

垂直腔面发射激光器及其制作方法

申请号：[201210279632.7](#)

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 [102790354A](#)

公开(公告)日 [2012-11-21](#)

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 102790354 B

(45) 授权公告日 2014. 07. 09

(21) 申请号 201210279632. 7

(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)

(56) 对比文件

CN 101521353 A, 2009. 09. 02, 说明书第 2 页
最后一段, 第 3 页第 1 段, 第 3 页倒数两段、图
1-2.

CN 101356703 A, 2009. 01. 28, 说明书摘要、
说明书第 5 页第 3-11 段, 第 7 页倒数第 3 段, 第
8 页 1-5 段、图 7A-7B.

US 2004/0105476 A1, 2004. 06. 03, 全文.

审查员 孙菟

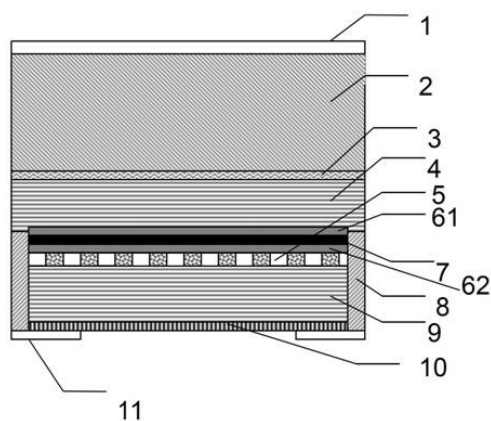
权利要求书1页 说明书5页 附图2页

(54) 发明名称

垂直腔面发射激光器的制作方法

(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光栅条纹
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,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;其特征在于,

所述氧化限制层内的载流子注入孔径的形状为透光区和不透光区间隔排列的光栅条纹形状;所述载流子注入孔径的光栅条纹宽度为 $0.5\text{--}1.5\mu\text{m}$;

所述有源区包括:空间层和激活区;所述氧化限制层为 AlAs 层;

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 $100\sim 250\text{nm}$ 的 AlN 钝化层;

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:通过光刻成形出氧化限制层;

步骤 ii:在所述氧化限制层上方生长二氧化硅薄膜,然后将其光刻为光栅条纹形状;在所述氧化限制层上方生长二氧化硅薄膜的厚度为 $50\sim 250\text{nm}$;

步骤 iii:对所述氧化限制层进行氧化,形成光栅条纹形状的载流子注入孔径;对所述氧化限制层进行氧化的氧化深度为所述氧化限制层的厚度;

步骤 iv:去除掉步骤 ii 中形成的所述二氧化硅薄膜。

垂直腔面发射激光器的制作方法

技术领域

[0001] 本发明属于半导体光电子技术领域,具体涉及一种垂直腔面发射激光器及其制作方法。

背景技术

[0002] 垂直腔面发射激光器的高功率、单纵模、输出圆形光斑、长寿命还有易于二维集成等特点,使得高功率垂直腔面发射激光器的商业应用越来越广泛,尤其在电信领域、激光显示领域、激光点火、泵浦原和激光加工等等。经过全世界几十年坚持不懈的努力,VCSEL 的市场正在变的越来越大。大功率垂直腔面发射激光器的高的阈值电流,低的光电转换效率等缺点已经的到很好的改善。长期以来,垂直腔面发射半导体激光器(VCSEL)一直处于低功率水平,使这种器件的应用受到极大的制约。直到最近几年 VCSEL 材料生长与制备技术的发展才使其功率水平开始得到大幅度的提高,从而为 VCSEL 激光器的应用发展开辟了广阔的前景。然而,随着 VCSEL 激光功率不断得到提高,其激光模式问题的解决则变得日益迫切和重要,因为到目前为止 VCSEL 激光功率的提高不仅没有改善激光模式,而且在获取基模上产生不利的影响。这同样制约了 VCSEL 激光器在很多重要应用领域发挥作用。因此,在解决 VCSEL 激光器功率问题的同时必须解决其光学模式问题才能够发展真正适合于应用的优质 VCSEL 激光器,这是目前国内外半导体激光领域面临的一个重要的课题。而本项目正是为了解决大功率 VCSEL 激光器的单横模单偏振问题这一国际性前沿课题首次提出一种新的研究思路和方法,我们期望通过本项目的工作能够揭示 VCSEL 激光器单横模单偏振形成的物理机制,在实现高功率 VCSEL 激光器上取得突破性进展。这对于发展 VCSEL 激光器的应用,特别是在解决空间探测技术中的微型载荷激光测距、空间通信、目标识别与跟踪制导等应用所需要的优质微型激光器方面具有重要的意义。

[0003] 自从侧氧化限制结构的出现,器件的阈值电流、调制速度、和光电转换效率得到很大的改善。似乎这种结构表现的近乎完美了,但是这种结构也存在自身无法消除的缺陷,那就是在侧氧化之后绝缘层的边缘的电流密度会比中心区域高的现象。无法消除光模式的增益重叠的现象,即使电流在氧化限制层完美均匀注入,大部分电流也会集中在氧化限制层边界上,主要是因为面积是半径的平方的关系。因此光模式在中心达到最大,这样的结果就会导致孔径 $10\mu\text{m}$ 及以上的器件的阈值电流的增大、效率的降低还有空间烧孔变的更严重。即使孔径缩小到 $3\mu\text{m}$ 左右的单模尺寸,增益重叠可以得到改善但这种缺陷仍然不能消除,载流子在小孔径外的几微米范围内扩散从而增加了阈值电流和寄生电容从而光的散射也相应的被扩大。

发明内容

[0004] 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,提出一种无需侧氧化无需腐蚀台面,可以解决光模式的增益重叠缺陷并能强制电流线性注入的,垂直腔面发射激光器及其制作方法。

[0005] 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的技术方案具体如下:

[0006] 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;

[0007] 所述氧化限制层内的载流子注入孔径的形状为透光区和不透光区间隔排列的光栅条纹形状。

[0008] 上述技术方案中,所述载流子注入孔径的光栅条纹宽度为 $0.5\sim 1.5\mu\text{m}$ 。

[0009] 上述技术方案中,所述有源区包括:空间层和激活区。

[0010] 上述技术方案中,所述氧化限制层为 AlAs 层。

[0011] 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 $100\sim 250\text{nm}$ 的 AlN 钝化层。

[0012] 上述技术方案中所述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:

[0013] 步骤 i:通过光刻成形出氧化限制层;

[0014] 步骤 ii:在所述氧化限制层上方生长二氧化硅薄膜,然后将其光刻为光栅条纹形状;

[0015] 步骤 iii:对所述氧化限制层进行氧化,形成光栅条纹形状的载流子注入孔径;

[0016] 步骤 iv:去除掉步骤 ii 中形成的所述二氧化硅薄膜。

[0017] 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氧化的氧化深度为所述氧化限制层的厚度。

[0018] 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 $50\sim 250\text{nm}$ 。

[0019] 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:

[0020] 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光栅条纹形状,能强制电流注入到有源区的方式,达到电流的非均匀注入,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。

[0021] 本发明的垂直腔面发射激光器,无需侧氧化,无需腐蚀台面,只需在 P 面制作小电极。

[0022] 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

[0023] 图 1 为本发明垂直腔面发射激光器一种具体实施方式的结构示意图。

[0024] 图 2 为现有技术中的 VCSEL 有源区上的电流密度分布曲线示意图。

[0025] 图 3 为本发明的 VCSEL 有源区上的电流密度分布曲线示意图。

[0026] 图中的附图标记表示为:

[0027] 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-P 面电极。

具体实施方式

[0028] 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：

[0029] 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透光区和不透光区间隔排列的光栅条纹形状。

[0030] 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：

[0031] 步骤 i：通过光刻成形出氧化限制层；

[0032] 步骤 ii：在所述氧化限制层上方生长二氧化硅薄膜，然后将其光刻为光栅条纹形状；

[0033] 步骤 iii：对所述氧化限制层进行氧化，形成光栅条纹形状的载流子注入孔径；

[0034] 步骤 iv：去除掉步骤 ii 中形成的所述二氧化硅薄膜。

[0035] 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光栅条纹形状，能强制电流注入到有源区的方式，达到电流的非均匀注入，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。本发明的垂直腔面发射激光器，无需侧氧化，无需腐蚀台面，只需在 P 面制作小电极。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。

[0036] 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。

[0037] 图 1 显示了本发明的垂直腔面发射激光器及其制作方法的一种具体实施方式。

[0038] 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，具体结构由上至下分别为：N 面电极 1、衬底 2、缓冲层 3、N 型分布布拉格反射镜组 4、有源区（包括空间层 61、激活区 7 和空间层 62）、氧化限制层 5、P 型分布布拉格反射镜组和欧姆接触层 9、欧姆接触层 10 和 P 面电极 11。其中，所述氧化限制层 5 内的载流子注入孔径的形状为透光区和不透光区间隔排列的光栅条纹形状，光栅条纹宽度为 $0.5\text{--}1.5\text{ }\mu\text{m}$ 。

[0039] 本发明的垂直腔面发射激光器的制作方法包括以下步骤：

[0040] 1. 外延片清洗：在 VCSELs 工艺过程中，外延片的清洗过程是 VCSELs 器件制作中最简单但同时也是最重要的环节，它随着器件制作工艺的各个步骤。清洗时需要特别注意的是不能对外延片表面结构造成损伤，尽量避免出现很深的划痕，否则后期会很难处理，清洗完的芯片表面应该光亮、平滑、无杂质污染。经过多次重复实验研究，我们总结出一套高效的外延片的清洗方法，光刻之前采用了水浴清洗，擦拭，在生长光学膜和金属电极之前采用酸、碱稀溶液去除表面氧化物薄膜等。实验室中我们通常使用的试剂有四氯化碳，三氯乙烯，丙酮，乙醇，稀盐酸，氨水等等。

[0041] 2. 一次外延表面生长二氧化硅，生长二氧化硅的厚度为 $50\sim 250\text{nm}$ ，太厚了容易在加热的过程中发生断裂，太薄了则在氧化限制层的氧化过程中容易发生水蒸气通过二氧化硅泄漏到砷化铝表面对结果容易造成不良的后果。

[0042] 3. 用反应离子束刻蚀将二氧化硅刻蚀成周期为 $0.5\sim 1.5\text{ }\mu\text{m}$ 的光栅，刻

蚀深度为完全贯穿。

[0043] 4. 在精密氧化炉中片进行氧化光栅,氧化深度和侧氧化深度为砷化铝的厚度,一定不要超过砷化铝厚度太多,以防载流子注入效率太低,影响出光功率。

[0044] 5. 腐蚀掉二氧化硅,在实验中我们发现氟化氢对砷化铝也有腐蚀作用,因此我们在腐蚀二氧化硅的时候要尽量把腐蚀液的配比降低,低浓度的腐蚀液对砷化铝的腐蚀效果会降低。

[0045] 6. 二次外延,仔细清洗表面后进行二次外延材料生长,继续生长 P-DBRs(P 型分布布拉格反射镜组 9)和盖层。

[0046] 7. 减薄:采用机械减薄的方法,第一次把外延片减薄到 $350 \sim 450 \mu\text{m}$,以便于后面的光刻,显影,烘烤,减薄过程中要避免对外延片表面的划伤,若是出现很深的划痕,难以去除,会影响器件的性能。我们采用 UNIPOL-802 型精密研磨抛光机,使用白刚玉粉,在减薄过程中要反复调整抛光机的平整度,这样有利于外延片的平整性和一致性,经过减薄后的外延片平整度在 $\pm 10 \mu\text{m}$ 的范围。

[0047] 8. 光刻:采用紫外接触式曝光机,将光刻板上的图形转移到外延片上,第一次光刻时要充分利用外延片有结构的部分,将光刻板的图形尽量多的刻到芯片上,光刻完后,得到清洗的图案为最好,曝光过度或者曝光不足都会对后面的第二次光刻影响很大。

[0048] 9. 湿法腐蚀台面:在光刻胶的保护下,使用冰醋酸,氢溴酸,重铬酸钾的混合溶液或者使用磷酸,双氧水,水的混合溶液进行湿法刻蚀,刻蚀到正好刚露出高铝层即可,以便进行湿法选择性氧化。经过实验发现第一种混合溶液腐蚀完的台面会出现“甩尾”现象,不利于氧化层对器件的电流限制和光学限制,而第二种溶液腐蚀完的台面呈现菱形台面,这是由于选择性腐蚀有关,对于小直径单管尤为明显。腐蚀完台面的外延片要进行彻底的清洗,准备湿法氧化。

[0049] 10. 大面积反应溅射 AlN 绝缘膜:为了防止器件在焊接时短路,AlN 的厚度很重要,控制生长厚度为 $100 \sim 250\text{nm}$ 。当厚度较薄时,容易存在针孔,焊接时会产生漏电流,如果 AlN 较厚时表面应力较大,合金时表面的欧姆接触电极易发生脱落。生长均匀致密的 AlN 绝缘膜有利于器件提高器件的性能,延长器件的寿命。以前我们工艺上都是采取 SiO₂ 做钝化绝缘层,可是由于 SiO₂ 的热导率太低,严重影响了 VCSEL 的散热性能,特别是高功率 VCSEL 的散热性能,进而会使器件效率降低,功率减小,寿命缩短。

[0050] 11. 二次减薄抛光:为了减少衬底对光的散射损耗,对外延片进行第二次减薄,厚度减到 $120 \sim 170 \mu\text{m}$,然后使用二氧化硅悬浮液进行抛光,平滑光亮的表面能减少器件的表面散射损耗,有利于限制扩散湿法刻蚀制作微透镜。

[0051] 12. N 面制作电极:在微透镜的表面利用不同类型的光刻胶制备倒梯形,然后利用 DM-450A 型真空镀膜机设备热蒸发 Ge-Au-Ni-Au,倒梯形的好坏直接影响出光窗口的形状,为了得到高质量的倒梯形,选择合适的光刻胶至关重要,在光刻完之后将样品放在烘箱中坚膜 40 分钟,就是为了保持倒梯形的完整性。

[0052] 13. 合金:将制作完 N 面电极的外延片放在丙酮中剥离窗口的金层,使窗口露出,然后放到 RTP-500 快速热处理装置中在合金 60 秒。

[0053] 14. 芯片解理封装:将芯片解理,采用 P 面倒封装的方式焊接在无氧铜热沉上。在 N 面电极上利用金丝球焊机引线,封装到 TO-3。

[0054] 为了研究光栅所引入的电流注入的不均匀性而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。图 3 为有源区上的电流密度分布曲线。图 2 为现有技术中的没有光栅结构的普通的 VCSEL 有源区上的电流密度分布曲线。

[0055] 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。

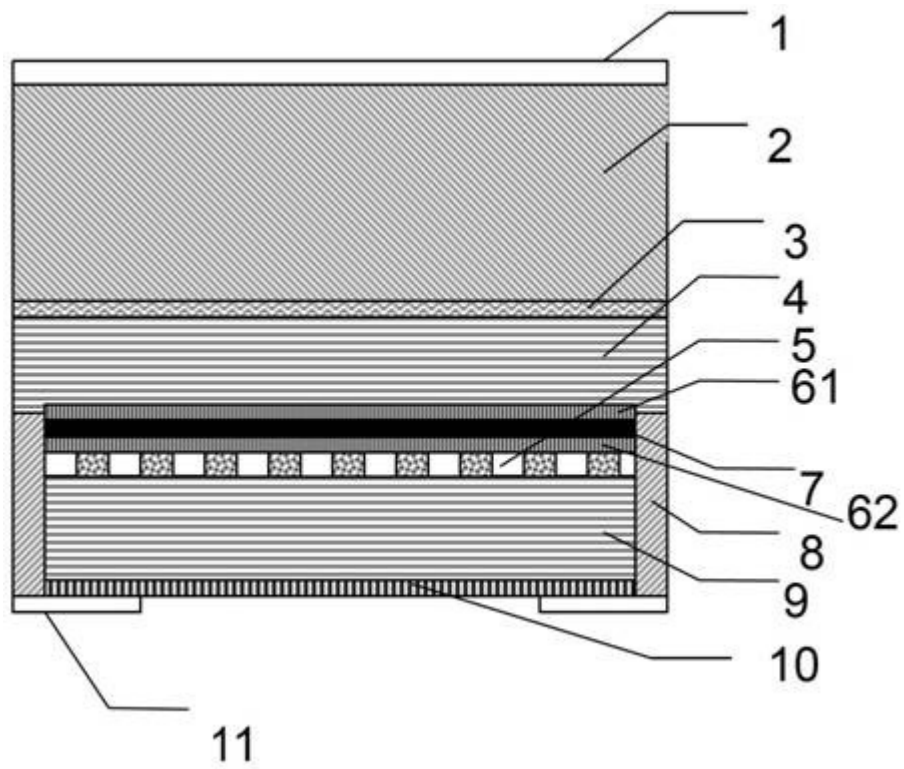


图 1

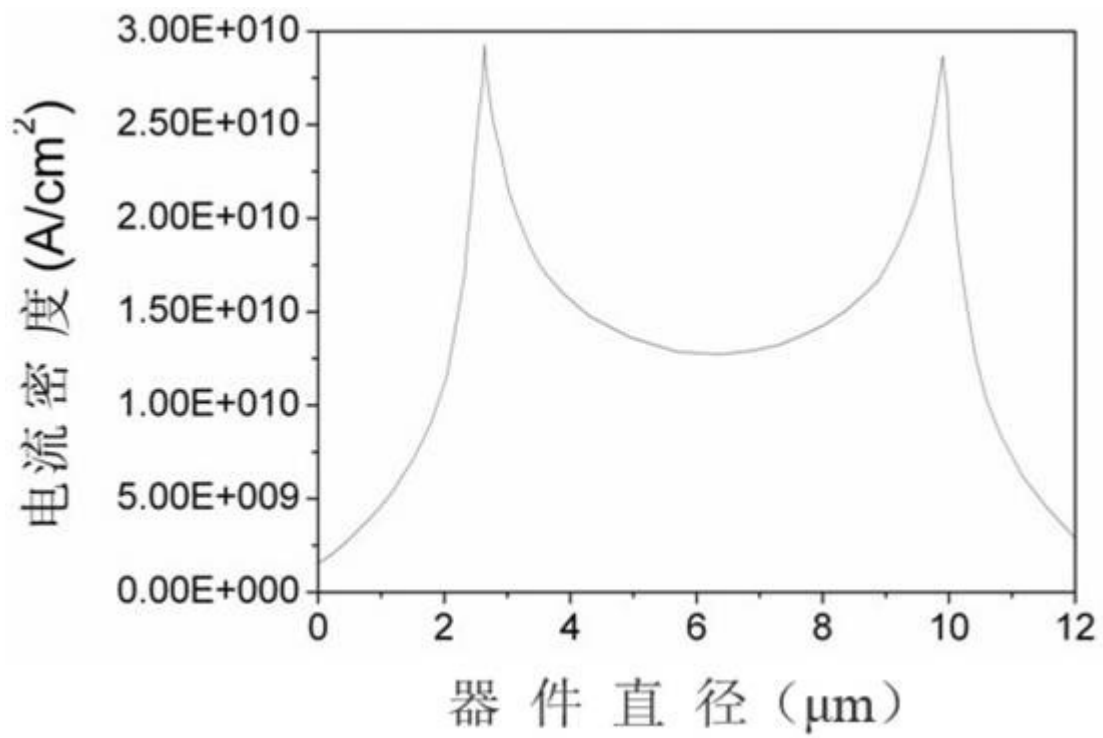


图 2

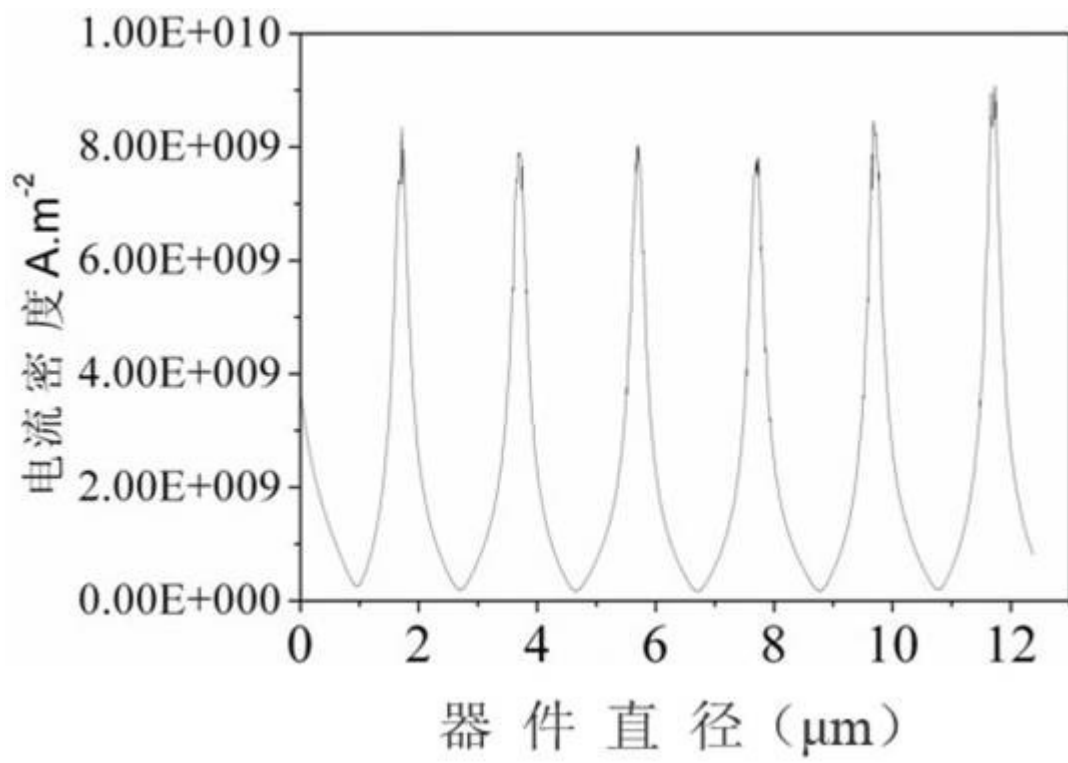


图 3