摄影元件 121 以及成像透镜 123。作为摄影元件 121 例如有 CCD(电荷耦合器件)照相机。照明包括切割预定线 5 等的表面 3 的可见光线的反射光透过聚光用透镜 105,分色镜 103,光束分裂器 119,由成像透镜 123 成像,由摄影元件 121 摄影,成为摄影数据。

[0282] 激光加工装置 100 还具备输入从摄影元件 121 输出的摄影数据的摄影数据处理单元 125 ;控制激光加工装置 100 总体的总体控制单元 127 ;监视器 129。摄影数据处理单元 125 根据摄影数据运算用于在表面 3 上对准由观察用光源 117 发生的可见光的聚光点的聚光点数据。根据该聚光点数据,载物台控制单元 115 通过移动控制 Z 轴载物台 113,使得在表面 3 上对准可见光的聚光点。因而,摄影数据处理单元 125 起到自动聚光单元的功能。另



外,摄影数据处理单元 125 根据摄影数据运算表面 3 的放大图像的图像数据。该图像数据传送到总体控制单元 127,由总体控制单元进行各种处理,传送到监视器 129。由此,在监视器 129 上显示放大图像等。

[0283] 在总体控制单元 127 中输入来自载物台控制单元 115 的数据,来自摄影数据处理单元 125 的图像数据等,通过根据这些数据控制激光光源控制单元 102,观察用光源 117 以及载物台控制单元 115,控制激光加工装置 100 总体。因而,总体控制单元 127 起到计算机单元的功能。

[0284] 其次,使用图 14 以及图 15 说明本实施形态的第 1 例的激光加工方法。图 15 是用于说明该激光加工方法的流程图。加工对象 1 是硅晶片。

[0285] 首先,由未图示的分光光度计等测定加工对象物 1 的光吸收特性。根据该测定结果,对于加工对象物 1 确定发生透明的波长或者吸收少的波长的激光 L(S101)。然后,测定加工对象物 1 的厚度。根据厚度的测定结果以及加工对象物 1 的折射率,决定加工对象物 1 的 Z 轴方向的移动量 (S103)。该移动量是为了使激光 L 的聚光点 P 位于加工对象物 1 的内部,以位于加工对象物 1 的表面 3 的激光 L 的聚光点为基准的加工对象物 1 在 Z 轴方向的移动量。把该移动量输入到总体控制单元 127。

[0286] 把加工对象物 1 放置在激光加工装置 100 的载置台 107 上。然后使得从观察用光源 117 发生可见光,照明加工对象物 1 (S105)。通过摄影元件 121 拍摄包括被照明了的切割预定线 5 的加工对象物 1 的表面 3。该摄影数据传送到摄影数据处理单元 125。根据该摄影数据,摄影数据处理单元 125 计算观察用光源 117 的可见光的聚光点位于表面 3 那样的聚光点数据 (S107)。

[0287] 该聚光点数据传送到载物台控制单元 115。载物台控制单元 115 根据该聚光点数据,使 Z 轴载物台 113 向 Z 轴方向移动 (S109)。由此,观察用光源 117 的可见光的聚光点位于表面 3 上。另外,摄影数据处理单元 125 根据摄影数据,计算包括切割预定线 5 的加工对象物 1 的表面 3 的放大图像数据。该放大图像数据经过总体控制单元 127 传送到监视器 129,由此,在监视器 129 上显示切割预定线 5 附近的放大图像。

[0288] 在总体控制单元 127 中预先输入在步骤 S103 中决定的移动量数据,该移动量数据传送到载物台控制单元 115。载物台控制单元 115 根据该移动量数据,由 Z 轴载物台 113 沿着 Z 轴方向移动加工对象物 1,使得激光 L 的聚光点 P 处于成为加工对象物 1 的内部的位置 (S111)。

[0289] 接着,从激光光源 101 发生激光 L,在加工对象物 1 的表面 3 的切割预定线 5 上照射激光 L。由于激光 L 的聚光点 P 位于加工对象物 1 的内部,因此仅在加工对象物 1 的内部形成熔融处理区。然后,沿着切割预定线 5 使 X 轴载物台 109 或者 Y 轴载物台 111 移动,沿着切割预定线 5 在加工对象物 1 的内部形成熔融处理区 (S113)。然后,通过使加工对象物 1 沿着切割预定线 5 弯曲,切割加工对象物 1 (S115)。由此,把加工对象物 1 分割为硅芯片。

[0290] 说明第 1 例的效果。如果依据第 1 例,则在引起多光子吸收的条件下,而且在加工对象物 1 的内部对准聚光点 P,沿着切割预定线 5 照射脉冲激光。而且,通过使 X 轴载物台 109 或者 Y 轴载物台 111 移动,使聚光点 P 沿着切割预定线 5 移动。由此,沿着切割预定线 5 在加工对象物 1 的内部形成改质区 (例如裂纹区,熔融处理区,折射率变化区)。如果在加工对象物的切割位置有若干个起点,则能够用比较小的力分割加工对象物进行切割。因

而,通过把改质区作为起点沿着切割预定线 5 分割加工对象物 1,能够用比较小的力切割加工对象物 1。由此,能够在加工对象物 1 的表面 3 上不发生偏离切割预定线 5 的不必要的分割,切割加工对象物 1。

[0291] 另外,如果依据第 1 例,则在加工对象物 1 中引起多光子吸收的条件下,而且在加工对象物 1 的内部对准聚光点 P,在切割预定线 5 上照射脉冲激光 L。因而,由于脉冲激光 L 透过加工对象物 1,在加工对象物 1 的表面 3 上几乎不吸收脉冲激光 L,因此表面 3 不会因为改质区形成的原因受到熔融等损伤。

[0292] 如以上说明的那样,如果依据第 1 例,则能够在加工对象物 1 的表面 3 上,不发生偏离切割预定线 5 的不必要的分割或者熔融,切割加工对象物 1。因而,在加工对象物 1 例如是半导体晶片的情况下,在半导体芯片上能够不产生偏离切割预定线的不必要的分割或者熔融,从半导体晶片切割出半导体芯片。对于在表面生成着电极图形的加工对象物,或者像形成了压电元件晶片或液晶等显示装置的玻璃基板那样在表面上形成了电子器件的加工对象物也相同。因而,如果依据第 1 例,能够提高通过切割加工对象物所制成的产品(例如半导体芯片,压电器件芯片,液晶等显示装置)的成品率。

[0293] 另外,如果依据第 1 例,由于加工对象物 1 的表面 3 的切割预定线 5 不熔融,因此能够减小切割预定线 5 的宽度(该宽度例如在半导体晶片的情况下,是成为半导体芯片的区域之间的间隔。)。由此,能够增加从 1 片加工对象物 1 制作的产品的数量,能够提高产品的生产性。

[0294] 另外,如果依据第 1 例,则由于在加工对象物 1 的切割加工中使用激光,因此还能够进行比使用了金刚石刀的切割更复杂的加工。例如,如图 16 所示那样即使切割预定线 5 是复杂的形状,如果依据第 1 例则也能够进行切割加工。这些效果在后面所述的例子中也相同。

[0295] 另外,激光光源不限于 1 个,也可以是多个。例如,图 17 是说明激光光源为多个的本实施形态的第 1 例的激光加工方法的模式图。该方法在加工对象物 1 的内部对准聚光点 P,从不同的方向照射从 3 个激光光源 15、17、19 出射的 3 个激光。来自激光光源 15、17 的各个激光从加工对象物 1 的表面 3 入射。来自激光光源 19 的激光从加工对象物 1 的背面 3 入射。如果这样做,则由于使用多个激光光源,因此与脉冲激光相比较,即使激光是功率小的连续波激光,也能够使聚光点的电场强度成为发生多光子吸收的大小。根据同样的理由,即使没有聚光用透镜也能够发生多光子吸收。另外,在该例中,由 3 个激光光源 15、17、19 形成聚光点 P,但本发明并不限于这种情况,激光光源可以是多个。

[0296] 图 18 是说明激光光源为多个的本实施形态的第 1 例的其它激光加工方法的模式图。在该例中,多个激光光源 23 具备沿着切割预定线 5 配置成一列的 3 个阵列光源单元 25、27、29。在阵列光源单元 25、27、29 的每一个中,从配置成同一列的激光光源 23 出射的激光形成 1 个聚光点(例如聚光点 P1)。如果依据该例,则由于能够沿着切割预定线 5 同时形成多个聚光点 P1、P2、...,因此能够提高加工速度。另外,在该例中,通过在表面 3 上沿着与切割预定线 5 正交的方向进行激光扫描,还能够同时形成多列改质区。

[0297] [第 2 例]

[0298] 其次,说明本发明的第 2 例。该例是光透射性材料的切割方法以及切割装置。光透射性材料是加工对象物的一个例子。在该例中,作为光透射性材料,使用由  $\text{LiTaO}_3$  构成

的厚度  $400\text{ }\mu\text{m}$  左右的压电元件晶片（基板）。第 2 例的切割装置由图 14 所示的激光加工装置 100 以及图 19、图 20 所示的装置构成。说明图 19 以及图 20 所示的装置。压电元件晶片 31 由作为保持装置的晶片板（薄膜）33 保持。该晶片板 33 由保持压电元件晶片 31 一侧的面具有粘接性的树脂制胶带等构成，具有弹性。晶片板 33 由取样夹具 35 夹持，放置在载置台 107 上。另外，压电元件晶片 31 如图 19 所示，包括在后面被切割分离的多个压电器件芯片 37。各个压电器件芯片 37 具有电路部分 39。该电路部分 39 在压电元件晶片 31 的表面，形成在每个压电器件芯片 37 上，相邻接的电路部分 39 之间形成预定的间距  $\alpha$  ( $80\text{ }\mu\text{m}$  左右)。另外，图 20 示出仅在压电元件晶片 31 的内部形成了作为改质部分的微小的裂纹区 9 的状态。

[0299] 其次，根据图 21 说明第 2 例的光透射性材料的切割方法。首先，测定成为切割对象材料的光透射性材料（在第 2 例中，是由  $\text{LiTaO}_3$  构成的压电元件晶片 31）的光吸收特性（S201）。光吸收特性能够通过使用分光光度计等进行测定。如果测定了光吸收特性，则根据其测定结果，对于切割对象材料选定出射透明或者吸收少的波长的激光的激光光源 101（S203）。在第 2 例中，选定基波波长为  $1064\text{nm}$  的脉冲波（PW）型的 YAG 激光器。该 YAG 激光器的脉冲的重复频率是  $20\text{Hz}$ ，脉冲宽度是  $6\text{ns}$ ，脉冲功率是  $300\text{ }\mu\text{J}$ 。另外，从 YAG 激光器出射的激光 L 的光点直径是  $20\text{ }\mu\text{m}$  左右。

[0300] 接着，测定切割对象材料的厚度（S205）。如果测定了切割对象材料的厚度，则根据其测定结果，决定从激光 L 的光轴方向中的来自切割对象材料的表面（激光 L 的入射面）的激光 L 的聚光点的变位量（移动量），使得激光 L 的聚光点位于切割对象材料的内部（S207）。激光 L 的聚光点的变位量（移动量）与切割对象材料的厚度以及折射率相对应，例如设定为切割对象材料的厚度的  $1/2$  的量。

[0301] 如图 22 所示，实际的激光 L 的聚光点 P 的位置根据切割对象材料的环境气氛（例如空气）中的折射率与切割对象材料的折射率的差异，位于比由聚光透镜 105 聚光了的激光 L 的聚光点 Q 的位置更深入切割对象材料（压电元件晶片 31）的表面的位置。即，在空气中的情况下，成立「激光 L 的光轴方向中的 Z 轴载物台 113 的移动量  $\times$  切割对象材料的折射率 = 实际的激光 L 的聚光点移动量」的关系。考虑上述的关系（切割对象材料的厚度以及折射率）设定激光 L 的聚光点的变位量（移动量）。然后，对于配置在 X-Y-Z 轴载物台（在本实施形态中，由 X 轴载物台 109，Y 轴载物台 111 以及 Z 轴载物台 113 构成）上的载置台 107，放置由晶片板 33 保持的切割对象材料（S209）。如果结束切割对象材料的放置，则从观察用光源 117 出射光，在切割对象材料上照射出射的光。而且，根据摄影元件 121 中的摄影结果，使 Z 轴载物台 113 移动进行聚光点调整，使得激光 L 的聚光点位于切割对象材料的表面上（S211）。这里，由摄影元件 121 拍摄通过观察用光源 117 得到的压电元件晶片 31 的表面观察像，摄影数据处理单元 125 根据摄影结果，使得从观察用光源 117 出射的光在切割对象材料的表面上聚光那样，决定 Z 轴载物台 113 的移动位置，输出到载物台控制单元 115。载物台控制单元 115 根据来自摄影数据处理单元 125 的输出信号，控制 Z 轴载物台 113，使得 Z 轴载物台 113 的移动位置成为从观察用光源 117 出射的光在切割对象材料的表面上聚光，即，使得激光 L 的聚光点位于切割对象材料的表面上的位置。

[0302] 如果结束从观察用光源 117 出射的光的聚光点调整，则使得激光 L 的聚光点移动到与切割对象材料的厚度以及折射率相对应的聚光点（S213）。这里，使得 Z 轴载物台 113

沿着激光 L 的光轴方向移动与切割对象材料的厚度以及折射率相对应决定的激光 L 的聚光点的变位量那样,总体控制单元 127 向载物台控制单元 115 发送输出信号,接收到输出信号的载物台控制单元 115 控制 Z 轴载物台 113 的移动位置。如上述那样,通过使 Z 轴载物台 113 沿着激光 L 的光轴方向移动与切割对象材料的厚度以及折射率相对应决定的激光 L 的聚光点的变位量,结束激光 L 的聚光点对于切割对象材料的内部的配置 (S215)。

[0303] 如果结束激光 L 的聚光点对于切割对象材料的内部的配置,则在切割对象材料上照射激光 L 的同时,沿着所希望的切割图形使 X 轴载物台 109 以及 Y 轴载物台 111 移动 (S217)。从激光光源 101 出射的激光 L 如图 2 所示,由聚光用透镜 105 聚光使得聚光点 P 位于面临在相邻的电路部分 39 之间形成的预定间距  $\alpha$  (如上述那样是  $80\mu\text{m}$ ) 的压电元件晶片 31 的内部。上述所希望的切割图形为了从压电元件晶片 31 分离多个压电元件芯片 37,设定成使得在形成于邻接的电路部分 39 之间的间距中照射激光 L,用监视器 129 确认激光 L 的照射状态的同时照射激光 L。

[0304] 这里,在切割对象材料上照射的激光 L 如图 22 所示,由聚光用透镜 105 以在压电元件晶片 31 的表面(激光 L 入射的面)上形成的电路部分 39 中不照射激光 L 的角度进行聚光。这样,通过以在电路部分 39 中不照射激光 L 的角度把激光 L 进行聚光,能够防止激光 L 入射到电路部分 39 中,能够保护电路部分 39 不被激光 L 照射。

[0305] 把从激光光源 101 出射的激光 L 进行聚光,使得聚光点 P 位于压电元件晶片 31 的内部,如果该聚光点 P 中的激光 L 的功率密度超过了切割对象材料的光损伤或者光绝缘破坏的阈值,则仅在作为切割对象材料的压电元件晶片 31 的内部中的聚光点 P 及其附近形成微小的裂纹区 9。这时,在切割对象材料(压电元件晶片 31)的表面以及背面上几乎不产生损伤。

[0306] 其次,根据图 23~图 27,说明使激光 L 的聚光点移动形成裂纹的过程。对于图 23 所示的大致正方体形状的切割对象材料 32(光透射性材料),通过照射激光 L 使得激光 L 的聚光点位于切割对象材料 32 的内部,如图 24 以及图 25 所示,仅在切割对象材料 32 的内部聚光点及其附近形成微小的裂纹区 9。另外,控制激光 L 的扫描或者切割对象材料 32 的移动,使得激光 L 的聚光点沿着与激光 L 的光轴交叉的切割对象材料 32 长度方向 D 移动。

[0307] 在从激光光源 101 脉冲形地出射激光 L 以后,进行了激光 L 的扫描或者切割对象材料 32 的移动的情况下,裂纹区 9 如图 25 所示,沿着切割对象材料 32 的长度方向 D,形成具有与激光 L 的扫描速度或者切割对象材料 32 的移动速度相对应的间隔的多个裂纹区 9。通过使激光 L 的扫描速度或者切割对象材料 32 的移动速度迟缓,如图 26 所示,能够缩短裂纹区 9 之间的间隔,增加所形成的裂纹区 9 的数量。另外,通过使激光 L 的扫描速度或者切割对象材料的移动速度进一步迟缓,如图 27 所示,沿着激光 L 的扫描方向或者切割对象材料 32 的移动方向,即沿着激光 L 的聚光点的移动方向连续地形成裂纹区 9。裂纹区 9 之间的间隔(所形成的裂纹区 9 的数量)的调整能够通过使激光 L 的重复频率以及切割对象材料 32(X 轴载物台或者 Y 轴载物台)的移动速度的关系发生变化实现。另外,通过提高激光 L 的重复频率以及切割对象材料 32 的移动速度还能够提高生产率。

[0308] 如果沿着上述所希望的切割图形形成了裂纹区 9(S219),则通过物理的外力加入或者环境变化等,在切割对象材料内,特别是在形成了裂纹区 9 的部分中产生应力,生长仅在切割对象材料的内部(聚光点及其附近)形成的裂纹区 9,把切割对象材料在形成了裂纹

区 9 的位置进行切割 (S221)。

[0309] 其次,参照图 28 ~ 图 32,说明由于物理的外力加入引起的切割对象材料的切割。首先,沿着所希望的切割图形形成了裂纹区 9 的切割对象材料(压电元件晶片 31)由取样夹具 35 夹持的晶片板 33 保持的状态下配置在切割装置中。切割装置具有后述那样的吸引夹头 34,连接该吸引 34 的吸引泵(未图示),加压滚针 36(按压部件),使加压滚针 36 移动的加压滚针驱动装置(未图示)等。作为加压滚针驱动装置,能够使用电动或者油压等调节器。另外,在图 28 ~ 图 32 中,省略了电路部分 39 的图示。

[0310] 如果把压电元件晶片 31 配置在切割装置中,则如图 28 所示,使吸引夹头 34 接近与分离的压电器件芯片 37 相对应的位置。在把吸引夹头 34 接近或者搭接到分离的压电器件芯片 37 的状态下通过使吸引泵装置动作,如图 29 所示,使分离的压电器件芯片 37(压电元件晶片 31)吸附到吸引夹头 34 上。如果使分离的压电器件芯片 37(压电元件晶片 31)吸附到吸引夹头 34 上,则如图 30 所示,使加压滚针 36 从晶片板 33 的背面(保持了压电元件晶片 31 的面的背面)一侧移动到与分离的压电器件芯片 37 相对应的位置。

[0311] 在加压滚针 36 搭接到晶片板 33 的背面以后,如果进一步使加压滚针 36 移动,则在晶片板 33 变形的同时通过加压滚针 36 从外部在压电元件晶片 31 上加入应力,在形成着裂纹区 9 的晶片部分上根据应力生长裂纹区 9。通过裂纹区 9 生长到压电元件晶片 31 的表面以及背面,压电元件晶片 31 如图 31 所示,在分离的压电器件芯片 37 的端部被切割,从压电元件晶片 31 分离压电器件芯片 37。另外,晶片板 33 如上述那样由于具有粘接性,因此能够防止被切割分离了的压电器件芯片 37 飞散。

[0312] 如果压电器件芯片 37 从压电元件晶片 31 分离,则使吸引夹头 34 以及加压滚针 36 沿着从晶片板 33 离开的方向移动。如果吸引夹头 34 以及加压滚针 36 移动,则由于被分离了的压电器件芯片 37 吸附在吸引夹头 34 上,因此如图 32 所示,离开晶片板 33。这时,使用未图示离子气体送风装置,沿着图 32 中箭头 B 方向输送离子气体,把被分离并且吸附在吸引夹头 34 上的压电器件芯片 37 和由晶片板 33 保持着的压电元件晶片 31(表面)进行离子气体清洗。另外,代替离子气体清洗,也可以设置吸引装置,通过吸引灰尘等进行被切割分离了的压电器件芯片 37 以及压电元件晶片 31 的清洗。作为根据环境变化把切割对象材料进行切割的方法,存在对于仅在内部形成了裂纹区 9 的切割对象材料提供温度变化的方法。这样,通过对于切割对象材料提供温度变化,使得在形成了裂纹区 9 的材料部分中产生热应力,能够使裂纹区 9 生长,把切割对象材料进行切割。

[0313] 这样,在第 2 例中,用聚光用透镜 105 把从激光光源 101 出射的激光 L 进行聚光使得其聚光点位于光透射性材料(压电元件晶片 31)的内部,聚光点中的激光 L 的功率密度超过光透射性材料的光损伤或者光绝缘破坏的阈值,仅在光透射性材料的内部中的聚光点及其附近形成微小的裂纹区 9。而且,由于在所形成的裂纹区 9 的位置切割光透射性材料,因此所发生的灰尘量极低,发生切割损伤,屑片或者材料表面中的裂纹等的可能性也极低。另外,由于沿着通过光透射性材料的光损伤或者光绝缘破坏所形成的裂纹区 9 切割光透射性材料,因此能够提高切割的方向稳定性,能够容易地进行切割方向的控制。另外,与用金刚石刀进行的切割相比较,能够减小切割宽度,因此能够增加从 1 个光透射性材料切割的光透射性材料的数量。其结果,如果依据第 2 例,能够极其容易而且适宜地切割光透射性材料。

[0314] 另外,由于通过物理的外力加入或者环境变化等使得在切割对象材料内产生应力,生长所形成的裂纹区 9,切割光透射性材料(压元件晶片 31),因此能够在所形成的裂纹区 9 的位置可靠地切割光透射性材料。

[0315] 另外,由于通过使用加压滚针 36 在光透射性材料(压电元件晶片 31)上加入应力,使裂纹区 9 生长,切割光透射性材料,因此能够在所形成的裂纹区 9 的位置更可靠地切割光透射性材料。

[0316] 另外,在按照每个压电器件芯片 37 切割分离形成了多个电路部分 39 的压电元件晶片 31(光透射性材料)的情况下,由于用聚光用透镜 105 把激光 L 进行聚光,使得聚光点位于与形成在邻接的电路部分 39 之间的间距面对的晶片部分的内部,生成裂纹区 9,因此能够在形成于邻接的电路部分 39 之间的间距的位置,可靠地切断压元件晶片 31。

[0317] 另外,通过光透射性材料(压电元件晶片 31)的移动或者扫描激光使聚光点沿着与激光 L 的光轴交叉的方向,例如正交的方向移动,沿着聚光点的移动方向连续地形成裂纹区 9,能够进一步提高切割的方向稳定性,能够更容易地进行切割的方向控制。

[0318] 另外,在第 2 例中,由于几乎没有发生粉尘的物体,因此不需要用于防止发生粉尘的物体飞散的湿润清洁水,能够实现切割工序中的干式工艺。

[0319] 另外,在第 2 例中,通过与激光 L 的非接触加工实现改质部分(裂纹区 9)的形成,因此不会发生由金刚石刀进行的切割中的刀片的耐久性、交换频度的问题。另外在第 2 例中,如上所述,由于用与激光 L 的非接触加工实现改质部分(裂纹区 9)的形成,因此沿着没有完全切断光透射性材料而切划光透射性材料那样的切割图形切割光透射性材料。本发明不限于上述的第 2 例,例如,光透射性材料不限于压电元件晶片 31,也可以是半导体晶片、玻璃基板等。还能够根据切割的光透射性材料的光吸收特性,适宜地选择激光光源 101。另外,在第 2 例中,作为改质部分使得通过照射激光 L 形成微小的裂纹区 9,但是并不限于这种情况。例如,作为激光光源 101 通过使用超短脉冲的激光光源(例如毫微微秒(fs)激光器),能够形成折射率变化(高折射率)的改质部分,利用这种机械特性的变化,能够不发生裂纹区 9 而切割光透射性材料。

[0320] 另外,在激光加工装置 100 中,通过使 Z 轴载物台 113 移动进行激光 L 的聚光点调整,但是不限于这种情况,也能够通过使聚光透镜 105 沿着激光 L 的光轴方向移动进行聚光点调整。

[0321] 另外,在激光加工装置 100 中,使得按照所希望的切割图形移动 X 轴载物台 109 以及 Y 轴载物台 111,但是并不限于这种情况,也可以按照所希望的切割图形扫描激光 L。

[0322] 另外,以上是把压电元件晶片 31 吸附在吸引夹头 34 上以后由加压滚针 36 切割压电元件晶片 31,但是并不限于这种情况,也可以在用加压滚针 36 切割压电元件晶片 31 以后,使被切割分离了的压电器件芯片 37 吸附在吸引夹头 34 上。另外,在使压电元件晶片 31 吸附在吸引夹头 34 上以后,通过用加压滚针 36 切割压电元件晶片 31,用吸引夹头 34 覆盖被切割分离了的压电器件芯片 37 的表面,能够防止在压电器件芯片 37 的表面上附着灰尘等。

[0323] 另外,作为摄影元件 121 通过使用红外线用的元件,利用激光 L 的反射光能够进行聚光点调整。这种情况下,代替使用分色镜 103,使用半反射镜,需要在该半反射镜与激光光源 101 之间配置抑制对于激光光源 101 的返回光的光学元件。另外,这时最好把在聚光点调整时从激光光源 101 出射的激光 L 的输出设定为比用于裂纹形成的输出低的功率值,使

得不会由用于进行聚光点调整的激光 L 在切割对象材料上产生损伤。

[0324] 从第 2 例的观点出发说明本发明的特征以下。

[0325] 本发明的光透射性材料的切割方法的特征在于具备把从激光光源出射的激光进行聚光使得其聚光点位于光透射性材料的内部,仅在光透射性材料的内部中的聚光点及其附近形成改质部分的改质部分形成工序;在所形成的改质部分的位置切割光透射性材料的切割工序。

[0326] 在本发明的光透射性材料的切割方法中,在改质部分形成工序中,通过把激光进行聚光使得激光的聚光点位于光透射性材料的内部,仅在光透射性材料的内部中的聚光点及其附近形成改质部分。在切割工序中,在所形成的改质部分的位置切割光透射性材料,使得产生灰尘的量极低,使得发生切割损伤,屑片或者材料表面中的裂纹的可能性也极低。另外,由于在所形成的改质部分的位置切割光透射性材料,因此能够提高切割的方向稳定性,能够容易地进行切割方向的控制。另外,与由金刚石刀进行的切割相比较,能够减小切割宽度,能够增加从 1 个光透射性材料切割出的光透射性材料的数量。其结果,如果依据本发明则能够极其容易而且适宜地切割光透射性材料。

[0327] 另外,在本发明的光透射性材料的切割方法中,由于几乎没有发生粉尘的物体,因此不需要用于防止发生粉尘的物体飞散的湿润洗净水,能够实现切割工序中的干式工序。

[0328] 另外,在本发明的光透射性材料的切割方法中,由于用与激光的非接触加工实现改质部分的形成,因此不会产生以往技术那样的由金刚石刀进行的切割中的刀片的耐久性、交换频度等问题。另外,在本发明的光透射性材料的切割方法中,如上述那样由于用激光的非接触加工实现改质部分的形成,因此能够沿着没有完全切断光透射性材料的切划出光透射性材料那样的切割图形,切割光透射性材料。

[0329] 另外,在光透射性材料中,形成多个电路部分,在改质部分形成的工序中,最好把激光进行聚光形成改质部分,使得聚光点位于与邻接的电路部分之间所形成的间距面对的光透射性部分的内部。这样构成的情况下,在邻接的电路部分之间形成的间距的位置,能够可靠地切割光透射性材料。

[0330] 另外,在改质部分形成工序中,在光透射性材料上照射激光时,最好以在电路部分压中不照射激光的角度进行聚光。这样,通过在改质部分形成工序中在光透射性材料上照射激光时,通过以在电路部分中不照射激光的角度把激光进行聚光,能够防止激光入射到电路部分中,能够保护电路部分不被激光照射。

[0331] 另外,在改质部分形成工序中,最好通过使聚光点沿着与激光的光轴正交的方向移动,沿着聚光点的移动方向连续地形成改质部分。这样,在改质部分形成工序中,通过使聚光点沿着与激光的光轴交叉的方向移动,沿着聚光点的移动方向连续地形成改质部分,能够更进一步提高切割的方向稳定性,能够更容易地进行切割的方向控制。

[0332] 本发明的光透射性材料的切割方法的特征在于具备把从激光光源出射的激光进行聚光使得其聚光点位于光透射性材料的内部,仅在光透射性材料的内部中的聚光点及其附近形成裂纹的裂纹形成工序;在所形成的裂纹的位置切割光透射性材料的切割工序。

[0333] 在本发明的光透射性材料的切割方法中,在裂纹形成工序中,通过把激光进行聚光使得激光的聚光点位于光透射性材料的内部,聚光点中的激光的功率密度超过光透射性材料的光损伤或者光绝缘破坏的阈值,仅在光透射性材料的内部中的聚光点及其附近形成

裂纹。在切割工序中,在所形成的裂纹的位置切割光透射性材料,发生灰尘的量极低,发生切割损伤、屑片或者材料表面中的裂纹等的可能性也极低。另外,光透射性材料由于通过光透射性材料的光损伤或者光绝缘破坏所形成的裂纹进行切割,因此能够提高切割的方向稳定性,能够容易地进行切割方向的控制。另外,与由金刚石刀进行的切割相比较,能够减小切割宽度,能够增加从1个光透射性材料切割出的光透射性材料的数量。其结果,如果依据本发明,则能够极其容易而且适宜地切割光透射性材料。

[0334] 另外,在本发明的光透射性材料的切割方法中,由于几乎没有发生粉尘的物体,因此不需要用于防止发生粉尘的物体飞散湿润洗净水,因此能够实现切割工序中的干式工序。

[0335] 另外,在本发明的光透射性材料的切割方法中,由于用激光的非接触加工实现裂纹的形成,因此不会像以往技术那样发生由金刚石刀进行的切割中的刀片的耐久性、交换频度等问题。另外,在本发明的光透射性材料的切割方法中,如上述那样由于用激光的非接触加工实现裂纹的形成,因此能够沿着没有完全切割光透射性材料的切割出光透射性材料的切割图形,切割光透射性材料。

[0336] 另外,在切割工序中,最好通过使所形成的裂纹生长,切割光透射性材料。这样,在切割工序中,通过使所形成的裂纹生长切割光透射性材料,能够在所生成的裂纹的位置可靠地切割光透射性材料。

[0337] 另外,在切割工序中,通过使用按压构件在光透射性材料上加入应力,使裂纹生长,切割光透射性材料最好。这样,通过在切割工序中使用按压构件在光透射性材料上加入应力,使裂纹生长,切割光透射性材料,能够在裂纹的位置更进一步可靠地切割光透射性材料。

[0338] 本发明的光透射性材料的切割装置的特征在于具备激光光源;保持光透射性材料的保持装置;把从激光光源出射的激光进行聚光使得其聚光点位于光透射性材料的内部的光学元件;在仅在光透射性材料的内部中的激光的聚光点及其附近形成的改质部分的位置切割光透射性材料的切割装置。

[0339] 在本发明的光透射性材料的切割装置中,通过用光学元件把激光进行聚光使得激光的聚光点位于光透射性材料的内部,仅在光透射性材料的内部中的聚光点及其附近的形成改质部分。而且,切割装置由于在仅在光透射性材料的内部中的激光的聚光点及其附近形成的改质部分的位置切割光透射性材料,因此能够沿着所形成的改质部分可靠地切割光透射型材料,发生粉尘量极低,发生切割损伤、屑片或者材料表面的裂纹等的可能性也极低。另外,由于沿着改质部分切割光透射性材料,因此能够提高切割的方向稳定性,能够容易地进行切割方向的控制。另外,与用金刚石刀进行的切割相比较,能够减小切割宽度,能够增加从1个光透射性材料切割出的光透射性材料的数量。其结果,如果依据本发明,能够极其容易而且适宜地切割光透射性材料。

[0340] 另外,在本发明的光透射性材料的切割装置中,由于几乎没有发生粉尘的物体,因此不需要用于防止发生粉尘的物体飞散的湿润洗净水,能够实现切割工序中的干式工序。

[0341] 另外,在本发明的光透射性材料的切割装置中,由于用激光的非接触加工形成改质部分,因此不会像以往技术那样发生由金刚石刀进行的切割中的刀片的耐久性、交换频度等问题。另外,在本发明的光透射性材料的切割装置中,如上述那样由于用激光的非接触



加工形成改质部分,因此能够沿着没有完全切断光透射性材料的切划出光透射性材料的切割图形,切割光透射性材料。

[0342] 本发明的光透射性材料的切割装置的特征在于具备激光光源;保持光透射性材料的保持装置;把从激光光源出射的激光进行聚光使得其聚光点位于光透射性材料的内部的光学元件;在仅在光透射性材料的内部中的激光的聚光点及其附近形成的裂纹生长,切割光透射性材料的切割装置。

[0343] 在本发明的光透射性材料的切割装置中,通过用光学元件把激光进行聚光使得激光的聚光点位于光透射性材料的内部,聚光点中的激光的功率密度超过光透射性材料的光损伤或者光绝缘破坏的阈值,仅在光透射性材料的内部中的聚光点及其附近形成裂纹。而且,切割装置由于使仅在光透射性材料的内部中的激光的聚光点及其附近形成的裂纹生长,切割光透射性材料,因此能够沿着通过光透射型材料的光损伤或者光绝缘破坏形成的裂纹可靠地切割光透射型材料,粉尘发生量极低,发生切割损伤、屑片或者材料表面的裂纹等的可能性也极低。另外,由于沿着裂纹切割光透射性材料,因此能够提高切割的方向稳定性,能够容易地进行切割方向的控制。另外,与用金刚石刀进行的切割相比较,能够减小切割宽度,能够增加从1个光透射性材料切割出的光透射性材料的数量。其结果,如果依据本发明,能够极其容易而且适宜地切割光透射性材料。

[0344] 另外,在本发明的光透射性材料的切割装置中,由于几乎没有发生粉尘的物体,因此不需要用于防止发生粉尘的物体飞散的湿润洗净水,能够实现切割工序中的干式工序。

[0345] 另外,在本发明的光透射性材料的切割装置中,由于用激光的非接触加工形成裂纹,因此不会像以往技术那样发生由金刚石刀进行的切割中的刀片的耐久性、交换频度等问题。另外,在本发明的光透射性材料的切割装置中,如上述那样由于用激光的非接触加工形成裂纹,因此能够沿着没有完全切断光透射性材料的切划出光透射性材料的切割图形,切割光透射性材料。

[0346] 另外,切割装置最好具有用于在光透射性材料上加入应力的按压构件。这样,通过切割装置具有用于在光透射性材料上加入应力的按压构件,能够通过该按压构件在光透射性材料上加入应力使裂纹生长,能够在所形成裂纹的位置更可靠地切割光透射性材料。

[0347] 另外,光透射性材料是在其表面形成了多个电路部分的光透射性材料,光学元件最好把激光进行聚光,使得聚光点位于与相邻的电路部分之间形成的间距面对的光透射性材料部分的内部。在这样构成的情况下,能够在相邻的电路部分之间形成的间距的位置,可靠地切割光透射性材料。

[0348] 另外,光学元件最好以在电路部分中不照射激光的角度把激光进行聚光。这样,通过光学元件以在电路部分中不照射激光的角度把激光进行聚光,能够防止激光入射到电路部分中,能够保护电路部分不被照射激光。

[0349] 另外,最好还具备用于使聚光点沿着与激光的光轴正交的方向移动的聚光点移动装置。这样,通过进一步具备用于使聚光点沿着与激光的光轴正交的方向移动的聚光点移动装置,能够沿着聚光点的移动方向连续地形成裂纹,能够进一步提高切割的方向稳定性,能够更容易地进行切割方向控制。

[0350] [第3例]

[0351] 说明本实施形态的第3例。第3例以及在后面说明的第4例使采用了线偏振光的

激光的线偏振光的朝向沿着加工对象物的切割预定线,通过在加工对象物上照射激光,在加工对象物中形成改质区。由此,在激光是脉冲激光的情况下,在 1 个脉冲的冲击(即 1 个脉冲的激光照射)形成的改质点中,能够相对地加大沿着切割预定线方向的尺寸。本发明者们通过实验确认了这一点。实验条件如下。

[0352] (A) 加工对象物:硼硅酸玻璃晶片(厚度 700  $\mu\text{m}$ ,厚度 4 英寸)

[0353] (B) 激光器

[0354] 光源:半导体激光激励 Nd:YAG 激光器

[0355] 波长:1064nm

[0356] 激光点截面积: $3.14 \times 10^{-8} \text{cm}^2$

[0357] 振荡形态:Q 开关脉冲

[0358] 重复频率:100kHz

[0359] 脉冲宽度:30ns

[0360] 输出:输出 < 1mJ/ 脉冲

[0361] 激光品质:TEM<sub>00</sub>

[0362] 偏振光特性:线偏振光

[0363] (C) 聚光用透镜

[0364] 倍率:50 倍

[0365] NA:0.55

[0366] 对于激光波长的透射率:60%

[0367] (D) 放置加工对象物的载置台的移动速度:100mm/ 秒

[0368] 在作为加工对象物的样品 1、2 的每一个中,在加工对象物的内部对准聚光点,使脉冲激光发生 1 个脉冲冲击,在加工对象物的内部形成由多光子吸收产生的裂纹区。在样品 1 中照射了线偏振光的脉冲激光,在样品 2 中照射了圆偏振光的脉冲激光。

[0369] 图 33 示出了样品 1 的平面的照片,图 34 示出了样品 2 的平面的照片。这些平面是脉冲激光的入射光面 209。符号 LP 模式地示出线偏振光,符号 CP 模式地示出圆偏振光。而且,图 35 模式地示出沿着图 33 所示的样品 1 的 XXXV-XXXV 线的剖面图。图 36 模式地示出沿着样品 2 的 XXXVI-XXXVI 线的剖面图。在作为加工对象物的玻璃晶片 211 的内部形成着裂纹点 90。

[0370] 如图 35 所示,在脉冲激光是线偏振光的情况下,用 1 个脉冲的冲击形成的裂纹点 90 的尺寸在沿着线偏振光的朝向的方向相对加大。这一点示出沿着该方向促进裂纹点 90 的形成。另一方面,如图 36 所示,在脉冲激光是圆偏振光的情况下,用 1 个脉冲的冲击形成的裂纹点 90 的尺寸不沿着特别的方向加大。长度成为最大的方向的裂纹点 90 的尺寸样品 1 比样品 2 大。

[0371] 该实验结果说明能够有效地形成沿着切割预定线的裂纹区。图 37 以及图 38 是沿着加工对象物的切割预定线形成的裂纹区的平面图。通过沿着切割预定线 5 形成多个用 1 个脉冲的冲击形成的裂纹点 39,形成沿着切割预定线 5 的裂纹区 9。图 37 示出使得脉冲激光的线偏振光的方向沿着切割预定线 5 那样,照射脉冲激光所形成的裂纹区 9。通过促进沿着切割预定线 5 的方向促进裂纹点 90 的形成,该方向的尺寸成为比较大。由此,能够以较少的冲击数形成沿着切割预定线 5 的裂纹区 9。另一方面,图 38 示出使得脉冲激光的线偏

振光的方向与切割预定线正交,照射脉冲激光所形成的裂纹区 9。由于裂纹点 90 沿着切割预定线 5 的方向的尺寸比较小,因此与图 37 的情况相比,用于形成裂纹区 9 的冲击数增多。从而,图 37 所示的本实施形态的裂纹区的形成方法能够比图 38 所示的方法更有效地形成裂纹区。

[0372] 另外,图 38 所示的方法由于使脉冲激光的线偏振光的方向与切割预定线 5 正交照射脉冲激光,因此在切割预定线 5 的宽度方向促进形成冲击时所形成的裂纹点 90。从而,如果裂纹点 90 向切割预定线 5 的宽度方向的延伸过大,则不能够沿着切割预定线 5 精密地切割加工对象物。与此不同,在图 37 所示的本实施形态的方法中,由于冲击时所形成的裂纹点 90 在沿着切割预定线 5 的方向以外的方向基本上不延伸,因此能够进行加工对象物的精密切割。

[0373] 另外,以线偏振光的情况说明了改质区的尺寸中预定方向的尺寸相对较大的情况,而即使在椭圆偏振光的情况下可以说也是相同的。即,如图 39 所示,沿着表示激光的椭圆偏振光 EP 的椭圆的长轴 b 方向促进裂纹点 90 的形成,能够形成沿着该方向的尺寸相对大的裂纹点 90。从而,如果使得表示成为 1 以外椭圆率的椭圆偏振光的激光的椭圆偏振光的椭圆的长轴沿着加工对象物的切割预定线那样形成裂纹区,则产生与线偏振光的情况相同的效果。另外,所谓椭圆率是短轴 a 的长度的一半 / 长轴 b 的长度的一半。椭圆率越小,裂纹点 90 沿着长度的方向的尺寸越大。线偏振光是椭圆率为 0 的椭圆偏振光。椭圆率为 1 成为圆偏振光,不能够相对地加大裂纹区的预定方向的尺寸。从而,在本实施形态中不包括椭圆率为 1 的情况。

[0374] 在裂纹区的情况下说明了改质区的尺寸中预定方向的尺寸相对加大的情况,而在熔融处理区或者折射率变化区中可以说也是相同的。另外,说明了脉冲激光,而对于连续波激光可以说也是相同的。以上这些在后面所述的第 4 例中也相同。

[0375] 其次,说明本实施形态的第 3 例中的激光加工装置。图 40 是该激光加工装置 200 的概略结构图。对于激光加工装置 200 以与图 14 所示的第 1 例中的激光加工装置 100 的不同点为中心进行说明。激光加工装置 200 具备调节从激光光源 101 出射的激光 L 的偏振光的椭圆率的椭圆率调节单元 201,把从椭圆率调节单元 201 出射的激光 L 的偏振光旋转调节大致  $90^\circ$  的  $90^\circ$  旋转调节单元 203。

[0376] 椭圆率调节单元 201 包括图 41 所示  $1/4$  波长板 207。 $1/4$  波长板 207 通过改变方位角  $\theta$  能够调节椭圆偏振光的椭圆率。即,如果在  $1/4$  波长板 207 上入射例如线偏振光 LP 的入射光,则透射光成为预定椭圆率的椭圆偏振光 EP。所谓方位角是椭圆的长轴与 X 轴构成的角度。如上述那样在本实施形态中,椭圆率适用 1 以外的数字。由椭圆率调节单元 201 能够使激光 L 的偏振光成为具有所希望的椭圆率的椭圆偏振光 EP。考虑加上加工对象物 1 的厚度、材质等调节椭圆率。

[0377] 在加工对象物 1 上照射线偏振光 LP 的激光 L 的情况下,由于从激光光源 101 出射的激光 L 是线偏振光 LP,因此椭圆率调节单元 201 调节  $1/4$  波长板 207 的方位角  $\theta$  使得激光 L 保持线偏振光 LP 的状态不变,通过  $1/4$  波长板。另外,由于从激光光源 101 出射线偏振光的激光 L,因此在加工对象物 1 的激光照射中只是利用了线偏振光 LP 的激光时,不需要椭圆率调节单元 201。

[0378]  $90^\circ$  旋转调节单元 203 包括图 42 所示的  $1/2$  波长板 205。 $1/2$  波长板 205 是产生

对于线偏振光的入射光正交的偏振光的波长板。即,如果在1/2波长板205上入射例如方位角 $45^\circ$ 的线偏振光 $LP_1$ 的入射光,则透射光成为对于入射光 $LP_1$ 旋转 $90^\circ$ 的线偏振光 $LP_2$ 。 $90^\circ$ 旋转调节单元203在使从椭圆率调节单元201出射的激光L的偏振光旋转 $90^\circ$ 的情况下,进行使1/2波长板205配置在激光L的光轴上的动作。另外, $90^\circ$ 旋转调节单元203在不使从椭圆率调节单元201出射的激光L的偏振光旋转的情况下,进行使1/2波长板205配置在激光L的光路以外(即,激光L不透过1/2波长板205)的动作。

[0379] 分色镜103配置成使得入射由 $90^\circ$ 旋转调节单元203把偏振光进行了 $90^\circ$ 旋转调节或者没有进行旋转调节的激光,并且把激光的光轴的朝向改变 $90^\circ$ 。激光加工装置200具备用于以加工对象物1的厚度方向为轴使载置台107的X-Y平面旋转的 $\theta$ 轴载物台213。载物台控制单元115除去载物台109、111、113的移动控制以外,还控制载物台213的移动。

[0380] 其次,使用图40以及图43,说明本实施形态的第3例的激光加工方法。图43是用于说明本激光加工方法的流程图。加工对象物1是硅晶片。步骤S101~步骤S111与图15所示的第1例相同。

[0381] 由椭圆率调节单元201调节从激光光源101出射的线偏振光LP的激光L的椭圆率(S121)。在椭圆率调节单元201中通过改变1/4波长板的方位角 $\theta$ ,能够得到具有所希望椭圆率的椭圆偏振光EP的激光L。

[0382] 首先,由于沿着Y轴方向把加工对象物1进行加工,因此调节成表示激光L的椭圆偏振光EP的椭圆的长轴与沿着加工对象物1的Y轴方向延伸的切割预定线5的方向一致(S123)。通过使 $\theta$ 轴载物台213旋转实现该调节。从而, $\theta$ 轴载物台213起到长轴调节装置或者线偏振光调节装置的功能。

[0383] 由于沿着Y轴方向把加工对象物1进行加工,因此 $90^\circ$ 旋转调节单元203进行不使激光L的偏振光旋转的调节(S125)。即,进行使1/2波长板配置在激光L的光路以外的动作。

[0384] 从激光光源101发生激光L,把激光L照射在沿着加工对象物1的表面3的Y轴方向延伸的切割预定线5上。图44是加工对象物1的平面图。在加工对象物1上照射激光L,使得表示激光L的椭圆偏振光EP的椭圆的长轴沿着加工对象物1的最右端的切割预定线5。激光L的聚光点P由于位于加工对象物1的内部,因此仅在加工对象物1的内部形成熔融处理区。沿着切割预定线5使Y轴载物台111移动,沿着切割预定线5在加工对象物1的内部形成熔融处理区。

[0385] 而且,使X轴载物台109移动,在相邻的切割预定线5上照射激光L,与上述相同,沿着相邻的切割预定线5在加工对象物1的内部形成熔融处理区。通过反复进行以上动作,从右侧开始顺序地沿着各条切割预定线5在加工对象物1的内部形成熔融处理区(S127)。另外,在加工对象物1上照射线偏振光LP的激光L的情况下,成为图45所示。即,使得激光L的线偏振光LP的朝向沿着加工对象物1的切割预定线5那样,在加工对象物1上照射激光L。

[0386] 其次,由 $90^\circ$ 旋转调节单元203进行使1/2波长板205(图42)配置在激光的光轴上的动作。由此,进行使从椭圆率调节单元201出射的激光的偏振光旋转 $90^\circ$ 的调节(S129)。

[0387] 其次,从激光光源 101 发生激光 L,把激光 L 照射在沿着加工对象物 1 的表面 3 的 X 轴方向延伸的切割预定线 5 上。图 46 是加工对象物 1 的平面图。在加工对象物 1 上照射激光 L,使得表示激光 L 的椭圆偏振光 EP 的椭圆的长轴沿着加工对象物 1 的最下端的切割预定线 5。激光 L 的聚光点 P 由于位于加工对象物 1 的内部,因此仅在加工对象物 1 的内部形成熔融处理区。沿着切割预定线 5 使 X 轴载物台 109 移动,沿着切割预定线 5 在加工对象物 1 的内部形成熔融处理区。

[0388] 而且,使 Y 轴载物台 111 移动,在正上方的切割预定线 5 上照射激光 L,与上述相同,沿着相邻的切割预定线 5 在加工对象物 1 的内部形成熔融处理区。通过反复进行以上动作,从下侧开始顺序地沿着各条切割预定线在加工对象物 1 的内部形成熔融处理区(S131)。另外,在加工对象物 1 上照射线偏振光 LP 的激光 L 的情况下,成为图 47 所示。

[0389] 接着,通过沿着切割预定线 5 弯曲加工对象物 1,切割加工对象物 1(S133)。由此,把加工对象物 1 分割成硅芯片。

[0390] 说明第 3 例的效果。如果依据第 3 例,则如图 44 以及图 46 所示,在加工对象物 1 上照射脉冲激光 L,使得表示脉冲激光 L 的椭圆偏振光 EP 的椭圆的长轴的方向沿着切割预定线 5。这样由于裂纹点沿着切割预定线 5 的方向的尺寸比较大,因此能够用较少的冲击数形成沿着切割预定线 5 的裂纹区。这样由于在第 3 例中能够有效地形成裂纹区,因此能够提高加工对象物 1 的加工速度。另外,由于在冲击时所形成的裂纹点在沿着切割预定线 5 的方向以外的方向几乎不延伸,因此能够沿着切割预定线 5 精密地切割加工对象物 1。这些效果在后面说明的第 4 例中也相同。

[0391] [第 4 例]

[0392] 对于本实施形态的第 4 例以与第 3 例的不同点为中心进行说明。图 48 是该激光加工装置 300 的概略结构图。在激光加工装置 300 的构成要素中,对于与图 40 所示的第 3 例中的激光加工装置 200 的构成要素相同的要素通过标注相同的符号省略其说明。

[0393] 激光加工装置 300 中没有设置第 3 例的  $90^\circ$  旋转调节单元 203。通过  $\theta$  轴载物台 213,能够以加工对象物 1 的厚度方向为轴旋转载置台 107 的 X-Y 平面。由此,能够进行使从椭圆率调节单元 201 出射的激光 L 的偏振光相对地旋转  $90^\circ$  的调节。

[0394] 作为本实施形态的第 4 例中的激光加工方法。在第 4 例中也进行图 43 所示的第 3 例中的激光加工方法的步骤 S101 ~ 步骤 S123 的动作。在第 4 例中由于没有设置  $90^\circ$  旋转调节单元 203,因此不进行后面的步骤 S125 的动作。

[0395] 步骤 S123 以后,进行步骤 S127 的动作。通过至此为止的动作,在第 4 例中也能够与第 3 例相同,如图 44 那样把加工对象物 1 进行加工。然后,载物台控制单元 115 进行使  $\theta$  轴载物台 213 旋转  $90^\circ$  的控制。通过该  $\theta$  轴载物台 213 的旋转,加工对象物 1 在 X-Y 平面中旋转  $90^\circ$ 。由此,如图 49 所示,能够沿着与已经结束了改质区形成工序的切割预定线 5 相交叉的切割预定线,对准椭圆偏振光 EP 的长轴。

[0396] 而且,与步骤 S127 相同,通过在加工对象物 1 上照射激光 L,从右侧开始顺序地沿着各条切割预定线 5 在加工对象物 1 的内部形成熔融处理区。最后,与步骤 S133 相同,切割加工对象物 1,把加工对象物 1 分割成硅芯片。

[0397] 在以上说明的本实施形态的第 3 例以及第 4 例中,说明了由多光子吸收产生的改质区形成。但是,本发明也可以不形成由多光子吸收产生的改质区,使得表示椭圆偏振光的

椭圆的长轴方向沿着加工对象物的切割预定线那样,通过在加工对象物的内部对准聚光点在加工对象物上照射激光,切割加工对象物。由此,能够沿着切割预定线有效地切割加工对象物。

[0398] [第5例]

[0399] 本实施形态的第5例以及在后面说明的第6以及第7例通过调节脉冲激光的功率大小或者包括聚光用透镜的光学系统的数值孔径的大小,控制改质点的尺寸。所谓改质点,是用脉冲激光的1个脉冲的冲击(即1个脉冲的激光照射)所形成的改质部分,通过汇集改质点构成改质区。以裂纹点为例说明改质点的尺寸控制的必要性。

[0400] 如果裂纹点过大,则沿着切割预定线的加工对象物的切割精度下降,另外,切割面的平坦性恶化。使用图50~图55说明这一点。图50是使用了本实施形态的激光加工方法比较大地形成了裂纹点时的加工对象物1的平面图。图51是沿着图50的切割预定线5上的LI-LI切割了的剖面图。图52、图53、图54分别是沿着与图50的切割预定线5正交的LII-LII、LIII-LIII、LIV-LIV切割了的剖面图。从这些图可知,如果裂纹点90过大,则裂纹点90的大小的分散性也增大。从而,如图55所示那样沿着切割预定线5的加工对象物1的切割的精度恶化。另外,由于加工对象物1的切割面43的凹凸增大因此切割面43的平坦性恶化。与此不同,如图56所示,如果使用本实施形态的激光加工方法比较小地(例如 $20\mu\text{m}$ 以下)形成裂纹点90,则能够均匀地形成裂纹点90,而且能够控制裂纹点90从切割预定线的方向偏离的方向的宽度。从而,如图57所示那样,能够提高沿着切割预定线5的加工对象物1的切割精度或者切割面43的平坦性。

[0401] 这样如果裂纹点过大,则不能够进行可以得到沿着切割预定线的精密的切割或者平坦的切割面的切割。但是,对于厚度大的加工对象物,如果裂纹点过小,则难以进行加工对象物的切割。

[0402] 说明如果依据本实施形态则能够控制裂纹点的尺寸。如图7所示,在峰值功率密度相同的情况下,聚光用透镜的倍率为100,NA为0.8时的裂纹点的尺寸比聚光用透镜的倍率为50,NA为0.55时的裂纹点的尺寸小。峰值功率密度如在前面说明过的那样,由于与激光的每一个脉冲的功率,即脉冲激光的功率成比例,因此所谓峰值功率密度相同意味着激光的功率相同。这样,在激光的功率相同而且光束点截面积相同的情况下,能够进行控制使得如果加大聚光用透镜的数值孔径(减小),则能够减小(加大)裂纹点的尺寸。

[0403] 另外,即使聚光用透镜的数值孔径相同,也能够进行控制使得如果减小激光的功率(峰值功率密度)则减小裂纹点的尺寸,如果加大激光的功率则加大裂纹点的尺寸。

[0404] 由此,如从图7所示的曲线所知,通过加大聚光用透镜的数值孔径或者减小激光的功率,能够把裂纹点的尺寸控制为较小信号。反之,通过减小聚光用透镜的数值孔径或者加大激光的功率,则能够把裂纹点的尺寸控制为较大。

[0405] 使用附图进一步说明裂纹点尺寸的控制。图58所示的例子是使用预定的数值孔径的聚光用透镜,把脉冲激光L聚光在内部的加工对象物1的剖面图。区域41是成为通过该激光照射引起多光子吸收的阈值以上的电场强度的区域。图59是由该激光L的照射产生的多光子吸收为原因所形成的裂纹点90的剖面图。另一方面,图60所示的例子是使用比图58所示的例子大的数值孔径的聚光用透镜把激光L聚光在内部的加工对象物1的剖面图。图61是由该激光L的照射产生的多光子吸收为原因所形成的裂纹点90的剖面图。

裂纹点 90 的高度  $h$  依赖于区域 41 的加工对象物 1 的厚度方向中的尺寸, 裂纹点 90 的宽度  $w$  依赖于与区域 41 的加工对象物 1 的厚度方向正交方向的尺寸。即, 如果减小区域 41 的这些尺寸则能够减小裂纹点 90 的高度  $h$  或者宽度  $w$ , 如果加大这些尺寸则能够加大裂纹点 90 的高度  $h$  或者宽度。如果把图 59 与图 61 进行比较则可知, 在激光的功率相同的情况下, 能够控制成通过加大 (减小) 聚光用透镜的数值孔径, 则能够减小 (加大) 裂纹点 90 的高度  $h$  或者宽度  $w$  的尺寸。

[0406] 进而, 图 62 所示的例子是把比图 58 所示的例子小的功率的脉冲激光 L 聚光在内部的加工对象物 1 的剖面图。在图 62 所示的例子中, 由于减小激光的功率, 因此区域 41 的面积也比图 58 所示的区域 41 减小。图 63 是由该激光的照射产生的多光子吸收为原因所形成裂纹点 90 的剖面图。从图 59 与图 63 的比较可知, 在聚光用透镜的数值孔径相同的情况下, 能够控制成如果减小 (加大) 激光的功率则减小 (加大) 裂纹点 90 的高度  $h$  或者宽度  $w$  的尺寸。

[0407] 进而, 图 64 所示的例子是把比图 60 所示的例子小的功率的脉冲激光 L 聚光在内部的加工对象物 1 的剖面图。图 65 是通过该激光 L 的照射因多光子吸收所形成的裂纹点 90 的剖面图。由图 59 和图 65 的比较可知, 能够控制成如果加大 (减小) 聚光用透镜的数值孔径且减小 (加大) 激光的功率, 能够控制裂纹点 90 的高度  $h$  和宽度  $w$  的尺寸。

[0408] 而表示成为能够形成裂纹点的电场强度的阈值以上的电场强度的区域的区域 41 限定在聚光点 P 及其附近的理由如下。本实施形态由于利用高光束品质的激光光源, 因此激光的聚光性高而且能够聚光到激光的波长左右。从而, 由于该激光的峰值形状成为高斯分布, 因此成为电场强度在光束的中心最强, 随着离开中心的距离加大强度降低的分布。在把激光实际上用聚光用透镜聚光的过程中, 基本上在高斯分布的状态下聚光。从而, 区域 41 限定在聚光点 P 及其附近。

[0409] 如以上那样, 如果依据本实施形态则能够控制裂纹点的尺寸。裂纹点的尺寸考虑精密切割程度的要求, 切割面中的平坦性程度的要求, 加工对象物的厚度大小而决定。另外, 裂纹点的尺寸还能够考虑加工对象物的材质决定。如果依据本实施形态, 则由于能够控制改质点的尺寸, 因此对于厚度比较小的加工对象物通过减小改质点, 能够沿着切割预定线精密地切割, 而且, 能够进行切割面的平坦性出色的切割。另外, 通过加大改质点, 在厚度比较大的加工对象物中也能够进行切割。

[0410] 另外, 例如加工对象物的结晶方位根据具体原因, 在加工对象物物中有时存在切割容易的方向和切割困难的方向。在这样的加工对象物的切割中, 例如, 如图 56 以及图 57 所示, 减小沿着切割容易的方向形成的裂纹点 90 的尺寸。另一方面, 如图 57 以及图 66 所示, 在与切割预定线 5 正交的切割预定线的方向是切割困难的方向的情况下, 加大沿着该方向形成的裂纹点 90 的尺寸。另外, 图 66 是沿着 LXVI-LXVI 线切割了图 57 所示的加工对象物 1 的图。从而, 在切割容易的方向能够得到平坦的切割面, 另外在切割困难的方向也能够进行切割。

[0411] 以上在裂纹点情况下说明了能够进行改质点尺寸的控制, 而在熔融处点或者折射率变化点的情况下可以说也是相同的。脉冲激光的功率例如既能够用每一个脉冲的功率 (J) 表示, 也能够用作为在每一个脉冲的功率上乘以激光的频率的值的平均输出 (W) 表示。以上各点在后面说明的第 6 例以及第 7 例中也相同。

[0412] 说明本实施形态的第 5 例中的激光加工装置。图 67 是该激光加工装置 400 的概略结构图。对于激光加工装置 400, 以与图 14 所示的第 1 例中的激光加工装置 100 的不同点为中心举行说明。

[0413] 激光加工装置 400 具备调节从激光光源 101 出射的激光 L 的功率的功率调节单元 401。功率调节单元 401 例如具备多个 ND(中密度)滤光片和使各个 ND 滤光片移动到对于激光 L 的光轴垂直的位置或者移动到激光 L 的光路以外的机构。ND 滤光片是不改变功率的相对分光分布而减弱光的强度的滤光片。多个 ND 滤光片的各个减光率不同。功率调节单元 401 通过多个 ND 滤光片的某一个或者把它们组合起来, 调节从激光光源 101 出射的激光 L 的功率。即, 使多个 ND 滤光片的减光率相同, 功率调节单元 401 通过改变移动到对于激光 L 的光轴垂直配置的 ND 滤光片的个数, 能够调节从激光光源 101 出射的激光 L 的功率。

[0414] 另外, 功率调节单元 401 还可以具备对于线偏振光的激光 L 的光轴配置为垂直的偏振光滤光片, 以激光 L 的光轴为中心使偏振光滤光片旋转所希望角度的机构。在功率调节单元 401 中通过以光轴为中心使偏振光滤光片旋转所希望的角度, 调节从激光光源 101 出射的激光 L 的功率。

[0415] 另外, 通过用作为驱动电流控制装置一例的激光光源控制单元 102 控制激光光源 101 的激励用半导体激光器的驱动电流, 也能够调节从激光光源 101 出射的激光 L 的功率。从而, 激光功率能够由功率调节单元 401 以及激光控制单元 102 的至少一方进行调节。如果仅用激光光源控制单元 102 进行的激光 L 的功率调节就能够使改质区的尺寸达到所希望的值, 则就不需要功率调节单元 401。以上所说的功率调节通过激光加工装置的操作者在后面说明的总体控制单元 127 中使用键盘等输入功率大小进行。

[0416] 激光加工装置 400 还具备入射由功率调节单元 401 调节了功率的激光而且配置成使得激光的光轴的朝向改变  $90^\circ$  的分色镜 103; 包括多个把由分色镜 103 反射了的激光聚光的聚光用透镜的透镜选择机构 403; 控制透镜选择机构 403 的透镜选择机构控制单元 405。

[0417] 透镜选择机构 403 具备聚光用透镜 105a、105b、105c, 以及支撑这些透镜的支撑板 407。包括聚光用透镜 105a 的光学系统的数值孔径, 包括聚光用透镜 105b 的光学系统的数值孔径, 包括聚光用透镜 105c 的光学系统的数值孔径分别不同。透镜选择机构 403 根据来自透镜选择机构控制单元 405 的信号, 通过使支撑板 407 旋转, 从聚光用透镜 105a、105b、105c 中把所希望的聚光用透镜配置在激光的光轴上。即, 透镜选择结构 403 是旋转器式。

[0418] 另外, 安装在透镜选择机构 403 中的聚光用透镜的个数不限于 3 个, 也可以是除此以外的数量。激光加工装置的操作者在后面说明的总体控制单元 127 中通过使用键盘等输入数值孔径的大小或者选择聚光用透镜 105a、105b、105c 中的哪一个的指示, 进行聚光用透镜的选择, 即数值孔径的选择。

[0419] 在激光加工装置 400 的载置台 107 中, 放置照射由聚光用透镜 105a ~ 105c 中配置在激光 L 的光轴上的聚光用透镜聚光了的激光的加工对象物 1。

[0420] 总体控制单元 127 与功率调节单元 401 电连接。图 67 省略了该图示。通过在总体控制单元 127 中输入功率的大小, 总体控制单元 127 控制功率调节单元 401, 由此调节功率。

[0421] 图 68 是示出总体控制单元 127 的一个例子的一部分的框图。总体控制单元 127 具



备尺寸选择单元 411, 相关关系存储单元 413 以及图像生成单元 415。在尺寸选择单元 411 中, 激光加工装置的操作者使用键盘等输入脉冲激光的功率的大小或者包括聚光用透镜的光学系统的数值孔径的大小。在该例中, 代替直接输入数值孔径的大小, 也可以进行选择聚光用透镜 105a、105b、105c 的某一个的输入。这种情况下, 在总体控制单元 127 中预先登录着聚光用透镜 105a、105b、105c 的各个数值孔径, 包括所选择的聚光用透镜的光学系统的数值孔径的数据自动地输入到尺寸选择单元 411 中。

[0422] 在相关关系存储单元 413 中, 预先存储着脉冲激光的功率的大小和数值孔径大小的组与改质点的尺寸的相关关系。图 69 是示出该相关关系的表的一例。在该例中, 在数值孔径的栏目中对于聚光用透镜 105a、105b、105c 的每一个, 登录着包括这些透镜的光学系统的数值孔径。在功率的栏目中登录着由功率调节单元 401 调节的脉冲激光的功率的大小。在尺寸的栏目中登录着通过相对应的组的功率与数值孔径的组合所形成的改质点的尺寸。例如, 在功率为  $1.24 \times 10^{11} \text{ (W/cm}^2\text{)}$ , 数值孔径为 0.55 所形成的改质点的尺寸是  $120 \mu\text{m}$ 。该相关关系的数据例如能够在激光加工之前通过进行在图 58 ~ 图 65 中说明过的实验得到。

[0423] 通过在尺寸选择单元 411 中输入功率的大小以及数值孔径的大小, 尺寸选择单元 411 从相关关系存储单元 413 选择与这些大小相同的值的组, 把与该组相对应的尺寸的数据传送到监视器 129。

[0424] 与由尺寸选择单元 411 选择的组相对应的尺寸的数据从尺寸选择单元 411 传送到图像生成单元 415。图像生成单元 415 根据该尺寸的数据生成该尺寸的改质点的图像数据, 传送到监视器 129。由此, 在监视器 129 中还显示改质点的图像。从而, 能够在激光加工之前了解改质点的尺寸或者改质点的形状。

[0425] 能够固定功率的大小, 使数值孔径的大小可变。这种情况的表如图 70 所示。例如, 把功率固定为  $1.49 \times 10^{11} \text{ (W/cm}^2\text{)}$ , 在数值孔径为 0.55 时所形成的改质点的尺寸是  $150 \mu\text{m}$ 。另外, 也能够固定数值孔径的大小, 使功率的大小可变。这种情况下的表如图 71 所示。例如, 把数值孔径固定为 0.8, 功率为  $1.19 \times 10^{11} \text{ (W/cm}^2\text{)}$  时所形成的改质点的尺寸是  $30 \mu\text{m}$ 。

[0426] 其次, 使用图 67 说明本实施形态的第 5 例中的激光加工方法。加工对象物 1 是硅晶片。在第 5 例中, 与图 15 所示的第 1 例中的加工方法相同, 进行步骤 S101 ~ 步骤 S111 的动作。

[0427] 在步骤 S111 以后, 如上述说明的那样, 把功率以及数值孔径的大小输入到总体控制单元 127 中。根据所输入的功率的数据, 由功率调节单元 401 调节激光 L 的功率。根据所输入的数值孔径的数据, 经过透镜选择机构控制单元 405, 通过透镜选择机构 403 选择聚光用透镜调节数值孔径。另外, 这些数据输入到总体控制单元 127 的尺寸选择单元 411 (图 68) 中。由此, 在监视器 129 上显示通过 1 个脉冲的激光 L 的照射在加工对象物 1 的内部形成的熔融处理点的尺寸以及熔融处理点的形状。

[0428] 而且, 与图 15 所示的第 1 例中的激光加工方法相同, 进行步骤 S113 ~ 步骤 S115 的动作。由此, 把加工对象物 1 分割成硅芯片。

[0429] [第 6 例]

[0430] 其次, 对于本实施形态的第 6 例, 以与第 5 例的不同点为中心进行说明。图 72 是该激光加工装置 500 的概略结构图。激光加工装置 500 的构成要素中, 对于与图 67 所示的

第 5 例中的激光加工装置 400 的构成要素相同的要素通过标注相同的符号,省略其说明。

[0431] 激光加工装置 500 在功率调节单元 401 与分色镜 103 之间的激光的光轴上配置着光束扩展器 501。光束扩展器 501 是倍率可变的,由光束扩展器 501 进行调节使得激光的光束直径加大。光束扩展器 501 是数值孔径调节装置的一个例子。另外,激光加工装置 500 代替透镜选择机构 403 具备 1 个聚光用透镜 105。

[0432] 激光加工装置 500 的动作与第 5 例的激光加工装置的动作的不同点是根据输入到总体控制单元 127 中的数值孔径的大小的数值孔径的调节。以下,说明这一点。总体控制单元 127 与光束扩展器 501 电连接。图 72 省略了该图示。通过在总体控制单元 127 中输入数值孔径的大小,总体控制单元 127 进行改变光束扩展器 501 的倍率的控制。由此,调节入射到聚光用透镜 105 中的激光的光束直径的扩大率。从而,即使聚光用透镜 105 是 1 个,也能够进行加大包括聚光用透镜 105 的光学系统的数值孔径的调节。使用图 73 以及图 74 说明这一点。

[0433] 图 73 示出没有配置光束扩展器 501 时的由聚光用透镜 105 进行的激光的聚光。另一方面,图 74 示出配置着光束扩展器 501 时的由聚光用透镜 105 进行的激光的聚光。如果把图 73 与图 74 进行比较则可知,如果以没有配置光束扩展器 501 时的包括聚光用透镜 105 的光学系统的数值孔径为基准,则在第 6 例中能够调节使得加大数值孔径。

[0434] [第 7 例]

[0435] 其次,对于本实施形态的第 7 例,以与第 5 例以及第 6 例的不同点为中心进行说明。图 75 是该激光加工装置 600 的概略结构图。在激光加工装置 600 的构成要素中,对于与第 5 例以及第 6 例中的激光加工装置的构成要素相同的要素通过标注相同的符号省略其说明。

[0436] 激光加工装置 600 代替光束扩展器 501,在分色镜 103 与聚光用透镜 105 之间的激光 L 的光轴上配置着可变光阑 601。通过改变可变光阑 601 的开口的大小调节聚光用透镜 105 的有效直径。可变光阑 601 是数值孔径调节装置的一个例子。另外,激光加工装置 600 具备进行改变可变光阑 601 的开口大小的可变光阑控制单元 603。可变光阑控制单元 603 由总体控制单元 127 进行控制。

[0437] 激光加工装置 600 的动作与第 5 例以及第 6 例的激光加工装置的动作的不同点是根据输入到总体控制单元 127 的数值孔径大小的数值孔径的调节。激光加工装置 600 根据所输入的数值孔径的大小通过改变可变光阑 601 的开口的大小,进行缩小聚光用透镜 105 的有效直径的调节。由此,即使聚光用透镜 105 是 1 个,也能够进行调节使得减小包括聚光用透镜 105 的光学系统的数值孔径。使用图 76 以及图 77 说明这一点。

[0438] 图 76 示出没有配置可变光阑时的由聚光用透镜 105 进行的激光 L 的聚光。另一方面,图 77 示出配置着可变光阑 601 时的由聚光用透镜 105 进行的激光 L 的聚光。如果把图 76 以及图 77 进行比较则可知,如果以没有配置可变光阑时的包括聚光用透镜 105 的光学系统的数值孔径为基准,则能够像在第 3 例中减小数值孔径那样进行调节。

[0439] 其次,说明本实施形态的第 5 例~第 7 例的变形例。图 78 是在本实施形态的激光加工装置的变形例中具备的总体控制单元 127 的框图。总体控制单元 127 具备功率选择单元 417 以及相关关系存储单元 413。在相关关系存储单元 413 中预先存储着图 17 所示的相关关系的数据。激光加工装置的操作者通过键盘等在功率选择单元 417 中输入改质点所希

望的尺寸。改质点的尺寸考虑加工对象物的厚度或者材质等决定。通过该输入,功率选择单元 417 从相关关系存储单元 413 选择与该尺寸相同的值的尺寸相对应的功率,把该功率的数据传送到功率调节单元 401。由此,通过在调节为该功率大小的激光加工装置中进行激光加工,能够形成所希望尺寸的改质点。该功率大小的数据还传送到监视器 129,显示功率的大小。在该例中,数字孔径固定而功率可变。另外,与输入的尺寸相同的值的尺寸没有存储在相关关系存储单元 413 中的情况下,向功率调节单元 401 以及监视器 129 发送与最接近的值的尺寸相对应的功率的数据。这一点在以下说明的变形例中也相同。

[0440] 图 79 是本实施形态的激光加工装置的其它变形例中具备的总体控制单元 127 的框图。总体控制单元 127 具备数值孔径选择单元 419 以及相关关系存储单元 413。与图 78 的变形例的不同点在于不是选择功率而是选择数值孔径。在相关关系存储单元 413 中预先存储着图 70 所示的数据。激光加工装置的操作者通过键盘等在数值孔径选择单元 419 中输入改质点的所希望的尺寸。由此,数值孔径选择单元 419 从相关关系存储单元 413 选择与该尺寸相同的值的尺寸相对应的数值孔径,把该数据孔径的数据传送到透镜选择机构控制单元 405,光束扩展器 501 或者可变光阑控制单元 603。由此,通过在调节为该数值孔径的大小的激光加工装置中进行激光加工,能够形成所希望尺寸的改质点。该数值孔径的大小的数据还传送到监视器 129,显示数值孔径的大小。在该例中,功率固定而数值孔径可变。

[0441] 图 80 是本实施形态的激光加工装置的又一个变形例中具备的总体控制单元 127 的框图。总体控制单元 127 具备组选择单元 421 以及相关关系存储单元 413。与图 78 以及图 79 的例子不同点是选择功率以及数值孔径的双方。在相关关系存储单元 413 中预先存储着图 69 的功率以及数值孔径的组与尺寸的相关关系的数据。激光加工装置的操作者通过键盘等在组选择单元 421 中输入改质点的所希望的尺寸。由此,组选择单元 421 从相关关系存储单元 413 选择与该尺寸相同的值的尺寸相对应的功率以及数值孔径的组。所选择的组的功率的数据传送到功率调节单元 401。另一方面,所选择的组的数值孔径的数据传送到透镜选择机构控制单元 405,光束扩展器 501 或者可变光阑控制单元 603。从而,通过在调节为该组的功率以及数值孔径的大小的激光加工装置中进行激光加工,能够形成所希望尺寸的改质点。该组的功率以及数值孔径的大小的数据还传送到监视器 219,显示功率以及数值孔径的大小。

[0442] 如果依据这些变形例,则能够控制改质点的尺寸。从而,通过缩小改质点的尺寸,能够沿着加工对象物的切割预定线精密地切割,还能够得到平坦的切割面。加工对象物的厚度大的情况下,通过加大改质点的尺寸,能够进行加工对象物的切割。

[0443] [第 8 例]

[0444] 本实施形态的第 8 例通过调节脉冲激光的重复频率的大小或者脉冲激光的聚光点的相对移动速度的大小,控制用 1 个脉冲激光形成的改质点和用随后的 1 个脉冲激光形成的改质点之间的距离。即,控制相邻的改质点之间的距离。以下把该距离作为间距  $p$  进行说明。对于间距  $p$  的控制以裂纹区为例进行说明。

[0445] 把脉冲激光的重复频率记为  $f$  (Hz),把加工对象物的 X 轴载物台或者 Y 轴载物的移动速度记为  $v$  (mm/sec)。这些载物台的移动速度是脉冲激光的聚光点的相对移动的速度的一例。把由脉冲激光的 1 次冲击所形成的裂纹部分称为裂纹点。从而,在切割预定线 5 的

每个单位长度所形成的裂纹点的数量  $n$  如下。

[0446]  $n = f/v$

[0447] 在每个单位长度所形成的裂纹点数量  $n$  的倒数相当于间距  $p$ 。

[0448]  $p = 1/n$

[0449] 从而,如果调节脉冲激光的重复频率的大小以及脉冲激光的聚光点的相对移动速度的大小中的至少一个,则能够调节间距  $p$ 。即,通过加大重复频率  $f$  (Hz) 或者减小载物台的移动速度  $v$  (mm/sec),则能够把间距控制为较小。反之,通过减小重复频率  $f$  (Hz) 或者加大载物台的移动速度  $v$  (mm/sec),则能够把间距  $p$  控制为较大。

[0450] 而间距  $p$  与切割预定线 5 方向中的裂纹点的尺寸  $d$  的关系有图 81 ~ 图 83 所示的 3 种。图 81 ~ 图 83 是沿着通过本实施形态的激光加工形成了裂纹区的加工对象物的切割预定线 5 的部分的平面图。裂纹点 90 用 1 个脉冲的脉冲激光形成。通过沿着切割预定线并列形成多个裂纹点 90,形成裂纹区 9。

[0451] 图 81 示出间距  $p$  比尺寸  $d$  大的情况。沿着切割预定线 5 在加工对象物的内部断续地形成裂纹区 9。图 82 示出间距  $p$  与尺寸  $d$  大致相等的情况。沿着切割预定线 5 在加工对象物的内部连续地形成裂纹区 9。图 83 示出间距  $p$  比尺寸  $d$  小的情况。沿着切割预定线 5 在加工对象物的内部连续地形成裂纹区 9。

[0452] 如果依据图 81,则由于裂纹区 9 沿着切割预定线 5 不连续,因此切割预定线 5 的位置保持某种程度的强度。从而,在激光加工以后进行加工对象物的切割工序时,容易进行加工对象物的处理。如果依据图 82 以及图 83,则由于沿着切割预定线 5 连续地形成裂纹区 9,因此能够容易地进行以裂纹区 9 为起点的加工对象物的切割。

[0453] 如果依据图 81 则由于间距  $p$  比尺寸  $d$  大,如果依据图 82 则由于间距  $p$  与尺寸  $d$  大致相等,因此能够防止通过脉冲激光的照射由多光子吸收产生的区域与已经形成的裂纹点 90 相重叠。其结果,能够减小裂纹点的尺寸的分散性。即,如果依据本发明可知,如果通过脉冲激光的照射由多光子吸收产生的区域与已经形成的裂纹点 90 相重叠,则在该区域中所形成的裂纹点 90 的尺寸的分散性增大。如果裂纹点 90 的尺寸的分散性增大,则难以沿着切割预定线精密地切割加工对象物,另外,切割面的平坦性也将恶化。而如果依据图 81 以及图 82,则由于可以减小裂纹点的尺寸的分散性,因此能够沿着切割预定线精密地切割加工对象物,而且能够使切割面平坦。

[0454] 如以上说明的那样,如果依据本实施形态的第 8 例,则通过调节脉冲激光的重复频率的大小或者脉冲激光的聚光点的相对移动速度的大小,能够控制间距  $p$ 。由此,通过考虑加工对象物的厚度或者材质等改变间距  $p$ ,能够进行与加工对象物相对应的激光加工。

[0455] 另外,对于能够进行间距  $p$  的控制,以裂纹点情况进行了说明,而在熔融处理点或者折射率变化点的情况下可以说也是相同的。其中,对于熔融处理点或者折射率变化点,即使产生与已经形成的熔融处理点或者折射率变化点的重叠也不存在问题。另外,所谓脉冲激光的聚光点的相对移动,既可以是固定脉冲激光的聚光点使加工对象物移动,也可以是固定加工对象物使脉冲激光的聚光点移动,还可以是使加工对象物与脉冲激光的聚光点相互沿着相反方向移动,还可以使加工对象物与脉冲激光的聚光点的速度不同而且沿着相同方向移动。

[0456] 对于本实施形态的第 8 例中的激光加工装置,以与图 14 所示的第 1 例中的激光加

工装置 100 的不同点为中心,使用图 14 进行说明。激光光源 101 是 Q 开关激光器。图 84 是激光光源 101 所具备的 Q 开关激光器的概略结构图。Q 开关激光器具备隔开预定间隔配置的反射镜 51、53,配置在反射镜 51 与反射镜 53 之间的激光媒介 55,在激光媒介 55 上加入激励用的输入的激励源 57,配置在激光媒介 55 与反射镜 51 之间的 Q 开关 59。激光媒介 55 的材料例如是 Nd:YAG。

[0457] 在利用 Q 开关 59 提高了谐振器的损失的状态下,通过从激励源 57 在激光媒介 55 上加入激励输入,使激光媒介 55 的反相分布上升到预定值。然后,通过成为利用 Q 开关 59 降低了谐振器的损失的状态,瞬时振荡存储的功率,发生脉冲激光 L。根据来自激光光源控制单元 102 的信号 S(例如超声波脉冲的重复频率的变化)进行控制使得 Q 开关 59 成为高的状态。从而,能够根据来自激光光源控制单元 102 的信号 S,调节从激光光源 101 出射的脉冲激光的重复频率。激光光源控制单元 102 成为频率调节装置的一个例子。重复频率的调节通过激光加工装置的使用者在后面说明的总体控制单元 127 中使用键盘等输入重复频率的大小进行。以上是激光光源 101 的详细情况。

[0458] 在激光加工中,通过使加工对象物 1 沿着 X 轴方向或者 Y 轴方向移动,沿着切割预定线形成改质区。从而,例如,在沿着 X 轴方向形成改质区的情况下,通过调节 X 轴载物台 109 的移动速度,能够调节脉冲激光的聚光点的相对移动速度。另外,在沿着 Y 轴方向形成改质区的情况下,通过调节 Y 轴载物台 111 的移动速度,能够调节脉冲激光的聚光点的相对移动速度。这些载物台的移动速度的调节由载物台控制单元 115 控制。载物台控制单元 115 成为速度调节装置的一个例子。速度的调节通过激光加工装置的使用者在后面说明的总体控制单元 127 中使用键盘等输入速度的大小进行。另外,通过使聚光点 P 能够移动,调节其移动速度,还能够调节脉冲激光的聚光点的相对移动速度。

[0459] 第 8 例中的激光加工装置的总体控制单元 127 在第 1 例中的激光加工装置的总体控制单元 127 中还添加了其它的功能。图 85 是示出第 8 例中的激光加工装置的总体控制单元 127 的一例的一部分的框图。总体控制单元 127 具备距离运算单元 141,尺寸存储单元 143 以及图像生成单元 145。在距离运算单元 141 中输入脉冲激光的重复频率的大小以及载物台 109、111 的移动速度的大小。这些输入由激光加工装置的操作者使用键盘等进行。

[0460] 距离运算单元 141 利用上述的公式 ( $n = f/v$ ,  $p = 1/n$ ),运算相邻的改质点之间的距离(间距)。距离运算单元 141 把该距离数据传送到监视器 129。由此,在监视器 129 上显示所输入的频率的大小以及根据速度的大小形成的改质点之间的距离。

[0461] 另外,该距离数据还传送到图像生成单元 145。在尺寸存储单元 113 中预先存储着在该激光加工装置中形成的改质点的尺寸。图像生成单元 145 根据该距离数据和存储在尺寸存储单元 143 中的尺寸的数据,生成由该距离和尺寸所形成的改质区的图像数据传送到监视器 129。由此,在监视器 129 上还显示改质区的图像。从而,能够在激光加工之前了解相邻的改质点之间的距离或者改质区的形状。

[0462] 距离运算单元 141 还可以如以下那样利用公式 ( $n = f/v$ ,  $p = 1/n$ ) 运算改质点之间的距离。首先,生成预先登录了重复频率的大小和载物台 109、111 的移动速度与改质点之间的距离的关系的表,把该表的数据存储在距离运算单元 141 中。通过把重复频率的大小以及载物台 109、111 的移动速度的大小输入到距离运算单元 141,距离运算单元 141 从上述表中读出在这些大小的条件下所生成的改质点中的改质点之间的距离。

[0463] 另外,还可以固定重复频率的大小而使载物台的移动速度的大小可变。反之,也可以固定载物台的移动速度的大小而使重复频率的大小可变。在这些情况下,在距离运算单元 141 中通过使用上述的公式或者表,进行用于在监视器 129 上显示改质点之间的距离或者改质区的图像的处理。

[0464] 如以上那样,通过在图 85 所示的总体控制单元 127 中输入重复频率的大小或者载物台的移动速度的大小,运算相邻的改质点之间的距离。输入相邻的改质点之间的所希望的距离,也可以控制重复频率的大小或者载物台的移动速度的大小。以下说明这一点。

[0465] 图 86 是示出第 8 例中所具备的总体控制单元 127 的其它例子的一部分的框图。总体控制单元 127 具备频率运算单元 147。激光加工装置的使用者通过键盘等在频率运算单元 147 中输入相邻的改质点之间的距离的大小。该距离的大小考虑加工对象物的厚度或者材质等决定。通过该输入,频率运算单元 147 按照上述公式或者表,运算用于成为该距离的大小的频率。在该例中载物台的移动速度固定。频率运算单元 147 把所运算的数据传送到激光光源控制单元 102。通过在调节为该频率大小的激光加工装置中把加工对象物进行激光加工,能够使相邻的改质点之间的距离成为所希望的大小。该频率大小的数据还传送到监视器 129,显示该频率的大小。

[0466] 图 87 是示出第 8 例中所具备的总体控制单元 127 的又一个例子的一部分的框图。总体控制单元 127 具备速度运算单元 149。与上述相同,在速度运算单元 149 中输入相邻的改质点之间的距离的大小。通过该输入,速度运算单元 149 按照上述公式或者表,运算用于成为该距离的大小的载物台移动速度。在该例中重复频率固定。速度运算单元 149 把所运算的数据传送到载物台控制单元 115。在调节为该载物台移动速度的大小的激光加工装置中把加工对象物进行激光加工,能够使相邻的改质点之间的距离成为所希望的大小。该载物台移动速度的大小的数据还传送到监视器 129,显示该载物台移动速度的大小。

[0467] 图 88 是示出第 8 例所具备的总体控制单元 127 的又一个例子的一部分的框图。总体控制单元 127 具备组合运算单元 151。与图 86 以及图 87 的情况的不同点在于运算重复频率以及载物台移动速度的这两者。与上述相同,把相邻的改质点之间的距离的大小输入到组合运算单元 151。组合运算单元 151 根据上述公式或者表,运算用于成为该距离的大小的重复频率以及载物台移动速度。

[0468] 组合运算单元 151 运算的数据传送到激光光源控制单元 102 以及载物台控制单元 115。激光光源控制单元 102 调节激光光源 101 使得成为所运算的重复频率的大小。载物台控制单元 115 调节载物台 109、111 使得成为所运算的载物台移动速度的大小。通过用进行了这些调节的激光加工装置把加工对象物进行激光加工,能够使相邻的改质点之间的距离成为所希望的大小。所运算的重复频率的大小以及载物台移动速度的大小的数据还传送到监视器 129,显示所运算的这些值。

[0469] 其次,说明本实施形态的第 8 例中的激光加工方法。加工对象物 1 是硅晶片。在第 8 例中,与第 15 图所示的第 1 例中的激光加工方法相同,进行步骤 S101 ~ 步骤 S111 的动作。

[0470] 在步骤 S111 以后,决定用 1 个脉冲的脉冲激光所形成的熔融处理点中的相邻熔融处理点之间的距离,即间距  $p$  的大小。间距  $p$  考虑加工对象物 1 的厚度或者材质等决定。间距  $p$  的大小输入到图 88 所示的总体控制单元 127。

[0471] 而且,与图 15 所示的第 1 例中的激光加工方法相同,进行步骤 S113 ~ 步骤 S115 的动作。由此,把加工对象物 1 分割成硅芯片。

[0472] 如以上说明的那样,如果依据第 8 例,则通过脉冲激光的重复频率的大小的调节,或者 X 轴载物台 109、Y 轴载物台 111 的移动速度的大小的调节,能够控制相邻的熔融处理点的距离。通过考虑加工对象物 1 的厚度或者材质等改变距离的大小,能够进行与目的相对应的加工。

[0473] [第 9 例]

[0474] 本实施形态的第 9 例通过改变照射在加工对象物上的激光对于加工对象物的入射方向中的激光的聚光点位置,沿着入射方向并列形成多个改质区。

[0475] 对于多个改质区说明以裂纹区为例进行说明。图 89 是使用本实施形态的第 9 例中的激光加工方法,在加工对象物 1 的内部形成了 2 个裂纹区 9 的加工对象物 1 的斜视图。

[0476] 对于 2 个裂纹区 9 的形成方法简单地说明。首先,把脉冲激光 L 的聚光点对准加工对象物 1 的内部的背面 21 附近,沿着切割预定线 5 使聚光点移动的同时在加工对象物 1 上照射脉冲激光 L。由此,沿着切割预定线 5 在加工对象物 1 的内部的背面 21 附近形成裂纹区 9(9A)。然后,把脉冲激光 L 的聚光点对准加工对象物 1 的内部的表面 3 附近,沿着切割预定线 5 使聚光点移动的同时在加工对象物 1 上照射脉冲激光 L。通过该照射,沿着切割预定线 5 在加工对象物 1 的内部的表面 3 附近形成裂纹区 9(9B)。

[0477] 而且,如图 90 所示,从裂纹区 9A、9B 自然地生长裂纹 91。详细地讲,分别从裂纹区 9A 向背面 21 的方向,从裂纹区 9A(9B) 向裂纹区 9B(9A) 的方向,从裂纹区 9B 向表面 3 的方向自然生长。由此,在沿着切割预定线 5 的加工对象物 1 的面,即成为切割面的面上,能够形成沿着加工对象物 1 的厚度方向延长伸展了的裂纹 9。从而,仅人为地加入比较小的力或者不加入力就能够自然地沿着切割预定线 5 切割加工对象物 1。

[0478] 如以上那样,如果依据第 9 例,则通过形成多个裂纹区 9,增加切割加工对象物 1 时的成为起点的位置。从而,如果依据第 9 例,则即使在加工对象物 1 的厚度比较大的情况下或者加工对象物 1 的材质难以生长裂纹区 9 形成后的裂纹 91 的情况下等,也能够进行加工对象物 1 的切割。

[0479] 另外,在只是 2 个裂纹区 9 而难以切割的情况下,形成 3 个以上的裂纹区 9。例如,如图 91 所示,能够在裂纹区 9A 与裂纹区 9B 之间形成裂纹区 9C。另外,如果是激光的入射方向,则如图 92 所示,还能够沿着与加工对象物 1 的厚度方向正交的方向切割。

[0480] 在本实施形态的第 9 例中,最好从对于脉冲激光 L 入射的加工对象物的入射面(例如表面 3)的远方开始顺序地形成多个裂纹区 9。例如在图 89 中,首先形成裂纹区 9A,然后形成裂纹区 9B。如果从对于入射面接近的一方开始顺序地形成裂纹区 9,则在后面形成的裂纹区 9 形成时所照射的脉冲激光 L 由前面已经形成了的裂纹区 9 散射。由此,由构成后面形成的裂纹区 9 的 1 个冲击的脉冲激光 L 所形成的裂纹部分(裂纹点)在尺寸方面产生分散性。从而,不能够均匀地形成在后面形成的裂纹区 9。与此不同,由于如果从对于入射面的远方开始顺序形成裂纹区 9,则不产生上述散射,因此能够均匀地形成在后面形成的裂纹区 9。

[0481] 但是,在本实施形态的第 9 例中,多个裂纹区 9 的形成顺序不限于上述,既可以从对于加工对象物的入射面接近的一方开始顺序地形成,还可以随机地形成。所谓随机地

形成,例如在图 91 中,首先形成裂纹区 9C,接着形成裂纹区 9B,然后使激光的入射方向相反,最后形成裂纹区 9A。

[0482] 另外,对于多个改质区的形成,以裂纹区的情况进行了说明,而在熔融处理区或者折射率变化区的情况下可以说也是相同的。另外,对于脉冲激光进行了说明,而对于连续波激光可以说也是相同的。

[0483] 本实施形态的第 9 例中的激光加工装置采用与图 14 所示的第 1 例中的激光加工装置 100 相同的结构。在第 9 例中,由 Z 轴载物台 113 调节加工对象物 1 的厚度方向中的聚光点 P 的位置。由此,例如,在加工对象物 1 的厚度方向中,能够把聚光点 p 调节为从厚度一半的位置接近或者远离入射面(表面 3)的位置,或者调节到厚度的大致一半的位置。

[0484] 这里,使用图 93 以及图 94 说明由 Z 轴载物台进行的加工对象物的厚度方向中的聚光点 P 的位置调节。在本实施形态的第 9 例中,以加工对象物的表面(入射面)为基准把加工对象物的厚度方向中的激光的聚光点位置调节到加工对象物的内部所希望的位置。图 93 示出加工对激光 L 的聚光点 P 位于加工对象物 1 的表面 3 的状态。如图 94 所示,如果使 Z 轴载物台朝向聚焦用透镜 105 进行 z 移动,则聚光点 P 从表面 3 移动到加工对象物 1 的内部。聚光点 P 在加工对象物 1 的内部中的移动量是  $Nz$  ( $N$  是加工对象物 1 对于激光 L 的折射率)。从而,通过考虑加工对象物 1 对于激光 L 的折射率使 Z 轴载物台移动,能够控制加工对象物 1 的厚度方向中的聚光点 P 的位置。即,把聚光点 P 在加工对象物 1 的厚度方向中的所希望的位置作为从表面 3 到加工对象物 1 的内部的距离( $Nz$ )。使加工对象物 1 沿着厚度方向移动通过用上述折射率( $N$ )除该距离( $Nz$ )得到的移动量( $z$ )。由此,能够使聚光点 P 对准上述所希望的位置。

[0485] 如在第 1 例中说明过的那样,通过载物台控制单元 115 根据聚光点数据,移动控制 Z 轴载物台 113,使得可见光的聚光点对准表面 3。在可见光的聚光点位于表面 3 的 Z 轴载物台 113 的位置中,调整激光加工装置 1 使得激光 L 的聚光点 P 也位于表面 3 上。另外,总体控制单元 127 输入并存储在图 93 以及图 94 中说明过的移动量( $z$ )的数据。

[0486] 其次,使用图 95,说明本实施形态的第 9 例中的激光加工方法。图 95 是用于说明该激光加工方法的流程图。加工对象物 1 是硅晶片。

[0487] 步骤 S101 与图 15 所示的第 1 例的步骤 S101 相同。接着测定加工对象物 1 的厚度。根据厚度的测定结果以及加工对象物 1 的折射率,决定加工对象物 1 的 Z 轴方向的移动量( $z$ ) (S103)。该移动量是为了使激光 L 的聚光点 P 位于加工对象物 1 的内部,以对于加工对象物 1 的表面 3 的激光 L 的聚光点为基准的加工对象物 1 的 Z 轴方向的移动量。即,决定加工对象物 1 的厚度方向中的聚光点 P 的位置。考虑加工对象物 1 的厚度、材质等决定聚光点 P 的位置。在本实施形态中,使用用于使聚光点 P 位于加工对象物 1 的内部的背面附近的第 1 移动量的数据和用于使聚光点 P 位于表面 3 附近的第 2 移动量的数据。最初形成的熔融处理区使用第 1 移动量的数据形成。接着形成的熔融处理区使用第 2 移动量的数据形成。这些移动量的数据输入到总体控制单元 127 中。

[0488] 步骤 S105 以及步骤 S107 与图 15 所示的第 1 例的步骤 S105 以及步骤 S107 相同。在步骤 S107 中运算了的聚光点数据传送到载物台控制单元 115。载物台控制单元 115 根据该聚光点数据使 Z 轴载物台 113 进行 Z 轴方向的移动(S109)。由此,观察用光源 117 的可见光的聚光点位于表面 3 上。在 Z 轴载物台 113 的该位置中,脉冲激光 L 的聚光点 P 位于



表面 3 上。另外,摄影数据处理单元 125 根据摄影数据,运算包括切割预定线 5 的加工对象物 1 的表面 3 的放大图像数据。该放大图像数据经过总体控制单元 127 传送到监视器 129,由此在监视器 129 上显示切割预定线 5 附近的放大图像。

[0489] 在总体控制单元 127 中输入预先在步骤 S103 中决定了的第 1 移动量的数据,该移动量的数据传送到载物台控制单元 115。载物台控制单元 115 根据该移动量的数据,通过 Z 轴载物台 113 使加工对象物 1 沿着 Z 轴方向移动,使得激光 L 的聚光点 P 位于成为加工对象物 1 的内部的位置 (S111)。该内部的位置是加工对象物 1 的背面附近。

[0490] 接着,与图 15 所示的第 1 例的步骤 S113 相同,沿着切割预定线 5 形成在加工对象物 1 的内部形成熔融处理区 (S113)。熔融处理区形成在加工对象物 1 的内部中的背面附近。

[0491] 接着,与步骤 S111 相同,根据第 2 移动量的数据,由 Z 轴载物台 113 使加工对象物 1 沿着 Z 轴方向移动,使得激光 L 的聚光点 P 位于成为加工对象物 1 的内部表面 3 附近的位置 (S115)。而且,与步骤 S113 相同,在加工对象物 1 的内部形成熔融处理区 (S117)。在该步骤中,在加工对象物 1 的内部表面 3 附近形成熔融处理区。

[0492] 最后,通过沿着切割预定线 5 弯曲加工对象物 1,切割加工对象物 1 (S119)。由此,把加工对象物 1 分割成硅芯片。

[0493] 说明本实施形态的第 9 例的效果。如果依据第 9 例,则通过沿着入射方向并列形成多个改质区,增加切割加工对象物 1 时成为起点的位置。例如,在加工对象物 1 的激光的入射方向的尺寸比较大的情况下,或者加工对象物 1 是难以从改质区生长裂纹的材质的情况下,只是 1 个沿着切割预定线 5 的改质区则难以进行加工对象物 1 的切割。从而,在这样的情况下,通过像本实施形态这样形成多个改质区,能够容易地切割加工对象物 1。

[0494] [第 10 例]

[0495] 本实施形态的第 10 例通过调节加工对象物的厚度方向中的激光的聚光点位置,控制加工对象物的厚度方向中的改质区的位置。

[0496] 对于该位置控制以裂纹区为例进行说明。图 96 是使用本实施形态的第 10 例中的加工激光加工方法,在加工对象物 1 的内部形成了裂纹区 9 的加工对象物 1 的斜视图。脉冲激光 L 的聚光点越过加工对象物 1 的脉冲激光的表面 (入射光面) 3,对准加工对象物 1 的内部。而且在加工对象物 1 的厚度方向把聚光点调节到厚度的大致一半的位置。如果在这些条件下沿着切割预定线 5 在加工对象物 1 上照射脉冲激光 L,则沿着切割预定线在加工对象物 1 的厚度一半的位置及其附近形成裂纹区 9。

[0497] 图 97 是图 96 所示的加工对象物 1 的部分剖面图。裂纹区 9 形成以后,从裂纹区 9 向表面 3 以及背面 21 自然地生长裂纹 91。如果在加工对象物 1 的厚度方向,在厚度一半的位置及其附近形成裂纹区 9,则例如在加工对象物 1 的厚度比较大的情况下,能够使自然成长的裂纹 91 与表面 3 (背面 21) 的距离比较长。从而,沿着加工对象物 1 的切割预定线 5 的切割预定位置保持某种程度的强度。从而,在激光加工结束以后进行加工对象物 1 的切割工序时,容易进行加工对象物的处理。

[0498] 图 98 是包括与图 96 同样地使用本实施形态的第 10 例中的激光加工方法形成的裂纹区 9 的加工对象物 1 的斜视图。在加工对象物 1 的厚度方向,在把脉冲激光 L 的聚光点调节到从厚度一半的位置接近表面 (入射面) 3 的位置形成图 98 所示的裂纹区 9。裂纹

区 9 形成在加工对象物 1 的内部中的表面 3 一侧。图 99 是图 98 所示的加工对象物 1 的部分剖面图。由于裂纹区 9 形成在表面 3 一侧,因此自然生长的裂纹 91 到达表面 3 或者其附近。从而,由于在表面 3 易于产生沿着切割预定线 5 的切割,因此能够容易地切割加工对象物 1。

[0499] 特别是,在加工对象物 1 的表面 3 上形成着电子器件或者电极图形的情况下,如果把裂纹区 9 形成在表面 3 附近,则能够防止在加工对象物 1 的切割时损伤电子器件等。即,通过使裂纹 91 从裂纹区 9 向加工对象物 1 的表面 3 以及背面 21 的方向生长,切割加工对象物 1。既有只是裂纹 91 的自然生长就能够进行切割的情况,也有除去裂纹 91 的自然生长以外人为地使裂纹 91 生长进行切割的情况。如果裂纹区 9 与表面 3 的距离比较长,则在表面 3 一侧裂纹 91 的生长方向的偏移加大。由此,裂纹 91 有时到达电子器件等的形成区,由于该到达损伤电子器件等。如果把裂纹区 9 形成在表面 3 附近,则由于裂纹区 9 与表面 3 的距离比较短,因此能够减小裂纹 91 的生长方向的偏移。从而,能够不损伤电子器件等进行切割。但是,如果在过于接近表面 3 的位置形成裂纹区 9,则裂纹区 9 形成在表面 3 上。因此,裂纹区 9 本身的随机形状显现在表面 3 上,成为表面 3 的屑片的原因,切割精度恶化。

[0500] 另外,还能够在加工对象物 1 的厚度方向把脉冲激光 L 的聚光点调节到从厚度一半的位置远离表面 3 的位置,形状裂纹区 9。这种情况下,裂纹区 9 形成在加工对象物 1 的内部中的背面 21 一侧。

[0501] 图 100 是包括与图 96 同样地使用了本实施形态的第 10 例中的激光加工方法形成的裂纹区 9 的加工对象物 1 的斜视图。图 100 所示的 X 轴方向的裂纹区 9 是在加工对象物 1 的厚度方向把脉冲激光 L 的聚光点调节到从厚度一半的位置远离表面(入射面)3 的位置而形成的。另一方面,Y 轴方向的裂纹区 9 是把聚光点调节到从厚度一半的位置接近表面 3 的位置而形成的。X 轴方向的裂纹区 9 与 Y 轴方向的裂纹区 9 立体交叉。

[0502] 在加工对象物 1 例如是半导体晶片的情况下,沿着 X 轴方向以及 Y 轴方向分别平行地形成多个裂纹区 9。由此,在半导体晶片网格形地形成裂纹 9,以网格形的裂纹区为起点分割成各个芯片。如果 X 轴方向的裂纹区 9 与 Y 轴方向的裂纹区 9 在加工对象物 1 的厚度方向中的位置都相同,则产生 X 轴方向的裂纹区 9 与 Y 轴方向的裂纹区 9 正交的位置。在正交的位置由于裂纹区重叠,因此难以使 X 轴方向的切割面与 Y 轴方向的切割面高精度地正交。由此,在正交的位置妨碍加工对象物 1 的精密的切割。

[0503] 与此不同,如图 100 所示,在加工对象物 1 的厚度方向,如果使 X 轴方向的裂纹区 9 的位置与 Y 轴方向的裂纹区 9 的位置不同,则能够防止 X 轴方向的裂纹区 9 与 Y 轴方向的裂纹区 9 重叠。从而,能够进行加工对象物 1 的精密的切割。

[0504] 另外,最好在 X 轴方向的裂纹区 9 以及 Y 轴方向的裂纹区 9 中,在前面已经形成的裂纹区 9 的表面(入射面)3 一侧形成在后面形成的裂纹区 9。如果在前面形成的裂纹区 9 的背面 21 一侧形成后面形成的裂纹区 9,则在成为 X 轴方向的切割面与 Y 轴方向的切割面正交场所的位置,在后面形成的裂纹区 9 形成时所照射的脉冲激光 L 由前面已经形成的裂纹区 9 散射。由此,在后面形成的裂纹区 9 中,在成为上述正交场所的位置所形成的部分的尺寸与在其它位置所形成的部分的尺寸之间产生分散性。从而,不能够均匀地形成在后面形成的裂纹区 9。

[0505] 与此不同,如果在前面形成的裂纹区 9 的表面 3 一侧形成后面形成的裂纹区 9,则

由于在成为上述正交场所的位置不发生脉冲激光 L 的散射,因此能够均匀地形成在后面形成的裂纹区 9。

[0506] 如以上说明的那样,如果依据本实施形态的第 10 例,则通过调节加工对象物的厚度方向中的激光的聚光点位置,能够控制加工对象物的厚度方向中的改质区的位置。通过考虑加工对象物的厚度或者材质等改变聚光点位置,能够进行与加工对象物相对应的激光加工。

[0507] 另外,对于能够进行改质区的位置控制,以裂纹区的情况进行了说明,而即使在熔融处理区或者折射率变化区的情况下可以说也是相同的。另外,对于脉冲激光进行了说明,而对于连续波激光可以说也是相同的。

[0508] 本实施形态的第 10 例中的激光加工装置采用与图 14 所示的第 1 例中的激光加工装置 100 相同的结构。在第 10 例中,由 Z 轴载物台 113 调节加工对象物 1 的厚度方向中的聚光点 P 的位置。由此,例如,能够把聚光点 P 在加工对象物 1 的厚度方向中,调节到从厚度一半的位置接近或者远离入射面(表面 3)的位置,或者调节到厚度的大致一半的位置。另外,通过使聚光用透镜 105 沿着 Z 轴方向移动,也能够进行这些调节或者使激光的聚光点对准加工对象物的内部。从而,在本发明中,由于存在加工对象物 1 沿着其厚度方向移动的情况以及聚光用透镜 105 沿着加工对象物 1 的厚度方向移动的情况,因此加工对象物 1 的厚度方向中的加工对象物 1 的移动量作为相对移动量或者其它的相对移动量。

[0509] 由 Z 轴载物台进行的加工对象物的厚度方向中的聚光点 P 的位置调节与在图 93 以及图 94 中说明过的第 9 例相同。

[0510] 在第 10 例中,摄影数据处理单元 125 根据摄影数据运算用于使观察用光源 117 发生的可见光的聚光点对准表面 3 的聚光点数据。根据该聚光点数据,载物台控制单元 115 通过移动控制 Z 轴载物台 113,使得可见光的聚光点对准表面 3。在使可见光的聚光点位于表面 3 上的 Z 轴载物台 113 的位置,激光加工装置 1 调整激光 L 的聚光点 P 使得也位于表面 3 上。从而,聚光点数据是为了使聚光点 P 位于表面(入射面)3 所必需的加工对象物 1 的厚度方向中的加工对象物 1 的其它相对移动量的一个例子。摄影数据处理单元 125 具有运算其它的相对移动量的功能。

[0511] 总体控制单元 127 输入并存储在图 93 以及图 94 说明过的移动量(z)的数据。即,总体控制单元 127 具有存储加工对象物 1 的厚度方向中的加工对象物的相对移动量的数据的功能。总体控制单元 127 由载物台控制单元 115 以及 Z 轴载物台 113,在加工对象物 1 的厚度的范围内调节由聚光用透镜 105 聚光了的脉冲激光的聚光点位置。

[0512] 使用图 14 所示的第 1 例中的激光加工装置以及图 15 所示的第 1 例中的激光加工方法的流程图说明本实施形态的第 10 例中的激光加工方法。加工对象物 1 是硅晶片。

[0513] 步骤 S101 与图 15 所示的第 1 例的步骤 S101 相同。接着,与图 15 所示的第 1 例的步骤 S103 相同,测定加工对象物 1 的厚度。根据厚度的测定结果以及加工对象物 1 的折射率,决定加工对象物 1 的 Z 轴方向的移动量(z)(S103)。该移动量是为了使激光 L 的聚光点 P 位于加工对象物 1 的内部,以位于加工对象物 1 的表面 3 的激光 L 的聚光点为基准的加工对象物 1 的 Z 轴方向的移动量。即,决定加工对象物 1 的厚度方向中的聚光点 P 的位置。Z 轴方向的移动量(z)是加工对象物 1 的厚度方向中的加工对象物的相对移动量的数据的一个例子。考虑加工对象物 1 的厚度、材质、加工的效果(例如加工对象物的处理容

易,能够容易地切割)等决定聚光点P的位置。该移动量的数据输入到总体控制单元127。

[0514] 步骤S105以及步骤S107与图15所示的第1例的步骤S105以及107相同。在步骤S107中运算的聚光点数据是加工对象物1的Z轴方向的其它的相对移动量的数据。

[0515] 该聚光点数据传送到载物台控制单元115。载物台控制单元115根据该聚光点数据使Z轴载物台113进行Z轴方向的移动(S109)。由此,观察用光源117的可见光的聚光点位于表面3上。在Z轴载物台113的该位置,脉冲激光L的聚光点P位于表面3上。另外,摄影数据处理单元125根据摄影数据,运算包括切割预定线5的加工对象物1的表面3的放大图像数据。该放大图像数据经过总体控制单元127传送到监视器129,由此在监视器129上显示切割预定线5附近的放大图像。

[0516] 在总体控制单元127中预先输入在步骤S103中决定了的相对移动量数据,该移动量数据传送到载物台控制单元115。载物台控制单元115根据该移动量数据,由Z轴载物台113使加工对象物1沿着Z轴方向移动,使得激光L的聚光点P位于成为加工对象物1的内部的位置(S111)。

[0517] 步骤S113以及步骤S115与图15所示的步骤S113以及步骤S115相同。根据以上过程,把加工对象物1分割成硅芯片。

[0518] 说明本实施形态的第10例的效果。如果依据第10例,则调节加工对象物1的厚度方向中的聚光点P的位置,在加工对象物1上照射脉冲激光L,形成改质区。由此,能够控制加工对象物1的厚度方向中的改质区的位置。从而,通过根据加工对象物1的材质、厚度、加工效果等,改变加工对象物1的厚度方向中的改质区的位置,能够进行与加工对象物1相对应的切割加工。

[0519] 如果依据本发明的激光加工方法以及激光加工装置,则能够在加工对象物的表面上不发生熔融或者偏离切割预定线的分割,切割加工对象物。从而,能够提高通过切割加工对象物制作的产品(例如,半导体芯片,压电器件芯片,液晶等显示装置)的成品率或者生产性。

图 1

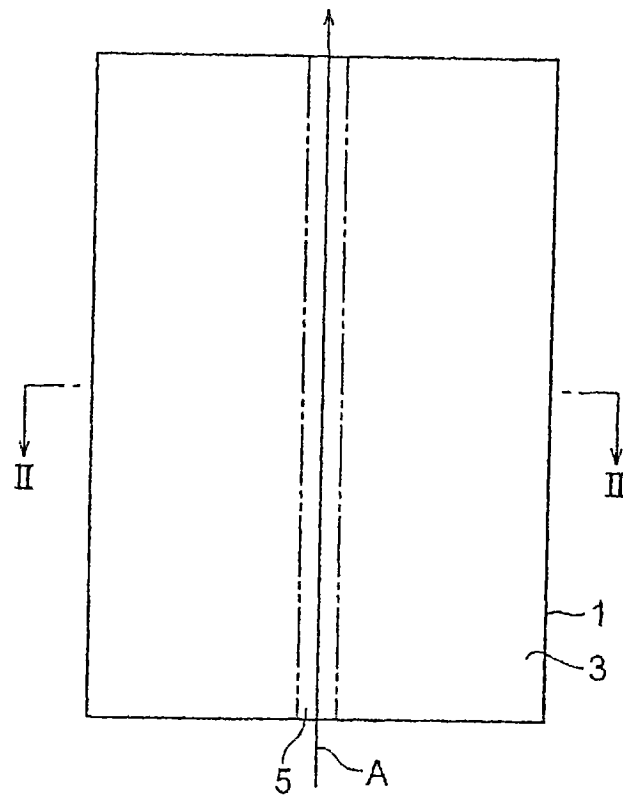


图 2

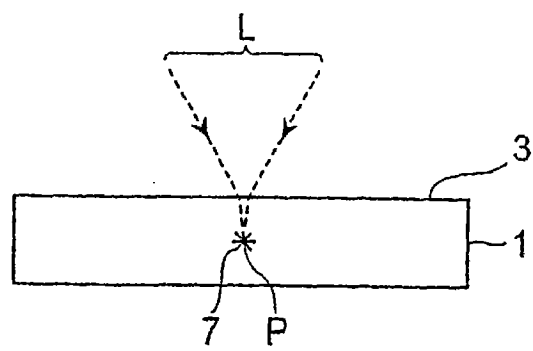


图 3

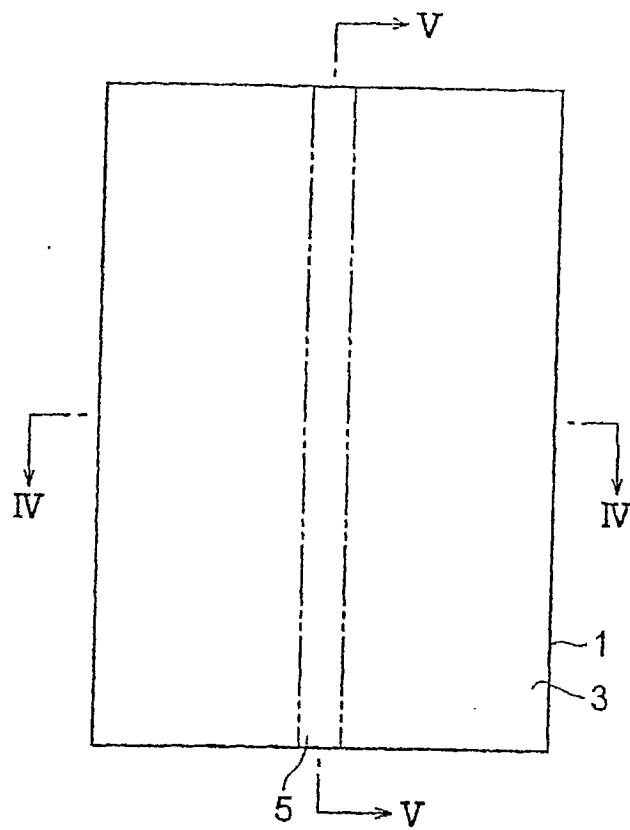


图 4

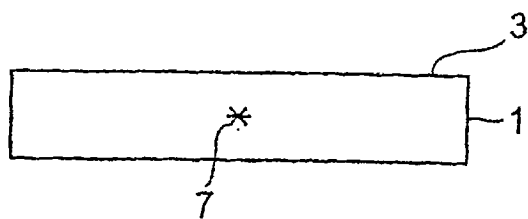


图 5

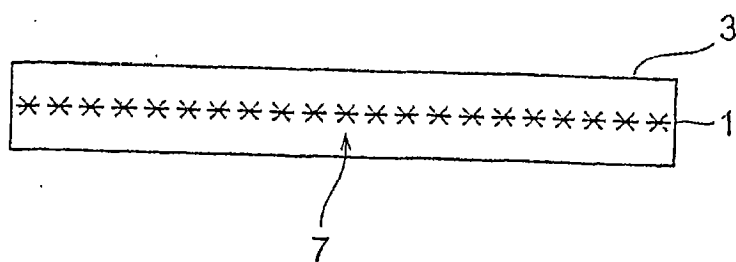


图 6

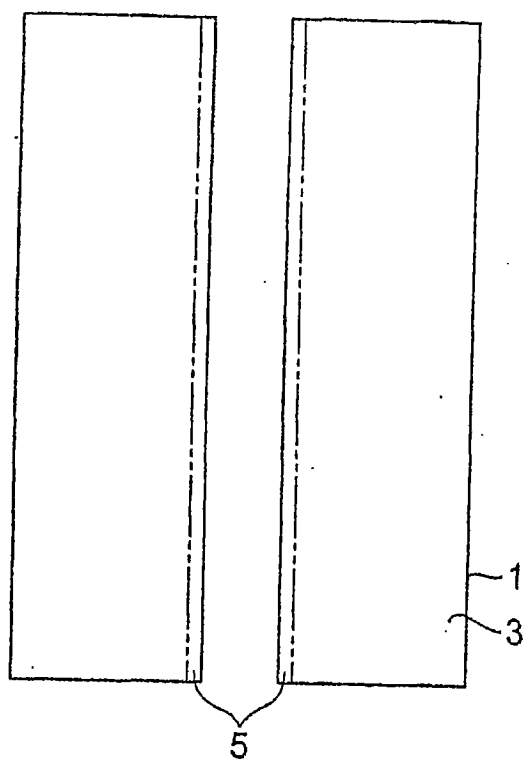


图 7

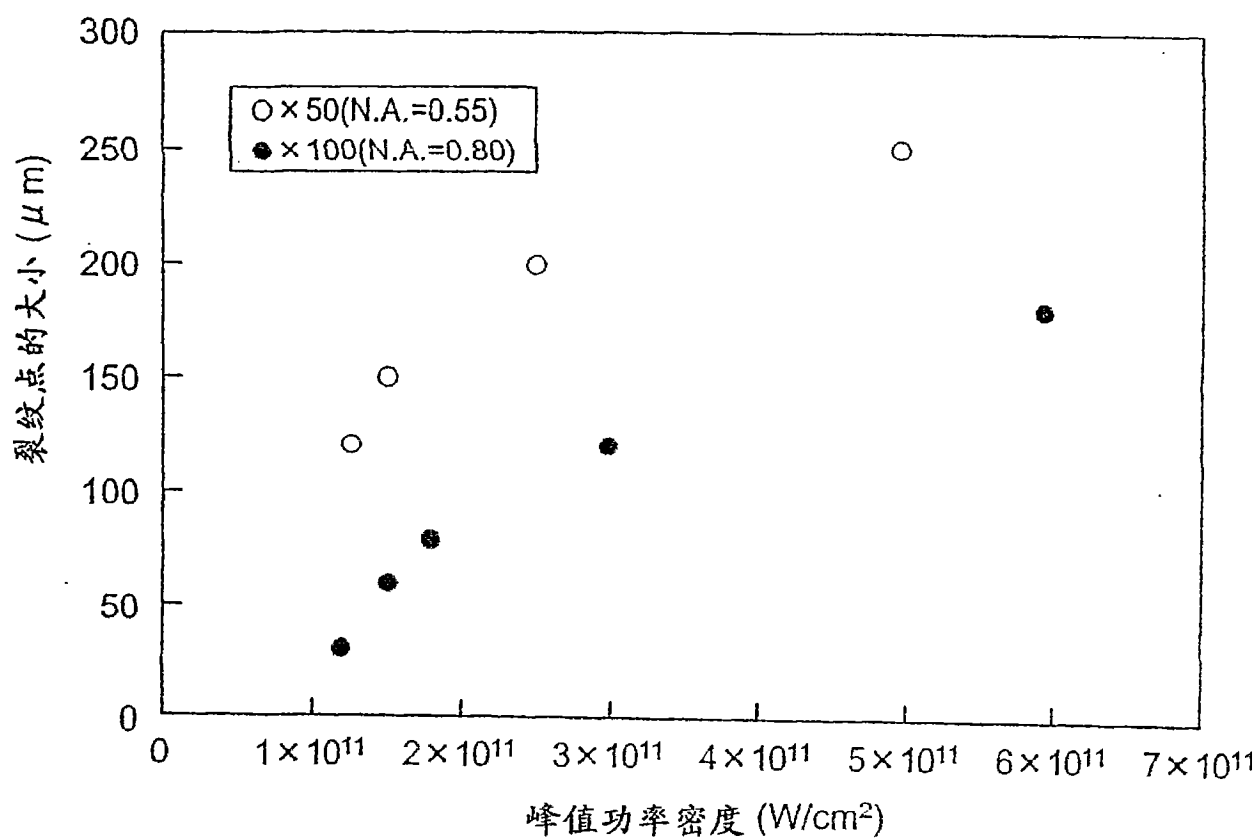




图8

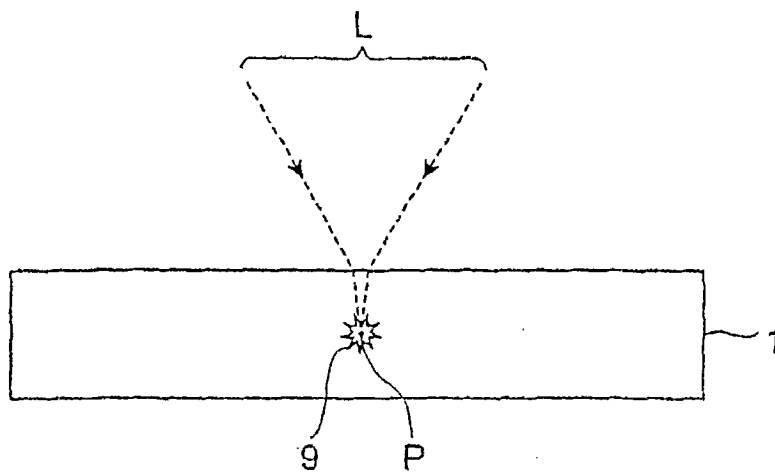


图9

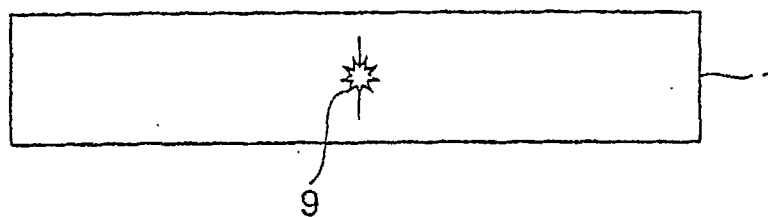


图 10

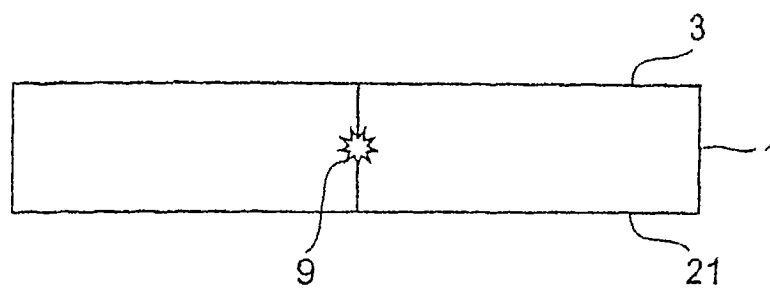


图 11

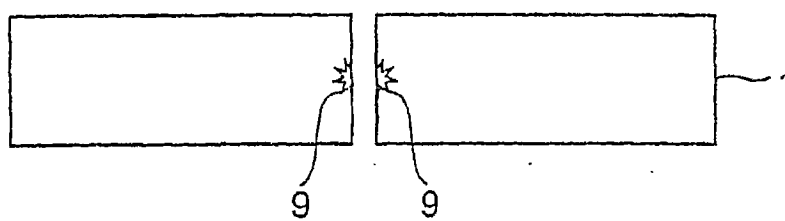


图12

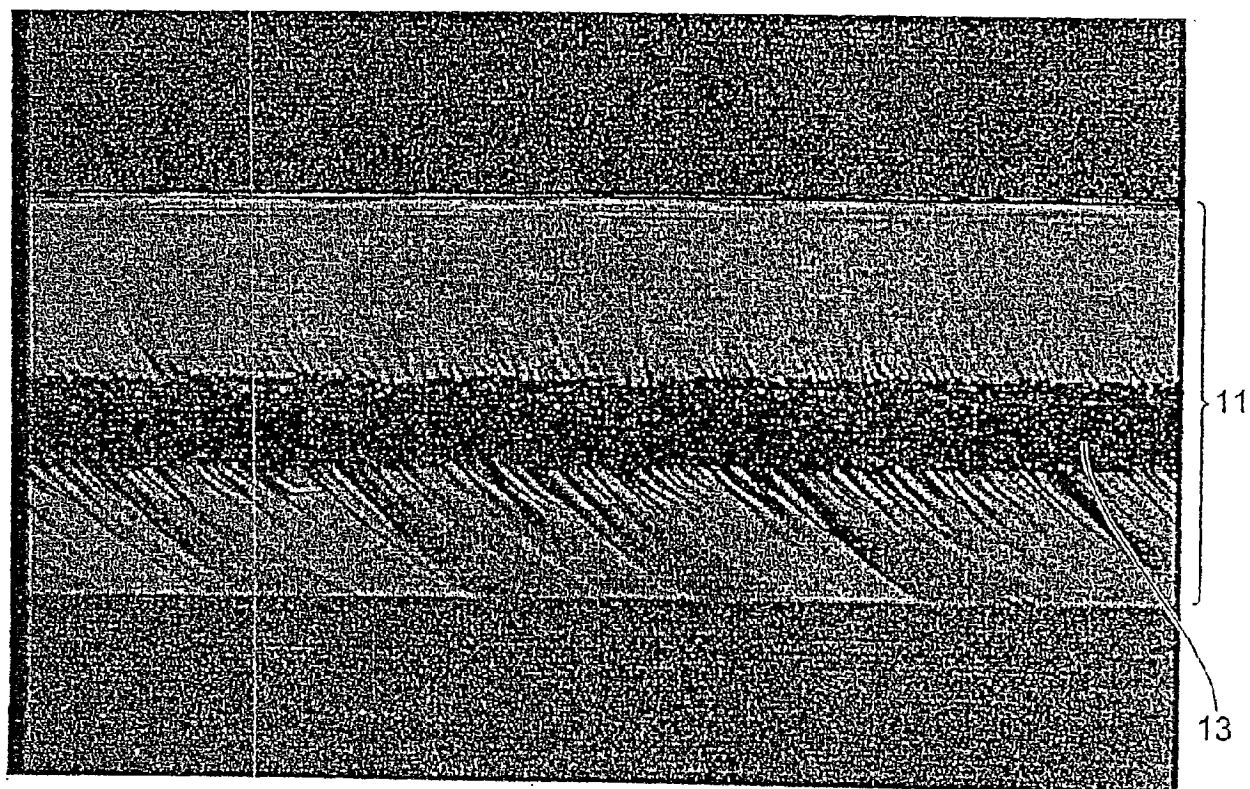


图13

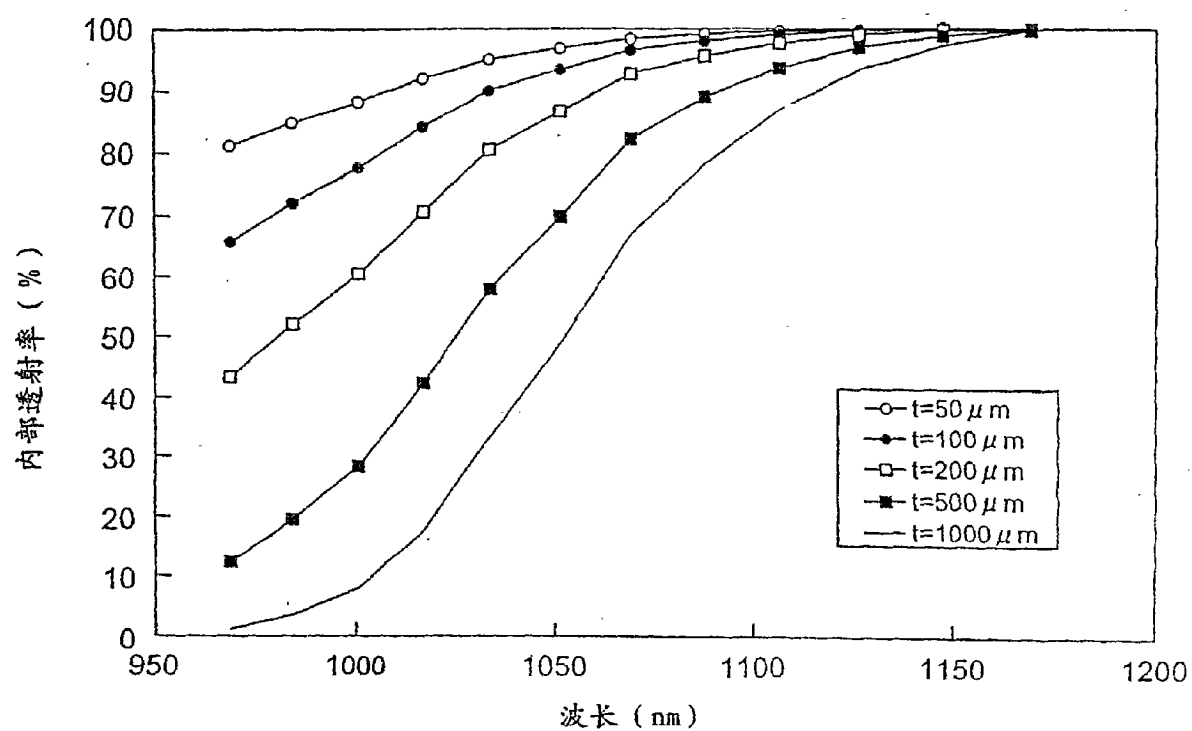


图14

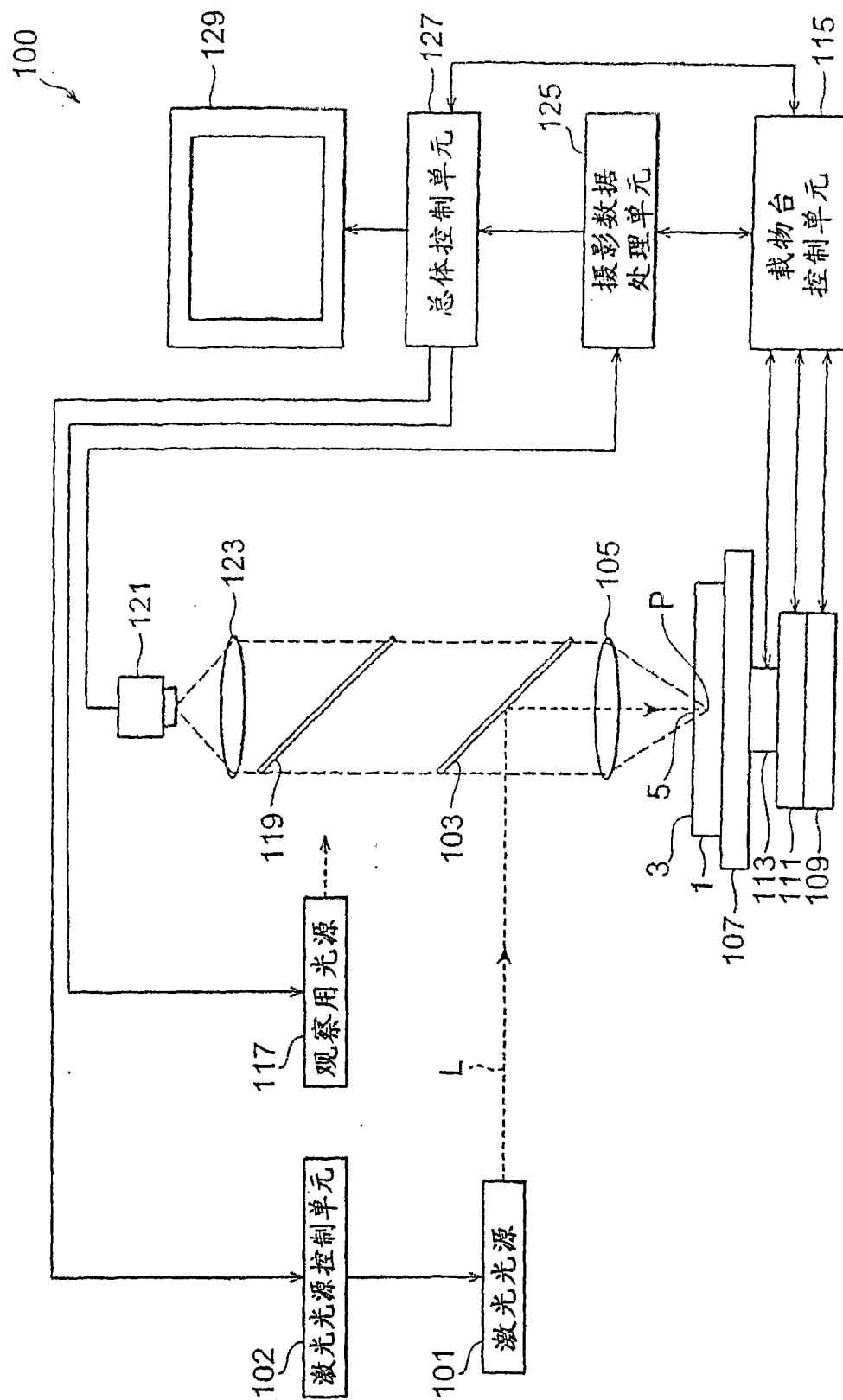


图 15

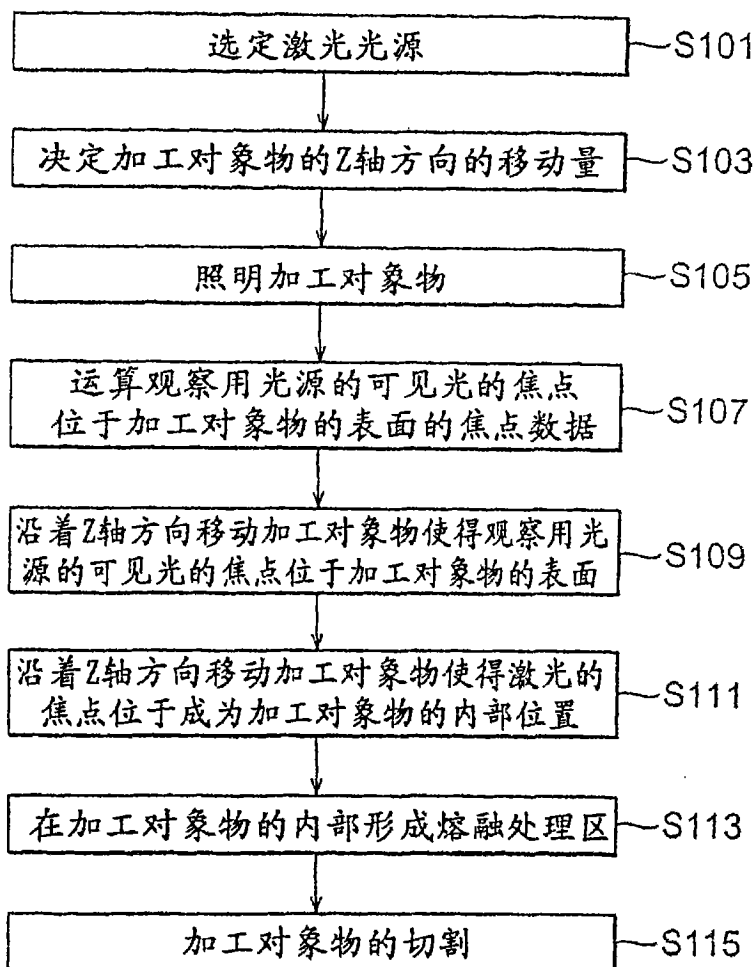


图16

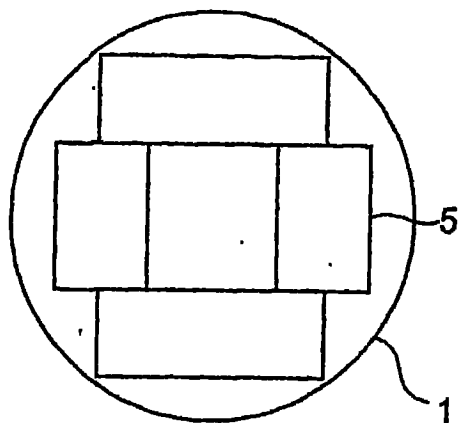


图17

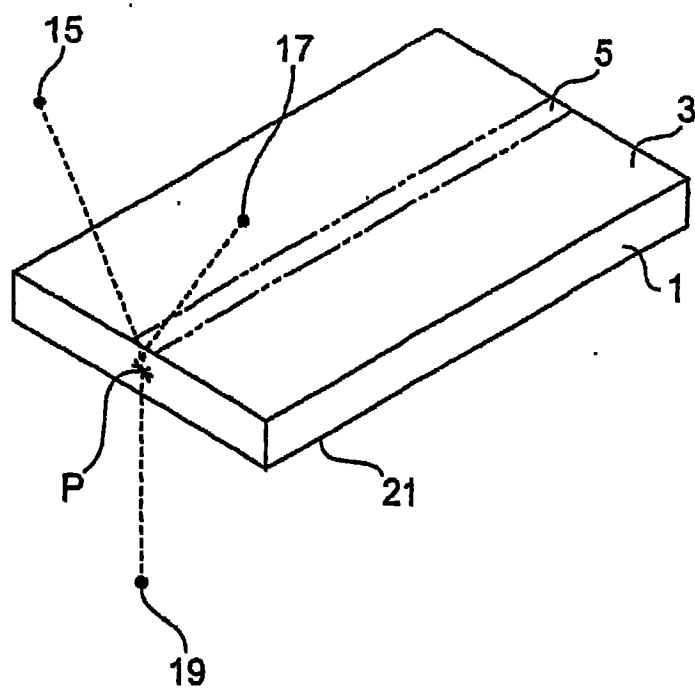


图 18

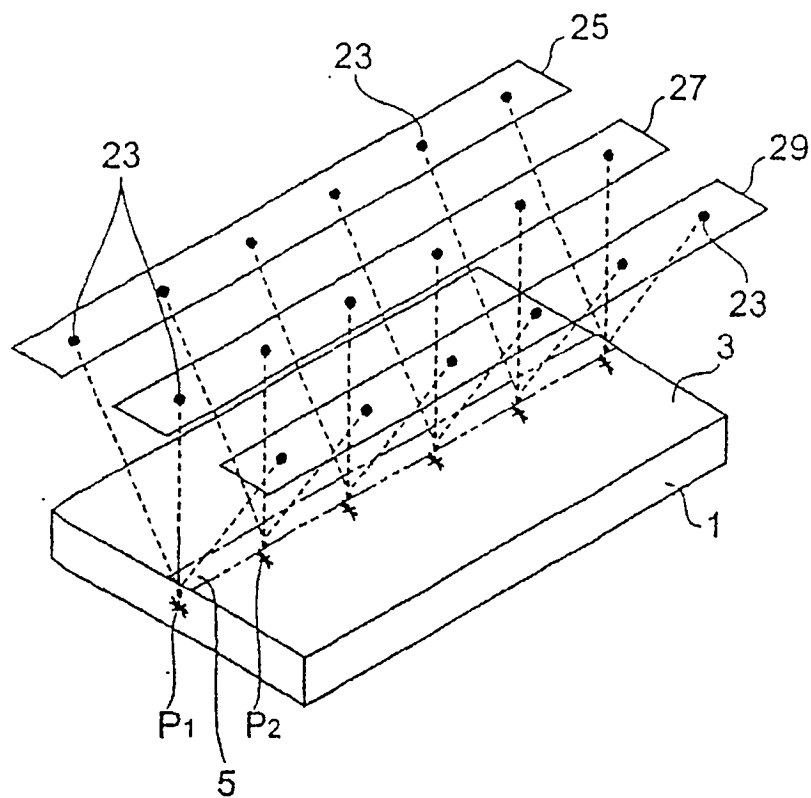




图 19

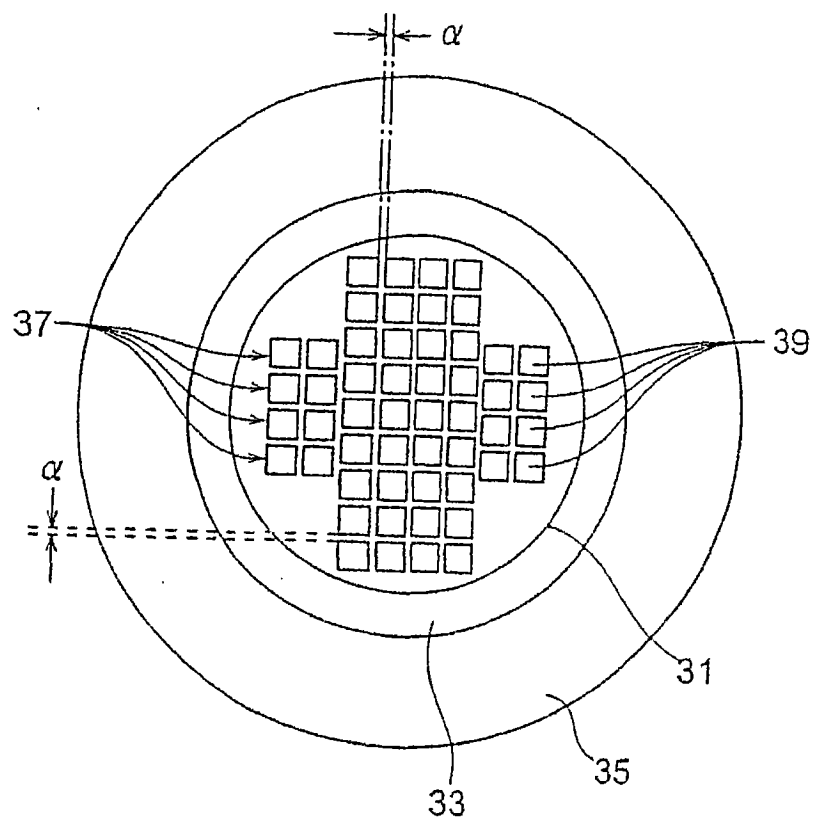


图 20

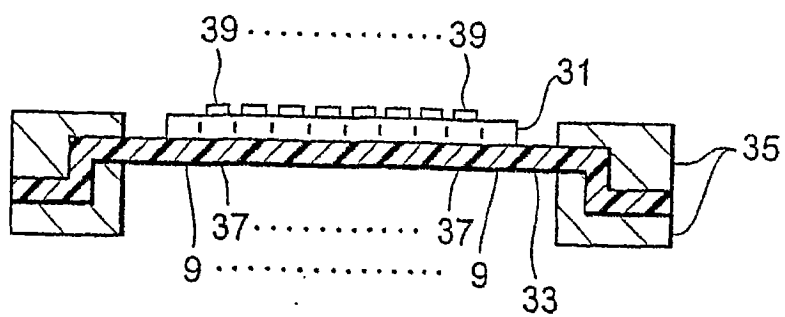


图 21

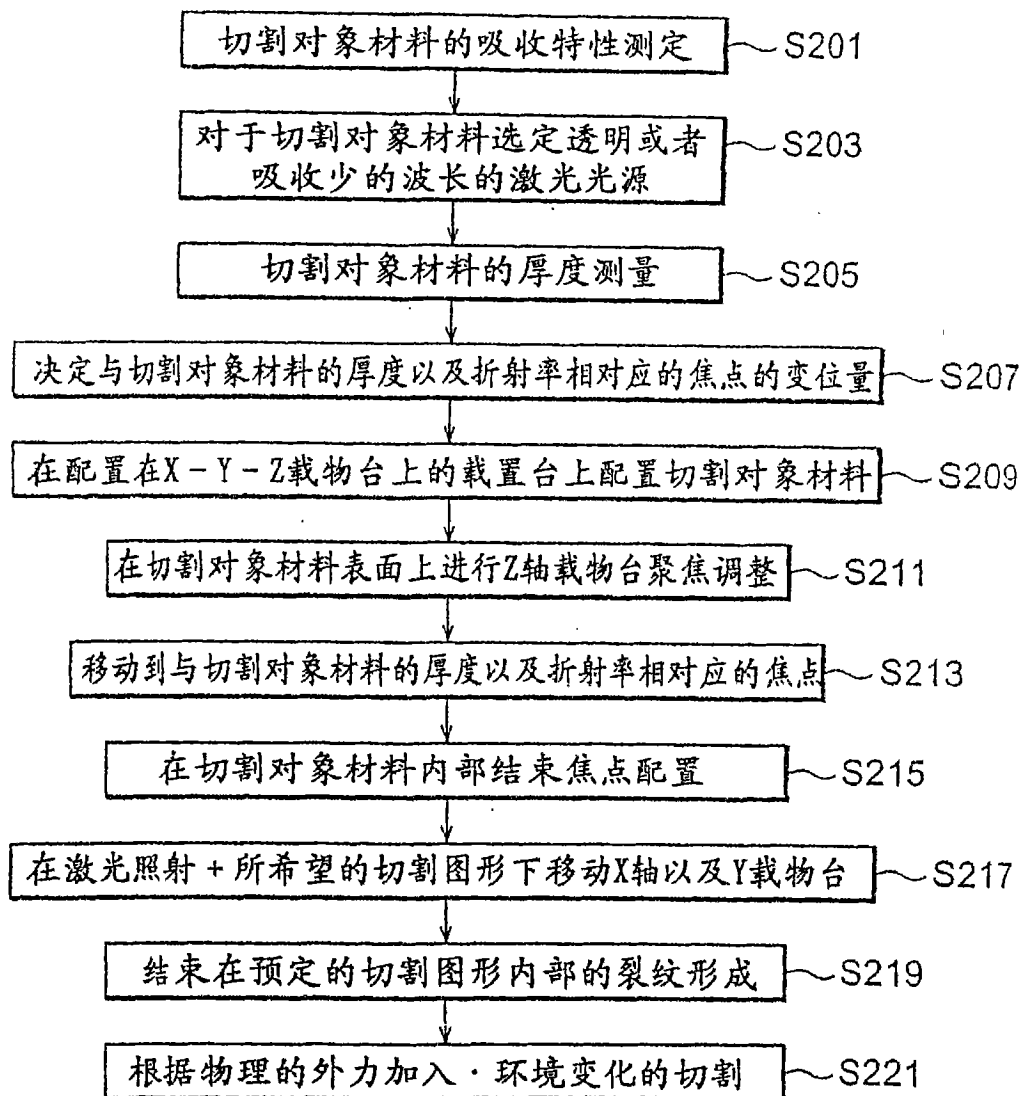


图 22

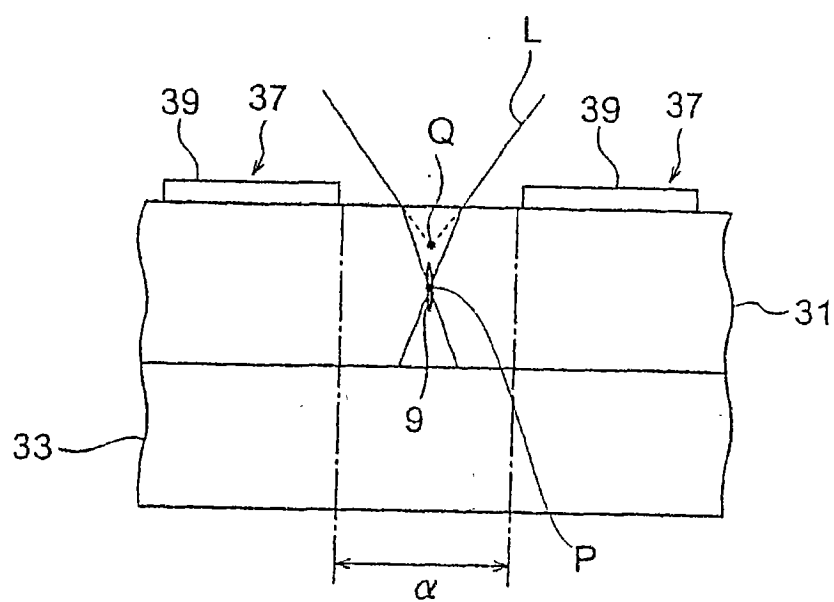


图 23

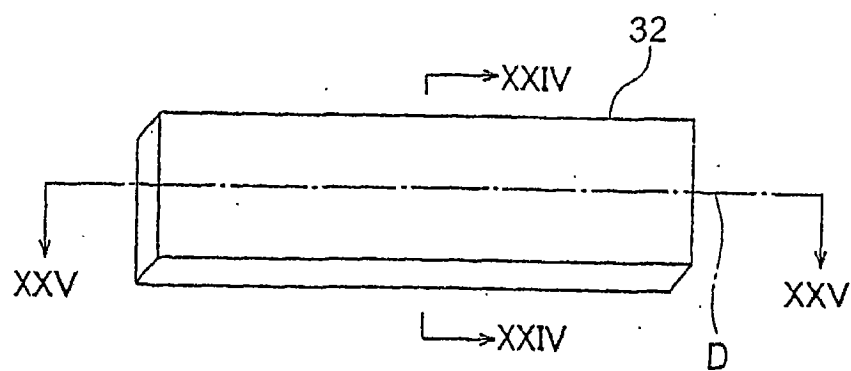


图 24

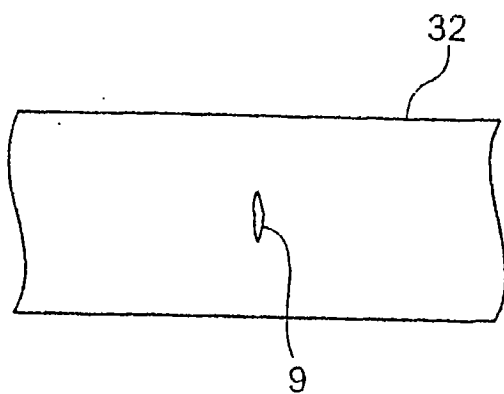


图 26

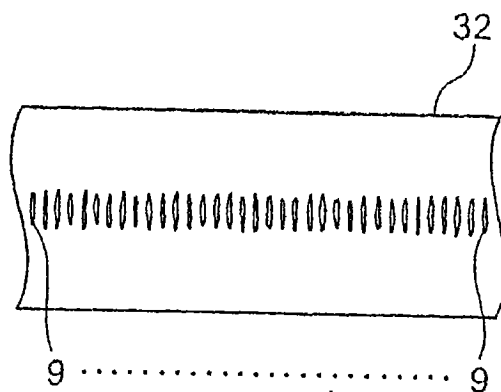


图 25

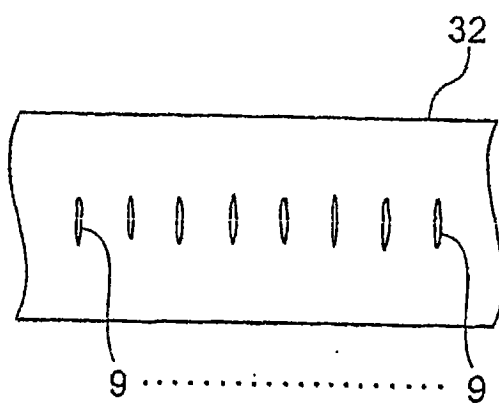


图 27

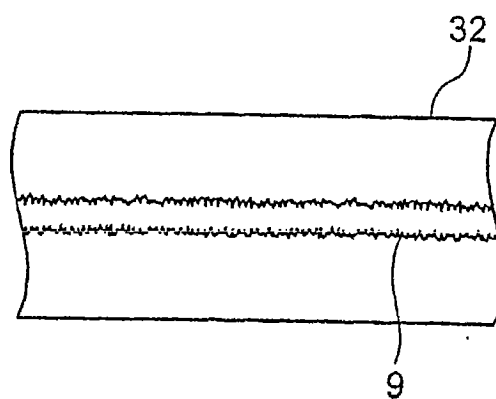


图 28

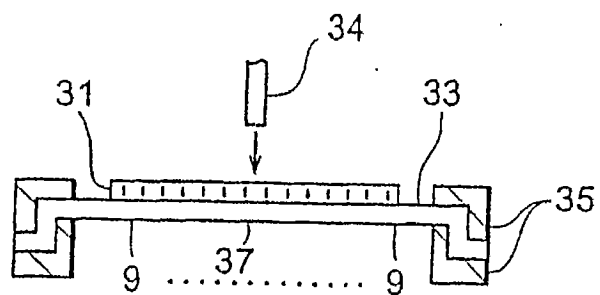


图 29

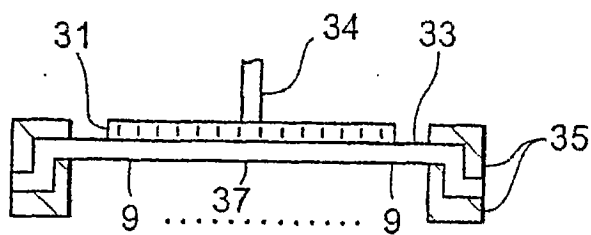


图 30

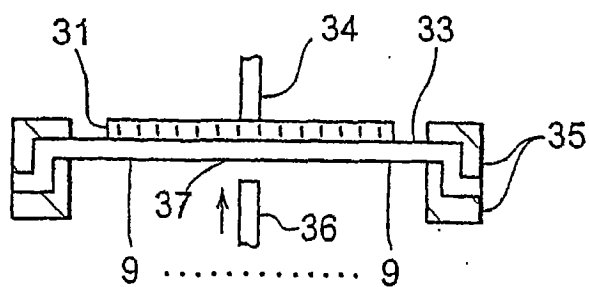


图 31

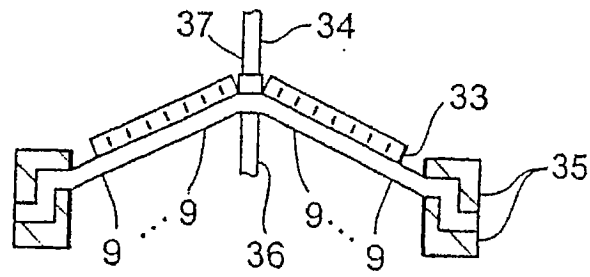


图 32

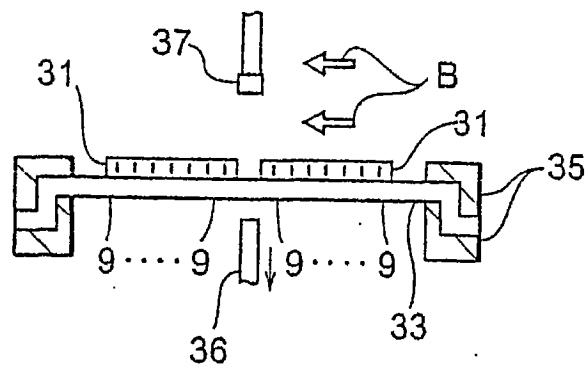


图 33

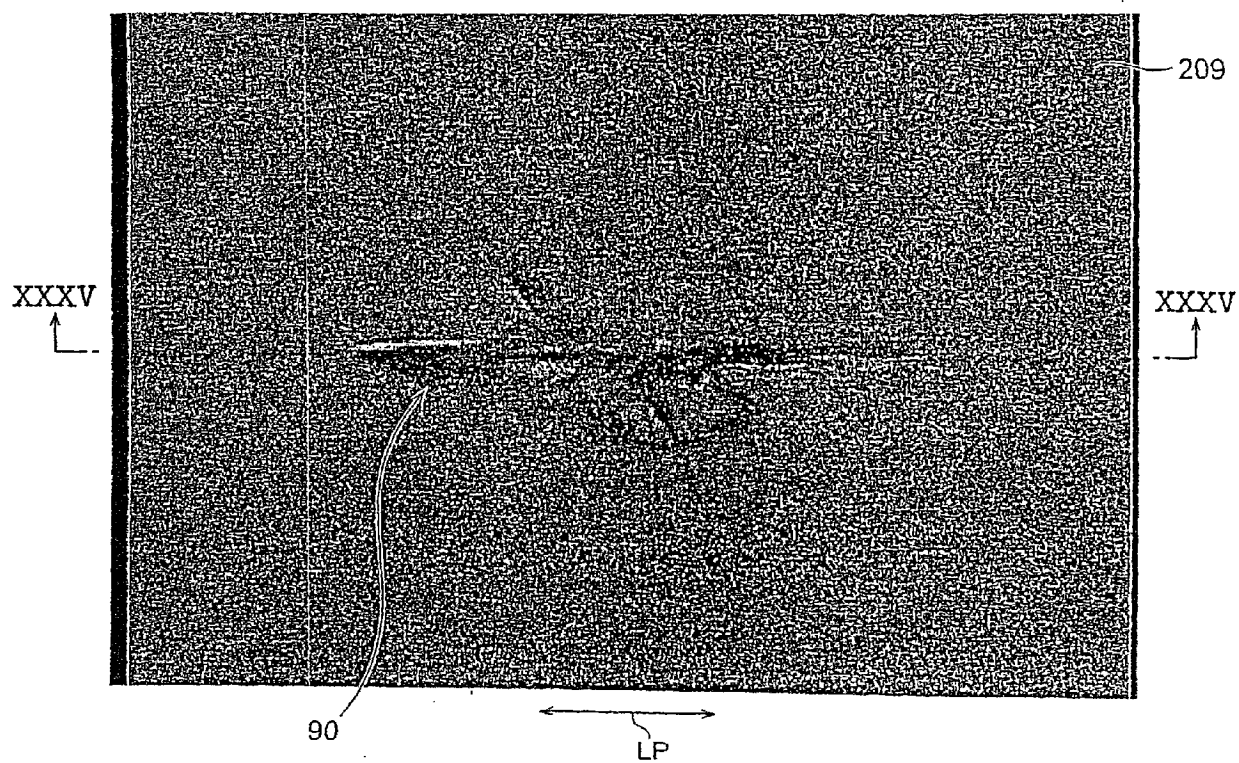


图 34

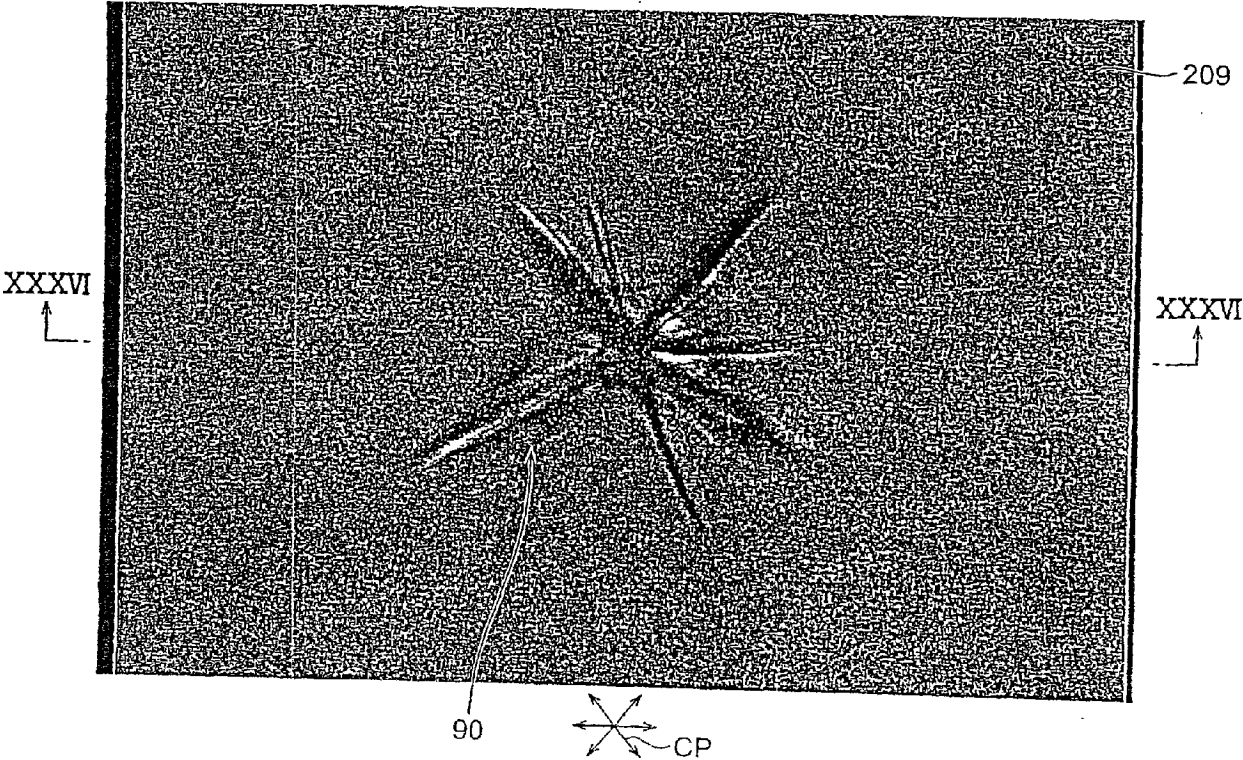




图 35

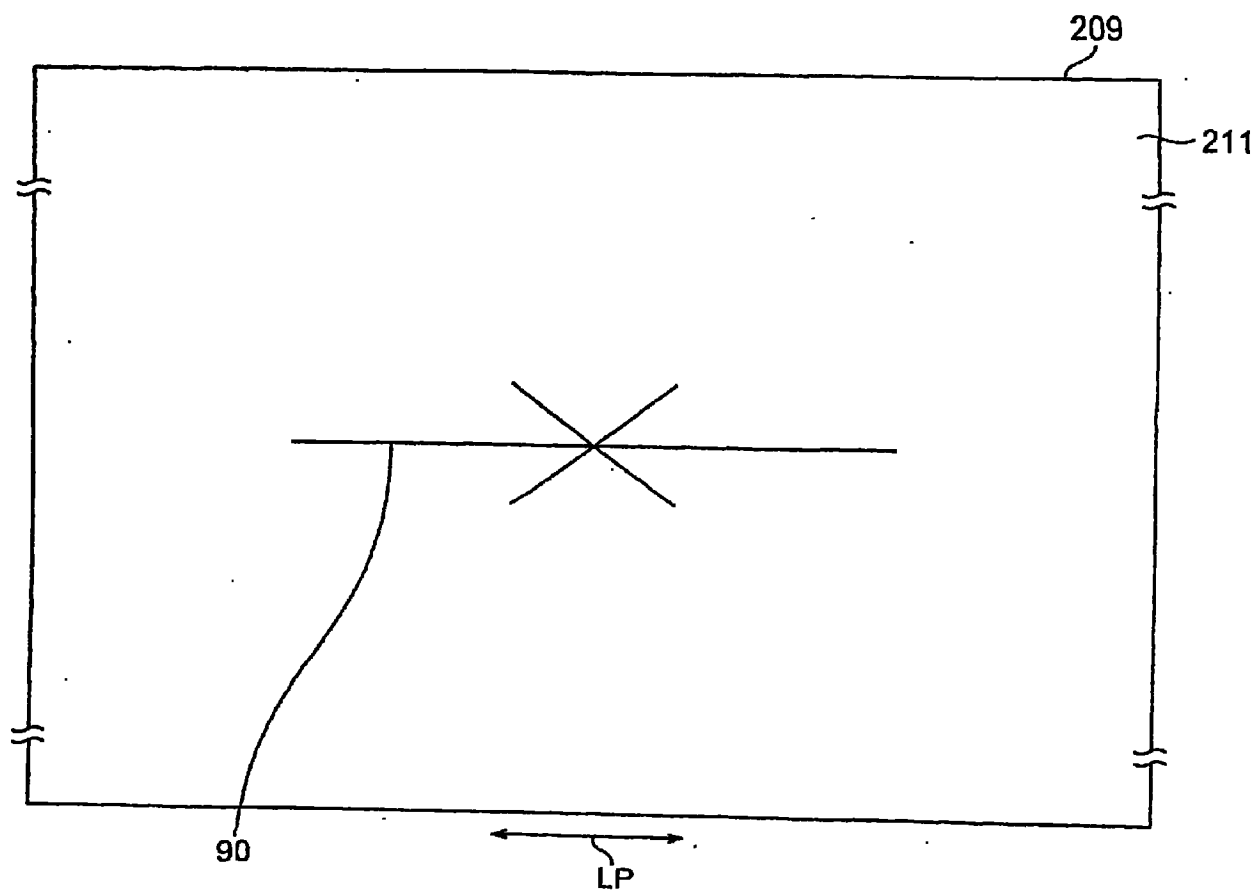


图 36

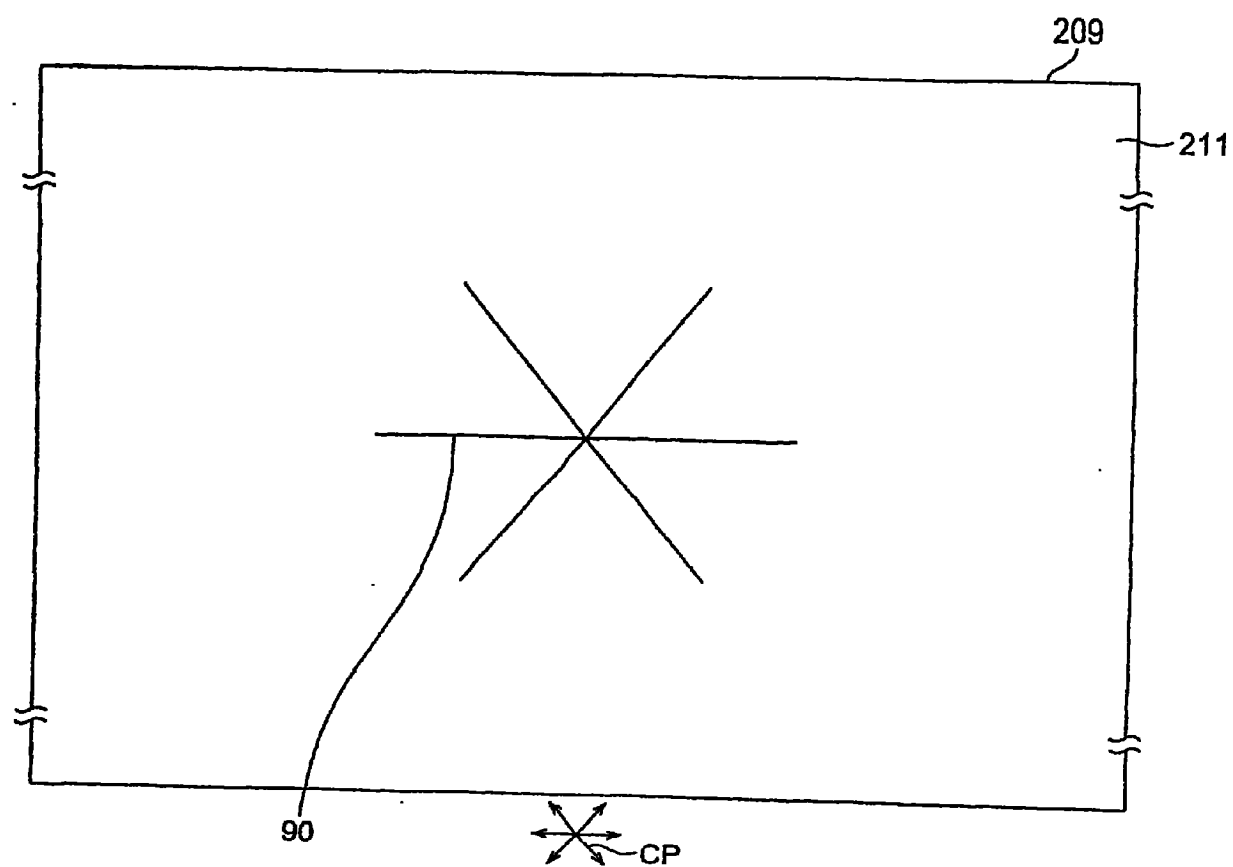


图 37

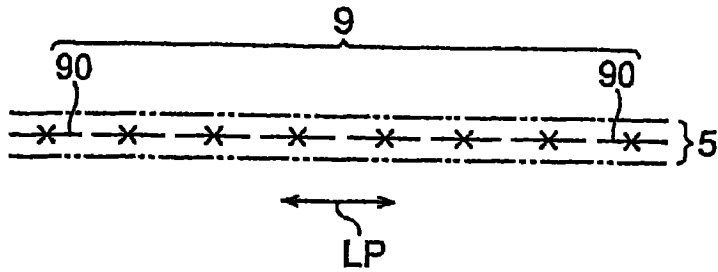


图 39

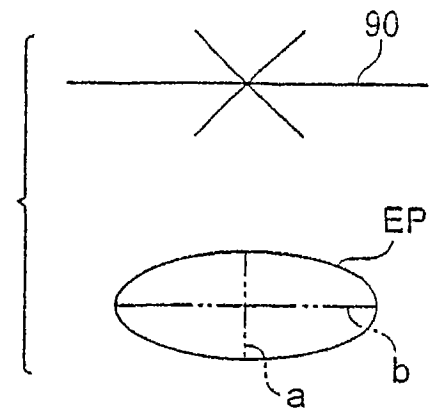


图 38

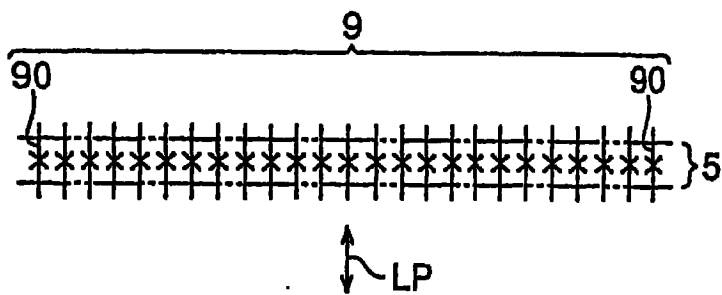


图 40

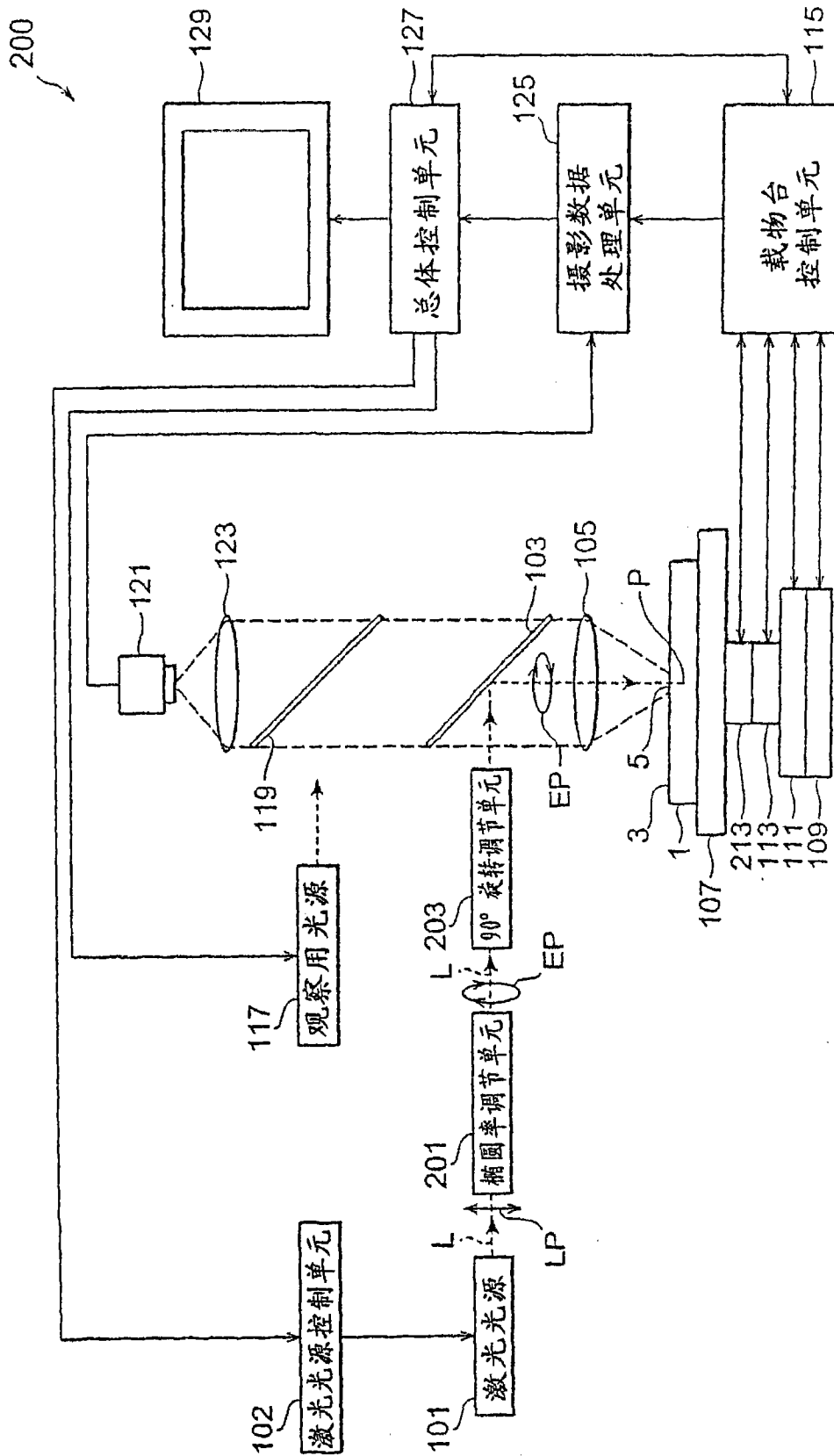


图 41

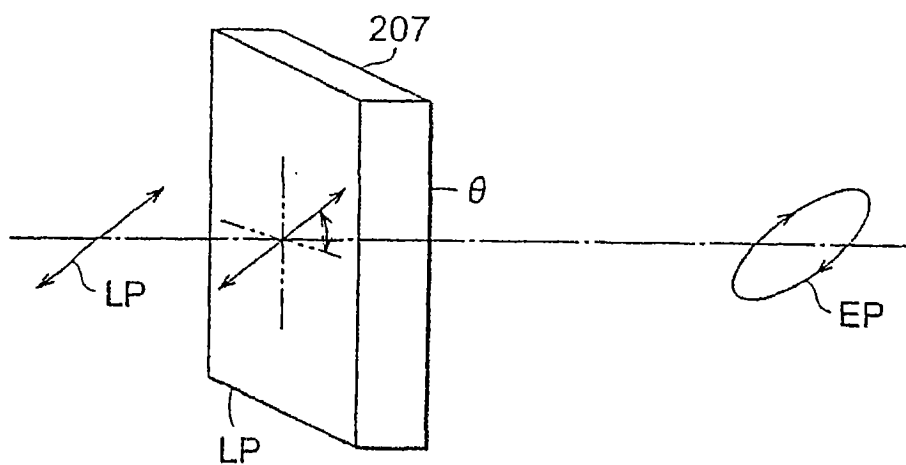


图 42

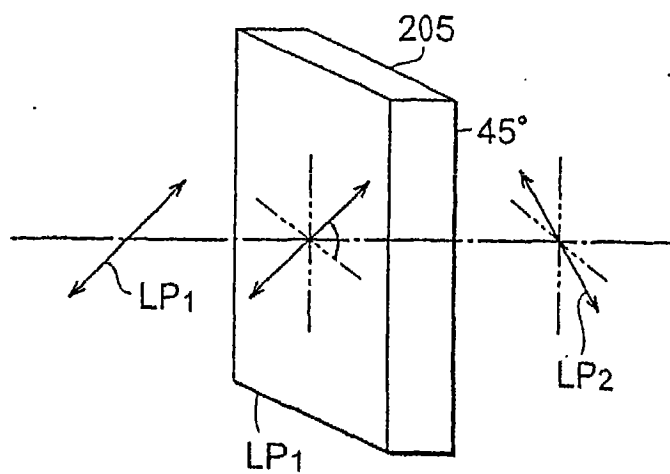


图 43

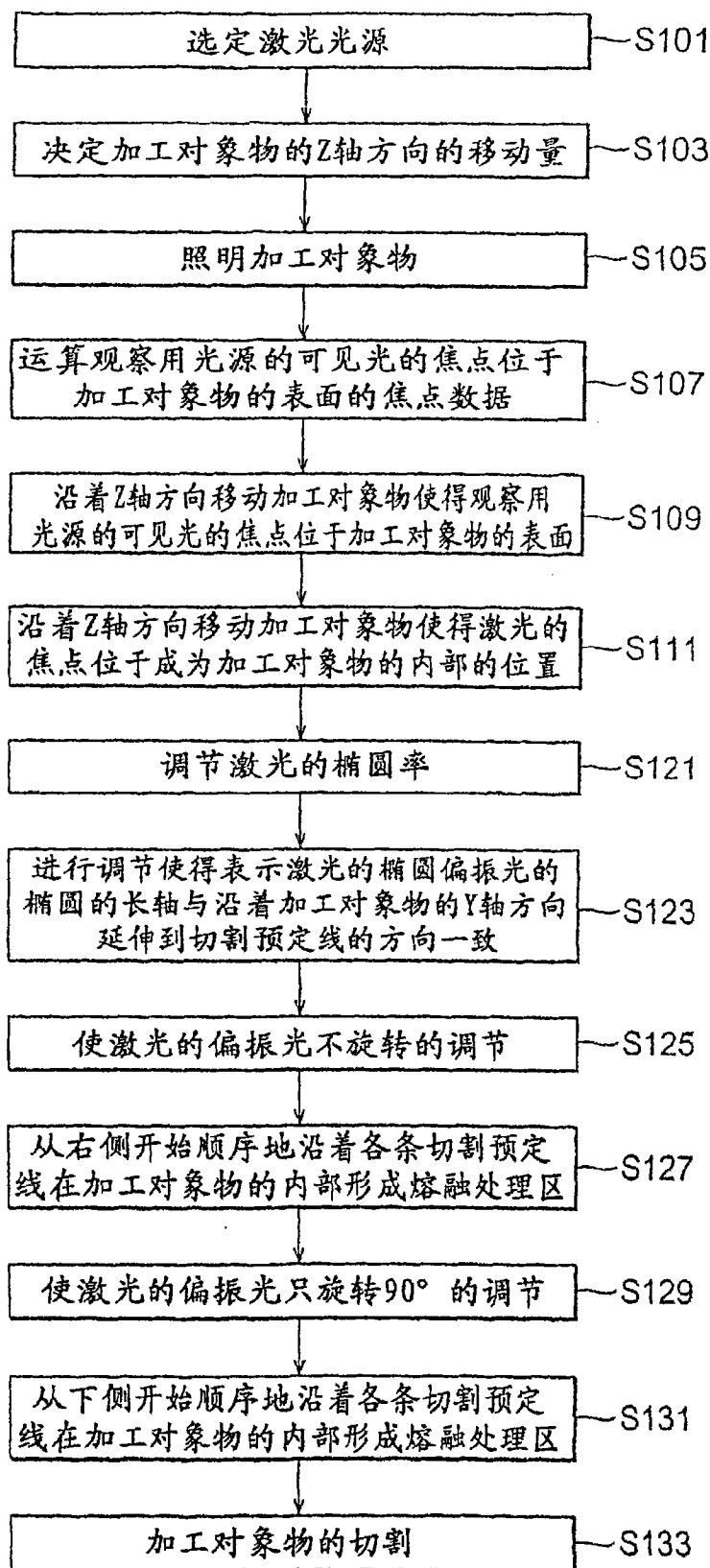


图 44

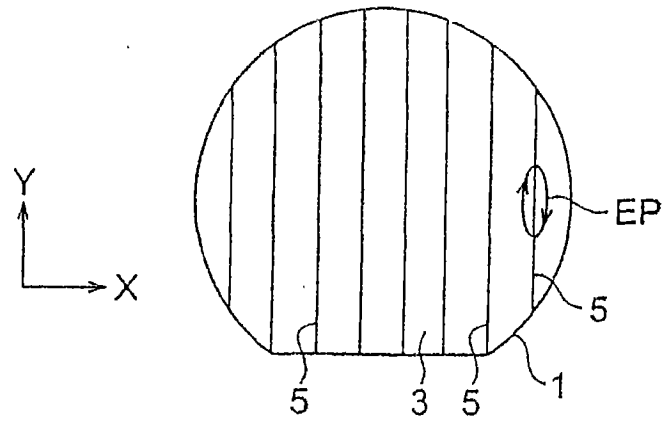


图 45

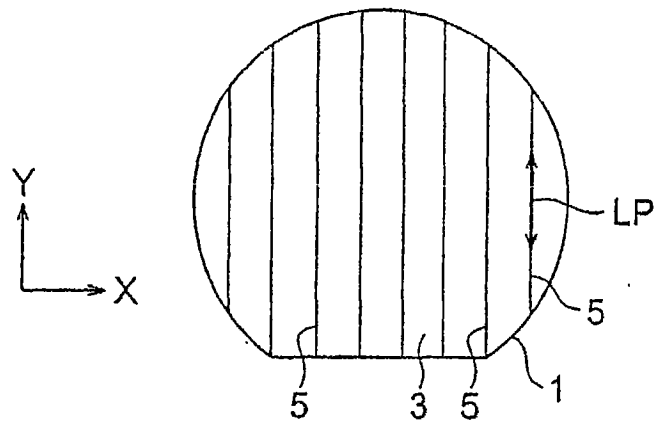


图46

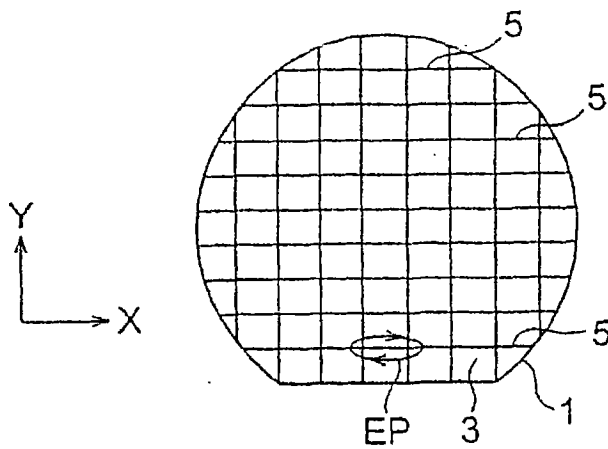


图47

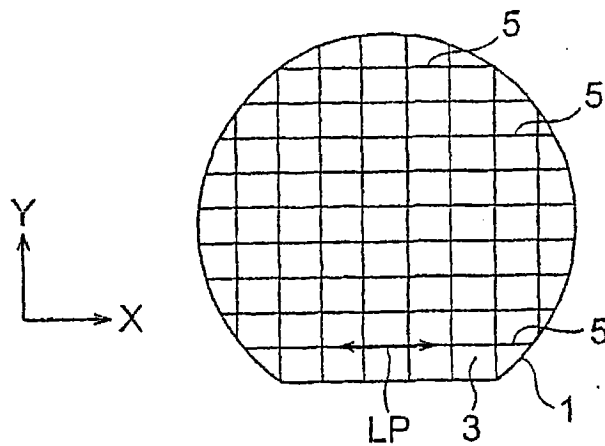




图48

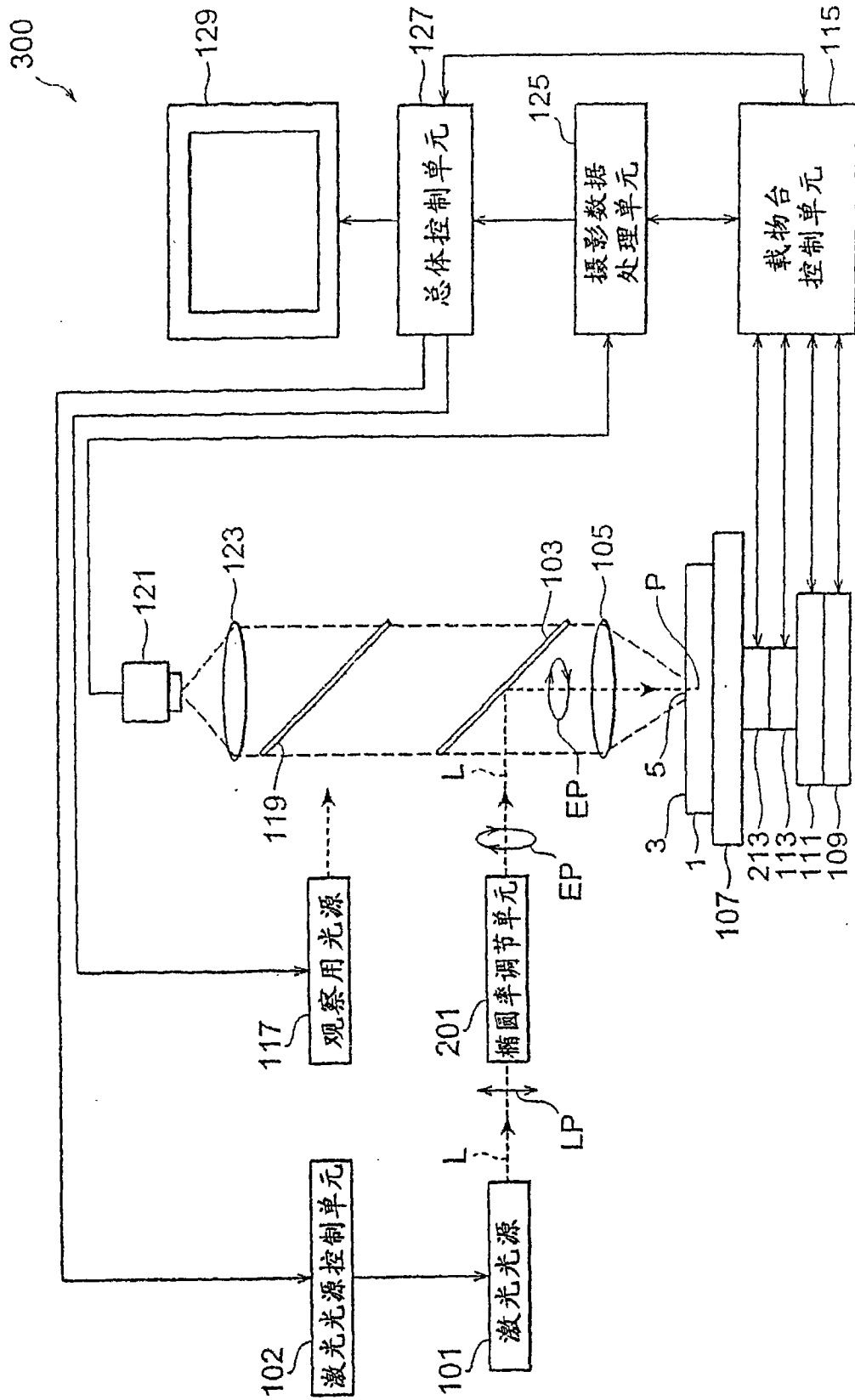


图 49

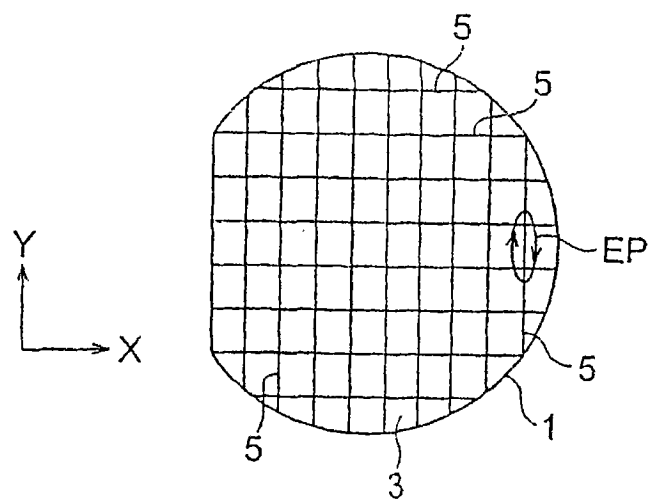


图 50

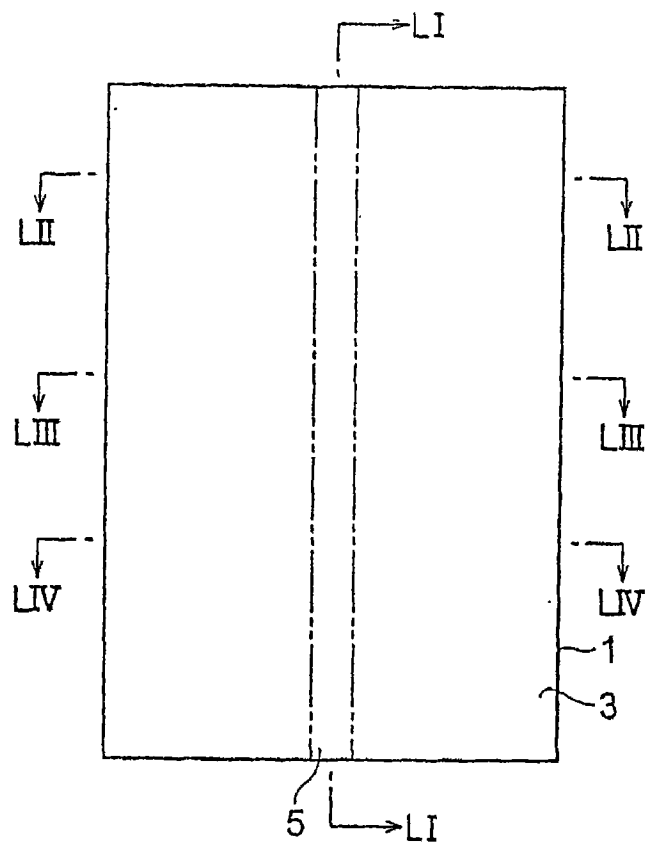


图 51

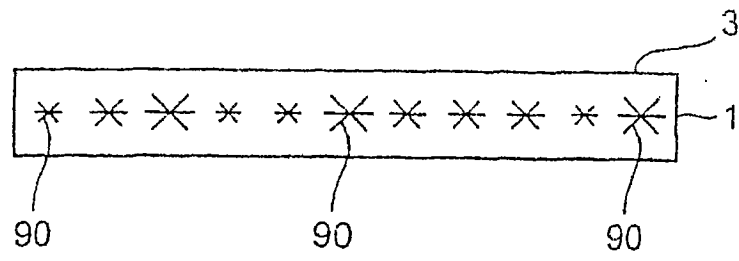


图 52

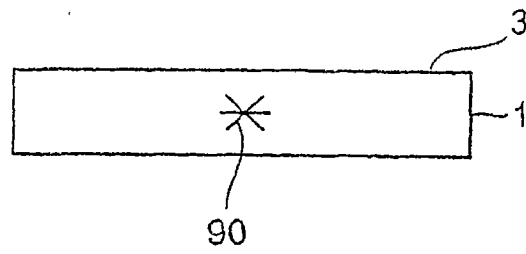


图 53

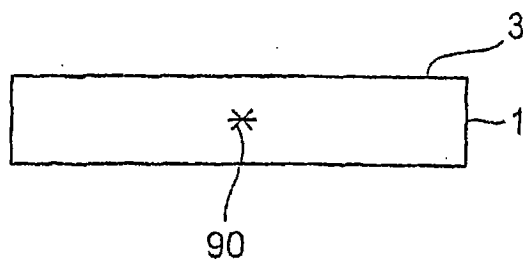


图 54

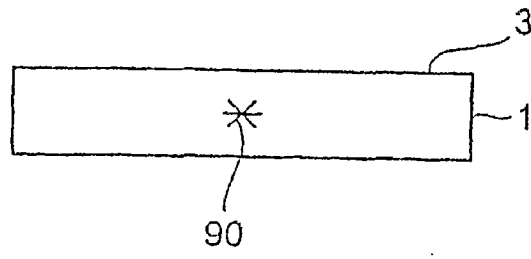


图 55

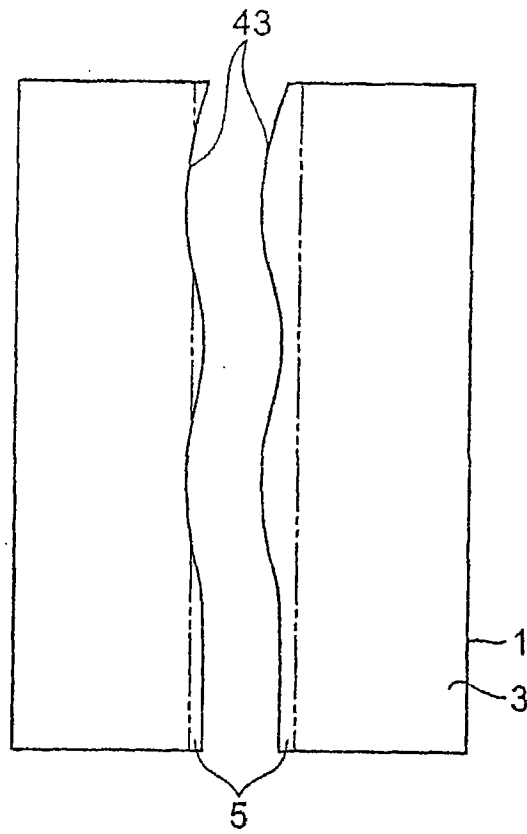


图 56

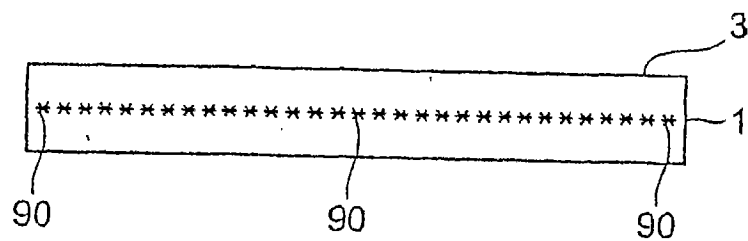


图 57

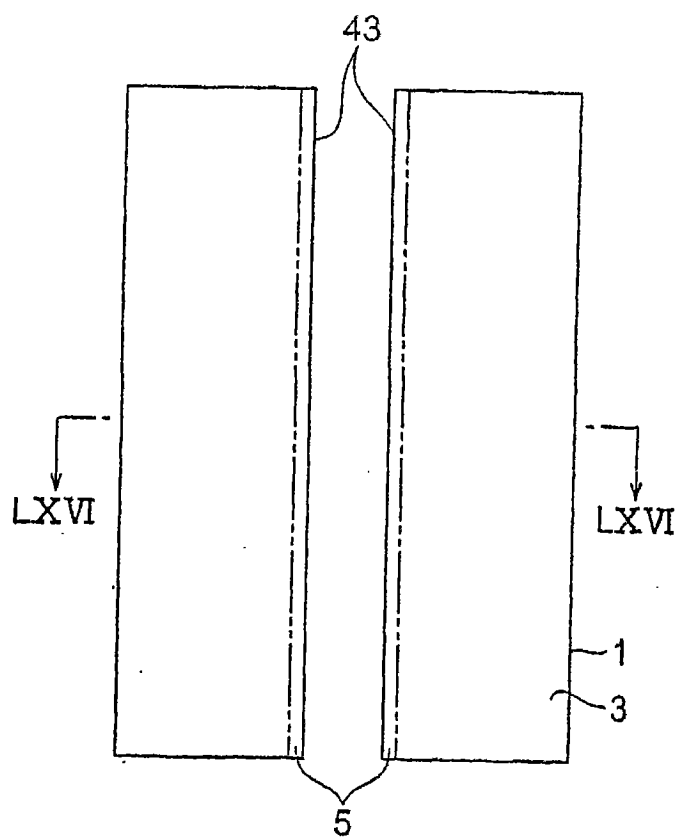


图 58

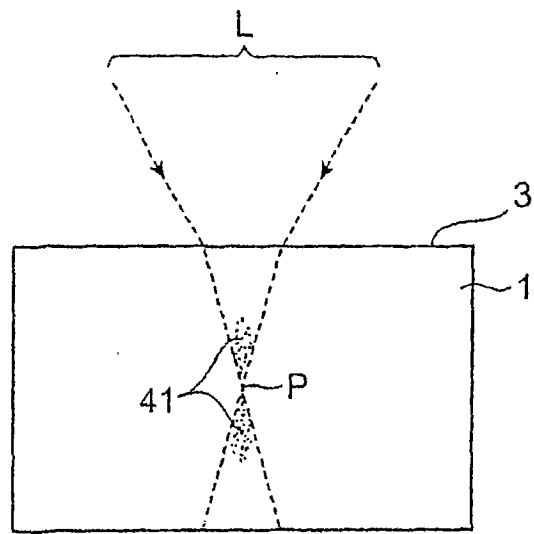


图 59

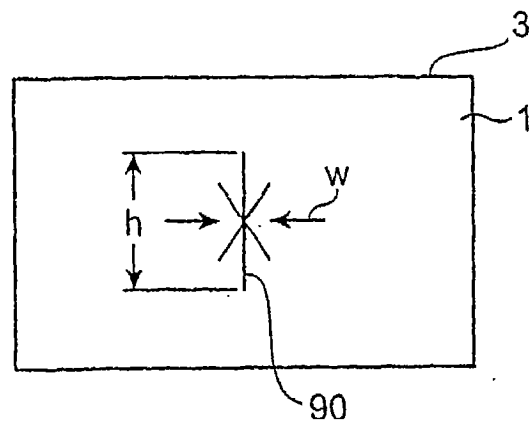


图 60

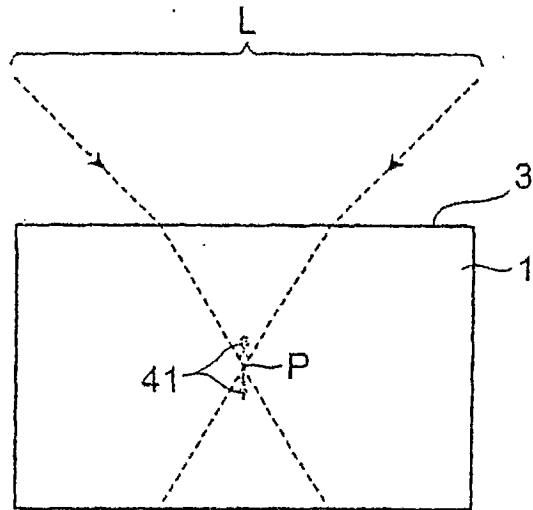


图 61

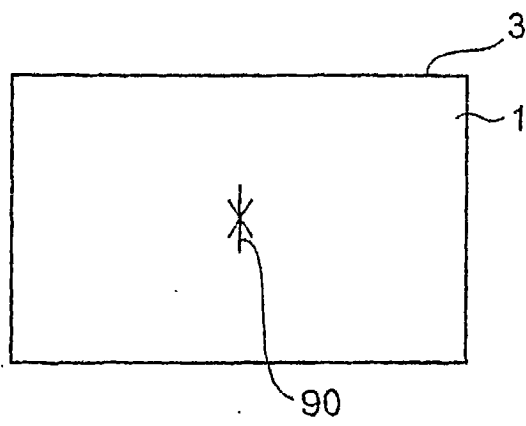


图 62

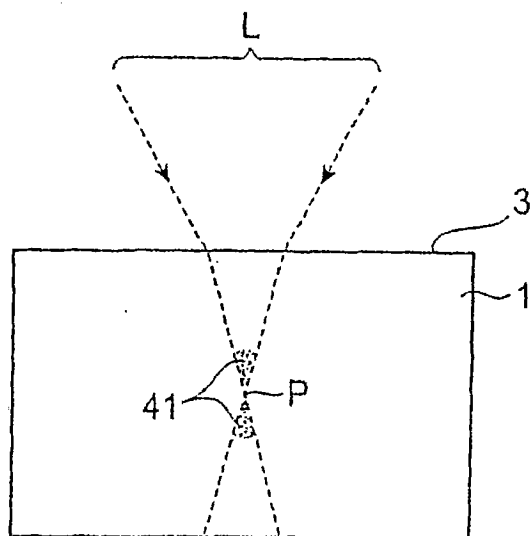


图 63

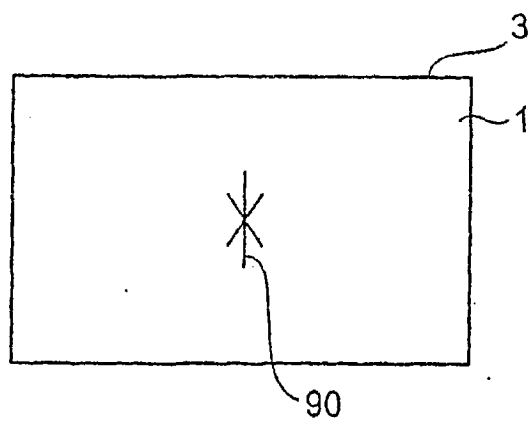




图 64

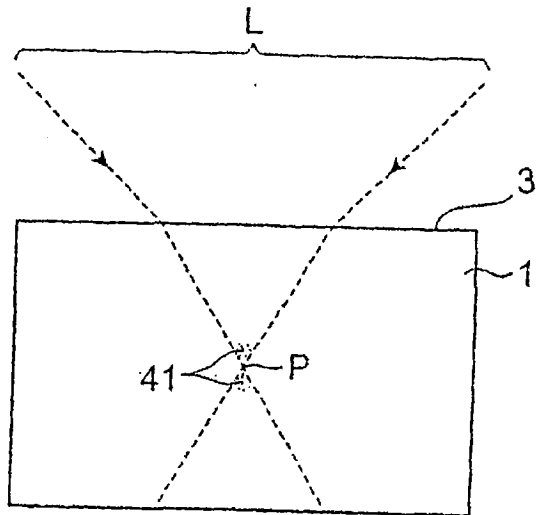


图 66

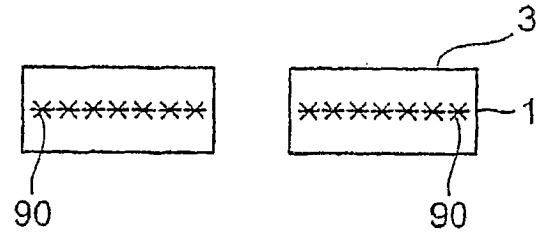


图 65

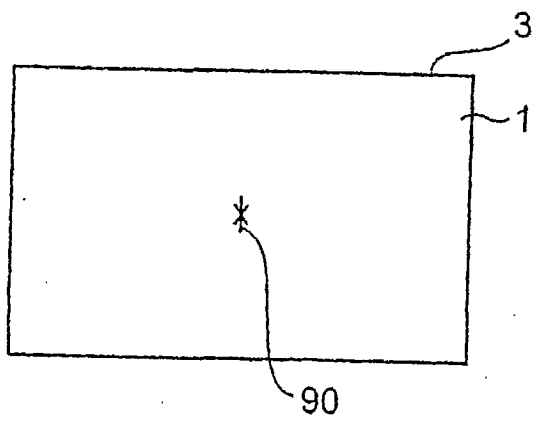




图 68

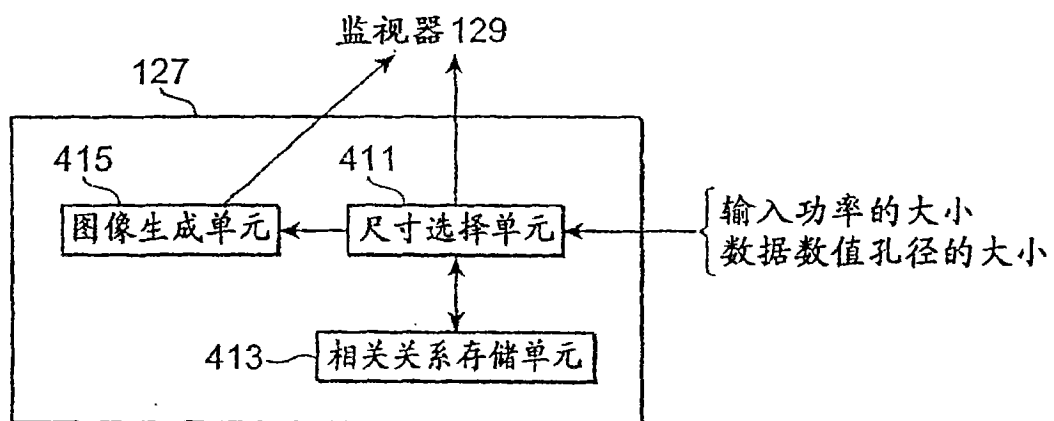


图 69

| 组                              |      | 尺寸( $\mu\text{m}$ ) |
|--------------------------------|------|---------------------|
| 功率密度( $\text{W}/\text{cm}^2$ ) | 数值孔径 |                     |
| $1.24 \times 10^{11}$          | 0.55 | 120                 |
| $1.49 \times 10^{11}$          | 0.55 | 150                 |
| $1.19 \times 10^{11}$          | 0.8  | 30                  |
| $1.49 \times 10^{11}$          | 0.8  | 60                  |

图 70

| 数值孔径 | 尺寸( $\mu\text{m}$ ) |
|------|---------------------|
| 0.55 | 150                 |
| 0.8  | 60                  |

图 71

| 功率密度( $\text{W}/\text{cm}^2$ ) | 尺寸( $\mu\text{m}$ ) |
|--------------------------------|---------------------|
| $1.19 \times 10^{11}$          | 30                  |
| $1.49 \times 10^{11}$          | 60                  |
| $1.79 \times 10^{11}$          | 80                  |
| $2.98 \times 10^{11}$          | 120                 |
| $5.96 \times 10^{11}$          | 180                 |

图72

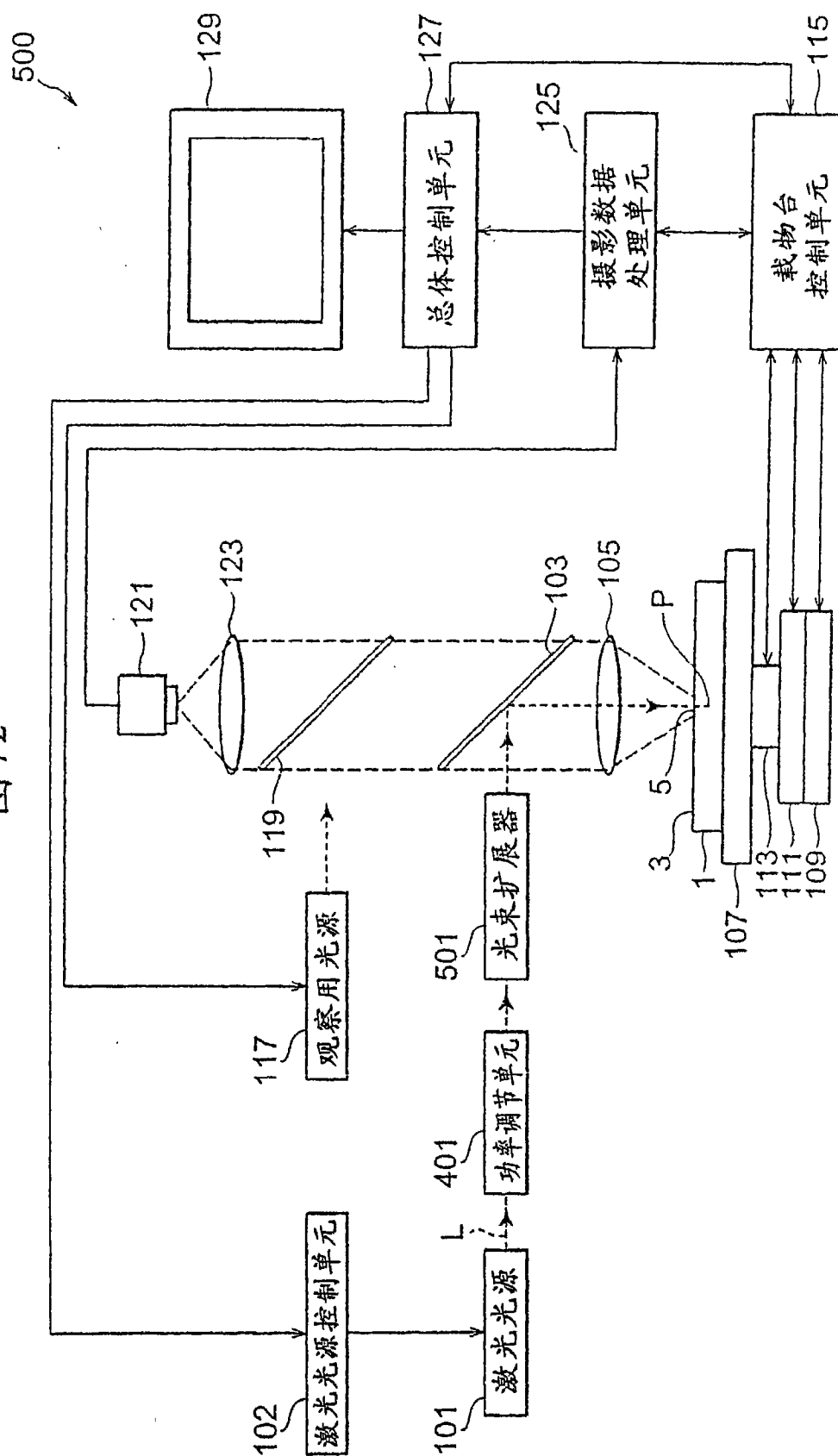


图 73

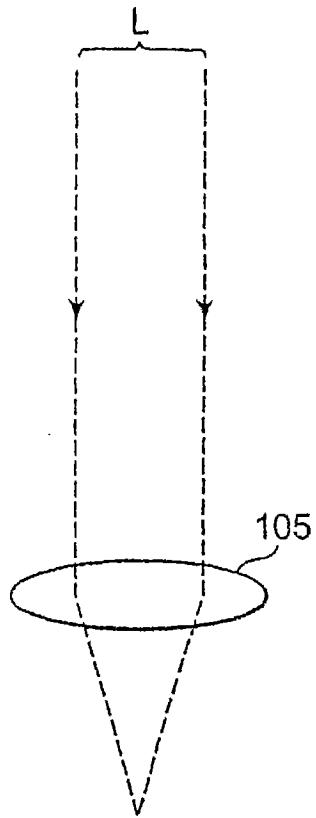


图 74

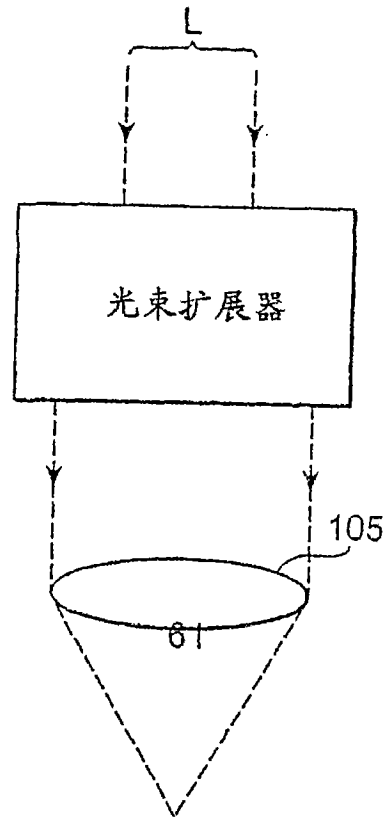


图75

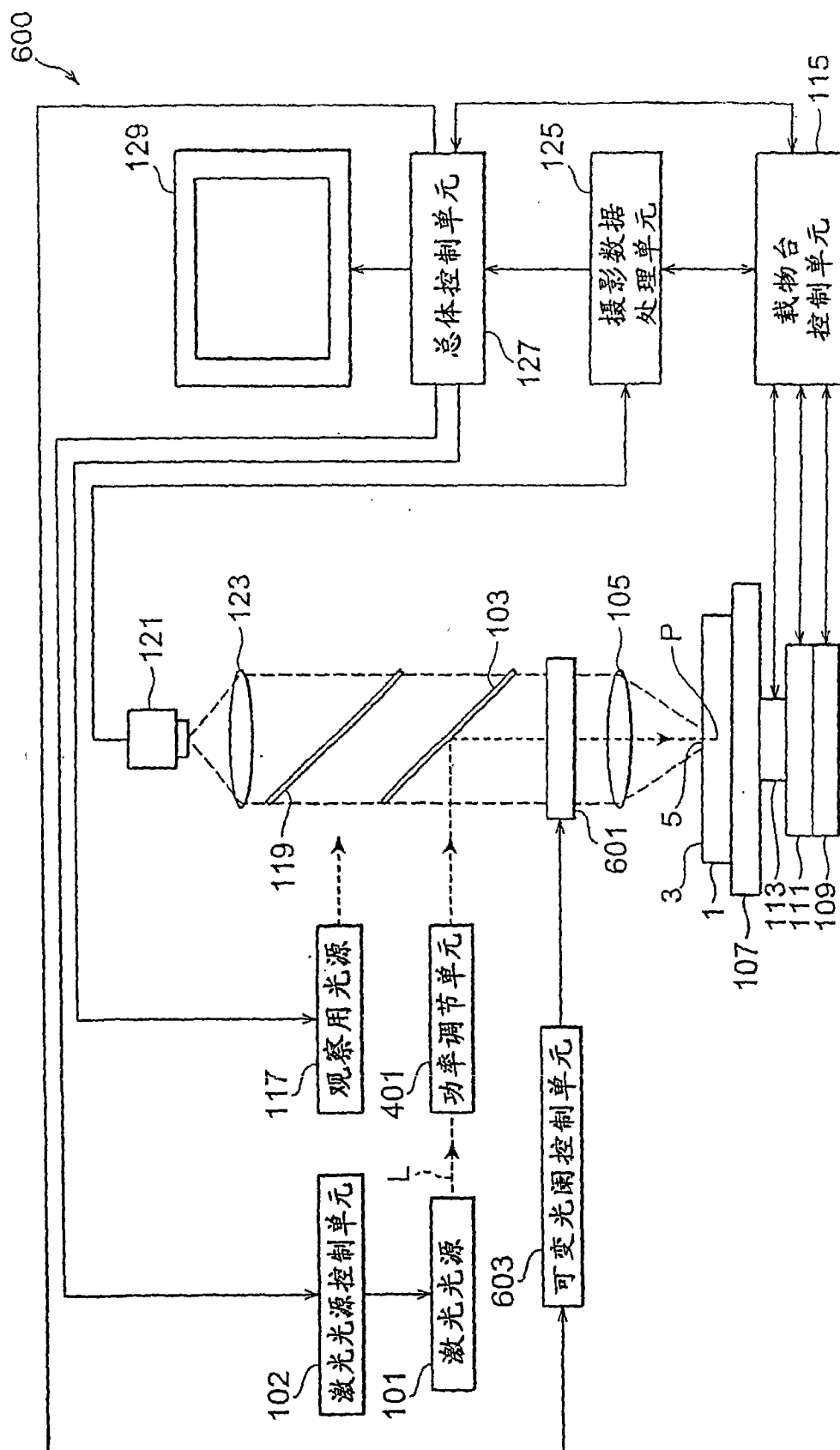


图 76

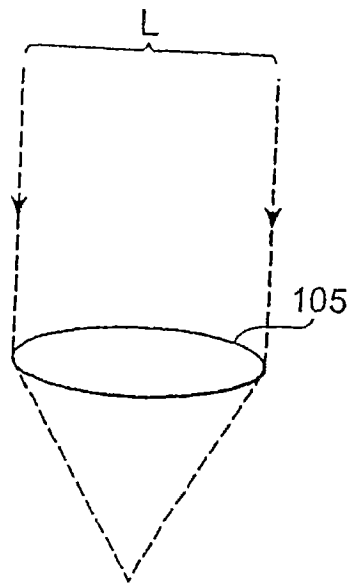


图 77

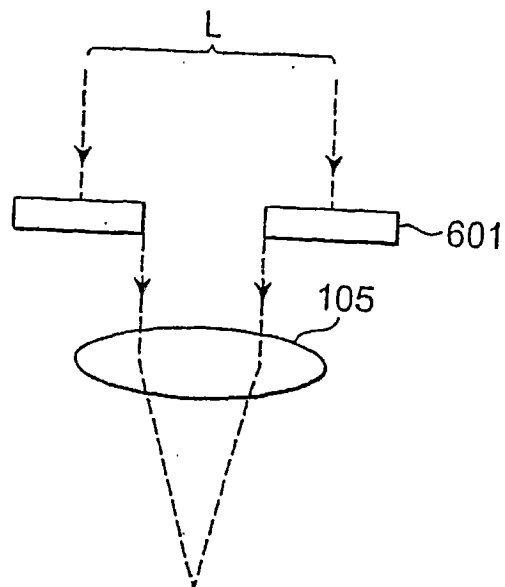




图 78

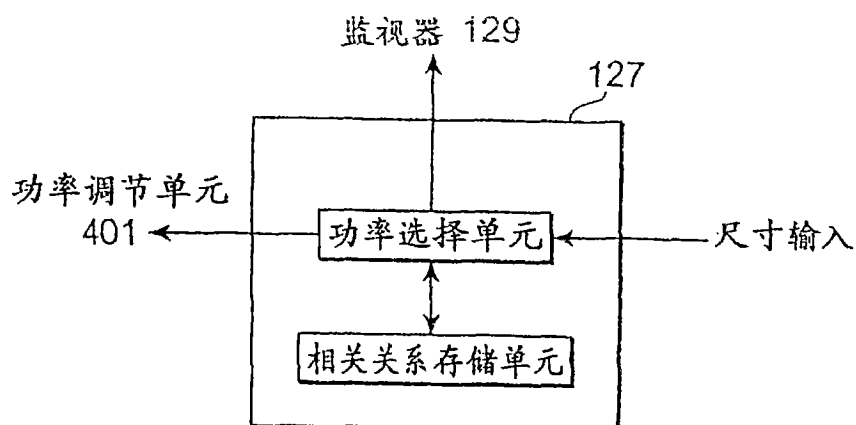


图 79

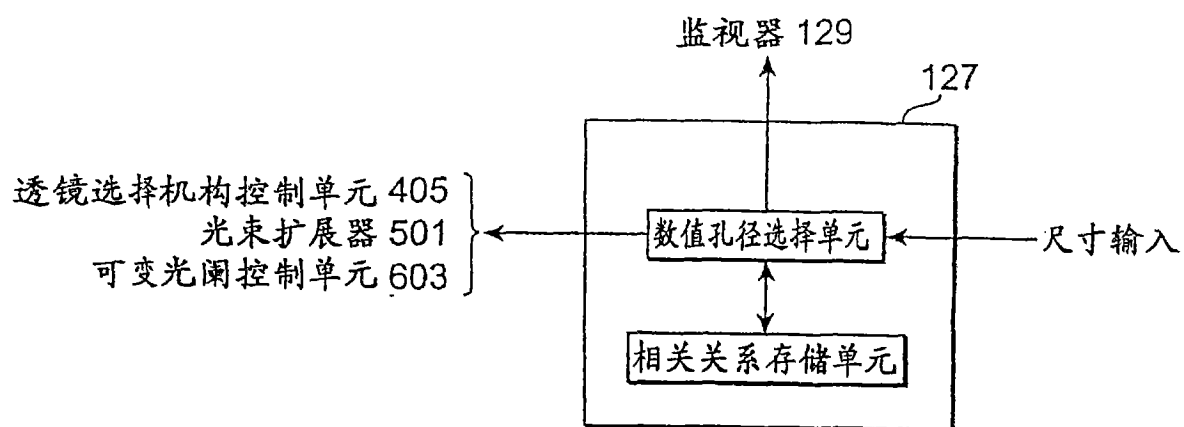


图 80

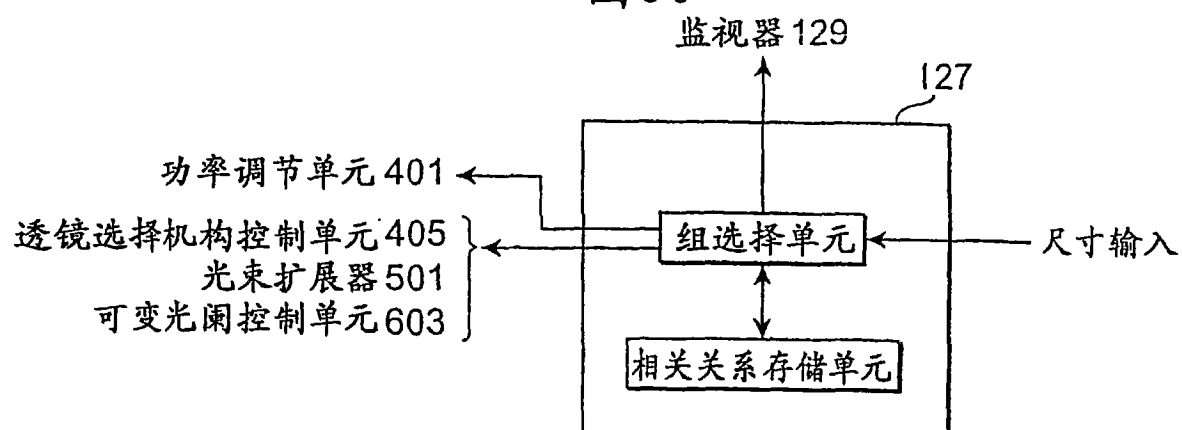


图 81

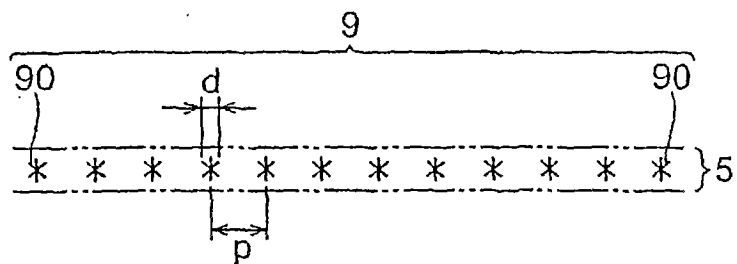


图 82

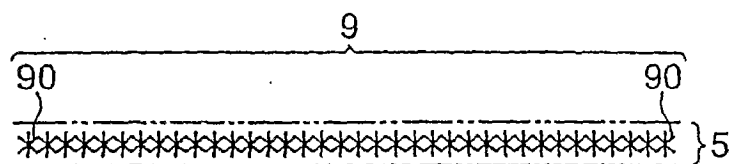


图 83

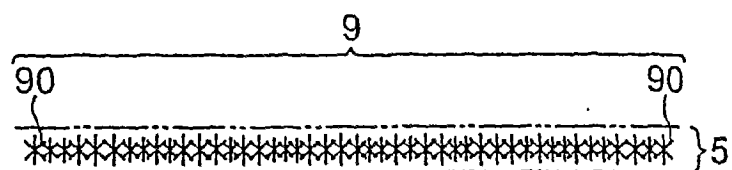


图 84

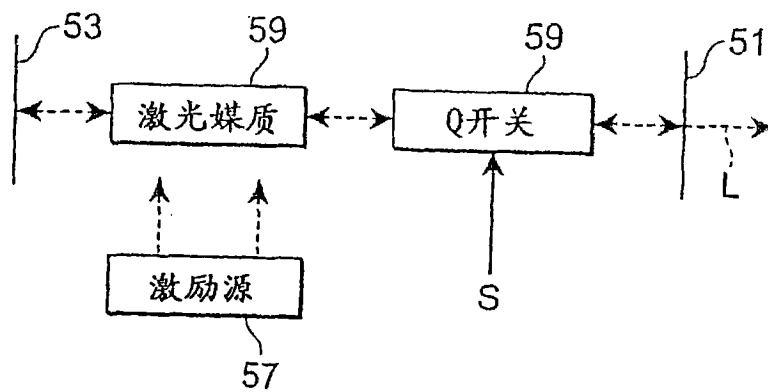


图 85

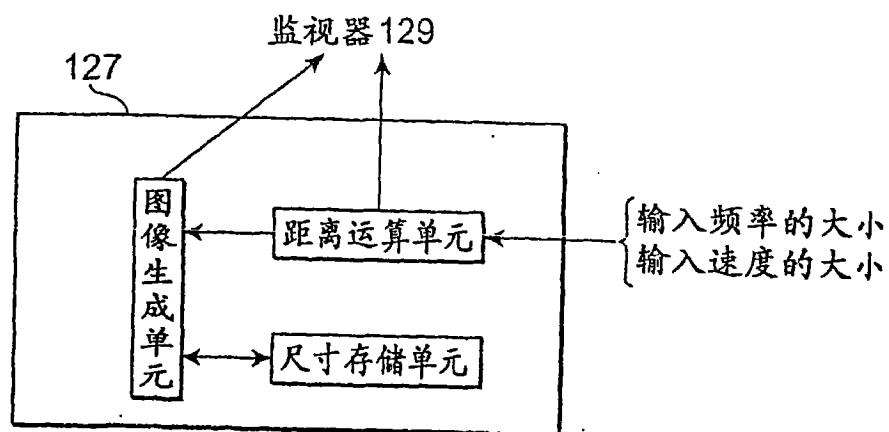


图 86

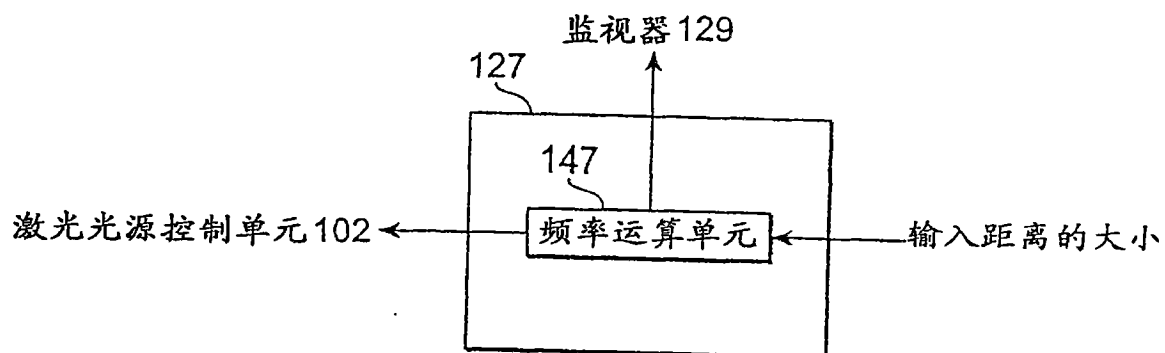


图 87

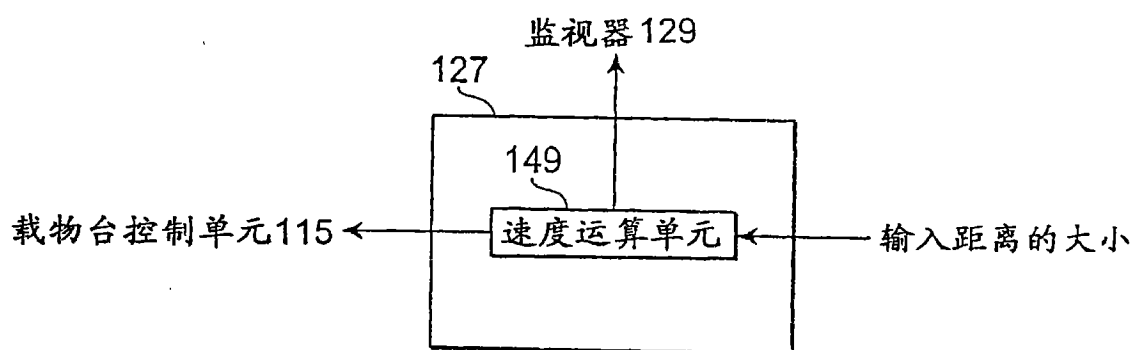


图 88

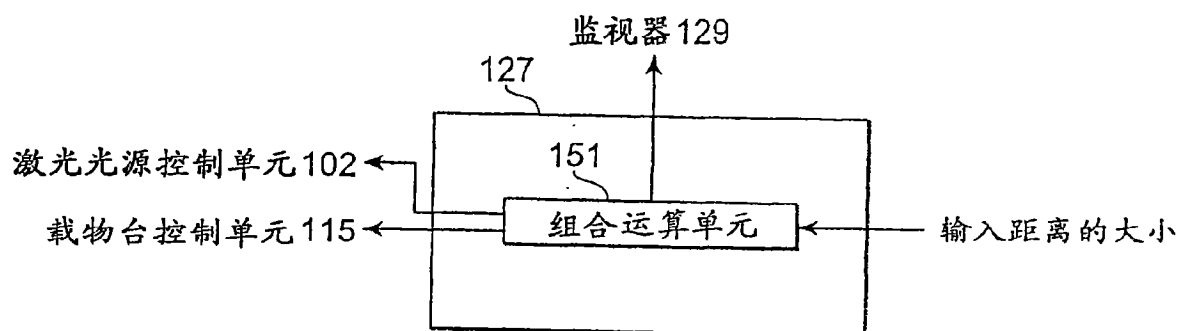


图 89

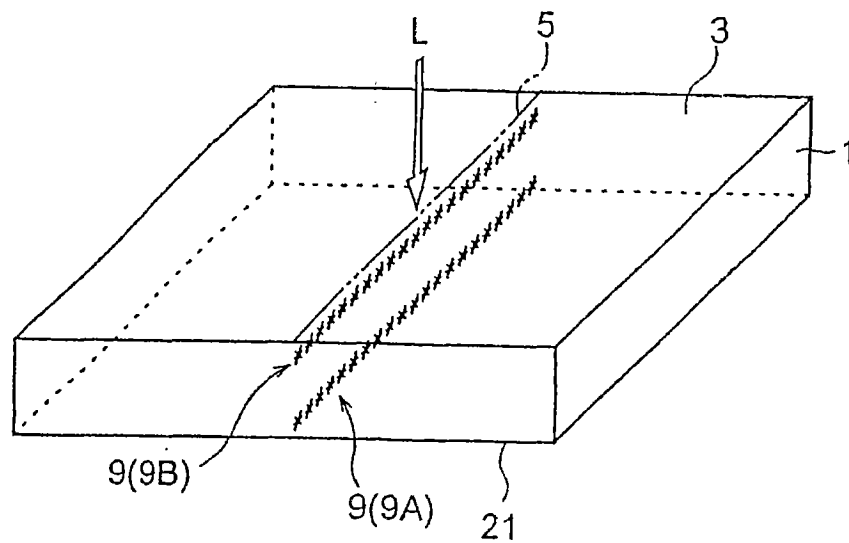


图 90

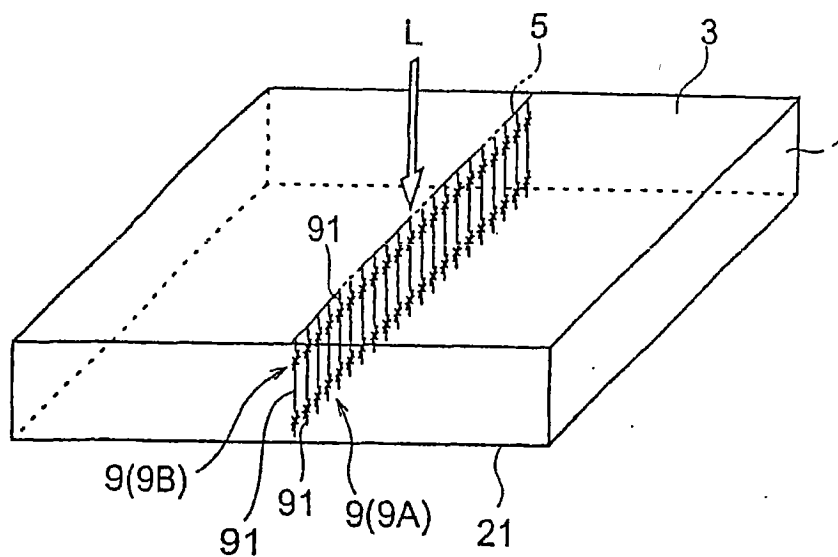


图 91

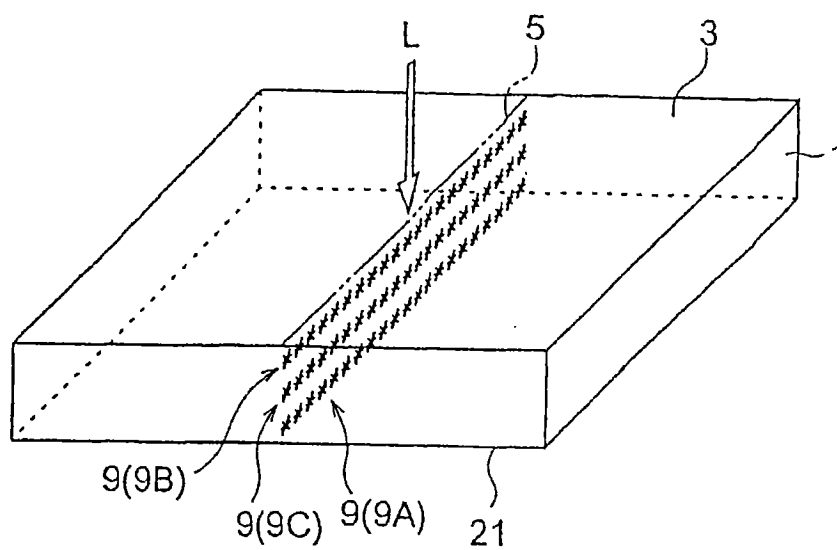


图 92

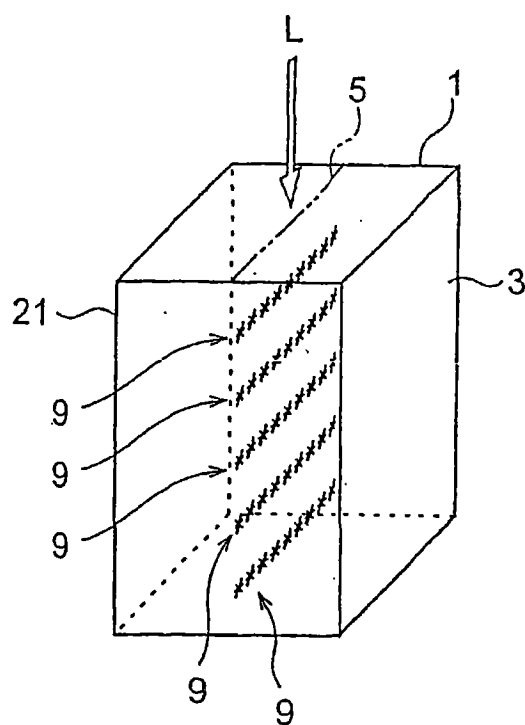


图 93

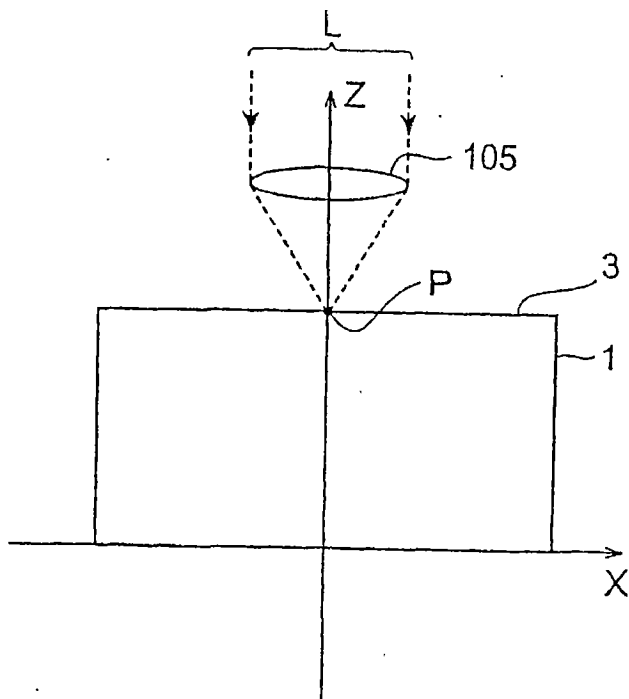


图 94

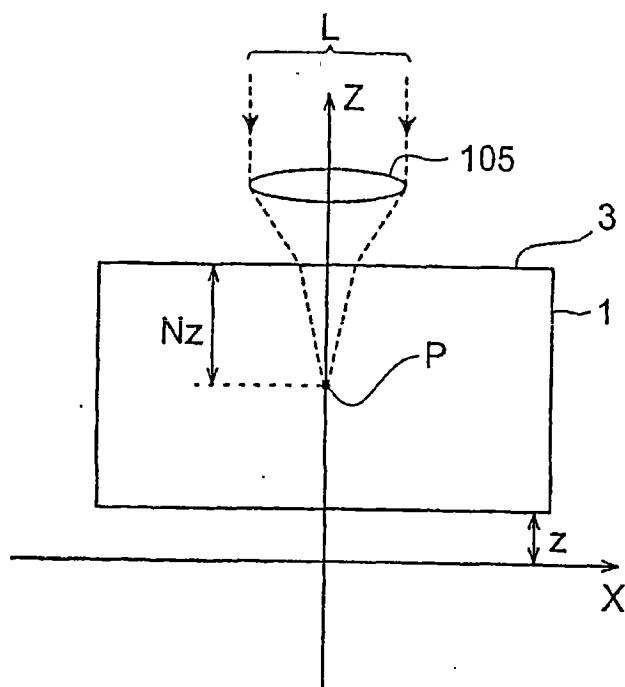


图95

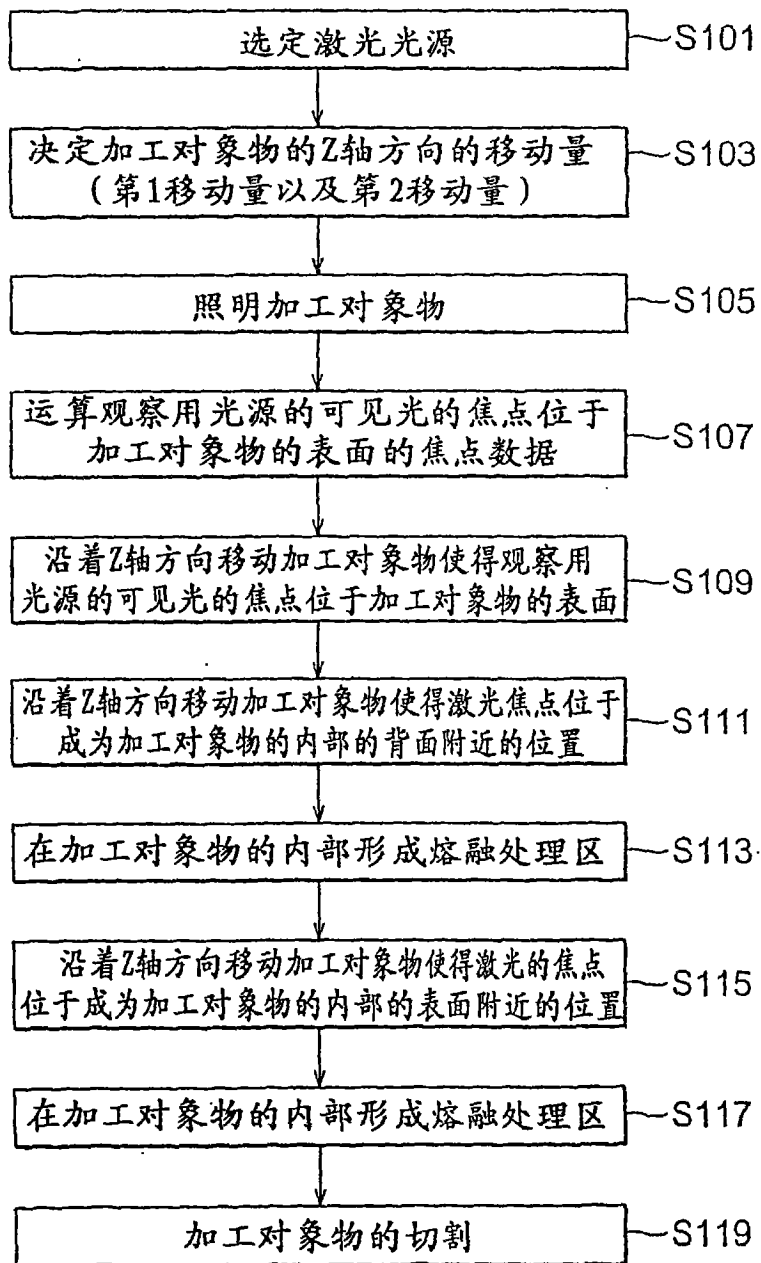




图 96

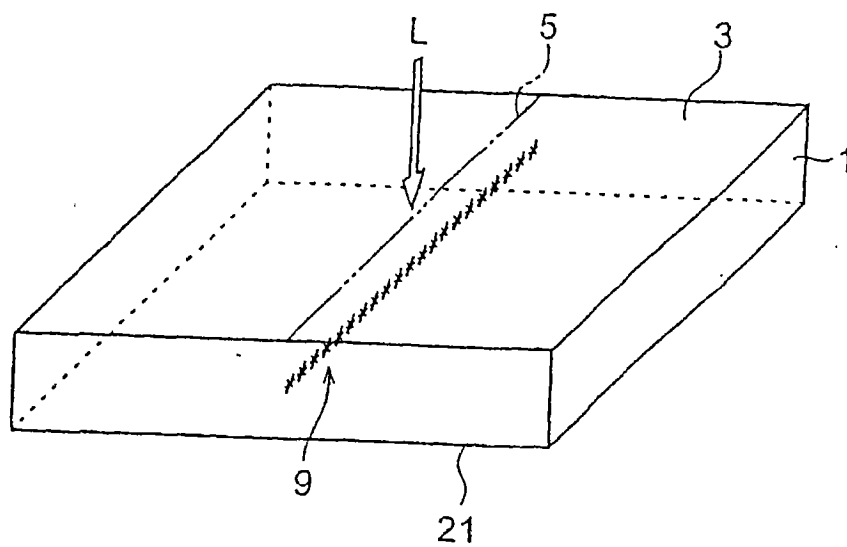


图 97

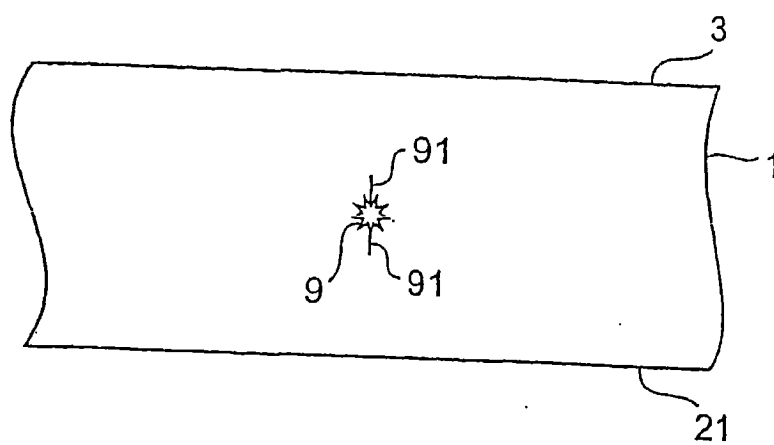


图 98

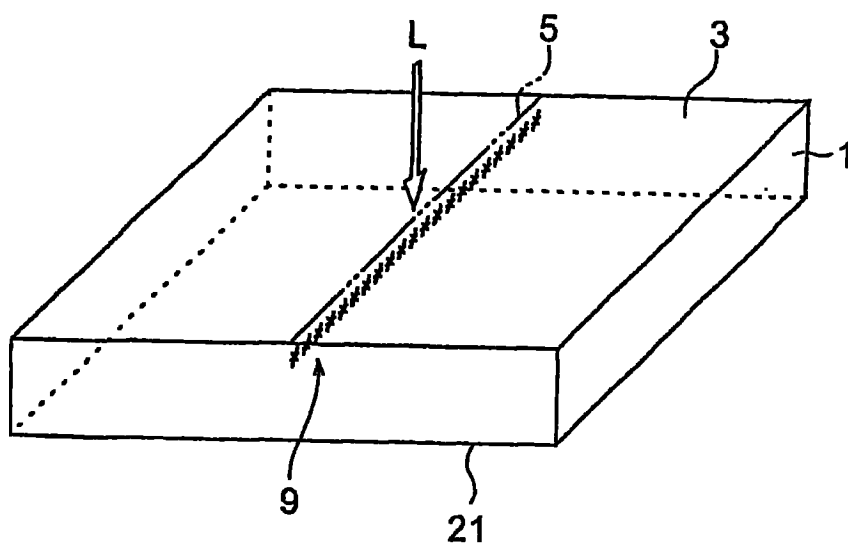


图 99

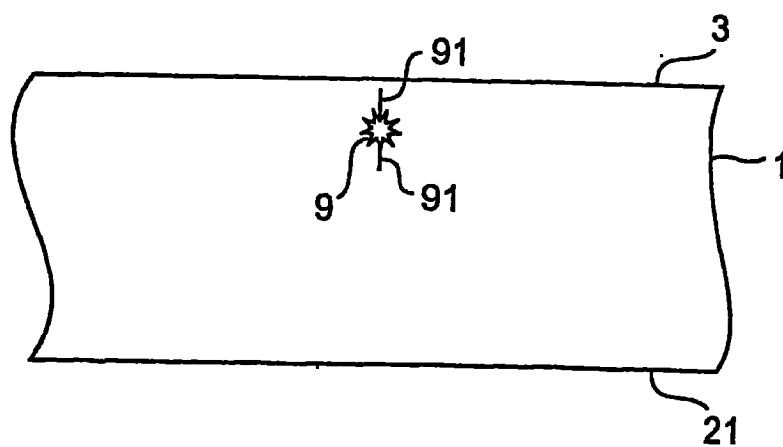


图100

