



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 109541744 A

(43)申请公布日 2019.03.29

(21)申请号 201710867297.5

(22)申请日 2017.09.22

(71)申请人 北京万集科技股份有限公司

地址 100085 北京市海淀区上地东路1号院
5号楼601

(72)发明人 王鹏飞 徐洋 李召松 李稚博
张冶金 于红艳 潘教青 王庆飞
田林岩

(74)专利代理机构 北京路浩知识产权代理有限
公司 11002

代理人 王莹 李相雨

(51)Int. Cl.

G02B 6/12(2006.01)

G02B 6/136(2006.01)

G01S 7/481(2006.01)

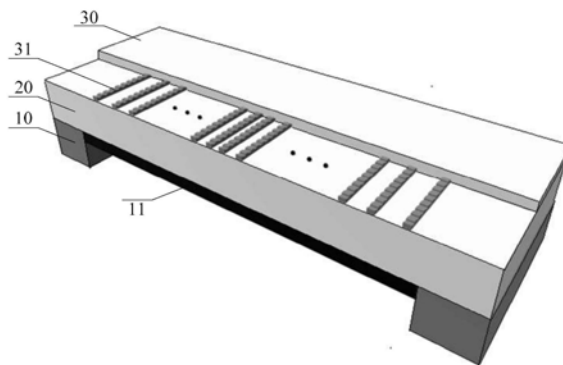
权利要求书1页 说明书6页 附图3页

(54)发明名称

一种基于反射层的硅基光学天线及制备方法

(57)摘要

本发明实施例提供一种基于反射层的硅基光学天线及制备方法。硅基光学天线包括SOI衬底,所述SOI衬底至少包括衬底硅层、埋氧化层和顶部硅层,其中所述埋氧化层位于所述衬底硅层和所述顶部硅层中间,将所述SOI衬底的顶部硅层通过刻蚀形成波导阵列,并刻有光栅,在所述SOI衬底的衬底硅层与所述埋氧化层相接位置形成金属反射层。本发明实施例通过在所述光学天线的衬底硅层与埋氧化层之间形成金属反射层,从而提高了所述光学天线的辐射效率。



1. 一种基于反射层的硅基光学天线,其特征在于,所述光学天线包括:
SOI衬底,所述SOI衬底至少包括衬底硅层、埋氧化层和顶部硅层,其中所述埋氧化层位于所述衬底硅层和所述顶部硅层中间,将所述SOI衬底的顶部硅层通过刻蚀形成波导阵列,并刻有光栅,在所述SOI衬底的衬底硅层与所述埋氧化层相接位置形成金属反射层。
2. 根据权利要求1所述的光学天线,其特征在于,所述金属反射层所在区域与所述光栅所在区域相对应,且大于所述光栅所在区域。
3. 根据权利要求1所述的光学天线,其特征在于,所述金属反射层的厚度与所述金属反射层的金属材料类型和所述光学天线处理的光波波段相对应。
4. 根据权利要求1所述的光学天线,其特征在于,所述波导阵列为一系列水平排列的波导。
5. 一种制备如权利要求1-4任一个所述光学天线的方法,其特征在于,所述方法包括:
获取第一SOI衬底,所述第一SOI衬底至少包括衬底硅层、埋氧化层和顶部硅层;
在所述顶部硅层刻蚀形成波导阵列,并刻有光栅,从而得到第二SOI衬底;
在所述第二SOI衬底的衬底硅层刻蚀出一块与所述光栅所在区域相对应的槽,并在所述埋氧化层下表面形成一个反射面,从而得到第三SOI衬底;
在所述反射面沉积金属反射层,从而得到第四SOI衬底。
6. 根据权利要求5所述的方法,其特征在于,所述金属反射层所覆盖区域大于相对应的光栅所在区域。
7. 根据权利要求5所述的方法,其特征在于,所述金属反射层的厚度与所述金属反射层的金属材料类型和所述光学天线处理的光波波段相对应。
8. 根据权利要求5所述的方法,其特征在于,所述方法还包括:
在所述第二SOI衬底的所述光栅所在区域的上方生长一层SiO₂保护层。
9. 根据权利要求5所述的方法,其特征在于,所述波导阵列为一系列水平排列的波导。

一种基于反射层的硅基光学天线及制备方法

技术领域

[0001] 本发明实施例涉及天线技术领域,尤其涉及一种基于反射层的硅基光学天线及制备方法。

背景技术

[0002] 相控阵激光雷达的概念早已被提出,各种不同的设计方案也在不断开展,其基本模块也均已成熟,如光源、分束、调相等,但是其如何将各波导调相后的光高效地导出光子集成回路仍是个巨大的挑战。这是由于波导的折射率比空气大很多,当光从波导耦合到自由空间中十分困难,以至于光学天线的发射效率极低,严重影响其利用率。另外,从各波导耦合到自由空间中的光干涉后形成的栅瓣会严重影响天线的性能,其扫描范围也会因此而大打折扣。

[0003] 目前,国际上面向相控阵激光雷达的光学天线主要分为以下两种,一、金属偶极子型光学天线;二、非金属光学天线,以光栅型光学天线为主。金属偶极子型光学天线的工作原理是光激发金属表面等离子共振,形成近场光学增强。但是该结构的天线在实际应用上有很多限制条件,因为该近场光学增强效应对金属的尺寸、光的波长及极化方式十分敏感,且向外辐射能力有限,其应用基本上局限于近场,除此之外,金属纳米颗粒型光学天线的衬底一般与标准CMOS工艺衬底相差较大,不利于大规模集成。随着集成光学的发展,耦合光栅型光学天线由于其工艺简单、与CMOS工艺兼容等优点,成为光子集成最有效的耦合方法。但已报道的该类型光学天线,其性能也存在很多问题,例如,各波导上从光栅向外耦合的光发散严重,辐射效率极低,并且干涉后栅瓣能量较大,没有得到很好的抑制,这对于激光雷达的扫描功能是极其不利的。

发明内容

[0004] 本发明实施例提供一种基于反射层的硅基光学天线及制备方法,用以解决现有技术中光栅型光学天线辐射效率低下的问题。

[0005] 一方面,本发明提供了一种硅基光学天线,包括:

[0006] SOI衬底,所述SOI衬底至少包括衬底硅层、埋氧化层和顶部硅层,其中所述埋氧化层位于所述衬底硅层和所述顶部硅层中间,将所述SOI衬底的顶部硅层通过刻蚀形成波导阵列,并刻有光栅,在所述SOI衬底的衬底硅层与所述埋氧化层相接位置形成金属反射层。

[0007] 另一方面,本发明实施例提供了一种基于反射层的硅基光学天线的制备方法,包括:

[0008] 获取第一SOI衬底,所述第一SOI衬底至少包括衬底硅层、埋氧化层和顶部硅层;

[0009] 在所述顶部硅层刻蚀形成波导阵列,并刻有光栅,从而得到第二SOI衬底;

[0010] 在第二SOI衬底的衬底硅层刻蚀出一块与所述光栅所在区域相对应的槽,并在所述埋氧化层下表面形成一个反射面,从而得到第三SOI衬底;

[0011] 在所述反射面沉积金属反射层,从而得到第四SOI衬底。

[0012] 本发明实施例提供的基于反射层的硅基光学天线及制备方法,通过对在所述光学天线的衬底硅层与埋氧化层之间形成金属反射层,从而提高了所述光学天线的辐射效率。

附图说明

- [0013] 图1为本发明实施例的基于反射层的硅基光学天线结构示意图;
[0014] 图2为本发明实施例的基于反射层的硅基光学天线制备方法流程示意图;
[0015] 图3为本发明实施例的第一SOI衬底结构示意图;
[0016] 图4为本发明实施例的第二SOI衬底结构示意图;
[0017] 图5为本发明实施例的另一第二SOI衬底结构示意图;
[0018] 图6为本发明实施例的第四SOI衬底结构示意图。

具体实施方式

[0019] 为使本发明实施例的目的、技术方案和优点更加清楚,下面将结合本发明实施例中的附图,对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有作出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。

[0020] 图1为本发明实施例的基于反射层的硅基光学天线结构示意图,如图1所示,所述光学天线包括:

[0021] SOI衬底,所述SOI衬底至少包括衬底硅层10、埋氧化层20和顶部硅层30,其中所述埋氧化层20位于所述衬底硅层10和所述顶部硅层30中间,将所述SOI衬底的顶部硅层30通过刻蚀形成波导阵列,并刻有光栅,在所述SOI衬底的衬底硅层10与所述埋氧化层20相接位置形成金属反射层11。

[0022] 光学天线被用于接收或发射光波可以被应用到很多光学器件中,例如相控阵激光雷达。所述光学天线具体为集成在一片CMOS半导体材料上的电子器件,其中最为常用的一种CMOS半导体材料就是SOI衬底,所述SOI衬底由下至上至少包括有衬底硅层10、埋氧化层20和顶部硅层30,每一层的材料和厚度可以根据不同的要求来进行定制。当然也可以采用一些市场上的常规标准CMOS工艺SOI衬底产品,衬底硅层10材料为Si厚度为500~600 μm ,埋氧化层20材料为 SiO_2 厚度为2 μm ,顶部硅层30材料为Si厚度为220nm或340nm。为了表述方便,在下面的实施例中,都以上述标准CMOS工艺SOI衬底为SOI衬底来集成本发明实施例的光学天线,其中所述顶部硅层30的厚度为220nm。

[0023] 对SOI衬底的顶部硅层30进行刻蚀来形成波导阵列,所述波导阵列具体为一列水平排列的波导31。在每条波导31上还需要刻蚀出相应数量的光栅,所有波导31上的光栅组合成二维衍射光栅,从而让光波可以通过所述二维衍射光栅来实现从波导31射出或者射入波导31。为了表述方便,在下面的实施例中,都以光波从二维衍射光栅射出为例。

[0024] 光学天线是用来接收或发射光波的,由于光波波段的差别会很大,所以不可能一种光学天线的设计就能够满足所有光波的使用,即使可以使用相同的设计思路,其中的各个参数也会需要根据光学天线处理的光波波段的不同而产生相应的变化,例如1.5~1.6 μm 。为了表述方便,在下面的实施例中,都以所述光波波段为1.5~1.6 μm 为例来进行说明。

[0025] 当光波经过波导31进入到所述二维衍射光栅所在区域时,会在光栅形成折射和反

射,其中折射的光波会射出光栅,并在自由空间中形成耦合,从而达到光学天线发射光波的目的,而同时大量反射的光波则会穿过波导31,被下层的衬底硅层10所吸收。由此可见这对于整个光学天线的辐射效率而言是不利的。

[0026] 为此本发明实施例在所述SOI衬底的衬底硅层10与所述埋氧化层20相接位置形成金属反射层11。也就是通过深刻蚀的方法,将所述衬底硅层10刻蚀出一个矩形槽,一直到达所述埋氧化层20与所述衬底硅层10相接的位置。然后在所述矩形槽中沉积一定厚度的金属反射层11。当被光栅反射的光波到达所述金属反射层11时,所述金属反射层会再次将反射的光波反射回去,从而使更多的光波能够进入到自由空间中,与之前折射进入自由空间的光波进一步耦合,以提高整个光学天线的辐射效率。

[0027] 本发明实施例通过在所述光学天线的衬底硅层10与埋氧化层20之间形成金属反射层11,从而提高了所述光学天线的辐射效率。

[0028] 基于上述实施例,进一步地,所述金属反射层11所在区域与所述光栅所在区域相对应,且大于所述光栅所在区域。

[0029] 在所述光学天线形成金属反射层时,需要先确定所述金属反射层的区域与大小。由于所述金属反射层是用来反射由光栅反射的光波,所以,所述金属反射层需要与所述光栅所在区域相对应,也就是在所述二维衍射光栅的正下方。同时考虑光波发射的角度,所述金属反射层所在区域还需要大于所述光栅所在区域,例如,金属反射层的边长比光栅所在区域的边长长 $10\sim 20\mu\text{m}$ 。

[0030] 进一步地,所述金属反射层的厚度与所述金属反射层的金属材料类型和所述光学天线处理的光波波段相对应。

[0031] 由于不同的金属对不同波段的光波的吸收效果不同,而且所述金属反射层的厚度也会对反射效果产生很大的影响。例如,对 $1.5\sim 1.6\mu\text{m}$ 波段,如果采用银为材料来形成金属反射层,若厚度小于 100nm ,会对光有较强的吸收。所以当所述金属反射层的材料选择为银时,其厚度需要大于 100nm 。而若银质的金属反射层的厚度达到 220nm ,则此时所设计光学天线辐射效率最高可达 72% 。又例如以金为材料,则会发现其对于 $1.5\sim 1.6\mu\text{m}$ 波段的光波吸收效果会强于银一倍以上。在此对形成金属反射层的金属材料并不作限定,会根据具体的条件和要求来进行具体的设计。

[0032] 本发明实施例通过对金属反射层区域、大小、材料以及厚度的分析,可以进一步得形成更适合当前光波波段的金属反射层,从而使光学天线获取更好的辐射效率。

[0033] 基于上述实施例,进一步地,所述波导阵列为一列水平排列的波导。

[0034] 在对SOI衬底的顶部硅层进行刻蚀来形成波导阵列时,所述波导阵列具体为一列水平排列的波导。其中对于波导阵列的排列方式有很多种,例如均匀排列,也就是相邻相波导间的间距相同。均匀排列最为简单方便,但也带来了高栅瓣和远场发散角大等缺陷。

[0035] 另外由于硅对于 $1.5\sim 1.6\mu\text{m}$ 波段的折射率约为 3.47 ,并考虑波导设计的衍射极限问题,及波导最小宽度需大于波导中所传播模式的有效半波长,从而设计该光学天线波导宽度为 $400\sim 600\text{nm}$ 。

[0036] 同时由于所述光学天线可能会需要与弯曲波导进行连接,故天线的波导结构需与弯曲波导相一致,为了使损耗降到最低,采用全刻蚀的方法刻出波导,即若所述SOI衬底的顶部硅层的厚度为 220nm ,则所述波导的刻蚀深度为 220nm ,即所述波导的厚度为 220nm 。该

结构波导可使前端弯曲波导的弯曲损耗达到最小,波导弯曲所泄露的能量达到最低。

[0037] 另外在波导上进行光栅刻蚀时,需要先计算光栅周期,然后再根据光栅周期来确定每个光栅所在的位置。由于所述光波波段 λ_0 为 $1.5\sim 1.6\mu\text{m}$,所述波导阵列对于此波段的有效折射率 n_{eff} 约为2.38,根据二维衍射光栅公式 $\Lambda = \lambda_0/n_{\text{eff}}$ 得到所述二维衍射光栅周期 Λ 为 $600\sim 680\text{nm}$,即在波导上均匀地在每个光栅周期 Λ 的距离上进行光栅刻蚀。而光栅的宽度则由占空比来决定,也就是所述光栅的宽度与所述光栅周期的比值。通过计算可知,在光波波段 $1.5\sim 1.6\mu\text{m}$,二级衍射光栅占空比为 $0.4\sim 0.6$ 时,向外辐射效率最高。

[0038] 为了获得小的沿波导方向的远场发散角,及高的纵向扫描分辨率,设计光学天线的二维衍射光栅刻蚀深度较浅,为 $20\sim 70\text{nm}$,所述二维衍射光栅区域较长,为 $80\sim 100\mu\text{m}$ 。

[0039] 图2为本发明实施例的基于反射层的硅基光学天线制备方法流程示意图,图3为本发明实施例的第一SOI衬底结构示意图,图4为本发明实施例的第二SOI衬底结构示意图,图5为本发明实施例的另一第二SOI衬底结构示意图,图6为本发明实施例的第四SOI衬底结构示意图,如图2所示,所述方法包括:

[0040] 步骤S01、获取第一SOI衬底,所述第一SOI衬底至少包括衬底硅层、埋氧化层和顶部硅层;

[0041] 如图3所示,获取第一SOI衬底,所述第一SOI衬底由下至上至少包括有衬底硅层10、埋氧化层20和顶部硅层30,每一层的材料和厚度可以根据不同的要求来进行定制。当然也可以采用一些市场上的常规标准CMOS工艺SOI衬底产品,衬底硅层10材料为Si厚度为 $500\sim 600\mu\text{m}$,埋氧化层20材料为 SiO_2 厚度为 $2\mu\text{m}$,顶部硅层30材料为Si厚度为 220nm 或 340nm 。为了表述方便,在下面的实施例中,都以上述标准CMOS工艺SOI衬底为获取的第一SOI衬底来集成本发明实施例的光学天线,其中所述顶部硅层厚度为 220nm 。

[0042] 步骤S02、在所述顶部硅层刻蚀形成波导阵列,并刻有光栅,从而得到第二SOI衬底;

[0043] 如图4和图5所示,在第一SOI衬底上,对SOI衬底的顶部硅层30进行刻蚀来形成波导阵列。其中刻蚀所用的方法有很多,例如利用电子束曝光或步近式光刻,及感应耦合等离子(ICP)刻蚀的方法,在顶层硅层30刻出尺寸相同的波导阵列,所述波导阵列具体为一列水平排列的波导31。

[0044] 然后再利用电子束套刻及ICP刻蚀的方法在各波导31刻上光栅32,形成二维衍射光栅,从而得到第二SOI衬底。

[0045] 光波可以通过所述二维衍射光栅来实现从波导31射出或者射入波导31。为了表述方便,在下面的实施例中,都以光波从二维衍射光栅射出为例。

[0046] 步骤S03、在第二SOI衬底的衬底硅层刻蚀出一块与所述光栅所在区域相对应的槽,并在所述埋氧化层下表面形成一个反射面,从而得到第三SOI衬底;

[0047] 在所述第二SOI衬底的衬底硅层通过深刻蚀的方法,例如光刻及ICP深刻蚀的方法,刻蚀出一个矩形槽,刻蚀停止在埋氧化层20的下表面,从而在所述埋氧化层20的下表面形成一个反射面,从而得到第三SOI衬底。

[0048] 当然由于标准CMOS工艺SOI衬底的衬底硅层10厚度达到 $500\sim 600\mu\text{m}$,直接采用刻蚀的方法来刻蚀出槽有很大的难度。所以在刻蚀前先要对所述衬底硅层10进行研磨,例如利用化学机械研磨(CMP),将所述衬底硅层减薄至 $50\sim 100\mu\text{m}$ 。然后再采用刻蚀的方法来形

成所述反射面。

[0049] 步骤S04、在所述反射面沉积金属反射层,从而得到第四SOI衬底。

[0050] 如图6所示,在所述第三SOI衬底的反射面沉积金属薄膜,例如用磁控溅射沉积金属薄膜,形成金属反射层,从而得到第四SOI衬底。

[0051] 此时当光波经过波导31进入到所述二维衍射光栅所在区域时,会在光栅形成折射和反射,其中折射的光波会射出光栅,进入自由空间而被光栅反射的光波到达所述金属反射层11时,所述金属反射层会再次将反射的光波反射回去,从而使更多的光波能够进入到自由空间中,与之前折射进入自由空间的光波进一步耦合,以提高整个光学天线的辐射效率。

[0052] 本发明实施例提供的制备方法用于制作上述光学天线,其结构和功能具体参考上述光学天线实施例,此处不再赘述。

[0053] 本发明实施例通过在所述光学天线的衬底硅层10与埋氧化层20之间形成金属反射层11,从而提高了所述光学天线的辐射效率。

[0054] 基于上述实施例,所述金属反射层所覆盖区域大于相对应的光栅所在区域。

[0055] 在对所述第二SOI衬底的衬底硅层通过深刻蚀的方法,刻蚀出一个矩形槽,需要先计算所述矩形槽,也就是反射面,以及金属反射层所在的区域及大小。由于所述金属反射层是用来反射由光栅反射的光波,所以,所述金属反射层需要与所述光栅所在区域相对应,也就是在所述二维衍射光栅的正下方。同时考虑光波发射的角度,所述金属反射层所在区域还需要大于所述光栅所在区域,例如,金属反射层的边长比光栅所在区域的边长长10~20 μ m。

[0056] 进一步地,所述金属反射层的厚度与所述金属反射层的金属材料类型和所述光学天线处理的光波波段相对应。

[0057] 由于不同的金属对不同波段的光波的吸收效果不同,而且所述金属反射层的厚度也会对反射效果产生很大的影响。例如,对1.5~1.6 μ m波段,如果采用银为材料来形成金属反射层,若厚度小于100nm,会对光有较强的吸收。所以当所述金属反射层的材料选择为银时,其厚度需要大于100nm。而若银质的金属反射层的厚度达到220nm,则此时所设计光学天线辐射效率最高可达72%。又例如以金为材料,则会发现其对于1.5~1.6 μ m波段的光波吸收效果会强于银一倍以上。在此对形成金属反射层的金属材料并不作限定,会根据具体的条件和要求来进行具体的设计。

[0058] 本发明实施例提供的制备方法用于制作上述光学天线,其结构和功能具体参考上述光学天线实施例,此处不再赘述。

[0059] 本发明实施例通过对金属反射层区域、大小、材料以及厚度的分析,可以进一步得形成更适合当前光波波段的金属反射层,从而使光学天线获取更好的辐射效率。

[0060] 基于上述实施例,进一步地,所述方法还包括:

[0061] 在所述第二SOI衬底的所述光栅所在区域的上方生长一层SiO₂保护层。

[0062] 为了能够进一步得保护光学天线,需要在光学天线的上方,也就所述二维衍射光栅所在区域的上方覆盖一层SiO₂保护层。其方法有很多,例如利用等离子加强化学气相沉积(PECVD),在光栅区域上方生长一层厚度为1~3 μ m的SiO₂保护层,从而能够在对所述光学天线所在SOI衬底上进行其它工艺时,保护所述光学天线。

[0063] 本发明实施例提供的制备方法用于得到上述光学天线,其结构与功能具体参考上述光学天线实施例,此处不再赘述。

[0064] 本发明实施例通过在所述光学天线上覆盖一层SiO₂保护层,从而有利于光学天线与其它器件的集成操作,保护所述光学天线。

[0065] 基于上述实施例,进一步地,所述波导阵列为一列水平排列的波导。

[0066] 在对所述第一SOI衬底的顶部硅层进行刻蚀形成波导阵列时,需要先对其波导形状及排列方式进行计算。

[0067] 由于硅对于1.5~1.6 μm 波段的折射率约为3.47,并考虑波导31设计的衍射极限问题,及波导最小宽度需大于波导31中所传播模式的有效半波长,从而设计该光学天线波导31宽度为400~600nm。为了表述方便,在下面的实施例中都以波段1.5~1.6 μm 为所述光学天线处理光波波段为例。

[0068] 由于所述光学天线可能需要与弯曲波导进行连接,故天线的波导31结构需与弯曲波导相一致,为了使损耗降到最低,采用全刻蚀的方法刻出波导,即若所述SOI衬底的顶部硅层30的厚度为220nm,则所述波导31的刻蚀深度为220nm,即所述波导31的厚度为220nm。该结构波导可使前端弯曲波导的弯曲损耗达到最小,波导弯曲所泄露的能量达到最低。

[0069] 另外在波导31上进行光栅刻蚀时,需要先计算光栅周期,然后再根据光栅周期来确定每个光栅32所在的位置。由于所述光波波段 λ_0 为1.5~1.6 μm ,所述波导阵列对于此波段的有效折射率 n_{eff} 约为2.38,根据二维衍射光栅公式 $\Lambda = \lambda_0 / n_{\text{eff}}$ 得到所述二维衍射光栅周期 Λ 为600~680nm,即在波导上均匀地在每个光栅周期 Λ 的距离上进行光栅刻蚀。而光栅32的宽度则由占空比来决定,也就是所述光栅32的宽度与所述光栅周期的比值。通过计算可知,在光波波段1.5~1.6 μm ,二级衍射光栅占空比为0.4~0.6时,向外辐射效率最高。

[0070] 为了获得小的沿波导方向的远场发散角,及高的纵向扫描分辨率,设计光学天线的二维衍射光栅刻蚀深度较浅,为20~70nm,所述二维衍射光栅区域较长,为80~100 μm 。

[0071] 本发明实施例提供的制备方法用于制作上述光学天线,其结构和功能具体参考上述光学天线实施例,此处不再赘述。

[0072] 本发明实施例通过将光学天线中的波导采用浅刻蚀光栅的方法,从而使光波在通过组成的二维衍射光栅时能够获取小的远场发散角、高的栅瓣抑制效果、高的横向和纵向扫描分辨率。所述光学天线以32路为例,所垂直波导方向的远场发散角小于2°,且栅瓣抑制比为6.81dB,可实现横向,即垂直波导方向, $\pm 40^\circ$ 的扫描范围,实现纵向,即沿波导方向, $\pm 10^\circ$ 的扫描范围。若波导路数更多,则所述光学天线的远场特性则更佳。

[0073] 最后应说明的是:以上实施例仅用以说明本发明的技术方案,而非对其限制;尽管参照前述实施例对本发明进行了详细的说明,本领域的普通技术人员应当理解:其依然可以对前述各实施例所记载的技术方案进行修改,或者对其中部分技术特征进行等同替换;而这些修改或者替换,并不使相应技术方案的本质脱离本发明各实施例技术方案的精神和范围。

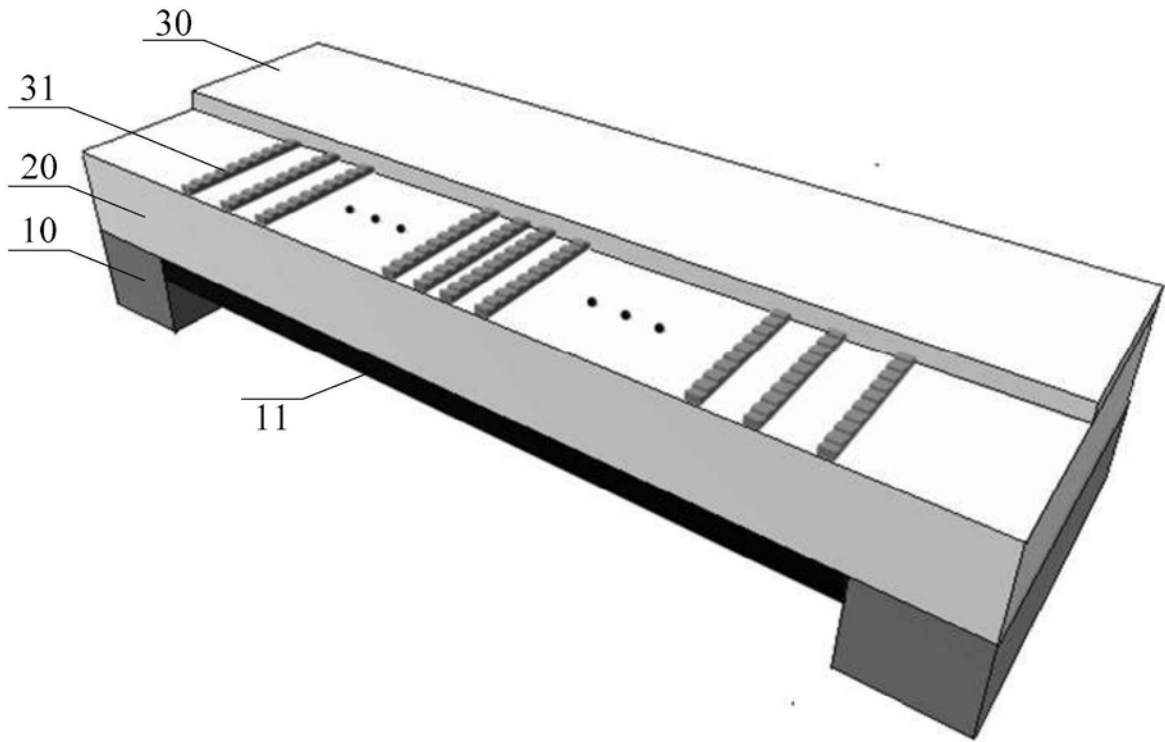


图1

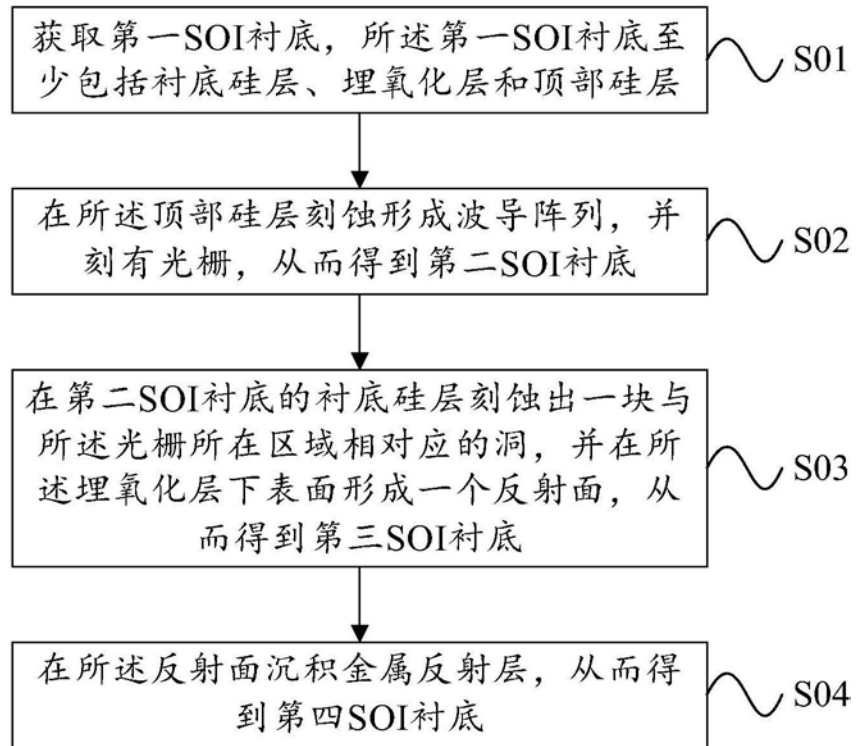


图2



图3

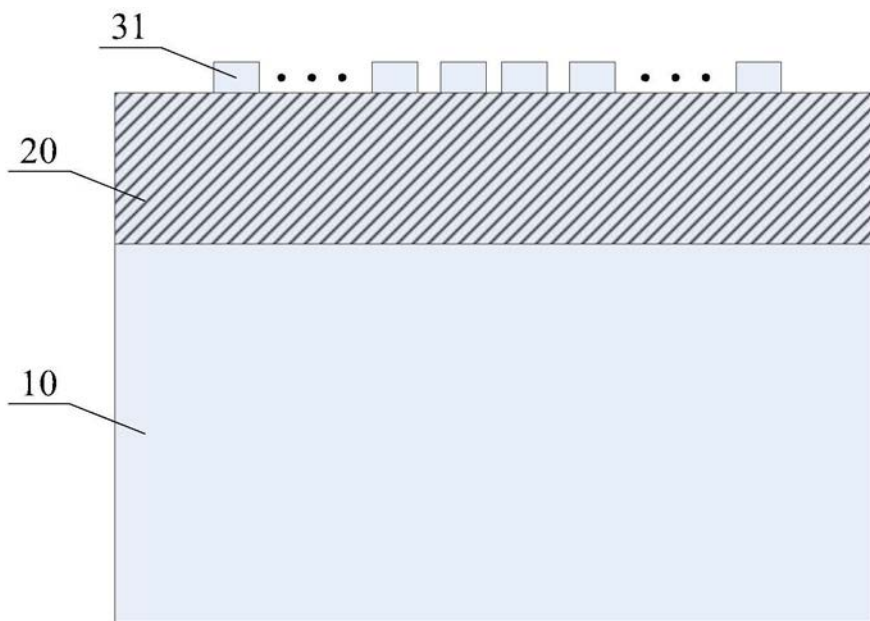


图4

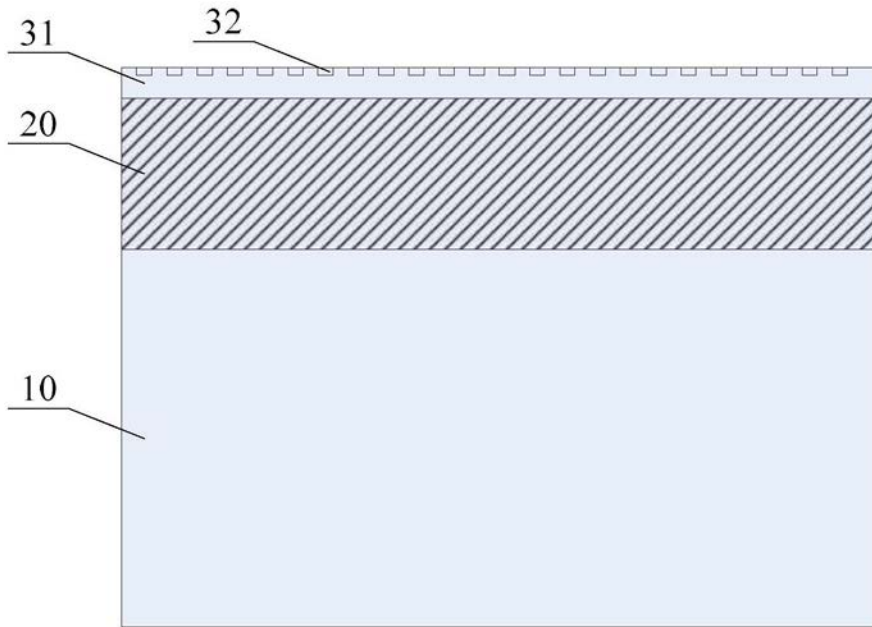


图5

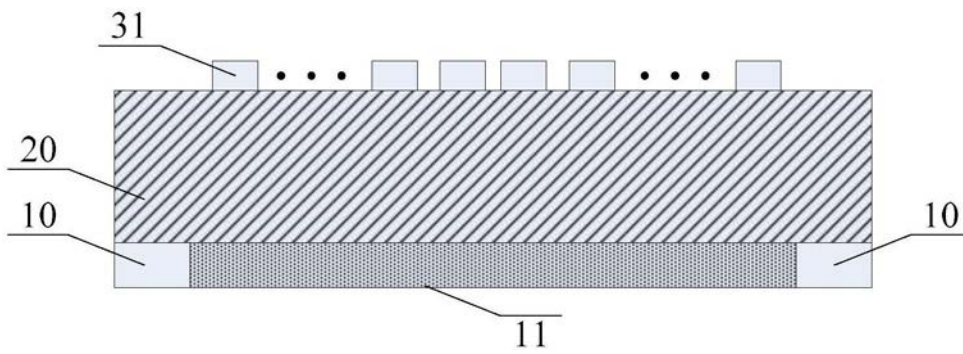


图6