

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局

(43) 国际公布日
2018 年 3 月 8 日 (08.03.2018)



(10) 国际公布号
WO 2018/041173 A1

- (51) 国际专利分类号:
G02B 6/125 (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2017/099810
- (22) 国际申请日: 2017 年 8 月 31 日 (31.08.2017)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:
201610796438.4 2016年8月31日 (31.08.2016) CN
- (71) 申请人: 深圳大学(SHENZHEN UNIVERSITY) [CN/CN]; 中国广东省深圳市南山区南海大道 3688 号, Guangdong 518060 (CN)。
- (72) 发明人: 郑耀贤(ZHENG, Yaoxian); 中国广东省深圳市南山区南海大道 3688 号, Guangdong 518060 (CN)。 欧阳征标(OUYANG, Zhengbiao); 中国广东省深圳市南山区南海大道 3688 号, Guangdong 518060 (CN)。

- (81) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW。
- (84) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

(54) **Title:** LEAKAGE-FREE, LOW-LOSS WAVEGUIDE HAVING FAST MODE AT MAGNETIC SURFACE OF MAGNETO-OPTICAL THIN FILM THEREOF AND BEING UNIDIRECTIONALLY FLEXIBLE TO ANY ANGLE

(54) 发明名称: 无泄漏低损磁光薄膜磁表面快模可控单向任意拐弯波导

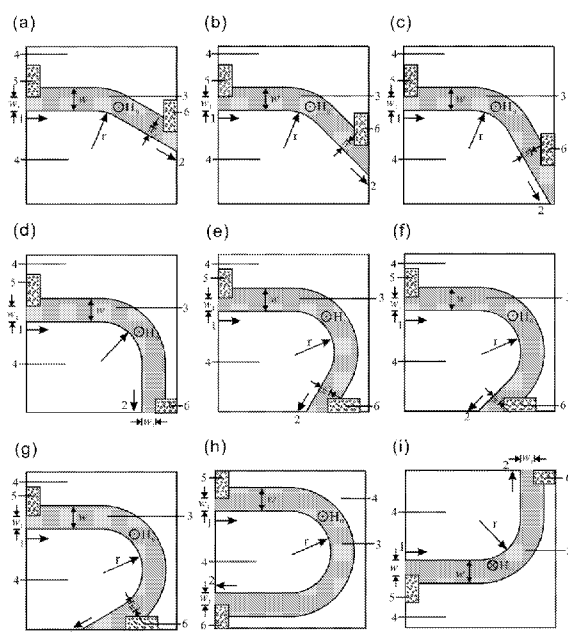


图 1

(57) **Abstract:** A leakage-free, low-loss waveguide having a fast mode at a magnetic surface of a magneto-optical thin film thereof and being unidirectionally flexible to any angle, comprising: a light input end (1); a light output end (2); a magneto-optical thin film (3); a background medium (4); two wave-absorbing layers (5, 6); and one bias magnetic field (H_0). The magneto-optical thin film (3) is provided in the background medium (4). The magneto-optical thin film (3) is made of a magneto-optical material. The magneto-optical thin film (3) and the background medium (4) can be bent to any angle. The bias magnetic field (H_0) is provided at the magneto-optical thin film (3), and the orientation thereof can be controlled. The magneto-optical thin film (3) has a ring-shaped bent portion. A magnetic surface fast-wave exists at a surface between the magneto-optical material and the background medium (4). The leakage-free, low-loss waveguide having a fast mode at a magnetic surface of a magneto-optical thin film thereof and being unidirectionally flexible to any angle has a simple structure, a small size, low loss and high transmission efficiency, facilitates integration, is suitable for large-scale optical integrated circuits, and can be widely applied in various optical waveguide designs.

本国际公布：

— 包括国际检索报告(条约第21条(3))。

(57) 摘要：一种无泄漏低损磁光薄膜磁表面快模任意方向可控单向拐弯波导，包括一个光输入端(1)、一个光输出端(2)、一个磁光薄膜(3)、背景介质(4)、两个吸波层(5、6)和一个偏置磁场(H_0)；磁光薄膜(3)设置于背景介质(4)中，磁光薄膜(3)采用磁光材料；磁光薄膜(3)和背景介质(4)为任意角度弯曲形；磁光薄膜(3)处设置有偏置磁场(H_0)，且方向可控；磁光薄膜(3)弯曲部分为圆环形状；磁光材料与背景介质(4)的表面处为磁表面快波。无泄漏低损磁光薄膜磁表面快模任意方向可控单向拐弯波导结构简单、体积小、便于集成、低损耗、传输效率高，适合于大规模光路集成，被广泛应用到各种光波导的设计中。

无泄漏低损磁光薄膜磁表面快模可控单向任意拐弯波导

技术领域

本发明涉及一种磁光材料、表面波和光二极管，具体涉及一种无泄漏低损磁光薄膜磁表面快模可控单向任意拐弯波导。

背景技术

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。

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

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磁光薄膜磁表面快模可控单向任意拐弯波导。

本发明的目的通过下述技术方案予以实现。

本发明无泄漏低损磁光薄膜磁表面快模可控单向任意拐弯波导包括一个光输入端 1、一个光输出端 2、一个磁光薄膜 3、背景介质 4、两个吸波层 5、6 和一个偏置磁场；所述单向拐弯波导的端口 1 为光输入端、其端口 2 为光输出端；所述磁光薄膜 3 设置于背景介质中；所述磁光薄膜 3 采用磁光材料；所述磁光薄膜 3 和背景介质 4 为任意角度弯曲形；所述磁光薄膜 3 处设置有偏置磁场，且方向可控；所述磁光薄膜 3 弯曲部分为圆环形状；所述磁光材料与所述背景介质 4 的表面处为磁表面快波。

所述磁光材料与所述背景介质 4 的分界面构成光波导。

所述磁光薄膜 3 和所述背景介质 4 通过任意角度弯曲形与光输入端和光输出端连接。

所述磁光薄膜 3 和背景介质 4 结构波导为平直波导。

所述磁光材料为磁光玻璃或者各种稀土元素掺杂的石榴石和稀土-过渡金属合金薄膜等材料。

所述背景介质 4 为普通介质材料或者空气。

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、180 度拐弯形状。

所述吸波层 5、6 为相同或者不同的吸波材料；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体、石墨热塑性材料混合体、硼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、聚醚醚酮、聚醚砜、聚芳砜或者聚乙烯亚胺。

所述吸波层 5、6 均分别与所述平直波导表面的距离为 $1/4$ 至 $1/2$ 波长；所述吸波层 5、6 的厚度均分别不小于 $1/4$ 波长。

所述偏置磁场由电流方向可控电磁铁或永久磁铁产生，永久磁铁能旋转；所述方向可控拐弯波导单向拐弯波导由磁光材料薄膜波导构成；所述单向拐弯波导的工作模式为 TE 模式。

本发明适合应用于大规模光路集成，具有广泛的应用前景。它与现有技术相比，具有如下积极效果。

1. 结构简单，便于实现。

2. 体积小，便于集成。

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，被广泛应用到各种光波导的设计中。

附图说明

图 1 为无泄漏低损磁光薄膜磁表面快模可控单向任意拐弯波导的结构图。

图中： 光输入端口 1 光输出端口 2 磁光薄膜 3 背景介质 4
第一吸波层 5 第二吸波层 6 偏置磁场 $\odot H_0$ （外） 偏置磁场 $\oplus H_0$

(里) 磁光薄膜的厚度 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 $r + w$

图 2 为无泄漏磁光薄膜磁表面快模可控单向任意拐弯波导导通的第一种工作原理图。

图 3 为无泄漏磁光薄膜磁表面快模可控单向任意拐弯波导导通的第二种工作原理图。

图 4 为磁光薄膜单向任意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。

图 5 为磁光薄膜单向任意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。

图 6 为磁光薄膜单向任意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。

图 7 为磁光薄膜单向任意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

如图 1 所示, 本发明无泄漏低损磁光薄膜磁表面快模可控单向任意拐弯波导包括一个光输入端 1、一个光输出端 2、一个磁光薄膜 3、背景介质 4、第一吸波层 5、第二吸波层 6 和一个偏置磁场 H_0 , 单向拐弯波导的工作模式为 TE 模式, 单向拐弯波导由磁光材料薄膜波导构成, 磁光薄膜”与背景介质 4 交界面为光能量主要集中的区域, 磁光薄膜 3 设置于背景介质 4 中, 磁光薄膜 3 采用磁光材料, 即磁光材料薄膜; 磁光材料为磁光玻璃或者各种稀土元素掺杂的石榴石和稀土

-过渡金属合金薄膜等材料；磁光薄膜 3 弯曲部分为圆环形状，圆环的内圆弧半径为 r ，其外圆弧半径则为 $r + w$ 。磁光材料薄膜 3 和背景介质 4 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），任意弯曲角度可以为 0 度至 180 度之间的角度，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；例如：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。弯曲部分的长短取决于拐弯角度。例如，当拐弯角度为 45 度时，为八分之一的圆环；当拐弯角度为 90 度时，为四分之一的圆环；当拐弯角度为 180 度时，为半个圆环等等，以此类推。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)、(i) 两者结构镜像对称，具备同样的工作特性。

磁光材料 3 与背景介质 4 的表面处为磁表面快波，磁光材料薄膜 3 和背景介质 4 结构为平直波导结构，磁光材料 3 与背景介质 4 的分界面构成光波导，光波导单向传输光信号，用作光二极管或隔离器；磁光材料薄膜 3 和背景介质 4 通过任意角度弯曲形与光输入端口 1 和光输出端口 2 连接；背景介质 4 采用普通介质材料或者空气；第一吸波层 5、第二吸波层 6 吸波层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、硼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、聚醚醚酮、聚醚砜、聚芳砜或者聚乙烯亚胺；第一吸波层 5 和第二吸波层 6 均分别与平直波导表面的距离为 $1/4$ 至 $1/2$ 波长；第一吸波层 5 和第二吸波层的厚度均分别不小于 $1/4$ 波长。磁光材料薄膜 3 处设置有偏置磁场，即偏置磁场 $\odot H_0$ （外）和偏置磁场 $\oplus H_0$ （里），且方向可控，外加磁场 H_0 由电流方向可控的电磁铁产生或者由能旋转的永久磁铁提供，所以可以控制电流方向来改变波导的导通方向，或者通过旋转永久磁铁来改变。偏置磁场方向 H_0 垂直于纸面向外时，方向可控单向拐弯波导的端口 1 为光输入端口，其端口 2 为光输出端口；偏置磁场方向垂直纸面向里时，方向可控单向拐弯波导的端口 2 为光输入端口，其端口 1 为光输出端口。

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）。

本发明为无泄漏低损磁光薄膜磁表面快模可控单向任意拐弯波导，该器件是基于磁光材料所具有的非互易性，结合磁光材料-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导通拐弯波导，并且其导通方向可控。将磁光材料薄膜设置于背景介质中和两个吸波层组合，使得均匀磁光材料-介质界面产生的磁表面快波来

进行光的单向弯曲传输,利用电流方向可控的电磁铁来控制波导的导通方向,拐弯角度为任意值,吸波层吸收无用波,消除光路干扰。

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-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:

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:

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

磁导率张量的矩阵元由以下方程组给出:

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

其中, μ_0 为真空中的磁导率, γ 为旋磁比, H_0 为外加磁场, M_s 为饱和磁化强度, ω 为工作频率, α 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。

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(为 TE 波)在界面存在的电场和磁场应当有如下的形式:

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

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:

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

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:

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

其中, $\mu_e = \frac{\mu_r^2 - \mu_k^2}{\mu_r}$ 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)。

可见,在磁光材料薄膜 3 处加入偏置静磁场,并使用普通介质材料或空气作为背景材料,那么将构成有效的方向可控拐弯波导。并且由于磁表面波(SMP)的特性,拐弯波导在理论上由弯曲结构所产生的损耗非常低。如图 2 所示,采用钇铁石榴石(YIG)作为磁各向异性材料,背景介质为空气($n_0 = 1$),偏置磁场大小为 900Oe,磁光材料薄膜厚度 $w = 5\text{mm}$,第一吸波层与 5 和第一吸波层 6 与波导之间的距离均分别为 $w_1 = 5\text{mm}$,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 ε_1 , ε_2 和磁导率 $[\mu_1]$, μ_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。当外加磁场方向垂直纸面向外时，光波从端口 1 输入时，在磁光材料-介质界面产生单向正向传输的磁表面波，最后从端口 2 输出；当光波从端口 2 输入时，由于磁表面波的非互易性导致光波不能够在器件里面反向传输，从而无法从端口 1 输出，光能量已全部在端口 2 处被阻挡。同时可以看到，光波能很好地被局限在磁光薄膜拐弯波导中，损耗值非常低。拐弯波导的导通方向由外加磁场的方向所决定，如图 3 所示，采用钇铁石榴石（YIG）作为磁各向异性材料，背景介质为空气（ $n_0 = 1$ ），偏置磁场大小为 900Oe，方向为垂直纸面向里，磁光薄膜厚度 $w = 5\text{mm}$ ，第一吸波层 5、第二吸波层 6 均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 ε_1 ， ε_2 和磁导率 $[\mu_1]$ ， μ_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° 。偏置磁场方向为垂直纸面向里，拐弯波导的导通方向是相反的。当光波从端口 2 输入时，能够在器件内部产生磁表面波，进而从端口 1 输出；当光波从端口 1 输入时，由于器件的非互易性导致其内部无法传播反向的光波，端口 2 没有任何光输出，光能量已全部在端口 1 处被阻挡。

本发明器件的低损磁光薄膜磁表面快模可控单向任意拐弯波导采用磁光材料设置于普通介质材料中，其结构尺寸和参数，例如圆环的内圆弧半径 r 和磁光薄膜的厚度 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。

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, 偏置磁场由电流方向可控的电磁铁产生, 大小为 900Oe, 方向将决定拐弯波导的导通方向, 介质为空气 ($n_0 = 1$), 磁光薄膜的厚度为 $w = 5\text{mm}$, 第一吸波层 5、第二吸波层 6 均分别与波导之间的距离为 $w_1 = 5\text{mm}$, 圆环的内圆弧半径 $r = 60\text{mm}$, 器件的工作频率 f 由磁光材料和介质的介电常数 ε_1 , ε_2 和磁导率 $[\mu_1]$, μ_2 所决定, YIG 材料损耗系数 $\alpha = 3 \times 10^{-4}$ 。

实施例 1

参照图 1 (b), 方向可控拐弯波导由磁光薄膜波导构成, 拐弯角度为 45° 。在工作频段内, 通过电磁铁电流控制磁光材料所加磁场方向垂直纸面向外, 拐弯波导将从端口 1 到端口 2 导通; 相反, 控制磁场方向垂直纸面向里, 拐弯波导将从端口 2 到端口 1 导通。此两种情况的正反向传输效率相同。参照图 4, 方向可控拐弯波导的工作频率范围是 5.11GHz ~ 7.38GHz。在工作频率范围内, 考虑材料损耗, 方向可控拐弯波导最高达到正反向传输隔离度为 28.446dB, 正向传输插入损耗为 0.0664dB。

实施例 2

参照图 1 (d) 和 (i), 方向可控拐弯波导由磁光薄膜波导构成, 拐弯角度为 90° 。在工作频段内, 通过电磁铁电流控制磁光材料所加磁场方向垂直纸面向外, 拐弯波导将从端口 1 到端口 2 导通; 相反, 控制磁场方向垂直纸面向里, 拐弯波导将从端口 2 到端口 1 导通。此两种情况的正反向传输效率相同。参照图 5, 方向可控拐弯波导的工作频率范围是 5.00GHz ~ 7.40GHz。在工作频率范围内, 考虑材料损

耗，方向可控拐弯波导最高达到正反向传输隔离度为 31.993dB，正向传输插入损耗为 0.0163dB。

实施例 3

参照图 1 (f)，方向可控拐弯波导由磁光薄膜波导构成，拐弯角度为 135°。在工作频段内，通过电磁铁电流控制磁光材料所加磁场方向垂直纸面向外，拐弯波导将从端口 1 到端口 2 导通；相反，控制磁场方向垂直纸面向里，拐弯波导将从端口 2 到端口 1 导通。此两种情况的正反向传输效率相同。参照图 6，方向可控拐弯波导的工作频率范围是 5.06GHz ~ 7.40GHz。在工作频率范围内，考虑材料损耗，方向可控拐弯波导最高达到正反向传输隔离度为 27.447dB，正向传输插入损耗为 0.0490dB。

实施例 4

参照图 1 (h)，方向可控拐弯波导由磁光薄膜波导构成，拐弯角度为 180°。在工作频段内，通过电磁铁电流控制磁光材料所加磁场方向垂直纸面向外，拐弯波导将从端口 1 到端口 2 导通；相反，控制磁场方向垂直纸面向里，拐弯波导将从端口 2 到端口 1 导通。此两种情况的正反向传输效率相同。参照图 7，方向可控拐弯波导的工作频率范围是 5.00GHz ~ 7.39GHz。在工作频率范围内，考虑材料损耗，方向可控拐弯波导最高达到正反向传输隔离度为 35.752dB，正向传输插入损耗为 0.0383dB。

由图 4、图 5、图 6 和图 7 不同拐弯角度的磁光薄膜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薄膜拐弯波导所传输

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，本发明低损磁光薄膜磁表面快波模可控单向任意拐弯波导是能够有效工作的。

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，不当理解为对本发明限制。

权利要求书

1.一种无泄漏低损磁光薄膜磁表面快模可控单向任意拐弯波导，其包括一个光输入端（1）、一个光输出端（2）、一个磁光薄膜（3）、背景介质（4）、两个吸波层（5、6）和一个偏置磁场；所述单向拐弯波导的端口（1）为光输入端、其端口（2）为光输出端；所述磁光薄膜（3）设置于背景介质中；所述磁光薄膜（3）采用磁光材料；所述磁光薄膜（3）和背景介质（4）为任意角度弯曲形；所述磁光薄膜（3）处设置有偏置磁场，且方向可控；所述磁光薄膜（3）弯曲部分为圆环形状；所述磁光材料与所述背景介质（4）的表面处为磁表面快波。

2.按照权利要求 1 所述的无泄漏低损磁光薄膜磁表面快模任意方向可控单向拐弯波导，其特征在于，所述磁光材料与所述背景介质（4）的分界面构成光波导。

3.按照权利要求 1 所述的无泄漏低损磁光薄膜磁表面快模可控单向任意拐弯波导，其特征在于，所述磁光薄膜（3）和所述背景介质（4）通过任意角度弯曲形与光输入端和光输出端连接。

4.按照权利要求 1 所述的无泄漏低损磁光薄膜磁表面快模可控单向任意拐弯波导，其特征在于，所述磁光薄膜（3）和背景介质（4）结构波导为平直波导。

5.按照权利要求 1 所述的无泄漏低损磁光薄膜磁表面快模可控单向任意拐弯波导，其特征在于，所述磁光材料为磁光玻璃或者各种稀土元素掺杂的石榴石和稀土-过渡金属合金薄膜等材料。

6.按照权利要求 1 所述的无泄漏低损磁光薄膜磁表面快模可控

单向任意拐弯波导，其特征在于，所述背景介质（4）为普通介质材料或者空气。

7.按照权利要求 1 所述的无泄漏低损磁光薄膜磁表面快模可控单向任意拐弯波导，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、180 度拐弯形状。

8.按照权利要求 1 所述的无泄漏低损磁光薄膜磁表面快模可控单向任意拐弯波导，其特征在于：所述吸波层（5、6）为相同或者不同的吸波材料；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体、石墨热塑性材料混合体、硼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、聚醚醚酮、聚醚砜、聚芳砜或者聚乙烯亚胺。

9.按照权利要求 1 所述的无泄漏低损磁光薄膜磁表面快模可控单向任意拐弯波导，其特征在于：所述吸波层（5、6）均分别与所述平直波导表面的距离为 $1/4$ 至 $1/2$ 波长；所述吸波层（5、6）的厚度均分别不小于 $1/4$ 波长。

10.按照权利要求 1 所述的无泄漏低损磁光薄膜磁表面快模可控单向任意拐弯波导，其特征在于：所述偏置磁场由电流方向可控电磁铁或永久磁铁产生，永久磁铁能旋转；所述方向可控拐弯波导单向拐弯波导由磁光材料薄膜波导构成；所述单向拐弯波导的工作模式为 TE 模式。

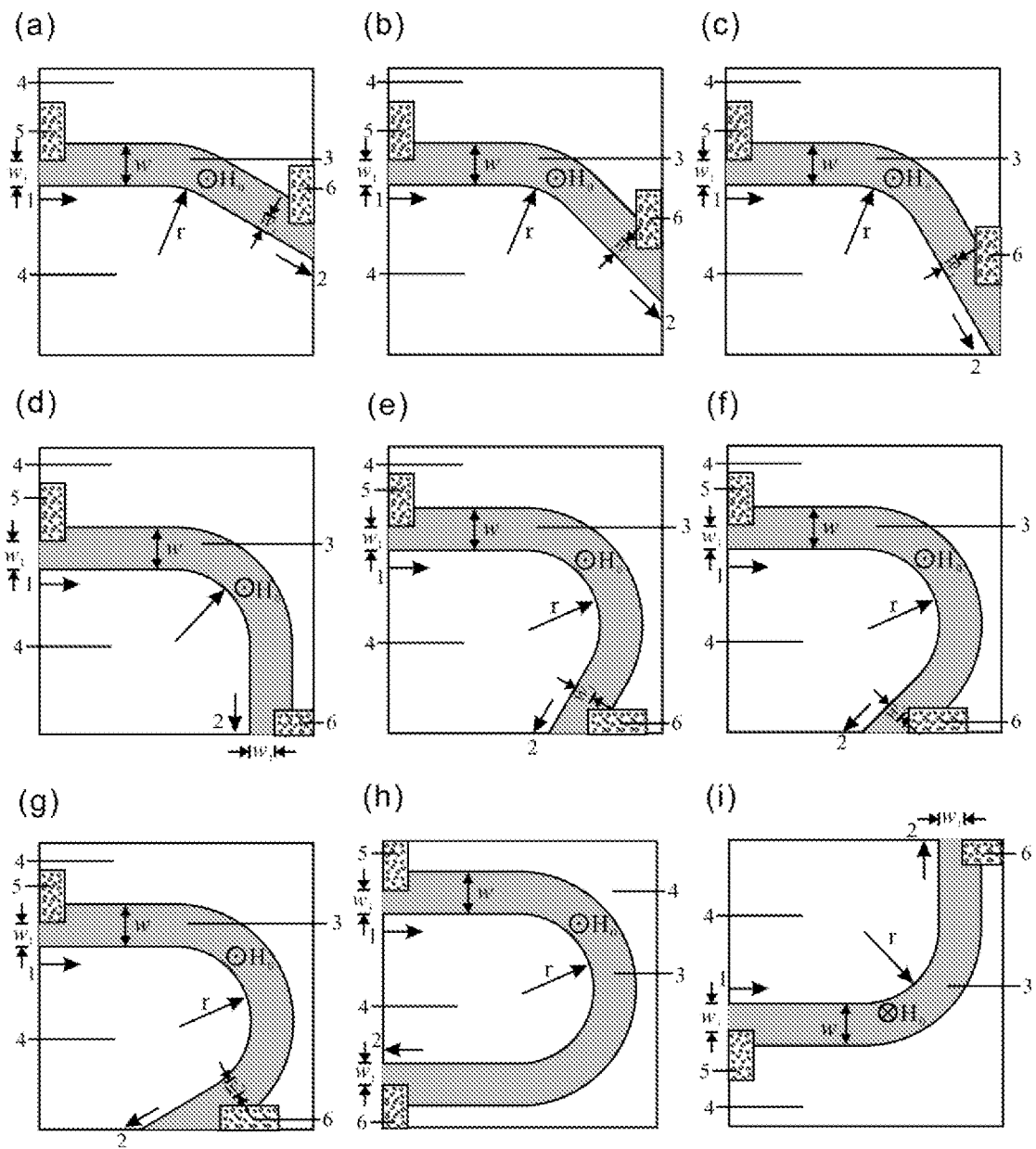


图 1

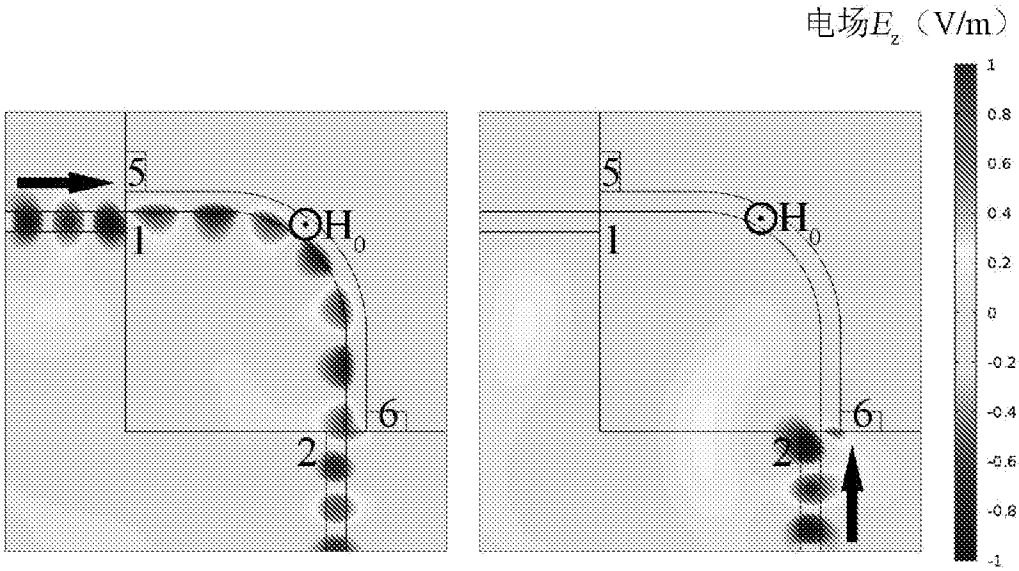


图 2

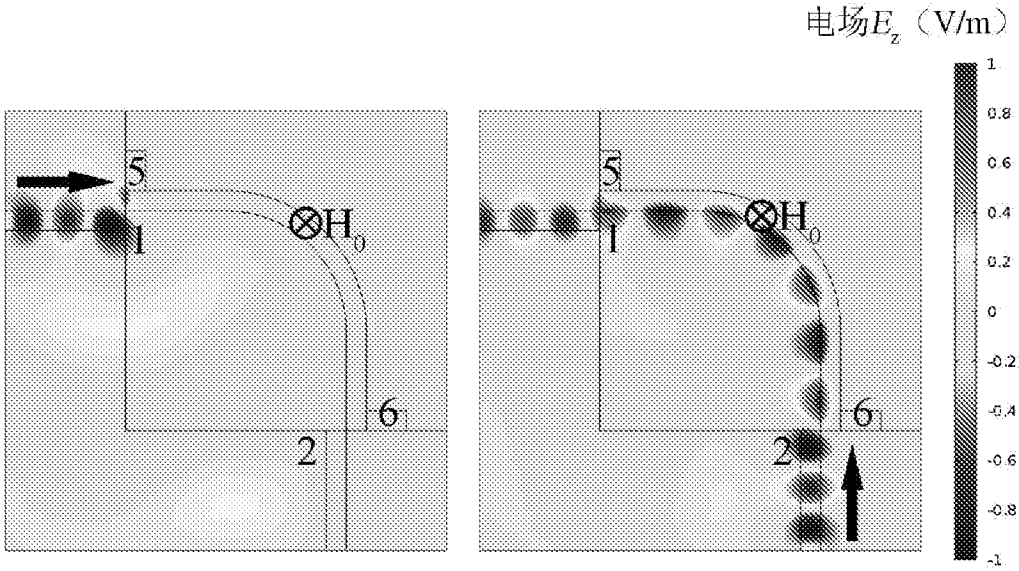


图 3

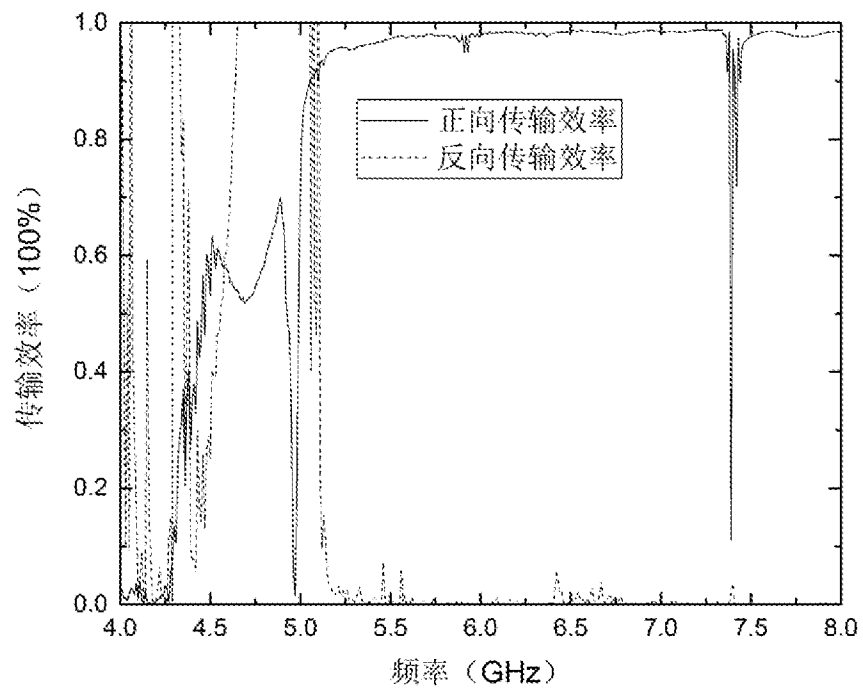


图 4

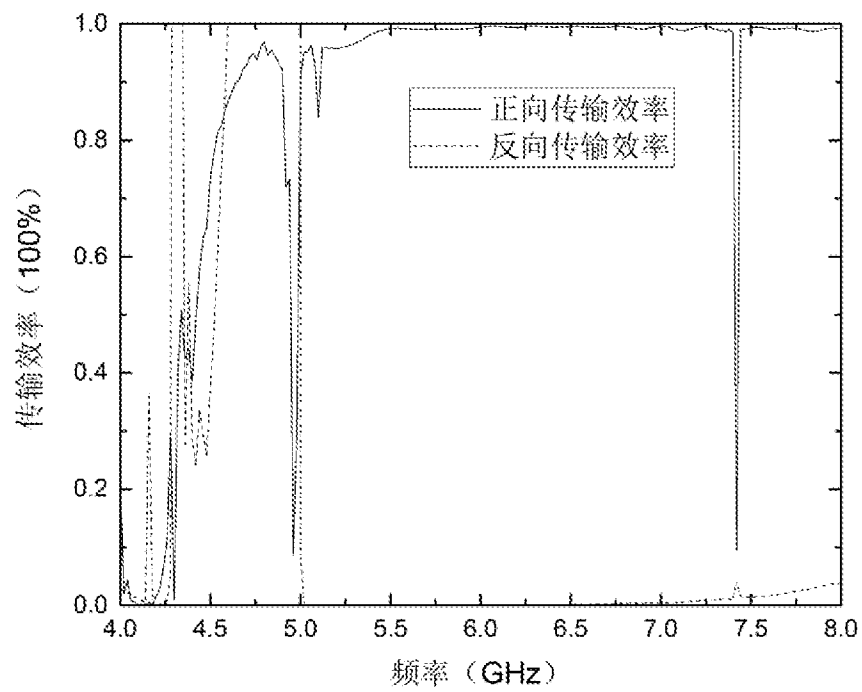


图 5

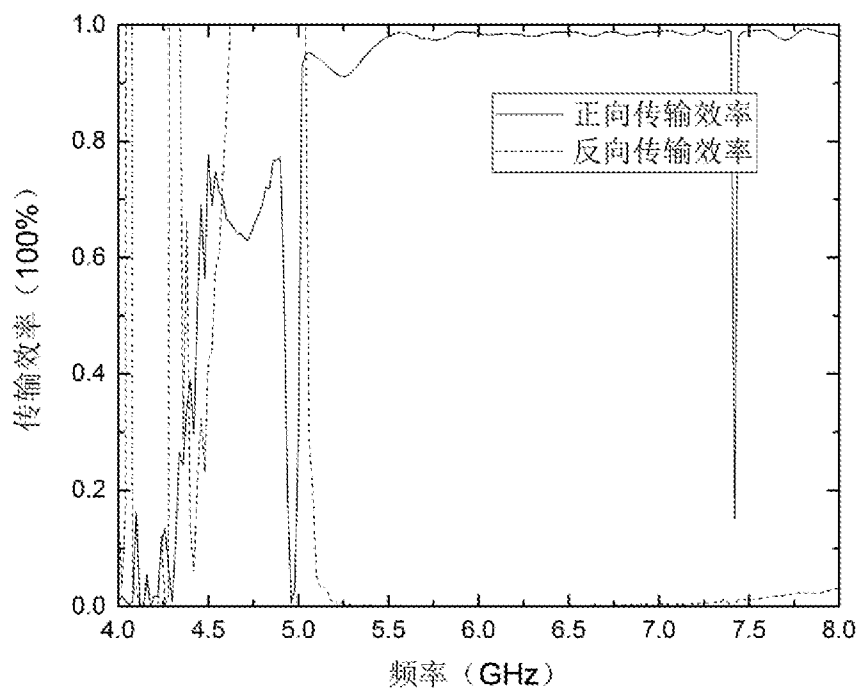


图 6

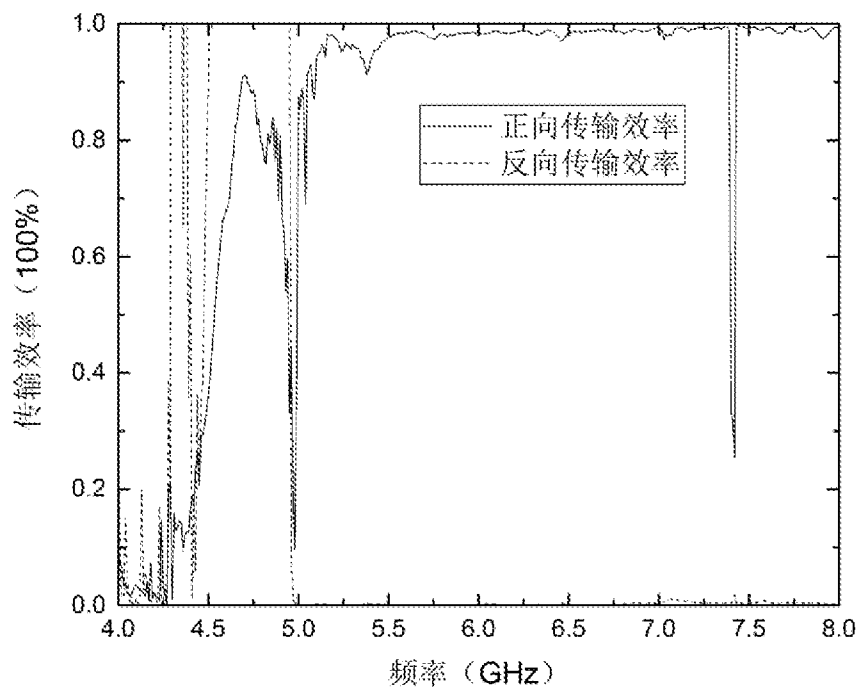


图 7

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2017/099810

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G02B 6/125 (2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G02B 6/-; G02F 1/-

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

CNPAT, CNK, WP, EPODOC: 欧阳征标, 郑耀贤, 深圳大学, 拐弯, 弯曲, 波导, 磁光, 薄膜, 材料, 磁场, 快波, 吸波, 隔离, 磁表面, waveguide, wave w guide, magneto w optic, magnetooptic, magneto w optical, magnetooptical, membrane, film, films, isolat+

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PX	CN 106154416 A (OUYANG, Zhengbiao) 23 November 2016 (23.11.2016), claims 1-10, description, paragraphs [0028]-[0054], and figures 1-7	1-10
PX	CN 106405729 A (OUYANG, Zhengbiao) 15 February 2017 (15.02.2017), claims 1-10, description, paragraphs [0027]-[0053], and figures 1-6	1-10
PX	CN 106249445 A (OUYANG, Zhengbiao) 21 December 2016 (21.12.2016), claims 1-10, description, paragraphs [0027]-[0053], and figures 1-6	1-10
A	CN 101672987 A (HUAWEI TECHNOLOGIES CO., LTD. et al.) 17 March 2010 (17.03.2010), description, page 4, line 12 to page 7, line 13, and figures 1-6	1-10
A	CN 104570409 A (OUYANG, Zhengbiao et al.) 29 April 2015 (29.04.2015), entire document	1-10

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	
“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date	“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search 06 November 2017	Date of mailing of the international search report 27 November 2017
Name and mailing address of the ISA State Intellectual Property Office of the P. R. China No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing 100088, China Facsimile No. (86-10) 62019451	Authorized officer GUAN, Jian Telephone No. (86-10) 61648171

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2017/099810

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 101375200 A (TOKYO INSTITUTE OF TECHNOLOGY et al.) 25 February 2009 (25.02.2009), entire document	1-10
A	WO 2009081488 A1 (SHIBAURA INSTITUTE OF TECHNOLOGY) 02 July 2009 (02.07.2009), entire document	1-10

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/CN2017/099810

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
CN 106154416 A	23 November 2016	None	
CN 106405729 A	15 February 2017	None	
CN 106249445 A	21 December 2016	None	
CN 101672987 A	17 March 2010	CN 101672987 B	02 January 2013
CN 104570409 A	29 April 2015	WO 2016050178 A1	07 April 2016
		CN 104570409 B	18 July 2017
CN 101375200 A	25 February 2009	WO 2007088998 A1	09 August 2007
		US 2009034909 A1	05 February 2009
		KR 20080100213 A	14 November 2008
		EP 1980895 A1	15 October 2008
WO 2009081488 A1	02 July 2009	None	

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2017/099810

A. 主题的分类

G02B 6/125(2006.01)i

按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和IPC两种分类

B. 检索领域

检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号)

G02B6/-;G02F1/-

包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献

在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称, 和使用的检索词(如使用))

CNPAT, CNKI, WPI, EPODOC: 欧阳征标, 郑耀贤, 深圳大学, 拐弯, 弯曲, 波导, 磁光, 薄膜, 材料, 磁场, 快波, 吸波, 隔离, 磁表面, waveguide, wave w guide, magneto w optic, magneto optic, magneto w optical, magnetooptical, membrane, film, films, isolat+

C. 相关文件

类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求
PX	CN 106154416 A (欧阳征标) 2016年 11月 23日 (2016 - 11 - 23) 权利要求第1-10项、说明书第[0028]-[0054]段、附图1-7	1-10
PX	CN 106405729 A (欧阳征标) 2017年 2月 15日 (2017 - 02 - 15) 权利要求第1-10项、说明书第[0027]-[0053]段、附图1-6	1-10
PX	CN 106249445 A (欧阳征标) 2016年 12月 21日 (2016 - 12 - 21) 权利要求第1-10项、说明书第[0027]-[0053]段、附图1-6	1-10
A	CN 101672987 A (华为技术有限公司 等) 2010年 3月 17日 (2010 - 03 - 17) 说明书第4页第12行-第7页第13行、附图1-6	1-10
A	CN 104570409 A (欧阳征标 等) 2015年 4月 29日 (2015 - 04 - 29) 全文	1-10
A	CN 101375200 A (国立大学法人东京工业大学 等) 2009年 2月 25日 (2009 - 02 - 25) 全文	1-10
A	WO 2009081488 A1 (SHIBAURA INSTITUTE OF TECHNOLOGY) 2009年 7月 2日 (2009 - 07 - 02) 全文	1-10

☐ 其余文件在C栏的续页中列出。☒ 见同族专利附件。

* 引用文件的具体类型:

“A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件

“E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利

“L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件 (如具体说明的)

“O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件

“P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件

“T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件

“X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性

“Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性

“&” 同族专利的文件

国际检索实际完成的日期

2017年 11月 6日

国际检索报告邮寄日期

2017年 11月 27日

ISA/CN的名称和邮寄地址

中华人民共和国国家知识产权局(ISA/CN)
中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088

受权官员

关键

传真号 (86-10)62019451

电话号码 (86-10)61648171

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2017/099810

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利			公布日 (年/月/日)
CN	106154416	A	2016年 11月 23日	无			
CN	106405729	A	2017年 2月 15日	无			
CN	106249445	A	2016年 12月 21日	无			
CN	101672987	A	2010年 3月 17日	CN	101672987	B	2013年 1月 2日
CN	104570409	A	2015年 4月 29日	WO	2016050178	A1	2016年 4月 7日
				CN	104570409	B	2017年 7月 18日
CN	101375200	A	2009年 2月 25日	WO	2007088998	A1	2007年 8月 9日
				US	2009034909	A1	2009年 2月 5日
				KR	20080100213	A	2008年 11月 14日
				EP	1980895	A1	2008年 10月 15日
WO	2009081488	A1	2009年 7月 2日	无			

表 PCT/ISA/210 (同族专利附件) (2009年7月)