



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 104690430 A

(43) 申请公布日 2015. 06. 10

(21) 申请号 201410858188. 3

(22) 申请日 2014. 12. 03

(30) 优先权数据

61/911, 345 2013. 12. 03 US

(71) 申请人 罗芬-新纳技术公司

地址 美国密歇根州

(72) 发明人 S·A·侯赛尼

(74) 专利代理机构 北京三友知识产权代理有限公司

公司 11127

代理人 吕俊刚 刘久亮

(51) Int. Cl.

B23K 26/38(2014. 01)

B23K 26/382(2014. 01)

B23K 26/362(2014. 01)

B23K 26/402(2014. 01)

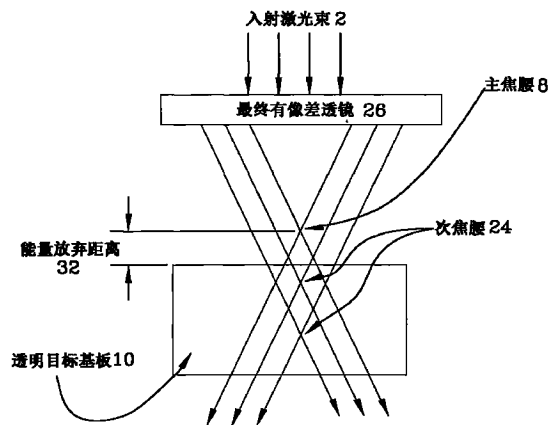
权利要求书5页 说明书14页 附图13页

(54) 发明名称

通过突发超快激光脉冲的成丝的激光处理硅的方法和装置

(57) 摘要

本申请涉及一种通过突发超快激光脉冲的成丝的激光处理硅的方法和装置。用于激光处理硅的方法包括将克尔材料放置为与硅接合，从而在它们之间形成界面。施加激光束，该激光束具有在突发包线中的至少一个子脉冲，子脉冲在第一波长下操作。激光束穿过分散透镜聚焦组件，并且到达克尔材料。第一波长被修改为多个第二波长，所述多个第二波长中的一些对处理硅是有效的。通过如下方式产生光声压缩处理：第二波长的一部分的激光脉冲能量传导经过界面并到达硅，形成克尔效应自聚焦，其通过输入到硅的额外能量在硅中传播，从而在硅中生成光丝。



1. 一种用于激光处理硅的方法,该方法包括如下步骤:

提供硅基板,所述硅基板包括顶部表面;

提供克尔材料,并且将所述克尔材料放置为与所述硅基板的所述顶部表面接合,从而在它们之间形成界面;

施加激光束,该激光束具有在突发包线中的至少一个子脉冲,所述突发包线包括 1-50 个子脉冲,在所述包线中的所述子脉冲在第一波长下操作,从激光源经过分散透镜聚焦组件,并且到达所述克尔材料;以及

当所述子脉冲行进经过所述克尔材料时改变所述子脉冲的所述第一波长,使得所述子脉冲在所述克尔材料和所述硅基板的所述顶部表面之间的所述界面处从所述克尔材料以多个第二波长射出,所述多个第二波长是白光;

所述子脉冲的所述多个第二波长的一部分大于或者等于  $1.3\mu\text{m}$ ;

通过如下方式来产生光声压缩处理:所述多个第二波长的大于或者等于  $1.3\mu\text{m}$  的所述部分传导经过所述界面并到达所述硅基板,形成克尔效应自聚焦,其通过输入到所述硅的额外能量而在所述硅基板中传播,从而在所述硅基板中生成光丝。

2. 根据权利要求 1 所述的用于激光处理硅的方法,该方法进一步包括如下步骤:

所述分散聚焦元件组件是单个非理想聚焦透镜,其放置于所述激光束的路径中,以形成包括主焦腰和一系列线性布置的次焦腰,即焦点,的分散聚焦光束路径。

3. 根据权利要求 1 所述的用于激光处理硅的方法,该方法进一步包括如下步骤:

所述分散聚焦元件组件包括沿着所述激光束的传播轴布置的多个光学元件。

4. 根据权利要求 1 所述的用于激光处理硅的方法,该方法进一步包括如下步骤:

所述克尔材料选自自由玻璃、蓝宝石和水组成的组。

5. 根据权利要求 1 所述的用于激光处理硅的方法,该方法进一步包括如下步骤:

以恒定内直径在所述硅基板内产生孔。

6. 一种用于激光处理硅的方法,该方法包括如下步骤:

提供硅基板,所述硅基板包括顶部表面;

施加激光束,该激光束具有在突发包线中的至少一个子脉冲,所述突发包线包括 1-50 个子脉冲,在所述包线中的所述子脉冲在第一波长下操作,从激光源经过分散透镜聚焦组件,并且到达所述硅基板;

当所述子脉冲行进经过所述硅基板的所述顶部表面时改变所述子脉冲的所述第一波长,使得所述子脉冲产生白光,所产生的所述白光包括多个次波长;以及

通过如下方式来生产光声压缩处理:所述白光能量传递经过所述硅,形成克尔效应自聚焦,其通过输入到所述硅的额外能量而在所述硅中传播,从而在所述硅中生成光丝。

7. 根据权利要求 6 所述的用于激光处理硅的方法,该方法进一步包括如下步骤:

所述分散聚焦元件组件是单个非理想聚焦透镜,其放置于所述激光束的路径中,以形成包括主焦腰和一系列线性分布的次焦腰,即焦点,的分散聚焦光束路径。

8. 根据权利要求 6 所述的用于激光处理硅的方法,该方法进一步包括如下步骤:

以恒定内直径在所述硅基板内产生孔。

9. 一种用于激光处理硅的方法,该方法包括如下步骤:

对硅目标的至少一个表面施加牺牲层,所述牺牲层包括一表面;

使来自激光源的激光能量脉冲经过分散聚焦透镜聚焦组件；

相对于所述激光源调整所述分散聚焦透镜聚焦组件的相对距离和 / 或角度,使得在分散聚焦构造中聚焦所述激光能量脉冲,以产生主焦腰和至少一个次焦腰；

调整所述主焦腰或所述硅目标的位置,使得所述主焦腰不停留在正被加工的所述牺牲层或所述硅之上或之内；

调整聚焦,使得在所述硅和所述牺牲层的所述表面上的激光通量的光斑位于所述主焦腰以上或以下；

调整在目标和所述牺牲层的所述表面上的激光通量的所述光斑,使得其具有的直径总是比在所述牺牲层和所述硅目标内形成的成丝的直径更大；

确保所述次焦腰的通量水平有足够的强度和数量,以保证声光压缩处理经过所述牺牲层和所述目标的所需体积的传播；以及

将来自所述激光源的至少一个突发激光脉冲经过所选的分散聚焦透镜聚焦组件施加到所述牺牲层,其中,在所述光斑上处施加到所述牺牲层的脉冲能量或通量的总量,使成丝和光声压缩处理形成并传播经过所述牺牲层和所述硅目标两者,其中,在所述光斑处所述激光脉冲接触所述牺牲层上的初始处理点；

在所述硅目标和所述激光源之间进行相对移动,使得所钻的孔形成为切割线；以及  
在所需处理已经完成时停止所述突发激光脉冲和成丝。

10. 一种用于激光处理硅的方法,该方法包括如下步骤：

对硅目标的至少一个表面施加牺牲层,所述牺牲层包括一表面；

使来自激光源的激光能量脉冲经过分散聚焦透镜聚焦组件；

所述分散聚焦透镜聚焦组件包括多个光学元件,所述光学元件选自自由以下元件构成的组：非球面板、远心透镜、非远心透镜、非球面透镜、环形面透镜、基于定制的有像差非完美透镜、正透镜和负透镜的组合或一系列矫正板相移掩模、锥透镜、任何相对入射光束倾斜的光学元件、和能够执行光束传播的主动补偿光学元件、以及沿着激光束的传播轴布置的产生明显非理想的、非高斯光束强度轮廓的任意数量的光学元件；

相对于所述激光源调整所述分散聚焦透镜聚焦组件的相对距离和 / 或角度,使得在分散聚焦构造中聚焦所述激光能量脉冲,以产生主焦腰和至少一个次焦腰；

调整所述主焦腰或所述硅目标的位置,使得所述主焦腰不停留在正被加工的所述牺牲层或所述硅之上或之内；

调整所述分散聚焦透镜聚焦组件的焦点,使得在所述硅和所述牺牲层的所述表面上的激光通量的光斑位于所述主焦腰以上或以下；

调整在目标和所述牺牲层的所述表面上的激光通量的所述光斑,使得其具有的直径总是比在所述牺牲层和所述硅目标内形成的成丝的直径更大；

确保所述次焦腰的通量水平有足够的强度和数量,以保证声光压缩处理经过所述牺牲层和所述目标的所需体积的传播；以及

将来自所述激光源的至少一个突发激光脉冲经过所选的分散聚焦透镜聚焦组件施加到所述牺牲层,其中,在所述光斑处施加到所述牺牲层的脉冲能量或通量的总量,使成丝和光声压缩处理形成并传播经过所述牺牲层和所述硅目标两者,其中,在所述光斑处所述激光脉冲接触所述牺牲层上的初始处理点；

在所述硅目标和所述激光源之间进行相对移动,使得所钻的孔形成切割线;以及在所需处理已经完成时停止所述突发激光脉冲和成丝。

11. 根据权利要求 10 所述的用于激光处理硅的方法,该方法进一步包括如下步骤:  
以恒定内直径在所述硅基板内产生孔。

12. 一种用于激光处理硅的方法,该方法包括如下步骤:

提供硅基板,所述硅基板包括顶部表面;

提供光学参量产生器;

施加激光束,该激光束具有在突发包线中的至少一个子脉冲,所述突发包线包括 1-50 个子脉冲,在所述包线中的所述子脉冲在  $1\ \mu\text{m}$  的第一波长下操作,从激光源经过分散透镜聚焦组件,并且到达所述光学参量产生器;

所述光学参量产生器下转换进入的所述子脉冲的频率,并且提供来自所述光学参量产生器的输出,其使所述第一波长增加到大于或等于  $1.3\ \mu\text{m}$  的第二波长;

通过如下方式来生成光声压缩处理:以所述第二波长传导到所述硅的所述激光脉冲能量,形成克尔效应自聚焦,其通过输入到所述硅的额外能量在所述硅中传播,从而在所述硅中生成光丝。

13. 根据权利要求 12 所述的用于激光处理硅的方法,该方法进一步包括如下步骤:

所述分散聚焦元件组件形成包括主焦腰和一系列线性布置的次焦腰,即焦点,的分散聚焦光束路径。

14. 根据权利要求 12 所述的用于激光处理硅的方法,该方法进一步包括如下步骤:

提供硅基板,所述硅基板包括顶部表面;以及

提供光学参量放大器,其放大在所述第二波长下操作的所述激光束的功率。

15. 根据权利要求 12 所述的用于激光处理硅的方法,该方法进一步包括如下步骤:

以恒定内直径在所述硅基板内产生孔。

16. 一种用于激光处理硅的方法,该方法包括如下步骤:

提供硅基板,所述硅基板包括顶部表面;

施加激光束,该激光束具有在突发包线中的至少一个子脉冲,所述突发包线包括 1-50 个子脉冲,在所述包线中的所述子脉冲在第一波长下操作,从具有大于  $1.3\ \mu\text{m}$  波长的激光源经过分散透镜聚焦组件,并且到达所述硅基板;

所述激光能量传递经过所述硅基板形成克尔效应自聚焦,从而在所述硅内部产生光丝,导致光声压缩和孔的形成;

所述基板或所述光学头的相对运动,使连续的孔形成划刻线。

17. 根据权利要求 16 所述的用于激光处理硅的方法,该方法进一步包括如下步骤:

减小通路宽度到小于  $10\ \mu\text{m}$ 。

18. 一种用于激光处理硅的方法,该方法包括如下步骤:

提供厚硅晶片;

所述硅晶片包括器件面和背面;

在所述器件面上放置带,用于密封所述器件面;

对所述硅晶片的所述背面进行减薄,以达到所述晶片的适当厚度;

施加激光束,该激光束具有在突发包线中的至少一个子脉冲,所述突发包线包括 1-50

个子脉冲,在所述包线中的所述子脉冲在大于或等于  $1.3\ \mu\text{m}$  的波长下操作,从激光源经过分散透镜聚焦组件,并且到达牺牲克尔材料;以及

通过如下方式生成光声压缩处理:在大于或等于  $1.3\ \mu\text{m}$  的所述波长下的所述激光脉冲能量传递经过所述硅,形成克尔效应自聚焦,其通过输入到所述硅的额外能量在所述硅中传播,从而在所述硅中产生光丝;

使用超快激光突发脉冲从所述背面划刻所述硅晶片,而不损坏所述 UV 带,所述 UV 带防止所述硅基板的所述器件面的碎片污染;以及

使用相对于激光束安装的共焦、IR 显微镜或只是普通显微镜,在所述硅晶片上调整所述激光束。

19. 根据权利要求 18 所述的用于激光处理硅的方法,该方法进一步包括如下步骤:

减小通路宽度到小于  $10\ \mu\text{m}$ 。

20. 一种用于激光处理基板的方法,该方法包括如下步骤:

提供基板,所述基板选自由 SiC、玻璃、硼硅玻璃、化学或热增强玻璃、蓝宝石、 $\text{LiNbO}_3$ 、钛:蓝宝石、 $\text{LiTaO}_3$ 、透明陶瓷、晶棒和 GaN 组成的组,所述基板包括顶部表面;

施加激光束,该激光束具有在突发包线中的至少一个子脉冲,所述突发包线包括 1-50 个子脉冲,在所述包线中的所述子脉冲在一波长下操作,从激光源经过分散透镜聚焦组件,并且到达所述基板;以及

通过如下方式生成光声压缩处理:在  $400\text{nm}$  到  $3\ \mu\text{m}$  范围内的波长下的所述激光脉冲能量传递经过所述基板,形成克尔效应自聚焦,其通过输入到所述基板的额外能量在所述基板中传播,从而在所述基板中产生光丝。

21. 一种用于激光处理基板的方法,该方法包括如下步骤:

提供基板,所述基板选自由 SiC、玻璃、硼硅玻璃、化学或热增强玻璃、蓝宝石、 $\text{LiNbO}_3$ 、钛:蓝宝石、 $\text{LiTaO}_3$ 、透明陶瓷、晶棒和 GaN 组成的组,所述基板包括顶部表面;

施加激光束,该激光束具有在突发包线中的至少一个子脉冲,所述突发包线包括 1-50 个子脉冲,在所述包线中的所述子脉冲在第一波长下操作,从具有大于  $1.3\ \mu\text{m}$  的波长的激光源经过分散透镜聚焦组件,并且到达所述基板;

所述激光能量传递经过所述基板,形成克尔效应自聚焦,从而在所述基板内产生光丝,导致光声压缩和孔的形成;以及

所述基板或所述光学头的相对移动,使连续的孔形成划刻线。

22. 一种用于激光处理硅锭的方法,该方法包括如下步骤:

提供硅锭,所述硅锭是圆柱形的,并且包括侧面和顶部平表面;

施加激光束,该激光束具有在突发包线的至少一个超快子脉冲,所述突发包线包括 1-50 个子脉冲,在所述包线中的所述子脉冲在第一波长下操作,来自具有大于  $1.3\ \mu\text{m}$  的波长的激光源;

在所述顶部表面以下聚焦所述超快子脉冲,以导致光学击穿;

进行光栅扫描以覆盖所述表面以下的的所有区域,导致在所述顶部表面之下的损坏区域的薄板;

使用分散透镜聚焦组件在所述硅锭中产生光丝,使其进入到所述硅锭的侧圆柱表面;以及

在所述分散透镜聚焦组件和所述硅锭之间产生相对移动,以在所述硅锭周围产生划刻线。

23. 根据权利要求 22 所述的用于激光处理硅锭的方法,其中,在所述分散透镜聚焦组件和所述硅锭之间产生相对移动以在所述硅锭周围产生划刻线的步骤是通过围绕所述硅锭旋转所述分散透镜聚焦组件来进行的。

24. 根据权利要求 22 所述的用于激光处理硅锭的方法,其中,在所述分散透镜聚焦组件和所述硅锭之间产生相对移动以在所述硅锭周围产生划刻线的步骤是通过相对于固定的分散透镜聚焦组件旋转所述硅锭来进行的。

25. 根据权利要求 22 所述的用于激光处理硅锭的方法,该方法进一步包括如下步骤:

以环状剥离所述硅锭的一部分;以及

以晶片的形式从所述硅锭裂开薄板。

26. 一种由权利要求 1 所述的方法制造的产品。

27. 一种由权利要求 6 所述的方法制造的产品。

28. 一种由权利要求 12 所述的方法制造的产品。

29. 一种由权利要求 16 所述的方法制造的产品。

## 通过突发超快激光脉冲的成丝的激光处理硅的方法和装置

[0001] 本专利申请要求 2013 年 12 月 3 日提交的序列号为 61911345 的美国临时专利申请的优先权和权益,2013 年 12 月 3 日提交的序列号为 61911345 的美国临时专利申请的全文在此通过引用并入本文。

### 技术领域

[0002] 本发明涉及用于激光处理半导体基板的方法和装置,更具体地,涉及通过使用标准波长的激光,高质量地激光切割单晶和多晶硅,生成具有低总粗糙度的接近于零的切割切口。

### 背景技术

[0003] 硅对具有波长大于  $1.3\ \mu\text{m}$  的光线是透明的。由于最常用的激光(例如 YAG 激光)在 1064nm 的波长范围中操作,这些激光产生的光线被硅部分的吸收,并且由于激光脉冲显著的线性吸收,因此不能通过由成丝技术诱发的突发超快脉冲激光干净的切割硅。然而,它们可以在这个波长下烧蚀地切割硅。相同的激光参数和装置可以通过成丝被用于切割玻璃或蓝宝石。使用在基板内密集聚焦光束导致光学击穿以将 Si 薄晶片切割成块,也已知为由 Hamamatsu 发明和改进的隐形切割。参见美国专利 No. 7396742

[0004] 为了通过成丝切割硅,要求形成在波长在  $1.3\ \mu\text{m}$  以上操作的激光。可选地,必须使用一种改变或修改 1064nm 波长激光束为正确波长的光束的方法。一种方法是使用光学参量产生器(OPG),或光学参量放大器(OPA)或光学克尔介质中白光产生器。

[0005] 在光学参量产生器中,给定频率的输入光束下转换为更低频率的两个光束。这两个更低频率的光束被称为“信号光”和“闲散光”。

[0006] 针对例如硅这样的材料的激光处理(钻孔或切孔)有极大需求。该应用广泛分布并且包括如半导体,微电子,用于空气监测、粒子监测、细胞检测、趋化作用、生物测定等等的过滤器,并且通常需要非常干净、非常均匀的几百纳米到数十微米直径的孔。现有技术的使用具有波长小于  $1.3\ \mu\text{m}$  的激光来处理硅的烧蚀方法留下非常粗糙的切割表面,使得材料具有微裂纹,产生表面丘状排出物(ejecta mounds),产生应力区域和容易导致大区域的附加热损害。虽然激光烧蚀处理可以通过选择具有波长由介质(例如,深紫外准分子激光或远红外  $\text{CO}_2$  激光)强烈吸收的激光来显著改进,但是由于在该物理烧蚀处理中内在的积极相互作用,以上缺点不会被消除。此外,现有技术激光烧蚀系统具有低产量时间,不能获得像本发明方法一样的接近的加工公差。

[0007] 本方法和装置通过突发超快激光脉冲的成丝,在不需要特别产生输出  $1.3\ \mu\text{m}$  和更大波长的激光的情况下,允许改进特别是硅的划刻和切割的处理。该新发明以独特和新颖的构造来使用并结合公知技术和新技术,以克服前述问题并且实现如此,提供足够信心和证据来投向产生以所需波长操作的新激光。

### 发明内容

[0008] 随后将会更详细描述的本发明的一个目的,其提供一种用于在透明基板中处理孔和切割的装置和方法,特别是诸如 Si 这样的材料,而不使用创建为以  $1.3\ \mu\text{m}$  波长操作的激光。

[0009] 本发明的再一个目的是,使用由特别调整的激光参数成丝突发超快激光脉冲,与分散聚焦透镜组件结合地产生的光丝,该分散聚焦透镜组件产生多个不同焦点,其中主焦点从不在目标的体积内或表面上驻留;由于声光压缩而在材料中产生光丝,其扩大孔,通过在工件和入射激光束之间相对运动,这可以用于形成划刻线或切割线。以下发明提供使用来自激光器的突发超快激光脉冲的相互作用的新颖的方法。尽管本发明被描述为使用普通  $1064\text{nm}$  波长的超快激光脉冲,但是其它波长也可以用于入射的激光束。

[0010] 公开了一种在透明材料如硅中和穿过透明材产生几乎为零切口宽度的切割以及纳米到微米量级的孔的新颖和独特的技术。其具有前面所述的众多优点和众多新颖特征,这导致一种在材料中产生无烧蚀钻孔的新方法,该方法没有被任何现有技术单独或结合地预期、明显呈现、建议、甚至暗示。特别是,它提供了以下超过现有技术的进步:平整的孔边,最少的微裂纹扩展,更长/更深的孔产生,无锥化孔,非线性吸收,具有恒定内直径的孔,最小化的入口畸变和降低的附加损害以及具有接近零切口的高速划刻线,由于更狭窄的通路宽度(器件之间的距离)这在半导体晶片上产生更多的器件。

[0011] 本发明的第一实施方式是使用 OPG 或 OPA 将  $1\ \mu\text{m}$  波长的激光转换为超过  $1.3\ \mu\text{m}$  波长。OPG 更容易和更快地实现。在从  $1\ \mu\text{m}$  源的光学参量产生器中,可以调整如  $\text{LiNbO}_3$  这样的 OPG 晶体以获得从  $1.3$  到  $1.6\ \mu\text{m}$  范围内的任何波长作为信号光和  $3\text{--}5\ \mu\text{m}$  光谱内的闲散光。为了本发明的目的,信号光和闲散光两者都可以用做光丝形成脉冲,因为 Si 对这两种波长的光谱是透明。在大多数应用中,可以使用信号光或闲散光,并且需要抛弃其它光束。使用两种波长对更高效的生产是有帮助的。

[0012] 本发明的另一个实施方式提供一种使用来自激光器的突发超快激光脉冲的相互作用的新颖的方法。在该方法中,激光和聚焦参数被调整为传播经过位于硅晶片顶部上的层(诸如蓝宝石或硼硅玻璃)或晶片薄层,以在该层下方的硅内产生光丝。光丝在所需形成点通过特定深度和宽度的光声压缩产生孔,并且通过使用波长比  $1064\text{nm}$  长的入射光束终止点。公知的是,使用克尔材料的超快激光脉冲的相互作用可以产生超连续光谱或白光。这导致波长转变,并且因此,光谱的更长波长部分可以穿透硅。

[0013] 由于蓝宝石(白光源)和硅之间的零距离,所以白光突发激光脉冲仍然保持它们的一致性,并且维持原光束的形状直到其从硅底部射出之后发散。白光产生多个次波长。白光的部分光谱不能穿透 Si 内部,这会导致 Si 的表面烧蚀。 $1064\text{nm}$  波长的激光可以用于生成超连续光谱。当引导经过透明层导致在硅中产生成丝的具有大于  $1.3\ \mu\text{m}$  的波长的光时,具有不同于  $1064\text{nm}$  的波长的其它超快激光也可以生成超连续光谱。在透明材料下方的成丝产生 Si 的光声压缩处理。

[0014] 由于 Si 具有非常低的三阶非线性效应, Si 通过自身具有非常低的白光转化效率。使用具有更高峰值功率的激光脉冲避免了前述顶部层的需求。没有必要使用顶部层,并且白光可以直接生成,顶部硅表面导致更高波长的光谱在 Si 中穿透。

[0015] 在所有以上陈述后,新的超快激光被设计为在突发模式中以  $2\ \mu\text{m}$  波长操作。超快激光脉冲在 Si 晶片内形成长光丝。加长改性区域可以形成内划刻,这导致晶片分离为更小



的片。

[0016] 该方法的一个非限制示例是用于激光处理硅锭,并且包括步骤如下:提供硅锭,该硅锭是圆柱形的,并且包括侧面和顶部平表面;施加激光束,该激光束具有在突发包线中的至少一个超快子脉冲,该突发包线包括 1-50 个子脉冲,在包线中的子脉冲在第一波长下操作,来自激光源具有大于  $1.3\ \mu\text{m}$  的波长;在顶部表面下方密集地聚焦超快子脉冲,以引发光学击穿和孔隙形成;进行光栅扫描以覆盖表面以下的所有区域;使用分散透镜聚焦组件在硅锭中生成光丝,使其进入到硅锭的侧圆柱表面;以及在分散透镜聚焦组件和硅锭之间产生相对运动,以在其附近产生划刻线。围绕硅锭以环状划刻的光丝使硅薄片从硅锭容易地分离。

[0017] 该方法的另一个非限制示例是用于激光处理硅,包括如下步骤:提供硅基板,硅基板包括顶部表面;提供克尔材料,并且将克尔材料放置为与硅基板的顶部表面接合,在它们之间形成界面;施加激光束,该激光束具有在突发包线中的至少一个子脉冲,突发包线包括 1-50 个子脉冲,在包线中的子脉冲在第一波长下操作,从激光源经过分散透镜聚焦组件,并且到达克尔材料;以及,当子脉冲行进经过克尔材料时,改变子脉冲的第一波长,使得子脉冲在克尔材料和硅基板的顶部表面之间的界面处从克尔材料以多个第二波长射出,所述多个第二波长是白光;子脉冲的多个第二波长的一部分大于或者等于  $1.3\ \mu\text{m}$ ;通过如下方式来产生光声压缩处理:所述多个第二波长的大于或者等于  $1.3\ \mu\text{m}$  的部分的激光脉冲能量传导经过界面到达硅基板,产生克尔效应自聚焦,其通过输入到硅的额外能量在硅基板中传播,从而在硅基板中生成光丝。

[0018] 本发明的主题在本说明书的结论部分中特别指出和明确提出。然而,操作的组织和方法,与本发明的进一步的优点和目的一起,可参考以下的说明书并结合附图来更好地理解,其中相同的附图标记表示相同的元件。本发明的其它目的、特征和方面将在以下详细描述。

[0019] 虽然本发明主要聚焦在硅划刻上,但是可以理解的是,本文公开的系统和方法同样适用于钻孔、划切、切割和划刻其它基板的加工处理。该基板可以具有不同的形状。

## 附图说明

[0020] 图 1 是本发明的示意图;

[0021] 图 2 是表示由图 1 的激光布置钻出两个孔的示意侧视图;

[0022] 图 3 是本发明的另一个示意图;

[0023] 图 4 是使用分散聚焦透镜布置的本发明的示意图;

[0024] 图 5 是使用分散聚焦透镜布置的本发明的另一个示意图;

[0025] 图 6 是使用分散聚焦透镜布置并且主焦点位于目标以上的焦腰分布的本发明示意图;

[0026] 图 7 是使用分散聚焦透镜布置并且主焦点位于目标以下的焦腰分布的本发明的示意图;

[0027] 图 8 是图 6 的本发明的示意图,其中孔已经被钻出;

[0028] 图 9 是使用分散聚焦透镜布置并且主焦点位于在多个目标以下的焦腰分布的本发明的另一个示意图;

- [0029] 图 10 是使用蓝宝石牺牲层和带来处理硅基板的本发明的另一个示意图；
- [0030] 图 11 是激光处理系统的示意图；
- [0031] 图 12 是容易划切的硅锭侧划刻的示意图；
- [0032] 图 12A 是图 12 的一部分的放大图；以及
- [0033] 图 13- 图 14 示出激光能量分布的两种构造。

### 具体实施方式

[0034] 为了更好地理解本发明的下文详细说明，并且为了更好地理解对现有技术的贡献，已经相当宽泛地指出了本发明的更重要的技术特征。当然，本发明的其它技术特征此后将被描述，并且形成所附权利要求的主题。

[0035] 本公开内容的各种实施方式和方面将参考以下讨论的细节来描述。以下说明书和附图是公开内容的说明，并不对所公开内容构成为限制。大量特定的细节被描述，以便对本公开的各种实施方式提供深入的理解。然而，在某些情况下，为了提供本公开实施方式的简洁讨论，不描述公知或常规细节。

[0036] 在这个方面，在详细解释本发明的实施方式之前，需要理解的是，本发明不限制其应用于构造的细节以及以下说明书中陈述或附图中说明的部件的设置。本发明可以是其它实施方式，并且能够以不同的方式实行和实现。同样，可以理解的是，这里使用的措辞和术语的目的是描述，而不应当认作是限制。

[0037] 如果存在具有这种波长的短持续时间的激光脉冲，则硅具有  $1.3 \mu\text{m}$  后的传输频段，其可以在透明材料内部充分的传播，并且在主体内部通过在透镜的聚焦位置处的非线性吸收处理而局部诱发改性。然而，经过如下的线性和非线性效应的结合作用，通过激光脉冲的空间和时间曲线的强烈矫形，超快激光脉冲 ( $> 1\text{MW}$  峰值功率) 在硅中的传播是复杂的，这些线性和非线性效应例如为：群速色散 (GVD)、线性衍射、自相位调制、自聚焦、电子从价带到导带的多光子 / 隧穿电离 (MPI/TI)、等离子散焦、自陡峭。所有这些物理效应可使用  $1 \mu\text{m}$  波长的超快激光脉冲在例如玻璃这样的光学介质中观察到 [参见, SL chin 等, Canadian Journal of Physics, 83 期, 863-905 页 (2005)]。

[0038] 除了使用硅 (Si) 基板之外，其它材料诸如 SiC、玻璃、硼硅玻璃、化学或热增强玻璃、蓝宝石、 $\text{LiNbO}_3$ 、硅、钛：蓝宝石 (Ti:Sapphire)、 $\text{LiTaO}_3$ 、透明陶瓷、晶棒和 GaN，也可以根据本公开的方法来处理。这些材料可以是任何几何形状，而且所公开的方法可以以任何几何形状应用到它们。

[0039] 使用可以在硅的透射光谱中操作的超快突发激光会引发光丝形成，并且导致内部沿着划刻线的光声压缩，其产生非常良好和平整的划刻。

[0040] 在这个方法中， $1 \mu\text{m}$  波长 (脉冲) 的超快脉冲突发穿过具有非常高三阶非线性的  $\text{LiNbO}_3$  晶体，并且基于相位匹配，生成两个波长，以使它们频率之和等于脉冲频率。两个波长称为“信号光”和“闲散光”。通常信号光具有非常低的效能，并且它比闲散光更快发散。最好是信号光和闲散光都对硅透明。

[0041] 调整焦点，以使信号光和闲散光在硅内部成丝。信号光和闲散光引发更多明显光丝，导致容易切割。使用 OPA (光学参量放大器) 会使用泵激放大信号光或闲散光。使用 OPA 涉及比 OPG (光学参量产生器) 更复杂的设定，但能量等级足够用来成丝。

[0042] 当超快激光脉冲在例如玻璃或蓝宝石或水这样的光学克尔材料中传播时,它们经过非线性效应,其中在脉冲中心的光比在脉冲边缘(端部)的光行进的更慢。这导致脉冲的自相位调制,引起脉冲频率的变化。

[0043] 基本上,非线性处理引起原始激光束严重的频谱展宽,这导致平缓的频谱连续。结果是包括大量不同波长的称作白光或超连续谱的光的产生。白光光谱从紫外线范围开始并且延伸到几个  $\mu\text{m}$ 。1.3  $\mu\text{m}$  以下的波长被硅吸收,但是更长波长的白光在硅内部连续穿过硅沟道。白光产生多个次波长。

[0044] 如果诸如为蓝宝石(或玻璃),其优选厚度为 50  $\mu\text{m}$ –500  $\mu\text{m}$  这样的克尔材料放在硅晶片的顶部上,则突发超快激光脉冲传播进入蓝宝石,它们会产生从紫外线范围(波长 200nm)延伸到红外线范围(达到 5  $\mu\text{m}$ )的白光(超连续光谱)。如果完成这些同时通过突发超快激光脉冲的成丝来划刻或切割蓝宝石,如果使用适当的聚焦,则成丝还会产生在硅晶片下方。明显地,蓝宝石层将是牺牲的,由于它将不得被以与下方的硅相同的几何构造划刻。

[0045] 通过如下方式完成任何切割:使用能够烧蚀处理所需距离的激光通量水平,通过孔的形成,并且使用在划刻处理临界水平以下但在声光处理临界水平以上的激光通量水平来完成在材料中钻取所需深度,并结合激光源和目标之间的相对移动。

[0046] 通过使用超快白光源处理的光声压缩方法来切割硅可以通过以下步骤进行:

[0047] 1、对硅目标的至少一个表面施加玻璃或蓝宝石牺牲层;

[0048] 2、从激光源经过所选分散聚焦透镜聚焦组件而通入激光能量脉冲;

[0049] 3、相对于激光源调整所述分散聚焦透镜聚焦组件的相对距离和/或角度,从而以分散聚焦构造聚焦激光能量脉冲来产生主焦腰和至少一个次焦腰;

[0050] 4、调整主焦腰或目标,以使主焦腰不会停留在牺牲层或被加工的目标之上或之内;

[0051] 5、调整聚焦,以使激光通量的光斑在牺牲层的表面上,而且目标位于所述主焦腰之上或之下;

[0052] 6、调整在牺牲层表面上的激光通量的光斑和目标,从而它具有总是比在牺牲层和目标上形成的成丝的直径更大的直径;

[0053] 7、确保次焦腰的通量水平有足够的强度和数量,以保证声光压缩处理传播经过牺牲层和目标的所需体积;以及

[0054] 8、施加从激光源到牺牲层经过所选分散聚焦透镜聚焦组件的合适波长、合适突发脉冲重复率和合适突发脉冲能量的至少一个突发激光脉冲,其中,在激光脉冲接触在牺牲层上初始处理点处的光斑上施加到牺牲层的脉冲能量或通量的总量,比形成并传播成丝和光声压缩处理经过牺牲层和硅目标两者所需要的临界能量水平更高,但比形成任何烧蚀处理所需要的阈值临界能量水平更低。

[0055] 9、在硅目标和激光源之间进行相对移动,以使得所钻的孔发展为切割线;以及

[0056] 10、在所需处理已经完成时停止突发激光脉冲和成丝。

[0057] 步骤完成。

[0058] 还可预见的时,以上处理可以使用在牺牲层上进行烧蚀处理和仅在硅上进行光声压缩处理来实现。在这个情况下,步骤 8 可以被修改为如下:

[0059] 施加从激光源到牺牲层经过所选分散聚焦透镜聚焦组件的合适波长、合适突发脉冲重复率和合适突发脉冲能量的至少一个突发激光脉冲,其中,在激光脉冲接触在牺牲层上初始处理点处的光斑上施加到牺牲层的脉冲能量或通量的总量,比形成烧蚀处理到所需深度所需要的临界能量水平更高,并且之后在牺牲层中烧蚀所钻的孔的底部的通量能量,比形成成丝和光声压缩处理经过剩余牺牲层和整个硅目标两者所需要的临界能量水平更高,但比形成任何烧蚀处理所需要的阈值临界能量水平更低。

[0060] 硅自身不具有强烈的克尔非线性,但是如果使用更高的峰值功率脉冲,则在 Si 上可能产生白光。在这种情况下,可以使用更长波长光谱的突发超快白光脉冲来划刻 Si。在这种情况下,不需要在 Si 的顶部施加蓝宝石或玻璃的牺牲层。

#### [0061] 激光处理技术

[0062] 除非另外定义,否则本文使用的所有技术和科学术语具有与本领域技术人员通常理解的含义相同的含义。除非另外指出,否则例如在整个上下文中,如同这里使用的,以下术语旨在具有以下含义:

[0063] 如本文使用的,术语“光声钻孔”涉及如下的处理目标的方法,该方法通常通过使用比用于烧蚀钻孔或切割技术更低能量的光束照射它,通过从固体的切割或钻孔来处理目标。通过跟随有热弹性膨胀的光学吸收处理,在所照射的材料内产生宽频声波,以在其中围绕光束传播轴(通常和孔的轴一起)形成压缩材料的路径,其特征是平滑壁的孔,在材料内减小或消除的排出物和最小化的微裂纹的形成。

[0064] 如本文使用的,术语“光丝改性区域”涉及在基板内的光丝区域,其特征是由光束路径限定的压缩区域。

[0065] 如本文使用的,词语“突发”、“突发模式”、或“突发脉冲”涉及具有大致小于激光重复周期的相对时间间隔的激光脉冲的集合。应当理解地是,突发中脉冲之间的时间间隔可以是恒定的或变化的,而且突发中脉冲的幅度可以是变化的,例如,以便在目标材料内产生优化或预定的光丝改性区域。在某些实施方式中,可以以各种强度或能量的脉冲构成突发来形成突发脉冲。

[0066] 如本文使用的,术语“基板”意思是(对波长)透明材料目标,并且可以选自硅、碳化硅、包含透明陶瓷的组、聚合物、透明导体、宽禁带玻璃、水晶、石英晶体、金刚石(天然或人造)、蓝宝石、稀土配方、用于显示器的金属氧化物和具有或没有涂层的抛光或未抛光的非晶氧化物的组,并且意为涵盖它们的任何几何构造,例如但不限制于板材或晶片。基板也可以选自包含生物芯片、光学传感器、平面光波导、光学纤维、硅、III-V 半导体、微电子芯片、记忆芯片、传感器芯片、电子光学镜片、发光二极管(LED)、激光二极管(LD)、和垂直腔面发射激光器(VCSEL)的组。目标或目标材料通常选自基板。

[0067] 如本文使用的,“激光成丝”是通过使用激光在材料中产生光丝的行为,该处理可以通过光丝形成的压缩来改性材料,其中光丝有足够强度来“移动”材料而不是“去除”材料。

[0068] 如本文使用的,“主焦腰”涉及在最后聚焦之后(穿过最后光学元件组件之后,光线入射到目标上之前)最集中聚焦和最强焦点强度的光束。还可以互换地使用术语“主聚焦”。术语“次焦腰”涉及在分散光束中具有比主焦腰更低强度的任何其它焦点。还可以互换地使用术语“次聚焦”、“次焦点”。

[0069] 如本文使用的,术语“牺牲层”涉及被可移除地施加到目标材料的材料。

[0070] 如本文使用的,术语“处理”或“改性”包括对目标或基板的表面或空间进行钻孔、切割、划刻或划切。

[0071] 如本文使用的,术语“焦点分布 (focal distribution)”涉及入射光线穿过透镜组件 (其聚合为正透镜) 的空间分布。通常,随后汇聚的光斑的有效强度是距聚焦透镜中心的距离的函数。

[0072] 如本文中使用的,术语“畸变透镜”涉及不是完美透镜的聚焦透镜,其中在 X 平面内的透镜曲率不等于 Y 平面内的透镜曲率,使得穿过透镜的光线产生分散聚焦模式。正畸变透镜是聚焦集中透镜,并且负畸变透镜是聚焦发散透镜,有时需要两者但是总是至少一个,来产生划刻或划切材料需要的线性阵列的孔以及不是阵列的分离孔。

[0073] 超短脉冲激光为微电机提供高强度能量,并且通过逐级驱动多光子、隧穿电离、和电子雪崩处理来改性和干净地处理表面。目前的问题是,如何将足够的能量放入目标的透明材料中,小于在烧蚀钻孔中使用的,但是高于形成和保持光声压缩的临界能量水平,使得生成在材料中焦点改变折射率而不受到光学击穿 (如现有技术烧蚀钻孔系统所经受的) 的光丝,从而在目标材料中激光束的持续再聚焦可以足够继续经过长距离,从而甚至可以用经过钻孔距离的微不足的锥形来对多堆叠基板同时钻孔,并且相对平整的孔壁可以在目标材料上方、下方或内部形成。通过制造单元的引导 / 转向形成的光丝可以被用于对目标的体积或表面进行钻孔、切割、划刻或划切。

[0074] 参照图 1,本公开提供通过激光诱发光声压缩来在透明材料内处理孔的装置、系统和方法。不同于已知的激光材料处理方法,本发明的实施方式使用如下的光学构造,其以分散方式沿着纵向光束轴聚焦入射光束 2,使得主聚焦 8 和次焦点 24 线性对齐 (与孔的线性轴一致,但垂直间隔主聚焦或焦腰),以允许当其行进经过材料时入射光束的重复再聚焦,从而使得能够生成在材料中沿着光束路径改变折射率并且不受到光学击穿的光丝 (在使用或不使用初步或准成丝的现有技术中烧蚀钻孔系统中可见),使得在目标材料中激光束的连续再聚焦可以延续经过长距离。

[0075] 仍然参考图 1,该分散聚焦方法通过由分散聚焦元件组件生成次聚焦,并且通过定位主焦腰从材料 (牺牲层或其它现有外壳) 在材料上或在材料中到材料外部的位罝,来允许从在主焦腰处建立的入射光束 2 “抛弃”或减少不必要能量 32。结合主焦腰和次焦腰的线性对齐的这种光束通量的抛弃,使光丝经过一段距离后形成,远超过使用先前已知的方法 (远超过 1mm 达到 10mm),同时保持足够的激光强度 (通量  $\mu\text{J}/\text{cm}^2$ ),以经过光丝区域的整个长度而完成实际改性和压缩。这种分散聚焦方法支持具有长度为 1-10 毫米的光丝的形成,并且还能保持能量强度在材料的光学击穿阈值之下,具有足够的强度,使得甚至可以穿过不同材料 (例如在目标材料的层之间具有经过钻孔距离的微不足的锥体的空气或聚合物间隙) 来对多堆叠基板同时钻孔 / 加工,并且相对平整成壁的孔壁可以从目标材料的上部、下部或内部形成。参见图 2。

[0076] 激光脉冲的光学强度形成自聚焦现象,并且生成足够强度的光丝,以在光丝内 / 周围 / 附近的区域内无烧蚀地形成光声压缩,使得产生与光丝一致的几乎恒定直径的线性对称空隙,还导致所述激光脉冲的连续自聚焦和散焦,与通过分散光束的第二焦腰输入能量相结合来形成光丝,指引 / 引导穿过或经过目标材料的特定区域孔的形成。生成的孔可

以不从目标去除材料形成,而是围绕孔的外周通过目标材料的光声压缩形成,其中孔在其形成时的位置还有助于“引导”激光向下通过正被钻的孔的长度,或有助于由连续的孔形成产生的刻画线。

[0077] 已知的是,在目标 10 表面的通量水平是入射光束强度和特定分散聚焦元件组件的函数,并且针对特定目标材料、目标厚度、处理所需速度、总的孔深和孔直径来进行调整。此外,钻孔的深度取决于经受吸收激光能量的深度,并且因此通过单个激光脉冲改性的材料的量,取决于材料的光学性能和激光波长和脉冲长度。出于此原因,在本文中列出宽范围的处理参数,每个特定基板和匹配应用需要经验确定,以便具有所使用的系统和材料的最佳结果。这样,如果在表面的通量水平足够高以形成短暂、局部的烧蚀(蒸发)处理,则目标 10 上的入射点可以经历一些最低限度的烧蚀丘状排出物的形成 20,尽管这种等离子形成和烧蚀对发明的实施不是必需的。在特定情况中,可能需要使用目标表面上的通量水平,该通量水平的强度足够生成短暂、瞬时的烧蚀钻孔,钻出具有宽倾斜入口,还具有均匀直径的孔 22 的剩余,如通过分散聚焦混合钻孔方法所制造的,该方法使用的能量水平允许瞬时烧蚀技术之后进行连续光声压缩技术。这可以通过本发明在目标表面选择通量水平来实现,其平衡了材料中光束的线性吸收和非线性吸收,使得烧蚀处理所需的通量水平将在倾斜的(或其它几何结构)所需深度上被消耗。如果在目标表面施加牺牲层 30,那么这种混合技术导致可以被消除的较小丘状排出物 20。常用牺牲层为玻璃、工程氧化物、宽带隙、蓝宝石、树脂或聚合物,并且通常仅需要在 1 到 5000 微米范围的厚度(尽管 10-30 微米的范围会被用于透明材料处理)。该牺牲层将通过防止熔融碎片粘附到表面,防止如本领域公知的代替可去除牺牲材料的粘附,来阻止目标 10 上丘状排出物的形成。

[0078] 本公开在以下非限制示例中提供通过在目标内部诱发光声压缩的超快激光脉冲成丝来在透明材料中处理孔的装置、系统和方法。

[0079] 示例 1:

[0080] 参照图 10,包括若干器件 79 的半导体晶片 77 在器件面覆盖有 UV 带 78。如图 10 中所示,蓝宝石 76 层叠在半导体晶片 77 的顶部 77B 上。蓝宝石是克尔介质。不像先前已知的激光材料处理的方法,本发明的实施方式使用如下的光学结构:在基板 77 底部或顶部但不在基板 77 内聚焦入射光束 2。由于超过 5MW(足够用于在蓝宝石中自聚焦)的激光脉冲的高峰值功率,脉冲立刻在克尔介质 76 上开始自聚焦。非线性效应帮助在衍射极限以下聚焦激光束的激光脉冲,并在由蓝宝石 76 制成的牺牲层中产生成丝。该处理产生白光生成和刚好在透明硅目标 77 下方的锥形发光 75 的组合。

[0081] 白光光谱被硅 77 在顶部表面 77B 部分吸收,但是光谱的一部分随着硅内部成丝形状而透射到硅 77,造成光声压缩和孔形成。突发脉冲包线包括起着重要作用的子脉冲,其中基于硅作用的子脉冲这样做,使得当下一个突发子脉冲到达时硅不被释放并且热积累凝固成丝。连续的子脉冲意味着更多显著的孔的形成。没有限制,如果仅使用单个脉冲也可以形成成丝,但是多个子脉冲的热积累产生更好的效果。

[0082] 通过在适当方向上移动光束或目标,孔相互在旁边形成,导致在蓝宝石 76 和硅基板上的划刻线。划刻线宽度在  $1\ \mu\text{m}$  量级,并且通过减少通路宽度(器件之间的距离)(其现在大约为  $100\ \mu\text{m}$ ),并且理想的减少到  $30\ \mu\text{m}$ ,这非常有益于在晶片上填入更多器件。使用突发成丝划刻,通路宽度可以设定为  $10\ \mu\text{m}$ 。

[0083] 为了完成光声压缩处理,需要以下系统:

[0084] • 能够产生光束的突发脉冲激光系统,该光束包括可编程序列的脉冲,其在突发脉冲包线内含有 1 到 50 个子脉冲。此外,该激光系统根据使用的目标材料而需要能够产生 5 到 200 瓦特的平均功率。

[0085] • 突发脉冲激光,其具有至少 15ps 但是可以是 15ps 到 10ps 之间任何值的脉冲持续时间。

[0086] • 分散聚焦元件组件(隐含包括正透镜和负透镜,但总体上具有正聚焦效果),其能够产生弱会聚、多焦点、空间光束轮廓,其中目标材料处入射通量足以引起克尔效应自聚焦和传播。

[0087] • 光学传导系统,其能够将光束传导给目标。

[0088] 商业操作也需要材料(或光束)相对光学器件(或反之亦然)的平移能力,或由系统控制计算机驱动的协调/复合运动的移动能力。

[0089] 使用该系统钻孔或通过光声压缩钻孔需要以下用于特定目标的操作条件:分散聚焦元件组件的性能;突发脉冲激光束特性;和主焦点的位置。

[0090] 图 1 和 10 中的分散聚焦元件组件 26 可以是现有技术中常用的已知聚焦元件的多个,例如非球面板、远心透镜、非远心透镜、非球面透镜、环形面透镜、基于定制的(custom ground)有像差(非完美)透镜、正透镜和负透镜的或一系列矫正板(相移掩模)的组合、锥透镜、任何相对入射光束倾斜的光学元件、和能够执行光束传播的主动补偿光学元件、以及可以产生明显非理想的非高斯光束强度轮廓而不必关联彗形像差的任意数量的光学元件。

[0091] 如上所述候选光学元件组件的主焦腰,在主焦腰上通常会不包含多于 90%或少于 20%的入射光束通量。尽管某些特定情况下,分散聚焦元件组件 26 的光效率可接近 99%。图 3 示出了非球面、有像差透镜可用在上述处理中。分散聚焦元件组件 26 的实际光效率必须针对每一个特定应用而精确调整。使用者可制作一系列经验表格,针对每一种透明材料、目标的物理结构和性能以及特定激光参数来定制这些表格,这些表格可被计算机化,并通过中心或分散控制构架用来驱动系统。

[0092] 碳化硅、磷化镓、蓝宝石、强化玻璃等,每一种都有其应用价值。该表格通过在材料内产生光丝来实验确定(调整如上所述的激光功率、重复率、聚焦位置和透镜 34 特征的参数),并保证具有足够通量诱导开裂面或光声压缩轴来产生孔。用于如下的示例光效率为 65%:使用每脉冲 10  $\mu$ J 能量的 1 微米波长、50 瓦特激光输出突发脉冲(5 个脉冲),具有频率(重复率)在 1MHz 范围内,用于在由硼硅酸盐制成的 2mm 厚、单一平面目标上钻出 5 微米直径的通孔(如图 4 所示),其中光束的主焦腰在具所需初始点达到 500  $\mu$ m 的范围内。

[0093] 需要注意的是,通过该光声压缩钻孔处理,也有一系列物理参数必须满足。参看图 4 和 5,可以看出光束点直径 38 > 光丝直径 40 > 孔直径 42。

[0094] 另外,分散光束的主焦腰 8 从不位于在其内产生光丝的目标材料表面内或之上,但是可以位于材料堆叠之内在层之间焦腰停留的位置,例如在空气间隙内。

[0095] 主焦腰 8 的位置一般距所需初始点在达到 500  $\mu$ m 的范围内。这是已知的作为能量抛弃距离 32。参见图 1。其也通过为每一种透明材料制作经验表格来确定目标的物理结构和特性以及激光参数。其可从由上述方法产生的表格中推出。

[0096] 激光光束能量性能如下：光束中脉冲能量在  $5\ \mu\text{J}$  至  $100\ \mu\text{J}$  之间，重复率从 1Hz 到 2Hz（重复率限定试样移动速度和相邻光丝的间隔）。光丝的直径和长度可通过改变每一个突发包线内出现的时间能量分布来调整。图 13 和 14 示出了两个不同的突发脉冲激光信号光的时间能量分布的示例。

[0097] 一起参看图 6- 图 9，本发明的机理可以被最好地示出。这里，使用突发皮秒脉冲光，因为沉积在目标材料上的能量的量很低，并且光声压缩可以在不发生材料破裂的情况下进行，且更少的热量产生在目标材料中，因此足够小的能量包沉积在材料中，使得材料可以从基态增量地提升至最大激发态，而不危及光丝附近材料的完整性。

[0098] 实际的物理处理如本文描述地发生。脉冲突发激光入射光束的主焦腰通过分散聚焦元件组件而传递至目标材料以上或以下（但绝不是材料内，除了材料的堆叠中的空气或聚合物的空隙或液体空隙）空间中的一点，其中光丝在此处被制造。这将在目标表面产生光斑以及白光生成。目标表面上的光斑直径会超过光丝直径和所需特征（孔、槽等）直径。因此，入射给表面上光斑的能量的量要大于用于产生电光效应（克尔效应 - 其中材料折射率变化与施加的电场成比例）的临界能量，但低于诱导烧蚀处理所需的临界能量，并且更明确地低于材料的光学击穿极限。光声压缩继续在目标材料上维持所需功率达一段时间标度，使得可维持自聚焦条件和光学击穿条件之间的平衡。该光声压缩是均匀和高功率光丝形成和传播过程的结果，由此材料通过烧蚀过程而被重排，有利于去除。由于通过分散聚焦元件组件产生的空间延伸的次焦距的出现，由此制造的超长光丝被激励，保持自聚焦效应而不出现光学击穿。在该组件中，大量的边缘光线和旁轴光线会聚在相对主焦点的不同的空间位置上。这些次焦距存在并延伸至无限距离，但不仅仅是有限范围内具有有用强度，通过将次焦点的能量以较低水平聚焦在基板表面以下而非光丝的活动底面上，其与目标厚度匹配经验地对应。这使激光能量接近材料堆，同时避免等离子吸收和碎片飞溅。

[0099] 分散聚焦元件组件可以是单个非理想焦点透镜，其设置在入射激光光束路径上，将看起来是入射光光束的非均匀分布聚焦转变成分散聚焦光束路径，其包括主焦腰和一系列线性布置的次焦腰（焦点）。其可以像在焦腰中或附近的区域内产生非理想、非高斯光束斑一样简单。在实施中，通常多于单个光学元件并且通常若干光学元件沿着光束传播轴布置。

[0100] 这些焦点关于孔 42 的线性轴的排列成一直线。注意的是，主焦腰 8 从不在目标材料上或内。在图 6 中主焦腰在目标材料以上，而图 7 中在目标材料以下，因为通过聚焦光束的对称和非线性特征，孔 42 可以在主焦腰 8 以上或以下形成。因此，光束斑 52（约  $10\ \mu\text{m}$  距离）位于目标 10 的表面上，并且较弱次焦腰同轴地位于目标内，因为该材料作为最终光学元件来产生这些焦点，而激光的电场改变了目标的折射指数。这种分散聚焦使得大量激光能量沉积在材料上，从而形成光丝线或光丝区 60。用多个线性排列焦点并通过使材料用作最终透镜，当被超快突发脉冲激光束轰击时，目标材料承受大量、连续、局部的加热，这沿线性排列焦点的路径热诱导改变材料的局部折射率，由于随后的声压缩波引起目标上产生生长的非倾斜光丝 60，声压缩波在所需区域上环形地压缩材料，从而在光丝路径周围产生孔隙和压缩材料环。随后光束重新聚焦，且重新聚焦的光束与次焦腰的能量组合地维持临界能量水平，并且这样该序列时间自身重复，使得能够钻出如下孔：该孔具有 1500 : 1 的纵横比（孔的长度 / 孔的直径），几乎没有倾斜，并且入口孔尺寸和现有孔尺寸具有实际相同直



径。这与现有技术不同,现有技术中在顶面上或目标材料内聚焦能量导致短的光丝距离,直至达到光学击穿,并且成丝劣化或停止。

[0101] 图 9 示出了在堆叠构造中三个平面目标 10 的两个底部中钻孔,该堆叠构造具有它们之间的空气间隙,其中主焦腰位 8 于最终目标 10 以下。孔可从多层设置的顶部或底部或中间钻开,但如果使用相同的透镜设置和曲率,则钻孔活动总是发生在距主焦腰相同的距离上。主焦腰总是位于材料之外,并且永远到达基板表面。

[0102] 激光特性、主焦腰的位置和最终聚焦透镜设置以及产生的孔的特征的各种参数如下表所示。值得注意的是,由于它们的值根据目标材料类型变化非常大,因此它们以范围表示。下表详细地介绍用于完成在多个透明材料的任意一个中钻出均匀的孔的各种系统变量的范围。

[0103]

激光特性	
波长	5 微米或更小
脉冲宽度	10 纳秒或更小
Freq (激光脉冲重复率)	1Hz 到 2MHz
平均功率	200-1 瓦特
每突发中的子脉冲数量	1-50
子脉冲间隔	1 纳秒-10 微秒
脉冲能量	5 微焦耳 ( $\mu\text{J}$ ) 到 500 微焦耳 ( $\mu\text{J}$ ) (平均功率/重复率) 瓦特/1/s
孔特性	
最小孔径	0.5 微米
最大孔径	50 微米
最大孔深	硅硼酸玻璃为 10mm
典型纵横比	1500: 1
最大纵横比	2500: 1
有像差透镜比率	其中, 透镜的 Cx: Cy 比率为 (-5 到 4000)
孔侧壁光滑度 (独立于材料)	平均粗糙度 < 5 微米 (如 Si、SiC、SiN、GaAs、GaN、InGaP)
孔侧壁锥度 (独立于材料)	10000 微米深都可忽略
光束特性	
焦点分布	-5 到 4000
$M^2$	1.00 到 5.00

[0104] 如之前描述的这些参数根据目标而变化。作为可操作的示例,为了在透明基板上钻 3 微米的孔,2mm 深,要使用以下设备和参数:65 瓦特的平均功率、80  $\mu\text{J}$  的脉冲能量、50MHz 的每突发 8 个子脉冲、和 100kHz 的重复率。这会使用有像差透镜聚焦,输送分散焦点经过 2mm 的空间(光丝活动区域为 2mm 长),取决于材料,在顶部表面上聚焦 5 微米到 500 微米。

[0105] 当使用通过突发超快激光脉冲成丝来完成光声压缩处理时,为了如下目的可以图 11 的装置(具有多轴旋转和平移控制):即,为了以可变焦点位置、非法线角度入射和以可变、配方控制位置来将光束带到工件上以产生光丝阵列的曲线区域,以便切割基板。本领域

技术人员可以识别；所有的这些轴对所有应用不是需要的，并且某些应用会得益于更简单系统构造。

[0106] 此外，可以理解的是，所示装置是本公开实施方式的一个实施例，并且在不脱离本公开的范围，该实施方式可以改变、修改或混合用于方案中存在的更多数量的基板、应用和部件。

[0107] 可以理解的是，本发明不限制其应用于部件的布置，如在随后描述或解释中提出的。本发明使其它实施例和实践能以各种不同顺序步骤操作。例如，虽然本发明列出使用工作在大约在  $1.3\ \mu\text{m}$  以上的合适波长的激光来切割 Si，但是公知的是，相同的处理可以被用于处理 Ge、SiC、GaAs、GaN、GaP、InGaAlP、和假设该波长对该材料的其它相似材料。此外，假设波长在  $3\ \mu\text{m}$  以上，则相同处理可以用于切割骨头。本文所述的激光不需要是白光激光，并且可以以本文所述 1064nm 以外的波长来操作。

[0108] 由于在塑料基材料中光声压缩不会导致撕裂或分离，所以在晶片划切中是很大的优点。通常器件形成在基板上并且由 UV 带覆盖，以便保护和支撑。

[0109] 参照现有技术，制造新芯片的步骤如下：

[0110] 1、使用光刻技术用芯片填充 (populate) 诸如硅这样薄晶片；

[0111] 2、使用 UV 带覆盖晶片的器件面；

[0112] 3、对晶片进行背部减薄直至达到晶片的适当厚度；

[0113] 4、在磨削 (减薄晶片) 之后，在无尘室移除 UV 带，并且在背部施加新的 UV 带；

[0114] 5、现在晶片准备好用于从器件面划切；在这个点使用激光烧蚀或隐形切割或金刚石滚轮；

[0115] 6、在衬垫区所有的布线需要被加工、切割；始终存在器件上的飞溅碎片的可能性。

[0116] 通过使用光声压缩划刻的新方法，可以以减少的步骤数量进行上述步骤，如图 10 所示：

[0117] 1、使用光刻技术用芯片 79 填充诸如硅这样的厚晶片 77；

[0118] 2、使用 UV 带 78 覆盖器件面 77A；

[0119] 3、对晶片进行背部减薄 (背面 77B) 直至达到晶片 77 的适当厚度；

[0120] 4、从背面 77B 划刻晶片 77；使用超快激光突发脉冲进行划刻，并且同时使用布线烧蚀衬垫区域；

[0121] 5、原始 UV 带 78 仍然使用，并且试样不需要在无尘室中处理；由于其覆盖有 UV 带 78，所以没有碎片从器件面 77A 排出；

[0122] 6、UV 带 78 保持不变，并且在激光划刻处理之后不损坏；以及

[0123] 7、通过在相反于激光束安装的共聚焦、红外显微镜或只是普通显微镜，可以完成激光到通路的调整。

[0124] 图 11 示出适用于部件分离的示例激光系统的布置。激光 2 能够分发突发子脉冲，例如，使用在大约每脉冲  $1\ \mu\text{J}$ - $500\ \mu\text{J}$  范围内的能量，重复率达到大约 2MHz。

[0125] 花岗岩立柱 128 被设计为用于机械振动进行阻尼的反应质量 (reactive mass)，如同在工业中常用的。这可以是如下的桥梁，在该桥梁上在平台之上光学器件能够相对于平台沿着一个轴 X 或 Y 平移，并且与其配合。花岗岩基座 120 提供支撑系统的任何或所有部件的反应质量。在某些实施方式中，处理装置 122 出于稳定原因从系统振动地断开。

[0126] 提供 Z 轴电机驱动 124, 以便在 Z 轴相对于伺服控制的 X-Y 平台 84 平移光学部件 (如果需要, 调节和聚焦和扫描光学部件), 这个运动可以与在过顶花岗岩桥中的 XY 平台 84 和 X 或 Y 运动、以及花岗岩基座 20 上的平台的 XY 运动配合, 这保持待被处理的试样材料。

[0127] 例如, 平台 84 包括具有倾斜轴  $\gamma$  (“偏角”) 的 XY 和  $\theta$  平台。平台 84 的运动通过控制计算机系统来调整, 例如, 以从更大的母板上制造所需形状部件。计量装置 108 提供后处理或预处理 (或两者) 测量, 例如, 用于在切割之后映射、分级、和 / 或检查边缘质量。

[0128] 示例 2:

[0129] 从硅锭上制作薄层晶片是个挑战。目前, 硅锭使用锯来划切并且大量材料被浪费。质子束用于切割非常薄层的晶片, 但是质子束处理非常昂贵, 而且难于在生产环境中实施。

[0130] 最近, 已经提出了, 通过在目标内部在顶部表面之下微聚焦光束, 使用光学击穿, 可以产生沿着切割线的偏转区域。但是由于没有第一初始划刻位置, 所以薄层的分离是个难题。

[0131] 如图 12 所示, 可以沿着硅锭 90 的边缘 90E 做出 2mm 长的划刻线 91, 这帮助从硅锭 90 上释放薄板 90S (晶片)。再次, 这可以通过如下方法来完成: 使用在  $1.3 \mu\text{m}$  波长以上操作的超快突发激光, 或使用 OPG, 或在硅锭的壁上施加克尔材料层, 并且如示例 1 所述使用普通波长以产生超快突发白光激光。图 12 示出了划刻线 91。图 12A 是图 12 的一部分的放大图, 其示出划刻线 91 包括一系列的孔 91H, 孔 91H 使得能够裂开薄板 90S。裂纹 91E 位于孔 91H 之间, 并且助于裂开。孔可以是  $1 \mu\text{m}$  直径, 并且孔的间隔为中心到中心  $2-10 \mu\text{m}$ 。

[0132] 示例 3:

[0133] 这个示例是在硅中通过突发超快激光脉冲来钻孔 / 洞。如果使用如示例 1 中说明的单个突发超快激光, 则将会产生具有微米或亚微米级别的孔。冲击钻孔可以在单个位置通过开动许多突发激光脉冲来完成。光声压缩朝向孔壁熔化和推动材料, 从而产生更大的孔。  $20 \mu\text{m}$  直径的孔 / 洞可以使用 500 个激光脉冲完成, 这些激光脉冲来自在 50Hz 的重复率下操作的突发激光脉冲, 并且每个突发激光脉冲具有在 50MHz 下操作的 8 个脉冲。使用牺牲层对波长转变是有用的, 但是也帮助阻止孔在硅内锥化。在硅中产生的孔 / 洞没有锥化发生, 然而, 锥化发生在牺牲层内。来自牺牲层的碎片沉积在牺牲层上, 并且使硅表面清洁。如果孔 / 洞被产生或冲孔为大约 2 到 10 微米而分离, 则本方法可用于切割非常薄的晶片试样。

[0134] 激光性能的各种参数、主焦腰的位置、和最终聚焦透镜布置以及产生的孔的特征在以下表格中说明。值得注意的是, 由于它们值根据目标材料类型、所需孔的厚度和尺寸及位置而变化非常大, 因此它们以范围表示。下表详细地介绍用于完成在多个透明材料的任意一个中钻出均匀的孔的各种系统变量的范围。

[0135] 此外, 还可以理解的是, 此处使用的措辞和术语是用于描述目的, 而不能被认为是限制。因此, 本领域技术人员会意识到, 本说明书可容易地作为设计其它结构、方法和系统的基础, 以实现本发明的一些目的。因此, 重要的是, 权利要求被认为是在不脱离本发明的精神和范围的程序内包括这些等同的结构。

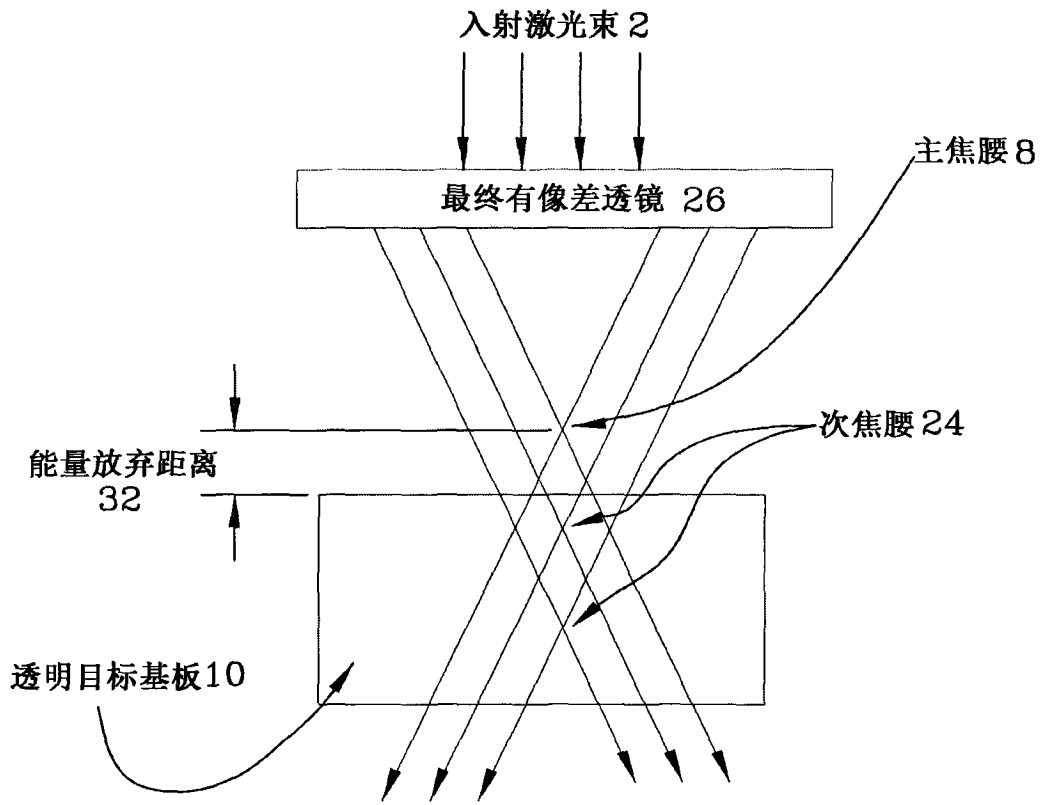


图 1

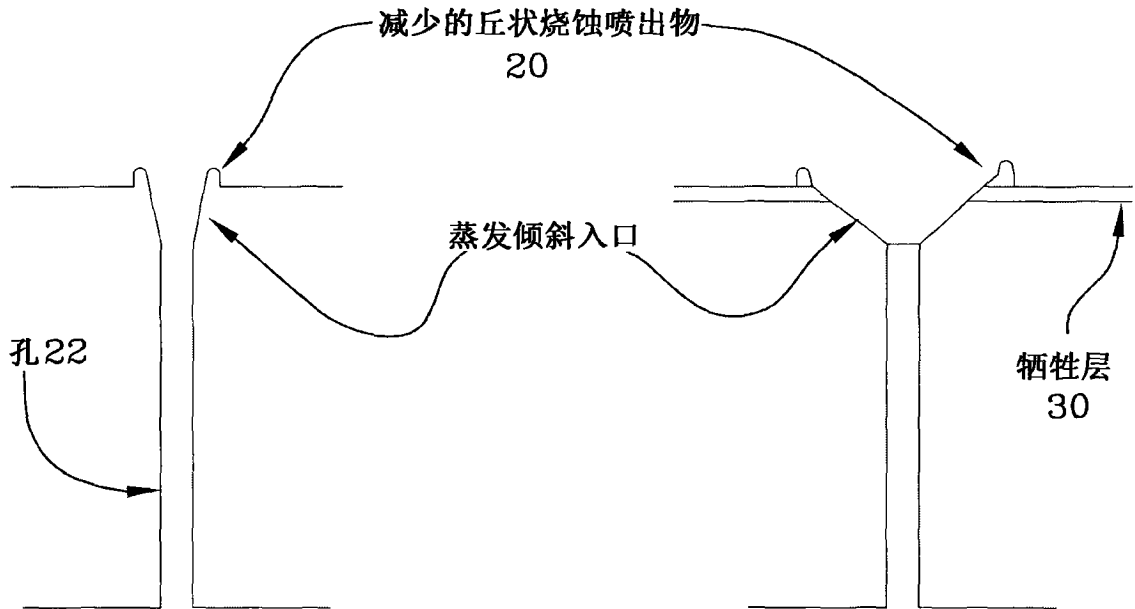


图 2

非球面/球面透镜  
(为了清晰而未校正并夸大)

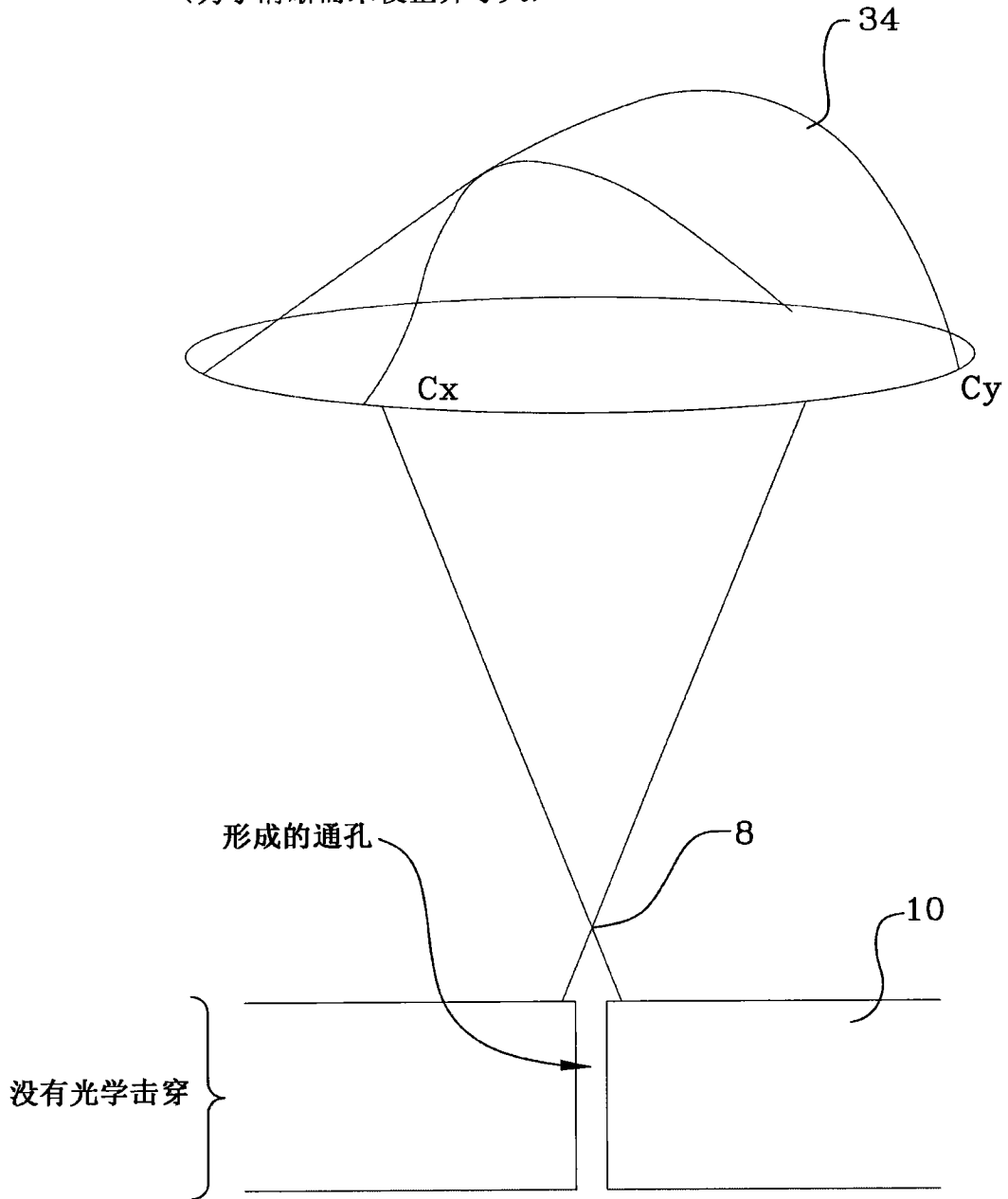


图 3

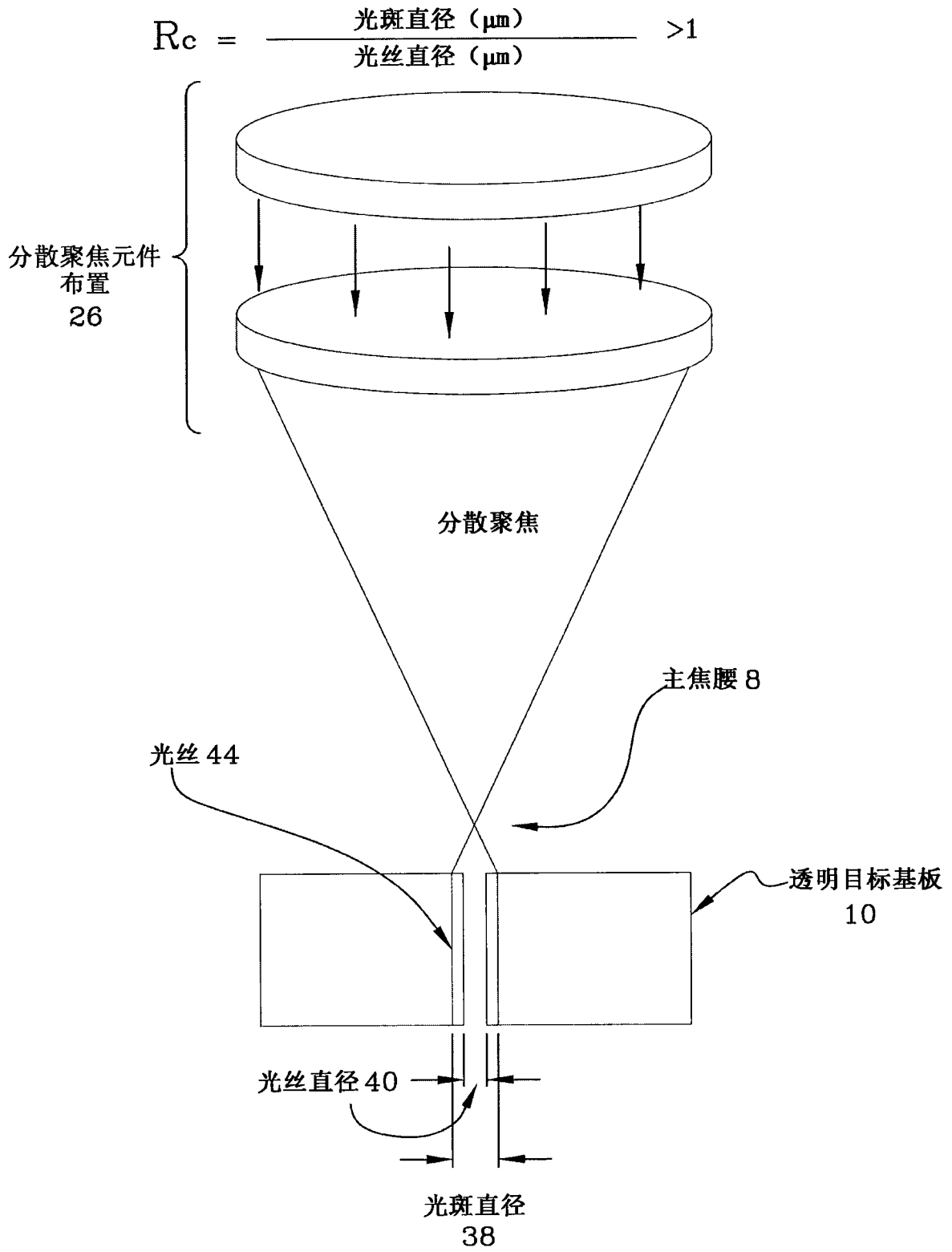


图 4

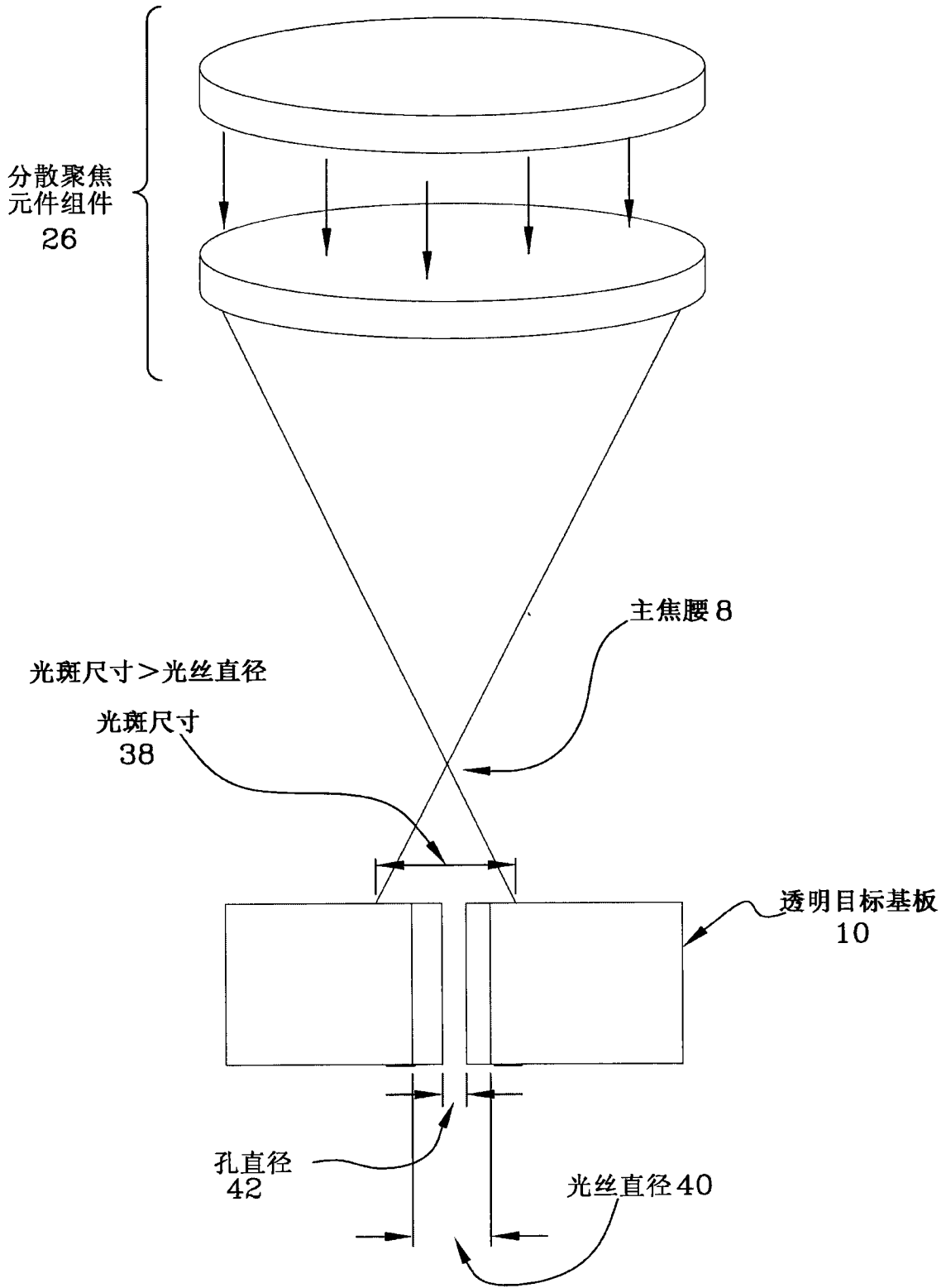


图 5



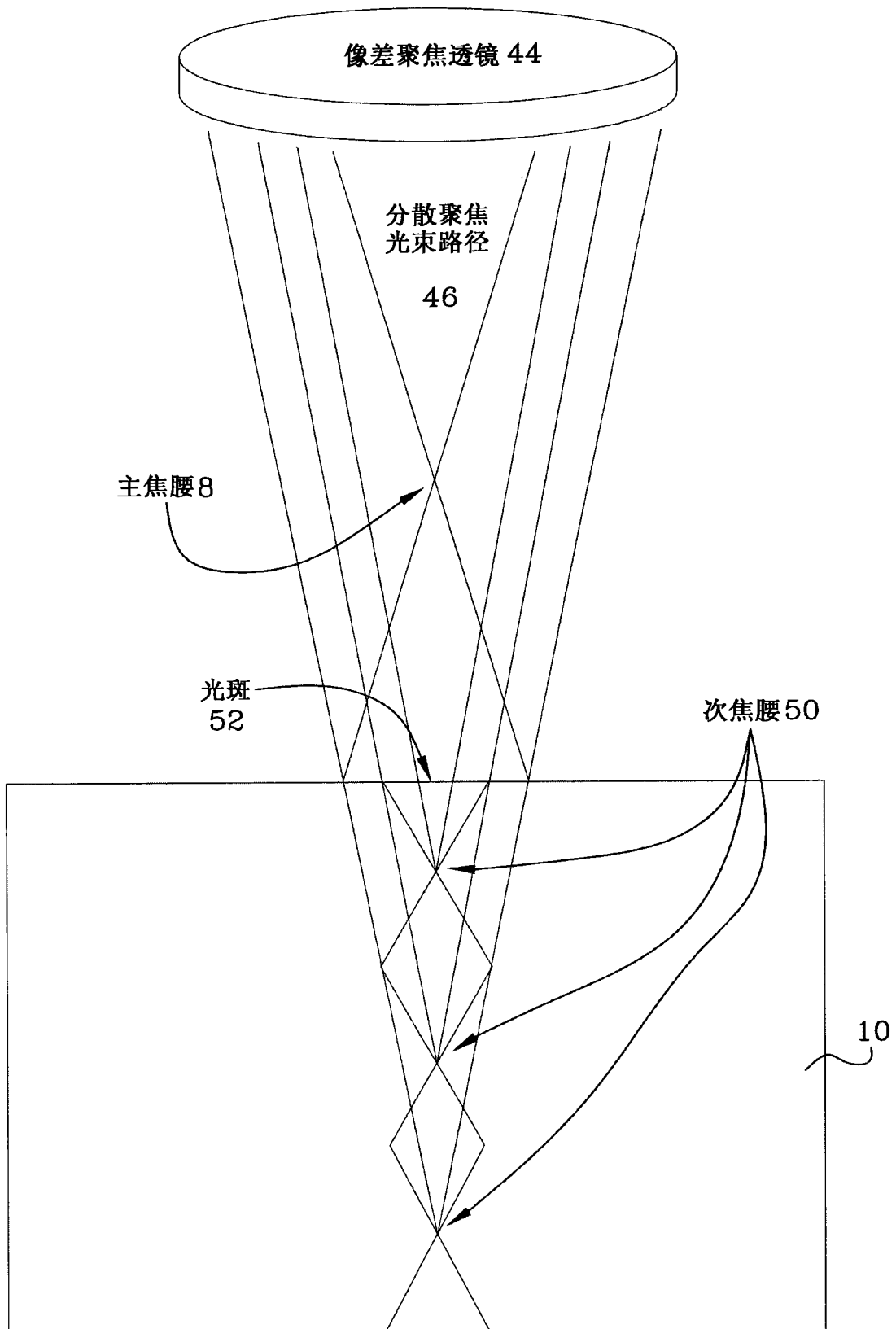


图 6

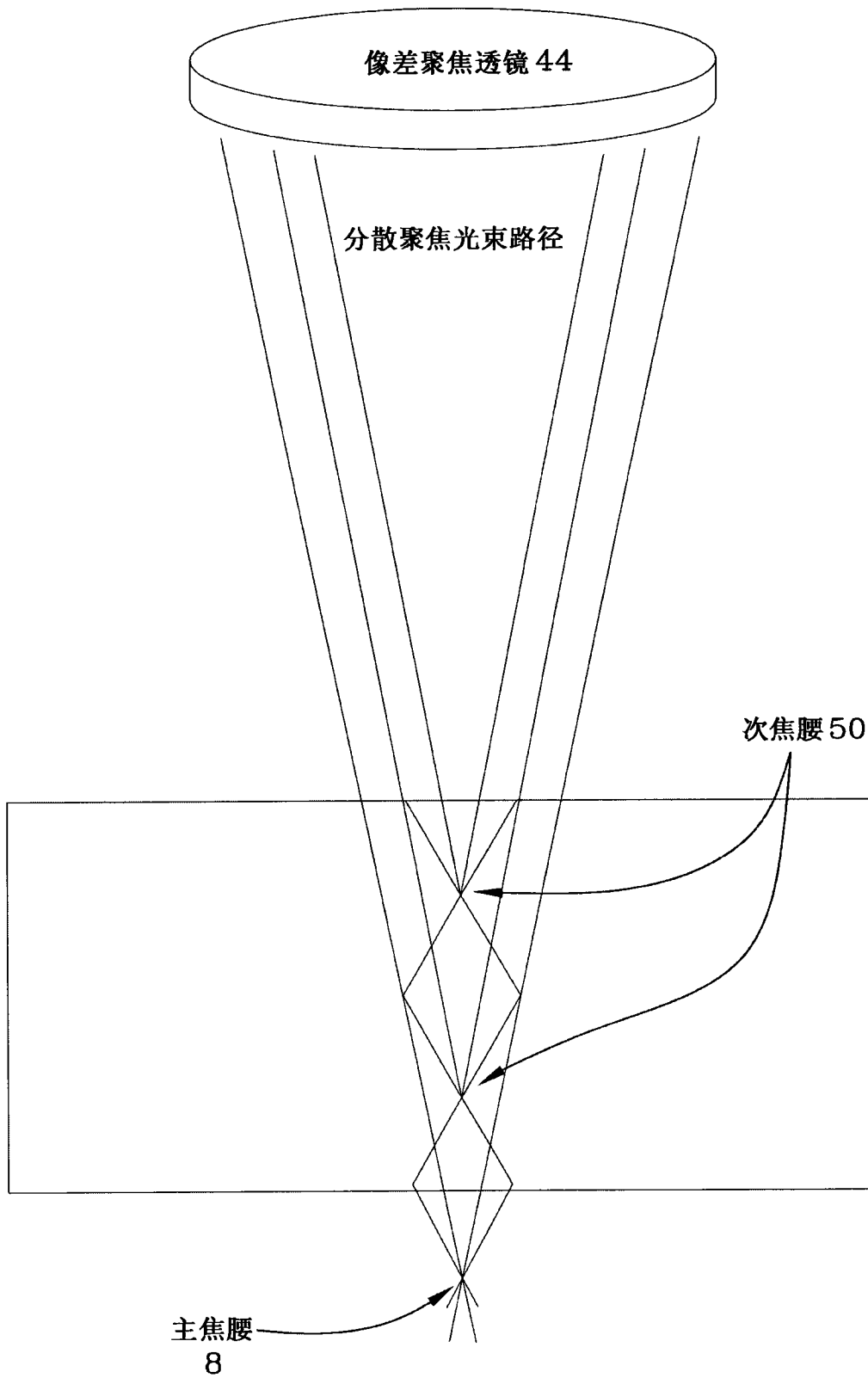


图 7

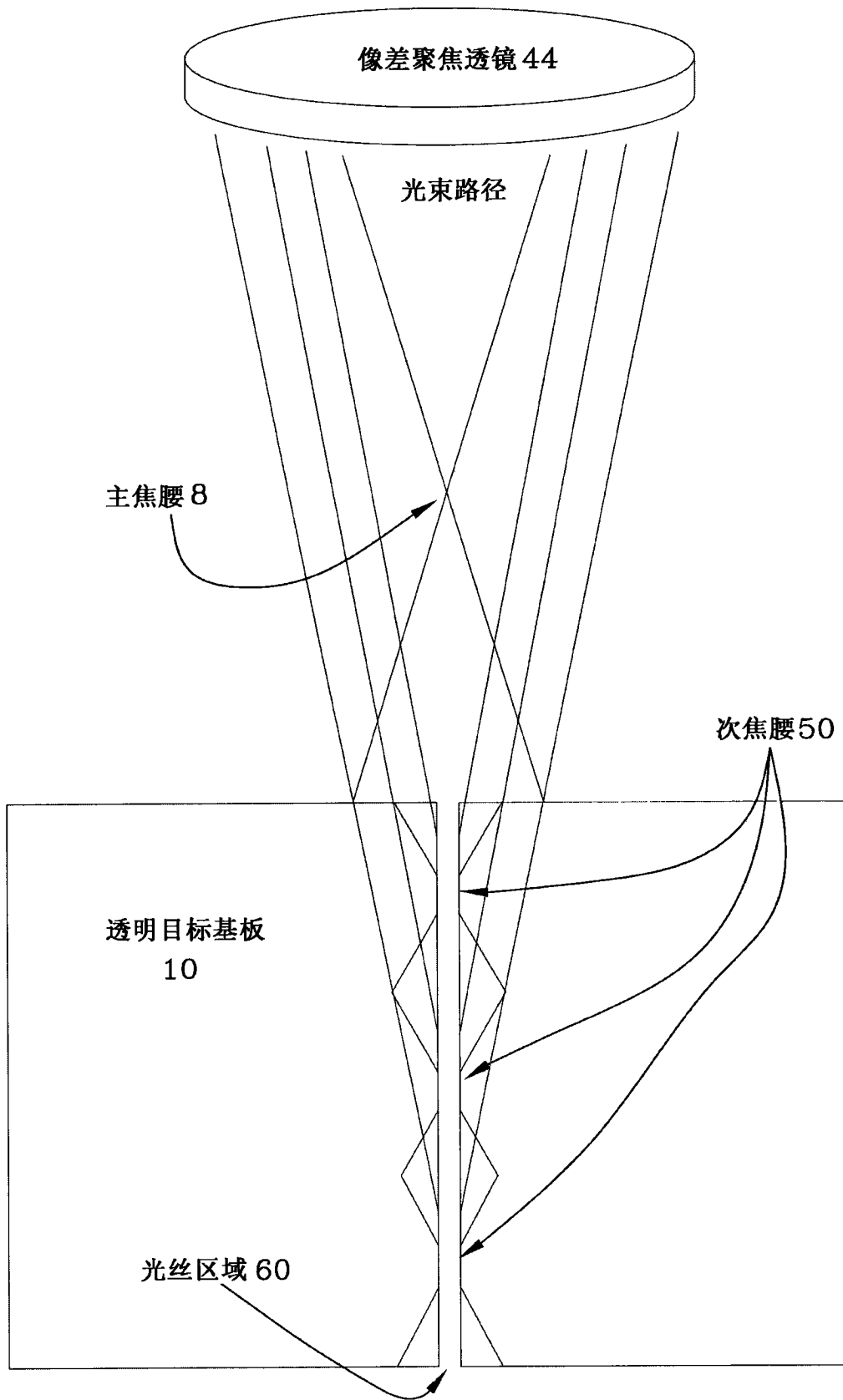


图 8

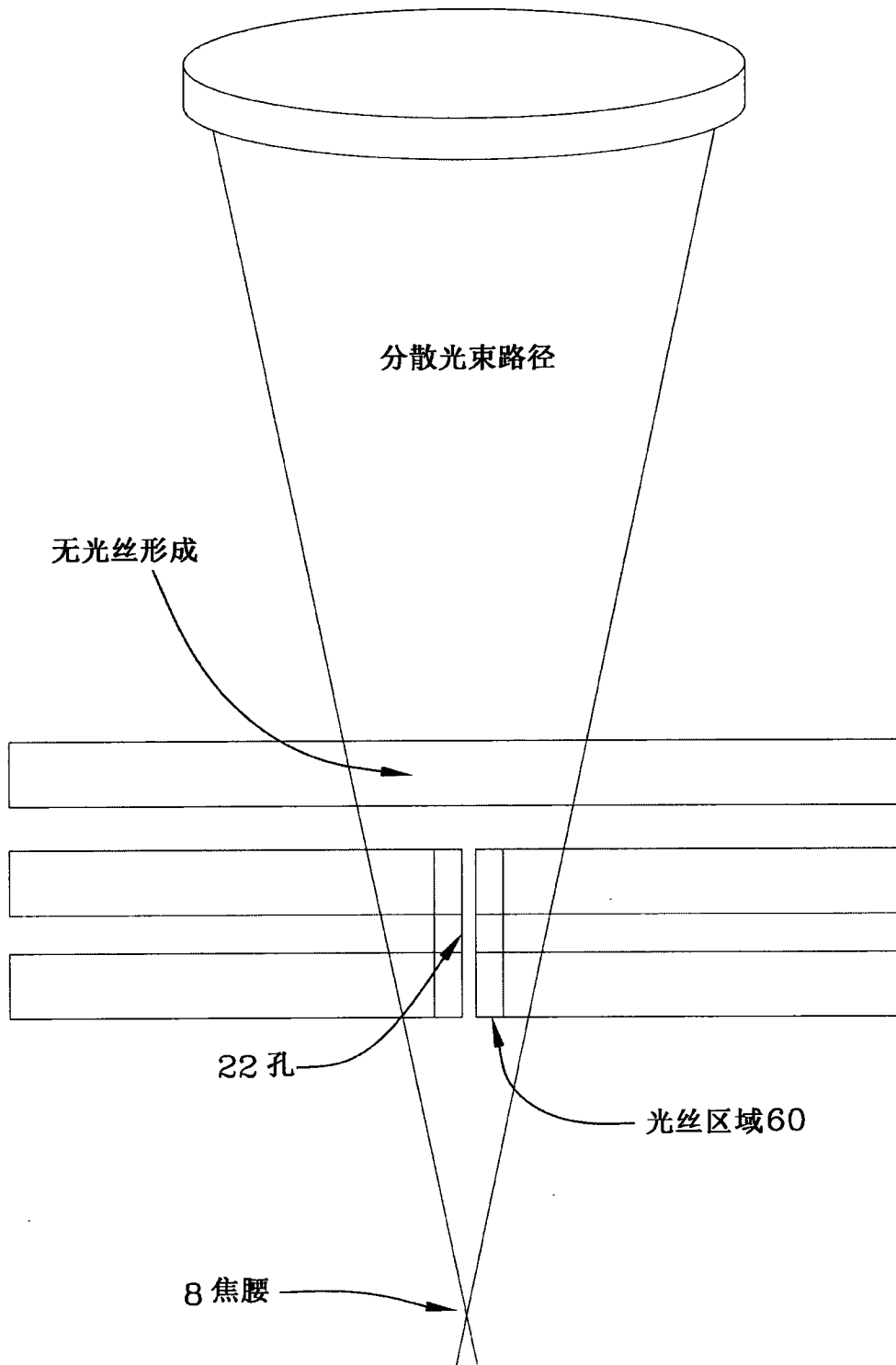


图 9

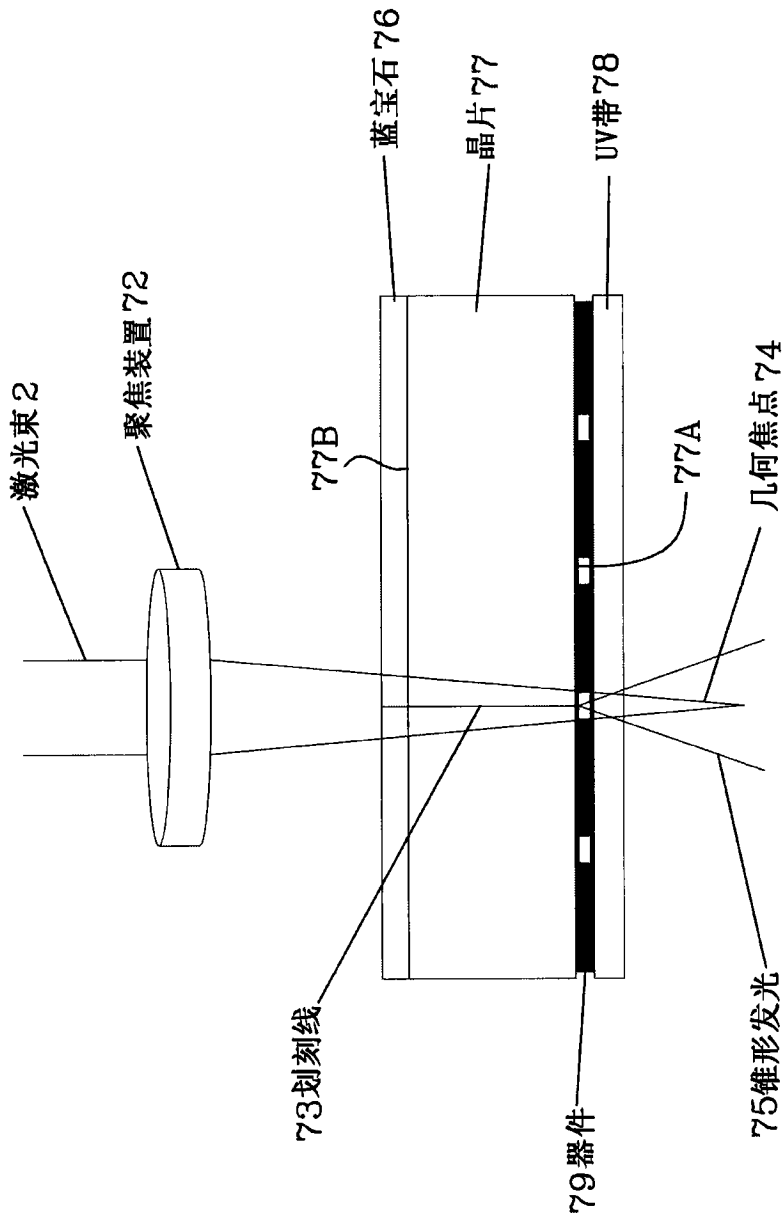


图 10

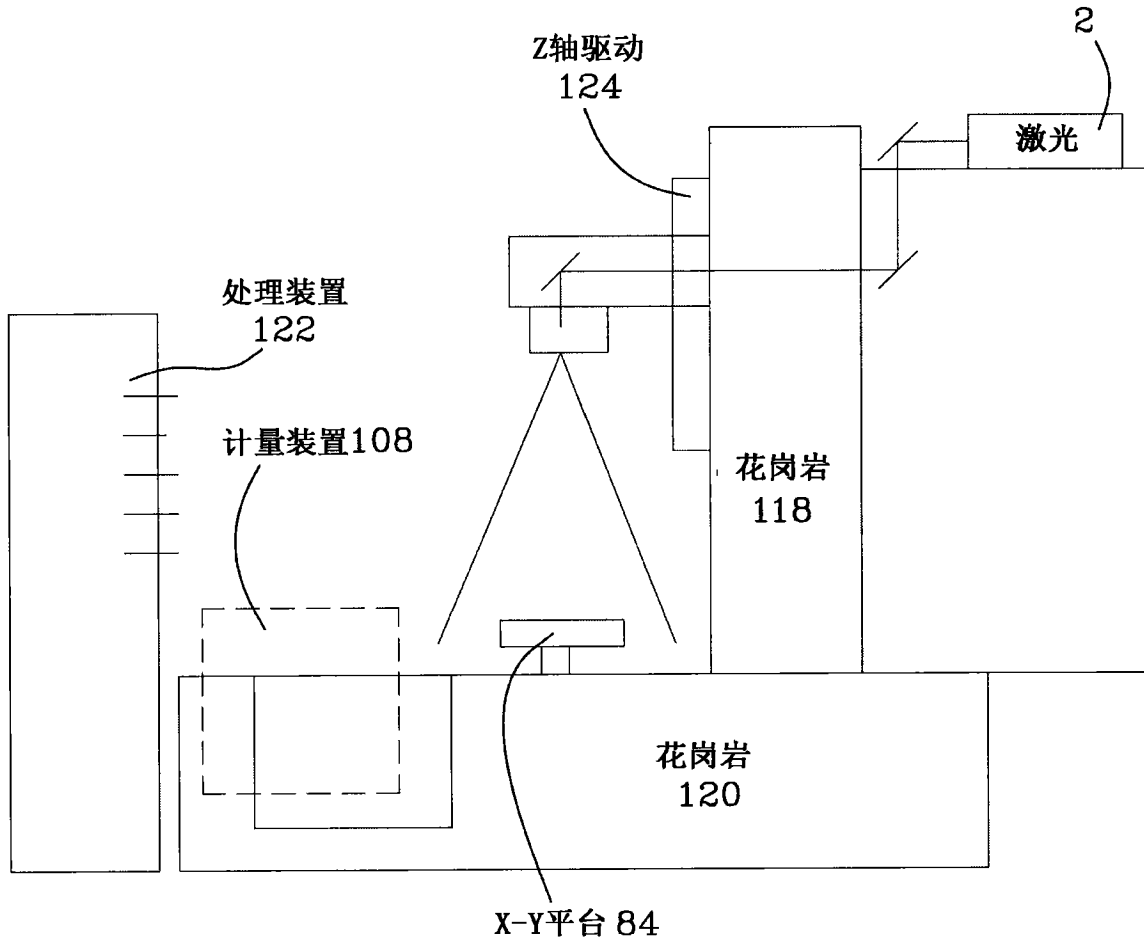


图 11

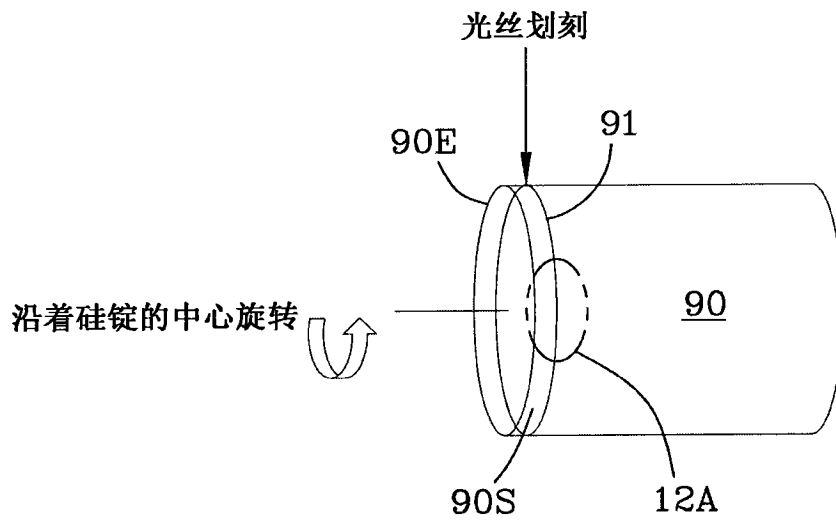


图 12

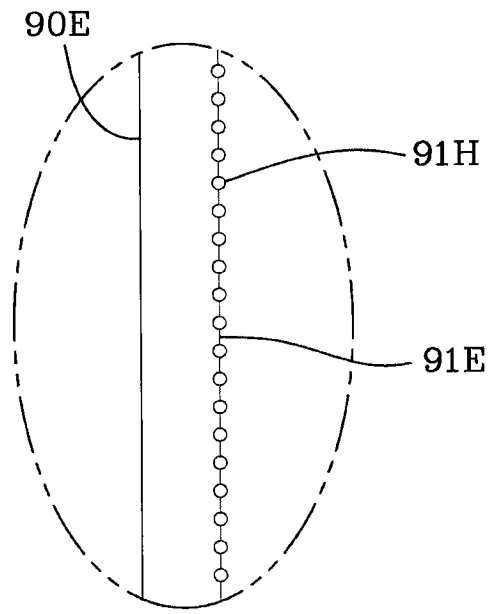


图 12A

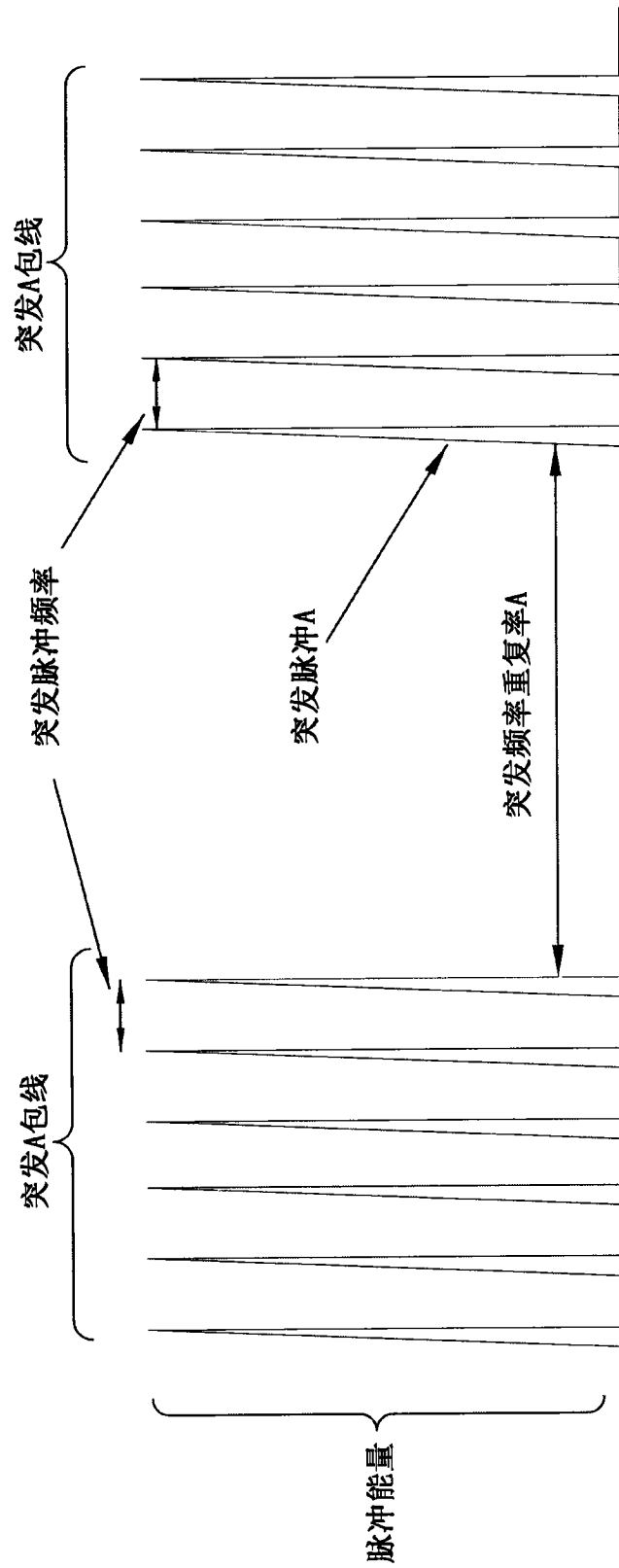


图 13



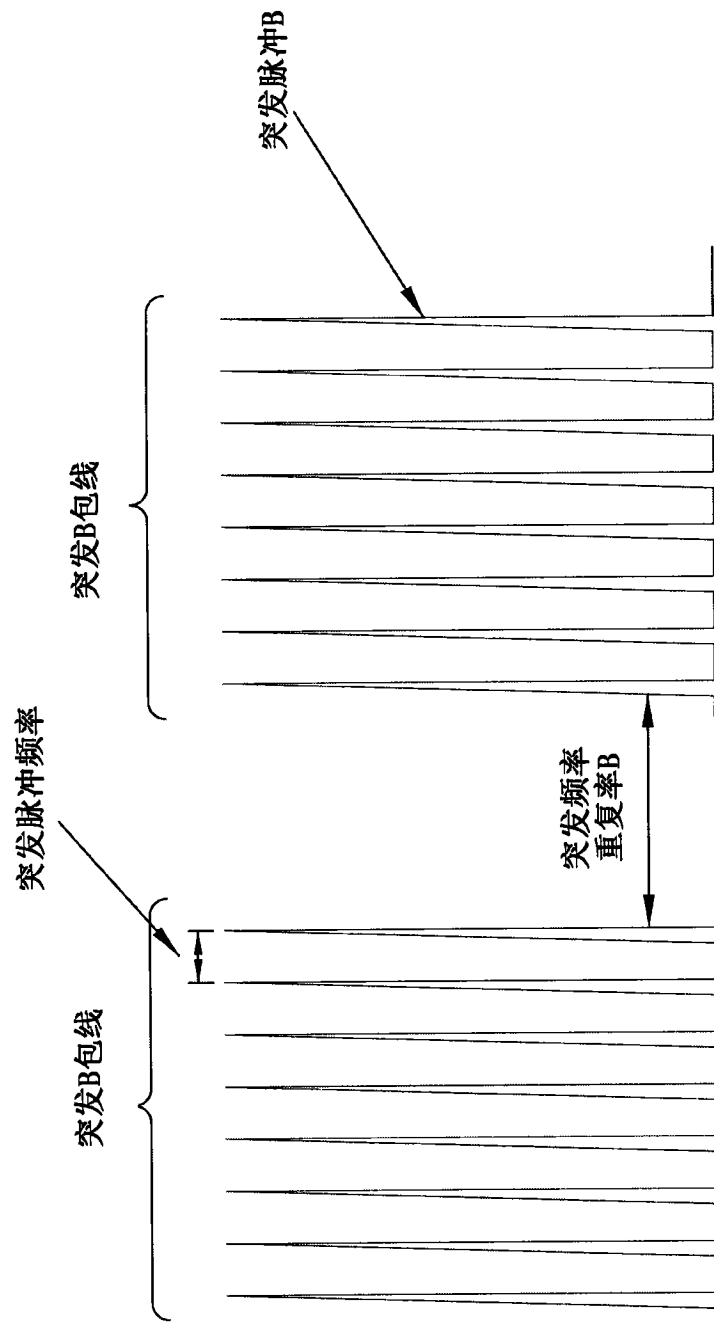


图 14