



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 105388564 B

(45)授权公告日 2018.03.23

(21)申请号 201510882626.4

G02B 6/12(2006.01)

(22)申请日 2015.12.03

(56)对比文件

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 105388564 A

CN 105068189 A,2015.11.18,

CN 104503039 A,2015.04.08,

CN 104914506 A,2015.09.16,

(43)申请公布日 2016.03.09

US 2007258681 A1,2007.11.08,

(73)专利权人 中国科学院半导体研究所

EP 2141833 A1,2010.01.06,

地址 100083 北京市海淀区清华东路甲35号

Juerg Leuthold, et al.. "Multimode

Interference Couplers for the Conversion

and Combining of Zero- and First-Order

Modes".《JOURNAL OF LIGHTWAVE TECHNOLOGY》

.1998,第16卷(第7期),1228-1238.

(72)发明人 李召松 陆丹 潘教育 赵玲娟

梁松

审查员 何雅静

(74)专利代理机构 中科专利商标代理有限责任

公司 11021

代理人 曹玲柱

(51)Int. Cl.

G02B 6/14(2006.01)

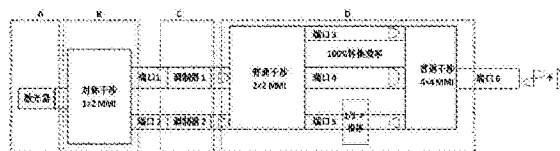
权利要求书2页 说明书5页 附图4页

(54)发明名称

基于MMI耦合器的InP基少模光子集成发射芯片

(57)摘要

本发明提供了一种基于MMI耦合器的少模光子集成发射芯片。该少模光子集成发射芯片包括:激光器,用于产生单纵模基横模的激光;功率分配器,位于所述激光器的光路后端,用于将激光器产生的激光分为两路;调制器组,位于所述功率分配器的光路后端,包括两调制器,用于分别对功率分配器分出的两路激光进行调制;模式转换-复用器,位于所述调制器组的光路后端,用于实现调制后的两路激光的模式转换和复用;其中,所述功率分配器和模式转换-复用器基于MMI耦合器实现。本发明使用1×1MMI耦合器作为模式转换-复用器中的π/2相移器,相移器的设计和制作都较为简单,易于实现,同时增加了集成度并降低了设计和工艺制作难度。



1. 一种基于MMI耦合器的少模光子集成发射芯片,包括:
 激光器,用于产生单纵模基横模的激光;
 功率分配器,位于所述激光器的光路后端,用于将激光器产生的激光分为两路;
 调制器组,位于所述功率分配器的光路后端,包括两调制器,用于分别对功率分配器分出的两路激光进行调制;
 模式转换-复用器,位于所述调制器组的光路后端,用于实现调制后的两路激光的模式转换和复用;

其中,所述功率分配器和模式转换-复用器基于MMI耦合器实现;
 其特征在于,所述模式转换-复用器利用 1×1 MMI耦合器作为其 $\pi/2$ 相移器。

2. 根据权利要求1所述的少模光子集成发射芯片,其特征在于,所述模式转换-复用器包括:

普通干涉 2×2 MMI耦合器,用于实现分束和移相,其具有2个输入端口和3个输出端口-端口3、端口4和端口5,该2个输入端口分别连接至两调制器的输出端口;

对称干涉 1×1 MMI耦合器,用于作为 $\pi/2$ 相移器,其输入端口连接至所述普通干涉 2×2 MMI耦合器的端口5;

普通干涉 4×4 MMI耦合器,用于实现模式转换和复用,其具有三个输入端口-其中的两个输入端口分别连接至普通干涉 2×2 MMI耦合器的端口3和端口4,另一输入端口连接至普通干涉 1×1 MMI耦合器的输出端口;其具有一输出端口-端口6。

3. 根据权利要求1所述的少模光子集成发射芯片,其特征在于,所述功率分配器采用以下形式其中之一实现:

(1) 对称干涉 1×2 MMI耦合器,其输入端连接至激光器的输出端,其两输出端分别连接至调制器组中的两个调制器;

(2) 双干涉 2×2 MMI耦合器,其两输入端其中之一连接至激光器的输出端,其两输出端分别连接至调制器组中的两个调制器;

(3) 普通干涉 2×2 MMI耦合器,其两输入端其中之一连接至激光器的输出端,其两输出端分别连接至调制器组中的两个调制器。

4. 根据权利要求2所述的少模光子集成发射芯片,其特征在于,所述普通干涉 2×2 MMI耦合器的长度 L_1 、对称干涉 1×1 MMI耦合器的长度 L_2 、普通干涉 4×4 MMI耦合器的长度 L_3 满足:

$$L_1 = 3L_{c1}/2;$$

$$L_2 = 3L_{c2}/4;$$

$$L_3 = 3L_{c3}/4;$$

其中, $L_{ci} = \frac{4n_{eff}W_{eqi}^2}{3\lambda}$, n_{eff} 为制作耦合器材料的有效折射率, λ 为光在真空中的波长, L_{ci}

为相应MMI耦合器中基模与一阶模的拍频长度, W_{eqi} 为相应MMI耦合器的等效宽度, $i=1、2、3$ 。

5. 根据权利要求1所述的少模光子集成发射芯片,其特征在于,所述激光器、功率分配器、调制器组和模式转换-复用器在同一衬底上制备,四者沿光传播的方向顺序设置;

其中,所述激光器和调制器组中的两调制器制备于衬底上方的有源区;所述功率分配器和模式转换-复用器制备于衬底上方的无源区。

6. 根据权利要求5所述的少模光子集成发射芯片,其特征在于,所述有源区采用多量子阱结构;所述无源区采用“三明治”结构或者倏逝波导结构。

7. 根据权利要求6所述的少模光子集成发射芯片,其特征在于,所述衬底采用InP衬底;所述有源区所在位置的InP衬底上自下而上依次沉积有:n-InP缓冲层;下限制层1.2Q;多量子阱层;上限制层1.2Q以及i-InP层;

所述无源区采用“三明治结构”,其所在位置的InP衬底上自下而上依次沉积有:InP缓冲层、1.2Q层和InP覆盖层。

8. 根据权利要求5所述的少模光子集成发射芯片,其特征在于:

所述有源区所在位置的InP衬底上自下而上依次沉积有:500nm的n-InP缓冲层;100nm的下限制层1.2Q;多量子阱层;100nm的上限制层1.2Q;以及10-15nm的i-InP层

所述无源区所在位置的InP衬底上自下而上依次沉积有:0.5 μ m的InP缓冲层,0.3 μ m的1.2Q层和1 μ m的InP覆盖层。

9. 根据权利要求5所述的少模光子集成发射芯片,其特征在于,所述有源区和无源区采用以下方式其中之一集成:对接生长技术、量子阱混杂技术、选区外延技术、非对称双波导技术、双叠层量子阱技术或者偏移量子阱技术。

10. 根据权利要求1至9中任一项所述的少模光子集成发射芯片,其特征在于:

所述激光器为DFB激光器或DBR激光器;

所述调制器组采用电吸收调制器或者马赫曾德调制器。

基于MMI耦合器的InP基少模光子集成发射芯片

技术领域

[0001] 本发明涉及光通信技术领域,尤其涉及一种基于MMI耦合器的少模光子集成发射芯片。

背景技术

[0002] 随着网络技术的发展,人们对传输容量的要求越来越大。上世纪80年代,随着掺铒光纤放大器(EDFA)技术的发展,波分复用技术(WDM)得到了充分的开发。但是最近10年,网络容量的需求提升了近100倍,这对于传输容量的提升提出了巨大的挑战。目前密集波分复用技术(DWDM),光时分复用技术(OTDM),偏振复用技术(PDM)以及多种调制格式都得到了比较充分的开发,单模光纤的传输容量已经接近其香农极限,要使传输容量有进一步的提升,就需要开发新的维度。目前唯一未被充分开发的维度是空间,空间维度包括模分复用技术、多芯光纤技术以及多纤技术等。相对于多纤技术和多芯技术,模分复用技术由于其功耗小,体积小,扩容大等优点越来越受到人们的重视。

[0003] 模分复用技术中的关键器件是模式转换器,目前主要的模式转换器的类型有定向耦合器、绝热耦合器、光子晶体光纤、“光子灯笼”以及多模干涉耦合器等结构,以上大部分器件都是一些分立器件或者基于硅上绝缘体(SOI)衬底,无法与激光光源集成。而基于多模干涉原理的InP基模式转换器由于其容差与带宽较大,易于与激光器、调制器等有源器件集成等优点,在少模光通信发射芯片中具有巨大的应用潜力。

[0004] 本发明提出了一种基于 1×1 MMI耦合器作为 $\pi/2$ 移相器实现100%模式转换的InP基少模光子集成发射芯片,核心内容在于设计了一种基于级联MMI耦合器的具有100%模式转换效率的模式转换器。其重点是利用 1×1 MMI耦合器作为100%模式转换器中的 $\pi/2$ 相移器。而现有100%模式转换技术中,研究人员提出了使用改变波导层厚度(专利申请号:201510348841.6),使用倾斜MMI耦合器或者弯曲波导等方法实现相移功能,但是改变波导层厚度的方法涉及到复杂的材料生长技术,倾斜MMI耦合器的设计和工艺容差较小,弯曲波导的损耗较大等因素都会限制其在光子集成芯片中的应用。

发明内容

[0005] (一)要解决的技术问题

[0006] 鉴于上述技术问题,本发明提供了一种基于 1×1 MMI耦合器作为 $\pi/2$ 移相器实现100%模式转换的InP基少模光子集成发射芯片,以增加集成度并降低设计和工艺制作难度。

[0007] (二)技术方案

[0008] 本发明基于MMI耦合器的少模光子集成发射芯片包括:激光器,用于产生单纵模基横模的激光;功率分配器,位于激光器的光路后端,用于将激光器产生的激光分为两路;调制器组,位于功率分配器的光路后端,包括两调制器,用于分别对功率分配器分出的两路激光进行调制;模式转换-复用器,位于调制器组的光路后端,用于实现调制后的两路激光的

模式转换和复用,该模式转换-复用器利用 1×1 MMI耦合器作为其 $\pi/2$ 相移器;其中,功率分配器和模式转换-复用器基于MMI耦合器实现。

[0009] (三)有益效果

[0010] 从上述技术方案可以看出,本发明基于MMI耦合器的少模光子集成发射芯片具有以下有益效果:

[0011] (1)首次提出了使用 1×1 MMI耦合器作为100%模式转换器中的 $\pi/2$ 相移器,相移器的设计和制作都较为简单,易于实现;

[0012] (2)利用 1×1 MMI耦合器作为 $\pi/2$ 相移器具有较大的设计和工艺容差,损耗较小,并且具有对于波长、偏振等不敏感的优良特性,易于与其他器件集成;

[0013] (3)将激光器、分束器、调制器与模式转换-复用器等器件集成来制作少模光子发射芯片,减小了器件尺寸,增加了芯片的集成度。

[0014] 综上,本发明所提出的基于 1×1 MMI耦合器作为 $\pi/2$ 移相器实现100%模式转换的InP基少模光子集成发射芯片实现了100%的模式转换,使得通信容量进一步提升,有望用于下一代光通信系统,具有较大的应用前景。

附图说明

[0015] 图1为基于 1×1 MMI耦合器作为 $\pi/2$ 移相器实现100%模式转换的InP基光子集成发射芯片整体示意图;

[0016] 图2为图1所示InP基少模光子集成发射芯片中功率分配器三种实现方式的结构示意图;

[0017] 图3为基于MMI耦合器的具有100%模式转换效率的模式转换-复用器示意图;

[0018] 图4A和图4B分别为 1×1 MMI耦合器的结构示意图和仿真结果;

[0019] 图5A和图5B为基于MMI耦合器的具有100%模式转换效率的模式转换-复用器的仿真示意图;

[0020] 图6为有源区多量子阱示意图;

[0021] 图7为无源区“三明治”结构示意图。

具体实施方式

[0022] 本发明首次提出了一种基于 1×1 MMI耦合器作为 $\pi/2$ 移相器实现100%模式转换的InP基少模光子集成发射芯片,实现方法较为简单,并具有较大的设计和工艺容差。

[0023] 在本发明的示例性实施例中,提出了一种基于 1×1 MMI耦合器作为 $\pi/2$ 移相器实现100%模式转换模的InP基少模光子集成发射芯片。请参照图1,本实施例InP基少模光子集成发射芯片包括:

[0024] 激光器A,用于产生单纵模基横模的激光;

[0025] 功率分配器B,位于所述激光器A的光路后端,用于将激光器A产生的激光分为两路;

[0026] 调制器组C,位于功率分配器B的光路后端,包括两调制器,用于分别对功率分配器分出的两路激光进行调制;

[0027] 模式转换-复用器D,位于所述调制器组C的光路后端,用于实现调制后的两路激光

的模式转换和复用,其包括一个 2×2 MMI耦合器实现分束和移相,一个 1×1 MMI耦合器实现 $\pi/2$ 相移,一个 4×4 MMI耦合器实现模式转换和复用。

[0028] 其中,激光器A、功率分配器B、调制器组C和模式转换-复用器D都在InP衬底上制作。

[0029] 以下对本实施例基于 1×1 MMI耦合器作为 $\pi/2$ 移相器实现100%模式转换的InP基少模光子集成发射芯片的各个组成部分进行详细说明。

[0030] 本实施例中,激光器A为半导体激光器,其可以为DFB激光器,也可以为DBR激光器。功率分配器B为基于MMI耦合器的功率分配器,其可以采用 $1 \times N$, $2 \times N$, $N \times N$ 标准结构的MMI耦合器。调制器组C可以为电吸收调制器或者马赫曾德调制器。模式转换-复用器D中各部分全部使用MMI耦合器实现。

[0031] 具体实现方式为:半导体激光器产生单纵模基横模的光,经过无源波导进入基于MMI耦合器原理的功率分配器,此时功率分配器将半导体激光器产生的光分成两路。两路激光由功率分配器的端口1和端口2射出,经过无源波导分别进入两个调制器进行调制。

[0032] 图2为图1所示InP基光子集成发射芯片中功率分配器的结构示意图。请参照图2,功率分配器可以为如下形式:

[0033] (1) 对称干涉 (Symmetric Interference) 1×2 MMI耦合器,其输入端连接至激光器A的输出端,其具有两输出端-输出端1和输出端2,分别连接至两个调制器,如图2中(a)所示;

[0034] (2) 双干涉 (Paired Interference) 2×2 MMI耦合器,其两输入端其中之一连接至激光器A的输出端,其两输出端-输出端1和输出端2,分别连接至两个调制器,如图2中(b)所示;

[0035] (3) 普通干涉 (General Interference) 2×2 MMI耦合器,其两输入端其中之一连接至激光器A的输出端,其两输出端-输出端1和输出端2,分别连接至两个调制器,如图2中(c)所示。

[0036] 经过调制的两路激光信号被送入模式转换-复用器D。图3为基于MMI耦合器的具有100%模式转换效率的模式转换-复用器示意图。请参照图3,该模式转换-复用器包括:

[0037] 普通干涉 2×2 MMI耦合器,其具有2个输入端口和3个输出端口-端口3、端口4和端口5,该2个输入端口分别连接至两调制器的输出端口,该普通干涉 2×2 MMI耦合器实现分束和移相;

[0038] 对称干涉 1×1 MMI耦合器,其输入端口连接至普通干涉 2×2 MMI耦合器的端口5,该普通干涉 1×1 MMI耦合器作为 $\pi/2$ 相移器;

[0039] 普通干涉 4×4 MMI耦合器,其具有三个输入端口-其中的两个输入端口分别连接至普通干涉 2×2 MMI耦合器的端口3和端口4,另一输入端口连接至普通干涉 1×1 MMI耦合器的输出端口;其具有一输出端口-端口6,该普通干涉 4×4 MMI耦合器用于实现模式转换和复用。

[0040] 其中,上述普通干涉 2×2 MMI耦合器的长度 L_1 、对称干涉 1×1 MMI耦合器的长度 L_2 、普通干涉 4×4 MMI耦合器的长度 L_3 满足:

[0041] $L_1 = 3L_{c1}/2;$

[0042] $L_2 = 3L_{c2}/4;$

[0043] $L_3 = 3L_{c3}/4$;

[0044] 其中, $L_{ci} = \frac{4n_{\text{eff}}W_{\text{eqi}}^2}{3\lambda}$, n_{eff} 为制作耦合器材料的有效折射率, λ 为光在真空中的波

长, L_{ci} 为相应MMI耦合器中基模与一阶模的拍频长度, W_{eqi} 为相应MMI耦合器的等效宽度, $i = 1, 2, 3$ 。

[0045] 图4A和图4B分别为 1×1 MMI耦合器的结构示意图和仿真结果。图5A和图5B分别为基于MMI耦合器的具有100%模式转换效率的模式转换-复用器的仿真示意图。图5A为从端口1输入基模的情况, 图5B为从端口2输入基模的情况。请参照图5A和图5B, 在模式转换-复用器中:

[0046] (1) 端口1输入的光经上述 2×2 MMI耦合器之后从端口4输出, 再经上述 4×4 MMI之后, 从端口6中输出, 模式不发生变化, 仍为基模;

[0047] (2) 端口2输入的光经过上述 2×2 MMI耦合器, 功率均分后经端口3和端口5输出, 此时端口3与端口5两路光的相位差相差 $\pi/2$, 从端口5输出的光再经过上述 1×1 MMI耦合器实现 $\pi/2$ 相移之后, 两路光的相位差相差 π , 满足一阶模的形成条件, 最后经过上述 4×4 MMI耦合器发生模式转换, 从端口6输出一阶模。

[0048] 可见, 通过输入两个基模, 最后得到了基模与一阶模的混合模式, 同时实现了模式转换和模式复用的功能, 其中的转换的效率为100%。

[0049] 本实施例少模光子集成发射芯片中, 激光器A、功率分配器B、调制器组C和模式转换-复用器D为制作在同一衬底上, 沿光传播的方向顺序设置。其中, 衬底采用N-InP衬底。

[0050] 上述激光器, 调制器为有源器件, 两者制备的衬底上方的有源区, 该有源区使用多量子阱结构。请参照图6, 该有源区所在位置在InP衬底上自下而上依次沉积500nm的n-InP缓冲层; 100nm的下限制层1.2Q(Q为四元化合物Quaternaries的缩写); 多量子阱层; 100nm的上限制层1.2Q; 以及10-15nm的i-InP层。

[0051] 上述功率分配器B、模式转换-复用器D为无源器件, 两者制备于衬底上方的无源区, 该无源区使用“三明治”结构或者倏逝波导结构。其中“三明治”结构如图7所示, 该无源区所在位置的InP衬底上自下而上依次沉积0.5 μm 的InP缓冲层, 0.3 μm 的1.2Q层和1 μm 的InP覆盖层。

[0052] 其中, 有源区与无源区的集成技术可以采用以下技术中的一种: 对接生长技术、量子阱混杂技术、选区外延技术、非对称双波导技术、双叠层量子阱技术或者偏移量子阱技术等。

[0053] 以下以对接生长技术来为例介绍图1所示InP基少模光子集成发射芯片的制备过程。该制备过程包括:

[0054] 步骤A: 在n-InP衬底上生长多量子阱材料, 如图6所示;

[0055] 步骤B: 使用干法刻蚀, 将要制作无源区域的部分刻蚀掉;

[0056] 步骤C: 生长无源波导层, 制作激光器, 调制器等有源器件;

[0057] 步骤D: 如图7所示, 光刻并刻蚀出设计无源部分的图形, 再经过减薄, 生长电极等工艺即可完成整个制作过程。

[0058] 至此, 已经结合附图对本实施例进行了详细描述。依据以上描述, 本领域技术人员应当对本发明少模光子集成发射芯片有了清楚的认识。

[0059] 需要说明的是,在附图或说明书正文中,未绘示或描述的实现方式,均为所属技术领域普通技术人员所知的形式,并未进行详细说明。此外,上述对各元件和方法的定义并不仅限于实施例中提到的各种具体结构、形状或方式,本领域普通技术人员可对其进行简单地更改或替换,例如:

[0060] (1) 除了InP基之外,本发明还可以采用例如GaAs等合适的衬底;

[0061] (2) 本文可提供包含特定值的参数的示范,但这些参数无需确切等于相应的值,而是可在可接受的误差容限或设计约束内近似于相应值;

[0062] (3) 实施例中提到的方向用语,例如“上”、“下”、“前”、“后”、“左”、“右”等,仅是参考附图的方向,并非用来限制本发明的保护范围。

[0063] 综上所述,本发明首次提出利用 1×1 MMI耦合器(多模干涉耦合器)作为 $\pi/2$ 相移器进而实现100%模式转换与复用的少模光子集成芯片,具有制作简单,易于实现,工艺容差小,对波长和偏振不敏感等优良特性,有望应用于下一代光通信系统,具有较大的应用前景。

[0064] 以上所述的具体实施例,对本发明的目的、技术方案和有益效果进行了进一步详细说明,所应理解的是,以上所述仅为本发明的具体实施例而已,并不用于限制本发明,凡在本发明的精神和原则之内,所做的任何修改、等同替换、改进等,均应包含在本发明的保护范围之内。

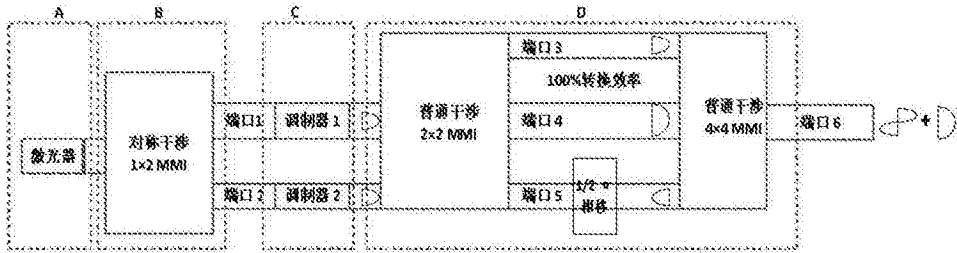


图1

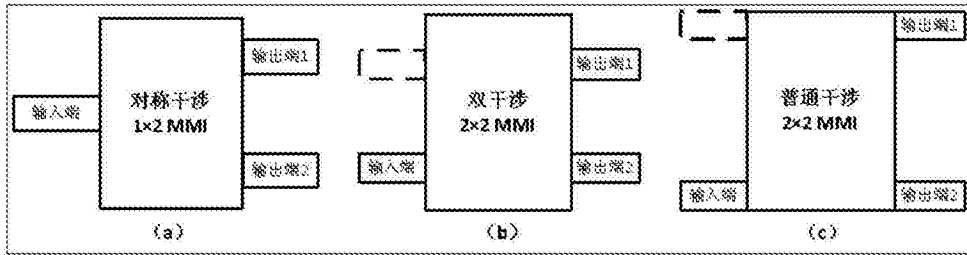


图2

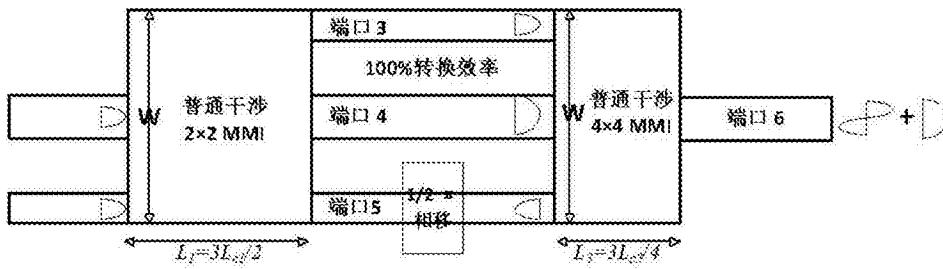


图3

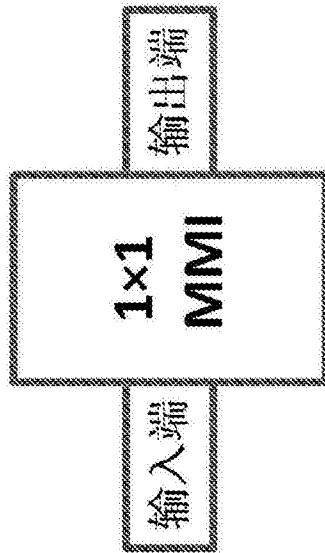


图4A

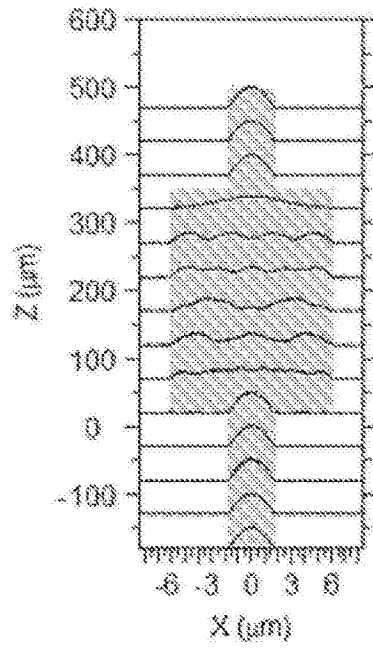


图4B

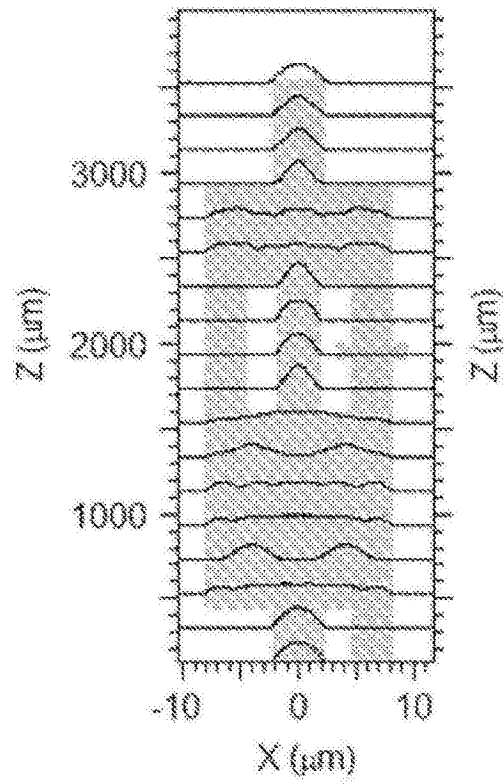


图5A

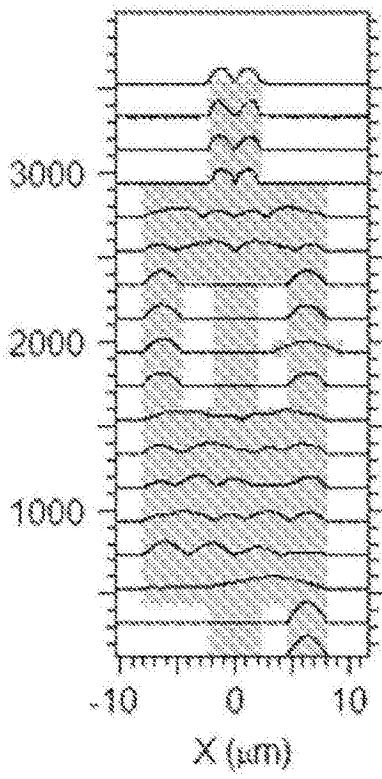


图5B

i-InP 10-15nm
1.2Q 100nm
多量子阱
1.2Q 100nm
n-InP 缓冲层
N-InP 衬底

图6

InP (覆盖层) 1um
1.2Q InGaAsP- 0.3um
InP (缓冲层) 0.5um
N-InP 衬底

图7