



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 106291811 B

(45)授权公告日 2019.04.23

(21)申请号 201610794121.7

(22)申请日 2016.08.31

(65)同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 106291811 A

(43)申请公布日 2017.01.04

(73)专利权人 欧阳征标  
地址 518060 广东省深圳市南山区南海大道3688号

(72)发明人 欧阳征标 郑耀贤

(74)专利代理机构 深圳力拓知识产权代理有限公司 44313

代理人 龚健

(51)Int.Cl.

G02B 6/12(2006.01)

G02B 6/125(2006.01)

(56)对比文件

CN 101145627 A,2008.03.19,  
US 2005074207 A1,2005.04.07,  
CN 101750651 A,2010.06.23,  
CN 104932058 A,2015.09.23,  
CN 101174416 A,2008.05.07,  
CN 1764856 A,2006.04.26,

审查员 李慧娟

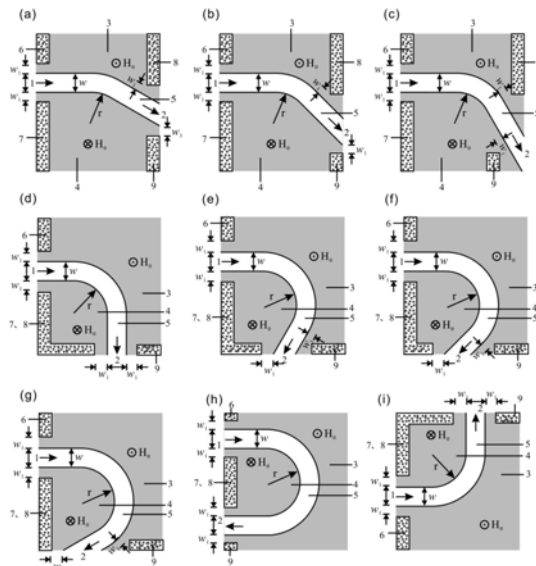
权利要求书1页 说明书5页 附图4页

(54)发明名称

无泄漏低损型磁光空隙磁表面快模任意角单向拐弯波导

(57)摘要

本发明公开了一种无泄漏低损型磁光空隙磁表面快模任意角单向拐弯波导,它包括一个光输入端口(1)、一个光输出端口(2)、两个磁光材料层(3、4)、一个介质层(5)、四个吸波层(6、7、8、9)和两个相反方向的偏置磁场;磁光材料层(3、4)和介质层(5)为一个三层结构光波导,三层结构为任意角度弯曲形,在磁光材料层处(3、4)设置有两个方向相反的偏置磁场;磁光材料层(3、4)间的空隙为介质层(5),单向拐弯波导的端口(1)1为光输入端口,其端口(2)为光输出端口;介质层(5)在波导弯曲部分为圆环形状;磁光材料层与介质层(5)的表面处为磁表面快波。本发明具有结构简单、便于集成,低损耗、传输效率高,适用于大规模光路集成。



CN 106291811 B

1. 一种无泄漏低损型磁光空隙磁表面快模任意角单向拐弯波导,其特征在于,它包括一个光输入端(1)、一个光输出端(2)、两个磁光材料层(3、4)、一个介质层(5)、四个吸波层(6、7、8、9)和两个相反方向的偏置磁场;所述磁光材料层(3、4)和介质层(5)为一个三层结构光波导,该三层结构为任意角度弯曲形,在所述磁光材料层(3、4)处设置有两个方向相反的偏置磁场;所述磁光材料层(3、4)间的空隙为介质层(5),该介质层(5)在波导弯曲部分为圆环形状;所述磁光材料层(3、4)与所述介质层(5)的界面产生磁表面快波。

2. 按照权利要求1所述的无泄漏低损型磁光空隙磁表面快模任意角单向拐弯波导,其特征在于,光二极管由磁光材料层(3、4)和介质层(5)构成。

3. 按照权利要求1所述的无泄漏低损型磁光空隙磁表面快模任意角单向拐弯波导,其特征在于,所述磁光材料为磁光玻璃、稀土元素掺杂的石榴石或者稀土-过渡金属合金薄膜材料。

4. 按照权利要求1所述的无泄漏低损型磁光空隙磁表面快模任意角单向拐弯波导,其特征在于,所述磁光材料层(3、4)和介质层(5)通过任意角度弯曲形与光输入端(1)和光输出端(2)连接。

5. 按照权利要求1所述的无泄漏低损型磁光空隙磁表面快模任意角单向拐弯波导其特征在于:所述介质层(5)为真空、空气或者二氧化硅。

6. 按照权利要求1所述的无泄漏低损型磁光空隙磁表面快模任意角单向拐弯波导,其特征在于,所述三层结构为平直结构。

7. 按照权利要求1所述的无泄漏低损型磁光空隙磁表面快模任意角单向拐弯波导,其特征在于,所述任意角度弯曲形为30度拐弯形状、45度拐弯形状、60度拐弯形状、90度拐弯形状、120度拐弯形状、135度拐弯形状、150度拐弯形状或者180度拐弯形状。

8. 按照权利要求1所述的无泄漏低损型磁光空隙磁表面快模任意角单向拐弯波导,其特征在于:所述吸波层(6、7、8、9)为相同或者不同的吸波材料。

9. 按照权利要求8所述的无泄漏低损型磁光空隙磁表面快模任意角单向拐弯波导,其特征在于:所述吸波材料为聚氨酯、石墨、石墨烯、炭黑、碳纤维环氧树脂混合物、石墨热塑性材料混合物、硼纤维环氧树脂混合物、石墨纤维环氧树脂混合物、环氧聚硫、硅橡胶、尿烷、氟弹性体、聚酯醚酮、聚酯砜、聚芳砜或者聚乙烯亚胺。

10. 按照权利要求1所述的无泄漏低损型磁光空隙磁表面快模任意角单向拐弯波导,其特征在于:所述吸波层(6、7、8、9)分别与波导之间的距离为 $1/4$ 至 $1/2$ 波长。

11. 按照权利要求1所述的无泄漏低损型磁光空隙磁表面快模任意角单向拐弯波导,其特征在于:所述吸波层(6、7、8、9)的厚度分别不小于 $1/4$ 波长。

12. 按照权利要求1所述的无泄漏低损型磁光空隙磁表面快模任意角单向拐弯波导,其特征在于:所述偏置磁场由电磁铁或永久磁铁产生。

13. 按照权利要求1所述的无泄漏低损型磁光空隙磁表面快模任意角单向拐弯波导,其特征在于:所述单向拐弯波导由磁光空隙波导构成。

14. 按照权利要求1所述的无泄漏低损型磁光空隙磁表面快模任意角单向拐弯波导,其特征在于:所述单向拐弯波导的工作模式为TE模式。

## 无泄漏低损型磁光空隙磁表面快模任意角单向拐弯波导

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种磁光材料、表面波和光二极管,尤其涉及一种无泄漏低损型磁光空隙磁表面快模任意角单向拐弯波导。

### 背景技术

[0002] 拐弯波导是一种作为变换光路用的光器件,其在光波导器件中占据重要的地位。由于光波导中光束传播方向的改变、光束传输轴位移和降低器件体积的需要,光波导中的弯曲是必需的。波导弯曲会引起波导材料在光的传输方向上光学特性分布的变化,使得拐弯波导具备较高的损耗。拐弯波导领域已有广泛的研究,其中弧形转向型拐弯波导是目前此方面研究的主要内容。但即使是这种类型的波导,其所存在的弯曲损耗和过渡损耗仍然严重制约了传输效率。此外结构缺陷等也会给波导带来其他方面的损耗。

[0003] 光二极管和隔离器是一种只允许光往一个方向传播的光学器件,应用于阻止不必要的光反馈。传统的光二极管和隔离器的主元件是法拉第旋光器,应用了法拉第效应(磁光效应)作为其工作原理。传统的法拉第隔离器由起偏器、法拉第旋光器和检偏器组成,这种器件结构复杂,通常被应用在自由空间的光系统中。对于集成光路,光纤或波导等集成光器件都是非偏振维持系统,会导致偏振角的损耗,因而不适用法拉第隔离器。

### 发明内容

[0004] 本发明的目的是克服现有技术中的不足之处,提供一种结构简单有效,低损耗,光传输效率高,体积小,便于集成的无泄漏低损型磁光空隙磁表面快模任意角单向拐弯波导。

[0005] 为了实现上述目的,本发明采取以下设计方案:

[0006] 本发明无泄漏低损型磁光空隙磁表面快模任意角单向拐弯波导包括光输入端1,光输出端2,磁光材料层3、4,介质层5,吸波层6、7、8、9和两个相反方向的偏置磁场;所述磁光材料层3、4和介质层5为一个三层结构光波导,所述三层结构为任意角度弯曲形,在所述磁光材料层3、4处设置有两个方向相反的偏置磁场;所述磁光材料层3、4之间的空隙为介质层5,该介质层5在波导弯曲部分为圆环形状;所述磁光材料层3、4与所述介质层5的界面产生磁表面快波。

[0007] 光二极管由磁光材料层3、4和介质层5构成。

[0008] 所述磁光材料为磁光玻璃、稀土元素掺杂的石榴石或者稀土-过渡金属合金薄膜材料。

[0009] 所述磁光材料层3、4和介质层5通过任意角度弯曲形与光输入端1和光输出端2连接。

[0010] 所述介质层5为真空、空气或者二氧化硅。

[0011] 所述三层结构为平直结构。

[0012] 所述任意角度弯曲形为30度拐弯形状、45度拐弯形状、60度拐弯形状、90度拐弯形状、120度拐弯形状、135度拐弯形状、150度拐弯形状或者180度拐弯形状。

- [0013] 所述吸波层6、7、8、9为相同或者不同的吸波材料。
- [0014] 所述吸波材料为聚氨酯、石墨、石墨烯、炭黑、碳纤维环氧树脂混合物、石墨热塑性材料混合物、碳纤维环氧树脂混合物、石墨纤维环氧树脂混合物、环氧聚硫、硅橡胶、尿烷、氟弹性体、聚醚醚酮、聚醚砜、聚芳砜或者聚乙烯亚胺。
- [0015] 所述吸波层6、7、8、9分别与波导之间的距离为1/4至1/2波长。
- [0016] 所述吸波层6、7、8、9的厚度分别不小于1/4波长。
- [0017] 所述偏置磁场由电磁铁或永久磁铁产生。
- [0018] 所述单向拐弯波导由磁光空隙波导构成。
- [0019] 所述单向拐弯波导的工作模式为TE模式。
- [0020] 本发明适合应用于大规模光路集成,具有广阔的应用前景。它与现有技术相比,有如下积极效果。
- [0021] 1. 结构简单,便于实现。
- [0022] 2. 体积小,便于集成。
- [0023] 3. 磁表面波具备对结构缺陷的免疫特性,具有超低损耗、超高传输效率,广泛应用到各种光波导的设计中。

## 附图说明

- [0024] 图1为无泄漏低损型磁光空隙磁表面快模任意角单向拐弯波导的结构图。
- [0025] 图中:光输入端1光输出端2磁光材料层3、4介质层5吸波层6、7、8、9偏置磁场 $\odot H_0$ (外)偏置磁场 $\oplus H_0$ (里)介质层厚度 $w$ 吸波层与波导之间的距离 $w_1$ 圆环的内圆弧半径 $r$ 圆环的外圆弧半径 $r+w$
- [0026] 图2为无泄漏磁光空隙磁表面快模单向拐弯波导的工作原理图。
- [0027] 图3为无泄漏磁光空隙单向拐弯波导的正反向传输效率随光波频率变化的第一种实施例曲线图。
- [0028] 图4为无泄漏磁光空隙单向拐弯波导的正反向传输效率随光波频率变化的第二种实施例曲线图。
- [0029] 图5为无泄漏磁光空隙单向拐弯波导的正反向传输效率随光波频率变化的第三种实施例曲线图。
- [0030] 图6为无泄漏磁光空隙单向拐弯波导的正反向传输效率随光波频率变化的第四种实施例曲线图。

## 具体实施方式

[0031] 如图1所示,本发明的无泄漏低损型磁光空隙磁表面快模任意角单向拐弯波导包括光输入端1,光输出端2,磁光材料层3、4,介质层5、吸波层6、7、8、9和两个相反方向的偏置磁场 $H_0$ ;单向拐弯波导由磁光空隙波导构成,该单向拐弯波导的工作模式为TE模式,磁光材料层3、4和介质层5为一个三层结构光波导,光波导可以单向传输光信号,用作光二极管,光二极管由磁光材料层3、4和介质层5构成。三层结构为平直波导结构,该三层结构为任意角度弯曲形,任意角度弯曲的形状为圆弧形(弧形转向型拐弯波导),例如,当拐弯角度为45度时,为八分之一圆环;当拐弯角度为90度时,为四分之一圆环;当拐弯角度为180度时,

为半个圆环等,以此类推。任意角度弯曲可以为0度至180度之间的任意角,单向拐弯波导的弯曲角度也可以采用0度至180度之间的角度;图中仅显示常用的几种波导拐弯角度:30度、45度、60度、90度、120度、135度、150度和180度。其中图1(a)单向拐弯角度为30度、图1(b)单向拐弯角度为45度、图1(c)单向拐弯角度为60度、图1(d)、(i)单向拐弯角度为90度、图1(e)单向拐弯角度为120度、图1(f)单向拐弯角度为135度、图1(g)单向拐弯角度为150度、和图1(h)单向拐弯角度为180度。由于本发明器件结构满足对称守恒,也就是其对应的镜像结构也同样可以有效工作,因而图1(d)和(i)两者结构镜像对称,具备同样的工作特性。磁光材料层3、4和介质层5通过任意角度弯曲形与光输入端1和光输出端2连接。介质层5是光能量主要集中的区域,磁光材料层3、4之间的空隙为介质层5,介质层5在波导弯曲部分为圆环形状,圆环的内圆弧半径 $r$ ,其外圆弧半径 $r+w$ ,弯曲部分的长短取决于拐弯角度;介质层5采用真空、空气或者二氧化硅(玻璃)。磁光材料层3、4和介质层5构成光二极管,单向传输光信号,磁光材料层3、4与介质层5的界面产生磁表面快波。磁光材料为磁光玻璃、稀土元素掺杂的石榴石或者稀土-过渡金属合金薄膜材料。磁光材料层3、4分别设置有方向相反的偏置静磁场 $H_0$ ,即偏置磁场 $\odot H_0$ (外)和偏置磁场 $\oplus H_0$ (里),偏置磁场 $H_0$ 由电磁铁或永久磁铁产生。吸波层6、7、8、9为相同或者不同的吸波材料,吸波材料为聚氨酯、石墨、石墨烯、炭黑、碳纤维环氧树脂混合体、石墨热塑性材料混合体、碳纤维环氧树脂混合体、石墨纤维环氧树脂混合体、环氧聚硫、硅橡胶、尿烷、氟弹性体、聚酯醚酮、聚酯砜、聚芳砜或者聚乙烯亚胺。吸波层6、7、8、9分别与波导之间的距离为 $1/4$ 至 $1/2$ 波长,该吸波层6、7、8、9的厚度分别不小于 $1/4$ 波长。

[0032] 磁光材料-介质界面所产生的磁表面波是一种类似于金属表面等离子激元(SPP)的现象。磁光材料在偏置静磁场的作用下,磁导率为张量形式,同时,在一定的光波段范围内,其有效折射率为负值。因而,磁光材料的表面能够产生一种导波,且具有单向传播的性能,称为磁表面波(表面磁极化子波,SMP)。

[0033] 本发明无泄漏低损型磁光空隙磁表面快模任意角单向拐弯波导是基于磁光材料所具有的非互易性,结合磁光材料和介质界面能够产生表面波的特性所研究出的具有优异性能的单向拐弯波导。将磁光材料、介质和磁光材料三层结构波导与吸波层组合,利用磁光材料和介质界面产生的磁表面快波来进行光的单向弯曲传输,吸波层吸收无用波,消除光路干扰。

[0034] 本发明技术方案是基于磁光材料所具有的光非互易性和磁光材料和介质界面所具有独特的可传导表面波特性的设计。该技术方案的基本原理如下:

[0035] 磁光材料是一种具有磁各向异性的材料,由外加静磁场导致磁光材料内部的磁偶极子按同一方向排列,进而产生磁偶极矩。磁偶极矩将和光信号发生强烈的相互作用,进而产生光的非互易性传输。在方向为垂直纸面向外的偏置磁场 $H_0$ 的作用下,磁光材料的磁导率张量为:

$$[0036] \quad [\mu_1] = \begin{pmatrix} \mu_r & i\mu_k & 0 \\ -i\mu_k & \mu_r & 0 \\ 0 & 0 & \mu_0 \end{pmatrix}, \quad (1)$$

[0037] 磁导率张量的矩阵元由以下方程组给出:

$$[0038] \quad \mu_r = \mu_0 \left( 1 + \frac{\omega_m(\omega_0 - i\alpha\omega)}{(\omega_0 - i\alpha\omega)^2 - \omega^2} \right), \quad \mu_k = \mu_0 \frac{\omega_m\omega}{(\omega_0 - i\alpha\omega)^2 - \omega^2}, \quad \omega_0 = \mu_0\gamma H_0, \quad \omega_m = \mu_0\gamma M_s, \quad (2)$$

[0039] 其中,  $\mu_0$  为真空中的磁导率,  $\gamma$  为旋磁比,  $H_0$  为外加磁场,  $M_s$  为饱和磁化强度,  $\omega$  为工作频率,  $\alpha$  为损耗系数。若改变偏置磁场的方向为垂直纸面向里, 则  $H_0$  和  $M_s$  将改变符号。

[0040] 磁光材料-介质界面所产生的磁表面波则可以根据磁光材料的磁导率张量和麦克斯韦方程组求解得出。满足表面波 (TE波) 在界面存在的电场和磁场应当有如下的形式:

$$[0041] \quad \mathbf{E}_i = \begin{pmatrix} e_{xi} \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} e^{i(k_z z + k_{yi} y - \omega t)}, \quad \mathbf{H}_i = \begin{pmatrix} 0 \\ h_{yi} \\ h_{zi} \end{pmatrix} e^{i(k_z z + k_{yi} y - \omega t)} \quad (3)$$

[0042] 其中  $i=1$  代表磁光材料区域,  $i=2$  代表介质区域。代入麦克斯韦方程组:

$$[0043] \quad \nabla \times \mathbf{E}_i = -\mathbf{j} \frac{\partial E_{xi}}{\partial z} - \mathbf{k} \frac{\partial E_{xi}}{\partial y} = -\frac{\partial \mathbf{B}_i}{\partial t}, \quad \nabla \times \mathbf{H}_i = -\frac{\partial \mathbf{D}_i}{\partial t}, \quad (4)$$

[0044] 再根据本构关系式和边界条件, 可得出关于磁表面波的波矢  $k_z$  的超越方程:

$$[0045] \quad \frac{\mu_e}{\mu_0} \sqrt{\omega^2 \mu_0 \varepsilon_0 - k_z^2} + \sqrt{\omega^2 \mu_e \varepsilon_1 - k_z^2} - \frac{j\mu_k}{\mu_r} k_z = 0, \quad (5)$$

[0046] 其中,  $\mu_e = (\mu_r^2 - \mu_k^2) / \mu_r$  为磁光材料的有效磁导率。此超越方程可以由数值解法求解, 最终得到  $k_z$  的值。也可从方程看出, 由于方程包含  $\mu_k k_z$  的项, 所以, 磁表面波具有非互易性 (单向传播)。

[0047] 可见, 若采用磁光材料-介质-磁光材料的三层结构, 并在磁光材料层3、4处加入相反方向的静磁场, 那么将构成有效的单向波导。并且由于磁表面波 (SMP) 的特性, 拐弯波导在理论上将不会有弯曲结构所产生的损耗。如图2所示, 采用钇铁石榴石 (YIG) 作为磁各向异性材料, 介质层5为空气 ( $n_0=1$ ), 偏置磁场大小为9000e, 介质层的厚度  $w=5\text{mm}$ , 吸波层6、7、8、9分别与波导之间的距离为  $w_1=5\text{mm}$ , 圆环的内圆弧半径  $r=30\text{mm}$ , 器件的工作频率  $f$  由磁光材料和介质的介电常数  $\varepsilon_1, \varepsilon_2$  和磁导率  $[\mu_1], \mu_2$  所决定, 工作频率为  $f=6\text{GHz}$ , YIG材料损耗系数  $\alpha=3 \times 10^{-4}$ , 拐弯角度为90度。磁光材料3处的磁场为垂直纸面向外, 而磁光材料4处的磁场为垂直纸面向里。当光波从光输入端1输入时, 同时在磁光材料层3、4和介质层5的界面产生单向正向传输的磁表面波, 最后从光输出端2输出; 当光波从光输出端2输入时, 由于磁表面波的非互易性导致光波无法在器件里面反向传输, 从而无法从光输入端1输出, 光能量已全部在光输出端2处被阻挡。同时可以看到, 光波能很好地被局限在拐弯波导中, 损耗值非常低。

[0048] 本发明无泄漏低损型磁光空隙磁表面快模任意角单向拐弯波导具有磁光材料-介质-磁光材料的三层结构特征, 其结构尺寸和参数, 例如圆环的内圆弧半径  $r$  和介质层5的厚度  $w$  可灵活地根据工作波长和实际需求进行选择。改变尺寸对器件性能没有大的影响。

[0049] 下面结合附图给出四个实施例, 在实施例中采用钇铁石榴石 (YIG) 作为磁各向异性材料, 偏置磁场大小为9000e, 介质层5为空气 ( $n_0=1$ ), 介质层5的厚度  $w=5\text{mm}$ , 吸波层6、7、8、9分别与波导之间的距离为  $w_1=5\text{mm}$ , 圆环的内圆弧半径  $r=30\text{mm}$ , YIG材料损耗系数  $\alpha=$

$3 \times 10^{-4}$ , 器件的工作频率 $f$ 由磁光材料和介质的介电常数 $\epsilon_1, \epsilon_2$ 和磁导率 $[\mu_1], \mu_2$ 所决定。

[0050] 实施例1

[0051] 参照图1 (b), 单向拐弯波导由磁光空隙波导构成, 拐弯角度为45度。在工作频段内, 从光输入端1输入的光波将在器件内部产生磁表面波, 进而通过器件从光输出端2输出; 而从光输出端2输入的光波将被器件所阻挡, 无法从光输入端1输出。参照图3, 单向拐弯波导的工作频率范围是4.99GHz~7.29GHz。在工作频率范围内, 考虑材料损耗, 单向拐弯波导最高达到正反向传输隔离度为23.215dB, 正向传输插入损耗为0.0228dB。

[0052] 实施例2

[0053] 参照图1 (d) 和 (i), 单向拐弯波导由磁光空隙波导构成, 拐弯角度为90度。在工作频段内, 从光输入端1输入的光波将在器件内部产生磁表面波, 进而通过器件从光输出端2输出; 而从光输出端2输入的光波将被器件所阻挡, 无法从光输入端1输出。参照图4, 单向拐弯波导的工作频率范围是5.04GHz~7.44GHz。在工作频率范围内, 考虑材料损耗, 单向拐弯波导最高达到正反向传输隔离度为25.513dB, 正向传输插入损耗为0.0123dB。

[0054] 实施例3

[0055] 参照图1 (f), 单向拐弯波导由磁光空隙波导构成, 拐弯角度为135度。在工作频段内, 从光输入端1输入的光波将在器件内部产生磁表面波, 进而通过器件从光输出端2输出; 而从光输出端2输入的光波将被器件所阻挡, 无法从光输入端1输出。参照图5, 单向拐弯波导的工作频率范围是5.05GHz~7.41GHz。在工作频率范围内, 考虑材料损耗, 单向拐弯波导最高达到正反向传输隔离度为23.372dB, 正向传输插入损耗为0.0200dB。

[0056] 实施例4

[0057] 参照图1 (h), 单向拐弯波导由磁光空隙波导构成, 拐弯角度为180度。在工作频段内, 从光输入端1输入的光波将在器件内部产生磁表面波, 进而通过器件从光输出端2输出; 而从光输出端2输入的光波将被器件所阻挡, 无法从光输入1输出。参照图6, 单向拐弯波导的工作频率范围是4.99GHz~7.33GHz。在工作频率范围内, 考虑材料损耗, 单向拐弯波导最高达到正反向传输隔离度为27.545dB, 正向传输插入损耗为0.00765dB。

[0058] 由图3、图4、图5和图6不同拐弯角度的磁光空隙磁表面快模单向拐弯波导的传输效率曲线图可以得到磁光空隙拐弯波导所传输磁表面快波的光频率范围, 即单向拐弯波导的工作频率范围。从结果可知, 本发明低损型磁光空隙磁表面快模任意角单向拐弯波导是能够有效工作的。

[0059] 以上所述本发明在具体实施方式及应用范围均有改进之处, 不应当理解为对本发明限制。

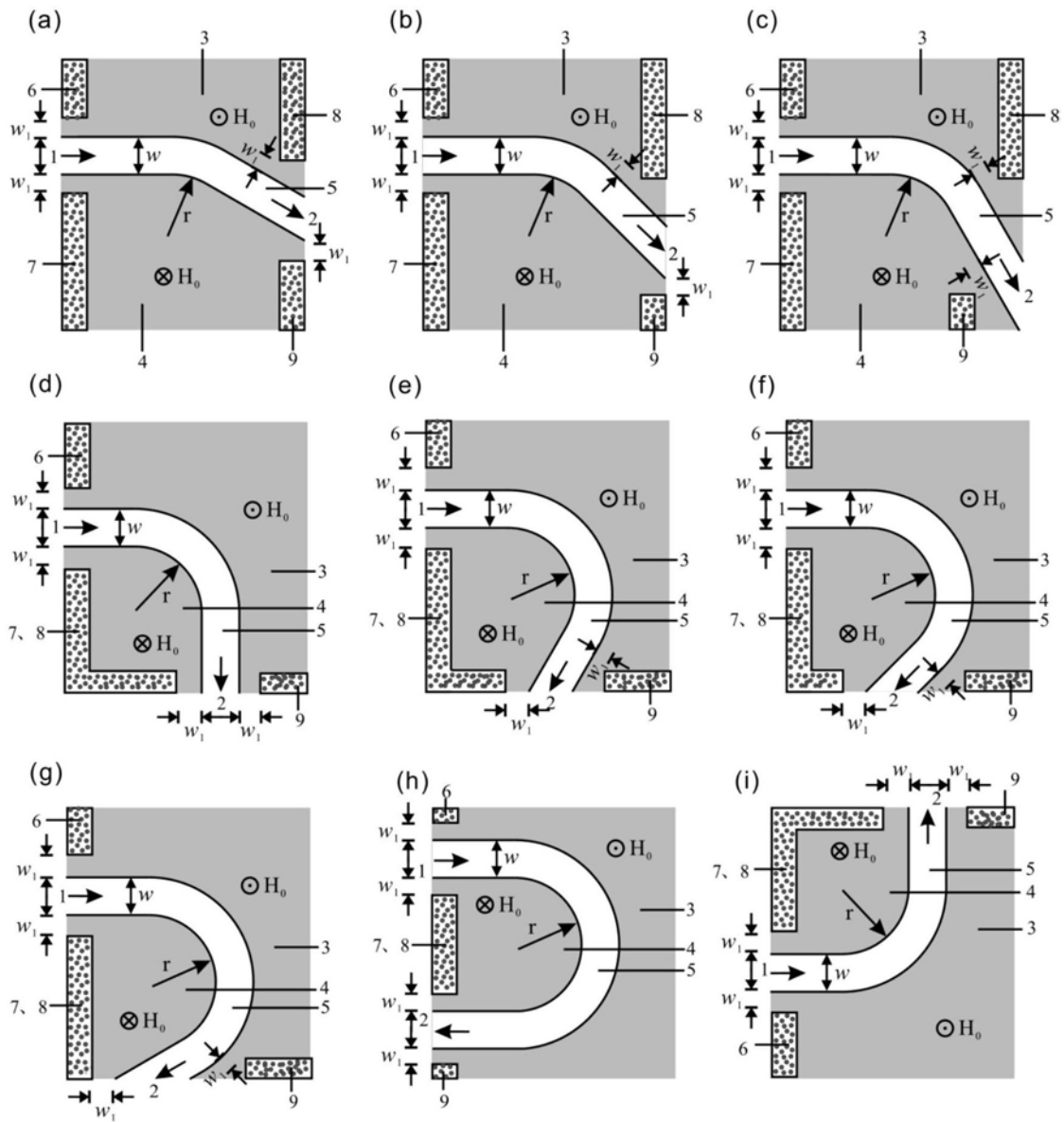


图1



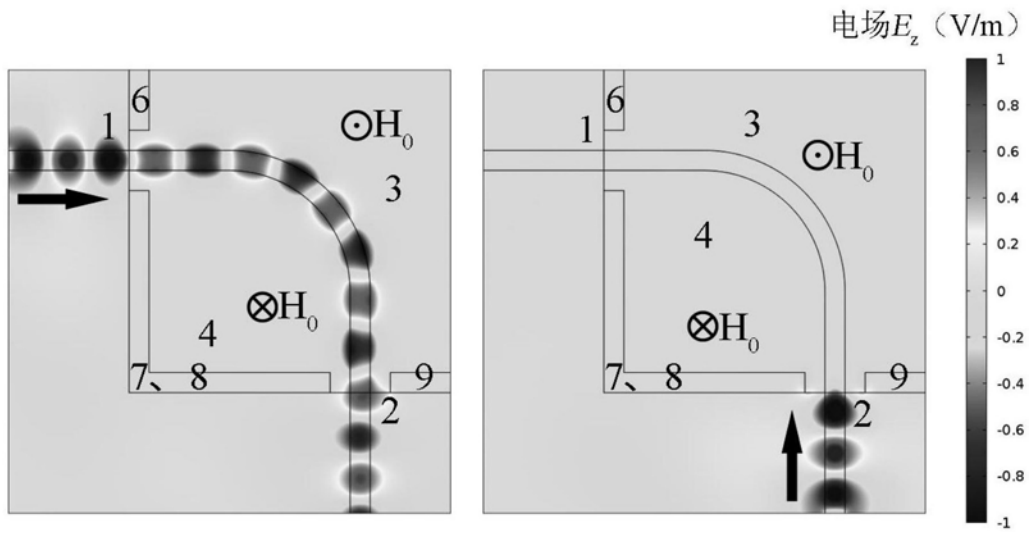


图2

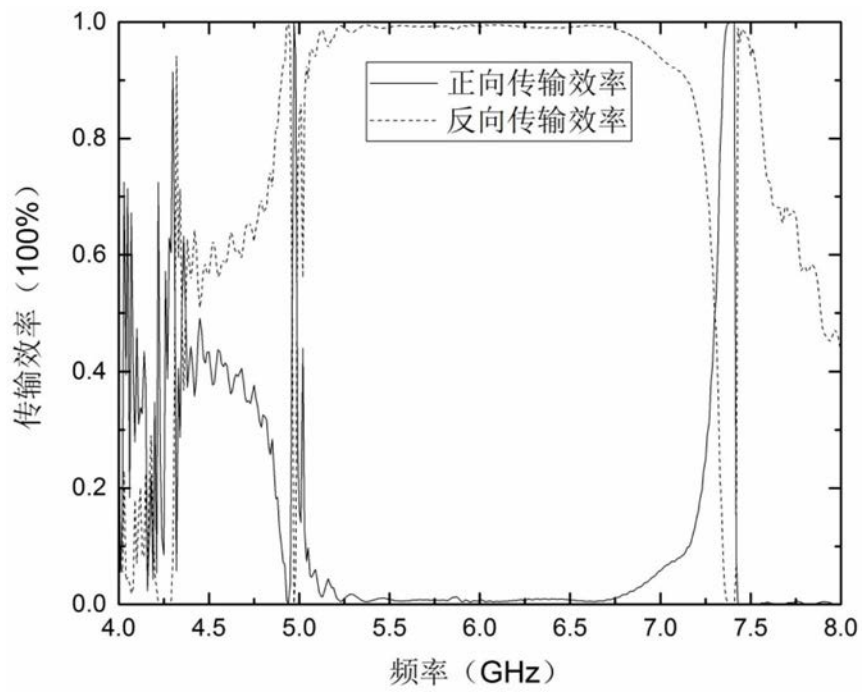


图3

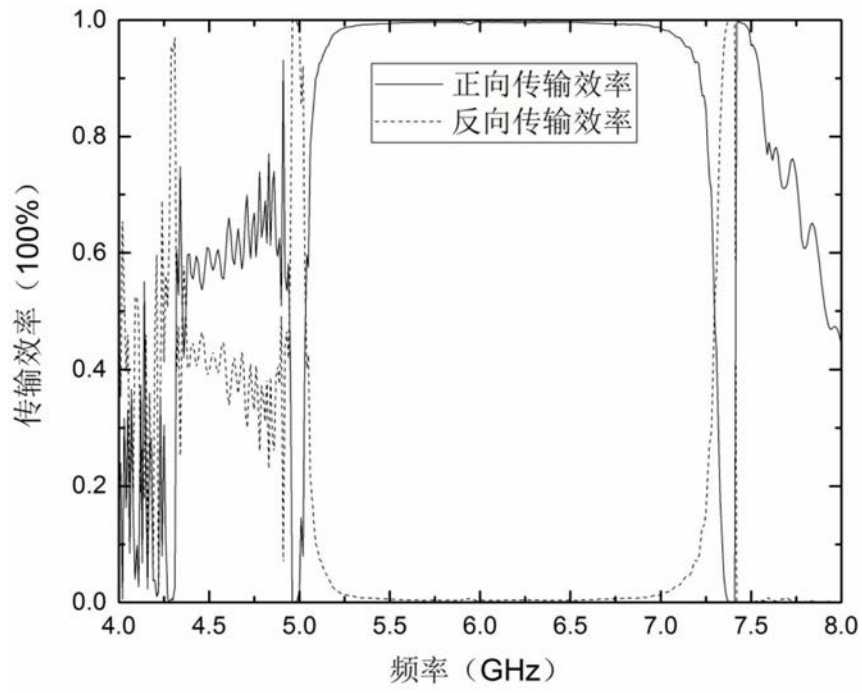


图4

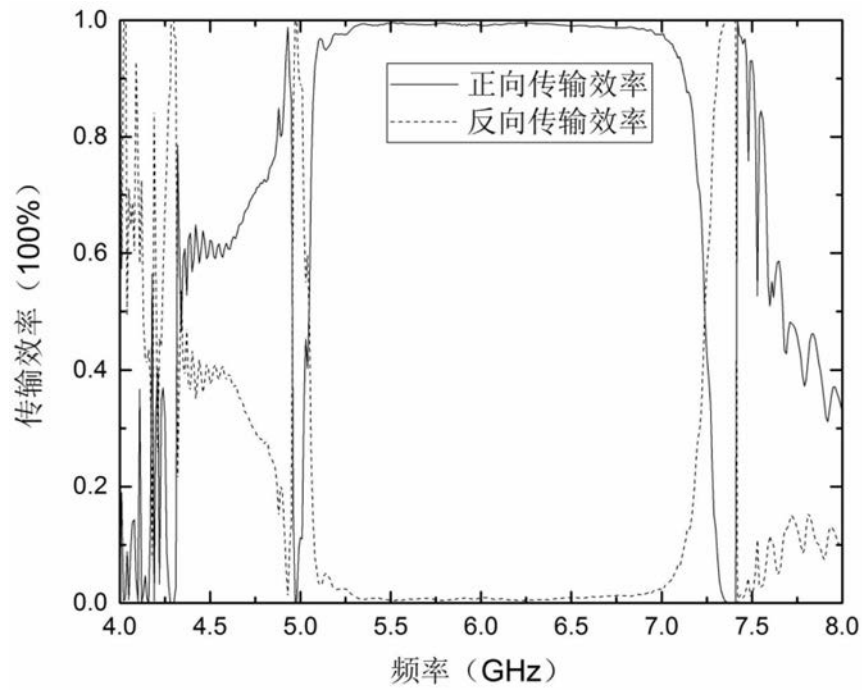


图5

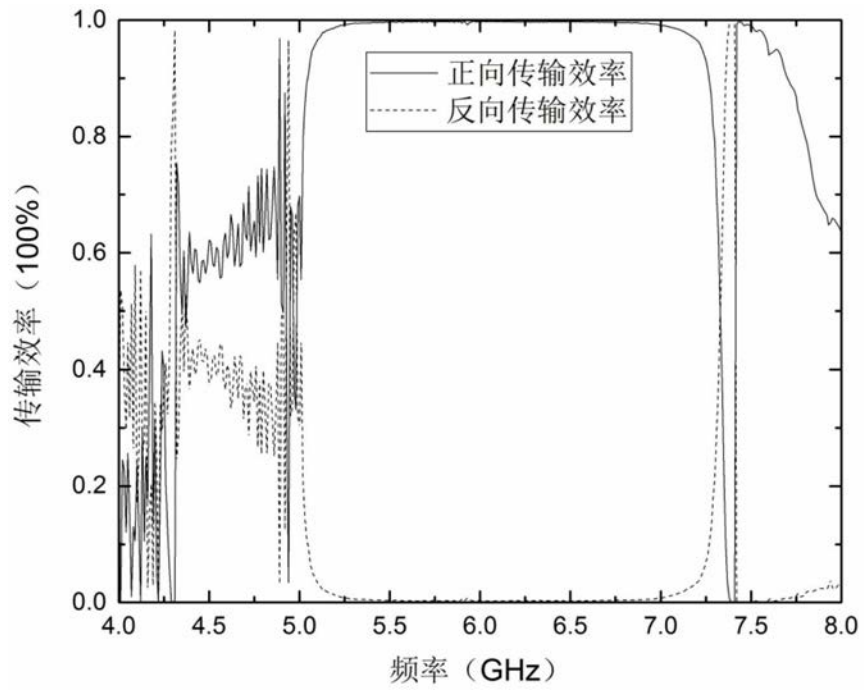


图6