(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 102611000 A
(43)申请公布日 2012.07.25

(21)申请号 201210079120.6

(22)申请日 2012.03.23

(71)申请人 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 张建伟 宁永强 秦莉 刘云 曾玉刚 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 南小平

(51)Int.Cl.
H01S 5/183(2006.01)
H01S 5/323(2006.01)

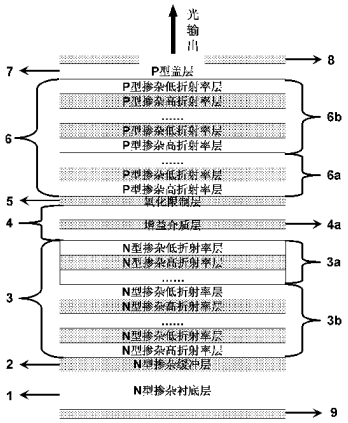
权利要求书 1 页 说明书 4 页 附图 4 页

(54)发明名称

高效率非对称光场分布垂直腔面发射半导体激光器

(57)摘要

高效率非对称光场分布垂直腔面发射半导体激光器，属于半导体激光器技术领域，为解决现有的垂直腔面发射半导体激光器光场在P型DBR一侧的高损耗、激光器的转换效率受到限制的问题，本发明提供高效率非对称光场分布的垂直腔面发射半导体激光器，该激光器由下至上依次为N面电极、N型衬底、N型缓冲层、N型分段DBR、有源区、氧化限制层、P型分段DBR、P型盖层和P面电极；所述N型分段DBR在靠近有源区的前6-8对N型DBR的高、低折射率材料对的折射率差小于后面的高、低折射率材料对的折射率差；P型分段DBR在靠近有源区的前6-8对P型DBR的高、低折射率材料对的折射率差大于后面的高、低折射率材料对的折射率差。本发明电光转换效率高具有广泛的应用前景。



CN 102611000 A

1. 高效率非对称光场分布垂直腔面发射半导体激光器，该激光器由下至上依次为N面电极 (9)、N型衬底 (1)、N型缓冲层 (2)、N型分段DBR(3)、有源区 (4)、氧化限制层 (5)、P型分段DBR(6)、P型盖层 (7) 和P面电极 (8)；所述P面电极 (8) 放置在P型盖层 (7) 的顶面上且电连接到P型盖层 (7)，所述N面电极 (9) 位于N型衬底 (1) 的背面且电连接到N型衬底 (1)，所述有源区 (4) 位于N型分段DBR(3) 与P型分段DBR(6) 之间，有源区 (4) 内引入增益介质层 (4a)，其特征在于，所述N型分段DBR(3) 和P型分段DBR(6) 采用分段结构，N型分段DBR(3) 的高、低折射率材料层交替周期性分布，在靠近有源区 (4) 的前六至八对N型DBR(3a) 的高、低折射率材料对的折射率差小于后面的N型DBR(3b) 的高、低折射率材料对的折射率差；P型分段DBR(6) 的高、低折射率材料层交替周期性分布，在靠近有源区 (4) 的前六至八对P型DBR(6a) 的高、低折射率材料对的折射率差大于后面的P型DBR(6b) 的高、低折射率材料对的折射率差。

2. 根据权利要求1所述的高效率非对称光场分布垂直腔面发射半导体激光器，其特征在于，所述有源区 (4) 光学厚度为出射波长 $\lambda/2$ 的整数倍。

3. 根据权利要求1所述的高效率非对称光场分布垂直腔面发射半导体激光器，其特征在于，所述有源区 (4) 引入多个周期性增益结构。

4. 根据权利要求1所述的高效率非对称光场分布垂直腔面发射半导体激光器，其特征在于，所述增益介质层 (4a) 为单层量子阱、多层量子阱、量子点或量子线。

5. 根据权利要求1所述的高效率非对称光场分布垂直腔面发射半导体激光器，其特征在于，所述N型衬底 (1) 采用N型高掺杂的GaAs或InP；N型缓冲层 (2) 选择N型高掺杂的GaAs或InP；N型分段DBR(3) 的高折射率层和低折射率层选择不同铝组分的三元材料AlGaAs或多元材料，P型分段DBR(6) 的高折射率层和低折射率层选择不同铝组分的三元材料AlGaAs或多元材料；氧化限制层 (5) 选择高铝组分AlGaAs材料；P型盖层 (7) 选择P型重掺杂GaAs或InP材料。

高效率非对称光场分布垂直腔面发射半导体激光器

技术领域

[0001] 本发明属于半导体激光器技术领域，具体涉及高效率非对称光场分布的垂直腔面发射半导体激光器。

背景技术

[0002] 垂直腔面发射激光器是一种垂直表面出光的半导体激光器，它具有阈值低，发散角小，激光功率密度高，易于单片集成，热稳定性好等优点，在医疗、传感、显示技术、信息存储、空间通讯和卫星导航上有着极其重要的应用。随着应用领域的扩展，对面发射激光器性能的要求也越来越高，如何提高垂直腔面发射半导体激光器的效率是近年来研究的热点。

[0003] 现有的垂直腔面发射半导体激光器结构由下至上依次包括N面电极、衬底、缓冲层、N型DBR（分布布拉格反射镜）、有源区、氧化限制层、P型DBR、盖层和P面电极；P面电极放置在盖层的顶面上，并且电连接到盖层，N面电极位于衬底的背面，并且电连接到衬底；由于面发射半导体激光器在有源区两侧的N型DBR和P型DBR材料结构是一致的，这种对称性的结构会使得器件工作时内部光场强度在P型DBR和N型DBR具有相近的分布形式。而P型DBR具有较高的掺杂浓度，产生大的光学损耗和较多的热量，使得激光器的转换效率受到限制。

[0004] 降低掺杂浓度可以在一定程度上减小P型DBR的光学损耗，然而这会引起器件串联电阻的增加，内腔接触式的面发射半导体激光器可以有效提高器件的转换效率，然而其应用局限于小口径的面发射激光器，并且制作工艺复杂，对设备精度要求高。因而迫切需要一种简单实用的方法来有效提高垂直腔面发射半导体激光器的转换效率。

发明内容

[0005] 本发明目的是解决现有的垂直腔面发射半导体激光器光场在P型DBR一侧的高损耗、激光器的转换效率受到限制的问题。

[0006] 为了实现上述目的，本发明提供高效率非对称光场分布的垂直腔面发射半导体激光器，该激光器由下至上依次为N面电极、N型衬底、N型缓冲层、N型分段DBR、有源区、氧化限制层、P型分段DBR、P型盖层和P面电极；所述P面电极放置在P型盖层的顶面上且电连接到P型盖层，所述N面电极位于N型衬底的背面且电连接到N型衬底，所述有源区位于N型分段DBR与P型分段DBR之间，有源区内引入增益介质层，所述N型分段DBR和P型分段DBR采用分段结构，N型分段DBR的高、低折射率材料层交替周期性分布，在靠近有源区的前六至八对N型DBR的高、低折射率材料对的折射率差小于后面的N型DBR的高、低折射率材料对的折射率差；P型分段DBR的高、低折射率材料层交替周期性分布，在靠近有源区的前六至八对P型DBR的高、低折射率材料对的折射率差大于后面的P型DBR的高、低折射率材料对的折射率差。

[0007] 本发明有益效果：本发明面发射半导体激光器N型分段DBR和P型分段DBR采用分段式结构，它利用靠近有源区的前六至八对DBR对整个器件内部的光场分布情况进行调

节，使得工作时器件的内部光场向 N 型分段 DBR 一侧偏离，P 型分段 DBR 一侧的光场强度比普通的面发射半导体激光器要小，因此可有效改善激光器内部光学损耗以及 P 型分段 DBR 的自产热效应。通过设计有源区的光学厚度为 λ/2 的整数倍（λ 为出光波长），多量子阱增益材料处在有源区中心，使得有源区处在光场强度最大处，可以使得光场获得最大的光增益，提高转换效率。这种激光器制作工艺简单，可适用于各种结构的面发射激光器件。相比于传统面发射激光器利用内腔接触等复杂工艺方法制作的高效率面发射激光器来说，它仅仅对有源区两侧的六至八对 DBR 结构做一下改进即可有效提高器件的工作性能；还可在有源区引入多个周期性增益结构，进一步提高器件的输出功率；有源区两侧的前六至八对 DBR 可以采用三元材料 AlGaAs，或者多元材料 InAlGaAs 或者 AlGaInP，材料设计灵活性大，有利于针对不同工作指标进行分析优化，可减小内部产热，降低阈值电流，提高转换效率。总之，这种非对称光场分布的面发射半导体激光器具有内部损耗小，电光转换效率高，热稳定性好等优点，在高效率大功率垂直腔面发射半导体激光器领域有着广泛的应用前景。

附图说明

[0008] 图 1 为本发明的高效率非对称光场分布垂直腔面发射半导体激光器结构示意图；

[0009] 图 2 为本发明的低损耗高效率垂直腔面发射半导体激光器结构折射率分布示意图；

[0010] 图 3(a)、3(b)、3(c) 为实施实例 1 的折射率分布，内部光场分布，功率 - 电流曲线示意图；

[0011] 图 4 为是实施实例 2 的折射率分布示意图。

具体实施方式

[0012] 下面结合附图和具体实施方式对本发明作进一步详细说明。

[0013] 如图 1 所示，本发明提供高效率非对称光场分布垂直腔面发射半导体激光器，该激光器由下至上依次为 N 面电极 9、N 型衬底 1、N 型缓冲层 2、N 型分段 DBR3、有源区 4、氧化限制层 5、P 型分段 DBR 6、P 型盖层 7、P 面电极 8。P 面电极 8 在 P 型盖层 7 的顶面上，并且电连接到 P 型盖层 7，N 面电极 9 位于 N 型衬底 1 的背面，并且电连接到 N 型衬底 1；有源区 4 位于 N 型分段 DBR3 与氧化限制层 5 之间；N 型分段 DBR3 采用 N 型掺杂多层高、低折射率材料周期分布的布拉格反射镜，且采用分段结构；P 型分段 DBR6 采用 P 型掺杂多层高、低折射率材料周期分布的布拉格反射镜，且采用分段结构。

[0014] 如图 2 所示，为本发明的高效率非对称光场垂直腔面发射半导体激光器的折射率分布图。N 型分段 DBR3 由 N 型掺杂的高、低折射率层周期性排列组成；P 型分段 DBR6 由 P 型掺杂的高、低折射率层周期性排列组成。每个周期包含一高折射率层、一低折射率层，高、低折射率层的光学厚度分别等于出射波长的 1/4；靠近有源区的前 6-8 对 N 型 DBR3a 与后面的 N 型 DBR3b 的材料组成不同，组成前 6-8 对 N 型 DBR3a 的周期性材料折射率差比组成后面的 N 型 DBR3b 的周期性材料折射率差小；靠近有源区的前 6-8 对 P 型 DBR6a 与后面的 P 型 DBR6b 的材料组成不同，组成前 6-8 对 P 型 DBR6a 的周期性材料折射率差比组成后面的 P 型 DBR6b 的周期性材料折射率差大。有源区 4 位于 N 型分段 DBR3 与 P 型分段 DBR6 之间，它的光学厚度为二分之一出光波长的整数倍，增益介质层 4a 一般处于有源区 4 内部，它

位于整个激光器光场强度分布最大处。

[0015] N 型衬底 1 可为 N 型高掺杂的任何常用的 III-V 族化合物，比如 GaAs 和 InP 等，用于在其上外延生长激光器各层材料。由于外延层材料需与衬底晶格匹配或近似匹配，因此衬底的选择取决于设计的激射波长，本发明主要采用 N 型高掺杂 GaAs 衬底。

[0016] N 型缓冲层 2 生长在 N 型衬底 1 上，为 N 型高掺杂材料，通常选择与 N 型衬底 1 相同的材料。本发明中采用 GaAs 衬底，缓冲层选择 N 型高掺杂的 GaAs，其目的是有效的掩埋衬底的缺陷，形成高质量的外延表面，以利于其它各层材料的生长。

[0017] N 型分段 DBR 3 生长在 N 型缓冲层 2 上，它由 m 对 N 型掺杂的高折射率材料层和低折射率材料层周期性排列组成，每层材料带隙宽度均大于有源层带隙宽度。在本发明中采用 GaAs 材料 N 型衬底 1 的情形下，N 型分段 DBR 3 高折射率材料层和低折射率材料层选择不同铝组分的三元材料 AlGaAs 或多元材料 InAlGaAs、AlGaInP 等，高折射率材料铝组分低于低折射率材料。且靠近有源区 4 的前 6-8 对 N 型 DBR 3a 所选取的高折射率材料层与低折射率材料层跟后面的 N 型 DBR3b 不一样，折射率差较小。N 型分段 DBR 3 的高、低折射率层的周期对数、每层的厚度和组分需精心设计，使其中心波长为所需的出光波长，靠近有源区部分的各层材料不掺杂或低掺杂以减小光吸收损耗。

[0018] 有源区 4 生长在 N 型分段 DBR 3 上，位于 N 型 DBR 3 与氧化限制层 5 之间，通常不掺杂或低掺杂。增益介质 4a 位于有源区 4 中，其带隙对应于所希望的发光波长，可以为单层或多层量子阱 (QWs)、量子点 (QDs)、量子线等，其目的在于作为激光器的增益区，在电注入时产生激光并提供足够的光增益。另外可以设计成多发光区周期性增益介质结构，在有源区内部驻波场分布的几个波峰位置插入增益介质形成多发光区，以提高输出功率。在本发明中采用 GaAs 材料 N 型衬底 1 的情形下，增益介质主要采用 InGaAs/GaAsP 应变量子阱材料。

[0019] 氧化限制层 5 生长在有源区 4 之上，氧化层材料采用高 Al 组分的 $Al_{0.98}Ga_{0.02}As$，厚度为几十纳米，氧化深度为 30μm 左右。这样就可以有效的限制载流子的扩散，降低阈值电流。

[0020] P 型分段结构 DBR 6 生长在氧化限制层 5 上。它由 n 对 P 型掺杂的高、低折射率材料周期性排列构成，选择不同铝组分的三元材料 AlGaAs 或多元材料 InAlGaAs、AlGaInP 等，各层材料的晶格常数与 N 型衬底 1 及下面的生长材料相近，并且材料的带隙宽度要大于有源区增益介质的带隙宽度，掺杂 P 型杂质。本发明中靠近有源区 4 的前 6-8 对 P 型 DBR 6a 与后面的 P 型 DBR6b 不同。前 6-8 对 P 型 DBR6a 处的 DBR 材料折射率差要比后面的 P 型 DBR6b 处的大，以使得 P 型分段 DBR 6 内部的驻波场强度得到有效降低。而后面的 P 型 DBR6b 处的 DBR 材料与后面的 N 型 DBR3b 处的 DBR 材料类型相一致。

[0021] P 型盖层 7 生长在 P 型分段 DBR 6 上，通常选择与 N 型衬底 1 相同的材料，重掺杂 P 型杂质，以利于欧姆接触。在本发明中采用 GaAs 衬底的情形下，P 型盖层选择 P 型重掺 GaAs 材料。

[0022] 金属电极由多层金属依次堆叠制成，通常 P 面电极 8 采用钛 - 铂 - 金 (Ti-Pt-Au) 材料或者钛 - 金 (Ti-Au) 材料，N 面电极 9 采用金 - 锗 - 镍 (Au-Ge-Ni) 材料。

[0023] 实施例 1

[0024] 如图 3(a)、3(b)、3(c) 所示，为一种顶发射的非对称光场分布垂直腔面发射半导

体激光器的折射率分布、驻波场分布及输出功率与注入电流关系。该结构中 N 型分段 DBR3 总的周期性材料对数为 33 对，P 型分段 DBR6 总的周期性材料对数为 22 对。靠近有源区的前 6 对 N 型 DBR 和 P 型 DBR 分别采用低折射率差和高折射率差周期性材料。从图 3(b) 中器件内部光场强度分布可以看出，本发明中面发射激光器内部驻波场在 N 型分段 DBR3 一侧的分布比 P 型分段 DBR6 中要强，即光场向 N 型分段 DBR3 一侧偏移，因此，相比传统的对称光场分布式的垂直腔面发射半导体激光器，本发明减小了 P 型分段 DBR6 对光场的吸收，从图 3(c) 可以看出，相比于传统的对称式 DBR 结构，在相同的注入电流下，非对称光场分布的面发射半导体激光器具有更高的输出功率，而阈值电流并没有增加，因此，器件转换效率得到了有效的提高，我们模拟的出光口径为 10μm 的该结构器件，将对称形式的激光器结构改为非对称结构后，其转换效率提高了 10%。

[0025] 实施例 2

[0026] 如图 4 所示，与实施例 1 相比，该结构中有源区 4 内引入多个周期性增益介质结构 4a、4b 和 4c，这种结构可以使得光场在内部震荡时获得大的增益，从而得到高的输出功率。该结构的特点为有源区 4 厚度很大，驻波场在有源区 4 内部有多个震荡峰，在各个相应的峰值位置处插入增益介质，提高了增益介质层对注入电流的利用效率，并且整个结构的光增益大大增强，从而进一步提高出光功率。

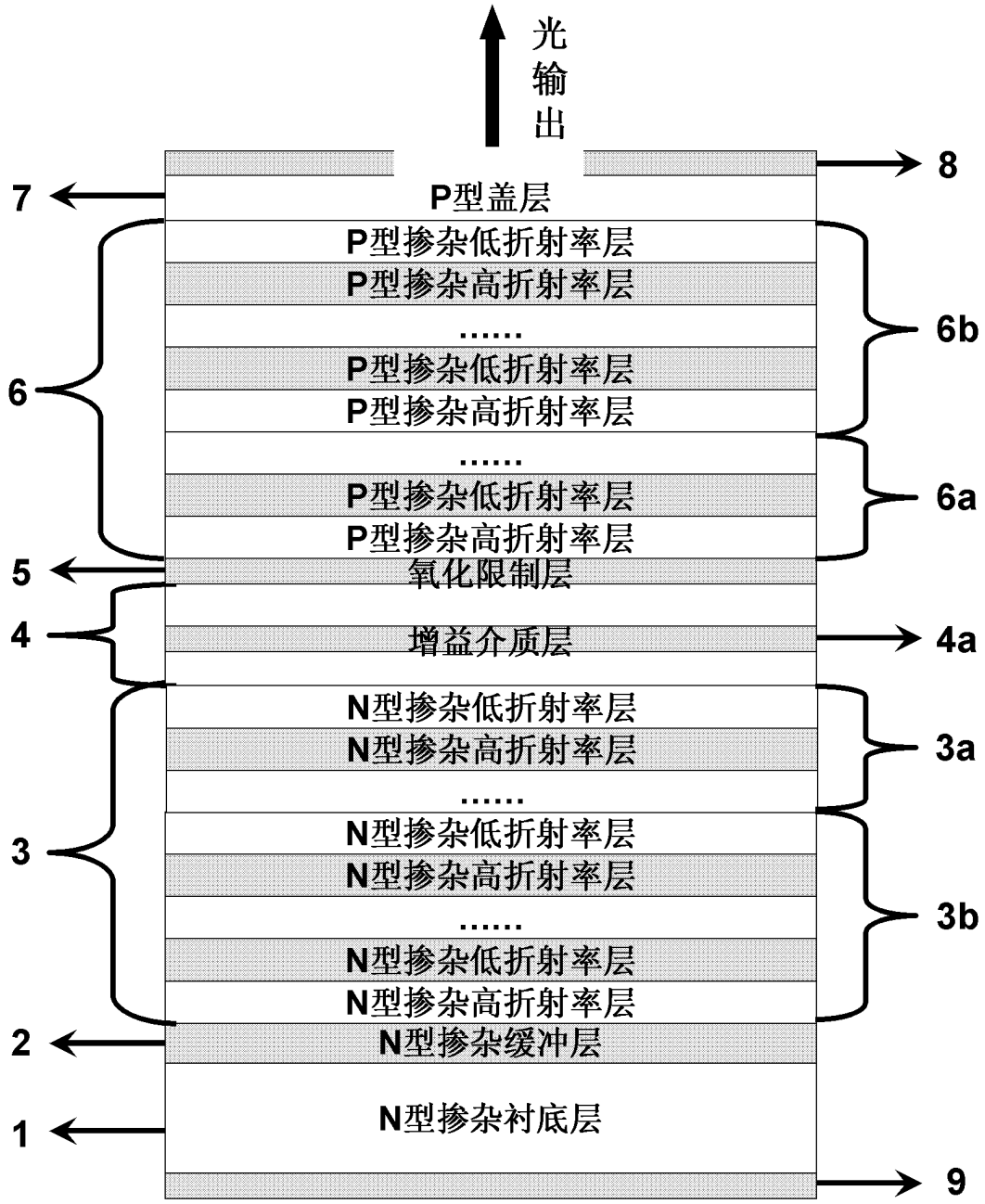

光
输
出
8
7
P型盖层
P型掺杂低折射率层
P型掺杂高折射率层
……
P型掺杂低折射率层
P型掺杂高折射率层
……
P型掺杂低折射率层
P型掺杂高折射率层
6b
6
6a
5
氧化限制层
4
增益介质层
4a
N型掺杂低折射率层
N型掺杂高折射率层
……
N型掺杂低折射率层
N型掺杂高折射率层
……
N型掺杂低折射率层
N型掺杂高折射率层
3a
3
3b
2
N型掺杂缓冲层
1
N型掺杂衬底层
9

图 1

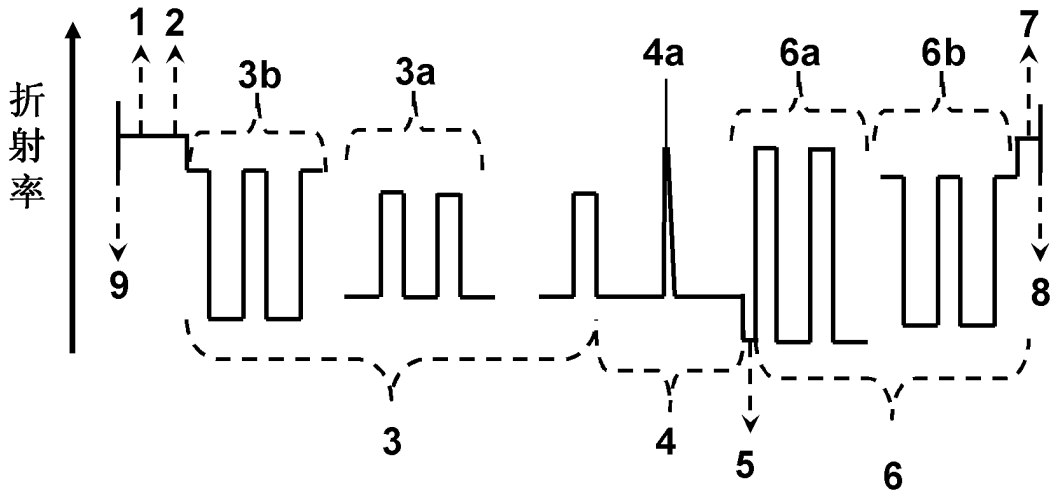


图 2

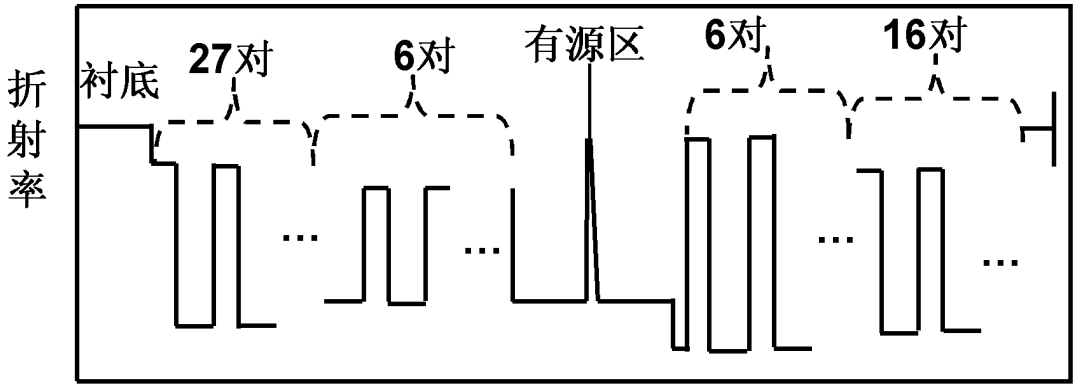


图 3(a)

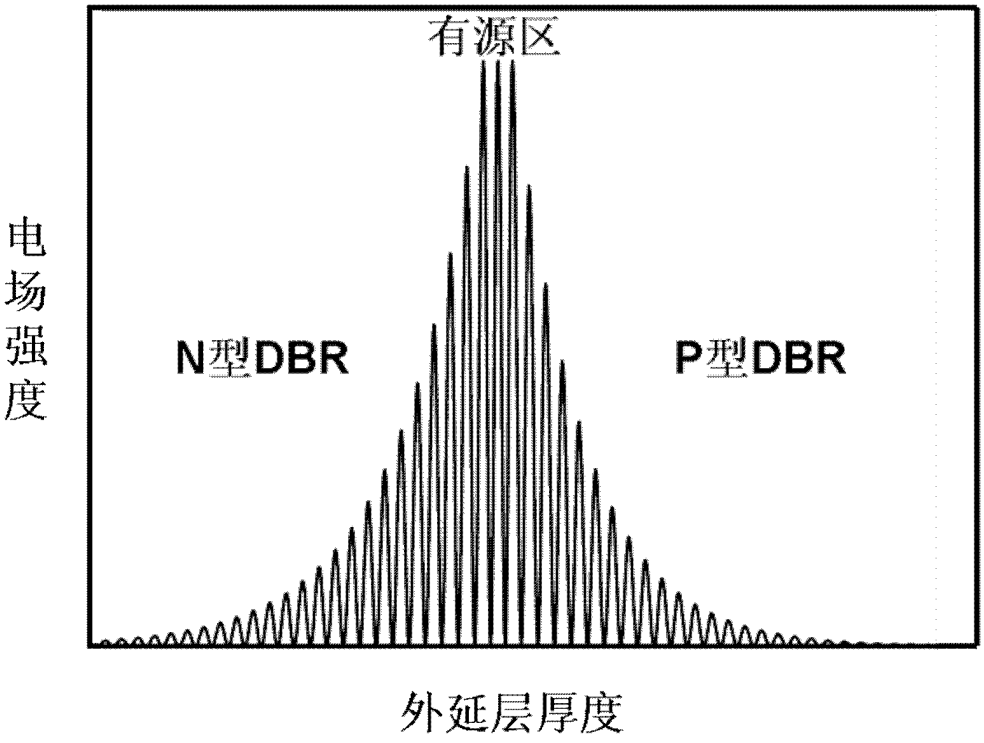

有源区
电场强度
N型DBR
P型DBR
外延层厚度

图 3(b)

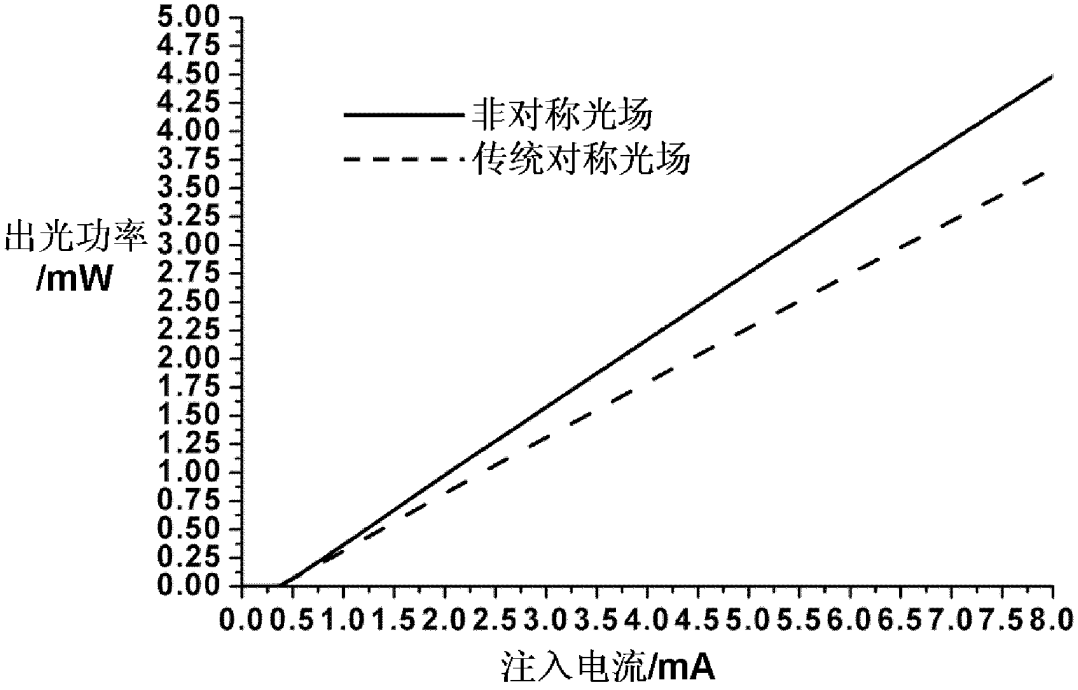

5.00
4.75
4.50
4.25
4.00
3.75
3.50
3.25
3.00
2.75
2.50
2.25
2.00
1.75
1.50
1.25
1.00
0.75
0.50
0.25
0.00
出光功率 /mW
非对称光场
传统对称光场
0.0 0.5 1.0 1.5 2.0 2.5 3.0 3.5 4.0 4.5 5.0 5.5 6.0 6.5 7.0 7.5 8.0
注入电流/mA

图 3(c)

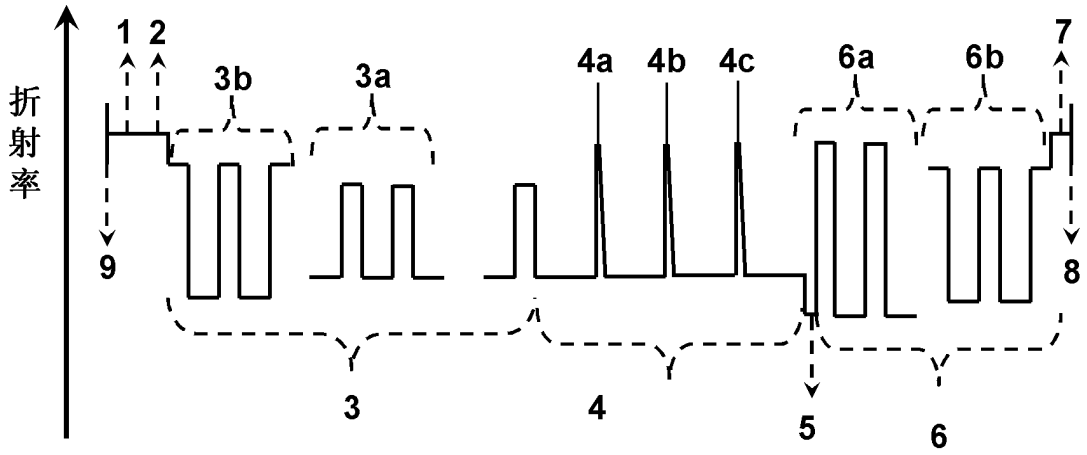


图 4