



# (12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 114089482 B

(45) 授权公告日 2022.10.18

(21) 申请号 202111460079.2

审查员 曾毅

(22) 申请日 2021.12.02

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 114089482 A

(43) 申请公布日 2022.02.25

(73) 专利权人 清华大学

地址 100089 北京市海淀区清华大学FIT楼  
4区306

(72) 发明人 张小平 张梦雨 王逸松 李铭晖

(74) 专利代理机构 北京高沃律师事务所 11569

专利代理师 刘芳

(51) Int. Cl.

G02B 6/34 (2006.01)

G02B 6/12 (2006.01)

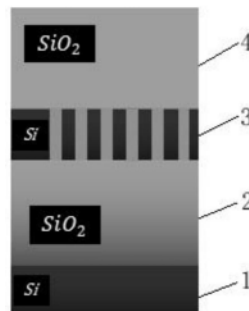
权利要求书1页 说明书4页 附图3页

(54) 发明名称

一种光栅耦合器

(57) 摘要

本发明公开了一种光栅耦合器。该光栅耦合器包括：由下至上依次层叠在一起的衬底层、氧化层、波导层以及覆盖层。所述波导层的材料为半导体材料。所述波导层刻蚀有纳米/微米级弧段阵列结构光栅，所述弧段阵列结构光栅包括多个同心的圆弧段，相邻圆弧段之间为刻蚀槽，其中，近心圆弧段用于作为光信号输入端，远心圆弧段作为光信号输出端，所述近心圆弧段为最靠近圆心的圆弧段，所述远心圆弧段为最远离圆心的圆弧段，所述圆心为各所述圆弧段的圆心。所述圆弧段的宽度由进入所述光栅耦合器的光信号的波长确定。从所述近心圆弧段到所述远心圆弧段，各圆弧段的长度依次增加。本申请提供的光栅耦合器提高了光信号的耦合高效。



1. 一种光栅耦合器,其特征在于,包括:由下至上依次层叠在一起的衬底层、氧化层、波导层以及覆盖层;

所述波导层的材料为半导体材料;

所述波导层刻蚀有纳米/微米级弧段阵列结构光栅,所述弧段阵列结构光栅包括多个同心的圆弧段,相邻圆弧段之间为刻蚀槽,其中,近心圆弧段用于作为光信号输入端,远心圆弧段用于作为光信号输出端,所述近心圆弧段为最靠近圆心的圆弧段,所述远心圆弧段为最远离圆心的圆弧段,所述圆心为各所述圆弧段的圆心;

所述圆弧段的宽度由进入所述光栅耦合器的光信号的波长确定;

各所述圆弧段的宽度相等,各所述圆弧段的宽度 $t$ 根据以下公式计算:

$$t = \frac{\lambda_0}{\sqrt[2]{n_1^2 - n_2^2}} \left\{ m + \frac{1}{\pi} \tan^{-1} \left( \frac{n_1^2}{n_2^2} \left[ \frac{\sqrt{n_2^2 - n_3^2}}{\sqrt{n_1^2 - n_2^2}} \right] \right) \right\};$$

其中, $n_1$ 表示波导层材料的折射率, $n_2$ 表示覆盖层材料的折射率, $n_3$ 表示氧化层材料的折射率, $\lambda_0$ 表示进入所述光栅耦合器的光信号的波长, $m$ 表示进入所述光栅耦合器的光信号的束腰半径;

从所述近心圆弧段到所述远心圆弧段,各圆弧段的长度依次增加。

2. 根据权利要求1所述的光栅耦合器,其特征在于,所述光栅耦合器还包括:光纤和波导,所述光纤和所述波导分别与所述弧段阵列结构光栅的远心圆弧段和近心圆弧段连接。

3. 根据权利要求2所述的光栅耦合器,其特征在于,所述波导至少一部分区域与所述近心圆弧段重合。

4. 根据权利要求1所述的光栅耦合器,其特征在于,所述波导层的材料为硅。

5. 根据权利要求1所述的光栅耦合器,其特征在于,所述氧化层和/或所述覆盖层的材料为半导体化合物材料。

6. 根据权利要求5所述的光栅耦合器,其特征在于,所述氧化层和/或所述覆盖层的材料为二氧化硅。

7. 根据权利要求1所述的光栅耦合器,其特征在于,所述衬底层的材料为半导体材料及其化合物。

8. 根据权利要求7所述的光栅耦合器,其特征在于,所述衬底层的材料为硅、氮化硅、氧化铝或砷化镓。

9. 根据权利要求1所述的光栅耦合器,其特征在于,所述刻蚀槽的深度为100nm。

## 一种光栅耦合器

### 技术领域

[0001] 本发明涉及光学器件领域,特别是涉及一种光栅耦合器。

### 背景技术

[0002] 现如今,光通信面临着光波导芯片与光纤之间的耦合效率问题,光纤的纤芯宽度为十微米,光芯片上常用的波导宽度在百纳米的范围内,芯片上设计的分路和选路装置的整体结构的宽度在微米级别。光信号在波导中进行输入和传输时的损耗非常大,保持光信号在光纤与光纤之间、光纤与光学器件之间的耦合控制,提高耦合效率,是光芯片走向集成化和大规模应用的重要前提。

[0003] 现有的耦合结构主要有硅(Si)波导外包覆聚合物构成倒锥形结构、悬臂梁型耦合器、悬臂梁型耦合器、亚波长光栅型、双层锥形结构、多层SiN结构等。但上述耦合结构并没有充分考虑耦合效率问题,导致其耦合效率不高。

### 发明内容

[0004] 本发明的目的是提供一种耦合效率高的光栅耦合器。

[0005] 为实现上述目的,本发明提供了如下方案:

[0006] 一种光栅耦合器,包括:由下至上依次层叠在一起的衬底层、氧化层、波导层以及覆盖层;

[0007] 所述波导层的材料为半导体材料;

[0008] 所述波导层刻蚀有纳米/微米级弧段阵列结构光栅,所述弧段阵列结构光栅包括多个同心的圆弧段,相邻圆弧段之间为刻蚀槽,其中,近心圆弧段用于作为光信号输入端,远心圆弧段用于作为光信号输出端,所述近心圆弧段为最靠近圆心的圆弧段,所述远心圆弧段为最远离圆心的圆弧段,所述圆心为各所述圆弧段的圆心;

[0009] 所述圆弧段的宽度由进入所述光栅耦合器的光信号的波长确定;

[0010] 从所述近心圆弧段到所述远心圆弧段,各圆弧段的长度依次增加。

[0011] 可选的,各所述圆弧段的宽度相等,各所述圆弧段的宽度 $t$ 根据以下公式计算:

$$[0012] \quad t = \frac{\lambda_0}{2\sqrt{n_1^2 - n_2^2}} \left\{ m + \frac{1}{\pi} \tan^{-1} \left( \frac{n_1^2}{n_2^2} \right) \left[ \frac{\sqrt{n_2^2 - n_3^2}}{\sqrt{n_1^2 - n_2^2}} \right] \right\};$$

[0013] 其中, $n_1$ 表示所述波导层材料的折射率, $n_2$ 表示所述覆盖层材料的折射率, $n_3$ 表示所述氧化层材料的折射率, $\lambda_0$ 表示进入所述光栅耦合器的光信号的波长, $m$ 表示进入所述光栅耦合器的光信号的束腰半径。

[0014] 可选的,所述光栅耦合器还包括:光纤和波导,所述光纤和所述波导分别分别与所述弧段阵列结构光栅的远心圆弧段和近心圆弧段连接。

[0015] 可选的,所述波导至少一部分区域与所述近心圆弧段重合。

[0016] 可选的,所述波导层的材料为硅。

- [0017] 可选的,所述氧化层和\或所述覆盖层的材料为半导体化合物材料。
- [0018] 可选的,所述氧化层和\或所述覆盖层的材料为二氧化硅。
- [0019] 可选的,所述衬底层的材料为半导体材料及其化合物。
- [0020] 可选的,所述衬底层的材料为硅、氮化硅、氧化铝或砷化镓。
- [0021] 可选的,所述刻蚀槽的深度为100nm。
- [0022] 根据本发明提供的具体实施例,公开了以下技术效果:本申请提供的光栅耦合器包括由下至上依次层叠在一起的衬底层、氧化层、波导层以及覆盖层。其中,波导层的材料为半导体材料;波导层刻蚀有纳米/微米级弧段阵列结构光栅,纳米/微米级弧段阵列结构光栅包括多个同心的圆弧段,相邻圆弧段之间为刻蚀槽,其中,近心圆弧段用于与波导连接,远心圆弧段用于与光纤连接,近心圆弧段为最靠近圆心的圆弧段,远心圆弧段为最远离圆心的圆弧段,上述圆心为各圆弧段的圆心。圆弧段的宽度由进入光栅耦合器的光信号的波长确定;从近心圆弧段到远心圆弧段,各圆弧段的长度依次增加。基于上述弧段阵列结构光栅,从刻蚀槽向上衍射的光信号与从圆弧段向上衍射的光信号发生干涉相涨,而向下衍射的两束光信号发生干涉相消,从而使上述光栅耦合器的向上衍射效率得到提高,提升了光栅耦合器的耦合效率。

### 附图说明

- [0023] 为了更清楚地说明本发明实施例或现有技术中的技术方案,下面将对实施例中所需要使用的附图作简单地介绍,显而易见地,下面描述中的附图仅仅是本发明的一些实施例,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动性的前提下,还可以根据这些附图获得其他的附图。
- [0024] 图1为本发明实施例中光栅耦合器的结构示意图;
- [0025] 图2为本发明实施例中弧段阵列结构光栅的结构示意图;
- [0026] 图3为本发明实施例中输入弧段阵列结构光栅和输出弧段阵列结构光栅的对称结构平面图;
- [0027] 图4为本发明实施例中又一光栅耦合器的结构示意图;
- [0028] 图5为本发明实施例中光信号在光栅耦合器中的传输示意图;
- [0029] 图6为本发明实施例中光栅耦合器的主视图。

### 具体实施方式

- [0030] 需要说明的是,本申请中,“示例性的”或者“例如”等词用于表示作例子、例证或说明。本申请中被描述为“示例性的”或者“例如”的任何实施例或设计方案不应被解释为比其他实施例或设计方案更优选或更具优势。确切而言,使用“示例性的”或者“例如”等词旨在以具体方式呈现相关概念。
- [0031] 下面将结合本发明实施例中的附图,对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例仅仅是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。
- [0032] 本申请提供了一种光栅耦合器,参见图1,该光栅耦合器包括:由下至上依次层叠

在一起的衬底层1、氧化层2、波导层3以及覆盖层4。

[0033] 其中,上述波导层3的材料示例性的为半导体材料,比如Si。

[0034] 上述氧化层2和上述覆盖层4的材料示例性的为半导体化合物材料,比如SiO<sub>2</sub>。

[0035] 上述衬底层1的材料示例性的为半导体材料及其化合物,比如硅(Si)、氮化硅(SiN)、氧化铝(AlO)、砷化镓(GaAs)等。

[0036] 上述波导层3设置于正面抛光处理的衬底层1上,且上述波导层3上刻蚀有纳米/微米级弧段阵列结构光栅,参见图2,该弧段阵列结构光栅包括多个同心的圆弧段,相邻圆弧段之间为刻蚀槽,其中,刻蚀槽的深度示例性的为100nm。

[0037] 近心圆弧段用于作为光信号输入端,远心圆弧段用于作为光信号输出端,上述近心圆弧段为最靠近圆心的圆弧段,上述远心圆弧段为最远离圆心的圆弧段,上述圆心为各所述圆弧段的圆心。

[0038] 从上述近心圆弧段到上述远心圆弧段,各圆弧段的长度依次增加。

[0039] 上述圆弧段的宽度由进入上述光栅耦合器的光信号的波长确定。

[0040] 具体的,各圆弧段的宽度t可以根据以下公式计算:

$$[0041] \quad t = \frac{\lambda_0}{2\sqrt{n_1^2 - n_2^2}} \left\{ m + \frac{1}{\pi} \tan^{-1} \left( \frac{n_1^2}{n_2^2} \right) \left[ \frac{\sqrt{n_2^2 - n_3^2}}{\sqrt{n_1^2 - n_2^2}} \right] \right\};$$

[0042] 其中, $n_1$ 表示所述波导层材料的折射率, $n_2$ 表示所述覆盖层材料的折射率, $n_3$ 表示所述氧化层材料的折射率, $\lambda_0$ 表示进入所述光栅耦合器的光信号的波长,m表示进入所述光栅耦合器的光信号的束腰半径。

[0043] 参见图3,图3中的左半部分为光信号从光纤到波导传输时,二者之间的弧段阵列结构光栅,光纤连接该弧段阵列结构光栅的左侧,波导连接该弧段阵列结构光栅的右侧。图3中的右半部分为光信号从波导到光纤传输时,二者之间的弧段阵列结构光栅,波导连接该弧段阵列结构光栅的左侧,光纤连接该弧段阵列结构光栅的右侧。

[0044] 在一些实施例中,参见图4和图5,本申请提供的光栅耦合器还包括:光纤和波导。其中,波导示例性的为锥形波导,光纤和锥形波导分别设置于上述弧段阵列结构光栅的两侧,分别与上述弧段阵列结构光栅的远心圆弧段和近心圆弧段连接,即波导与上述弧段阵列结构光栅构成通路时,波导连接上述弧段阵列结构光栅的最小圆弧段处,光纤位于上述弧段阵列结构光栅的最大圆弧段处。

[0045] 上述弧段阵列结构光栅中圆弧段的排列方向与信号的传输方向相同。

[0046] 在一些实施例中,上述波导至少一部分区域与其对应的圆弧段(即上述近心圆弧段)重合,以减小波导与光栅的相对位移带来的耦合效率下降问题。

[0047] 下面结合图6对上述光栅耦合器进行具体介绍:

[0048] 参见图6,上述光栅耦合器,以典型晶圆--绝缘衬底上的硅(Silicon-On-Insulator,以下用SOI代替)为衬底。SOI的底层材料是Si,厚度 $t_1$ 。衬底上层为氧化层2,材料是SiO<sub>2</sub>,厚度 $t_2$ 。氧化层2上方是波导层3,材料可以是Si,厚度 $t_3$ ,其中 $t_1 = t_3$ 。波导层3上方为覆盖层4,材料是SiO<sub>2</sub>,厚度 $t_4$ 。

[0049] 弧段阵列结构光栅在所述波导层3中,波导层3左端(即taper区域)与输入光纤的输入端口至少一部分区域相连接,长度为 $L_t$ ,taper区域右端靠近弧段阵列结构光栅的最大

圆弧段处。

[0050] 波导层3中,波导层3尾部区域长度为 $L_0$ 。

[0051] 弧段阵列结构光栅中相邻圆弧段之间的刻蚀槽深度为 $h$ ,圆弧段宽度为 $d$ ,两个圆弧段的等线间距为 $p$ ,刻蚀槽宽度为 $(p-d)$ ,波导区域长度为 $L_g = N * p$ , $N = \{1, 2, 3, \dots\}$ 。

[0052] 在波导层3左端区域取圆心位置,圆心角 $\theta$ , $r = L_t, r_{inner}, r_{outer}$ 。取同心圆,所述同心圆的圆心角 $\theta$ ,分别以 $r, r_{inner}, r_{outer}$ 为半径,在波导层3端面进行刻蚀;半径 $r$ 和半径 $r_{inner}$ 之间的刻蚀槽深度为 $h = 100\text{nm}$ ,该刻蚀槽为1号刻蚀槽;半径 $r_{inner}$ 和半径 $r_{outer}$ 之间没有刻蚀的区域为1号圆弧段。

[0053] 进一步地在波导层3中,取同心圆,所述同心圆的圆心角 $\theta$ ,以 $[r + (N-1) * p], [r_{inner} + (N-1) * p]$ 为半径在波导层3端面刻蚀,刻蚀深度为 $h$ ,刻蚀后二条半径之间的刻蚀槽依次为 $N$ 号刻蚀槽, $N = \{1, 2, 3, \dots\}$ 。 $[r_{inner} + (N-1) * p], [r_{outer} + (N-1) * p]$ 半径之间未经刻蚀的区域依次为 $N$ 号圆弧段, $N = \{1, 2, 3, \dots\}$ 。

[0054] 本申请基于光场模式匹配理论,从刻蚀槽向上衍射的光信号与从圆弧段向上衍射的光信号发生干涉相涨,而向下衍射的两束光信号发生干涉相消,从而使上述光栅耦合器的向上衍射效率得到提高,实现了高效耦合,解决了光波导芯片与光纤之间的耦合效率问题。

[0055] 本说明书中各个实施例采用递进的方式描述,每个实施例重点说明的都是与其他实施例的不同之处,各个实施例之间相同相似部分互相参见即可。

[0056] 本文中应用了具体个例对本发明的原理及实施方式进行了阐述,以上实施例的说明只是用于帮助理解本发明的方法及其核心思想;同时,对于本领域的一般技术人员,依据本发明的思想,在具体实施方式及应用范围上均会有改变之处。综上所述,本说明书内容不应理解为对本发明的限制。

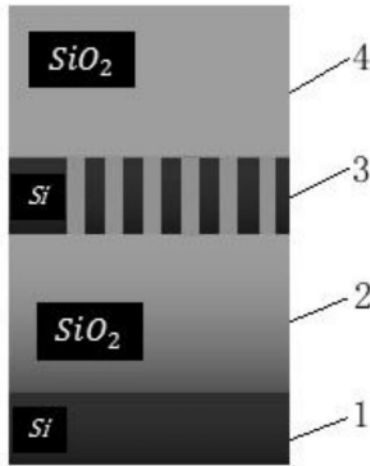


图1

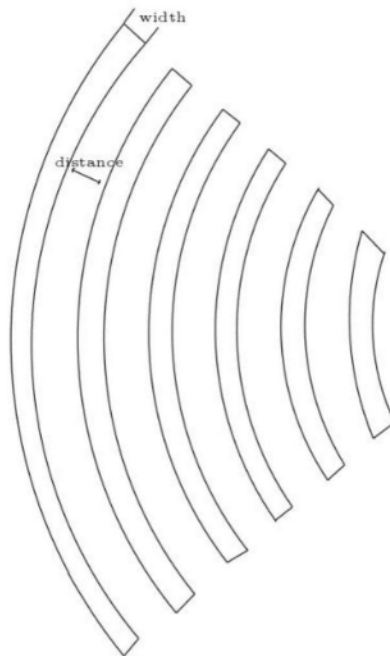


图2

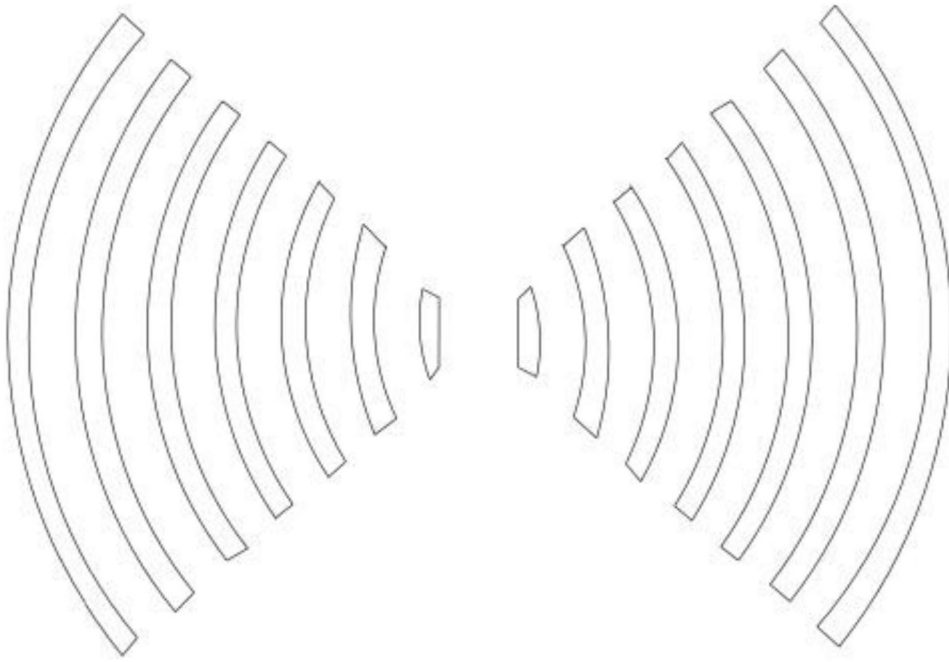


图3

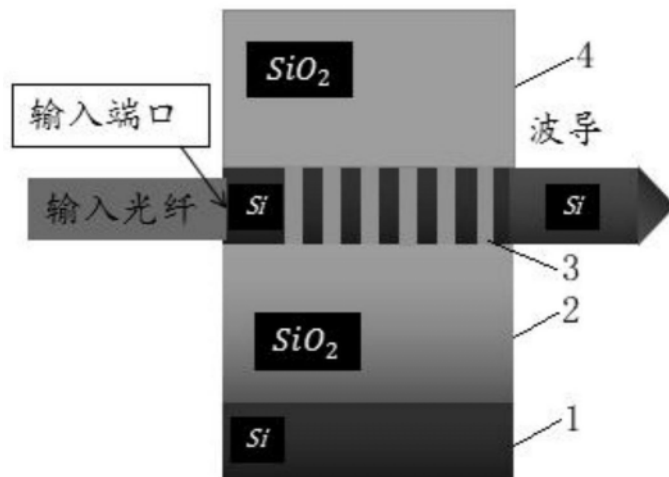


图4



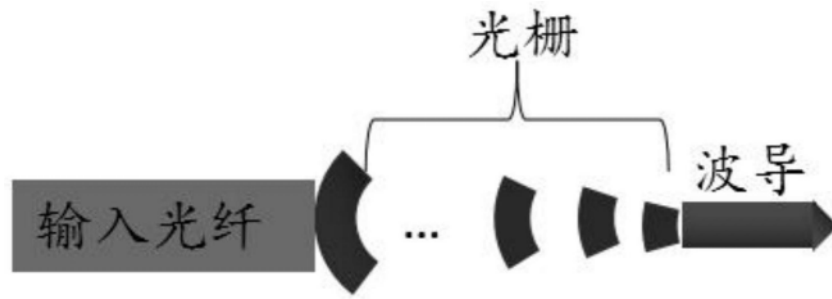


图5

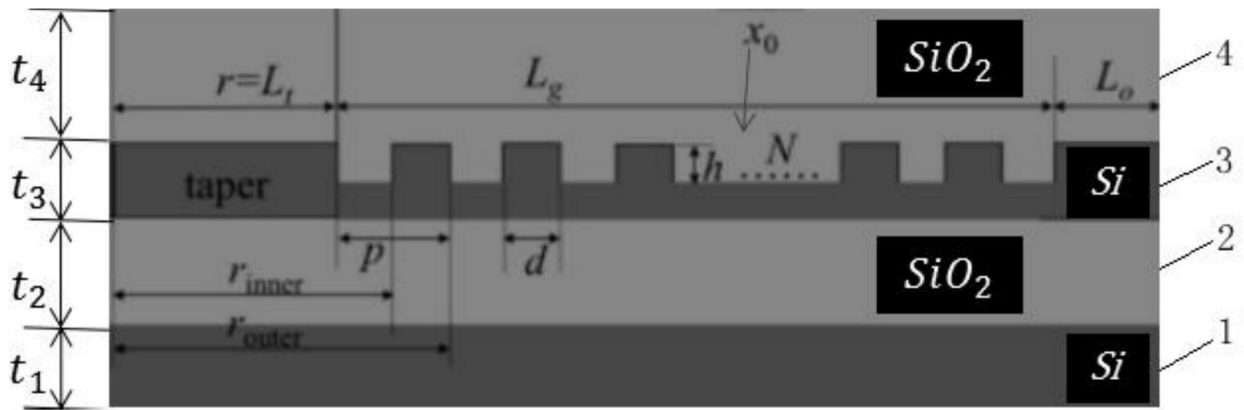


图6