

布拉格反射波导双光束激光器及其应用方法

申请号：[201210164640.7](#)

申请日：2012-05-25

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 [汪丽杰 佟存柱 杨晔 王立军 曾玉刚 张俊](#)

主分类号 [H01S5/125\(2006.01\)I](#)

分类号 [H01S5/125\(2006.01\)I](#)

公开(公告)号 [102709810A](#)

公开(公告)日 [2012-10-03](#)

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 102709810 B

(45) 授权公告日 2014. 04. 16

(21) 申请号 201210164640. 7

(22) 申请日 2012. 05. 25

(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 汪丽杰 佟存柱 杨晔 王立军
曾玉刚 张俊

(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 5/125 (2006. 01)

审查员 胡涛

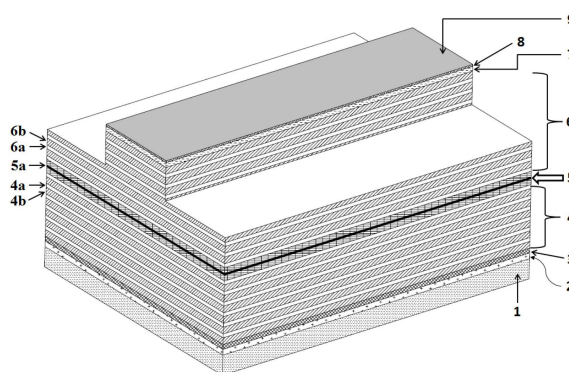
权利要求书1页 说明书6页 附图6页

(54) 发明名称

布拉格反射波导双光束激光器及其应用方法

(57) 摘要

本发明的布拉格反射波导双光束激光器, 由下至上依次包括: N 面电极、衬底、缓冲层、下波导层、缺陷层、上波导层、盖层和 P 面电极; 所述缺陷层的中设有有源区; 所述下波导层包括多对 N 型掺杂高、低折射率材料层周期交替生长的布拉格反射镜; 所述上波导层包括多对 P 型掺杂高、低折射率材料层周期交替生长的布拉格反射镜; 导模有效折射率低于所述 P 型掺杂低折射率材料层和 N 型掺杂低折射率材料层的折射率。本发明的布拉格反射波导双光束激光器可直接输出两束稳定的、低横向发散、双光束间角分离及功率对称性可控的激光, 在高速激光扫描、高精度激光探测、激光加工、离轴外腔及相干耦合等领域具有很大的应用前景。



1. 一种 980nm 波长的低有效折射率的布拉格反射波导双光束激光器,其特征在于:由下至上依次包括:

N 面电极(10)、衬底(1)、缓冲层(2)、下波导层(4)、缺陷层(5)、上波导层(6)、盖层(8)和 P 面电极(9);所述缺陷层(5)中设有有源区(5a);

所述下波导层(4)包括多对 N 型掺杂高、低折射率材料层周期交替生长的布拉格反射镜;所述上波导层(6)包括多对 P 型掺杂高、低折射率材料层周期交替生长的布拉格反射镜;

下波导层和上波导层均采用 25 对厚度分别为 75nm/72nm 的 $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}/\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{As}$ 周期性波导,高、低折射率分别为 3.45、3.34;缺陷层采用 150nm 厚的 $\text{Al}_{0.35}\text{Ga}_{0.65}\text{As}$,缺陷层折射率为 3.31;激光器的有效折射率 n_{eff} 约为 0.56。

2. 根据权利要求 1 所述的布拉格反射波导双光束激光器的一种应用方法,其特征在于,包括:

利用光调制器对所述激光器产生的两束激光进行写调制,使两束激光分别携带不同的数据。

布拉格反射波导双光束激光器及其应用方法

技术领域

[0001] 本发明属于半导体激光器技术领域,涉及一种布拉格反射波导双光束激光器及其应用方法。

背景技术

[0002] 在激光扫描技术中,受数据调制速率及扫描转镜旋转速度的实际限制,单光束扫描速度已接近极限,因此采用双光束或多光束扫描是突破这一限制的重要途径,它可使激光打印速度或光盘读写速度倍增。在激光检测等领域,由于激光器的强度扰动以及热透镜效应产生的噪声,当前商用激光吸收光谱仪的检测精度普遍不高,而利用两束强度相关性很好的激光分别作为参考光和信号光,可有效消除了激光强度不稳定性产生的噪声,大幅提高检测精度。另外,基于双光束激光的高性能粒子成像速度仪不仅可同时测量粒子的大小、速度和方向,而且还可检测高速粒子。由上可见,发展一种紧凑、稳定的双光束激光器对一些实际应用具有非常重要的意义。

[0003] 传统方法获得双光束激光主要有两种:一种是将一束激光分成两束,主要采用衍射光栅、偏振棱镜、非简并光参量振荡以及外腔反馈等方法;另一种方法是采用空间、波长或偏振耦合器以及光纤列阵等将两束不同激光器发出的激光耦合在一起,形成双光束激光输出。这些方法需要复杂的光学对准,而且尺寸不紧凑,成本高,重复性差,难以大批量生产。另一个解决方案是采用双条半导体激光器或相位耦合条形半导体激光器列阵,它能够在侧向输出两束激光,但其面临的问题是:在这些不同发光点之间存在严重的热串扰,一个发光点的功率极易受到相邻发光点通电时产生的热影响,器件输出功率难以稳定,应用受到限制。

[0004] 另外一方面,布拉格反射波导是一种一维光子晶体,它具有光子禁带,频率处于禁带内的光子传输被禁止。布拉格反射镜的高折射率层的折射率为 n_1 ,布拉格反射镜的低折射率层的折射率为 n_2 ,导模有效折射率为 n_{eff} 。当传输常数位于禁带内时,导模有效折射率 n_{eff} 可以低于布拉格反射镜的低折射率层的折射率 n_2 。布拉格反射波导通常存在两种光子禁带导引机制:一种为光在布拉格反射镜中高折射率层传输但在低折射率层渐逝衰减,此时满足 $n_1 > n_{\text{eff}} > n_2$;另一种为完全光子禁带导引,光在布拉格反射镜中所有层中传输,此时满足 $n_{\text{eff}} < n_2$ 。在中国发明专利 CN201110272765.7 中公开了一种低横向发散角布拉格反射波导边发射半导体激光器,这种激光器中的布拉格反射波导采用前一种光子禁带导引机制,即光在布拉格反射镜中高折射率层传输但在低折射率层渐逝衰减,导模有效折射率 n_{eff} 高于布拉格反射镜的低折射率层的折射率 n_2 ,但是低于高折射率层的折射率 n_1 。

发明内容

[0005] 本发明的目的在于克服上述现有技术的不足,而提供一种紧凑的、稳定的、精确可控的、可批量生产的布拉格反射波导双光束激光器及其应用方法。

[0006] 为了实现本发明的以上目的,本发明的技术方案如下:

[0007] 一种布拉格反射波导双光束激光器,由下至上依次包括:

[0008] N 面电极、衬底、缓冲层、下波导层、缺陷层、上波导层、盖层和 P 面电极;所述缺陷层的中设有有源区;

[0009] 所述下波导层包括多对 N 型掺杂高、低折射率材料层周期交替生长的布拉格反射镜;所述上波导层包括多对 P 型掺杂高、低折射率材料层周期交替生长的布拉格反射镜;

[0010] 导模有效折射率低于所述 P 型掺杂低折射率材料层和 N 型掺杂低折射率材料层的折射率。

[0011] 上述技术方案中,所述缓冲层与所述下波导层之间还设有限制层;所述上波导层与所述盖层之间还设有上限制层。

[0012] 上述技术方案中,所述有源区为单层量子阱、多层量子阱、量子点或量子线中的任意一种。

[0013] 上述技术方案中,所述有源区位于缺陷层中间。

[0014] 上述技术方案中,所述 P 型掺杂高折射率材料层与所述 N 型掺杂高折射率材料层相对于的有源区镜面对称;所述 P 型掺杂低折射率材料层与所述 N 型掺杂低折射率材料层相对于的有源区镜面对称。

[0015] 上述技术方案中,所述 P 型掺杂高折射率材料层和所述 N 型掺杂高折射率材料层的折射率和厚度相同;所述 P 型掺杂低折射率材料层和所述 N 型掺杂低折射率材料层的折射率和厚度相同。

[0016] 上述技术方案中的布拉格反射波导双光束激光器的一种应用方法,包括:

[0017] 利用光调制器对所述激光器产生的两束激光进行写调制定时,使两束激光分别携带不同的数据。

[0018] 本发明具有以下有益效果

[0019] 本发明提出的半导体激光器采用布拉格反射波导代替传统的全反射波导结构进行光限制,它利用完全光子禁带导引机制来实现自身双光束激光输出,因此这种双光束激光器的紧凑性和稳定性非常高。这种布拉格反射波导激光器还具有高增益系数、大激光腔、强模式选择的特性,可实现超大光模式体积稳定单横模工作,单光束横向发散角可从传统器件的 45° 压缩到 10° 以下,输出光束近似为圆光斑,更有利于器件准直及应用;而且,大的光模式体积还可有效减小半导体激光器芯片发生灾变光损伤及光丝效应的概率,提高激光器的可靠性和光束质量。另外,通过调节外延结构,两束激光间夹角可根据需求精确得到控制,这对于实际应用非常重要。总之,这种布拉格反射波导双光束激光器可实现稳定的、对称的、近圆形光斑、双光束间角分离及功率对称性可控的双光束激光输出,在高速激光扫描、高精度激光探测、激光加工等领域具有很好的应用前景。

[0020] 本发明的半导体激光器结构中,激光器近场电场分布近似于余弦函数,周期性峰值强度从有源区向两边指数衰减,其经过傅里叶变换对应的远场为双瓣远场。简单的讲,本发明激光器中光波以之字形在腔内传输,光模式传输方向与腔面垂直方向呈一定倾角,当此模式角低于半导体-空气界面间全反射角时,输出激光远场图形在横向为双瓣,从而实现双光束激光输出。另外,这种激光器采用光子禁带进行光限制,它具有大的增益损耗差,可实现超大模式体积稳定单横模工作,因此可通过扩展基模模式尺寸来获得两束超窄横向光束发散的激光输出,这在实际应用中具有非常重要的意义。

附图说明

[0021] 图 1 为本发明的布拉格反射波导双光束激光器结构示意图。

[0022] 图 2 为一种采用低折射率缺陷层的布拉格反射波导双光束激光器各层的折射率分布示意图。

[0023] 图 3 为一种采用高折射率缺陷层的布拉格反射波导双光束激光器各层的折射率分布示意图。

[0024] 图 4 (a)、(b)、(c) 分别为实施例 1 的激光器的折射率分布、基横模近场和远场强度分布示意图。

[0025] 图 5 (a)、(b)、(c) 分别为实施例 2 的激光器的折射率分布、基横模近场和远场强度分布示意图。

[0026] 图 6 (a)、(b)、(c) 分别为实施例 3 的激光器的折射率分布、基横模近场和远场强度分布示意图。

[0027] 图 7 (a)、(b)、(c) 分别为实施例 4 的激光器的折射率分布、基横模近场和远场强度分布示意图。

[0028] 图 8 (a)、(b) 分别为实施例 5 的激光器的折射率分布、基横模近场强度分布示意图。

[0029] 图 9 为实施例 6 的布拉格反射波导双光束激光器在激光打印领域的一种应用方法示意图。

[0030] 图中附图标记表示为：

[0031] 1- 衬底 ; 2- 缓冲层 ; 3- 下限制层 ; 4- 下波导层 ; 5- 缺陷层 ; 6- 上波导层 ; 7- 上限制层 ; 8- 盖层 ; 9- P 面电极 ; 10- N 面电极 ;

[0032] 4a- N 型掺杂高折射率材料层 ; 4b- N 型掺杂低折射率材料层 ; 5a- 有源区 ; 6a- P 型掺杂高折射率材料层 ; 6b- P 型掺杂低折射率材料层 ;

[0033] 91- 激光器 ; 92- 快轴准直镜 ; 93- 慢轴准直镜 ; 94- 多通道声光调制器 ; 95- 多棱镜 ; 96- 扫描透镜 ; 97- 线扫描。

具体实施方式

[0034] 本发明的布拉格反射波导双光束半导体激光器, 其发明思想为：

[0035] 如图 1 所示, 本发明的由下至上依次为 N 面电极 10、衬底 1、缓冲层 2、下限制层 3、下波导层 4、缺陷层 5、上波导层 6、上限制层 7、盖层 8 和 P 面电极 9, 所述的下波导层 4 和上波导层 6 均采用多对高、低折射率材料层周期交替生长的布拉格反射镜 (DBR), 分别掺 N 型和 P 型杂质 ; 缺陷层 5 位于下波导层 4 与上波导层 6 之间, 中心插入有源区 5a ; 所述有源区 5a 与缺陷层 5 共同组成光子晶体缺陷。所述下限制层 3 和上限制层 7 的作用是进行光场限制。但是, 即便不设置所述下限制层 3 和上限制层 7, 多对的布拉格反射镜也可以起到产生较强的光场限制的作用。激光器在横向输出两束激光。

[0036] 衬底 1 为 N 型重掺杂的 III - V 族化合物 ; 缓冲层 2 生长在衬底 1 上, N 型高掺杂, 通常与衬底 1 材料相同 ; 下限制层 3 生长在缓冲层 2 上, N 型掺杂, 其折射率低于下波导层 4, 用以限制光场向衬底扩展 ; 下波导层 4 生长在下限制层 3 上, 它由 m 对 N 型掺杂高折射率材

料层 4a 和 N 型掺杂低折射率材料层 4b 周期交替生长的布拉格反射镜组成 ; 缺陷层 5 生长在下波导层 4 上, 通常不掺杂或低掺杂, 有源区 5a 位于缺陷层 5 中, 可为单层或多层量子阱 (QWs)、量子点 (QDs)、量子线等增益材料 ; 上波导层 6 生长在缺陷层 5 上, 它由 n 对 P 型掺杂高折射率材料层 6a 和 P 型掺杂低折射率材料层 6b 周期交替生长的布拉格反射镜组成, 其中 P 型掺杂高折射率材料层 6a 和 N 型掺杂高折射率材料层 4a 的折射率和厚度相同, P 型掺杂低折射率材料层 6b 和 N 型掺杂低折射率材料层 4b 的折射率和厚度相同, 周期对数 n 与 m 可相同或不同 ; 上限制层 7 生长在上波导层 6 之上, P 型掺杂, 折射率低于上波导层 6, 用以限制光场向高掺杂盖层 8 扩展 ; 盖层 8 生长在上限制层 7 之上, 通常与衬底 1 材料相同, P 型重掺杂以利于欧姆接触 ; P 面电极 9 生长在盖层 8 的顶面, 通常采用钛 - 铂 - 金 (Ti-Pt-Au) 材料 ; 激光器芯片衬底减薄抛光后蒸镀 N 面电极 10, 通常采用金 - 锗 - 镍 (Au-Ge-Ni) 材料。不同材料层界面间组分线性渐变以减小器件电阻。

[0037] 如图 2 所示, 为本发明的一种低折射率缺陷层的布拉格反射波导双光束激光器的折射率分布示意图。下波导层 4 由 N 型掺杂高折射率层 4a、N 型掺杂低折射率层 4b 周期交替生长组成, 每个周期的厚度为 T_N ; 上波导层 6 由 P 型掺杂高折射率材料层 6a、P 型掺杂低折射率材料层 6b 周期交替生长组成, 每个周期的厚度为 T_P ; N 型掺杂高折射率材料层 4a 和 P 型掺杂高折射率材料层 6a 的折射率均为 n_1 , 厚度相同 ; N 型掺杂低折射率材料层 4b 和 P 型掺杂低折射率材料层 6b 的折射率均为 n_2 , 厚度相同 ; 缺陷层 5 的折射率 n_c 低于或等于上下波导层中的低折射率层 (即 $n_c \leq n_2$), 中心插入有源区 5a。导模有效折射率 n_{eff} 高于零, 低于布拉格反射镜的低折射率层的折射率 n_2 。在本发明中, 所提出的布拉格反射波导双光束激光器利用完全光子禁带导引波导, 这不同于中国专利申请 CN 201110272765.7 所采用的波导机制。

[0038] 如图 3 所示, 为本发明的一种高折射率缺陷层的布拉格反射波导双光束激光器的折射率分布示意图, 其缺陷层 5 的折射率 n_c 高于下波导层 4 中 N 型掺杂低折射率层 4b 和上波导层 6 中 P 型掺杂低折射率材料层 6b 的折射率 n_2 。但缺陷层 5 厚度较小, 使得激光器基模近场电场分布接近峰值衰减的余弦函数。于是, 导模有效折射率 n_{eff} 低于布拉格反射镜的低折射率层的折射率 n_2 , 从而确保激光器在横向输出两束激光。

[0039] 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。

[0040] 实施例 1 :

[0041] 如图 4(a)、(b)、(c) 所示, 为一 980nm 波长布拉格反射波导双光束激光器的折射率分布、基模近场和远场强度分布示意图。它的下波导层和上波导层均采用 6 对厚度分别为 100nm/600nm 的 $Al_{0.1}Ga_{0.9}As/Al_{0.3}Ga_{0.7}As$ 周期性波导, 其中 $Al_{0.1}Ga_{0.9}As$ 和 $Al_{0.3}Ga_{0.7}As$ 材料的折射率分别约为 3.45、3.34 ; 缺陷层材料为 $Al_{0.3}Ga_{0.7}As$, 厚度为 1300nm, 折射率为 3.34 ; 有源区采用 $In_{0.2}Ga_{0.8}As/GaAs$ 量子阱 (QWs), 位于缺陷层中心。从图 4(b) 中基模近场强度分布可以看出, 本发明中激光器的基模近场电场分布接近余弦函数, 其中峰值由有源区向两边指数衰减。从图 3(c) 所示的激光器远场可见, 激光器在横向 $\pm 36^\circ$ 方向对称的输出两束激光, 由于模式扩展单光束横向发散角半高宽可低于 10° , 而且激光器输出能量几乎全部集中在这两束激光中。

[0042] 实施例 2 :

[0043] 如图 5(a)、(b)、(c) 所示, 为一 980nm 波长布拉格反射波导双光束激光器的折射率

分布、基横模近场和远场强度分布示意图。它的下波导层和上波导层均采用 6 对厚度分别为 100nm/600nm 的 $\text{Al}_{0.35}\text{Ga}_{0.65}\text{As}/\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{As}$ 周期性波导,其中 $\text{Al}_{0.35}\text{Ga}_{0.65}\text{As}$ 和 $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{As}$ 材料的折射率分别为 3.31、3.45;缺陷层材料为 $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$,厚度为 400nm,折射率为 3.45;有源区采用 $\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{As}/\text{GaAs}$ 量子阱(QWs)。从图 4(b)中基模近场强度分布可以看出,即使缺陷层采用高折射材料,但通过减小其厚度,也可获得接近余弦函数的近场电场分布。于是,导模有效折射率 n_{eff} 低于布拉格反射镜的低折射率层的折射率 n_2 ,从而确保激光器在横向输出两束激光。由图 5(c)所示的远场分布可见,激光器在横向 $\pm 44^\circ$ 方向输出两束激光,如此大的光束分离有利于对这两束激光分别进行控制。

[0044] 实施例 3:

[0045] 如图 6(a)、(b)、(c)所示,为一 850nm 波长布拉格反射波导双光束激光器的折射率分布、基横模近场和远场强度分布示意图。它的下波导层和上波导层均采用 8 对厚度分别为 200nm/500nm 的 $\text{Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{As}/\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$ 周期性波导,其中 $\text{Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{As}$ 和 $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$ 材料在 850nm 波长下的折射率分别约为 3.5、3.4;缺陷层材料 1 μm 厚的 $\text{Al}_{0.35}\text{Ga}_{0.65}\text{As}$,折射率约为 3.37。从图 6(b)可看出,当下限制层和上限制层不存在时,通过增大布拉格反射镜周期对数仍可获得较强的光场限制,使激光器的泄露损耗保持在较低水平。

[0046] 实施例 4:

[0047] 如图 7(a)、(b)、(c)所示,为一 980nm 波长单边布拉格反射波导双光束激光器的折射率分布、基横模近场和远场强度分布示意图。它的下波导层采用 8 对厚度分别为 750nm/100nm 的 $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}/\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{As}$ 周期性波导,下波导层采用 1 μm 厚的 $\text{Al}_{0.35}\text{Ga}_{0.65}\text{As}$,P 面利用全反射原理进行光限制。从图 7(c)可看出,即使采用单边布拉格反射波导激光器结构,仍可获得双光束激光输出。

[0048] 实施例 5:

[0049] 如图 8(a)、(b)所示,为一 980nm 波长低有效折射率布拉格反射波导双光束激光器的折射率分布和基横模近场强度分布示意图。它的下波导层和上波导层均采用 25 对厚度分别为 75nm/72nm 的 $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}/\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{As}$ 周期性波导,高、低折射率分别为 3.45、3.34;缺陷层采用 150nm 厚的 $\text{Al}_{0.35}\text{Ga}_{0.65}\text{As}$,折射率为 3.31;激光器的有效折射率 n_{eff} 约为 0.56,可见其远低于缺陷层及布拉格反射镜中材料折射率。由图 8 可见,这种布拉格反射波导激光器的有效折射率可低至零。

[0050] 实施例 6:

[0051] 图 9 为本发明的布拉格反射波导双光束激光器在激光打印领域的一种应用技术。激光器 91 产生的两束连续激光分别经快轴准直镜 92、慢轴准直镜 93 准直后,入射到多通道声光调制器 94,分别对两束光进行写调制定时,然后两束激光通过透镜聚焦后照射到周期性旋转的多棱镜 95,旋转棱镜同时反射这两束携带图像数据的激光,并经过扫描透镜 96 校正聚焦后照射到感光鼓的感光表面形成线扫描 97,同时感光表面沿垂直于行扫描方向移动将原图像以激光点的形式在感光表面恢复。在本发明中,两束激光同时成像,可使激光打印机的输出速度倍增。

[0052] 在其他具体实施方式中多通道声光调制器也可以替换为其他的光调制器,例如电光调制器。

[0053] 由上述实施例可以清楚理解,本发明的布拉格反射波导双光束激光器可以应用在

激光打印、光存储、激光扫描、高精度激光吸收光谱仪、高性能激光粒子成像速度仪、激光加工、离轴外腔及相干耦合等领域。应用在激光打印以外的技术领域中的应用方法在此不再赘述。

[0054] 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。

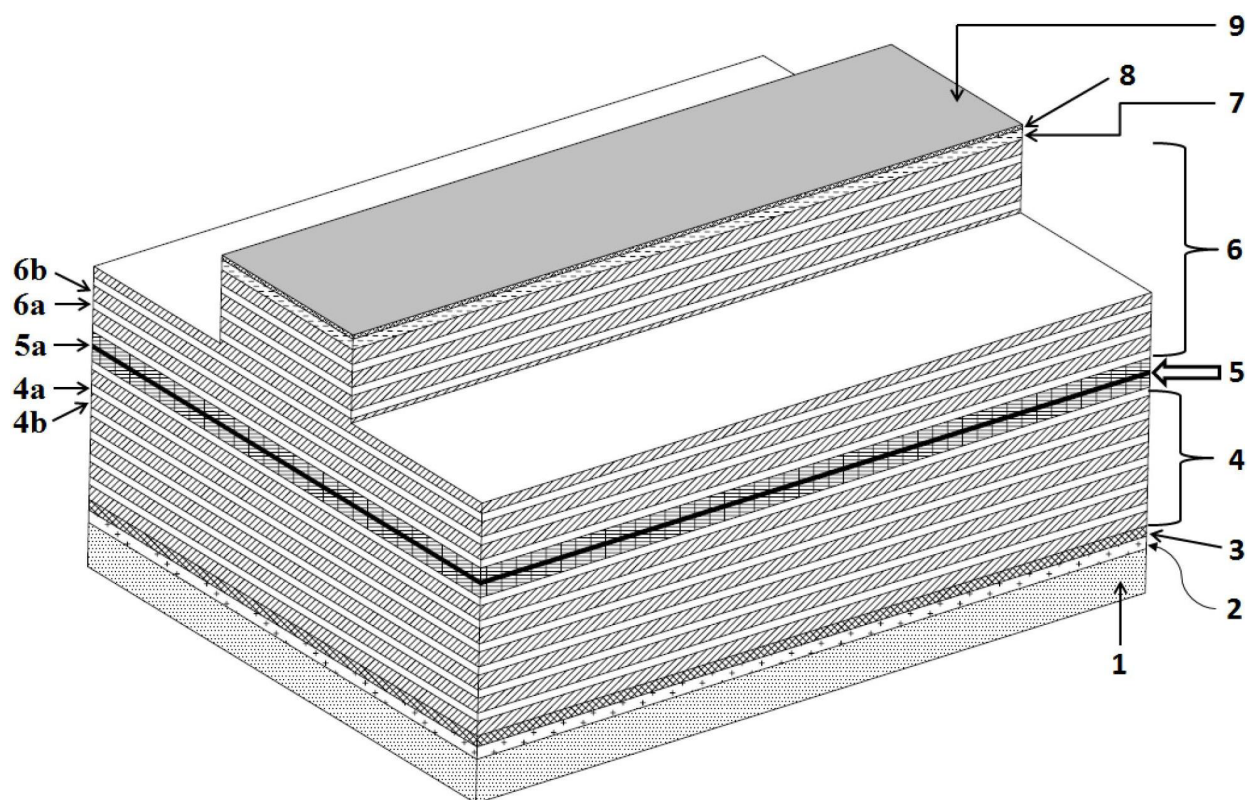


图 1

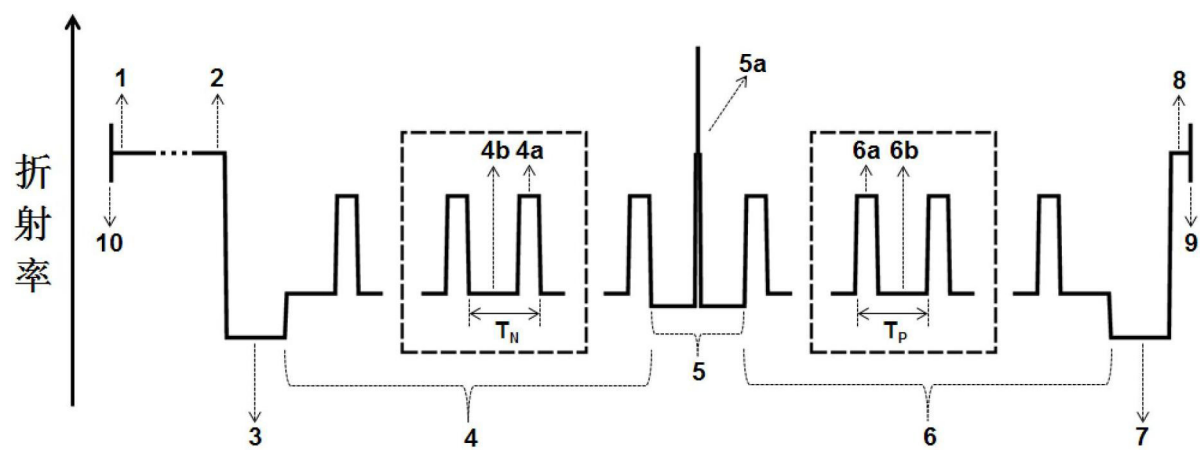


图 2

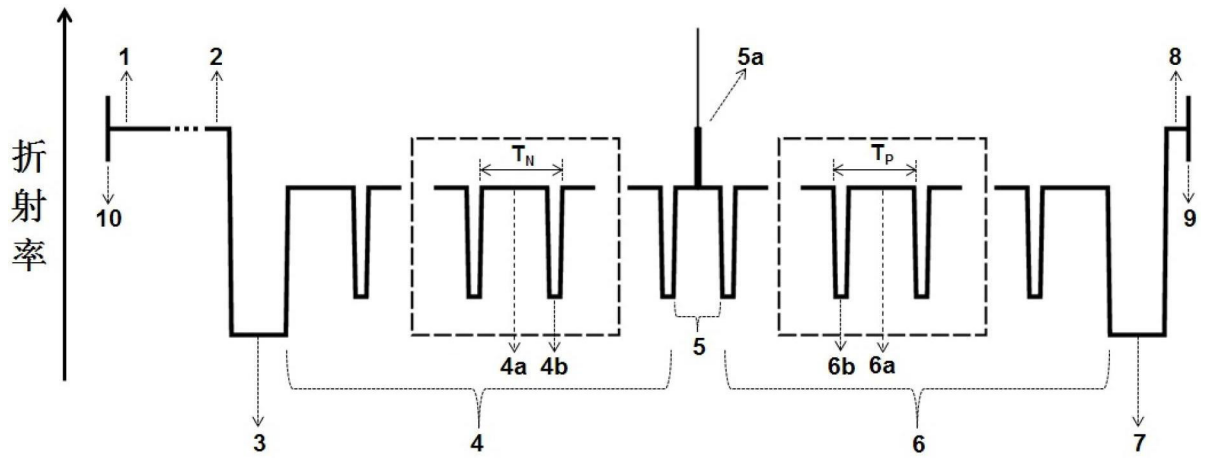


图 3

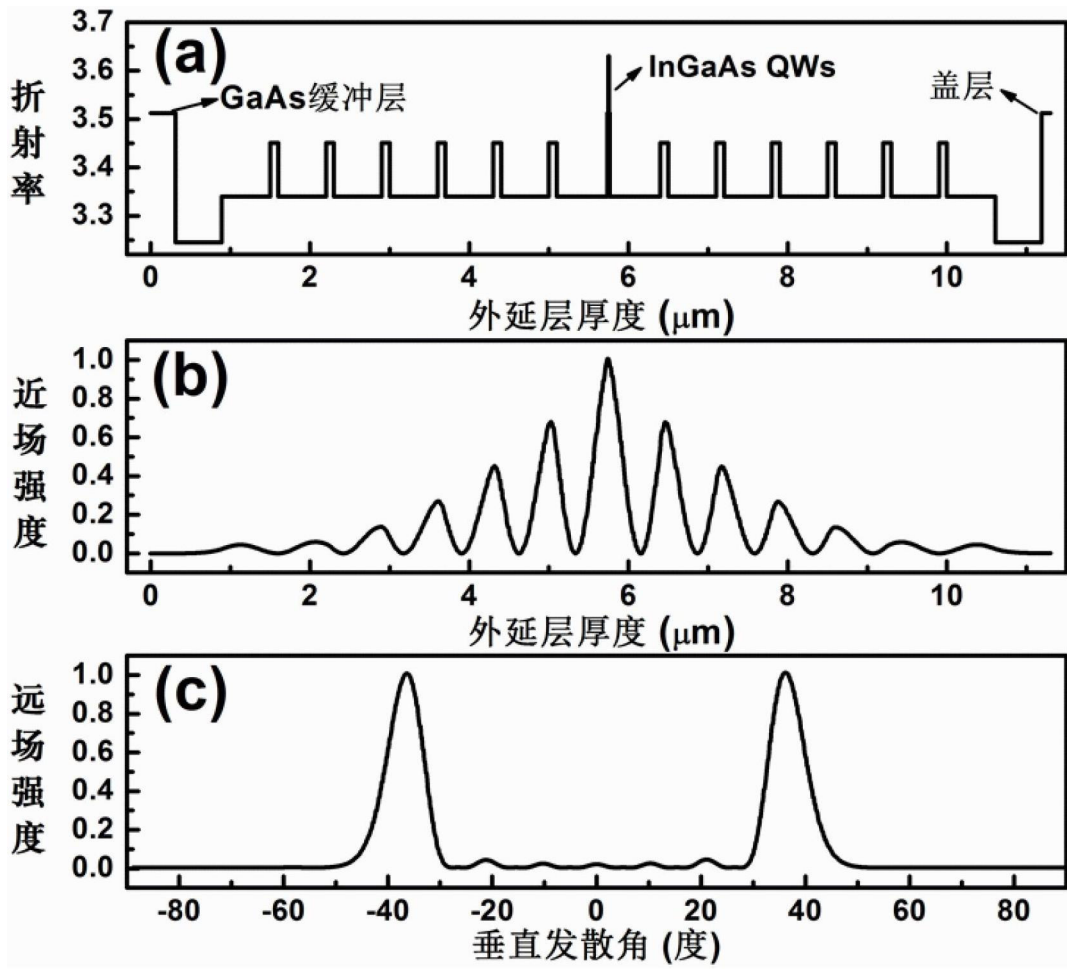


图 4

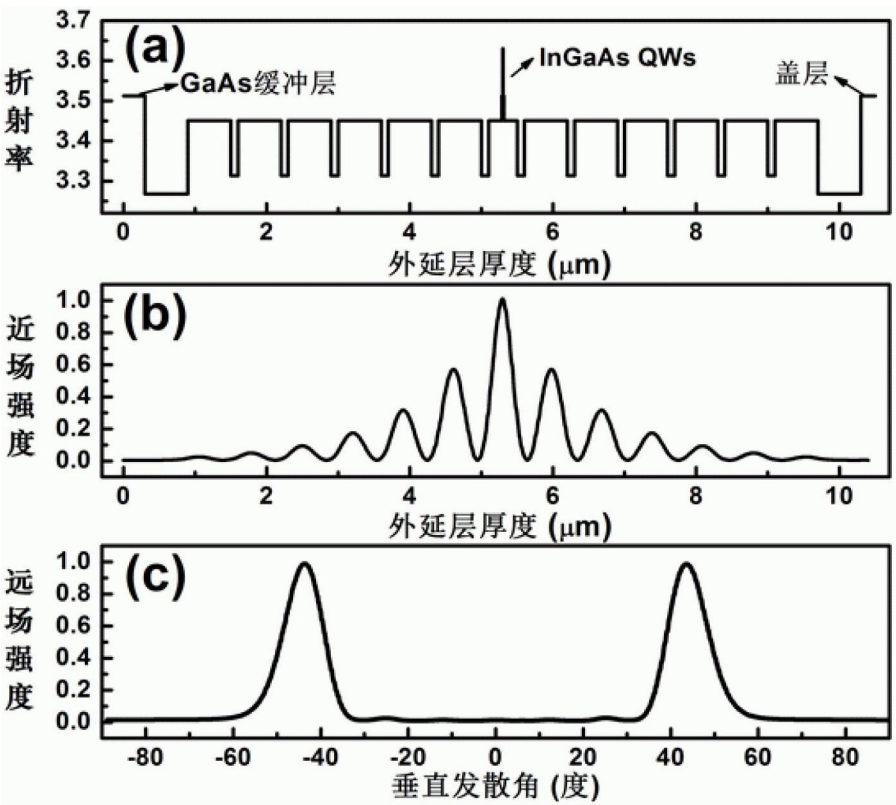


图 5

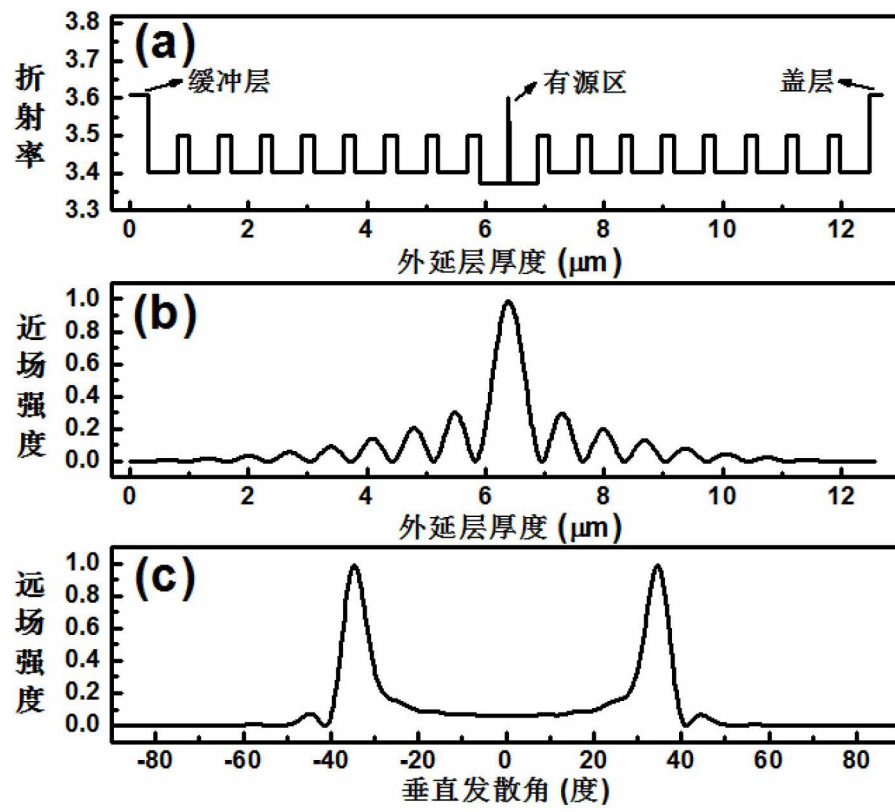


图 6

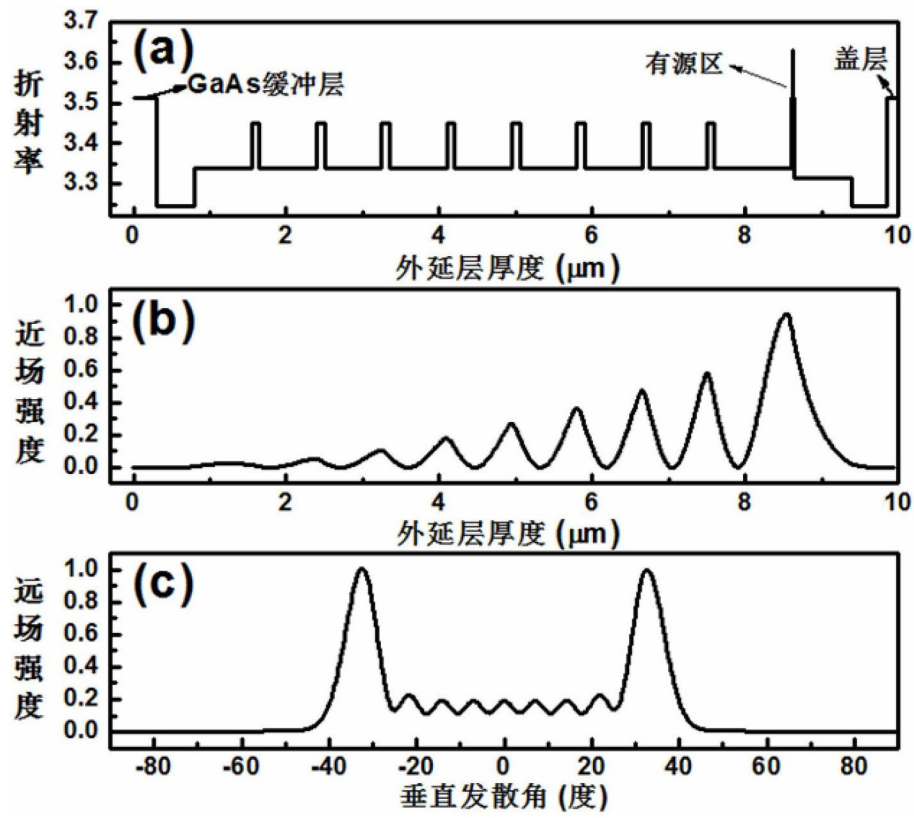


图 7

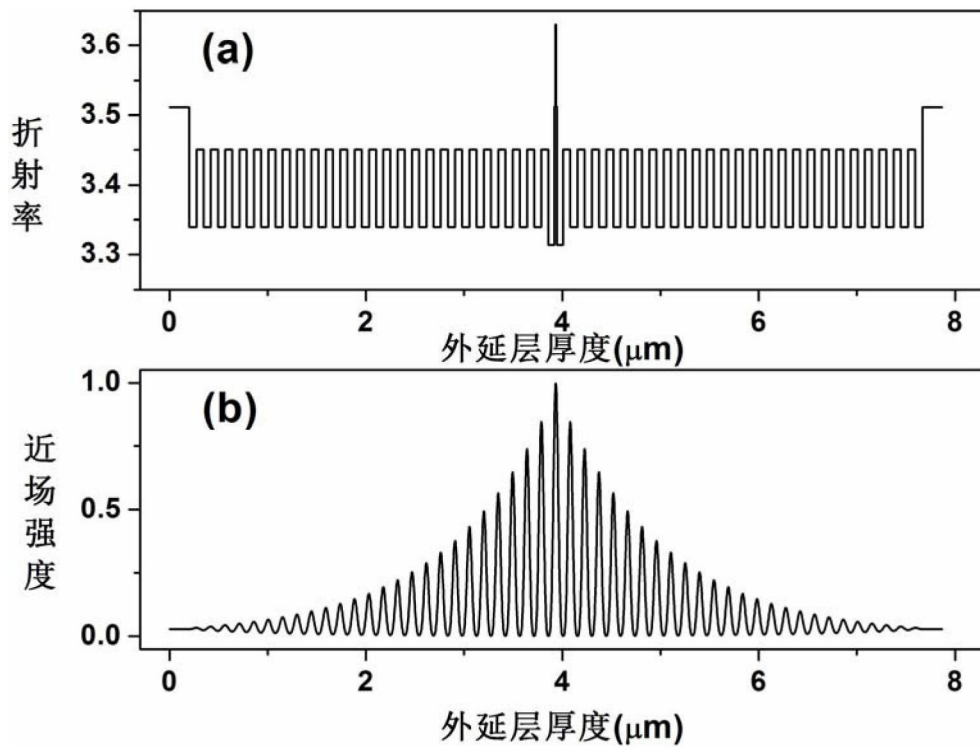


图 8

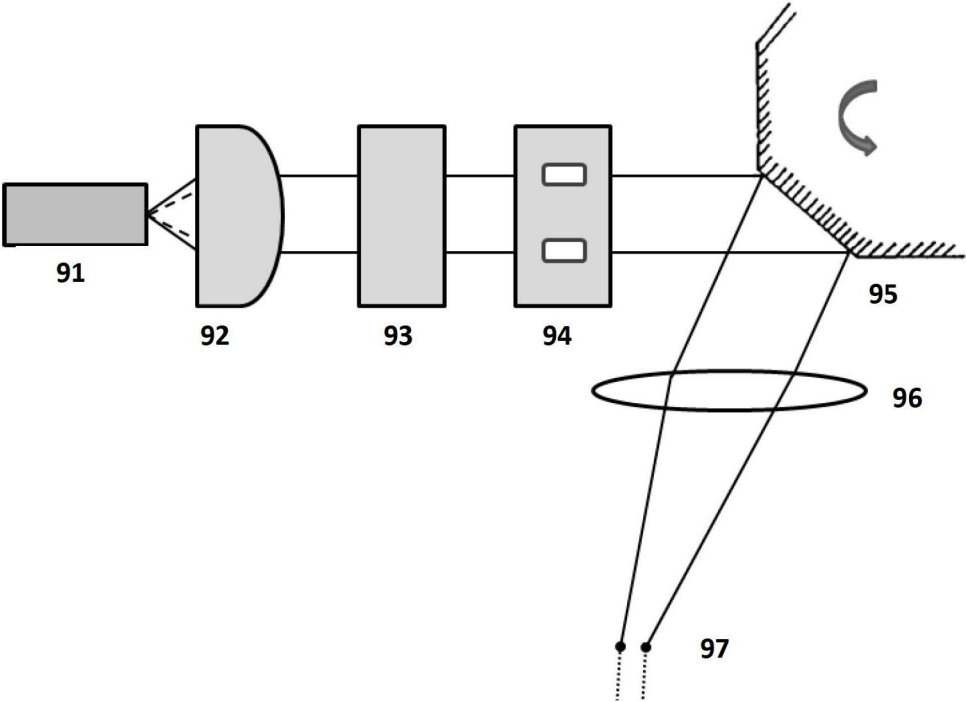


图 9