

一种垂直腔面发射激光器及其制备方法

申请号：[201210279639.9](#)

申请日：2012-08-08

申请(专利权)人 [中国科学院长春光学精密机械与物理研究所](#)

地址 [130033 吉林省长春市东南湖大路3888号](#)

发明(设计)人 [宁永强 张祥伟 秦莉 刘云 王立军](#)

主分类号 [H01S5/183\(2006.01\)I](#)

分类号 [H01S5/183\(2006.01\)I](#)

公开(公告)号 [102801107A](#)

公开(公告)日 [2012-11-28](#)

专利代理机构 [长春菁华专利商标代理事务所 22210](#)

代理人 [张伟](#)



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102801107 B

(45) 授权公告日 2014. 07. 09

(21) 申请号 201210279639. 9

(22) 申请日 2012. 08. 08

(73) 专利权人 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所

地址 130033 吉林省长春市东南湖大路 3888 号

(72) 发明人 宁永强 张祥伟 秦莉 刘云 王立军

(74) 专利代理机构 长春菁华专利商标代理事务所 22210

代理人 张伟

(51) Int. Cl.

H01S 5/183 (2006. 01)

审查员 刘娟

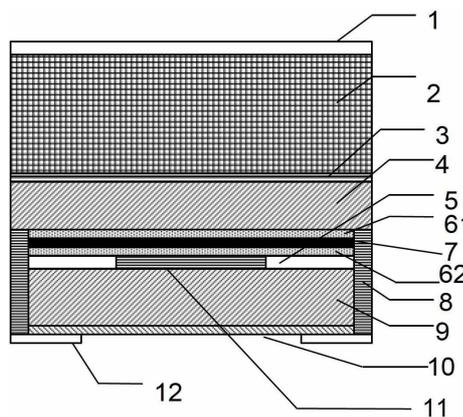
权利要求书1页 说明书5页 附图1页

(54) 发明名称

一种垂直腔面发射激光器及其制作方法

(57) 摘要

本发明涉及一种垂直腔面发射激光器及其制作方法,垂直腔面发射激光器包括 n 面电极、GaAs 衬底、缓冲层、n 型 DBR 层、氧化限制层、有源区、钝化层、p 型 DBR 层、欧姆接触层。本发明的垂直腔面发射激光器及其制作方法,通过把氧化限制层通过一定工艺来把圆形的氧化层氧化成非圆形,以此来打破电流的各向同性注入,通过引入各向异性的电流注入到有源区来实现两个相互正交的偏振光的偏振控制。另外,本发明的垂直腔面发射激光器结构制造工艺简捷、重复性好,容易推广。



1. 一种垂直腔面发射激光器的制作方法,其特征在于,所述垂直腔面发射激光器的结构由上至下依次为:衬底、缓冲层、N型分布布拉格反射镜组、有源区、氧化限制层、P型分布布拉格反射镜组和欧姆接触层;所述氧化限制层内的载流子注入孔径的形状为由圆形的上、下两端向内凹陷的非圆形形状;

该垂直腔面发射激光器的氧化限制层的形成包括以下步骤:

步骤 i:通过光刻成形出圆形氧化限制层;

步骤 ii:在所述圆形氧化限制层上方生长二氧化硅薄膜;然后光刻掉一部分所述二氧化硅薄膜,露出所述圆形氧化限制层的部分区域;所述圆形氧化限制层的部分区域为上、下两端部分区域;

步骤 iii:对所述圆形氧化限制层进行侧氧化,由步骤 ii 中露出的所述圆形氧化限制层的部分区域向内凹陷的非圆形的载流子注入孔径;

步骤 iv:去除掉步骤 ii 中形成的所述二氧化硅薄膜。

2. 根据权利要求 1 所述的制作方法,其特征在于,在步骤 i 和步骤 ii 之间还设有步骤:将所述圆形氧化限制层周围的区域腐蚀至有源区。

3. 根据权利要求 1 所述的制作方法,其特征在于,所述步骤 iii 中对所述圆形氧化限制层进行侧氧化的氧化深度为 $8 \sim 10 \mu\text{m}$ 。

4. 根据权利要求 1 所述的制作方法,其特征在于,所述步骤 ii 中,光刻掉一部分所述二氧化硅薄膜后,余下的二氧化硅薄膜形成一个矩形二氧化硅保护层;

该矩形二氧化硅保护层的长度大于所述圆形氧化限制层的直径,宽度小于所述圆形氧化限制层的直径。

5. 根据权利要求 1 所述的制作方法,其特征在于,所述步骤 ii 中,在所述圆形氧化限制层上方生长二氧化硅薄膜的厚度为 $100 \sim 250\text{nm}$ 。

一种垂直腔面发射激光器及其制作方法

技术领域

[0001] 本发明属于半导体光电子学技术领域,具体涉及一种具有模式控制结构的,垂直腔面发射激光器及其制作方法。

背景技术

[0002] 自从日本东京工业大学的伊贺健一 (Kenichi Iga) 于 1977 年提出垂直腔面发射激光器 (Vertical-Cavity Surface-Emitting Laser, VCSEL) 这一新型半导体激光器设计方案以来,经过三十余年的发展,VCSEL 成为了独立于半导体边发射激光器 (Edge Emitting Lasers, EEL) 的一种实用化的半导体激光器件。目前,VCSEL 已经广泛应用于光互连、光通信、激光显示、激光引信、芯片级原子钟以及光信号处理等许多领域。

[0003] EP-VECSEL 的基本结构与普通 VCSEL 非常接近,区别仅在于外部光学元件的引入。研究者提出这一设计方案的最初目的就是为了提高 VCSEL 的单模功率,改善大口径 VCSEL 的光束质量。EP-VECSEL 的研究工作始于 1993 年,Hadley 等人使用了一种具有 33 对 P-DBR 及 7 对 N-DBR 的 VCSEL 结构,对应反射率分别为 99.7% 及 86%。在低反射率 DBR 的一侧加上反射镜提供额外的反馈使器件激射,并通过控制反射镜的反射率、镜形及腔长来控制腔内模式的增益,最终研制出的 EP-VECSEL 口径为 $100\ \mu\text{m}$,输出波长为 980nm,在 TEM₀₀ 模式下连续及脉冲输出功率分别达到 2.4mW 及 100mW。同年他们又研制出外腔结构与器件自成一体 (或者也可以称为“单片集成”) 的 980nm EP-VECSEL,基模连续及脉冲输出功率分别为 2mW 及 36.7mW。美国的 Novalux 公司于 2003 年报道了输出波长为 980nm 的单管 EP-VECSEL 器件,基横模连续输出功率达到 0.5W,并通过腔内倍频实现了红、绿、蓝三基色基横模式输出。在此基础上,他们开发出具有不同集成度及不同输出功率水平的二维集成三基色 EP-VECSEL 面阵,以满足激光显示、生物医学研究等领域的应用需求。至此,EP-VECSEL 已经从实验室走向实用化。在进行 VECSEL 腔内倍频实现蓝、绿光输出时,基频光偏振特性对倍频效率影响很大。

[0004] 但是,由于 VCSEL 有着圆形有源区和较小的材料差异,其输出通常落在两个正交线性偏振光的某一方向,即 x 或 y 偏振模式。当注入电流或温度等条件变化时输出常伴有偏振开关效应。光纤通信中,VECSEL 复杂的偏振特性,将严重影响使用质量,探讨如何利用光反馈来控制 VECSEL 输出的偏振态也显得非常必要。

发明内容

[0005] 本发明针对现有技术中的垂直腔面发射激光器具有偏振开关效应的缺点,提出一种可以稳定激光光束两个偏振方向,消除偏振开关效应的,具有模式控制结构的,垂直腔面发射激光器及其制作方法。

[0006] 为实现上述目的,本发明的垂直腔面发射激光器及其制作方法的技术方案具体如下:

[0007] 一种垂直腔面发射激光器,由上至下依次为:衬底、缓冲层、N 型分布布拉格反射

镜组、有源区、氧化限制层、P 型分布布拉格反射镜组和欧姆接触层；

[0008] 所述氧化限制层内的载流子注入孔径的形状为非圆形。

[0009] 上述技术方案中,所述氧化限制层内的载流子注入孔径的形状为由圆形的上、下两端向内凹陷的非圆形形状。

[0010] 上述技术方案中,所述有源区包括:空间层和激活区。

[0011] 上述技术方案中,所述氧化限制层为 AlAs 层。

[0012] 上述技术方案中,所述有源区、氧化限制层、P 型分布布拉格反射镜组和欧姆接触层的外侧,均设有厚度为 150~200nm 的二氧化硅钝化层。

[0013] 一种垂直腔面发射激光器的制作方法,该垂直腔面发射激光器的氧化限制层的形成包括以下步骤:

[0014] 步骤 i:通过光刻成形出圆形氧化限制层;

[0015] 步骤 ii:在所述圆形氧化限制层上方生长二氧化硅薄膜;然后光刻掉一部分所述二氧化硅薄膜,露出所述圆形氧化限制层的部分区域;

[0016] 步骤 iii:对所述圆形氧化限制层进行侧氧化,由步骤 ii 中露出的所述圆形氧化限制层的部分区域向内凹陷的非圆形的载流子注入孔径;

[0017] 步骤 iv:去除掉步骤 ii 中形成的所述二氧化硅薄膜。

[0018] 上述技术方案中,所述步骤 ii 中露出的所述圆形氧化限制层的部分区域为上、下两端部分区域。

[0019] 上述技术方案中,在步骤 i 和步骤 ii 之间还设有步骤:

[0020] 将所述圆形氧化限制层周围的区域腐蚀至有源区。

[0021] 上述技术方案中,所述步骤 iii 中对所述圆形氧化限制层进行侧氧化的氧化深度为 8~10 μm 。

[0022] 上述技术方案中,所述步骤 ii 中,光刻掉一部分所述二氧化硅薄膜后,余下的二氧化硅薄膜形成一个矩形二氧化硅保护层;

[0023] 该矩形二氧化硅保护层的长度大于所述圆形氧化限制层的直径,宽度小于所述圆形氧化限制层的直径。

[0024] 上述技术方案中,所述步骤 ii 中,在所述圆形氧化限制层上方生长二氧化硅薄膜的厚度为 100~250nm。

[0025] 本发明的垂直腔面发射激光器及其制作方法的有益效果是:

[0026] 本发明的垂直腔面发射激光器及其制作方法,通过改变传统的环形的氧化限制层结构,把圆形的氧化层氧化成非圆形,改变电流的各向同性注入,使电流各向异性注入到有源区,进而实现两个相互正交的偏振光的偏振控制。这种电流注入的方式可以有效的消除各向同性电流注入带来的两个正交偏振光的因模式竞争而出现的偏振开关效应。

[0027] 由于各向异性电流注入使得两个正交偏振光的增益各不相同,因而两个偏振光的阈值电流也有一定的差别,从而可以稳定两个偏振光避免出现交替增大的现象。

[0028] 另外,本发明的垂直腔面发射激光器结构制造工艺简捷、重复性好,容易推广。

附图说明

[0029] 图 1 为本发明的垂直腔面发射激光器一种具体实施方式的横截面图;

[0030] 图 2 为图 1 所示具体实施方式的平面透射图；

[0031] 图 3 为图 1 所示具体实施方式的非圆形载流子注入孔径的制作步骤示意图。

[0032] 图中的附图标记表示为：

[0033] 1-N 面电极；2-衬底；3-缓冲层；4-N 型分布布拉格反射镜组；5-氧化限制层；61、62-空间层；7-激活区；8-钝化层；9-P 型分布布拉格反射镜组；10-欧姆接触层；11-载流子注入孔径；12-P 面电极。

[0034] 101-圆形氧化限制层；201-有源区；301-二氧化硅保护层；401-圆形氧化限制层 101 的上、下两端部分区域；501-非圆形的载流子注入孔径。

具体实施方式

[0035] 本发明的垂直腔面发射激光器及其制作方法的发明思想为：

[0036] 本发明的垂直腔面发射激光器，由上至下依次为：衬底、缓冲层、N 型分布布拉格反射镜组、有源区、氧化限制层、P 型分布布拉格反射镜组和欧姆接触层；所述氧化限制层内的载流子注入孔径的形状为非圆形。具体的说，所述氧化限制层内的载流子注入孔径的形状为由圆形的上、下两端向内凹陷的非圆形形状。

[0037] 本发明的垂直腔面发射激光器的制作方法，该垂直腔面发射激光器的氧化限制层的形成包括以下步骤：

[0038] 步骤 i：通过光刻成形出圆形氧化限制层；

[0039] 步骤 ii：在所述圆形氧化限制层上方生长二氧化硅薄膜；然后光刻掉一部分所述二氧化硅薄膜，露出所述圆形氧化限制层的部分区域；

[0040] 步骤 iii：对所述圆形氧化限制层进行侧氧化，由步骤 ii 中露出的所述圆形氧化限制层的部分区域向内凹陷的非圆形的载流子注入孔径；

[0041] 步骤 iv：去除掉步骤 ii 中形成的所述二氧化硅薄膜。

[0042] 由上述内容可知，本发明的垂直腔面发射激光器及其制作方法，通过改变传统的环形的氧化限制层结构，把圆形的氧化层氧化成非圆形，改变电流的各向同性注入，使电流各向异性注入到有源区，进而实现两个相互正交的偏振光的偏振控制。这种电流注入的方式可以有效的消除各向同性电流注入带来的两个正交偏振光的因模式竞争而出现的偏振开关效应。由于各向异性电流注入使得两个正交偏振光的阈值增益各不相同，因而两个偏振光的阈值电流也有一定的差别，从而可以稳定两个偏振光避免出现交替增大的现象。

[0043] 以下结合附图对本发明的垂直腔面发射激光器及其制作方法的具体实施方式作进一步的详细描述。

[0044] 图 1 至 3 显示了本发明的垂直腔面发射激光器的一种具体实施方式。

[0045] VECSEL 最大的特点是谐振腔是由外延生长形成，与器件的有源区自成一體，如图 1 和 2 所示，本发明的垂直腔面发射激光器的器件结构主体 VCSEL 部分是由 MOCVD 一次生长而成，具体的生长顺序为：

[0046] 在衬底 2 上首先生长一层 GaAs 的缓冲层 3，目的是整个结构能够更紧凑更坚固的生长在衬底 2 上。

[0047] 在缓冲层 3 上生长 N 型分布布拉格反射镜组 4，生长方式为高低折射率交替生长，目的是通过高低折射率的突变提供比较高的反射率，掺杂方式为渐变调制掺杂，此方式掺

杂的目的是尽量减小高低折射率层的能带的突变以减小串联电阻为目的。

[0048] 在 N 型分布布拉格反射镜组 4 上面生长一层空间层 61, 其目的为收容载流子和与有源区构成一个光学波长长度的腔长。在空间层 61 上生长三个量子阱层, 阱层和垒层交替生长, 并使其位置处于光学驻波的波峰上以提供最大的增益, 这里我们让其处于光学腔的中心。在有源区 7 上面生长一层与上述空间层 61 对称的空间层 62, 其目的与上面的空间层 61 相同。

[0049] 然后生长一层氧化限制层 5, 目的是通过侧氧化提供载流子注入孔径和限制光波导的作用。

[0050] 再然后, 在氧化限制层 5 上继续生长 P 型分布布拉格反射镜组 9, 生长方式与掺杂方式与 N 型分布布拉格反射镜组 4 相同。P 型分布布拉格反射镜组 9 与 N 型分布布拉格反射镜 4 组构成激光器的谐振腔的两个高反射镜。

[0051] 再然后是欧姆接触层 10 的生长, 目的与 P 面电极 12 接触形成欧姆接触, 以提供载流子的注入通道。

[0052] 再然后, 生长 SiO_2 做钝化层 8 防止电流的泄露。这里由于我们的 N 型分布布拉格反射镜组 4 只有二十对腐蚀深度不是太深, 因此我们生长 $150\sim 200\text{nmSiO}_2$, 太厚的 SiO_2 应力会非常大合金时很容易因为温度的剧变而断裂。

[0053] 再然后, 光刻腐蚀掉窗口的 SiO_2 , 生长 TiAu 材料作为 P 面电极 12。

[0054] 再然后, 在 P 面电极 12 上光刻出光窗口, 采用的光刻板为 $12\ \mu\text{m}$ 。

[0055] 最后, 在 N 面生长生长 AuGeNi 形成 N 面电极 1, 厚度控制在 $1\ \mu\text{m}$ 左右。

[0056] 本发明的垂直腔面发射激光器中, AlAs 氧化限制层 5 的形成过程如图 3 所示, 包括步骤 100-500, 具体步骤为:

[0057] 步骤 100, 将生长完 AlAs 层的晶片通过微波等离子清洗机处理表面。

[0058] 步骤 200, 进行光刻, 光刻板为 $20\ \mu\text{m}$ 口径的光刻板, 周期为 $300\ \mu\text{m}$ 。光刻用胶 AZ1518 做掩膜腐蚀台面, 边腐蚀边用台阶仪测量厚度, 腐蚀深度在过有源区和没过有源区输出特性不一样, 腐蚀深度过有源区的器件结构有个更稳定的输出特性和更好的光束质量, 因此这里腐蚀深度一定要过有源区。从图 3 中的步骤 200 示意图, 我们可以看到一层露出在 AlAs 圆形氧化限制层 101 外围下方的环形的有源区 201。

[0059] 步骤 300, 在圆形氧化限制层 101 上方生长二氧化硅薄膜, 其厚度为 $100\sim 250\text{nm}$ 。光刻所述二氧化硅薄膜, 对应的光刻板为 $30*60\ \mu\text{m}$, 形成一个矩形二氧化硅保护层 301, 露出的圆形氧化限制层 101 的上、下两端部分区域 401。

[0060] 步骤 400, 在 410°C 的水蒸气和在 N_2 的保护下进行侧氧化, 将露出的圆形氧化限制层 101 的上、下两端部分区域 401 的 AlAs 氧化为 Al_2O_3 。侧氧化时间不宜过长, 氧化深度为 $8\sim 10\ \mu\text{m}$ 。

[0061] 步骤 500, 去除掉矩形的二氧化硅保护层 301, 在 AlAs 圆形氧化限制层 101 内得到一个上、下两端向内凹陷的非圆形的载流子注入孔径 501。

[0062] 为了研究非圆形氧化光栅引起的电流分布的不均匀性, 通过多物理场有限元分析软件 (comsol multiphysic) 进行模拟分析电流密度分布。通过模拟可以得到环形氧化孔径的电流分布等电流密度线, 非圆形氧化孔径的电流分布的等电流密度线, 从同种可以清楚的看到环形氧化孔径的等电流密度线为一圈圈非常规则的圆形, 电流分布在有源区没有任

何区别,这种各向同性的电流注入方式必然会引起两偏振模式之间的模式竞争。可以看出圆形的有源区上的电流密度分布没有一定的规则,从而打破了电流注入各向同性的缺点,使得电流注入各向异性,从而引入双折射效应。这在原理上来讲,会使得两个偏振方向的增益各向异性,结果也必然会是一个偏振光占主导地位。从而达到偏振稳定的目的。

[0063] 显然,上述实施例仅仅是为清楚地说明所作的举例,而并非对实施方式的限定。对于所属领域的普通技术人员来说,在上述说明的基础上还可以做出其它不同形式的变化或变动。这里无需也无法对所有的实施方式予以穷举。而由此所引伸出的显而易见的变化或变动仍处于本发明创造的保护范围之内。

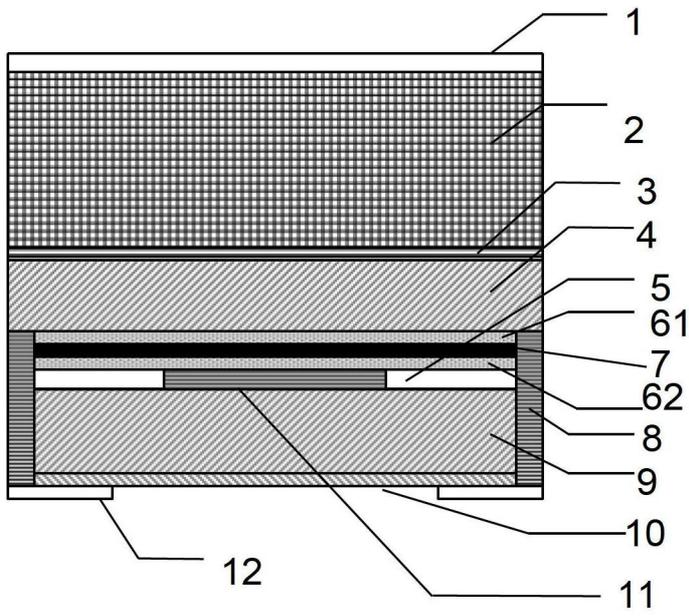


图 1

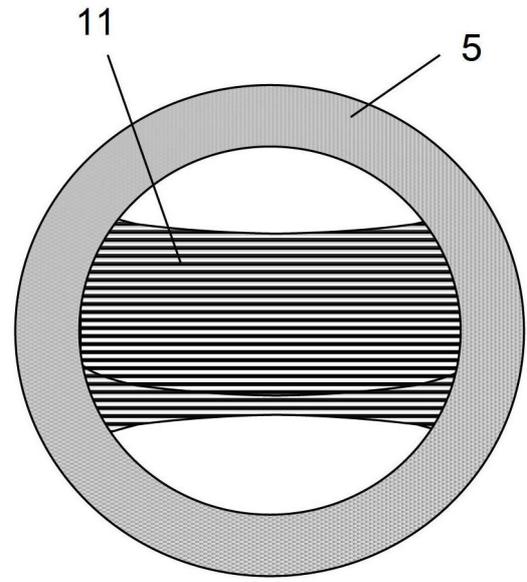


图 2

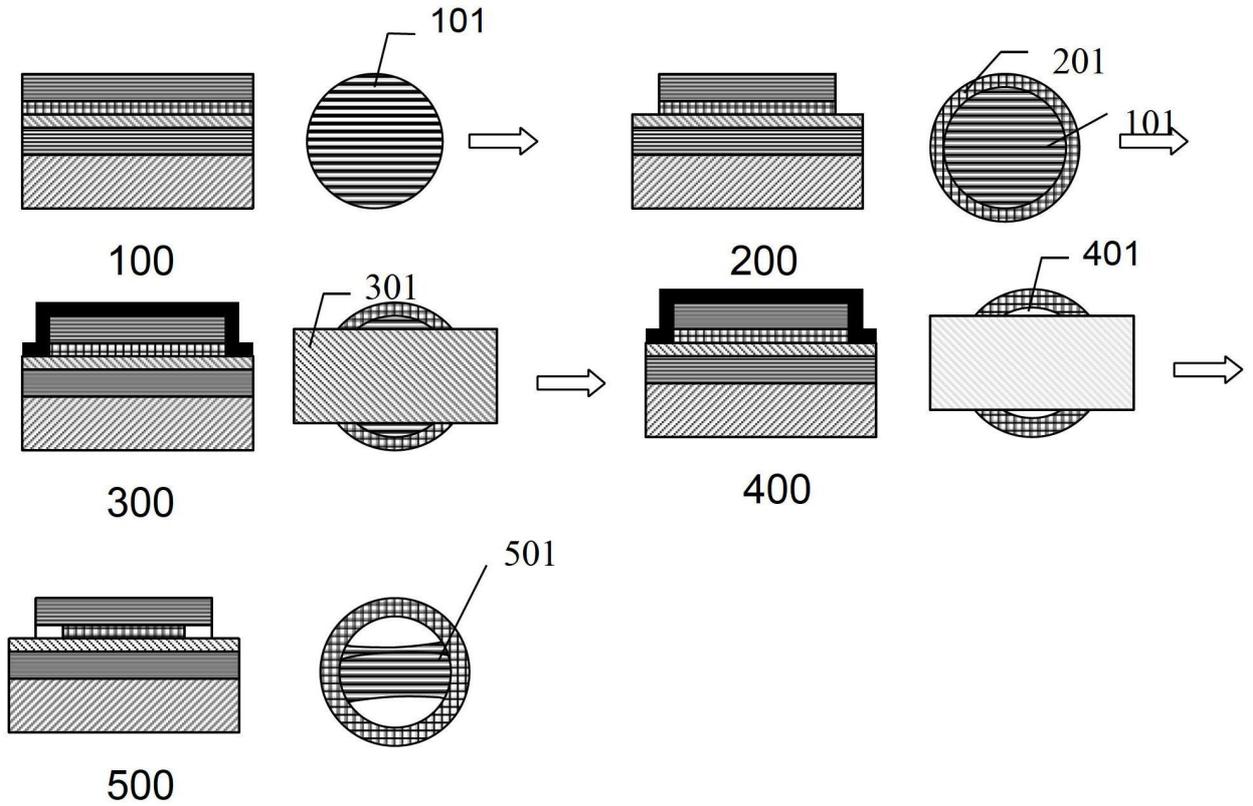


图 3