

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

G02B 6/34 (2006.01)

G02B 6/12 (2006.01)

G02F 1/313 (2006.01)



[12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200610011654.X

[43] 公开日 2007年10月17日

[11] 公开号 CN 101055336A

[22] 申请日 2006.4.13

[21] 申请号 200610011654.X

[71] 申请人 中国科学院半导体研究所

地址 100083 北京市海淀区清华东路甲35号

[72] 发明人 孙飞 余金中 陈少武

[74] 专利代理机构 中科专利商标代理有限责任公司
代理人 段成云

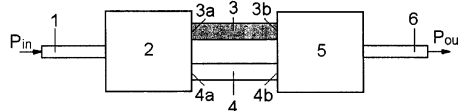
权利要求书2页 说明书5页 附图2页

[54] 发明名称

一种非对称马赫泽德干涉仪及其设计方法

[57] 摘要

本发明涉及光通讯系统中的光交叉互联、光信号处理技术领域，特别是一种非对称马赫泽德干涉仪及其设计方法。该结构所包含两个调制臂的结构参数非完全一致，由于两者的非一致使得两臂之间存在光程差。通过调节两臂的截面尺寸、长度、折射率分布等参数，可在两臂之间引入一定的光程差。光程差的大小可以通过3D-BPM或FDTD等数值模拟方法确定。运用这一非对称马赫泽德干涉结构制作光开关/调制器时，在一个调制周期中，单个调制臂上需要引入的相位偏移小于传统结构中的 π 相移(在最优设计时为 $\pi/2$)，因而能显著提高器件响应速度。



1. 一种非对称马赫泽德干涉仪，其特征在于，所包含两个调制臂的结构、材料参数非完全一致，由于两者的非一致使得两臂之间存在光程差。

2. 根据权利要求 1 所述的非对称马赫泽德干涉仪，其特征在于，所述结构可以由硅、锗硅合金、二氧化硅、铌酸锂、聚合物、III-V 族化合物半导体材料来实现。

3. 根据权利要求 1 所述的非对称马赫泽德干涉仪，其特征在于，所述结构中两个调制臂的长度、截面形状、截面尺寸、折射率分布结构、材料参数中至少有一项不一致，并且这种差异能够在两臂之间引入光程差。

4. 根据权利要求 1 所述的非对称马赫泽德干涉仪，其特征在于，所述结构可为“一进一出”的结构，用于制作光调制器，也可为“二进二出”结构，用于 2×2 光开关场合。

5. 根据权利要求 1 所述的非对称马赫泽德干涉仪，其特征在于，所述结构中的 3dB 耦合器可由多模干涉耦合器、定向耦合器、Y 分支器等多种结构来实现。

6. 根据权利要求 1 所述的非对称马赫泽德干涉仪，其特征在于，所述结构中的两个调制臂在工作过程中的折射率调制以及相应的光场相位调制可以利用材料的电光效应、热光效应、载流子等离子色散效应等多种调制方式来实现。

7. 根据权利要求 1 所述的非对称马赫泽德干涉仪，其特征在于，所述结构在调制过程中，需要两个调制臂的共同参与才能完成一个调制周期，而在此过程中单个调制臂上需要引入的相位偏移由未调制时两臂的相位差决定。一般情况下单个臂上需要的相移小于 π ，在最优设计时单个臂上需要的相移为 $\pi/2$ 。

8. 一种用于设计非对称调制臂马赫泽德干涉仪的方法，其特征在于，该方法包括如下步骤：

(1) 运用常规方法确定马赫泽德干涉仪中输入、输出波导以及两个

3dB 耦合器的结构参数;

(2) 运用 3D-BPM 或 FDTD 数值模拟的方法求出两个结构参数非完全一致的调制臂中分别的光场等效折射率;

(3) 将(2)中得到的两臂的光场等效折射率分别乘以两臂各自的长度即可得到两臂的光程,进而求得两臂之间的光程差;

(4) 反复调节其中一个或两个调制臂的相关结构参数,并重复(2)和(3),可使得两臂之间的光程差逐渐逼近设计值;

(5) 将结构参数均已确定的输入、输出波导,两个 3dB 耦合器,以及两个调制臂有机的组合在一起,即完成整个器件的设计。

一种非对称马赫泽德干涉仪及其设计方法

技术领域

本发明涉及光通讯系统中的光交叉互联、光信号处理技术领域，特别是一种非对称马赫泽德干涉仪及其设计方法。

技术背景

随着光通信技术的飞速发展，光开关及调制器件在整个通信系统中所起的作用越来越大。它们不仅仅被当作单独的器件，用来实现对光信号的处理、调制，同时又是光交叉互联（OXC）和光上下路复用（OADM）等子系统中的重要构件。

马赫泽德干涉仪（MZI）结构在光开关及调制器的设计制作中有着越来越广泛的应用。这种结构由输入输出波导、两个 3dB 耦合器（一个光分束器和一个光合束器）以及两个光相位调制臂等几部分构成。其基本工作原理为：入射光首先被分束器分成强度相同的两束，两束光分别在两个调制臂中传输一段距离之后，被合束器再次合为一束输出。通过改变其中一个调制臂的折射率，可以在两个调制臂中引入一定的光程差，这样两束光在通过调制臂后，两者之间的相位差可以通过这种折射率调制机制进行调节，而两束光的相位差决定了两者经过合束器干涉叠加之后的光场分布。因此通过改变其中一个调制臂的折射率，就可以实现光的功率调制或开关功能。常见的折射率调节机制包括材料的热光效应、电光效应以及自由载流子的等离子色散效应等。

光分束器和合束器可以由多模干涉耦合器（包括中心输入、配对输入、普通输入三种）、定向耦合器、Y 分支器等结构来实现。通常的 MZI 都具有完全对称的结构，不仅分束器与合束器结构对称，而且两个调制臂的结构参数也完全相同。通过引入某种折射率调制机制（热光效应、电光效应以及自由载流子的等离子色散效应等），可以在调制臂中实现一定的光场相位偏移。在传统 MZI 中，为完成一个调制周期（输出光强实

现在最大和最小之间的转换或输出光从一个端口转换到另一个端口), 需要在—个调制臂上引入 π 相位偏移, 而另外一个调制臂一直处于闲置状态。也就是说, 只有—个调制臂对输出光场的变化有贡献。

发明内容:

本发明的目的在于提供—种非对称马赫泽德干涉仪 (MZI) 结构及其设计方法, 其特征在于通过在 MZI 中引入两个结构、材料参数不完全—致的调制臂, 改变两调制臂中光场之间的相位关系, 通过调节两臂的截面尺寸、长度、折射率分布等参数, 可在两臂之间引入—定的光程差。光程差的大小可以通过 3D-BPM 或 FDTD 等数值模拟方法确定。这样完成—个调制周期需要两个调制臂的共同贡献, 而在单个调制臂上需要引入的相位偏移小于传统对称结构中的 π 相移 (最优设计时单臂上所需相移为 $\pi/2$)。更小的相位偏移对应着更快的调制速率, 因此这种非对称 MZI 结构有助于提高器件的开关/调制速率。

本发明—种非对称马赫泽德干涉仪 (MZI), 所包含两个调制臂的结构、材料参数非完全—致, 由于两者的非—致使得两臂之间存在光程差。

所述非对称马赫泽德干涉仪可以由硅、锗硅合金、二氧化硅、铌酸锂、聚合物、III-V 族化合物半导体等多种材料来实现。

所述非对称马赫泽德干涉仪中两个调制臂的长度、截面形状、截面尺寸、折射率分布等结构、材料参数中至少有—项不—致, 并且这种差异能够在两臂之间引入光程差。

所述非对称马赫泽德干涉仪可为“—进—出”的结构, 用于制作光调制器, 也可为“二进二出”结构, 用于 2×2 光开关场合。

所述非对称马赫泽德干涉仪中的 3dB 耦合器可由多模干涉耦合器 (包括中心输入、配对输入、普通输入三种情况)、定向耦合器、Y 分支器等多种结构来实现。

所述非对称马赫泽德干涉仪中的两个调制臂在工作过程中的折射率调制以及相应的光场相位调制可以利用材料的电光效应、热光效应、载流子等离子色散效应等多种调制方式来实现。

所述非对称马赫泽德干涉仪在调制过程中, 需要两个调制臂的共同

参与才能完成一个调制周期，而在此过程中单个调制臂上需要引入的相位偏移由未调制时两臂的相位差决定。一般情况下单个臂上需要的相移小于 π ，在最优设计时单个臂上需要的相移为 $\pi/2$ 。

本发明所述的结构是指非对称马赫泽德干涉仪整个结构。所指的材料是指非对称马赫泽德干涉仪整个材料。

本发明一种用于设计非对称调制臂马赫泽德干涉仪的方法，该方法包括如下步骤：

(1) 运用常规方法确定马赫泽德干涉仪中输入、输出波导以及两个 3dB 耦合器的结构参数；

(2) 运用 3D-BPM 或 FDTD 等数值模拟的方法求出两个结构参数非完全一致的调制臂中分别的光场等效折射率；

(3) 将 (2) 中得到的两臂的光场等效折射率分别乘以两臂各自的长度即可得到两臂的光程，进而求得两臂之间的光程差。

(4) 反复调节其中一个或两个调制臂的相关结构参数，并重复 (2) 和 (3)，可使得两臂之间的光程差逐渐逼近设计值。

(5) 将结构参数均已确定的输入、输出波导，两个 3dB 耦合器，以及两个调制臂有机的组合在一起，即完成整个器件的设计。

附图说明

为进一步说明本发明的内容及特点，以下结合附图及实施例对本发明作一详细的描述，其中：

图 1 为基于非对称调制臂 MZI 结构的光调制器结构示意图

图 2 为脊型波导的截面示意图

图 3 为具有脊型截面的调制臂结构示意图

具体实施方式

图 1 为本发明一个实施例的光调制器结构示意图，具体结构为一个调制臂非对称的“一进一出”MZI。其中两个 3dB 耦合器（分束器 2 和合束器 5）由中心输入的多模干涉耦合器充当。两个调制臂 3 和 4 长度相同，但 3 的宽度比 4 略大。根据导波光学理论，波导越宽，模场的传播

常数越大，在一定长度下波导的光程也越大，因此宽度的差异可以在两臂间引入一定的光程差。本实施例中，波导器件是通过 SOI 材料来实现。

图 2 为波导的截面示意图。在衬底硅 9 上方依次为夹层二氧化硅 10 和顶层硅 11，脊型波导通过干法刻蚀的方法来制备，刻蚀后生长二氧化硅层 12 作为波导的上包层，上包层 12 外面为空气 13。

本实施例中的 MZI 采用硅中自由载流子的等离子色散效应来实现折射率调制，其调制结构如图 3 所示。图中 p^+ 区 14 位于脊型调制臂的顶端， n^+ 区 15 位于脊型调制臂的两侧平板区域。这两个区域都需通过光刻、离子注入来定义。这样在调制臂中就形成了一个 $p^+ - i - n^+$ 调制结构。在二氧化硅包层 12 上开引线孔并制作金属电极 16 后，就可以对图 3 所示结构进行电调制。根据等离子色散效应，硅材料的折射率随载流子浓度的增大而减小。因此当 $p^+ - i - n^+$ 结构正偏时，大量载流子将从脊型顶部注入调制臂，通过调节调制功率的大小，可以调节波导中的载流子浓度，从而实现折射率调制以及光场的相位调制。

图 1 所示结构中输入输出波导以及两个 3dB 耦合器的结构参数可以由传统理论及数值模拟方法来确定，调制臂 3 和 4 的宽度和长度由下列步骤确定：

- I. 根据脊型波导的单模条件确定刻蚀深度和调制臂 3 的宽度
- II. 通过 3D-BPM 方法求出光场在调制臂 3 中的传播常数
- III. 逐渐减小波导宽度，通过 3D-BPM 方法求出光场在一系列宽度不同的波导中的传播常数
- IV. 由 III 得到的一系列光场传播常数与 II 中调制臂 3 的光场传播常数相比较，求出 III 中波导与调制臂之间实现 $\lambda/4$ 光程差所需要的波导长度（ λ 为光波在材料中的波长）
- V. 根据 IV 中计算结果，选择合适的宽度、长度作为调制臂 4 的宽度和两个调制臂的共同长度

将由以上步骤确定的两调制臂与已确定结构参数的输入输出波导、分束器、合束器组合起来，即完成了整个器件的设计。然后制作光刻掩模板，利用与制作传统 MZI 相同的工艺即可将器件制作出来。

本实施例中光调制器的工作过程为：当光从波导 1 输入时，分束器

2 将输入光分成功率相等且相位相同的两束，并分别被调制臂 3、4 所收集，3a 处的光场与 4a 处光场的相位差为 0。在未调制时，由于调制臂 3 的光程比调制臂 4 长 $\lambda/4$ ，因此两束光经过在调制臂中传输后，4b 处的光场相位将比 3b 处的光场相位滞后 $\pi/2$ 。这样一来，若要通过光合束器 5 实现两束光在输出波导 6 中的干涉相长，就需要通过等离子色散效应，使调制臂 3 的光程减小 $\lambda/4$ （对调制臂 3 引入 $\pi/2$ 的相位偏移），从而使得 3b、4b 处的两个光场的相位相等，二者干涉相长，这样光波从波导 6 的输出强度达到最大。类似的，当对调制臂 4 进行调制，通过等离子色散效应使其光程减小 $\lambda/4$ （对调制臂 4 引入 $\pi/2$ 的相位偏移）时，3b、4b 处的两个光场的相位差为 π ，二者干涉相消，波导 6 中的输出光强达到最小。

由以上的分析可知，通过调节调制臂 3 或调制臂 4 上的调制功率的大小，即可实现输出光强从最大到最小的变化，从而实现光场强度的调制。而且完成整个调制周期需要两个调制臂的共同参与，而在单个调制臂上只需引入 $\pi/2$ 的相移，小于传统对称 MZI 结构中所需的 π 相移。所需相移越小，意味着所需载流子的变化越小，载流子的产生与复合也越快。因此，相对于基于传统对称 MZI 结构的光调制器，这种非对称光调制器的调制速率将有显著提高。

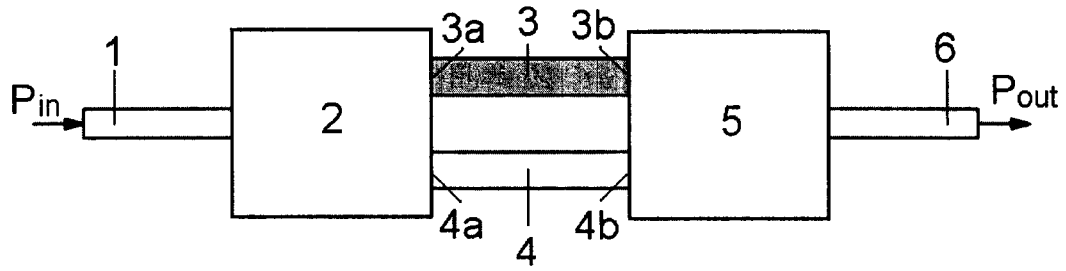


图 1

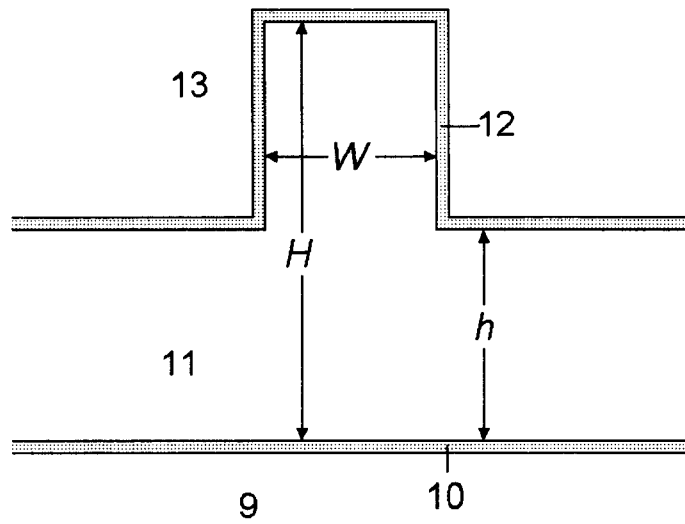


图 2

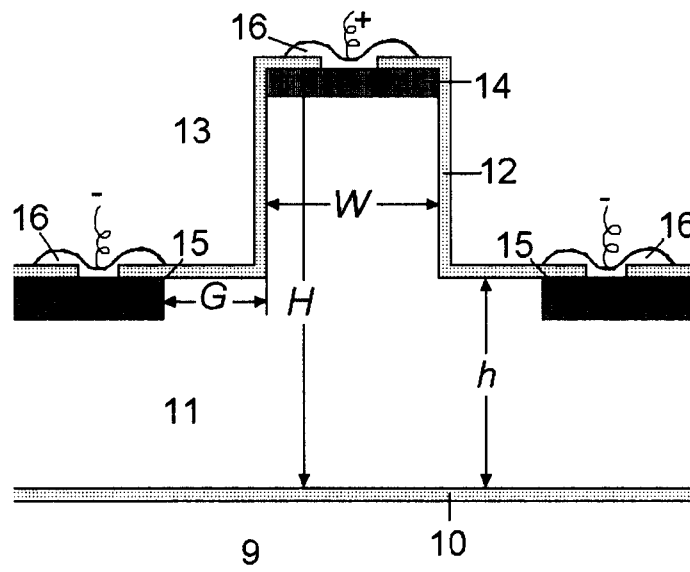


图 3