

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 200580025793.1

B23K 26/40 (2006.01)

B23K 26/00 (2006.01)

B23K 26/06 (2006.01)

B28D 5/00 (2006.01)

[45] 授权公告日 2009 年 6 月 10 日

[11] 授权公告号 CN 100496859C

[22] 申请日 2005.7.14

[21] 申请号 200580025793.1

[30] 优先权

[32] 2004.7.30 [33] JP [31] 224505/2004

[86] 国际申请 PCT/JP2005/013055 2005.7.14

[87] 国际公布 WO2006/011372 日 2006.2.2

[85] 进入国家阶段日期 2007.1.30

[73] 专利权人 浜松光子学株式会社

地址 日本静冈县

[72] 发明人 坂本刚志

[56] 参考文献

JP2002-205180A 2002.7.23

CN1473087A 2004.2.4

JP2003-266185A 2003.9.24

CN1159378A 1997.9.17

审查员 纪传龙

[74] 专利代理机构 北京尚诚知识产权代理有限公司

代理人 龙 淳

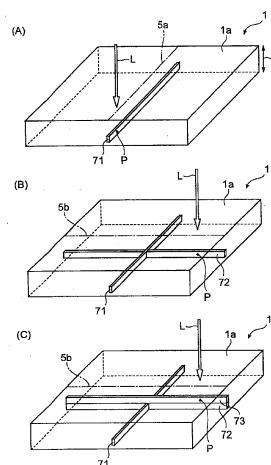
权利要求书 2 页 说明书 20 页 附图 24 页

[54] 发明名称

激光加工方法

[57] 摘要

本发明能够提供一种可高精度地切断加工对象的激光加工方法。在本发明的激光加工方法中，使聚焦点(P)对准板状加工对象物(1)的内部以照射激光(L)。首先，沿着加工对象物(1)的第一切断预定线(5a)，形成作为切断起点的第一改性区域(71)。其次，以沿着与切断预定线(5a)交叉的第二切断预定线(5b)、与改性区域(71)的至少一部分交叉的方式，形成作为切断起点的第二改性区域(72)。其次，沿着切断预定线(5b)而形成作为切断起点的第四改性区域(73)。其次，在改性区域(71)与激光(L)所入射的加工对象物(1)的入射面(1a)之间，以沿着切断预定线(5a)、与改性区域(73)的至少一部分交叉的方式，形成作为切断起点的第三改性区域(74)。



1.一种激光加工方法，其特征在于，包括：

第一工序，通过使聚焦点对准板状加工对象物的内部并照射激光而沿着所述加工对象物的第一切断预定线，将作为切断起点的第一改性区域形成在所述加工对象物的内部，且沿着与所述第一切断预定线交叉的第二切断预定线，以与所述第一改性区域的至少一部分交叉的方式，将作为切断起点的第二改性区域形成在所述加工对象物的内部；以及

第二工序，在所述第一工序之后，通过使聚焦点对准所述加工对象物的内部并照射激光，在所述第一改性区域和所述激光入射的所述加工对象物的入射面之间的所述加工对象物的内部，沿着所述第一切断预定线形成作为切断起点的第三改性区域，且在所述第二改性区域和所述入射面之间的所述加工对象物的内部，沿着所述第二切断预定线，以与所述第三改性区域的至少一部分交叉的方式形成作为切断起点的第四改性区域。

2. 根据权利要求1所述的激光加工方法，其特征在于：

在所述第一工序中，在形成所述第一改性区域之后形成所述第二改性区域，

在所述第二工序中，在形成所述第三改性区域之后形成所述第四改性区域。

3. 根据权利要求1所述的激光加工方法，其特征在于：

在所述第一工序中，在形成所述第一改性区域之后形成所述第二改性区域，

在所述第二工序中，在形成所述第四改性区域之后形成所述第三改性区域。

4. 根据权利要求1所述的激光加工方法，其特征在于：

在形成所述第一改性区域时，记录所述入射面的第一入射面信息，

并使用该第一入射面信息形成所述第三改性区域，

在形成所述第二改性区域时，记录所述入射面的第二入射面信息，
并使用该第二入射面信息形成所述第四改性区域。

5. 根据权利要求 1 所述的激光加工方法，其特征在于：

所述第一～第四改性区域的至少 1 个是由在所述加工对象物的厚度方向上并列设置的多列的改性区域构成。

6. 根据权利要求 1 所述的激光加工方法，其特征在于：

所述第一及第二改性区域所在的一方或者所述第三及第四改性区域所在的一方中的至少一方是由设置在所述加工对象物的厚度方向上的同数列的改性区域构成。

激光加工方法

技术领域

本发明涉及为了切断板状的加工对象物而使用的激光加工方法。

背景技术

在现有的这种技术方面，有如下激光加工方法，通过使聚焦点对准晶片状的加工对象物的内部以照射激光，使沿着切断预定线的改性区域在加工对象物的内部形成多列，而将其改性区域作为切断的起点（例如，参照专利文献1）。

专利文献1：日本特开2002-205180号公报

在欲使用上述那样的激光加工方法将板状的加工对象物切断成格子状的情况下，例如，如图20（A）及图20（B）所示，在加工对象物的内部形成改性区域。图20（A）及图20（B）是用于说明在加工对象物101的内部形成改性区域171、172之际的顺序的一例的模式图，图21是沿着图20（B）所示的加工对象物的XXI—XXI线的截面图。

改性区域171、172是按如下顺序形成的。首先，如图20（A）所示，通过使聚焦点对准厚度100d的加工对象物101内部而照射激光100L，将沿着切断预定线105a的改性区域171形成在加工对象物101的内部。其次，如图20（B）所示，通过使聚焦点对准加工对象物101的内部再照射激光100L，使得沿着与切断预定线105a交叉的切断预定线105b的改性区域172形成在加工对象物101的内部。改性区域171、172由沿加工对象物101的厚度方向并列设置的多列的改性区域所构成，这些多列的改性区域是从距离激光100L的入射面101a远的位置被依次形成的。

在以上述顺序形成改性区域171、172后，如图21所示，在改性区域171和改性区域172所交叉的情况下，残存有未形成改性区域172的未改性区域（三角区域）101b。此未改性区域101b的宽度W1是离激光100L的入射面101a越远就会变得越宽。这种未改性区域101b，

在加工对象物 101 的厚度 100d 大的情况下可以被显著确定。接着，将拍摄图 21 中的区域 A1 的照片例子表示于图 22，将拍摄图 21 中的区域 B1 的照片例子表示于图 23 (A) 及图 23 (B)。图 22、图 23 (A) 及图 23 (B) 是表示通过按上述顺序形成改性区域 171、172 而被切断的加工对象物 101 的切截面之照片的图。此外，在图 22、图 23 (A) 及图 23 (B) 中表示了加工对象物 101 的厚度 100d 为 300 μ m 以上的大小的情况下的例子。

在图 22 中的区域 P1 内，未形成改性区域 172 的未改性区域 101b 被确定。在利用扩展 (expand) 装置将形成有未改性区域 101b 的加工对象物 101 予以切断之后，具有起因于未改性区域 101b 而造成加工对象物 101 未被高精度切断的可能。例如，图 23 (A) 中的区域 P2 内的碎片 (chipping) 被确认，且图 23 (B) 中的区域 P3 内的裙形边缘 (skirt) (从切截面 171s 突出的部分) 被确认。

如此一来，可以说在通过以上述顺序形成改性区域而将加工对象物切断成格子状的情况下，其切断精度尚有改善的余地。

发明内容

于是，本发明就是有鉴于这种情况而完成的，其目的在于提供一种可高精度切断加工对象物的激光加工方法。

为解决上述课题，本发明者们针对形成未改性区域 101b 的机构 (mechanism) 作了详细探讨。针对其探讨结果使用图 24 进行说明。图 24 是表示以上述的顺序形成改性区域 171、172 时的一个工序中的加工对象物 101 之概略截面图。在图 24 中表示了用以形成改性区域 172 的工序。成为改性区域 172 的一部分的改性区域 172a，通过使由透镜 100 LL 所聚焦的激光 100L 扫描而被形成在加工对象物 101 的内部。因为此时改性区域 171 已经形成，所以用以形成改性区域 172a 的位置距离入射面 101a 越远则激光 100L 越被改性区域 171 所遮蔽，具有这样的倾向。其结果，认为未改性区域 101b 的宽度 W1 伴随着远离入射面 101a 而变宽。

于是，本发明的激光加工方法的特征为，包括：第一工序，通过使聚焦点对准板状加工对象物的内部并照射激光而沿着加工对象物的

第一切断预定线，将成为切断起点的第一改性区域形成在加工对象物的内部，并且沿着与第一切断预定线交叉的第二切断预定线，以与第一改性区域的至少一部分交叉的方式，将作为切断起点的第二改性区域形成在加工对象物的内部；以及第二工序，在第一工序之后，通过使聚焦点对准加工对象物的内部并照射激光，在第一改性区域和激光所入射的加工对象物的入射面之间的加工对象物的内部，沿着第一切断预定线形成作为切断起点的第三改性区域，并且在第二改性区域和入射面之间的加工对象物的内部，沿着第二切断预定线、以与第三改性区域的至少一部分交叉的方式形成作为切断起点的第四改性区域。

在此激光加工方法中，与在形成第一及第三改性区域之后再形成第二及第四改性区域的方法相比较，在照射激光之际，遮蔽该激光的改性区域在加工对象物的厚度方向上的高度变低。因此，难以生成未形成改性区域的未改性区域，所以可高精度地切断加工对象物。

此外，在第一工序中，形成第一及第二改性区域的顺序未被特别限定。另外，第二工序中，形成第三及第四改性区域的顺序也未被特别限定。

另外，优选，在第一工序中，形成第一改性区域之后再形成第二改性区域，而在第二工序中，在形成第三改性区域之后再形成第四改性区域。

另外，优选，在第一工序中，形成第一改性区域之后再形成第二改性区域，而在第二工序中，在形成第四改性区域之后再形成第三改性区域。

在此激光加工方法中，在形成第二及第四改性区域时，均使激光沿着第二切断预定线移动。因此，没有必要在第一工序和第二工序之间改变激光的移动方向。因而可短时间且高精度地形成第四改性区域。

另外，优选，在形成第一改性区域时，记录入射面的第一入射面信息，使用其第一入射面信息以形成第三改性区域，而在形成第二改性区域时、记录入射面的第二入射面信息，再使用其第二入射面信息以形成第四改性区域。在此，所谓的“入射面信息”是指例如存在于入射面的凹凸在加工对象物的厚度方向上的高度信息。

在这种情况下，可使第三改性区域对准入射面的凹凸或起伏而能

够按与第一改性区域基本相同的形状形成第三改性区域。同样地，可使第四改性区域对准入射面的凹凸或起伏而能够按与第二改性区域基本相同的形状形成第四改性区域。

另外，优选，第一～第四改性区域的至少1个是由并列设置于加工对象物的厚度方向上的多列的改性区域所构成。

在这种情况下，加工对象物的厚度方向中的第一～第四改性区域的高度均可作高。

另外，优选，第一及第二改性区域或第三及第四改性区域当中的至少一方是由配置在加工对象物的厚度方向上的同数列的改性区域所构成。例如可以例举出有、(i)第一及第二改性区域为由配置在加工对象物的厚度方向上的同数列的改性区域所构成的情况，(ii)第三及第四改性区域为由配置在加工对象物的厚度方向上的同数列的改性区域所构成的情况，(iii)第一及第二改性区域为由配置在加工对象物的厚度方向上的同数列的改性区域所构成，且第三及第四改性区域为由配置在加工对象物的厚度方向上的同数列的改性区域所构成的情况。

在上述(i)的情况下，加工对象物的厚度方向上的第一及第二改性区域的高度容易成为一致。另外，在上述(ii)的情况下，加工对象物的厚度方向上的第三及第四改性区域的高度容易成为一致。另外，在上述(iii)的情况下，加工对象物的厚度方向的第一及第二改性区域的高度成为容易一致，且加工对象物的厚度方向上的第三及第四改性区域的高度容易成为一致。

若依据本发明，则能够提供一种可高精度地切断加工对象物的激光加工方法。

附图说明

图1：是本实施方式涉及的激光加工方法的激光加工中的加工对象物的平面图。

图2：是沿着图1所示的加工对象物的II—II线的截面图。

图3：是本实施方式涉及的激光加工方法的激光加工后的加工对象物的平面图。

图4：是沿着图3所示的加工对象物的IV—IV线的截面图。

图 5: 是沿着图 3 所示的加工对象物的 V—V 线的截面图。

图 6: 是由本实施方式涉及的激光加工方法所切断的加工对象物的平面图。

图 7: 是表示本实施方式涉及的激光加工方法中的电场强度与裂缝点的大小的关系的图表。

图 8: 是使用本实施方式涉及的激光加工方法而切断加工对象物之际的裂缝区域形成工序中的加工对象物的截面图。

图 9: 是使用本实施方式涉及的激光加工方法以切断加工对象物之际的裂缝成长工序中的加工对象物的截面图。

图 10: 是使用本实施方式涉及的激光加工方法以切断加工对象物之际的裂缝成长工序中的加工对象物的截面图。

图 11: 是使用本实施方式涉及的激光加工方法以切断加工对象物之际的切断工序中的加工对象物的截面图。

图 12: 是表示由本实施方式涉及的激光加工方法所切断的硅晶片的一部分的截面的照片的图。

图 13: 是表示本实施方式涉及的激光加工方法的激光的波长与硅基板的内部透射率间的关系的图表。

图 14: 是以模式的方式表示本实施方式涉及的激光加工方法的各工序的一个例子的立体图。

图 15: 是以模式的方式表示本实施方式涉及的激光加工方法的各工序的一个例子的立体图。

图 16: 是沿着图 15 (C) 所示加工对象物的 XVI—XVI 线的截面图。

图 17: 是表示通过使用本实施方式涉及的激光加工方法形成改性区域而被切断的加工对象物的切截面的照片的图。

图 18: 是使用本实施方式涉及的激光加工方法形成改性区域时的一个工序中的加工对象物之概略截面图。

图 19: 是表示使用本实施方式涉及的激光加工方法形成的改性区域的一个例子的立体图。

图 20: 是用以说明在加工对象物的内部形成改性区域之际的一个顺序例的模式图。

图 21: 是沿着图 20 (B) 所示加工对象物之 XXI—XXI 线的截面图。

图 22: 是表示通过按图 20 (A) 及图 20 (B) 所示顺序形成改性区域而切断的加工对象物的切截面的照片的图。

图 23: 是表示通过按图 20 (A) 及图 20 (B) 所示顺序形成改性区域而切断的加工对象物的切截面的照片的图。

图 24: 是表示通过按图 20 (A) 及图 20 (B) 所示顺序形成改性区域时的一个工序中的加工对象物的概略截面图。

符号说明

1: 加工对象物

1a: 入射面

3: 表面

4a: 切截面 (侧面)

5: 切断预定线

5a: 第一切断预定线

5b: 第二切断预定线

7: 改性区域

71: 第一改性区域

71a~71f: 多列的改性区域

72: 第二改性区域

73: 第四改性区域

74: 第三改性区域

8: 切断起点区域

13: 熔融处理区域

L: 激光

P: 聚焦点。

具体实施方式

以下, 针对本发明的优选实施方式, 并参照图面作详细说明。在本实施方式的激光加工方法中, 为了在加工对象物的内部形成改性区域、是利用所谓的多光子吸收的现象。于是, 首先, 就利用多光子吸

收以形成改性区域用的激光加工方法进行说明。

在光子的能量 $h\nu$ 比材料之吸收的带隙 (band gap) E_G 还小时, 则在光学上成为透明。因此, 在材料上产生吸收的条件是 $h\nu > E_G$ 。然而即便是在光学上透明, 如果使激光的强度增加非常大, 则在 $nh\nu > E_G$ 的条件 ($n=2, 3, 4, \dots$) 下, 在材料上会产生吸收。将此现象称为多光子吸收。在为脉冲波的情况下, 激光的强度是由激光的聚焦点的峰值功率密度 (W/cm^2) 所决定, 例如在峰值功率密度为 $1 \times 10^8 (W/cm^2)$ 以上的条件下会产生多光子吸收。峰值功率密度是可由 (聚焦点中的激光的每 1 脉冲的能量) $\div$ (激光的射束点截面积 $\times$ 脉宽) 的方式求得。另外, 在为连续波的情况下, 激光的强度是以激光的聚焦点的电场强度 (W/cm^2) 所决定。

针对利用此种多光子吸收的本实施方式涉及的激光加工方法的原理, 参照图 1~图 6 进行说明。如图 1 所示, 在晶片状 (板状) 之加工对象物 1 的表面 3 上具有用以切断加工对象物 1 的切断预定线 5。切断预定线 5 是直线状延伸的假想线。在本实施方式涉及的激光加工方法中, 如图 2 所示, 是以会产生多光子吸收的条件, 使聚焦点 P 对准在加工对象物 1 的内部而照射激光 L 以形成改性区域 7。此外, 所谓的聚焦点 P 是指激光 L 会聚焦的部位。另外, 切断预定线 5 并不受限为直线状、亦可为曲线状, 且不限定为假想线、亦可为在加工对象物 1 上实际被绘制的线。

而且, 通过使激光 L 沿着切断预定线 5 (亦即, 图 1 之箭头 A 方向) 作相对移动, 使得聚焦点 P 沿着切断预定线 5 移动。由此, 如图 3~图 5 所示, 改性区域 7 是沿着切断预定线 5 而被形成在加工对象物 1 的内部, 该改性区域 7 成为切断起点区域 8。在此, 所谓的切断起点区域 8 是意味着在加工对象物 1 被切断之际要作为切断 (破裂) 起点的区域。该切断起点区域 8 有时是通过连续地形成改性区域 7 而形成, 有时是通过断续地形成改性区域 7 而形成。

本实施方式涉及的激光加工方法并不通过加工对象物 1 吸收激光 L 以使加工对象物 1 发热而形成改性区域 7。而是使激光 L 透射加工对象物 1, 而在加工对象物 1 的内部发生多光子吸收以形成改性区域 7。因此, 在加工对象物 1 的表面 3、激光 L 几乎不被吸收, 所以加工对象

物 1 的表面 3 不会熔融。

如果在加工对象物 1 的内部形成切断起点区域 8, 则因为以该切断起点区域 8 为起点容易发生破裂, 所以如图 6 所示, 能够以比较小的力量将加工对象物 1 切断。因此, 可在未在加工对象物 1 的表面 3 产生不必要的偏离切断预定线 5 的破裂的情形下, 将加工对象物 1 高精度地切断。

在切断以该切断起点区域 8 为起点的加工对象物 1 的方面, 考虑了如下两种方式。其一为, 在切断起点区域 8 形成后, 对加工对象物 1 施加人为力量, 由此、加工对象物 1 是以切断起点区域 8 为起点而破裂, 而加工对象物 1 被切断的情况。此乃是例如加工对象物 1 的厚度为大的情况时的切断。所谓的人为力量的施加是指, 例如, 沿着加工对象物 1 的切断起点区域 8 对加工对象物 1 施加弯曲应力或剪应力, 对加工对象物 1 赋予温度差而产生热应力的情况。其二为, 利用形成切断起点区域 8, 而以切断起点区域 8 为起点朝加工对象物 1 的截面方向(厚度方向)自然地破裂, 最后使加工对象物 1 被切断的情况。此乃是例如在加工对象物 1 的厚度为小的情况下, 可通过 1 列的改性区域 7 而形成切断起点区域 8, 而在加工对象物 1 的厚度为大的情况下, 可通过在厚度方向所形成的多列的改性区域 7 而形成切断起点区域 8。此外, 即使是此自然破裂的情况, 在欲切断的部位, 也可在破裂没有先到达与未形成有切断起点区域 8 之部位对应的部分的表面 3 的情形下, 仅能够将与形成有切断起点区域 8 的部位相对应之部分割断, 所以可控制良好地进行割断。近年, 因为硅晶片等的加工对象物 1 的厚度有变薄之倾向, 所以此种控制性好的割断方法是非常有效。

再者, 在本实施方式涉及的激光加工方法中, 利用多光子吸收所形成的改性区域具有如下(1)~(3)的情况。

(1) 在改性区域为包含 1 个或多个裂缝(crack)的裂缝区域的情况下

使聚焦点对准在加工对象物(例如由玻璃或 LiTaO_3 所成的压电材料)的内部, 并在聚焦点中的电场强度为 1×10^8 (W/cm^2) 以上且脉宽为 $1\mu\text{s}$ 以下的条件下照射激光。此脉宽的大小是在使产生多光子吸收且不对加工对象物的表面造成多余损伤的情形下, 能够仅在加工对象

物内部形成裂缝区域的条件。由此，在加工对象物的内部发生所谓的因多光子吸收所造成的光学损伤的现象。由该光学的损伤而在加工对象物的内部诱发热变形，由此而在加工对象物的内部形成裂缝区域。以电场强度的上限值而言，例如为 1×10^{12} (W/cm²)。脉宽是优选例如 1ns~200ns。此外，利用多光子吸收的裂缝区域的形成，在例如第 45 回激光热加工研究会论文集(1998 年 12 月)的第 23 页~第 28 页的“利用固体激光高次谐波的玻璃基板的内部标记”中有所记载。

本发明者是利用实验求得电场强度与裂缝的大小之间的关系。实验条件如下。

(A)加工对象物：派勒斯(Pyrex;(注册商标)玻璃(厚度 700μm))

(B)激光

光源：半导体激光激发 Nd: YAG 激光

波长：1064nm

激光点截面积： 3.14×10^{-8} cm²

振荡形态：Q 开关脉冲

重复频率：100kHz

脉宽：30ns

输出：输出<1mJ/脉冲

激光品质：TEM₀₀

偏光特性：直线偏光

(C)聚光用透镜

相对于激光波长的透射率：60%

(D)载置加工对象物之载置台的移动速度：100mm/秒

此外，所谓的激光品质 TEM₀₀ 是意味着聚光性高并且可聚光至激光的波长程度。

图 7 是表示上述实验结果的图表。横轴为峰值功率密度，因为激光为脉冲激光、所以电场强度是以峰值功率密度表示。纵轴是表示由 1 脉冲的激光而在加工对象物内部形成的裂缝部分（裂缝点）的大小。裂缝点汇集而成为裂缝区域。裂缝点的大小是在裂缝点之的形状当中，成为最大长度的部分的大小。图表中以黑圈所表示的数据是在聚光用透镜(C)的倍率为 100 倍、数值孔径(NA)为 0.80 的情况下的数据。

另一方面，图表中以白圈所表示的数据是在聚光用透镜（C）的倍率为50倍、数值孔径（NA）为0.55的情况下的数据。可以了解到从峰值功率密度为 10^{11} （W/cm²）左右开始，加工对象物的内部产生裂缝点，裂缝点也随着峰值功率密度变大而变大。

其次，针对利用裂缝区域形成而切断加工对象物之机构，参照图8～图11进行说明。如图8所示，在产生多光子吸收的条件下，使聚焦点P对准加工对象物1的内部并照射激光L，以沿着切断预定线在内部形成裂缝区域9。裂缝区域9是包含1个或多个裂缝的区域。如此形成的裂缝区域9成为切断起点区域。如图9所示，裂缝是以裂缝区域9为起点（亦即，以切断起点区域为起点）而再成长，如图10所示，裂缝到达加工对象物1的表面3和背面21，如图11所示，通过加工对象物1分裂而切断加工对象物1。到达加工对象物1的表面3和背面21的裂缝有时是自然成长，有时是通过对加工对象物1施加力量而成长的。

（2）在改性区域为熔融处理区域的情况下

使聚焦点对准在加工对象物（例如，硅一类的半导体材料）的内部，在聚焦点的电场强度为 1×10^8 （W/cm²）以上且脉宽为1μs以下的条件下照射激光。由此、加工对象物的内部因多光子吸收而被局部加热。利用此加热而在加工对象物的内部形成熔融处理区域。所谓的熔融处理区域是指一旦熔融后再固化的区域、正处于熔融状态的区域或从熔融状态再固化的状态的区域，亦可称为已经相变化的区域或结晶结构已经变化的区域。另外，所谓的熔融处理区域亦可说是在单结晶结构、非晶质结构、多结晶结构中，某结构变化成别的结构的区域。亦即，意味着例如从单结晶结构变化成非晶质结构的区域、从单结晶结构变化成多结晶结构的区域、从单结晶结构变化成包含有非晶质结构及多结晶结构的结构的区域。在加工对象物为单晶硅结构的情况下，熔融处理区域是例如非晶质硅结构。以电场强度的上限值而言，例如为 1×10^{12} （W/cm²）。脉宽优选为例如1ns～200ns。

本发明者是利用实验确认在硅晶片的内部会形成熔融处理区域的。实验条件如下。

（A）加工对象物：硅晶片（厚度350μm，外径4英寸（inch））

(B) 激光

光源：半导体激光激发 Nd: YAG 激光

波长：1064nm

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

振荡形态：Q 开关脉冲

重复频率：100kHz

脉宽：30ns

输出：20μJ/脉冲

激光品质：TEM₀₀

偏光特性：直线偏光

(C) 聚光用透镜

倍率：50 倍

N.A.: 0.55

相对于激光波长的透射率：60%

(D) 载置加工对象物的载置台的移动速度：100mm/秒

图 12 是表示由上述条件的激光加工方法所切断的硅晶片的一部分的截面的照片的图。在硅晶片 11 的内部形成有熔融处理区域 13。此外，依上述条件所形成的熔融处理区域 13 的厚度方向的大小为 100μm 左右。

说明利用多光子吸收而形成熔融处理区域 13。图 13 是表示激光的波长与硅基板的内部透射率间的关系的图表。并且，除去硅基板的表面侧与背面侧各自的反射成分，仅表示内部的透射率。针对硅基板的厚度 t 为 50μm、100μm、200μm、500μm 及 1000μm 各自的上述关系进行了表示。

例如，在 Nd: YAG 激光的波长 1064nm 中，在硅基板的厚度为 500μm 以下的情况下，可知在硅基板的内部、激光透射 80% 以上。图 12 所示的硅晶片 11 的厚度为 350μm，所以依多光子吸收的熔融处理区域 13 系在硅晶片 11 的中心附近，亦即形成在距离表面 175μm 的部分上。在这种情况下的透射率，若以厚度 200μm 的硅晶片为参考，则为 90% 以上，所以在硅晶片 11 内部激光仅被吸收少许，几乎都会透射。此乃意味着并非在硅晶片 11 内部激光被吸收而使熔融处理区域 13 形

成在硅晶片 11 的内部（亦即，由激光的通常的加热而形成熔融处理区域），而是由多光子吸收而形成熔融处理区域 13。利用多光子吸收的熔融处理区域的形成，例如，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“利用微微秒（pico second）脉冲激光的硅加工之特性评价”中有所记载。

此外，硅晶片，是以熔融处理区域所形成的切断起点区域为起点而朝截面方向产生破裂，且通过其破裂到达硅晶片的表面和背面而使得最后被切断。到达硅晶片的表面和背面的破裂有时是自然成长的情况，而有时是通过对硅晶片施加力量而成长的情况。而且，在破裂是从切断起点区域自然成长至硅晶片的表面和背面的情况下，有破裂是从形成切断起点区域的熔融处理区域正熔融着的状态开始成长的情况，有破裂是从形成切断起点区域的熔融处理区域正熔融的状态开始再固化之际而成长的情况。然而，在任何一种情况下，熔融处理区域仅形成在硅晶片的内部，在切断后的切截面上，如同图 12、仅在内部形成有熔融处理区域。如此一来，如果在加工对象物的内部由熔融处理区域而形成切断起点区域，则在割断时，因为难以产生从切断起点区域线偏离的不必要的破裂，所以割断控制变得容易。

（3）在改性区域为折射率变化区域的情况下

使聚焦点对准在加工对象物（例如玻璃）的内部，在聚焦点中的电场强度为 1×10^8 (W/cm²) 以上且脉宽为 1ns 以下的条件下照射激光。如果设定脉宽为极短，且使多光子吸收产生在加工对象物的内部，则在多光子吸收的能量未转换成热能的情况下，在加工对象物的内部诱发离子价数变化、结晶化或极化定向等的永久的结构变化而形成折射率变化区域。就电场强度的上限值而言，例如为 1×10^{12} (W/cm²)。脉宽优选例如 1ns 以下，更加优选 1ps 以下。利用多光子吸收的折射率变化区域的形成，在例如第 42 次激光热加工研究会论文集（1997 年 11 月）的第 105 页～第 111 页的「由毫微微秒（femtosecond）激光照射在玻璃内部的光诱起结构形成」中有所记载。

以上，是利用多光子吸收所形成的改性区域，对（1）～（3）的情况所作的说明，然而在考虑晶片状的加工对象物的结晶结构或其劈开性等而将切断起点区域形成如下的形态时，可以以其切断起点区域

为起点而以更小的力且以很好的精度将加工对象物切断。

亦即，在由硅等的钻石结构的单结晶半导体构成基板的情况下，优选，在沿着(111)面(第一劈开面)或(110)面(第二劈开面)的方向上形成切断起点区域。另外，在由GaAs等的闪锌矿型结构的III—V族化合物半导体构成基板的情况下，优选，在沿着(110)面的方向上形成切断起点区域。再者，在具有蓝宝石(Al_2O_3)等的六方晶系的结晶结构的基板的情况下，优选，以(0001)面(C面)为主面而在沿着(1120)面(A面)或(1100)面(M面)的方向上形成切断起点区域。

此外，若在沿着应形成上述切断起点区域的方向(例如，沿着单结晶硅基板中的(111)面的方向)、或沿着与应形成切断起点区域的方向正交的方向、在基板上形成定向面(orientation flat)的话，则可以以其定向面为基准而将沿着应形成切断起点区域的方向的切断起点区域容易且正确地形成在基板上。

其次，针对本发明之最佳实施方式进行说明。图14(A)～图14(C)及图15(A)～图15(C)是模式地表示本实施方式涉及的激光加工方法的各工序的一个例子的立体图。在本实施方式涉及的激光加工方法中，如图14(A)～图14(C)及图15(A)～图15(C)所示，优选，依次实施如下的第一～第三的工序。

(第一工序)

首先，使聚焦点P对准厚度d的板状加工对象物1的内部以照射激光L，并沿着加工对象物1的第一切断预定线5a使激光L移动(参照图14(A))。由此，在加工对象物1的内部产生多光子吸收，而能够沿着切断预定线5a将作为切断起点的第一改性区域71形成在加工对象物1的内部。具体言之，例如，通过使载置加工对象物1的载物台(stage; 未图示)移动，使得激光L对加工对象物1作相对地移动。

作为加工对象物1来说，可以例举出硅晶片等的基板、在表面形成有包含着机能元件的层积部的基板等。在机能元件方面，可以例举出由结晶成长所形成的半导体动作层、光电二极管等的受光元件、激光二极管等的发光元件、及作为电路而形成的电路元件等等。另外，机能元件即可以形成在加工对象物1的入射面1a上，也可形成在与入

射面 1a 相反侧的面上。

在形成改性区域 71 之后，使聚焦点 P 对准加工对象物 1 的内部并照射激光 L，且使激光 L 沿着与切断预定线 5a 交叉的第二切断预定线 5b 移动（参照图 14（B））。由此而在加工对象物 1 的内部产生多光子吸收，而可沿着切断预定线 5b 并以与改性区域 71 的至少一部分交叉的方式而将作为切断起点的第二改性区域 72 形成在加工对象物 1 的内部。激光 L 的移动方向可通过例如使载置加工对象物 1 的载物台（未图示）旋转 90°而改变。

（第二工序）

在形成改性区域 72 之后，使聚焦点 P 对准改性区域 72 和入射面 1a 之间的加工对象物 1 的内部并照射激光 L，而使激光 L 沿着切断预定线 5b 移动（参照图 14（C））。由此，在加工对象物 1 的内部产生多光子吸收，而可在改性区域 72 和入射面 1a 之间的加工对象物 1 内部，沿着切断预定线 5b 形成作为切断起点的第四改性区域 73。亦即，改性区域 73 是被设置在改性区域 72 上。此外，改性区域 72、73 也可相互分离地配置。

在形成改性区域 73 之后，使聚焦点 P 对准改性区域 71 和入射面 1a 之间的加工对象物 1 的内部并照射激光 L，而使激光 L 沿着切断预定线 5a 移动（参照图 15（A））。由此，在加工对象物 1 的内部产生多光子吸收，而可在改性区域 71 和入射面 1a 之间的加工对象物 1 内部，沿着切断预定线 5a 以与改性区域 73 的至少一部分交叉的方式形成作为切断起点的第三改性区域 74。亦即，改性区域 74 是被设置在改性区域 71 上。此外，改性区域 71、74 也可相互分离地配置。

（第三工序）

在形成改性区域 74 之后，使聚焦点 P 对准改性区域 74 和入射面 1a 之间的加工对象物 1 的内部并照射激光 L，而使激光 L 沿着切断预定线 5a 移动（参照图 15（B））。由此，在加工对象物 1 的内部产生多光子吸收，而可在改性区域 74 和入射面 1a 之间的加工对象物 1 内部，沿着切断预定线 5b 形成作为切断起点的改性区域 75。亦即，改性区域 75 是被设置在改性区域 74 上。此外，改性区域 74、75 也可相互分离地配置。

在形成改性区域 75 之后，使聚焦点 P 对准改性区域 73 和入射面 1a 之间的加工对象物 1 的内部并照射激光 L，而使激光 L 沿着切断预定线 5b 移动（参照图 15（C））。由此，在加工对象物 1 的内部产生多光子吸收，而可在改性区域 73 和入射面 1a 之间的加工对象物 1 内部，沿着切断预定线 5b，以与改性区域 75 的至少一部分交叉的方式形成作为切断起点的改性区域 76。亦即，改性区域 76 是被设置在改性区域 73 上。此外，改性区域 73、76 也可相互分离地配置。

另外，改性区域 71~76 与上述改性区域 7 同样地，即可为由连续形成的改性区域所构成，也可为由隔以规定间隔而断续形成的改性区域所构成。另外，切断预定线 5a、5b 与上述切断预定线 5 同样，即可为是直线状或曲线状的假想线，但不限定为假想线，也可在加工对象物 1 上实际绘制的线。

在通过经由上述第一~第三工序而形成改性区域 71~76 之后，例如将扩展带（未图示）贴附在加工对象物 1 上并使用扩展装置（未图示）沿着切断预定线 5a、5b 能够将加工对象物 1 切断。此外，扩展带也可以是在形成改性区域 71~76 之前预先被贴附在加工对象物 1 上。

图 16 是沿着图 15（C）所示加工对象物 1 之 XVI-XVI 线的截面图。如图 16 所示，在加工对象物 1 上未残存未改性区域 101b。将拍摄图 16 中的区域 C 1 后的照片的例子表示在图 17 中。图 17 是表示通过利用本实施方式涉及的激光加工方法形成改性区域 71~76，所切断的加工对象物 1 的切断面的一个实施例的照片的图。在图 17 中无法看到与在图 22 的区域 P1 内被确认的未改性区域 101b 相对应的区域。

在本实施方式涉及的激光加工方法中，如图 20（A）及图 20（B）所示，与在形成改性区域 171 之后形成改性区域 172 的方法相比较，在照射激光 L 之际、会遮蔽激光 L 的改性区域在加工对象物 1 的厚度方向上的高度是变低的。因此，图 21 所示那样的未改性区域 101b 难以产生，所以可防止碎片或裙形边缘（skirt）的产生并可高精度地切断加工对象物 1。因此，能够使加工对象物 1 的割断品质提高。另外，在加工对象物 1 的厚度 d 为 300 μ m 以上的情况下，本实施方式涉及的激光加工方法的效果变得显著。以下，使用图 18 作详细说明。

图 18 是使用本实施方式涉及的激光加工方法形成改性区域 71~

76 时的一个工序中的加工对象物 1 的概略截面图。图 18 是表示形成改性区域 72 的一个工序例。成为改性区域 72 的一部分的改性区域 72a 是通过使透镜 LL 所会聚的激光 L 进行扫描而被形成在加工对象物 1 的内部。此时,加工对象物 1 的厚度方向上的改性区域 71 的高度与图 24 所示改性区域 171 相比较是低的。因此,在图 18 中几乎不存在有图 24 所示的未改性区域 101b。

另外,在本实施方式中,在第一工序中,是在形成改性区域 71 之后再形成改性区域 72,而在第二工序中,是在形成改性区域 73 之后再形成改性区域 74。而在以这种顺序形成改性区域 71~74 的情况下,因为在形成改性区域 72、73 时皆使激光 L 沿着切断预定线 5b 作移动,所以在第一工序和第二工序之间没有必要改变激光 L 的移动方向(参照图 14 (B) 及图 14 (C))。因而,能够在短时间并且高精度地形成改性区域 73。

同样地,在第二工序中,是在形成改性区域 73 之后、再形成改性区域 74,而在第三工序中,是在形成改性区域 75 之后再形成改性区域 76,所以可短时间且高精度地形成改性区域 75 (参照图 15 (A) 及图 15 (B))。

另外,优选,在形成改性区域 71 时、记录入射面 1a 的第一入射面信息,而使用其第一入射面信息来形成改性区域 74。第一入射面信息是例如,可沿着切断预定线 5a 而依次收集存在于入射面 1a 的凹凸在加工对象物 1 的厚度方向上的高度信息而获得。当使用第一入射面信息时,则使改性区域 74、75 对准沿着切断预定线 5a 的入射面 1a 的凹凸或起伏,而能够以与改性区域 71 基本相同的形状来形成。

同样地,优选,在形成改性区域 72 时、记录入射面 1a 的第二入射面信息,而使用其第二入射面信息来形成改性区域 73。第二入射面信息是例如,可沿着切断预定线 5b 而依次收集存在于入射面 1a 的凹凸在加工对象物 1 的厚度方向上的高度信息而获得。当使用第二入射面信息时,是可将改性区域 73、76 对准沿着切断预定线 5b 的入射面 1a 的凹凸或起伏而以与改性区域 72 基本相同的形状来形成。

上述的高度信息,例如以如下方式作测定。亦即,首先,用透镜聚光测定用激光并对入射面 1a 进行照射,而检测该测定用激光的反射

光。而且，依据所检测的反射光，通过使用有压电元件的致动器使透镜位移，以使得测定用激光的聚焦点位于入射面 1a 上。而取得此位移量作为高度信息。

另外，如图 19 所示，例如改性区域 71 可以是由在加工对象物 1 的厚度方向上并列设置的多列的改性区域 71a~71f 所构成。图 19 是表示改性区域 71 的一个例子的立体图。同样地，改性区域 72~76 也可为由在加工对象物 1 的厚度方向上所并列设置的多列的改性区域（未图示）所构成。在这种情况下，加工对象物 1 的厚度方向的改性区域 71~76 的高度均能够变高，且能够控制其高度。此外，为防止已形成的改性区域会遮蔽激光 L，优选，改性区域 71a~71f 是从离入射面 1a 远的位置而依序形成的。另外，改性区域 71a~71f 是与上述改性区域 7 同样，即可由连续形成的改性区域所构成，也可以由隔以规定的间隔而断续形成的改性区域所构成。

此外，即可以改性区域 71~76 中的至少 1 个由多列的改性区域所构成，也可以全部的改性区域 71~76 为由多列的改性区域所构成。

另外，改性区域 71 与改性区域 72 也可以由配置在加工对象物 1 的厚度方向的同数列的改性区域所构成。由此，加工对象物 1 的厚度方向的改性区域 71 及改性区域 72 的高度容易变为一致。例如图 19 所示，在改性区域 71 为由 6 列的改性区域 71a~71f 所构成的情况下，优选，改性区域 72 也为由 6 列的改性区域（未图示）所构成。

同样地，改性区域 73 和改性区域 74 也可以由配置在加工对象物 1 的厚度方向的同数列的改性区域所构成，改性区域 75 和改性区域 76 也可以由配置在加工对象物 1 的厚度方向的同数列的改性区域所构成。此外，也可以为（a）改性区域 71、72，（b）改性区域 73、74，及（c）改性区域 75、76，当中的至少 1 个是由同数列的改性区域所构成。例如，可以例举出、改性区域 71 和改性区域 72 是由同数列的改性区域所构成，但是改性区域 73 和改性区域 74 是由相互不同列数的改性区域所构成，改性区域 75 和改性区域 76 皆由相异列数的改性区域所构成的情况。

在其它例子方面，可以举出改性区域 71 和改性区域 72 是由同数列（列数 a）的改性区域所构成，改性区域 73 和改性区域 74 是由同数

列（列数 b）的改性区域所构成，改性区域 75 和改性区域 76 是由同数列（列数 c）的改性区域所构成的情况。在这种情况下，列数 a、列数 b 及列数 c 即可以相同，也可以互异。

以上是针对本发明之最佳实施方式所作的详细说明，然而本发明并不受限于上述实施方式。

例如，在第一工序中，用以形成改性区域 71、72 的顺序并未被特别限定。另外，在第二工序中，形成改性区域 73、74 的顺序也未被特别限定。而且，在第三工序中，形成改性区域 75、76 的顺序也未被特别限定。具体言之，在第一工序中，也可以在形成改性区域 71 之后再形成改性区域 72。另外，在第二工序中，也可以在形成改性区域 74 之后再形成改性区域 73。再者，在第三工序中，也可以在形成改性区域 76 之后再形成改性区域 75。

另外，也可以是通过反复第一～第三工序而在加工对象物 1 的厚度方向上再形成改性区域。例如，在第三工序之后，也可以在加工对象物 1 的厚度方向上，再交互地形成沿着切断预定线 5a 的改性区域和沿着切断预定线 5b 的改性区域。由此，能够根据加工对象物 1 的厚度调整在加工对象物 1 的厚度方向上的改性区域的高度。

另外，改性区域 71～76 并不限定为通过在加工对象物 1 的内部产生多光子吸收而被形成的情况。改性区域 71～76 也可以是通过使在加工对象物 1 内部产生与多光子吸收同等的光吸收而被形成的情形。

另外，在本实施方式中，是使用硅制的半导体晶片作为加工对象物 1，但是半导体晶片的材料不受限于此。在半导体晶片的材料方面，例如可以例举出，硅以外的 IV 族元素半导体、包含 SiC 之类的 IV 族元素的化合物半导体、包含 III—V 族元素的化合物半导体、包含 II—VI 族元素的化合物半导体、以及掺杂有各种掺杂剂（不纯物）的半导体等等。

在此，针对上述的图 17 所示的一实施例中的加工对象物 1 的切断顺序作详细说明，但本发明并非限定于此实施例。在此实施例中，加工对象物 1 是厚度 725 μm 的硅晶片。另外，例如改性区域 71 是由在加工对象物 1 的厚度方向上并列设置的 6 列的改性区域 71a～71f 所形成的（参照图 19）。亦即，改性区域 71 是通过进行 6 次使激光 L 沿着切

断预定线 5a 移动的扫描工序而形成的（参照图 15（A））。各扫描工序是通过使聚焦点 P 的位置按照逐渐接近入射面 1a 的朝向而在 6 个阶段上移动而进行的。

同样地，改性区域 72~74 是由在加工对象物 1 的厚度方向上并列设置的 6 列的改性区域所形成的，改性区域 75、76 是由在加工对象物 1 的厚度方向上并列设置的 7 列的改性区域所形成的。因此，改性区域 71、74、75 是合计由 19 列的改性区域所构成，改性区域 72、73、76 也是合计由 19 列的改性区域所构成（参照图 16）。

在形成这样的改性区域 71~76 之后，在加工对象物 1 上贴附扩展带，再利用扩展装置连同该扩展带一起将加工对象物 1 切断。将拍摄如此切断的加工对象物 1 的切断面的照片表示在图 17 中，作为图。

接着，针对在上述实施例中形成改性区域 71~76 之际的激光加工条件进行说明。激光 L 的脉宽为 180ns，激光 L 的照射位置间隔（脉冲间距）为 4 μ m，激光 L 的频率数为 75 kHz。另外，载置有加工对象物 1 的载物台的移动速度是 300mm/s。再者，入射面 1a 到聚焦点 P 为止的距离（聚焦点位置）与激光 L 的能量的关系如表 1 所示。

【表 1】

	聚焦点位置 (μm)	能量 (μJ)
改性区域 76	50	9
	86	9
	142	15
	182	15
	214	15
	250	15
	286	15
改性区域 73	322	15
	358	15
	394	15
	426	15
	458	15
	490	15
改性区域 72	522	15
	570	15
	618	15
	666	15
	694	15
	722	15

工业上的可利用性

如果根据本发明, 则能够提供一种可高精度地切断加工对象物的激光加工方法。

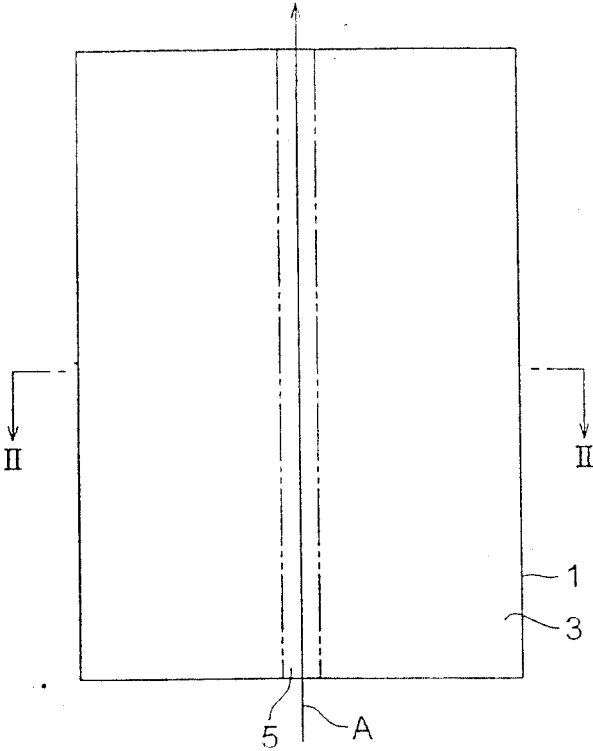


图1

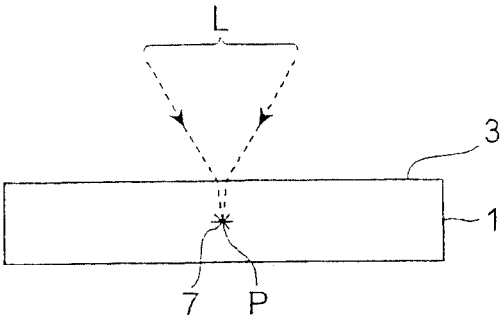


图2

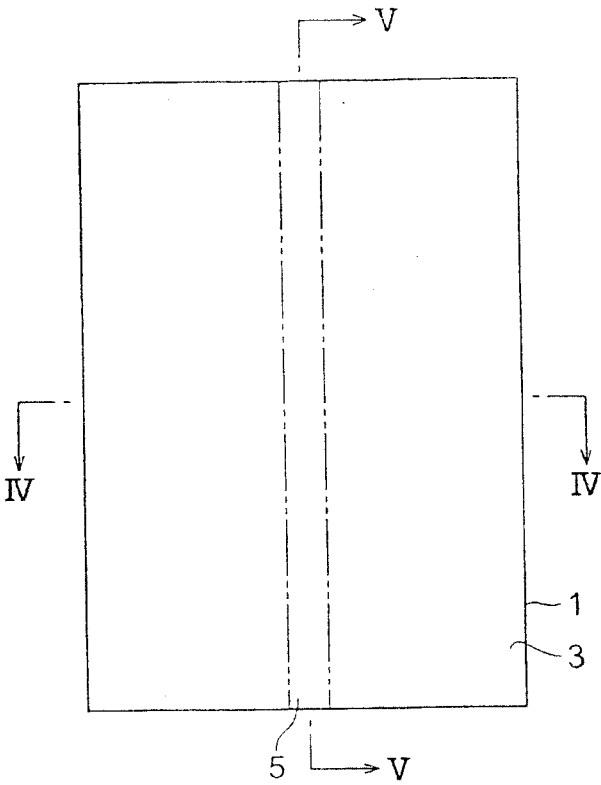


图3

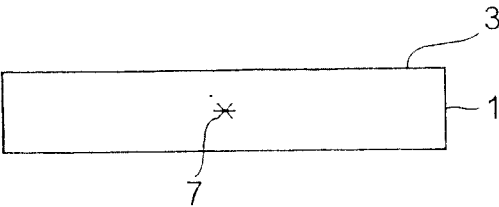


图4

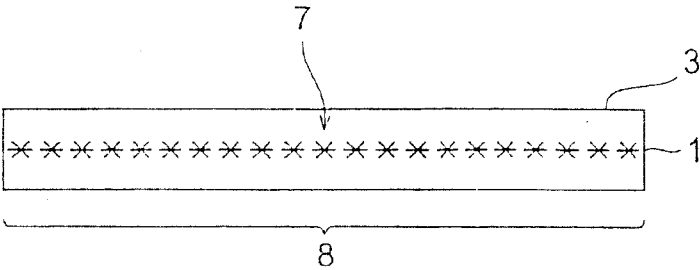


图5

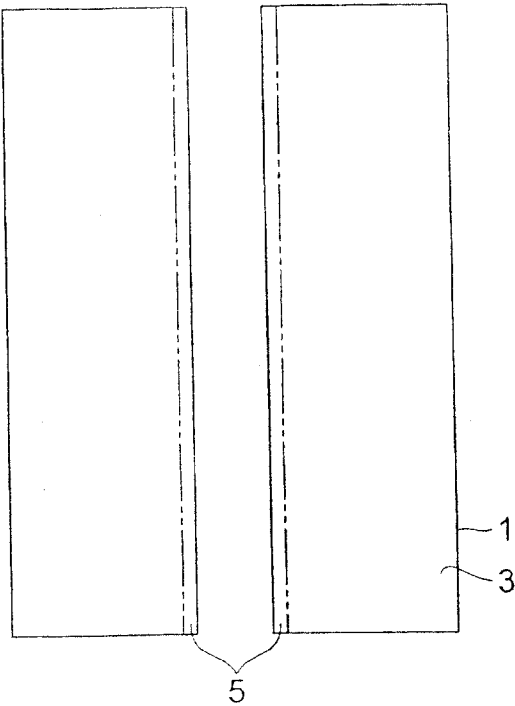


图6

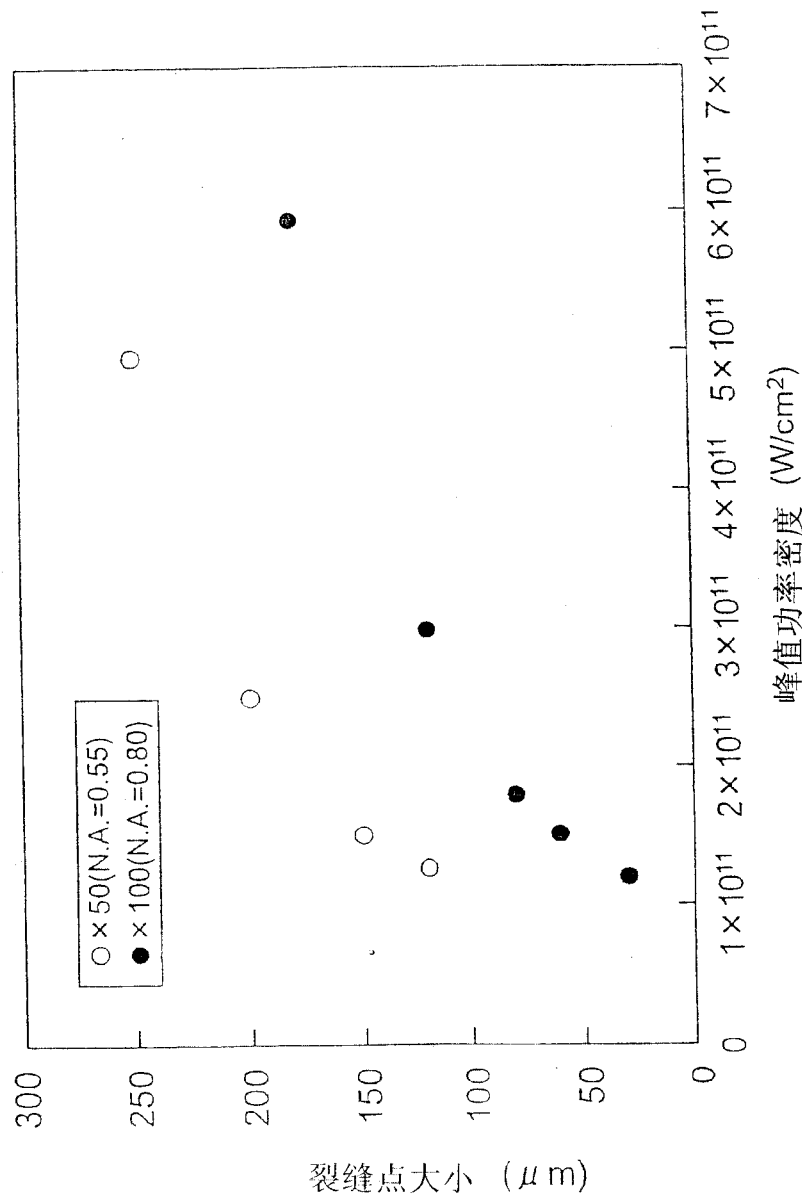


图7

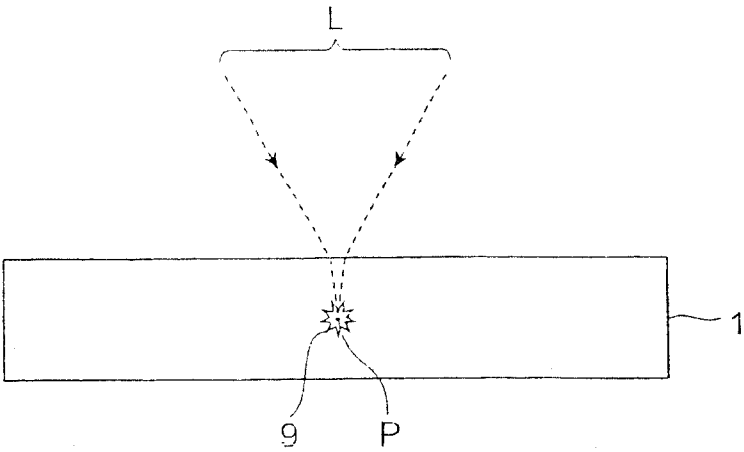


图8

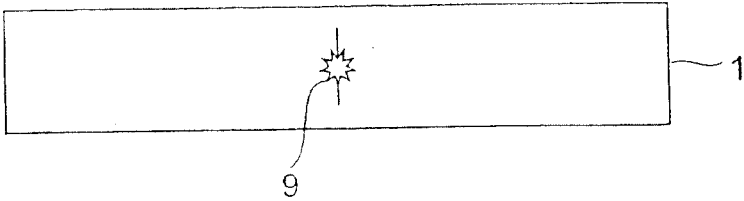


图9

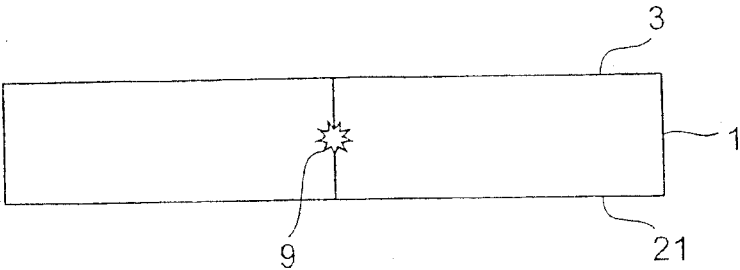


图10

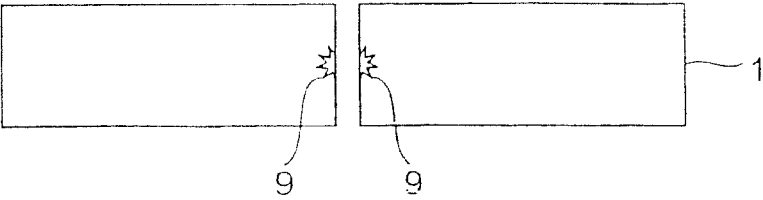


图11

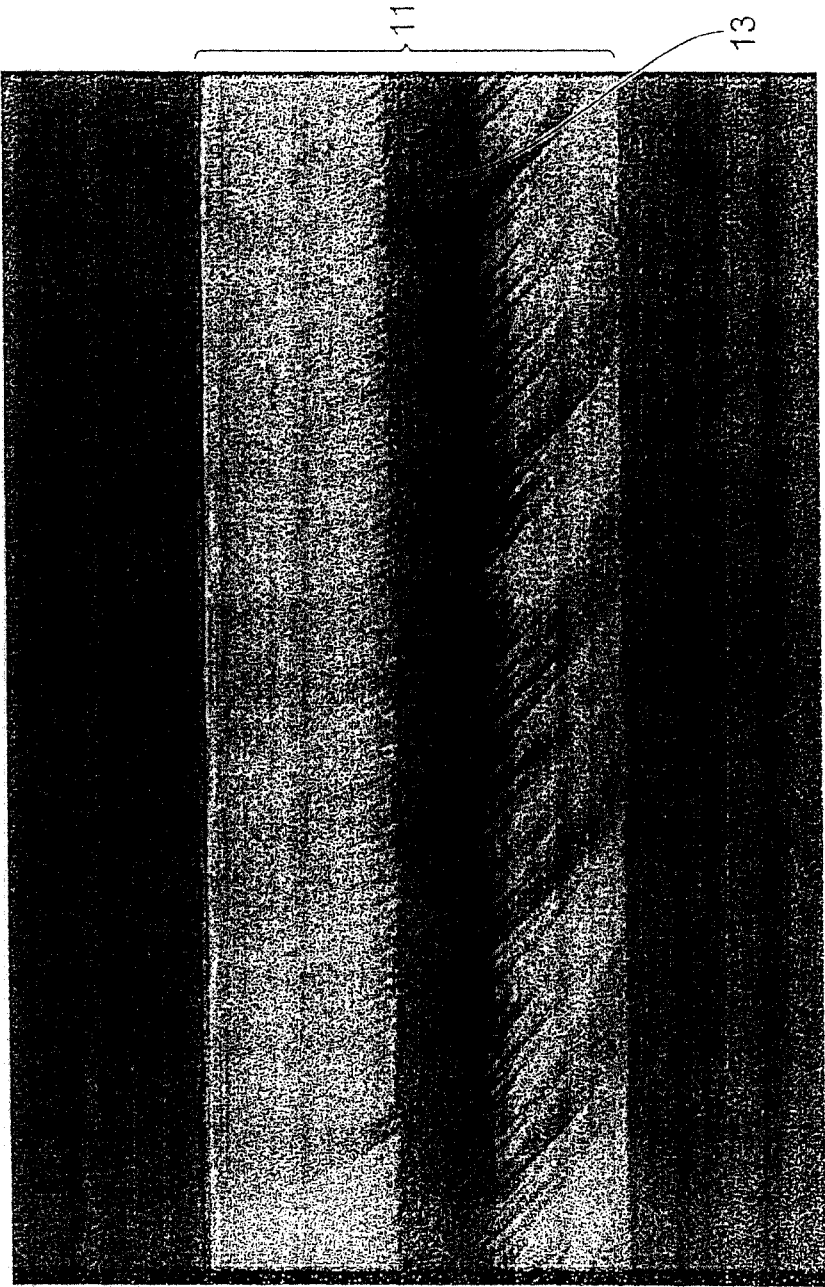


图12

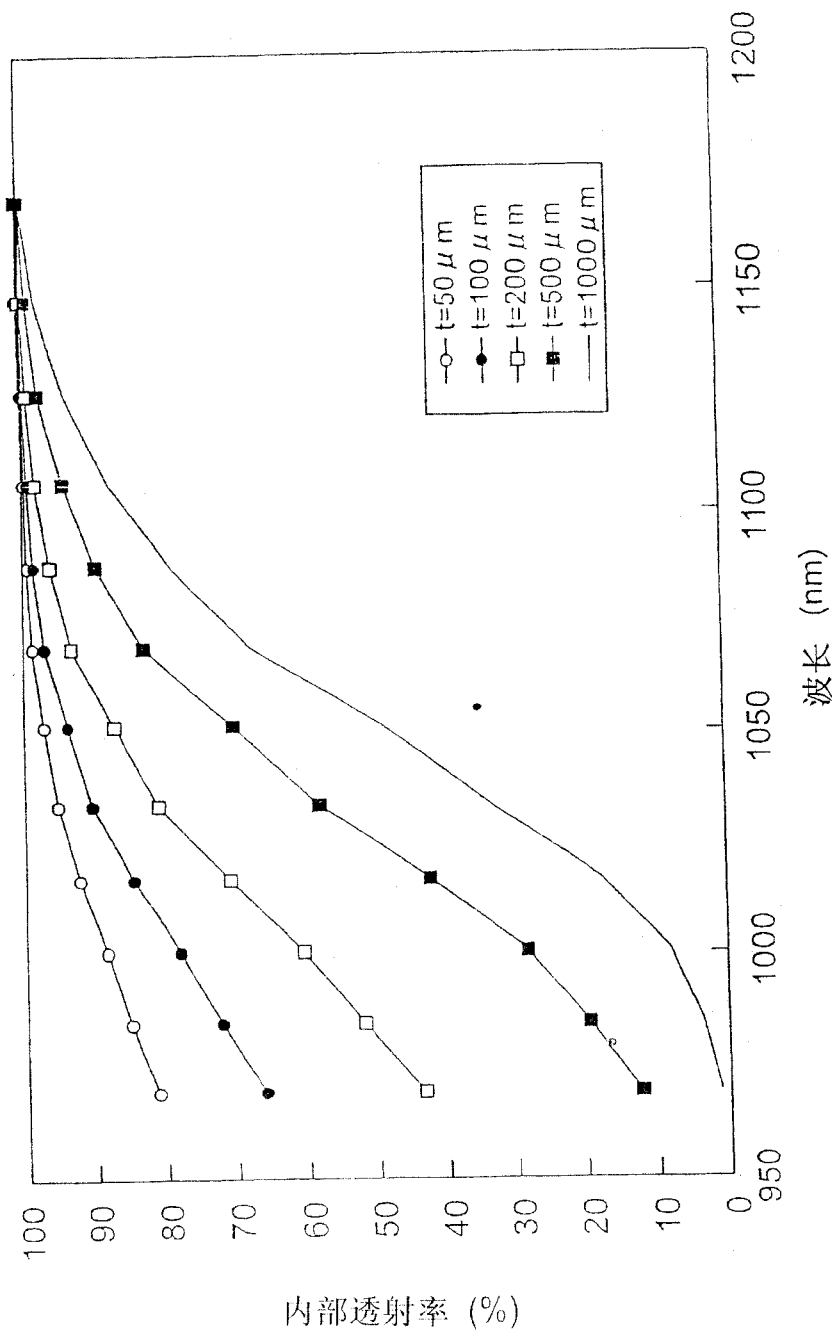


图13

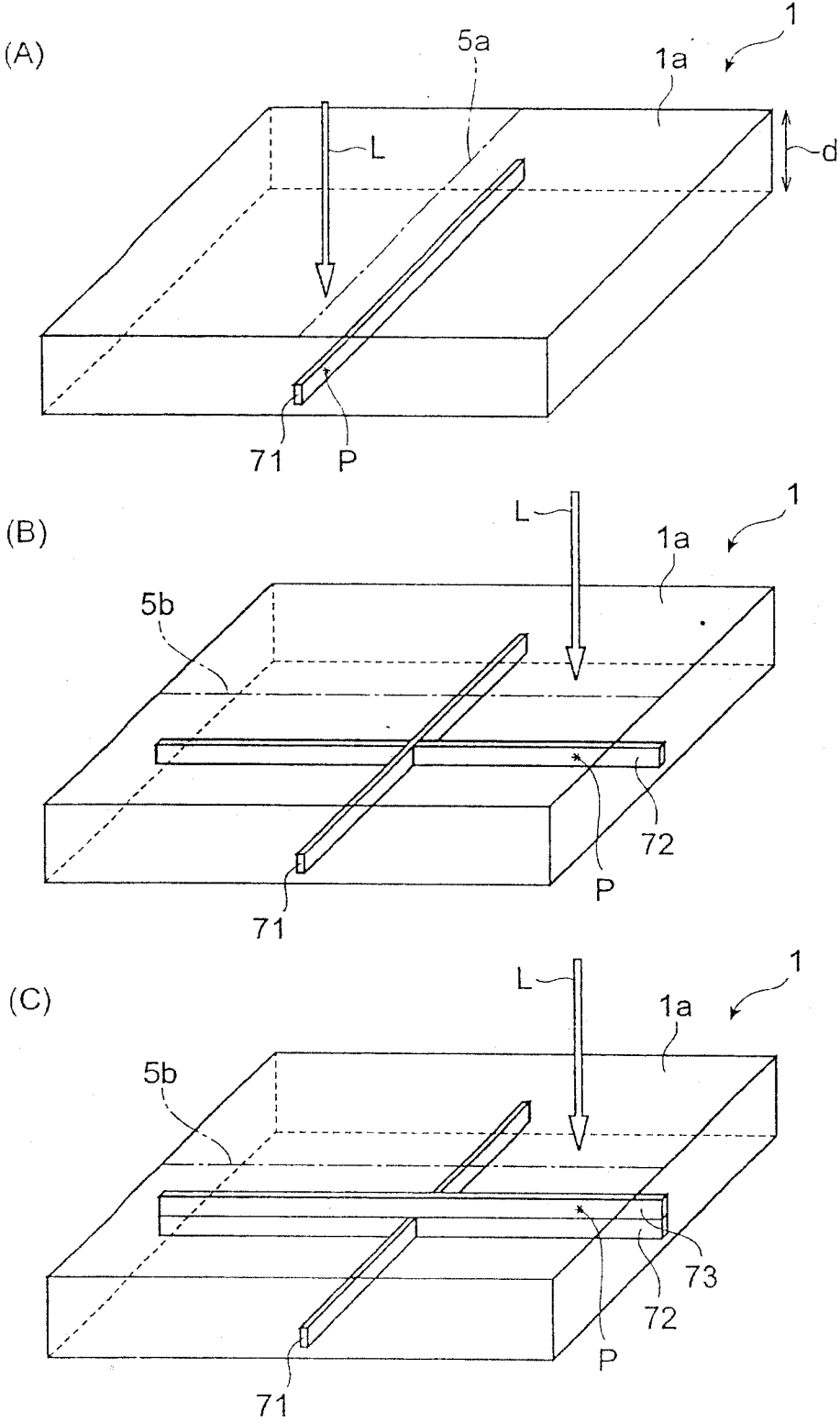


图14

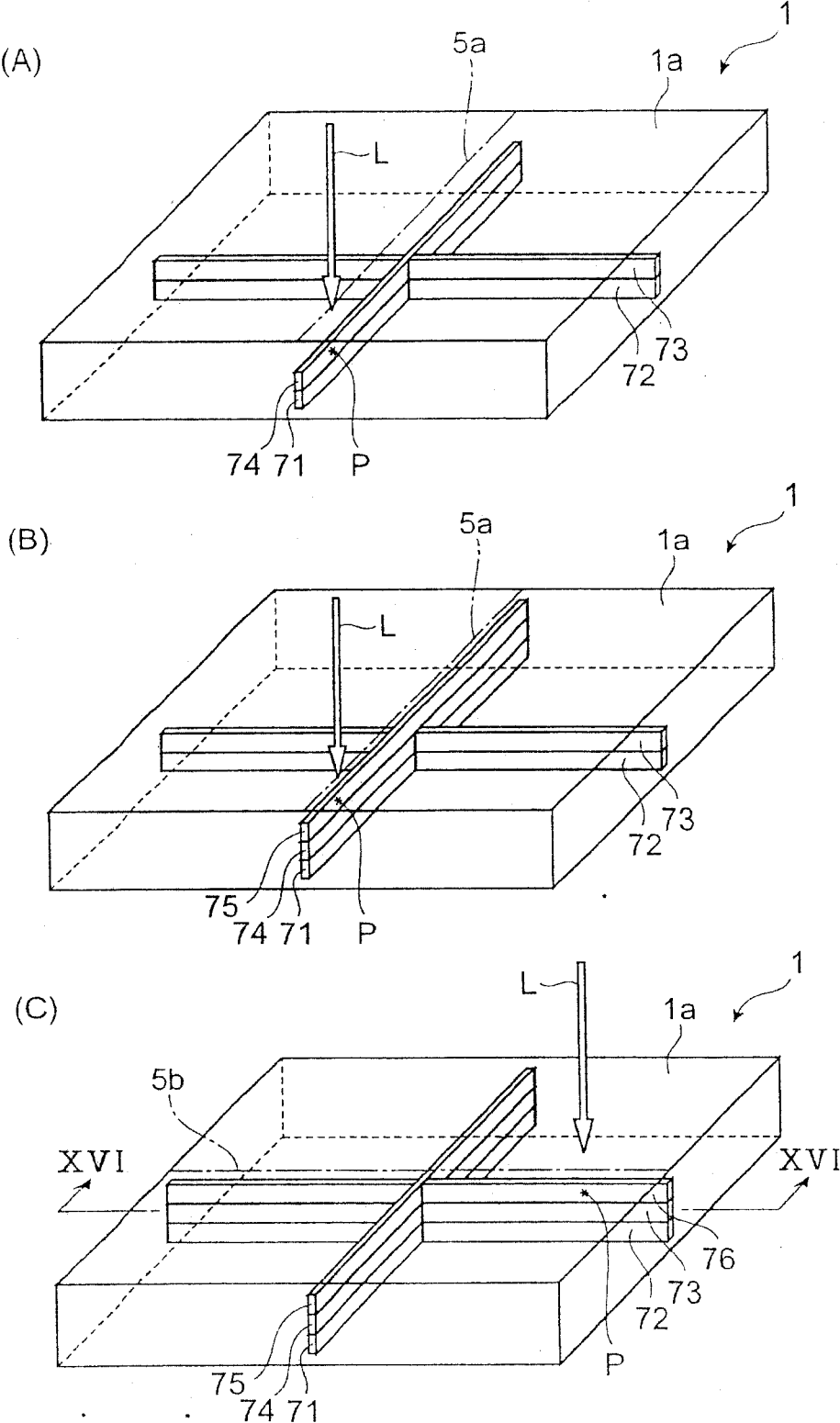


图15

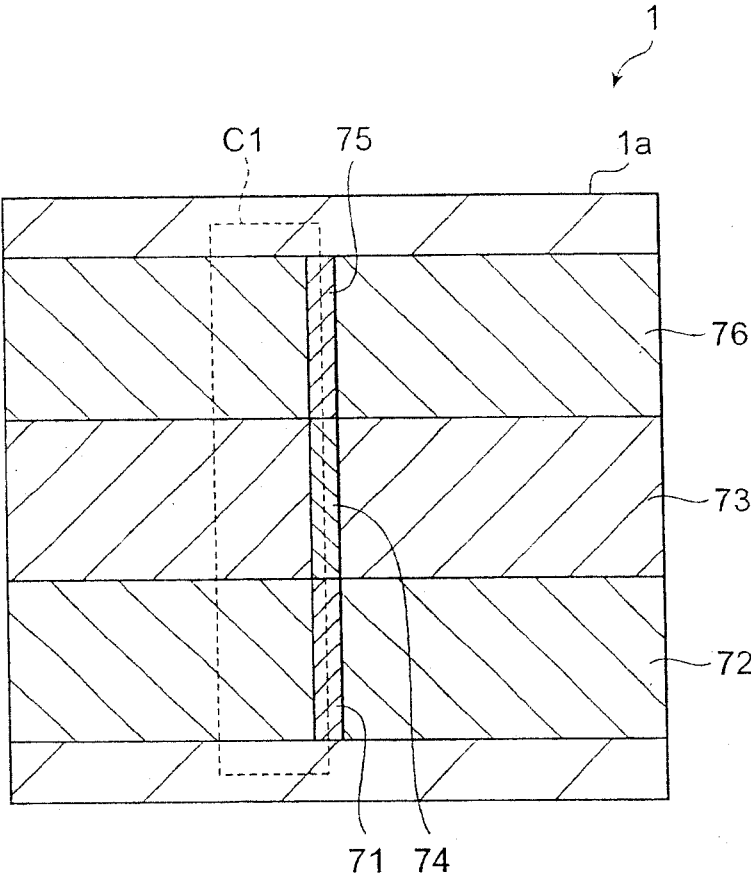


图16

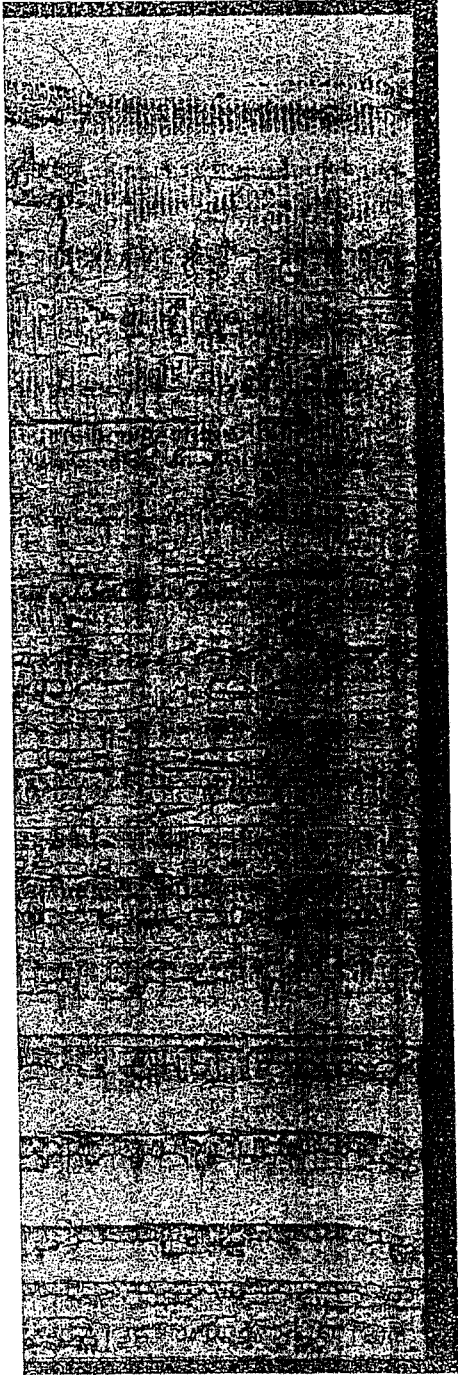


图17

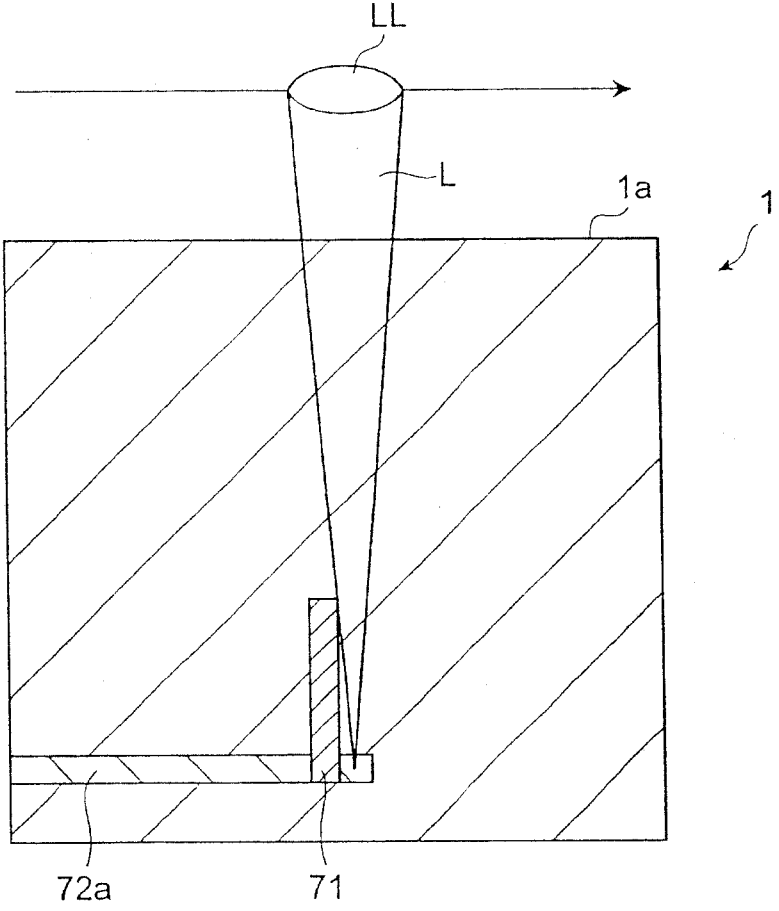


图18

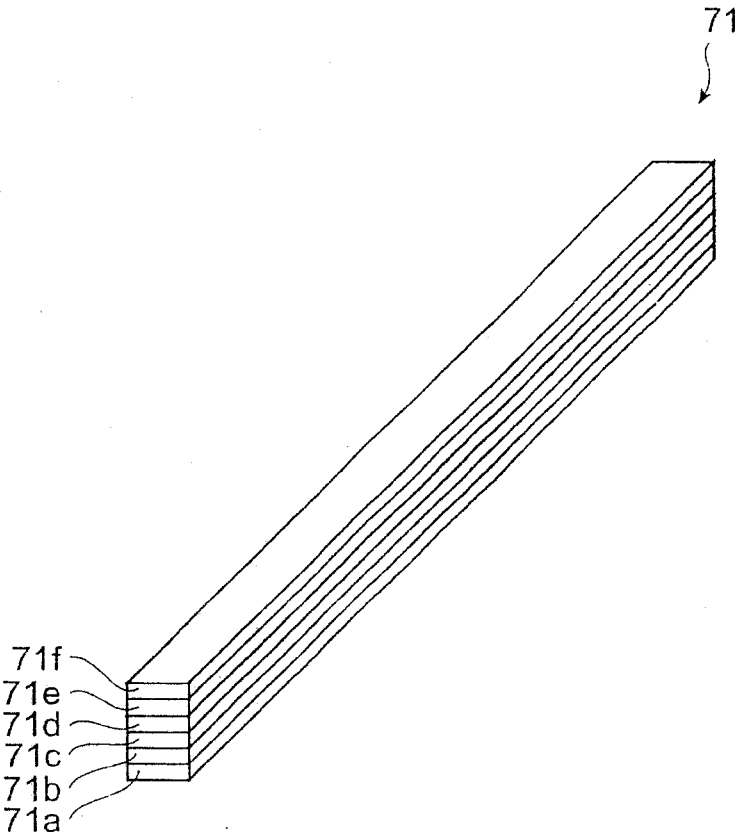


图19

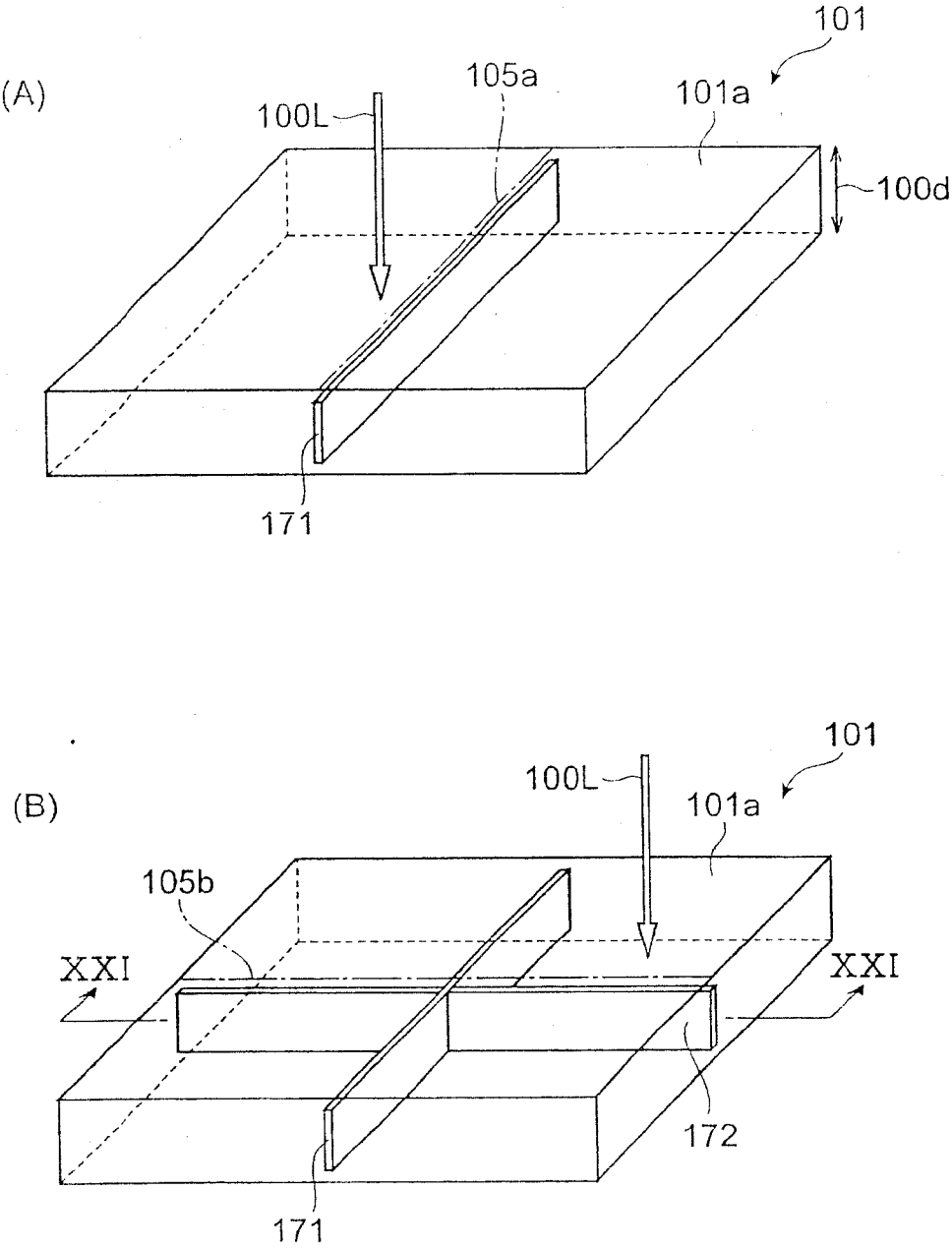


图20

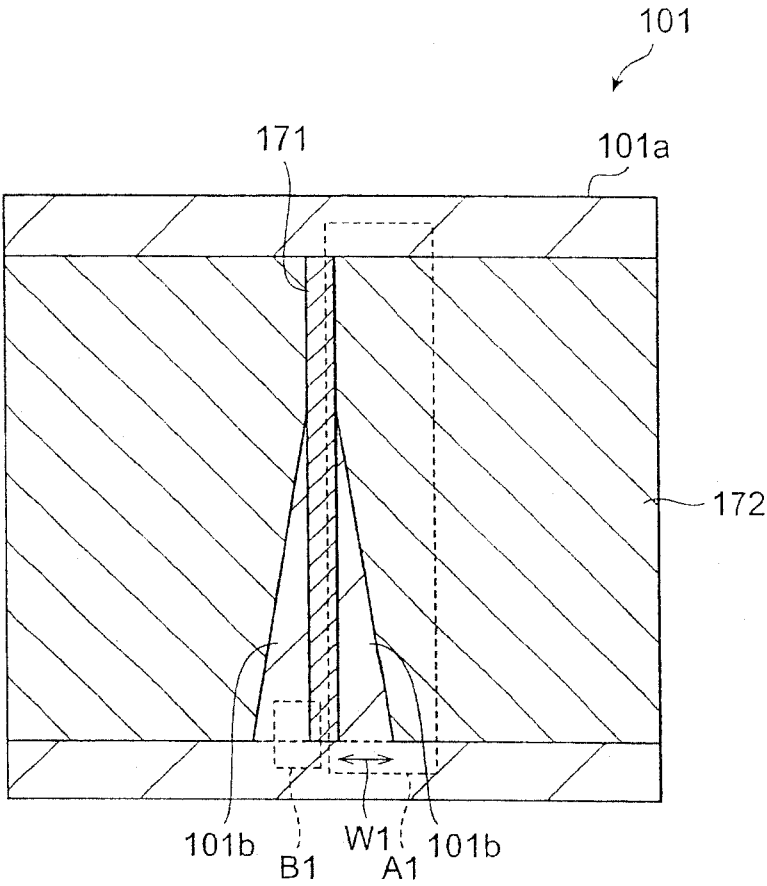


图21

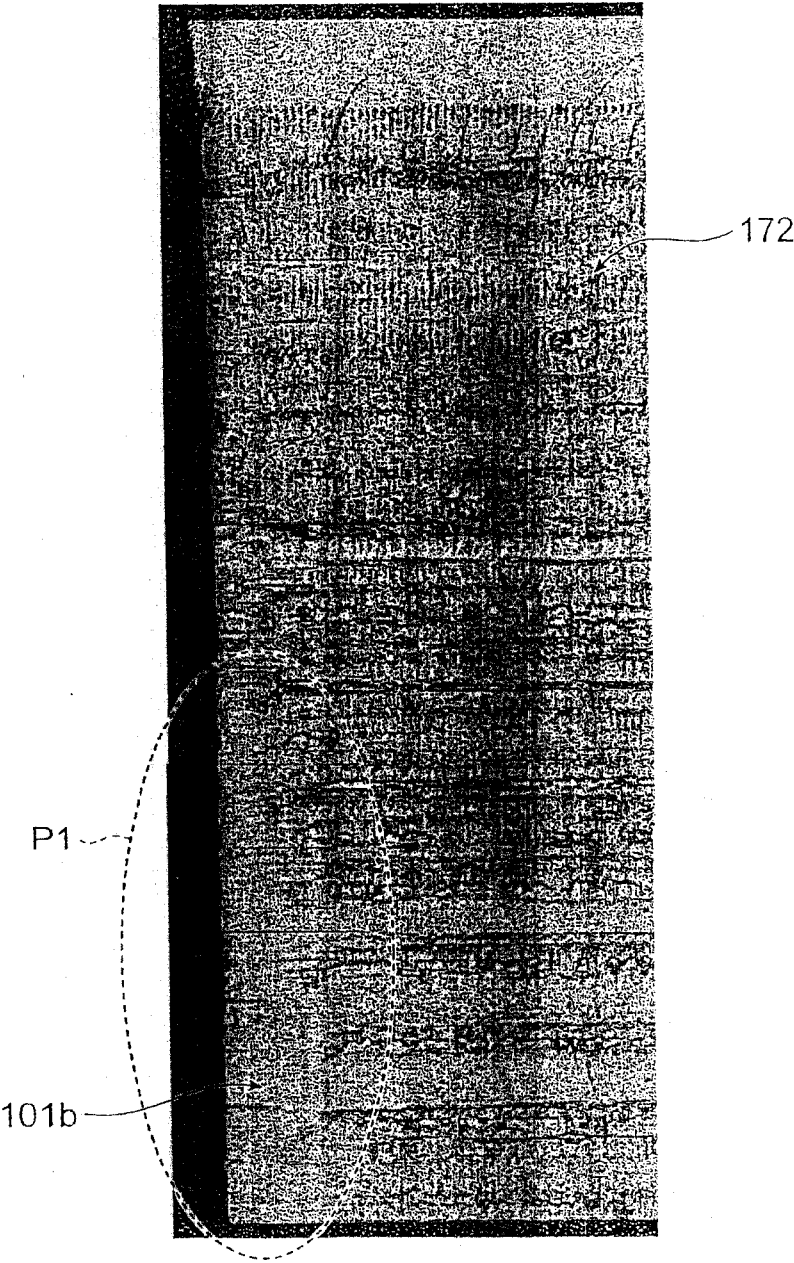


图22

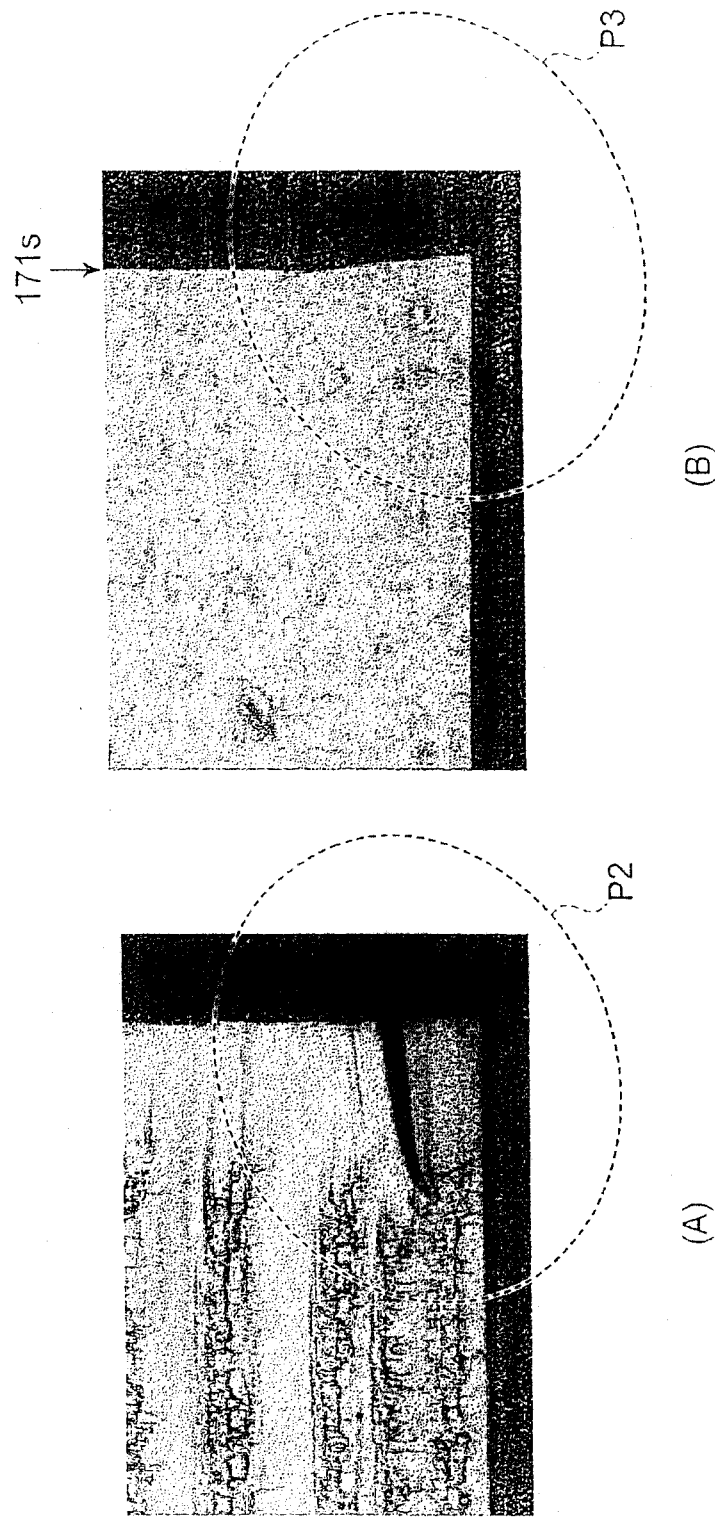


图23

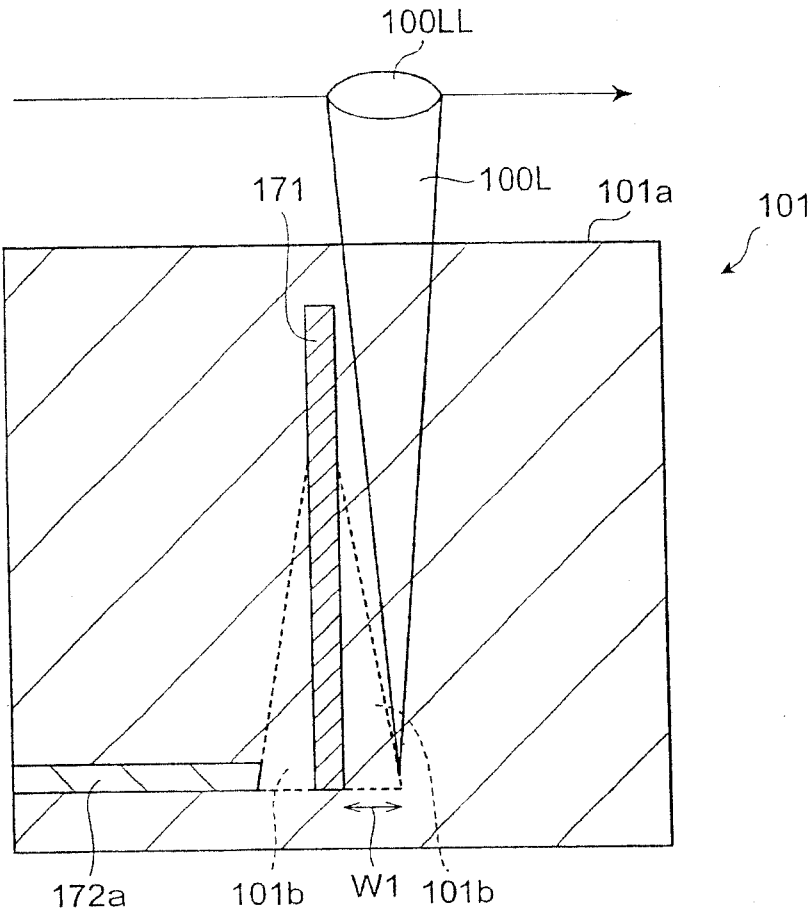


图24