



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101896846 B

(45) 授权公告日 2013. 02. 06

(21) 申请号 200880120350. 4

代理人 李冬梅 郑霞

(22) 申请日 2008. 12. 12

(51) Int. Cl.

(30) 优先权数据

G02B 6/26 (2006. 01)

61/007, 394 2007. 12. 12 US

G02B 6/32 (2006. 01)

61/062, 923 2008. 01. 30 US

12/316, 540 2008. 12. 11 US

(85) PCT申请进入国家阶段日

2010. 06. 11

(86) PCT申请的申请数据

PCT/US2008/013665 2008. 12. 12

(87) PCT申请的公布数据

W02009/075888 EN 2009. 06. 18

(73) 专利权人 光导束公司

地址 美国宾夕法尼亚州

(72) 发明人 马克·韦伯斯特 威普库马·帕特尔

玛丽·纳多 普拉卡什·约托斯卡

大卫·派德

(74) 专利代理机构 北京安信方达知识产权代理

有限公司 11262

(56) 对比文件

US 7049672 B2, 2006. 05. 23, 附图 1, 4-7, 9、说明书第 3 栏第 51 行至第 5 栏第 31 行, 第 6 栏第 1 行至第 24 行.

US 5142596 A, 1992. 08. 25, 附图 5、说明书第 6 栏第 44 至 68 行.

US 7049672 B2, 2006. 05. 23, 附图 1, 4-7, 9、说明书第 3 栏第 51 行至第 5 栏第 31 行, 第 6 栏第 1 行至第 24 行.

审查员 胡涛

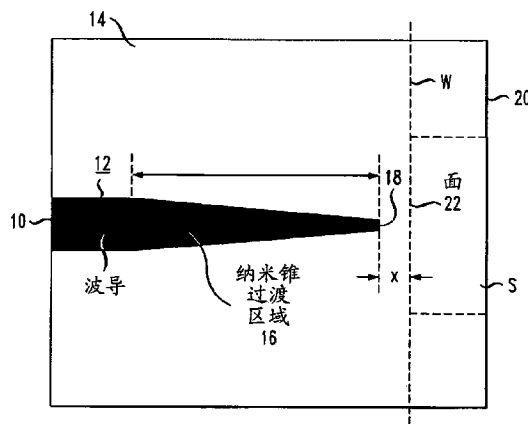
权利要求书 2 页 说明书 6 页 附图 8 页

(54) 发明名称

使用蚀刻耦合表面在自由空间和光波导之间的耦合

(57) 摘要

基于等离子体的蚀刻工艺用于把支持光波导的
光学基底的端面具体加工成将提高在波导和自由空间光信号之间的耦合效率的成形面的外形。
使用标准光刻技术图案化并蚀刻光学端面的面的能力实际上允许任何需要的面的几何结构被形成 - 并横过晶片的表面被复制, 用于被制作的整组组件。使用适当定义的光刻用掩膜, 透镜可蚀刻在端面里面, 关于传播的自由空间信号和光波导的参数选择透镜的焦点。可选择地, 有角度的面可沿着端面形成, 所述角度足以重新指引反射 / 散射信号远离光轴。



1. 一种用于在沿光轴传播的自由空间的光信号和结合在光学基底内的光波导之间提供光耦合的装置,所述光波导形成在沿所述光轴的所述光学基底的硅表面层内,并且耦合光通过所述光学基底的端面来提供,且所述装置包括:

光波导,其布置在所述硅表面层内使得所述光波导的末端部分从所述光学基底的垂直端面被拉回预先确定的距离;以及

蚀刻的耦合面,该蚀刻的耦合面沿着所述光学基底的所述垂直端面形成,用于将所述自由空间传播的光信号指引到所述光波导的末端部分中并且重新指引反射信号从那里远离。

2. 如权利要求 1 所述的装置,其中所述蚀刻的耦合面包括有角度地蚀刻的耦合面。

3. 如权利要求 2 所述的装置,其中所述有角度地蚀刻的耦合面在垂直于光轴的方向且横过所述光学基底的顶部表面形成。

4. 如权利要求 2 所述的装置,其中所述有角度地蚀刻的耦合面在垂直于所述光轴的方向且通过所述光学基底的厚度形成。

5. 如权利要求 2 所述的装置,其中所述光波导横过所述光学基底的表面有角度地布置,以利用所述有角度地蚀刻的耦合面来最优化光耦合效率。

6. 如权利要求 1 所述的装置,其中所述蚀刻的耦合面包括弯曲的耦合面。

7. 如权利要求 6 所述的装置,其中所述弯曲的耦合面包括横过所述光学基底的所述端面蚀刻的单个的外形。

8. 如权利要求 6 所述的装置,其中所述弯曲的耦合面包括在所述光波导的所述末端部分和所述光学基底的所述端面之间蚀刻的多个独立的外形。

9. 如权利要求 1 所述的装置,其中所述光学基底包括 SOI 结构,以及所述光波导包括硅波导。

10. 如权利要求 1 所述的装置,其中所述光波导包括从由硅、氮氧化硅和氮化硅组成的组中选择材料。

11. 一种光发射器,包括:

激光源,该激光源用于产生光信号;

至少一个聚焦透镜,该至少一个聚焦透镜用于从所述激光源接收所述光信号,并沿着光轴指引所述光信号的传播;以及

光学基底,该光学基底包括结合在其中的光波导,所述光学基底进一步包括在所述激光源和所述光波导的终止末端部分之间形成成形耦合面的蚀刻端面,所述成形耦合面设置成重新指引任何反射光信号远离所述光轴;所述光波导包括终止末端部分,该终止末端部分从形成成形耦合面的所述蚀刻端面被拉回预先确定的距离。

12. 如权利要求 11 所述的光发射器,其中所述成形耦合面包括有角度地蚀刻的耦合面。

13. 如权利要求 12 所述的光发射器,其中所述光波导关于所述光学基底成角度,以通过所述有角度地蚀刻的耦合面提高与所述激光源的耦合效率。

14. 如权利要求 12 所述的光发射器,其中所述有角度地蚀刻的耦合面在垂直于所述光轴的方向上并横过所述光学基底的顶部表面形成。

15. 如权利要求 12 所述的光发射器,其中所述有角度地蚀刻的耦合面在垂直于所述光

轴的方向上并通过所述光学基底的厚度形成。

16. 如权利要求 12 所述的光发射器,其中所述成形耦合面包括弯曲的外形以产生有透镜的耦合面。

17. 一种晶片,该晶片形成为包括多个光耦合装置,每个光耦合装置包括:

结合在其中的光波导,其具有从所述光耦合装置的垂直端面拉回的所述光波导的终止末端部分;以及

沿着所述光耦合装置的垂直端面形成的蚀刻的耦合面,用于将自由空间传播的光信号指引到所述光波导的被拉回的终止末端部分中并且重新指引反射信号从所述光波导远离。

18. 如权利要求 17 所述的晶片,其中至少一个光耦合装置包括:

激光发射器源,该激光发射器源用于产生光信号;

至少一个聚焦透镜,该至少一个聚焦透镜用于从所述激光发射器源接收所述光信号,并沿着光轴指引所述光信号的传播;

光学基底,该光学基底包括结合在其中的光波导,所述光学基底还包括在所述激光发射器源和所述光波导的所述被拉回的终止末端部分之间形成成形耦合面的蚀刻端面,所述成形耦合面设置成重新指引任何反射光信号远离所述光轴。

使用蚀刻耦合表面在自由空间和光波导之间的耦合

[0001] 相关申请的交叉引用

[0002] 本申请要求于 2007 年 12 月 12 日提交的第 61/007,394 号美国临时申请和于 2008 年 1 月 30 日提交的第 61/062,923 号美国临时申请的权益。

技术领域

[0003] 本发明涉及一种耦合进入和出光波导的装置,特别涉及沿着光波导端面蚀刻耦合面的应用。

[0004] 发明背景

[0005] 将光耦合进入(和/或出)光波导是任何光学的或光电的集成电路装置的关键需求。在已有技术中通用的几种方法包括,例如,光栅耦合器、棱镜耦合器和“端射(end-fire)”耦合器(即,沿着光学基底的端面耦合进入光学面)。例如,端射耦合进入在光学基底上形成的纳米锥(nanotaper)结构提供了简单、宽的工作带宽及(潜在地)偏振无关工作的优点。例如,见发表在 Optics Letters 2003 年 8 月 1 日第 28 卷第 15 期,由 V. R. Almeida 等人所著的题名为“用于压缩模式转换的纳米锥(Nanotaper for compact mode conversion)”的文章。

[0006] 然而,端射耦合的一个遗留困难是对在光学基底端面的波导的面制备的需要。为了最大化在自由空间信号和波导之间的耦合效率,波导基底的端面的面应尽可能的平滑(即,“光学上平滑”)以致限制散射和反射的影响。在大多数常规系统中,光学抛光和/或切割操作用来产生波导端面的面。然而,面抛光是耗时的工艺,其被认为不能容易地与低成本晶片规模(wafer-scale)生产相符合。切割工艺具有其自身的局限性,主要与切割具有输入/输出耦合位置所需要的晶体切割平面的晶体材料有关联。

[0007] 因而,在已有技术中仍需要以与低成本晶片规模生产相符合的方式提供光学上平滑的耦合面。

[0008] 发明概述

[0009] 在已有技术中遗留的需要由本发明提出,其涉及一种耦合进入和出光波导的装置,特别涉及沿着光波导端面的蚀刻耦合面的应用。

[0010] 根据本发明,基于等离子体的蚀刻工艺用于具体地把支持光波导的光学基底的端面加工成提高耦合效率的成形面的外形(contour)。使用标准光刻技术图案化并蚀刻光学端面的面的能力实际上允许任何需要的面的几何结构被形成-并横过(across)晶片的表面被复制,用于被制作的整组组件。

[0011] 在一种实施方式中,使用适当定义的光刻用掩膜在基底端面里蚀刻精密弯曲的外形,以产生“透镜”耦合特性,其具有关于传播的自由空间信号和光波导的参数选择的透镜的焦点。由于使用基于蚀刻的制造工艺,多个“透镜”元件可被形成并用在组合结构中。可选择地,有角度的面可沿着端面形成,所述角度足以使反射/散射信号远离光轴改变方向。有利地,形成有角度的面的蚀刻工艺(如相比较于已有技术的抛光/切割)的使用提供了改进的控制和关于端面的平面产生的角度的精确性。具体地,与仅沿着明确界定的晶体平

面切割相关联的限制通过使用根据本发明的蚀刻工艺被消除。

[0012] 本发明的优点是,制备耦合面的蚀刻技术的使用允许多个耦合面对于沿着基底表面形成的波导阵列同时形成。实际上,形成图案和蚀刻工艺允许在每个波导端面和其被实现的相关的耦合面之间的精确的对准。

[0013] 本发明的一方面是,在面制备中的等离子体蚀刻的使用允许使用的晶片规模处理。即,整个晶片(或它的一部分)可在一步中被形成图案或被蚀刻,以形成横过晶片上制作的每个光学组件的具体端面外形。这些面将本质上是统一的,优于使用已有技术的抛光/切割工艺。此外,当与需要在单独元件级别上进行面制备和测试的已有技术工艺相比较时,在晶片级的光耦合面的产生允许以低成本和低复杂性来执行晶片级测试。

[0014] 在优选的实施方式中,光学基底是高折射率对比系统的部件,如 Si/SiO₂ 系统 - 在技术中也指作为基于 SOI 的光学系统(缩写“SOI”指的是绝缘体上硅结构(silicon-on-insulator))。在该优选的实施方式中,进一步认为优选地具有从基底端面稍微拉回的波导的端面,特别是在在纳米锥几何结构中形成波导的情况下。即,由于在硅基底($n = 3.5$)和周围环境(空气, $n = 1$)之间的折射率的不连续性较在硅($n = 3.5$)和二氧化硅($n = 1.5$)之间的折射率的不连续性要大,因此,如果波导端面暴露在周围环境中,入射的自由空间传播的信号的大部分将由于散射和反射而被损耗。然而,应理解的是,本发明的基于蚀刻的面的制备工艺可同等地应用到其他基于硅的光学系统,例如应用氮氧化硅或氮化硅波导装置的那些系统。

[0015] 由于光学模式尺寸较大且进一步地改进耦合效率和光学模式的对准公差,纳米锥结构的使用被认为是更好的。然而,纳米锥的使用被认为是可选的,且对于本发明的蚀刻面的制备工艺的应用是不需要的。

[0016] 本发明的其他的和进一步的优点和实施方式在下述论述和参考附图的过程中将变得显而易见。

[0017] 附图简述

[0018] 此刻参阅附图,

[0019] 图 1 是常规已有技术中“端射”纳米锥波导耦合装置的顶视图;

[0020] 图 2 是包括根据本发明形成的蚀刻耦合面的代表性的纳米锥波导耦合装置的顶视图;

[0021] 图 3 是代表性的晶片的一般化视图,其可被加工以在其中形成的多个光学结构上形成多个蚀刻面;

[0022] 图 4 是示出在图 1 的已有技术装置和图 2 的发明的结构之间的耦合效率的提高了的曲线图;

[0023] 图 5 包含本发明的可选实施方式的顶视图,在该情况下,用于标准的光波导端面(即,不是纳米锥耦合器),并且包括利用蚀刻工艺产生的前至后(front-to-back)的有角度的面;

[0024] 图 6 是本发明的可选的有角度的面装置的侧视图,在该情况下,所述角度在基底端面的平面中产生;

[0025] 图 7 是本发明的又一实施方式的顶视图,其示出沿着基底端面的蚀刻弯曲部分的形成,以形成透镜的耦合面;

[0026] 图 8 示出使用预先确定图案和随后的蚀刻工艺所形成的组合透镜耦合面,以在波导和基底端面之间沿着光轴产生每个需要的外形;

[0027] 图 9 是本发明的阵列实施方式的顶视图,在该情况下,用蚀刻工艺通过以下方式形成多个曲面;其中每个面与在波导阵列中独立的波导对准;

[0028] 图 10 是已有技术光学系统的顶视图,包括与在光学基底上形成的纳米锥波导结合使用的芯片外 (off-chip) 激光发射器和聚焦元件,指示与将被重新指引回到激光部件中的反射相关联的问题;

[0029] 图 11 是根据本发明形成的光学系统的装置的顶视图,其中光学基底的端面的面通过蚀刻工艺成型,以散焦任何反射信号并指引它远离激光发射器的作用区域;

[0030] 图 12 是本发明的可选光学系统的顶视图,其形成为包括使用蚀刻工艺形成的有角度的面,以指引反射束远离光轴;以及

[0031] 图 13 示出图 11 的结构的可选实施方式,在该情况下,其中有角度地设置纳米锥以提高耦合效率。

[0032] 发明详述

[0033] 图 1 是代表性的光学基底 1 的顶视图,其形成为包括光波导 2,该光波导 2 还包括纳米锥过渡区域 3 和纳米锥尖端区域 4。对于本论述的目的,假设,光学基底 1 是基于 SOI 的基底,其包括硅基层(该顶视图中未示出)、覆盖电介质(二氧化硅)层 5(在下面还指“掩盖氧化层 5”或“BOX 层 5”)、及单晶亚微米厚硅表面层 6(还指作为 SOI 层 6)。

[0034] 使用常规 CMOS 工艺技术,光波导 2(和邻接的区域 3 和 4)在 SOI 层 6 中形成。因此,在该顶视图中暴露的表面的剩余部分是 BOX 层 5。如上所述,用于制备纳米锥尖端区域 4 以接收光信号的一种已有技术方法是将光学基底的端面抛光。在图 1 的装置中,这将需要抛光基底 1 的端面 7。由于常规的抛光技术(例如化学-机械抛光系统)不能控制抛光工艺的端点达到亚微米尺度,纳米锥尖端区域 4 需要形成为预先确定的长度 L 以适应该抛光误差。在需要提供该附加的尖端区域时,已有技术的抛光方法还要忍受上述的散射和反射问题。使用已有技术的切割工艺形成端面的面也要忍受特别涉及定位与限定用于产生切割的晶体平面的缺陷。

[0035] 应理解的是,图 1 中已有技术的示出和示出本发明的余下附图,没有示出最终结构的每项特征(为了清晰)。特别是,电介质层通常作为顶部的覆盖层被包括(涉及作为已有技术中的“层间电介质层”或“ILD”),然而其没有被示出,以便使波导 2 在顶视图中可见。另外,应理解的是,当图 1 的已有技术装置和以下附图描述“SOI 结构”和/或“SOI 层”的用途时,本发明的蚀刻耦合面可以其他材料系统的方式使用,在其他材料系统中形成光波导,包括但不限于氮氧化硅光波导或氮化硅光波导。

[0036] 图 2 示出根据本发明形成的蚀刻面,以在光波导和自由空间光信号之间提供耦合。光波导 10 被示出为在基于 SOI 的光学装置(其包括未示出的硅基层、和覆盖 BOX 层 14)的 SOI 层 12 中形成。在该特定的实例中,形成光波导 10 以包括纳米锥过渡区域 16,其中如上所述,纳米锥的使用在耦合接口处需要较大的光模尺寸的情形中是有益的。

[0037] 根据本发明且进一步如图 2 所示,蚀刻耦合面 22 被示出为通过在在纳米锥过渡区域 16 和 SOI 结构端面 20(图 2 中示为阴影部分 S)之间的区域中除去一部分 BOX 层 14 所形成。更具体地,波导覆层材料,包括 BOX 层 14 和覆盖 ILD 层两者(未示出),通过蚀刻工

艺除去。从而本论述的剩余部分将涉及“波导覆层材料”的除去,其应理解为包括 BOX 层 14 和任意可能存在的覆盖 ILD 覆层两者。此外,如上所述,本发明的蚀刻耦合面可以通过其他类型光波导的方式来使用,比如氮化硅波导或氮氧化硅波导。

[0038] 传统的形成图案的技术用于限定阴影部分 S 的范围,以使类似区域可从在整个晶片(见图 3,对于晶片级,示出多个将被除去的图案区域以形成耦合面)形成的每个光学组件中除去。实际上,且正如在下文中将要详细论述的,被蚀刻除去的区域的具体几何结构(不同地也称作“外形”)凭使用者自行处理。例如,可能从端面 20(在图 2 中以虚线 W 示出)除去整个宽度的波导覆层材料,在光学基底的整个宽度上产生蚀刻面端面 22。

[0039] 如图 2 所示的本发明的特定实施方式中,形成纳米锥过渡区域 16 以包括端点终端 18(下文中称作“尖端 18”),其设置在从由上述方式形成的蚀刻面 22 向后拉的位置处。

[0040] 当使用纳米锥过渡区域 16 的尖端 18 的该向后拉的设置时,发现了几个优点。首先,当尖端 18 被定位在耦合面时,它将被暴露在具有比 BOX 层 14 低的折射率的空气中。该折射率的差额引起增加部分的在尖端 18 处散射的入射光信号,显著地降低进入纳米锥 16 的耦合效率。此外,作为在下文将详细论述的,纳米锥末端 18 的向后拉的位置允许使用标准的光刻图案化和蚀刻工艺成形面 22,以形成将进一步增加耦合效率的不同的面几何结构。除尖端 18 以外的余留的波导覆层材料的厚度“x”也由该光刻工艺所限定;显然地,由蚀刻工艺除去部分的尺寸凭设计者自行处理。

[0041] 本发明的装置的显著的益处在于,等离子体蚀刻工艺形成光学上平滑的表面,其限制散射的量。如上所述,“电介质/空气”接口的使用也最小化了散射和反射的可能性。此外,继续覆盖工艺可用于沿面 22 沉积抗反射材料;再次作为晶片级工艺被执行。

[0042] 图 4 是作为纳米锥尖端宽度(以 nm 测量)的函数的插入损耗的曲线图。曲线 A 与图 1 的已有技术装置(其中纳米锥尖端暴露在 SOI 结构的抛光端面)相关联。大约 6dB 的最小插入损耗与 200nm 的纳米锥尖端宽度相关联。随着宽度的增加或减少,可以看到损耗在增加,达到 12dB 或更高的值。曲线 B 与在图 2 中示出的本发明的结构相关联。如图所示,插入损耗图示比已有技术的插入损耗图示更平坦,而且在约 200nm 的末端宽度处显示最小损耗,在该情况下,具有超过已有技术大约 4dB-2dB 的改进值。随着尖端宽度的增加或减少,损耗以比已有技术更慢的速率增加,无论如何不会超过比 7dB 更高的值。

[0043] 有许多实例,其中,需要使从重新进入入射信号路径的任何余留的反射信号改变方向。作为如下将会关联图 10-13 详细论述的,包括激光源的任何装置都将从使反射信号改变方向远离激光腔中获益。因此,根据本发明,等离子体蚀刻工艺可用于使耦合面成特定角度,以重新指引任何反射信号远离激光源的作用区域。

[0044] 图 5 示出本发明的代表性的实施方式,其提供反射信号的重新指引。图 5 是示出将光信号耦合进入光波导 10 的端面 11 的实施方式的顶视图;在该特定实施方式中不使用纳米锥过渡区域(然而应理解的是,凭使用者的自行处理,任何实施方式可包括或不包括纳米锥过渡区域)。如图所示,产生有角度的耦合面 30,其将成功地重新指引从入射光信号的信号路径(由箭头“I”示出)出来的任何反射信号(由箭头“R”示出)。在该特定实施方式中,有角度的表面沿着基底的顶部表面由“前至后”产生。示出的角度 θ 选择成足以确保反射信号将远离有角度的耦合面 30 传播,而不过度地限制进入波导 10 的端面 11 的耦合效率。有利地,有角度的耦合面 30 的使用还消除了在面上应用抗反射 (AR) 涂层的需

要,节约制造时间和成本两者。

[0045] 有角度的面还可在垂直方向上形成,如图 6 的实施方式所示。在该情况下,使用根据本发明的蚀刻工艺形成向下有角度的面 32。如图所示,入射线 I 将通过波导覆层材料被指引,并且耦合进入光波导 10 的端面 11。反射线 R 被示出为以一角度被向上指引,远离入射光轴。在图 6 中所示的特定实施方式中,有角度的面 32 以角度 γ 形成,为了设备的预期目的而由制造商所控制。

[0046] 使用根据本发明的蚀刻耦合面的显著的益处在于面的外形可被光刻地控制,以产生任何需要的几何结构。图 7 是示出该优点的本发明的代表性的实施方式的顶视图,其中聚焦透镜 35 通过沿着光学基底的端面蚀刻适当外形的弯曲部分来形成。如箭头所示,入射平行信号被透镜 35 聚焦进入在端面 11 的光波导 10 的中心部分。该装置的交互特性 - 和本发明每种其他实施方式一样 - 将允许输出信号沿着波导 10 传播,以当它离开光学基底时被转变为平行信号。

[0047] 由于蚀刻是可以被光刻工艺控制以产生不同的几何结构的工艺,在光波导和自由空间光信号之间可能形成作为“耦合面”的多个部件。图 8 是代表性的多组合的耦合面的顶视图,其包括一组具体地形成图案的蚀刻外形,以形成第一聚焦透镜 34 和第二准直透镜 36。在该特定实施方式中,形成波导 10 以包括纳米锥过渡区域 16,其在纳米锥尖端 18 终止。腔 40 使用图案和蚀刻工艺通过波导覆层材料产生,控制蚀刻工艺以产生与聚焦透镜 34 和准直透镜 36 的第一表面 33 相关联的所需要的外形。具体地,在波导覆层材料的表面产生具有腔 40 的外形的光刻用掩膜。此后,使用适当的蚀刻剂除去暴露区域,留下腔 40 (其将有利地显示所需要的光学上平滑的表面)。准直透镜 36 的外部表面 37 也使用蚀刻工艺成形,以提供所需要的耦合面几何结构。

[0048] 由于使用传统的光刻图案化和蚀刻技术以形成根据本发明的耦合面,多个这种面可沿着单个端面形成,用于光波导阵列。图 9 是本发明的一个代表性的阵列实施方式的顶视图,在该情况下,示出多个波导 10-1, 10-2, 10-3, ..., 10-N, 其使用与如上述实施方式相同的方式形成的多个蚀刻透镜 35-1, 35-2, 35-3, ..., 35-N。有利地,单个形成图形步骤可用于限定多个蚀刻透镜 35-1 到 35-N 的外形和位置,提供在透镜的焦点和波导 10-1 到 10-N 的端面 11-1 到 11-N 之间的对准。横过阵列复制相同透镜的几何结构的能力被认为是使用根据本发明制备的蚀刻耦合面的显著优点。虽然未被示出,应理解的是有角度的面可用于阵列波导结构 (而不是示出的带透镜的面)。在该情况下,面角度和与基底表面有关的波导阵列的角度两者都可以被控制以提供最佳耦合 (参看下图 13, 对有角度的面和有角度的波导的图示)。

[0049] 如上所述,将来自激光源的光耦合进入纳米锥波导的已有技术装置通常遇到稳定性问题。在许多实例中,单独的微透镜被放置在激光和纳米锥之间的光路径中。遗憾的是,透镜和纳米锥尖端两者都将反射一部分入射激光信号。反射信号的相当一部分已被发现耦合回到激光的作用区域中,导致激光的不稳定性。

[0050] 图 10 为显示该不稳定性问题的已有技术装置的顶视图。如图所示,包括作用区域 52 的激光器芯片 50 被激活以发出输出束,其接着通过空气传播并遇到由支撑元件 56 固定的微透镜元件 54。如图所示,微透镜 54 有聚焦向波导 10 的纳米锥尖端 18 发出的输出束的作用。由于已有技术耦合面 7 通过使用例如抛光工艺形成,入射束的相当一部分将被反

射,在图 10 中标记为“反射束的方向”的箭头所示。如图所示,该反射束的轴上部件将不受阻碍地穿过微透镜 54,并重新进入激光 50 的作用区域 52。

[0051] 根据本发明的教导,具有蚀刻外形的耦合面可以沿着光学基底的端面形成,以最小化被指引回到激光源的光能量。在图 11 的特定实施方式中,蚀刻耦合面被示出为显示将用作透镜 60 的外形。如上所述,端面的图案化结合波导的参数被确定,以使入射激光束聚焦进入纳米锥 16 的尖端 18。有利地,透镜 60 的弯曲部分还重新指引束的任何反射部分远离系统的光轴(即使反射束不聚焦)。透镜 60 的光学设计参数(比如,焦距)结合微透镜 54 的光学参数被选择,以最优优化入射激光束进入纳米末端 18 的耦合,而同时散射反射信号远离作用区域 52。

[0052] 图 12 所示为使用本发明的成形蚀刻面的可选的基于激光器的系统。在该情况下,有角度的面 62 沿着光学基底的端面 20 形成。在该特定实施方式中,有角度的面在光学基底中由端面 20 形成为凹进的(相对于上述的有角度的面,其被示出为“凹口”,任一几何结构适用于本发明的任一实施方式)。如图 12 所示,选择角度 ψ 以重新指引反射信号超出微透镜 54 的俘获角度。为了仍俘获大量的入射激光束,形成波导 10 以稍微偏离系统的光轴 OA。通过旋转波导 10 的配置可以实现耦合效率的提高,以致更好的与入射束对准。图 13 示出该配置,其中波导 10(和关联的纳米锥 18)设置为与光轴 OA 成角度 α 。

[0053] 在前述说明中,本发明根据其中的具体的代表性的实施方式被描述。然而,明显的是,可对其进行各种更改和变化,而不偏离在所附权利要求中提出的本发明的更广的精神和范围。相应地,说明书和附图被认为是解释性的而非限制性的意义。

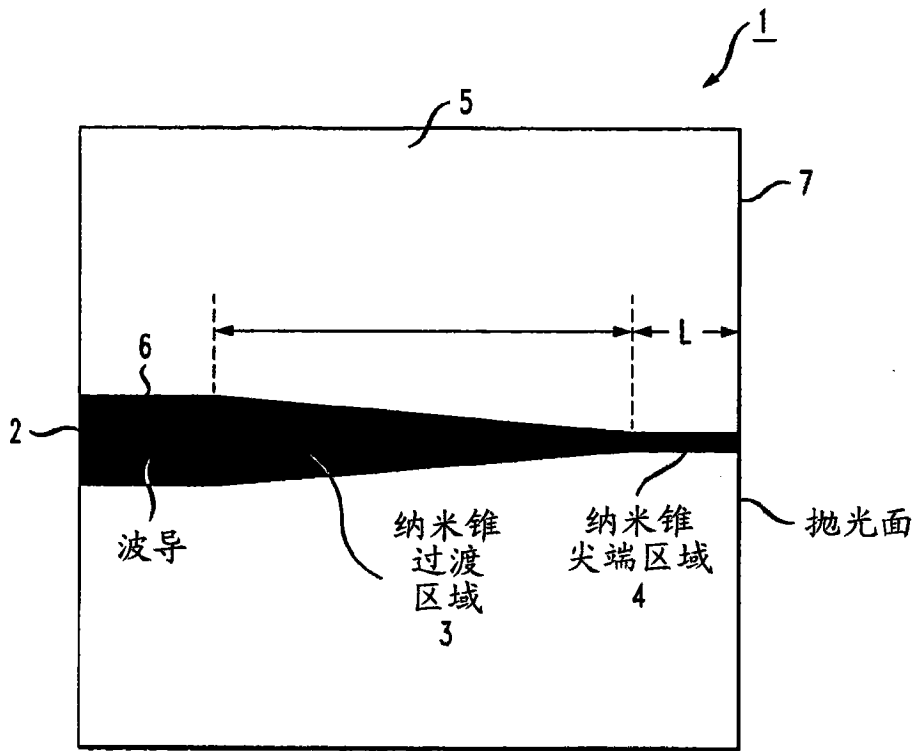


图 1 现有技术

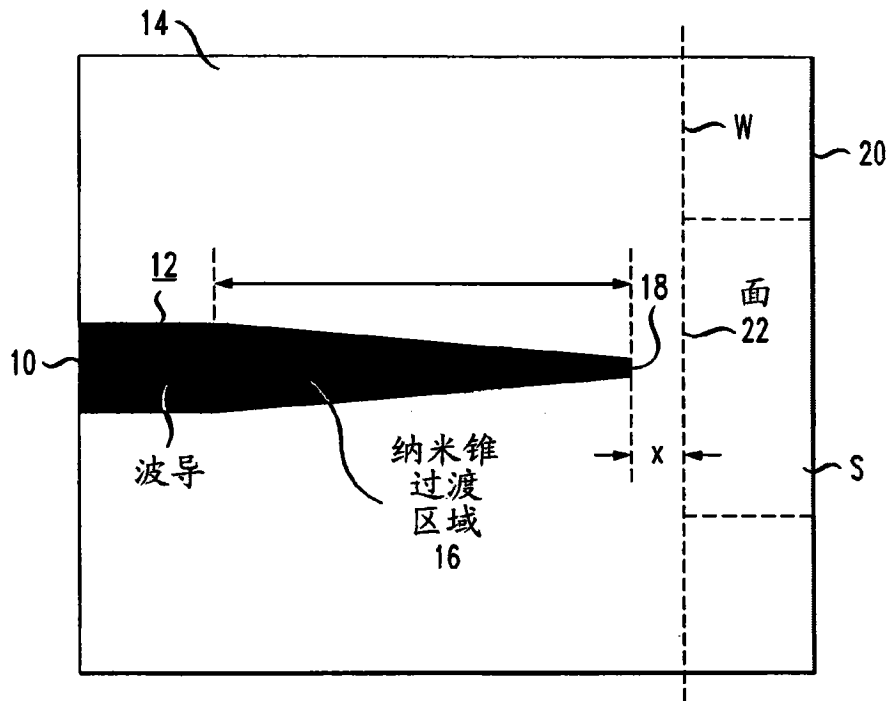


图 2

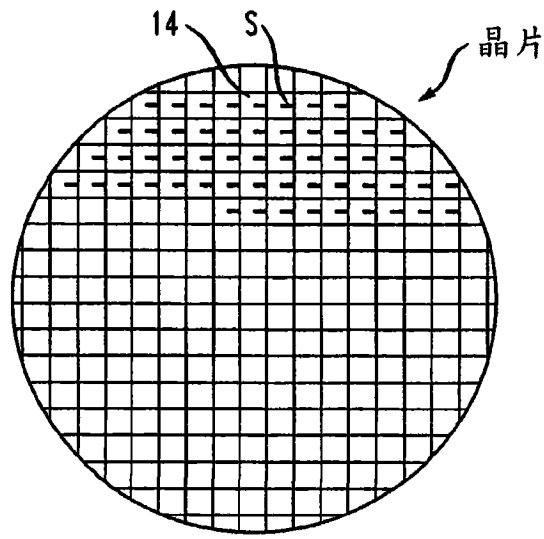


图 3

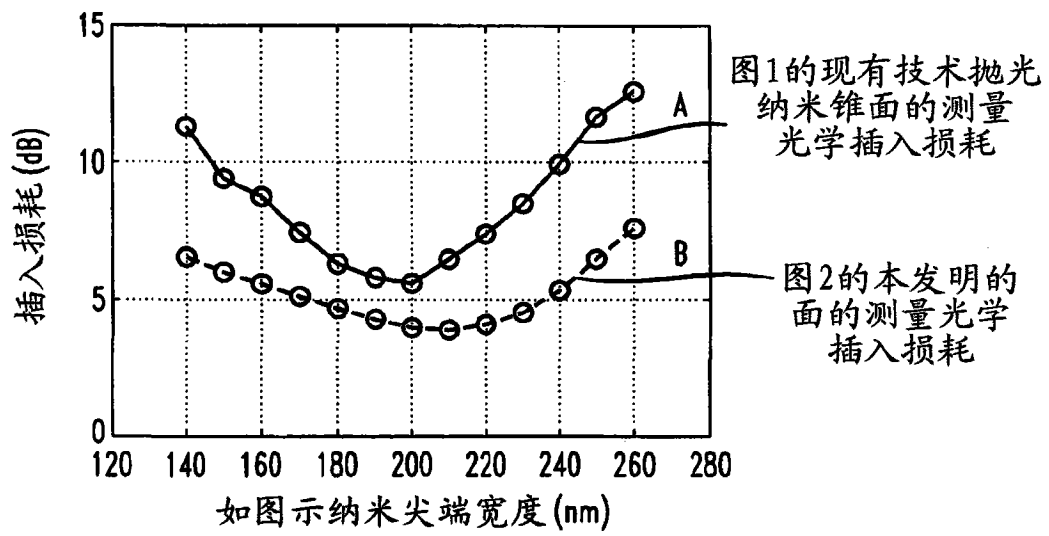


图 4

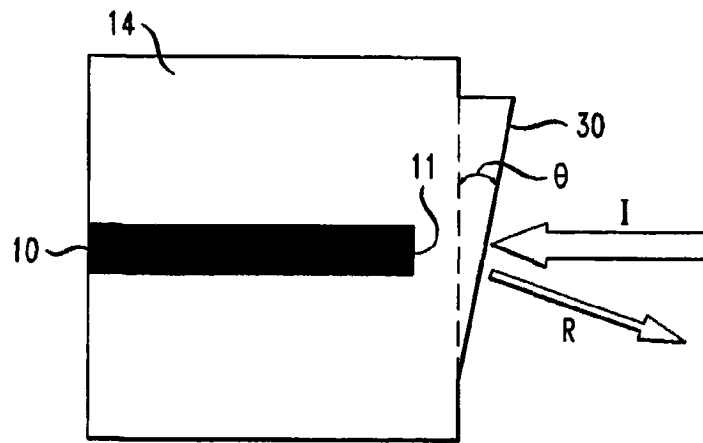


图 5

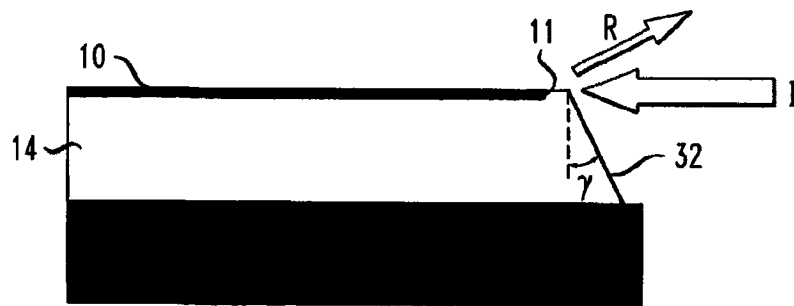


图 6

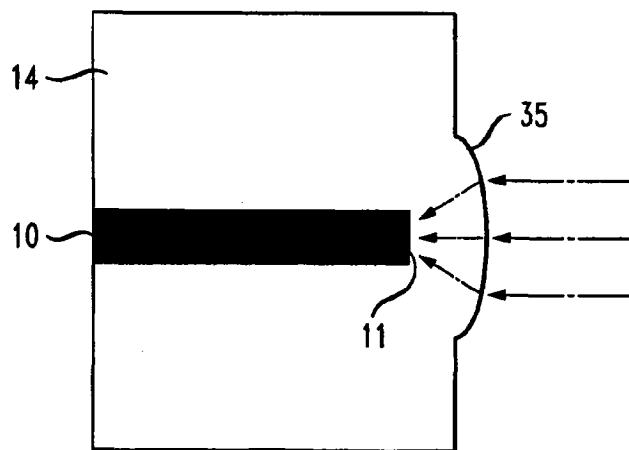


图 7

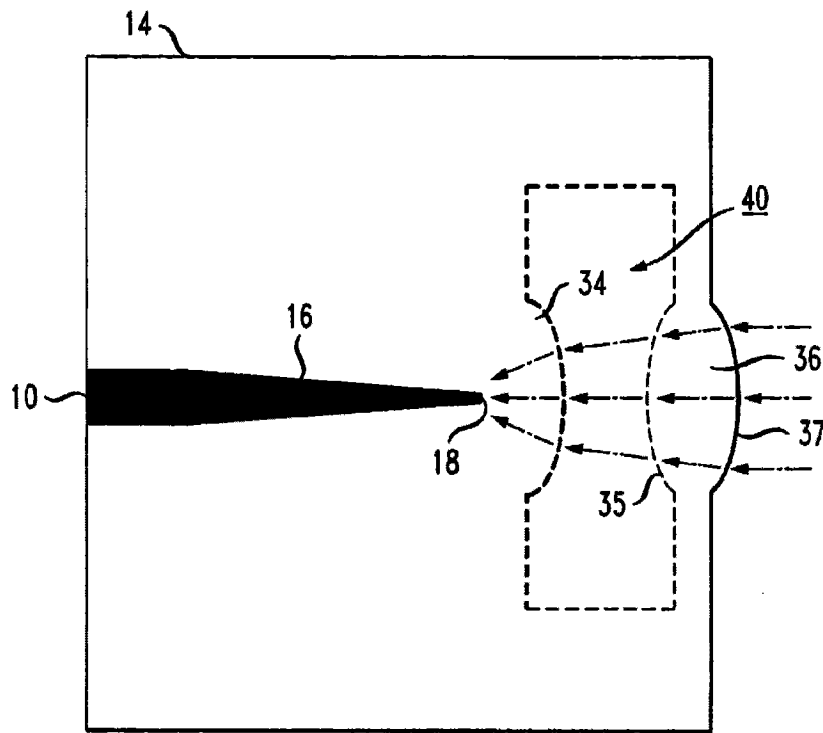


图 8

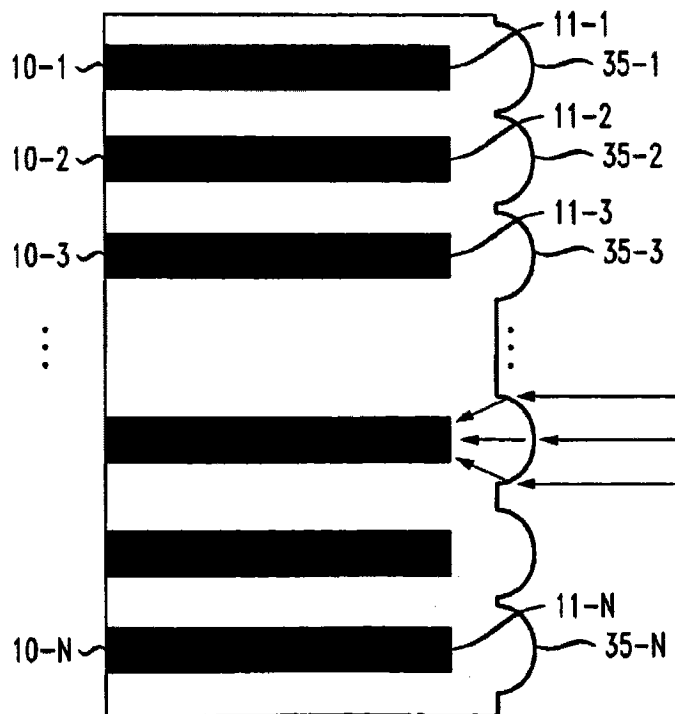


图 9

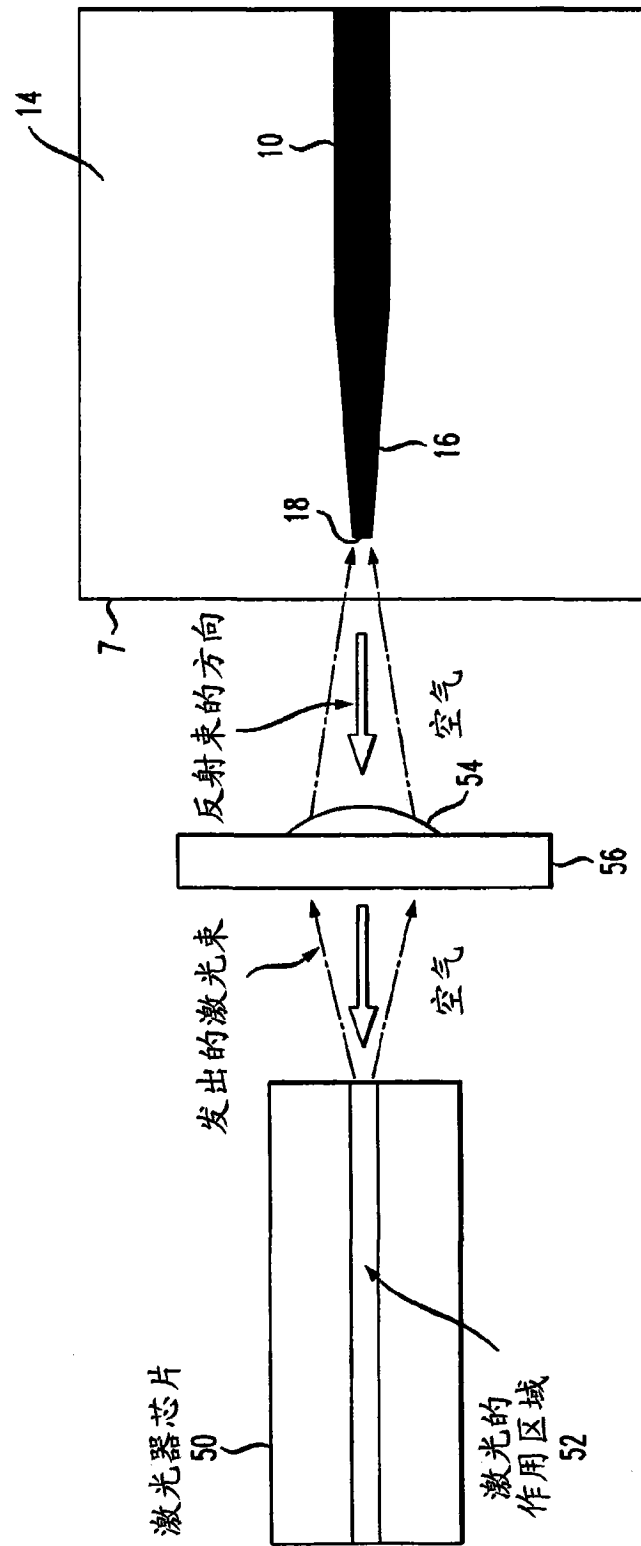


图 10 现有技术

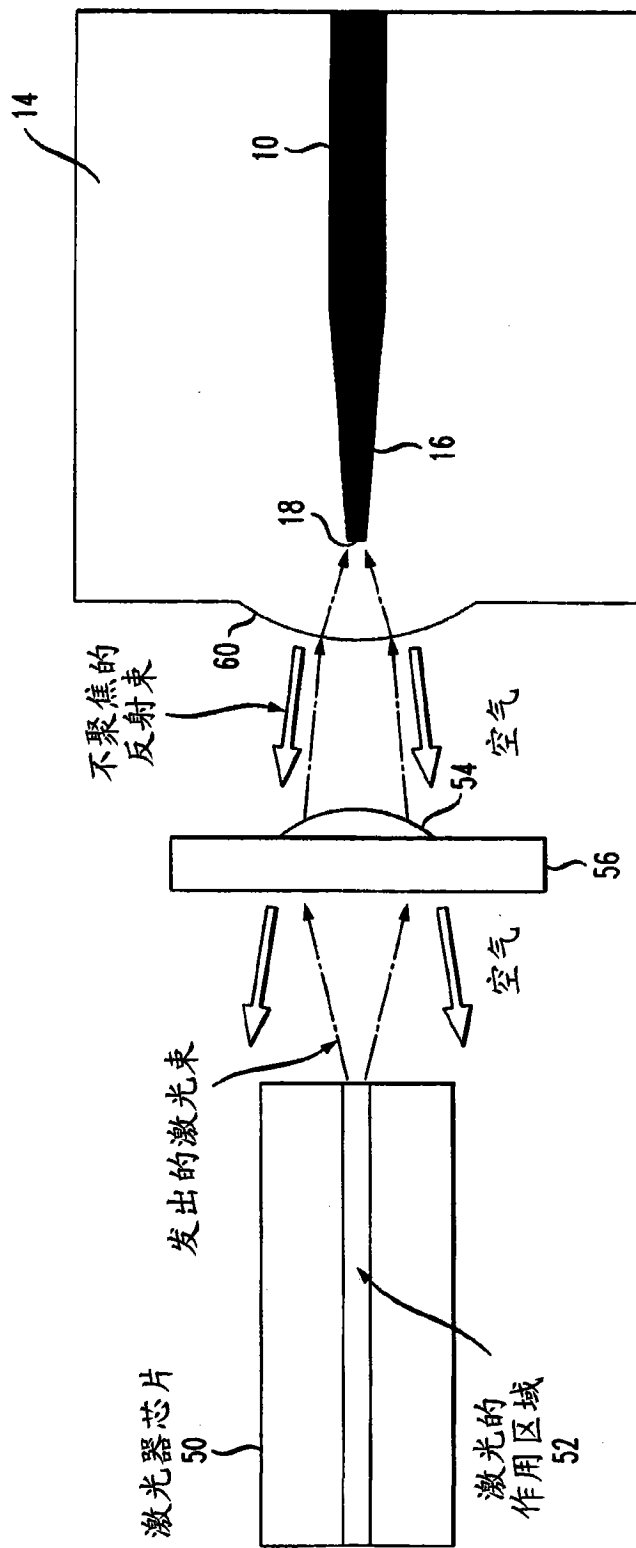


图 11

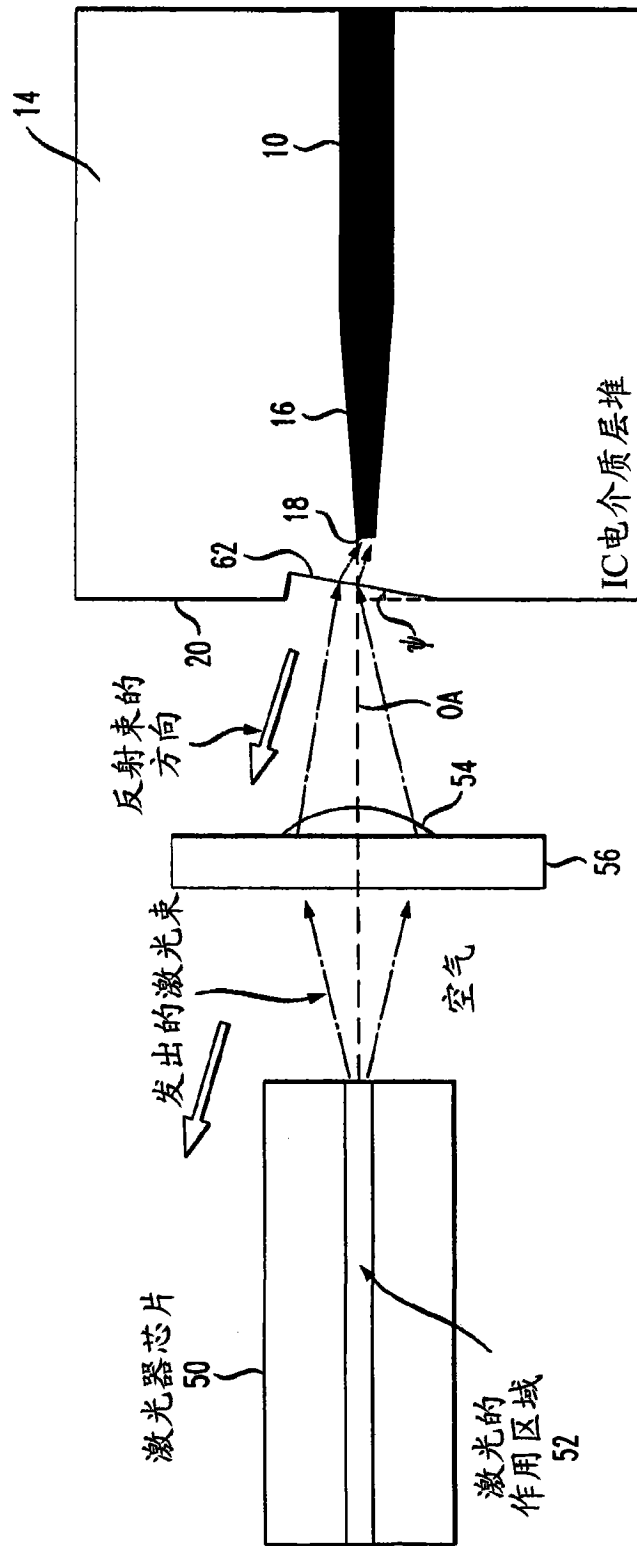


图 12

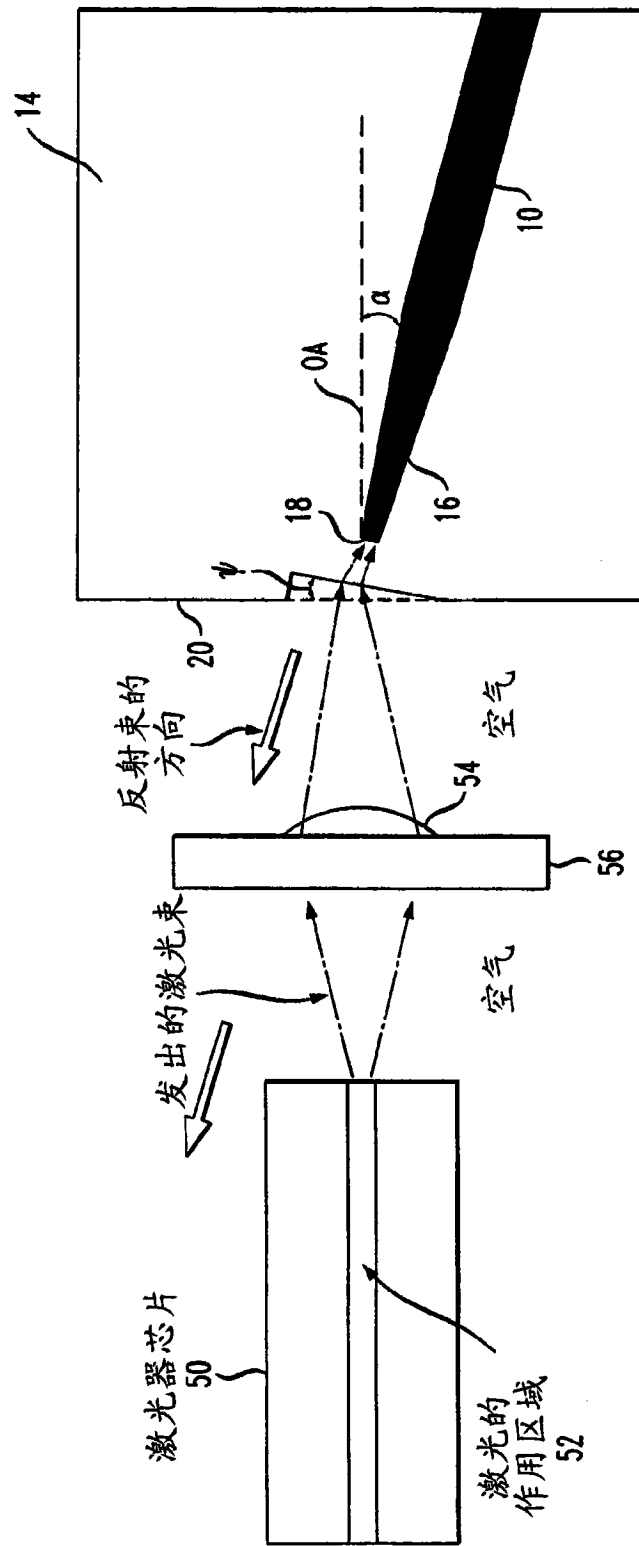


图 13