



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 111708175 A

(43)申请公布日 2020.09.25

(21)申请号 202010610937.6

(22)申请日 2020.06.29

(71)申请人 国科光芯(海宁)科技股份有限公司

地址 314400 浙江省嘉兴市海宁市海宁经济开发区双联路128号A座815室

(72)发明人 刘敬伟 李文玲 张新群

(74)专利代理机构 北京三聚阳光知识产权代理有限公司 11250

代理人 李静玉

(51)Int.Cl.

G02B 27/42(2006.01)

G03B 15/02(2006.01)

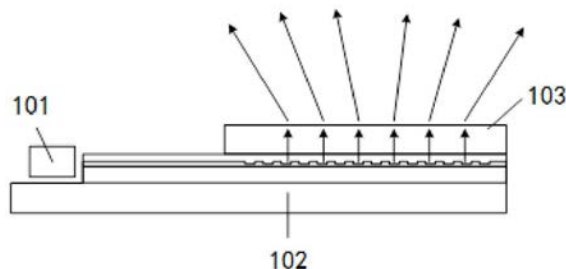
权利要求书1页 说明书6页 附图3页

(54)发明名称

一种结构光投影装置

(57)摘要

本发明公开了一种结构光投影装置,包括:光源、波导芯片以及衍射光学元件,波导芯片包括至少一个光束输出区,光束输出区包括扩束区和衍射区,扩束区用于将光源输出的光束扩束后耦合至衍射区,衍射区连接扩束区,衍射区将扩束后的光束形成预设角度的光束输出至衍射光学元件;衍射光学元件设置在波导芯片的出光方向上,衍射光学元件接收预设角度的光束形成预设衍射投影图形。本发明实施例提供的结构光投影装置,采用波导芯片将光源输出的光进行扩束和衍射,波导芯片可以基于CMOS技术和半导体封装技术进行制备,便于大规模生产,降低成本;同时波导芯片的设计使得扩束区和衍射区设置在波导芯片中,从而使得整体投影装置的结构更加紧凑。



1. 一种结构光投影装置,其特征在于,包括:光源、波导芯片以及衍射光学元件,
所述波导芯片包括至少一个光束输出区,所述光束输出区包括扩束区和衍射区,所述扩束区用于将光源输出的光束扩束后耦合至所述衍射区,所述衍射区连接所述扩束区,所述衍射区将扩束后的光束形成预设角度的光束输出至所述衍射光学元件;
所述衍射光学元件设置在所述波导芯片的出光方向上,所述衍射光学元件接收所述预设角度的光束形成预设衍射投影图形。
2. 根据权利要求1所述的结构光投影装置,其特征在于,所述波导芯片包括:依次层叠设置的衬底层、下包层、波导层以及上包层,所述衍射区和所述扩束区设置在所述波导层中。
3. 根据权利要求1所述的结构光投影装置,其特征在于,所述预设角度的光束包括:单束准直或发散光束、多束发散光束或多束准直或发散光束中的任意一种。
4. 根据权利要求3所述的结构光投影装置,其特征在于,所述衍射区包括:刻蚀波导层形成的光栅结构。
5. 根据权利要求1所述结构光投影装置,其特征在于,所述扩束区包括:线性或非线性绝热展宽模场变换器或平板波导透镜。
6. 根据权利要求2所述结构光投影装置,其特征在于,所述波导芯片还包括:输入耦合区,所述输入耦合区用于将所述光源输出的光束耦合至所述波导层中进行传输。
7. 根据权利要求1-6任一项所述的结构光投影装置,其特征在于,所述衍射光学元件包括:熔融石英基面浮雕元件、液晶空间光调制器、超表面元件中的任意一种。
8. 根据权利要求7所述的结构光投影装置,其特征在于,所述衍射光学元件与所述波导芯片平行放置。
9. 根据权利要求7所述的结构光投影装置,其特征在于,所述超表面元件包括:基底和图形层,所述图形层由衍射基本单元周期排列形成。
10. 根据权利要求1-6任一项所述的结构光投影装置,其特征在于,还包括:相位调制器阵列和/或强度光开关,
所述相位调制阵列用于对所述波导芯片输出光束的出射角度进行调整;
所述强度光开关用于对所述波导芯片输出光束的光强进行调整。

一种结构光投影装置

技术领域

[0001] 本发明涉及三维投影技术领域,具体涉及一种结构光投影装置。

背景技术

[0002] 深度相机是近几年兴起的新技术,相比较传统的相机,深度相机在功能上添加了一个深度测量,从而更方便准确的感知周围的环境及变化。深度相机在人机交互,特征识别,避障等领域都有广泛应用。目前,实现深度相机的方案主要有:飞行时间法(TOF,Time of Flight),双目测量,及结构光。与另两种方案相比,结构光深度相机具有近距离分辨率及精度高,可主动测量,计算资源消耗低等优点。

[0003] 结构光深度相机包括结构光投影,摄像以及数据处理三个基本功能单元。其中,结构光投影单元产生一幅具有随机或特征图形分布的光场,照射到被测范围内;摄像单元拍摄测量范围内物体表面漫反射光图案,与参考图像比对,经数据处理单元计算出被测范围内的3D形貌。其中,结构光投影设备硬件包括:激光器/激光器阵列,扩束准直透镜,扩束光栅/透镜(组)等。

[0004] 在结构光投影单元中,其分辨率与散斑密度成正相关。而高密度散斑要求单点发散角足够小,由衍射原理可知,这就要求近场光束的面积足够大。目前,实现大面积近场光束时大多采用透镜进行扩束,然而由于光斑的尺寸正比于透镜焦距,当光源发散角固定时,光斑扩束尺寸越大,则透镜焦距越长,因此采用透镜扩束时会造成投影装置的体积较大。因此,亟需一种能够实现大面积近场光束且不会使得整体尺寸较大的结构光投影装置。

发明内容

[0005] 有鉴于此,本发明实施例提供一种结构光投影装置,以解决现有的能够实现大面积近场光束的投影装置整体尺寸较大的技术问题。

[0006] 本发明实施例提供一种结构光投影装置,该结构光投影装置包括:光源、波导芯片以及衍射光学元件,所述波导芯片包括至少一个光束输出区,所述光束输出区包括扩束区和衍射区,所述扩束区用于将光源输出的光束扩束后耦合至所述衍射区,所述衍射区连接所述扩束区,所述衍射区将扩束后的光束形成预设角度的光束输出至所述衍射光学元件;所述衍射光学元件设置在所述波导芯片的出光方向上,所述衍射光学元件接收所述预设角度的光束形成预设衍射投影图形。

[0007] 进一步地,所述波导芯片包括:依次层叠设置的衬底层、下包层、波导层以及上包层,所述衍射区和所述扩束区设置在所述波导层中。

[0008] 进一步地,所述预设角度的光束包括:单束准直或发散光束、多束发散光束或多束准直或发散光束中的任意一种。

[0009] 进一步地,所述衍射区包括:刻蚀波导层形成的光栅结构。

[0010] 进一步地,所述扩束区包括:线性或非线性绝热展宽模场变换器或平板波导透镜。

[0011] 进一步地,所述波导芯片还包括:输入耦合区,所述输入耦合区用于将所述光源输

出的光束耦合至所述波导层中进行传输。

[0012] 进一步地,所述衍射光学元件包括:熔融石英基面浮雕元件、液晶空间光调制器、超表面元件中的任意一种。

[0013] 进一步地,所述衍射光学元件与所述波导芯片平行放置。

[0014] 进一步地,所述超表面元件包括:基底和图形层,所述图形层由衍射基本单元周期排列形成。

[0015] 进一步地,该结构光投影装置还包括:相位调制器阵列和/或强度光开关,所述相位调制阵列用于对所述波导芯片输出光束的出射角度进行调整;所述强度光开关用于对所述波导芯片输出光束的光强进行调整。

[0016] 本发明技术方案,具有如下优点:

[0017] 本发明实施例提供的结构光投影装置,采用波导芯片将光源输出的光进行扩束和衍射,波导芯片可以基于CMOS技术和半导体封装技术进行制备,便于大规模生产,降低成本;同时波导芯片的设计使得扩束区和衍射区设置在波导芯片中,从而使得整体投影装置的结构更加紧凑。

附图说明

[0018] 为了更清楚地说明本发明具体实施方式或现有技术中的技术方案,下面将对具体实施方式或现有技术描述中所需要使用的附图作简单地介绍,显而易见地,下面描述中的附图是本发明的一些实施方式,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动的前提下,还可以根据这些附图获得其他的附图。

[0019] 图1为本发明实施例中结构光投影装置的结构原理图;

[0020] 图2(a)为本发明实施例中衍射光学元件的结构框图;

[0021] 图2(b)为本发明另一实施例中衍射光学元件的结构框图;

[0022] 图3为本发明实施例中波导芯片的结构框图;

[0023] 图4(a)为本发明实施例中结构光投影装置的远场光斑的示意图;

[0024] 图4(b)为本发明另一实施例中结构光投影装置的远场光斑的示意图;

[0025] 图5为本发明另一实施例中结构光投影装置的结构原理图;

[0026] 图6为本发明另一实施例中波导芯片的结构框图;

[0027] 图7为本发明另一实施例中结构光投影装置的结构原理图。

具体实施方式

[0028] 下面将结合附图对本发明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做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。

[0029] 在本发明的描述中,需要说明的是,术语“中心”、“上”、“下”、“左”、“右”、“竖直”、“水平”、“内”、“外”等指示的方位或位置关系为基于附图所示的方位或位置关系,仅是为了便于描述本发明和简化描述,而不是指示或暗示所指的装置或元件必须具有特定的方位、以特定的方位构造和操作,因此不能理解为对本发明的限制。此外,术语“第一”、“第二”、“第三”仅用于描述目的,而不能理解为指示或暗示相对重要性。

[0030] 在本发明的描述中,需要说明的是,除非另有明确的规定和限定,术语“安装”、“相连”、“连接”应做广义理解,例如,可以是固定连接,也可以是可拆卸连接,或一体地连接;可以是机械连接,也可以是电连接;可以是直接相连,也可以通过中间媒介间接相连,还可以是两个元件内部的连通,可以是无线连接,也可以是有线连接。对于本领域的普通技术人员而言,可以根据具体情况理解上述术语在本发明中的具体含义。

[0031] 此外,下面所描述的本发明不同实施方式中所涉及的技术特征只要彼此之间未构成冲突就可以相互结合。

[0032] 本发明实施例提供一种结构光投影装置,如图1所示,该结构光投影装置包括:光源101、波导芯片102以及衍射光学元件103,波导芯片102包括至少一个光束输出区,光束输出区包括扩束区和衍射区,扩束区用于将光源输出的光束扩束后耦合至衍射区,衍射区连接扩束区,衍射区将扩束后的光束形成预设角度的光束输出至衍射光学元件;衍射光学元件设置在波导芯片的出光方向上,衍射光学元件接收预设角度的光束形成预设衍射投影图形。

[0033] 在一实施例中,波导芯片102可以选择硅基波导芯片,光源101可以选择激光器。光源101可以集成在波导芯片102上,例如,可以选择单片集成,即直接将光源通过外延的方式生在硅基波导芯片上;或者是异质集成,即通过激光器芯片对波导芯片键合的方式将三五族材料与波导芯片进行异质集成,然后制备激光器;还可以是混合集成,即首先制备好激光器,然后通过倒装焊接或外接激光器的方式将激光器与波导芯片进行集成。本发明实施例提供的结构光投影装置,光源101混合集成在波导芯片102上。

[0034] 在一实施例中,衍射光学元件103平行于波导芯片102放置。根据衍射光学原理,投影光束发散角与衍射光学元件103最小单元尺寸成反比,为实现大角度投影,衍射光学元件103的基本单元尺寸可以设置小于光源101的出射波长,具体可以设置为波长的0.1-0.9倍。可选地,衍射区的尺寸可以设置为0.1-2倍的光源出射波长。

[0035] 在一实施例中,可以通过对光束输出区的调整,使得预设角度的光束包括:单束准直或发散光束、多束发散光束或多束准直或发散光束中的任意一种。当预设角度的光束为多束发散光束时,可以分别照射至衍射光学元件103不同区域;当预设角度的光束为多束准直或发散光束时,光束以不同角度分别照射至衍射光学元件同一区域;因衍射光学元件103对于单方向入射光束而言投影角度受限,因此可以设置多个光束输出区输出多束不同角度的光束,可拼接扩展投影光束角度范围。

[0036] 本发明实施例提供的结构光投影装置,采用波导芯片将光源输出的光进行扩束和衍射,波导芯片可以基于CMOS技术和半导体封装技术进行制备,便于大规模生产,降低成本;同时波导芯片的设计使得扩束区和衍射区设置在波导芯片中,从而使得整体投影装置的结构更加紧凑。

[0037] 作为本发明实施例的一种可选的实施方式,波导芯片102包括:依次层叠设置的衬底层、下包层、波导层以及上包层,衍射区和扩束区设置在波导层中。可选地,衍射区包括:刻蚀波导层形成的光栅结构。扩束区包括:线性或非线形绝热展宽模场变换器或平板波导透镜。

[0038] 可选地,衬底层材料可以是单晶硅;上包层和下包层材料包括但不限于氧化硅,氮化硅,氮氧化硅;波导层材料包括但不限于硅,氮化硅,氮氧化硅,掺锗氧化硅,铌酸锂,钽酸

锂,或两种上述材料分层复合。

[0039] 在一实施例中,波导芯片102还包括:输入耦合区,输入耦合区用于将光源101输出的光束耦合至波导层中进行传输。输入耦合区可以是基于倒锥结构的边输入耦合器。具体地,光源101输出光束经基于倒锥结构的边输入耦合器进行模场变换,可以实现与波导芯片中波导层的模场适配。

[0040] 作为本发明实施例的一种可选的实施方式,衍射光学元件103包括:熔融石英基面浮雕元件、液晶空间光调制器、超表面元件中的任意一种。衍射光学元件的工作方式为透射式,其振幅透射率分布可能为静态,即相位/功率透射率分布不随时间变化,也可以为动态,即相位/功率透射率分布可随施加的外场(温度,电流,电压,磁场,光照等)而改变。当衍射光学元件为动态调制时,可以选择超表面元件,其中,超表面元件可以是基于液晶、VO₂、GST (Ge₂Sb₂Te₅) 等材料的可重构超表面构成。

[0041] 在一实施例中,超表面元件包括:基底和图形层,图形层由衍射基本单元周期排列形成。其中基底可以是均匀厚度层,基底的材料包括但不限于氧化硅,单晶硅,氮化硅,氮氧化硅。衍射基本单元包括椭圆柱,直棱柱等。图形层材料包括但不限于硅,氮化硅,氧化硅,氮氧化硅,图形层材料折射率高于基底。通过调整衍射光学元件中不同位置处衍射基本单元的尺寸和角度,可实现特定的相位分布。

[0042] 可选地,当衍射光学元件采用氧化硅基底,单晶硅为图形层,对于波长为1550nm的正入射光束而言,单晶硅图形层高度范围为100-600nm,基底氧化硅厚度0.1-1000um;如图2(a)所示,当衍射基本单元为椭圆柱体,可通过改变长轴长度b,短轴长度a,角度 θ 及椭圆柱体的高度来实现不同位置处的不同结构单元有特定的相位,如图2(b)所示;当衍射基本单元为长方体,可通过改变长b、宽a、和角度 θ 及长方体的高度来实现不同位置处的不同结构单元有特定的相位。

[0043] 作为本发明实施例的一种可选的实施方式,该结构光投影装置还包括:相位调制器阵列和/或强度光开关,相位调制阵列可基于光学相控阵原理在光束输出区形成出射角度可调的输出光束,经衍射光学元件实现投影角度分时扫描;强度光开关可实现整体或单束光强的调制,分时产生光束照射衍射光学元件,实现投影角度分时扫描,或适应不同的环境及安全等级。

[0044] 本发明实施例提供的结构光投影装置,可以根据对光源、波导芯片和衍射光学元件的调节,产生不同波长投射光束以及不同分布的远场光斑。

[0045] 实施例1

[0046] 本发明实施例提供了一种结构光投影装置的具体示例。本实施例中光源采用近红外边发射激光器,其工作波长位于C band;波导芯片基于SOI晶圆进行制备,波导芯片的波导层选择单晶硅,上包层和下包层分别选择氧化硅,上包层和下包层的厚度为1 μ m。激光器输出光束经基于倒锥结构的边输入耦合器进行模场变换,实现与波导芯片波导层模场适配,并经扩束区入射至衍射区。如图3所示,为波导芯片的俯视图,可以看出光源101设置在波导芯片102上,该波导芯片102包括输入耦合区201、扩束区202、衍射区203。

[0047] 本实施例中,扩束区使光束宽度扩展0.5-5mm,扩束区选择平板波导透镜或者线性或非线性绝热展宽模场变换器实现扩束;衍射区使预设角度的光束满足模场直径0.5-5mm高斯或平顶分布,衍射区可以是浅刻蚀单晶硅波导层形成的条状光栅、或者是刻蚀单晶硅

波导层形成的点状散射单元、还可以是在单晶硅波导层上沉积50-200nm氮化硅层,通过刻蚀氮化硅层形成的条状或点状散射单元;其中,光栅或点状散射单元周期及占空比渐变。

[0048] 本实施例中,衍射光学元件可以采用熔融石英基面浮雕元件,其结构刻蚀深度可以是2阶及以上。衍射光学元件还可以是采用SOI衬底经高精度图形化加工形成的超表面,其衍射基本单元为椭圆柱体,基底材料为二氧化硅,厚度340nm,图形层材料为单晶硅,高度为340nm。入射光束为线偏振光,偏振方向沿y方向。椭圆形旋转角度 θ 为长轴与x轴夹角。当 $\theta=0, a=950\text{nm}, b=1320\text{nm}$ 时,光束对应相位为0;当 $\theta=0, a=580\text{nm}, b=1440\text{nm}$ 时,光束对应相位为 $\pi/2$;当 $\theta=90, a=240\text{nm}, b=390\text{nm}$,光束对应相位为 π ;当 $a=b=960\text{nm}$,光束对应相位为 $3/2\pi$;当 $\theta=90, a=1200\text{nm}, b=1400\text{nm}$,对应相位为 2π 。通过以上4种参数衍射基本单元的随机排列,可实现随机相位分布 Φ_{random} 。

[0049] 本实施例中,波导芯片光束输出区的输出光束为单束准直光束,结构光投影装置的输出光束如图1所示。本实施例中,随机光斑整体发散角与入射波长呈正比,与衍射光学元件衍射基本单元尺寸成反比;光斑密度与经过衍射光学元件的光斑直径成正比。因此,通过匹配波长,衍射基本单元尺寸及衍射面积,可实现具体要求的随机光斑分布。

[0050] 实施例2

[0051] 本发明实施例提供了一种结构光投影装置的具体示例。本实施例中光源采用近红外边发射激光器,其工作波长为1550nm;波导芯片的波导层选择氮化硅,厚度为300nm,上包层和下包层分别选择氧化硅,上包层和下包层的厚度为 $2\mu\text{m}$ 。激光器输出光束经基于倒锥结构的边输入耦合器进行模场变换,实现与波导芯片波导层模场适配,并经扩束区入射至衍射区。

[0052] 本实施例中,扩束区和衍射区可以选择实施例1中给出的实施方式。衍射光学元件采用高精度图形化加工形成的超表面,其基底材料为石英,其衍射基本单元选取椭圆柱体,高度为340nm。入射光束为线偏振光,偏振方向沿y方向。椭圆形旋转角度 θ 为长轴与x轴夹角。当 $\theta=0, a=950\text{nm}, b=1320\text{nm}$ 时,光束对应相位为0;当 $\theta=0, a=580\text{nm}, b=1440\text{nm}$ 时,光束对应相位为 $\pi/2$;当 $\theta=90, a=240\text{nm}, b=390\text{nm}$,光束对应相位为 π ;当 $a=b=960\text{nm}$,光束对应相位为 $3/2\pi$;当 $\theta=90, a=1200\text{nm}, b=1400\text{nm}$,对应相位为 2π 。通过改变椭圆柱体长轴和短轴,可以实现衍射基本单元相位在 $0\sim 2\pi$ 连续变化,同时满足高的透过率。通过在衍射光学元件不同位置处设置不同尺寸的衍射基本单元,可实现特定的相位分布。

[0053] 本实施例中,衍射光学元件相位分布由两部分叠加得到,即, $\Phi_{\text{code}}=\Phi_{\text{collimation}}+\Phi_{\text{deflection}}$ 。其中 $\Phi_{\text{collimation}}$ 可以用公式(1)表示,

$$[0054] \quad \Phi_{\text{collimation}} = -\frac{2\pi}{\lambda} (\sqrt{x_r^2 + y_r^2 + f^2} - f) \quad \text{公式 (1)}$$

[0055] 其中 (x_r, y_r) 为衍射光学元件相对于光源的横向坐标, λ 为入射波长, f 为图形层的等效焦距,相位 $\Phi_{\text{collimation}}$ 将多点入射的发散光束准直,使光束沿衍射光学元件表面法向传播。

[0056] 相位 $\Phi_{\text{deflection}}$ 使入射光束分为 $M*N$ 个子区域,每个区域的光束偏转至图4(a)所示 $M*N$ 个9宫格单元中对应格点。如图4(b)所示,若第 (m, n) 单元中光束相对衍射光学元件中心点方位为 (α, β) ,则衍射光学元件表面上与之对应的单元相位 $\Phi_{\text{deflection}}$ 可以用公式(2)表示,

$$[0057] \quad \varphi_{deflection(m,n)} = -\frac{2\pi}{\lambda} \sin\alpha(\cos\beta \cdot x + \sin\beta \cdot y) \quad \text{公式 (2)}$$

[0058] 其中 (x, y) 为以第 (m, n) 单元中心点为原点的坐标。

[0059] 本实施例中,波导芯片光束输出区的输出光束为多束发散光束,结构光投影装置输出光束如图5所示。本实施例中,可以通过上述设置,可以产生伪随机分布或者说不完全随机分布的远场光斑。例如,产生的远场光斑会随机分布在图4(a)所示 $M \times N$ 个9宫格单元中的任一格点中,或者说远场光斑会按照图4(b)所示的分布在不同格的任意位置中。

[0060] 在一实施例,当远场光斑分布在9宫格的任一格点中,可以根据光斑出现的具体位置对其进行编码。例如出现在第一格点则将其编码为1,出现在第二格点则将其编码为2,以此类推,可以产生1-9共九个编码;同时,为了产生更多的编码,可以将两个或多个九宫格进行组合。例如,将两个九宫格组合,则根据光斑出现位置可以产生九九八十一一个编码。同时也可以将更多个九宫格组合,产生更多的编码。具体可以根据实际需要进行设置。

[0061] 可选地,由于远场光斑呈伪随机分布,远场光斑的分布除九宫格形式外,还可能产生其他形式的分布,例如,远场光斑分布图案可能呈现为“E”形,或者是其他形状,此时,可以根据远场光斑具体形式对其进行编码。因此,本发明实施例提供的结构光投影装置可以产生基于散点分布的编码结构光或其他形式的编码结构光。

[0062] 实施例3

[0063] 本发明实施例提供了一种结构光投影装置的具体示例。如图6所示,与实施例1提供的结构光投影装置的区别在于,波导芯片102中包括多个光束输出区。每个光束输出区包括一个扩束区202和一个衍射区203,具体地,耦合到波导层中的光束可以通过多个分束器204分别传输至多个光束输出区中。

[0064] 本实施例中,波导芯片光束输出区的输出光束为多束准直或发散光束,结构光投影装置输出光束如图7所示。本实施例中,不同光束输出区的出射光束角度不同,每一光束输出区对应远场投影的一个区域,多个光束输出区产生的投影光斑拼接形成整个远场投影图案。

[0065] 虽然关于示例实施例及其优点已经详细说明,但是本领域技术人员可以在不脱离本发明的精神和所附权利要求限定的保护范围的情况下对这些实施例进行各种变化、替换和修改,这样的修改和变型均落入由所附权利要求所限定的范围之内。对于其他例子,本领域的普通技术人员应当容易理解在保持本发明保护范围内的同时,工艺步骤的次序可以变化。

[0066] 此外,本发明的应用范围不局限于说明书中描述的特定实施例的工艺、机构、制造、物质组成、手段、方法及步骤。从本发明的公开内容,作为本领域的普通技术人员将容易地理解,对于目前已存在或者以后即将开发出的工艺、机构、制造、物质组成、手段、方法或步骤,其中它们执行与本发明描述的对应该实施例大体相同的功能或者获得大体相同的结果,依照本发明可以对它们进行应用。因此,本发明所附权利要求旨在将这些工艺、机构、制造、物质组成、手段、方法或步骤包含在其保护范围内。

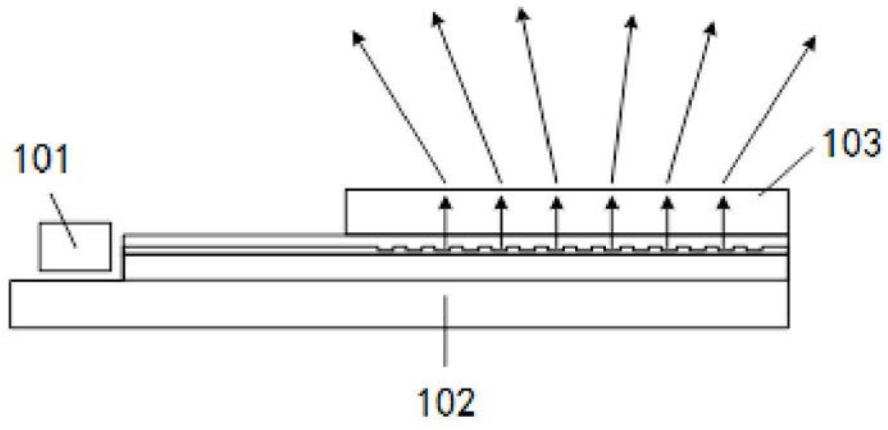


图1

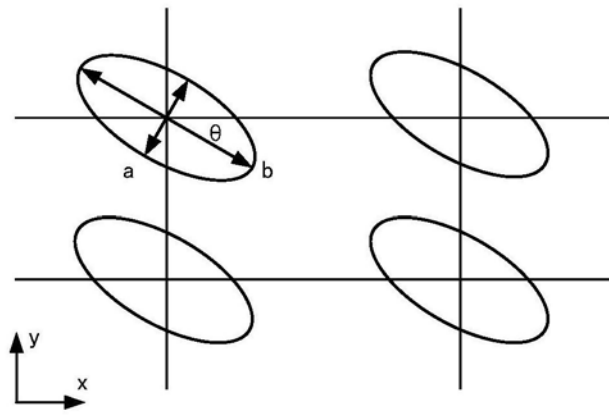


图2 (a)

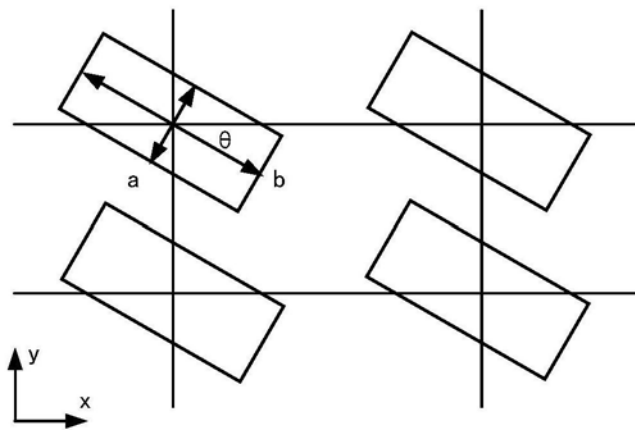


图2 (b)

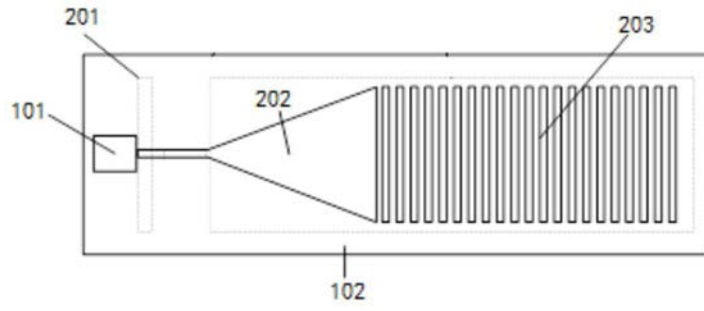


图3

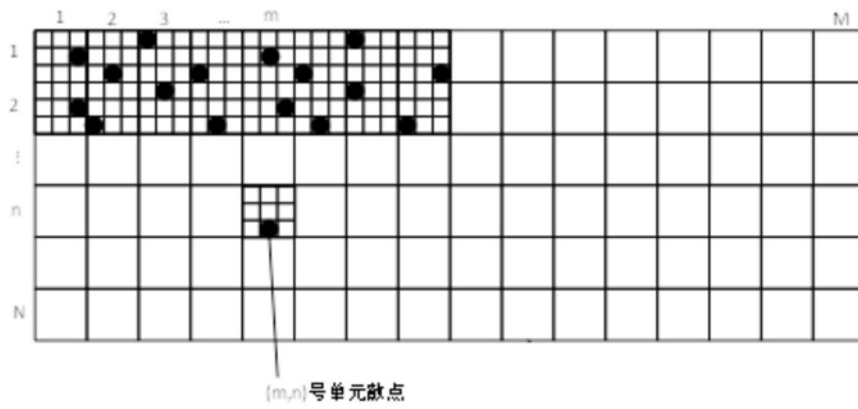


图4 (a)

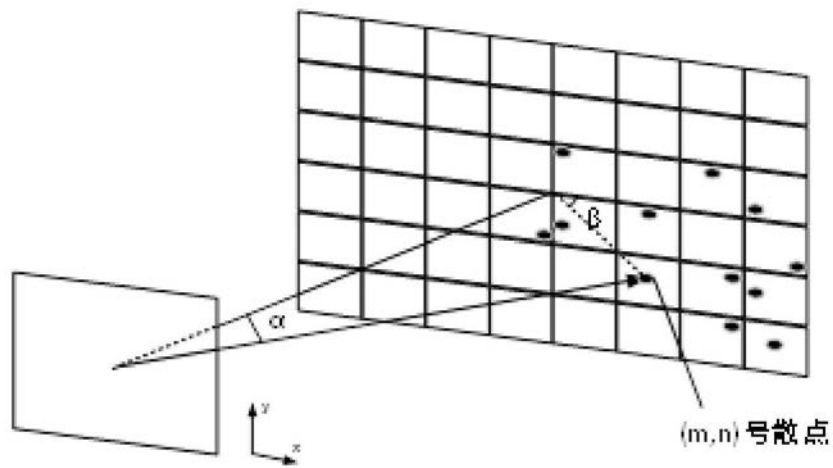


图4 (b)

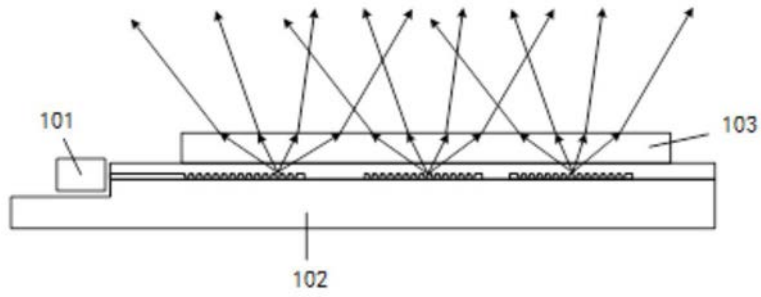


图5

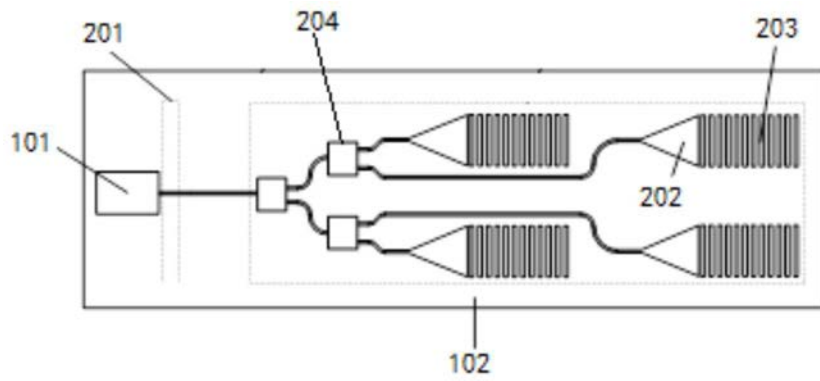


图6

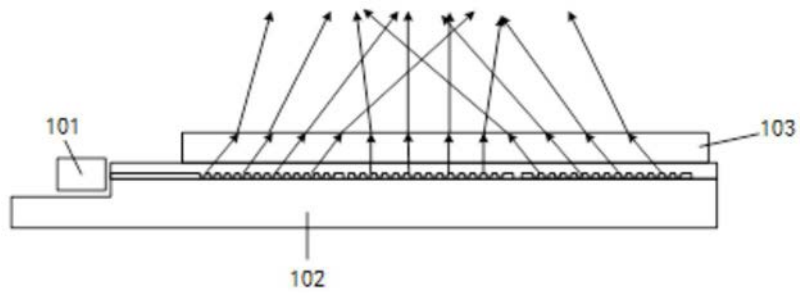


图7