

(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
2017 年 8 月 24 日 (24.08.2017)



(10) 国际公布号
WO 2017/140141 A1

- (51) 国际专利分类号:
G02B 6/26 (2006.01) *G02B 6/122* (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2016/106653
- (22) 国际申请日: 2016 年 11 月 21 日 (21.11.2016)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:
201610085963.5 2016 年 2 月 15 日 (15.02.2016) 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: 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)。 吴昌义 (WU, Changyi); 中国广东省深圳市南山区南海大道 3688 号, Guangdong 518060 (CN)。 金鑫 (JIN, Xin); 中国广东省深圳市南山区南海大道 3688 号, Guangdong 518060 (CN)。
- (74) 代理人: 深圳力拓知识产权代理有限公司 (SHENZHEN LITUO INTELLECTUAL PROPERTY AGENCY CO., LTD.); 中国广东省深圳市南山区深

南大道 10128 号南山软件园东塔楼 1701, Guangdong 518000 (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, JP, KE, KG, 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)。

本国际公布:

— 包括国际检索报告 (条约第 21 条(3))。

(54) Title: RIGHT-ANGLED OUTPUT MAGNETO-OPTICAL MODULATOR FOR PHOTONIC CRYSTAL T-SHAPED WAVEGUIDE

(54) 发明名称: 基于光子晶体 T 型波导的直角输出磁光调制器

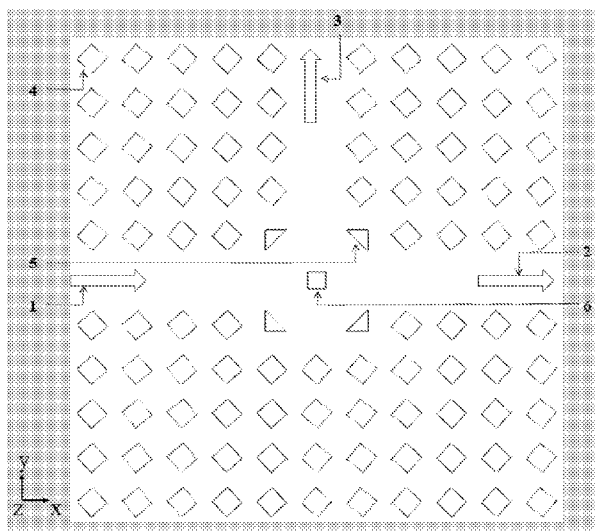


图 1

(57) Abstract: A right-angled output magneto-optical modulator for a photonic crystal-based T-shaped waveguide, comprising one photonic crystal T-shaped waveguide having a TE band gap. The modulator also comprises one input end (1), two output ends (2 and 3), a background silicon dielectric rod (4), isosceles right triangle defective dielectric rods (5), and a defective dielectric rod (6). The modulator also comprises one magnet (7) providing a bias magnetic field, one modulation current supply (9), and one modulation signal (10). The left end of the photonic crystal T-shaped waveguide is the input end (1). The output ends (2 and 3) respectively are arranged at the right end and the upper end of the photonic crystal T-shaped waveguide. The defective dielectric rod (6) is arranged at the center intersection of the T-shaped waveguide. Four isosceles right triangle defective dielectric rods (5) respectively are arranged at the four corners of the intersection of the T-shaped waveguide. The photonic crystal waveguide inputs a TE carrier light from the input end (1) and then outputs an amplitude-modulated light from the output end (3) at the upper end of the photonic crystal T-shaped waveguide. The right-angled output magneto-optical modulator efficiently implements right-angled output for the photonic crystal T-shaped waveguide.

(57) 摘要:

[见续页]



一种基于光子晶体 T 型波导的直角输出磁光调制器，包括一个具有 TE 禁带的光子晶体 T 型波导；调制器还包括一个输入端(1)、两个输出端(2、3)、背景硅介质柱(4)、等腰直角三角形缺陷介质柱(5)和缺陷介质柱(6)；调制器还包括一个提供偏置磁场的电磁铁(7)、一个调制电流源(9)和一个调制信号(10)；光子晶体 T 型波导的左端为输入端(1)，输出端(2、3)分别位于光子晶体 T 型波导的右端、上端；缺陷介质柱(6)位于 T 型波导中心交叉处；4 个等腰直角三角形缺陷介质柱(5)分别位于 T 型波导交叉的四个拐角处；光子晶体波导由输入端(1)输入 TE 载波光，再从光子晶体 T 型波导上端的输出端(3)输出调幅光。该直角输出磁光调制器可以高效实现光子晶体 T 型波导的直角输出。

基于光子晶体 T 型波导的直角输出磁光调制器

技术领域

本发明涉及一种调制器，尤其涉及一种基于光子晶体 T 型波导的直角输出磁光调制器。

背景技术

传统的光学调制器一般利用晶体的电光效应来实现对光的调制，需要有一个微波调制信号，一块电光晶体，一个干涉结构，如马赫-曾德干涉结构等。由于电光晶体的电光系数的限制，需要采用几何尺寸比较长的电光晶体，这样使得光学调制器的体积较大，只能用在传统光学器件中，无法集成到光学芯片中。光调制器是在整体光通信的光发射、传输、接收过程中用于控制光强度的关键器件，也是最重要的集成光学器件之一。

发明内容

本发明的目的是克服现有技术中的不足，提供一种结构体积小，高效短程便于集成的光子晶体 T 型波导的直角输出磁光调制器。

本发明的目的通过下述技术方案予以实现。

本发明基于光子晶体 T 型波导的直角输出磁光调制器，包括一个具有 TE 禁带的光子晶体 T 型波导；所述调制器还包括一个输入端 1，两个输出端 2、3，背景硅介质柱 4，等腰直角三角形缺陷介质柱 5 和缺陷介质柱 6，所述调制器还包括一个提供偏置磁场的电磁铁、一个调制电流源和一个调制信号；所述光子晶体 T 型波导的左端为输入端 1，所述输出端 2、3 分别位于光子晶体 T 型波导的右端、上端；所述缺陷介质柱 6 位于 T 型波导中心交叉处；所述 4 个等腰直角三角形缺陷介质柱 5 分别位于 T 型波导交叉的四个拐角处；所述光子晶体波

导由端口 1 输入 TE 载波光，端口 3 输出调幅光。

所述调制器进一步包括导线 8；所述电磁铁 7 的一端与调制电流源 9 的负极相连接；所述电磁铁 7 的另一端通过导线 8 与调制电流源 9 的正极相连接；所述调制电流源 9 与调制信号 10 相连接。

所述光子晶体为二维正方晶格光子晶体。

所述光子晶体由高折射率材料和低折射率材料组成；所述高折射率材料为硅或折射率大于 2 的介质；所述低折射率介质为空气或折射率小于 1.4 的介质。。

所述 T 型波导为光子晶体中移除中间一横排和中间一竖排介质柱后的结构。

所述 T 型波导交叉拐角处的 4 个背景介质柱各删除一个角以形成等腰直角三角形缺陷介质柱，该等腰直角三角形缺陷介质柱 5 为三角柱型。

所述背景硅介质柱 4 的形状为正方形。

所述正方形硅介质柱以介质柱轴线 z 轴方向逆时针旋转 41 度。

所述缺陷介质柱 6 为铁氧体方柱，其形状为正方形，所述铁氧体方柱的磁导率为各向异性，且受偏置磁场的控制，偏置磁场方向沿着铁氧体方柱的轴线方向。

所述所述端口 2 与端口 3 成直角布局，端口 3 为调制输出端口。

本发明与现有技术相比具有以下的优点：

- (1) 结构体积小，时间响应快，光传输效率高，适合大规模光路集成；
- (2) 可以短程高效地实现 TE 载波光波信号调制器，，便于集成，具有极大的实用价值；
- (3) 应用光子晶体可等比例缩放的特性，通过等比例改变晶格常数的方法，可以实现不同波长光子晶体 T 型波导的直角输出磁光调制器的功能；
- (4) 高对比度、高隔离度，同时还具有较宽的工作波长范围，可以允许有

一定频谱宽度的脉冲，或高斯光，或不同波长的光工作，或多个波长的光同时工作，具有实用意义。

附图说明

图 1 是本发明基于光子晶体 T 型波导的直角输出磁光调制器的一种结构示意图。

图中： 输入端 1 输出端 2 输出端 3 背景硅介质柱 4 等腰直角三角形缺陷介质柱 5 缺陷介质柱 6

图 2 是本发明基于光子晶体 T 型波导的直角输出磁光调制器的另一种结构示意图。

图中： 电磁铁 7 导线 8 调制电流源 9 调制信号 10

图 3 是本发明基于光子晶体 T 型波导的直角输出磁光调制器结构参数分布图。

图 4 是本发明基于光子晶体 T 型波导的直角输出磁光调制器的偏置磁场正弦波形图。

图 5 是本发明基于光子晶体 T 型波导的直角输出磁光调制器在一个周期内随偏置磁场变化时磁导率 μ ， k 的值的关系图。

图 6 是本发明基于光子晶体 T 型波导的直角输出磁光调制器的调制曲线图。

图 7(a)是实施例 1 中光子晶体 T 型波导的直角输出磁光调制器的调制曲线图。

图 7(b)是实施例 1 中光子晶体 T 型波导的直角输出磁光调制器的调制灵敏度图。

图 8(a)是实施例 2 中光子晶体 T 型波导的直角输出磁光调制器的调制曲线图。

图 8(b)是实施例 2 中光子晶体 T 型波导的直角输出磁光调制器的调制灵敏度图。

图 9(a)是实施例 3 中光子晶体 T 型波导的直角输出磁光调制器的调制曲线图。

图 9(b)是实施例 3 中光子晶体 T 型波导的直角输出磁光调制器的调制灵敏度图。

图 10 是本发明光子晶体 T 型波导的直角输出磁光调制器的光场分布示意图。

具体实施方式

如图 1 所示, 本发明光子晶体 T 型波导的直角输出磁光调制器的结构示意图(删除偏置电路和偏置线圈), 包括一个具有 TE 禁带的光子晶体 T 型波导, 该调制器还包括一个输入端 1、, 两个输出端 2、3、背景硅介质柱 4、等腰直角三角形缺陷介质柱 5 和缺陷介质柱 6; 本器件初始信号光从左方端口 1 入射, 端口 2 和端口 3 输出光波; 光子晶体 T 型波导的左端为输入端 1, 端口 2、3 分别位于光子晶体 T 型波导的右端、上端, 该端口 2 与端口 3 成直角布局; ;光子晶体波导由端口 1 输入 TE 载波光, 再从端口 3 输出调幅光; 背景硅介质柱 4 的形状为正方形, 光轴方向垂直纸面向外, 等腰直角三角形缺陷介质柱 5 为, T 型波导交叉拐角处的 4 个背景介质柱各删除一个角以形成等腰直角三角形缺陷介质柱, 该等腰直角三角形缺陷介质柱 5 为三角柱型, 4 个等腰直角三角形缺陷介质柱 5 分别位于 T 型波导交叉的四个拐角处, 光轴方向与背景介质柱相同, 缺陷介质柱 6 述缺陷介质柱为铁氧体方柱, 其形状为正方形, 其位于 T 型波导中心交叉处, 光轴方向垂直纸面向外; 该铁氧体方柱的磁导率为各向异性, 且受偏置磁场的控制, 偏置磁场方向沿着铁氧体方柱的轴线方向。如图 2 所示, 本发明的

光子晶体 T 型波导的直角输出磁光调制器的结构示意图(含有偏置电路和偏置线圈), 调制器包括一个提供偏置磁场的电磁铁 7 (电磁铁线圈), 一个调制电流源 9 和一个与调制信号 10, 调制器还包括导线 8; 电磁铁 7 的一端与调制电流源 9 的负极相连接; 电磁铁 7 的另一端通过导线 8 与调制电流源 9 的正极相连接; 调制电流源 9 与调制信号 10 相连接。本发明调制器如图 1 和图 3 所示采用笛卡尔直角坐标系: x 轴正方向为水平向右; y 轴正方向为竖直向上; z 轴正方向为垂直于纸面向外。

如图 3 所示, 本器件的相关参数为:

$$d_1 = a \quad (\text{晶格常数})$$

$$d_2 = 0.3 a \quad (\text{正方形硅柱边长})$$

$$d_3 = 0.2217 a \quad (\text{正方形缺陷介质柱边长})$$

$$d_4 = 0.3 a \quad (\text{等腰直角三角形缺陷柱腰长})$$

$$d_5 = 1.2997 a \quad (\text{等腰直角三角形缺陷柱斜边到正方形缺陷介质柱中心的距离})$$

$$d_6 = 1.577 a \quad (\text{波导宽长})$$

本发明的光子晶体为正方晶格, 晶格常数为 a , 介质柱边长为 $0.3a$, 在光子晶体正方形硅介质柱参考介质柱轴线方向 (z 轴) 逆时针旋转 41 度时, 采用平面波展开法得到光子晶体中 TE 禁带结构, 其光子 TE 禁带为 0.3150 至 0.4548 ($\omega a / 2\pi c$), 其中间的任何频率的光波将被限制在波导中, 正方晶格介质柱参考介质柱轴线方向 (z 轴) 逆时针旋转 41 度后, 获得了更大更宽的禁带范围。

本发明所使用硅介质波导需要删除一行和一系列介质柱而形成 T 型波导。波导平面垂直于光子晶体中的介质柱的轴线。通过在上述 T 型波导交叉处引入一

个铁氧体方柱（正方形缺陷介质柱 6），其边长为 $0.2217a$ ，4 个等腰直角三角形缺陷介质柱 5 斜边面分别到铁氧体柱（正方形缺陷介质柱 6）轴线的距离为 $1.2997a$ 。铁氧体方柱的光轴与背景介质柱的光轴方向一致。

本发明的原理介绍主要针对磁光介质加以解释。铁氧体是一种磁各向异性的材料，铁氧体的磁各向异性是由外加直流偏置磁场所诱导的。该磁场使铁氧体中的磁偶极子循同一方向排列，从而产生合成的磁偶极距，并使磁偶极子由偏置磁场强度所控制的频率下做进动。通过调整偏置磁场强度可控制与外加微波信号的相互作用，从而实现光子晶体 T 型波导的直角输出磁光调制器。在偏置磁场的作用下，铁氧体的磁导率张量表现为非对称性，其中铁氧体张量磁导率 $[\mu]$ 为：

$$[\mu] = \mu_0[U] + [\chi] = \begin{pmatrix} \mu & jk & 0 \\ -jk & \mu & 0 \\ 0 & 0 & \mu_0 \end{pmatrix} \quad (\hat{z} \text{ 偏置}) \quad (1)$$

磁导率张量的矩阵元由以下方程给出：

$$\omega_0 = \mu_0 \gamma H_0 \quad (2)$$

$$\omega_m = \mu_0 \gamma M_s \quad (3)$$

$$\omega = 2\pi f \quad (4)$$

$$\mu = \mu_0 \left(1 + \frac{\omega_0 \omega_m}{\omega_0^2 - \omega^2}\right) \quad (5)$$

$$k = \mu_0 \frac{\omega \omega_m}{\omega_0^2 - \omega^2} \quad (6)$$

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， $p = k / \mu$ 为归一化磁化频率，也叫分离因子，参数 μ 和 k 决定不同铁氧体材料，具有这种形式的磁导率张量的材料称为旋磁性的，假定偏置的方向是相反的，则 H_0 和 M_s 将改变符号，所以旋转方向也会相反。

偏置磁场由偏置电磁铁产生，该偏置电磁铁中加载偏置电流，偏置电流为调制信号。

通过外加磁场按正弦波形变化来调节偏置磁场 H 的大小，引起磁导率的改变，从而改变端口 2、3 输出的光的强度，从而实现了对光信号的调制。

设偏置磁场 $H = H_0 + H_1 \sin(nt)$, $t \in (0, 2\pi/n)$, n 的取值我们可以根据需求来确定。 H 按正弦波形规律变化，如图 4 所示，将正弦波形在一个周期（称为调制周期）内等分为 20 段，共 21 个点，对每个点的磁场值，计算出磁导率值，如图 5 所示，并计算出端口 2、3 通道的光波电场幅度，如图 6 所示。

令参数 $d_3 = 0.2217a$, $d_5 = 1.2997a$, $M_s = 2.39 \times 10^5 [\text{A/m}]$ 。在归一化光波频率 $\omega a / 2\pi c = 0.4121$ 时，参照图 6，仿真计算得到在一个周期内端口 2、3 通道的光波的电场幅度随调制磁场变化的调制曲线，即调制曲线图，参照图 7 (a)。

当在硅介质柱阵列波导中引入上述缺陷后，在磁场 $H = H_0 + H_1$ 时，入射信号端口位于图 1 所示左方端口 1 的位置，该端口 1 处为 TE 载波光信号。载波光信号在以硅介质柱 4 的介质柱阵列形成的波导中传播，TE 载波光信号到达缺陷介质柱 6 的缺陷位置后，TE 载波光信号将全部通过，最后 TE 载波光信号将在输出端口 3 位置输出，TE 载波光信号在端口 2 输出位置几乎没有输出。在磁场 $H = H_0 - H_1$ 时，入射信号端口位于图 1 所示左方端口 1 的位置，该端口 1 处为 TE 载波光信号。载波光信号在以硅介质柱 4 的介质柱阵列形成的波导中传播，TE 载波光信号到达缺陷介质柱 6 的缺陷位置后，TE 载波光信号将全部通过，最后 TE 载波光信号将在输出端口 2 位置输出，TE 载波光信号在输出端口 3 位置几乎没有输出。所以将端口 3 作为调制输出端口，将 21 个 H 值下的端口 3 通道的光波电场幅度画出，即得通过光波的电场幅度随调制磁场变化的曲线，为调制曲线，参照图 8(a)。根据调制曲线，可以求出调制灵敏度，调制灵敏度=通

道中光波电场的幅度对调制磁场幅度的导数,即是调制曲线的斜率,参照图 8(b)。根据调制曲线还可以求出调制深度,调制深度=2(最大电场幅度-最小电场幅度)/(最大电场幅度+最小电场幅度)。

通过图 8(a)可知,该调制深度为 0.39356。如果在调制曲线上输入一个正弦偏置磁场,则在线性范围内,端口 3 的电场幅度围绕静态工作点大致按正弦规律变化,这说明本研究具有较理想的调制作用。

通过图 8(b)可知,该调制灵敏度为 0.00181。

对于晶格常数和工作波长的选取,可以采用以下方式确定。通过公式

$$\lambda = \lambda_{norm} a = \frac{a}{f_{norm}} \quad (7)$$

其中以及本发明中正方晶格硅结构的的归一化禁带频率范围

$$f_{norm} = 0.3150 \sim 0.4548 \quad (8)$$

计算出相应的禁带波长范围为:

$$\lambda = 2.1987a \sim 3.1746a \quad (9)$$

由此可见在不考虑色散或材质色散变化很小的情况下,可以通过改变晶格常数 a 的值得到与其等比例的满足波长范围的 λ 值。工作波长可以在不考虑色散或色散可忽略的情况下通过介质柱间晶格常数来调节。

实施例 1

本实施例中,在不考虑色散或材质色散变化很小的情况下,通过等比例改变晶格常数的方法,可以实现不同波长光子晶体 T 型波导的直角输出磁光调制器的功能。令参数 $a=6.1772 \times 10^{-3}[\text{m}]$, $d_2=0.3a$, $d_3=0.2217a$, $d_5=1.2997a$, $M_s=2.39 \times 10^5[\text{A/m}]$, $H_0=4.79925 \times 10^5[\text{A/m}]$, $H_1=225[\text{A/m}]$ 。归一化光波频率 $\omega a / 2\pi c = 0.4121$, 其他参数不变,使其对应到 20GHz 的光波载波。参照图 7(a),

通过仿真计算得到在一个周期内端口 3 通道的光波的电场幅度随调制磁场变化的调制曲线，即调制曲线图。参照图 7(b)，在一个周期内端口 3 通道中的调制曲线的斜率，即调制灵敏度图。该结构具有较理想的调制器功能。

实施例 2

本实施例中，在不考虑色散或材质色散变化很小的情况下，通过等比例改变晶格常数的方法，可以实现不同波长光子晶体 T 型波导的直角输出磁光调制器的功能。令参数 $a=4.1181 \times 10^{-3}[\text{m}]$ ， $d_2=0.3 a$ ， $d_3=0.2217a$ ， $d_5=1.2997a$ ， $M_s=2.39 \times 10^5[\text{A/m}]$ ， $H_0=7.5696 \times 10^5[\text{A/m}]$ ， $H_1=135[\text{A/m}]$ 。归一化光波频率 $\omega a/2\pi c=0.4121$ ，其他参数不变，使其对应到 30GHz 的光波载波。参照图 8(a)，通过仿真计算得到在一个周期内端口 3 通道的光波的电场幅度随调制磁场变化的调制曲线，即调制曲线图。参照图 8(b)，在一个周期内端口 3 通道中的调制曲线的斜率，即调制灵敏度图。该结构具有较理想的调制器功能。

实施例 3

本实施例中，在不考虑色散或材质色散变化很小的情况下，通过等比例改变晶格常数的方法，可以实现不同波长光子晶体 T 型波导的直角输出磁光调制器的功能。令参数 $a=3.0886 \times 10^{-3}[\text{m}]$ ， $d_2=0.3 a$ ， $d_3=0.2217a$ ， $d_5=1.2997a$ ， $M_s=2.39 \times 10^5[\text{A/m}]$ ， $H_0=10.38505 \times 10^5[\text{A/m}]$ ， $H_1=135[\text{A/m}]$ 。归一化光波频率 $\omega a/2\pi c=0.4121$ ，其他参数不变，使其对应到 40GHz 的光波载波。参照图 9(a)，通过仿真计算得到在一个周期内端口 3 通道的光波的电场幅度随调制磁场变化的调制曲线，即调制曲线图。参照图 9(b)，在一个周期内端口 3 通道中的调制曲线的斜率，即调制灵敏度图。该结构具有较理想的调制器功能。

通过图 10 为可知，在有限元软件 COMSOL 进行计算，得到的光场模拟图，参照图 11 (a)、11 (b) 可知，TE 载波光被调制传播至端口 2、端口 3。

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. 一种基于光子晶体 T 型波导的直角输出磁光调制器，其特征在于，包括一个具有 TE 禁带的光子晶体 T 型波导；所述调制器还包括一个输入端（1）、两个输出端（2、3）、背景硅介质柱（4）、等腰直角三角形缺陷介质柱（5）和缺陷介质柱（6），所述调制器还包括一个提供偏置磁场的电磁铁（7）、一个调制电流源（9）和一个调制信号（10）；所述光子晶体 T 型波导的左端为输入端（1）；所述两个输出端（2、3）分别位于光子晶体 T 型波导的右端、上端；所述缺陷介质柱（6）位于 T 型波导中心交叉处；所述 4 个等腰直角三角形缺陷介质柱（5）分别位于 T 型波导交叉的四个拐角处；所述光子晶体波导由端口（1）输入 TE 载波光，再从端口（3）输出调幅光。

2. 按照权利要求 1 所述的基于光子晶体 T 型波导的直角输出磁光调制器，其特征在于：所述调制器进一步包括导线（8）；所述电磁铁（7）的一端与调制电流源（9）的负极相连接；所述电磁铁（7）的另一端通过导线（8）与调制电流源（9）的正极相连接；所述调制电流源（9）与调制信号（10）相连接。

3. 按照权利要求 1 所述的基于光子晶体 T 型波导的直角输出磁光调制器，其特征在于：所述光子晶体为二维正方晶格光子晶体。

4. 按照权利要求 1 所述的基于光子晶体 T 型波导的直角输出磁光调制器，其特征在于：所述光子晶体由高折射率材料和低折射率材料组成；所述高折射率材料为硅或折射率大于 2 的介质；所述低折射率介质为空气或折射率小于 1.4 的介质。

5. 按照权利要求 1 所述的基于光子晶体 T 型波导的直角输出磁

光调制器，其特征在于：所述 T 型波导为光子晶体中移除中间一横排和中间一竖排介质柱后的结构。

6. 按照权利要求 1 所述的基于光子晶体 T 型波导的直角输出磁光调制器，其特征在于：所述 T 型波导交叉拐角处的 4 个背景介质柱各删除一个角以形成等腰直角三角形缺陷介质柱，该等腰直角三角形缺陷介质柱（5）为三角柱型。

7. 按照权利要求 1 所述的基于光子晶体 T 型波导的直角输出磁光调制器，其特征在于：所述背景硅介质柱（4）的形状为正方形。

8. 按照权利要求 7 所述的基于光子晶体 T 型波导的直角输出磁光调制器，其特征在于：所述正方形硅介质柱以介质柱轴线 z 轴方向逆时针旋转 41 度。

9. 按照权利要求 1 所述的基于光子晶体 T 型波导的直角输出磁光调制器，其特征在于：所述缺陷介质柱（6）为铁氧体方柱，其形状为正方形，所述铁氧体方柱的磁导率为各向异性，且受偏置磁场的控制，偏置磁场方向沿着铁氧体方柱的轴线方向。

10. 按照权利要求 1 所述的基于光子晶体 T 型波导的直角输出磁光调制器，其特征在于，所述端口（2）与端口（3）成直角布局，该端口（3）为调幅波输出端口。

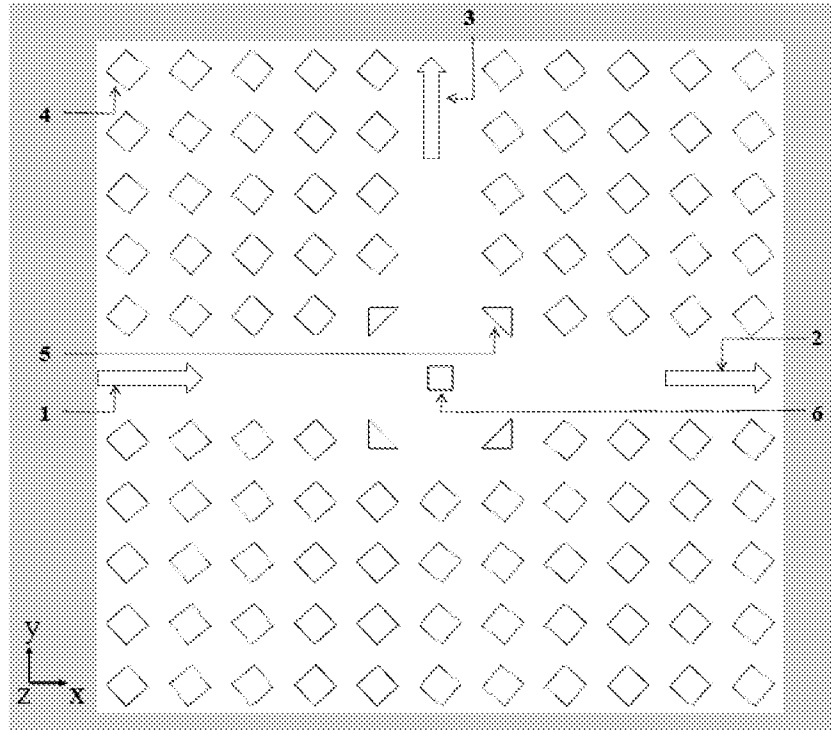


图 1

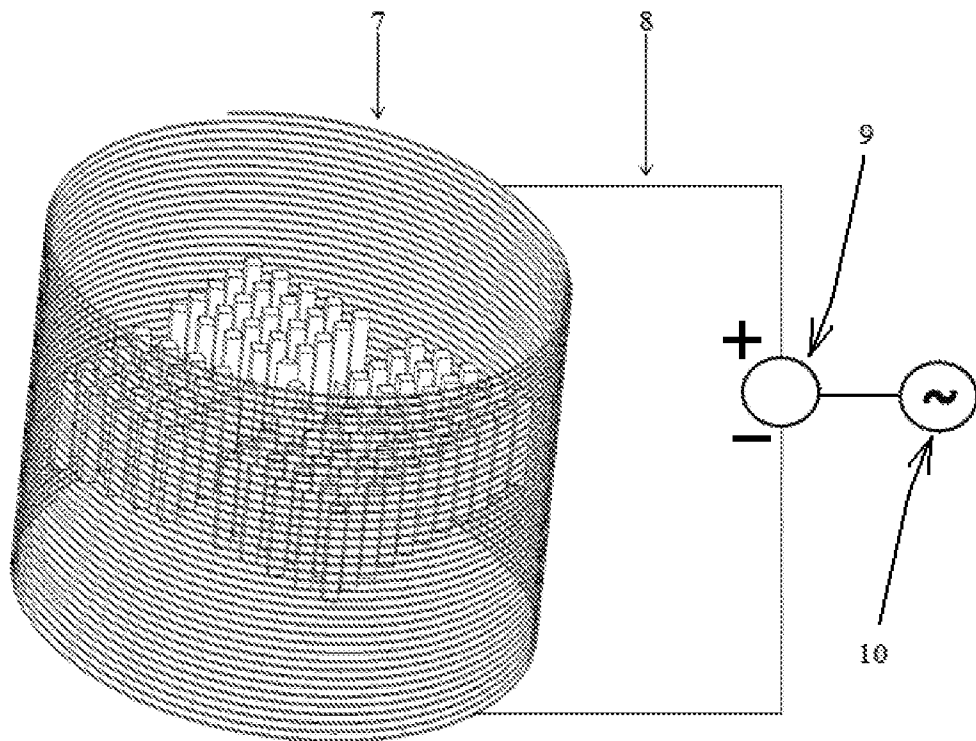


图 2

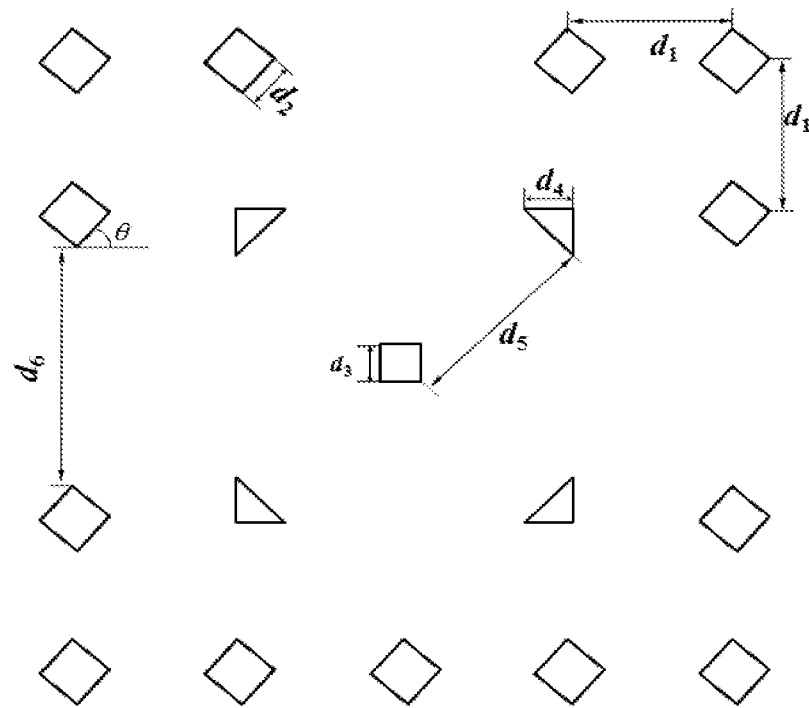


图 3

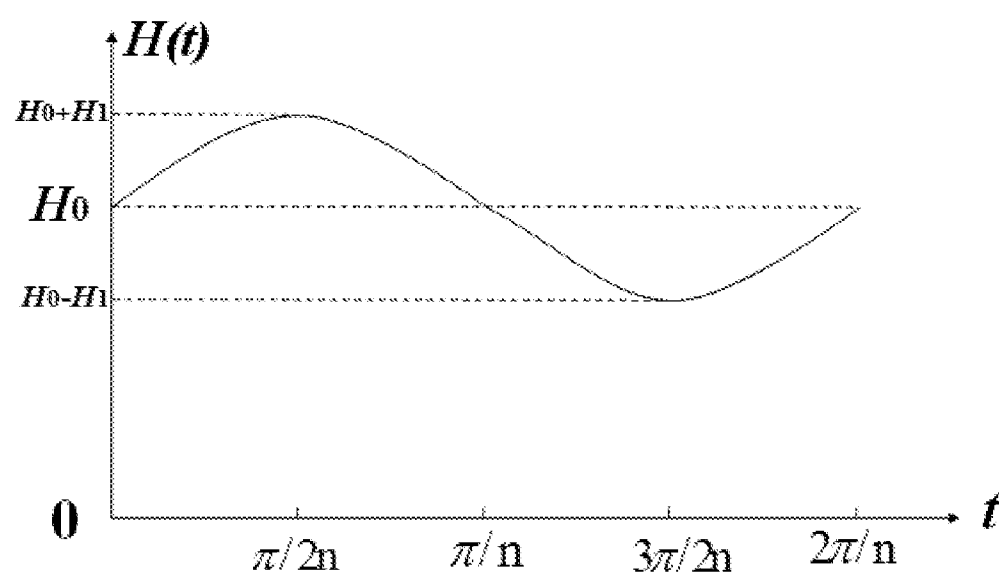


图 4

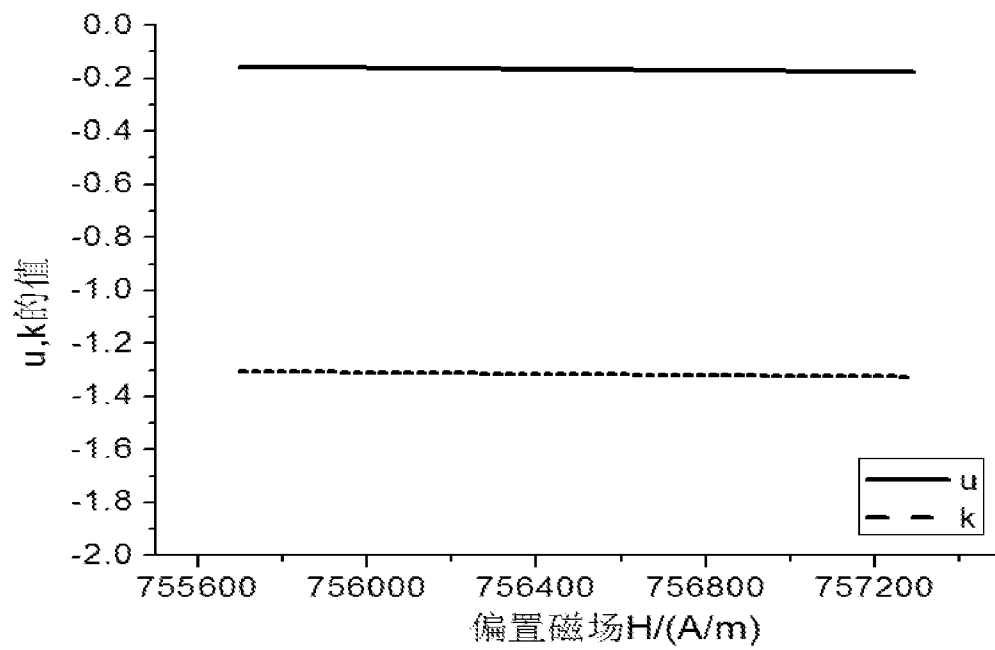


图 5

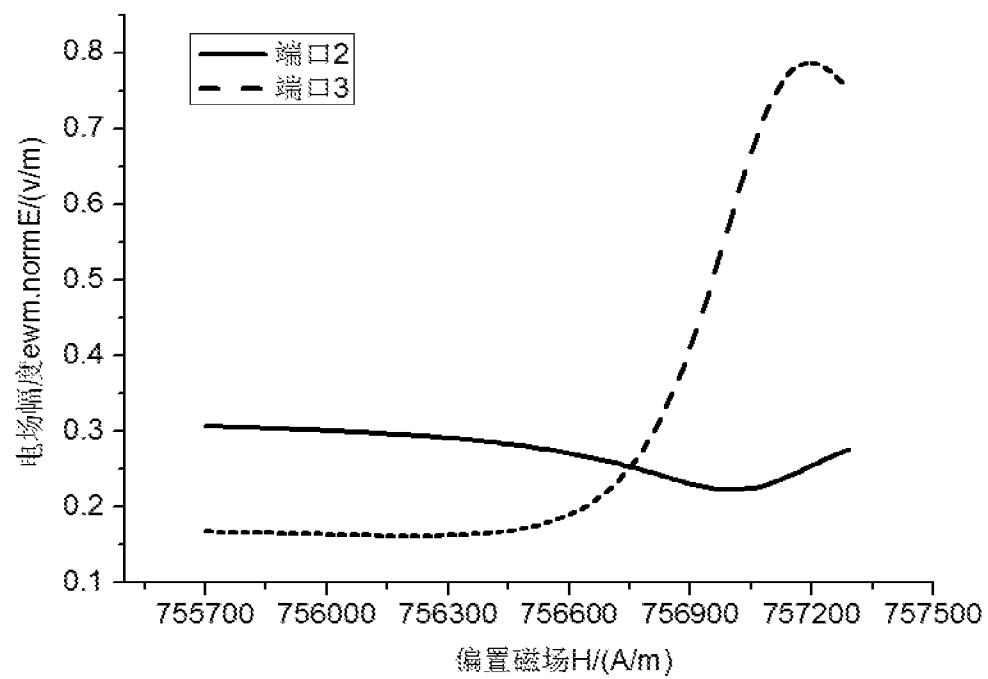


图 6

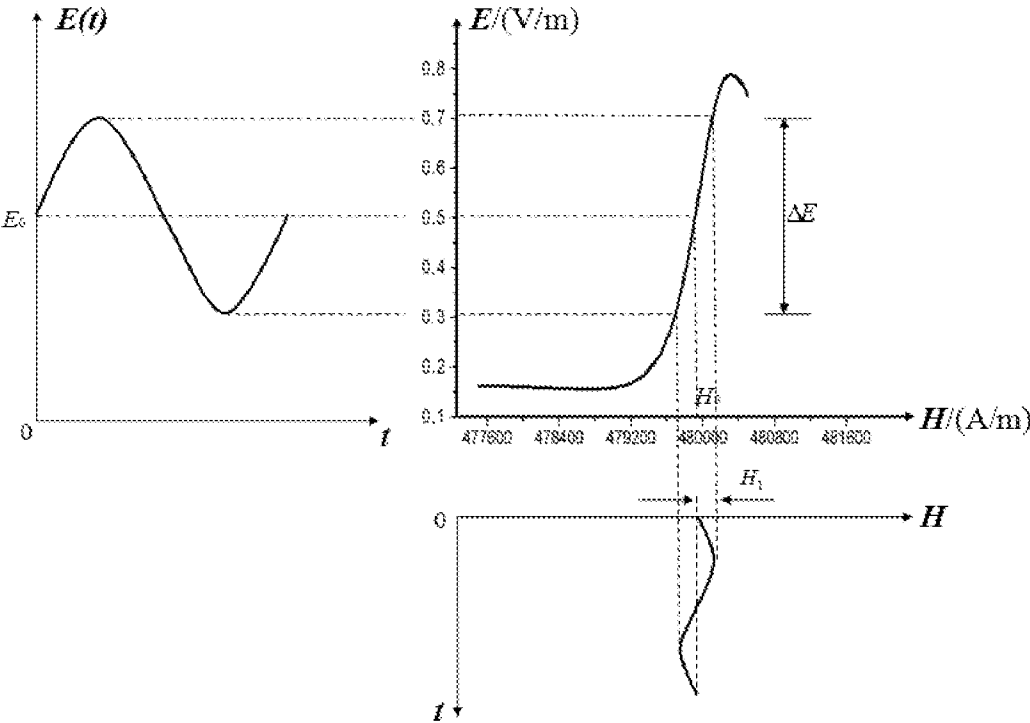


图 7(a)

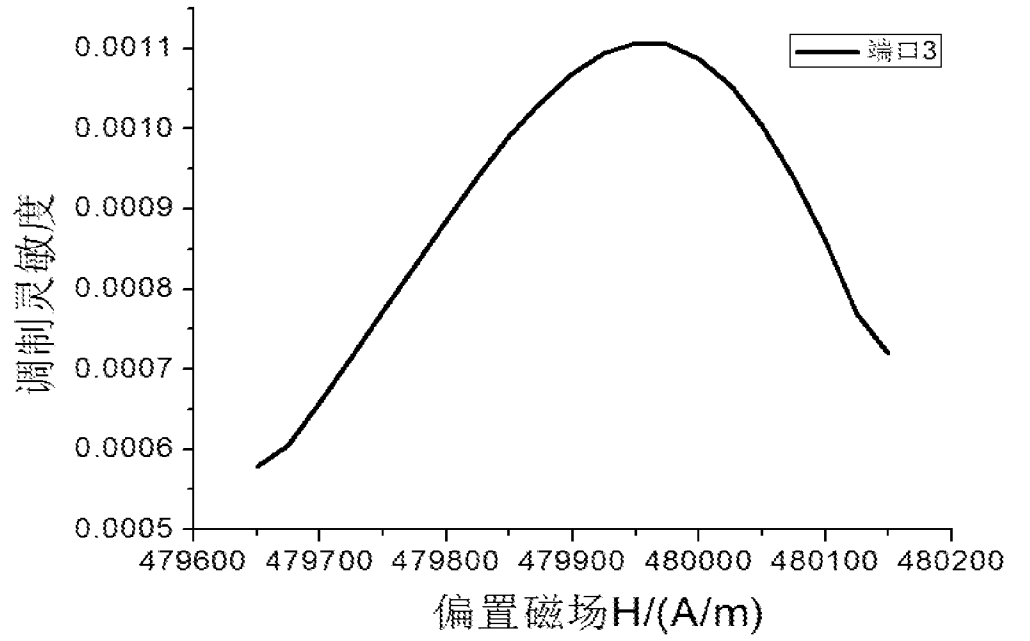


图 7(b)

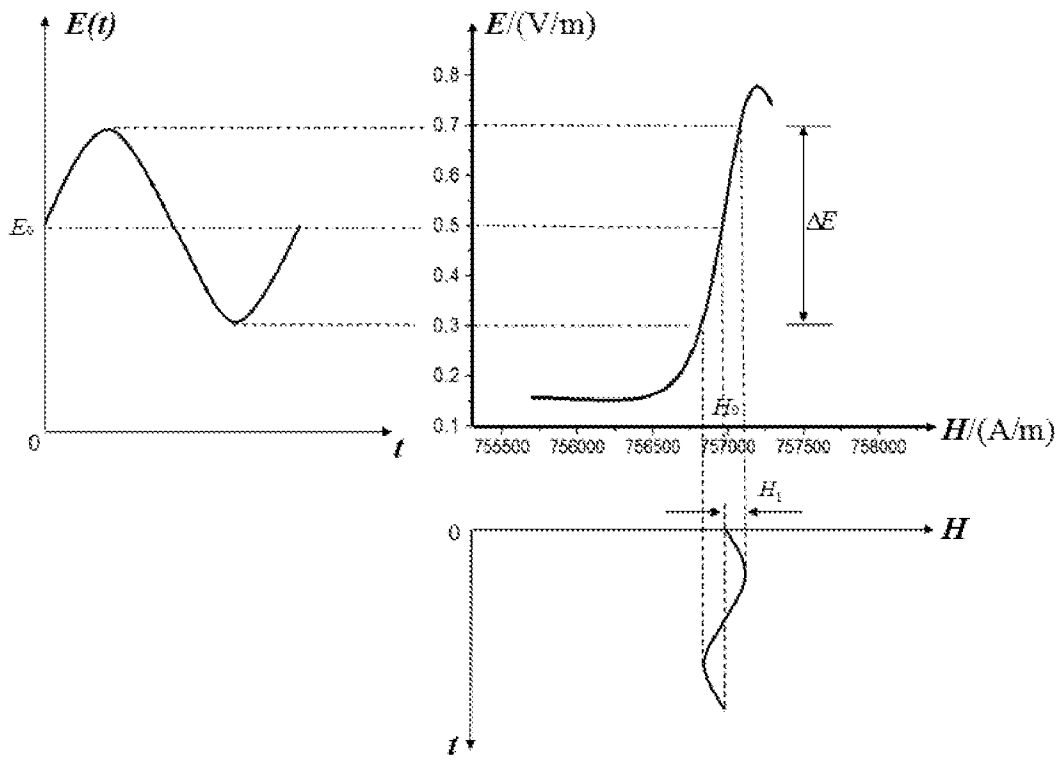


图 8(a)

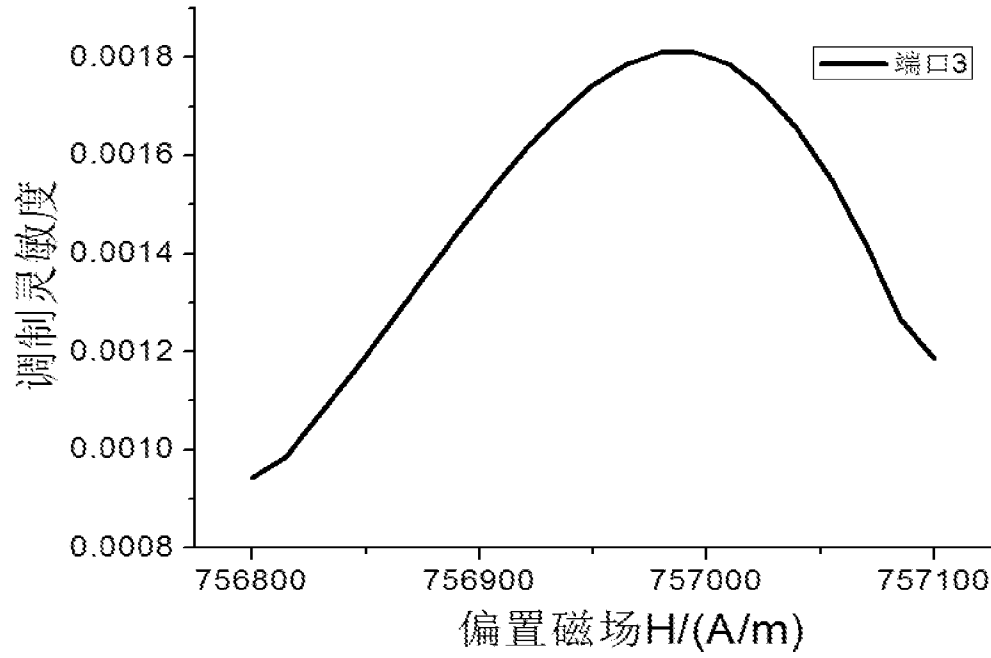


图 8(b)

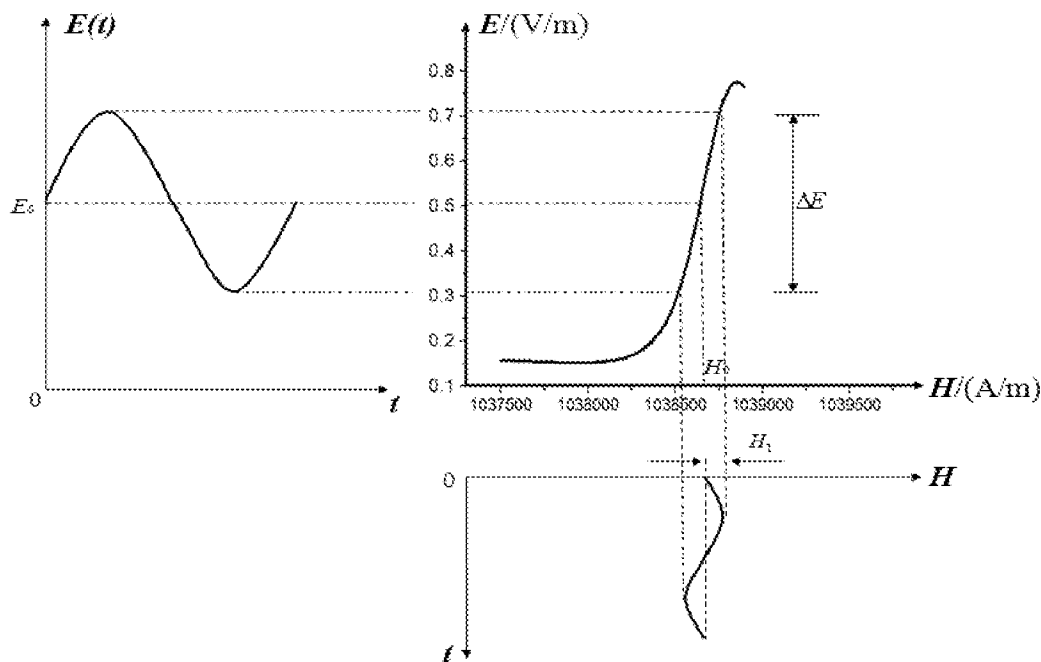


图 9(a)

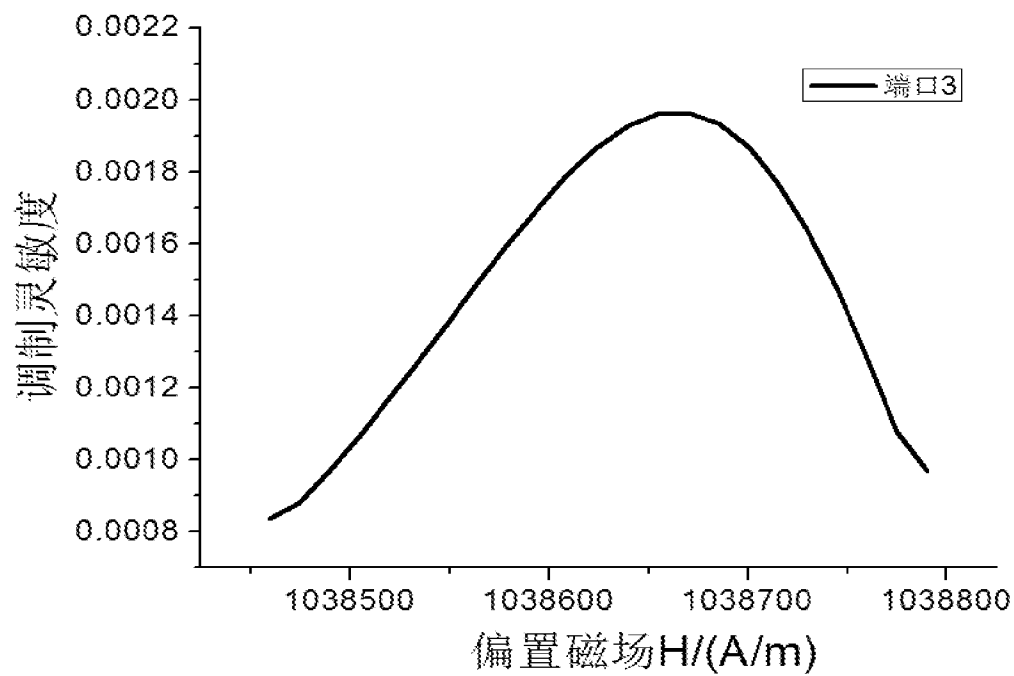


图 9(b)

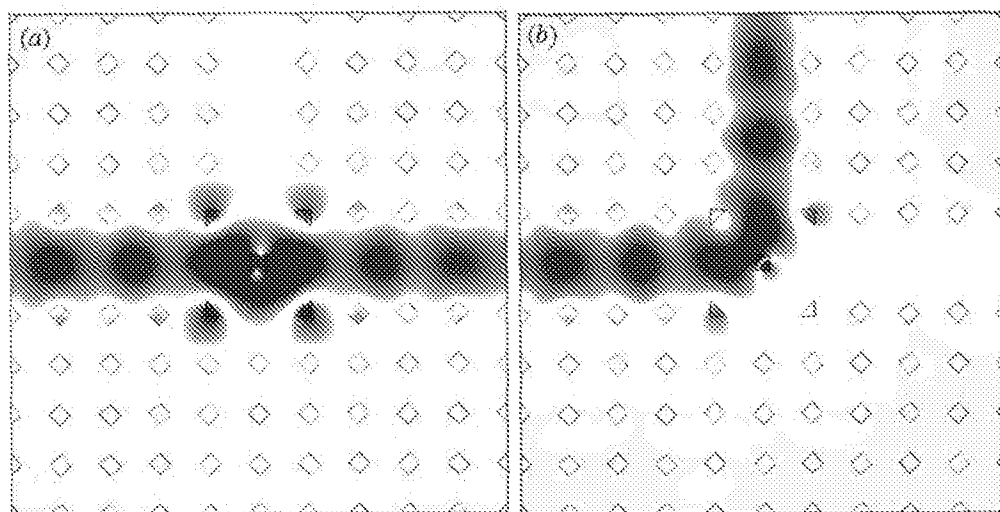


图 11

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2016/106653

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G02B 6/26 (2006.01) i; G02B 6/122 (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

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; CNKI; EPODOC; WPI: SHENZHEN UNIVERSITY; OUYANG, Zhengbiao; T, output, input, right angle, defect, photonic crystal, waveguide, modulat+, T-shaped, three, end, opening, port, +magnet+, triangle, square, dielectric, rod, pole, pillar

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	CN 1969210 A (PANORAMA LABS PTY LTD.), 23 May 2007 (23.05.2007), description, pages 14-21, and page 26, paragraph 2, and figures 1-3 and 6	1-10
Y	CN 104101947 A (OUYANG, Zhengbiao et al.), 15 October 2014 (15.10.2014), description, paragraphs [0042]-[0088], and figures 1-3 and 7-9	1-10
PX	CN 105607303 A (OUYANG, Zhengbiao), 25 May 2016 (25.05.2016), description, paragraphs [0035]-[0074], claims 1-10, and figures 1-10	1-10
Y	CN 104101948 A (OUYANG, Zhengbiao et al.), 15 October 2014 (15.10.2014), description, paragraphs [0045]-[0079], and figures 1-3 and 7-10	1-10
A	CN 102830463 A (SHENZHEN UNIVERSITY), 19 December 2012 (19.12.2012), the whole document	1-10
A	CN 104698606 A (NANJING UNIVERSITY OF POSTS AND TELECOMMUNICATIONS), 10 June 2015 (10.06.2015), the whole document	1-10
A	US 2008267557 A1 (WANG, Zheng et al.), 30 October 2008 (30.10.2008), the whole 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	"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
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"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
"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)	"&" document member of the same patent family
"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	

Date of the actual completion of the international search 20 December 2016 (20.12.2016)	Date of mailing of the international search report 09 January 2017 (09.01.2017)
Name and mailing address of the ISA/CN: 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 ZHONG, Jie Telephone No.: (86-10) 62413984

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2016/106653

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
CN 1969210 A	23 May 2007	CN 1961234 A	09 May 2007
		CN 1965255 A	16 May 2007
		CN 101128762 A	20 February 2008
		CN 1977196 A	06 June 2007
		CN 100439956 C	03 December 2008
		CN 1969209 A	23 May 2007
		CN 100523888 C	05 August 2009
		CN 1973227 A	30 May 2007
		CN 1961233 A	09 May 2007
		US 2005180673 A1	18 August 2005
		CN 1942796 A	04 April 2007
		CN 1965254 A	16 May 2007
		CN 100414332 C	27 August 2008
		CN 1977195 A	06 June 2007
		CN 100510815 C	08 July 2009
		CN 1997923 A	11 July 2007
		US 2005180676 A1	18 August 2005
		CN 1969211 A	23 May 2007
		CN 100523889 C	05 August 2009
		CN 100439955 C	03 December 2008
		CN 1973226 A	30 May 2007
		CN 101124498 A	13 February 2008
		CN 1961232 A	09 May 2007
		CN 101124498 B	10 October 2012
		CN 1973226 B	14 April 2010
		US 2005180723 A1	18 August 2005
		WO 2005076705 A2	25 August 2005
		EP 1738206 A2	03 January 2007
		AU 2005213213 A1	28 September 2006
		JP 2007522515 A	09 August 2007
		KR 20070028336 A	12 March 2007
CN 104101947 A	15 October 2014	WO 2016015628 A1	04 February 2016
CN 105607303 A	25 May 2016	None	
CN 104101948 A	15 October 2014	WO 2016015629 A1	04 February 2016
CN 102830463 A	19 December 2012	WO 2014032510 A1	06 March 2014
		CN 102830463 B	16 July 2014
		US 2015219849 A1	06 August 2015
		US 9329338 B2	03 May 2016
CN 104698606 A	10 June 2015	None	
US 2008267557 A1	30 October 2008	None	

A. 主题的分类 G02B 6/26(2006.01)i; G02B 6/122(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) G02B 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;EPODOC;WPI: 深圳大学, 欧阳征标, 光子晶体, 波导, 调制, T, 端, 输出, 输入, 直角, 介质, 柱, 缺陷, 方, 三角, 磁铁, photonic crystal, waveguide, modulat+, T-shaped, three, end, opening, port, +magnet+, triangle, square, dielectric, rod, pole, pillar																										
C. 相关文件 <table border="1"> <thead> <tr> <th>类 型*</th> <th>引用文件, 必要时, 指明相关段落</th> <th>相关的权利要求</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Y</td> <td>CN 1969210 A (帕诺拉马实验室有限公司) 2007年 5月 23日 (2007 - 05 - 23) 说明书第14-21页, 第26页第2段、图1-3, 6</td> <td>1-10</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td>CN 104101947 A (欧阳征标 等) 2014年 10月 15日 (2014 - 10 - 15) 说明书[0042]-[0088]段、图1-3, 7-9</td> <td>1-10</td> </tr> <tr> <td>PX</td> <td>CN 105607303 A (欧阳征标) 2016年 5月 25日 (2016 - 05 - 25) 说明书[0035]-[0074]段、权利要求1-10、图1-10</td> <td>1-10</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td>CN 104101948 A (欧阳征标 等) 2014年 10月 15日 (2014 - 10 - 15) 说明书[0045]-[0079]段、图1-3, 7-10</td> <td>1-10</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 102830463 A (深圳大学) 2012年 12月 19日 (2012 - 12 - 19) 全文</td> <td>1-10</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 104698606 A (南京邮电大学) 2015年 6月 10日 (2015 - 06 - 10) 全文</td> <td>1-10</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>US 2008267557 A1 (WANG, ZHENG等) 2008年 10月 30日 (2008 - 10 - 30) 全文</td> <td>1-10</td> </tr> </tbody> </table>			类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求	Y	CN 1969210 A (帕诺拉马实验室有限公司) 2007年 5月 23日 (2007 - 05 - 23) 说明书第14-21页, 第26页第2段、图1-3, 6	1-10	Y	CN 104101947 A (欧阳征标 等) 2014年 10月 15日 (2014 - 10 - 15) 说明书[0042]-[0088]段、图1-3, 7-9	1-10	PX	CN 105607303 A (欧阳征标) 2016年 5月 25日 (2016 - 05 - 25) 说明书[0035]-[0074]段、权利要求1-10、图1-10	1-10	Y	CN 104101948 A (欧阳征标 等) 2014年 10月 15日 (2014 - 10 - 15) 说明书[0045]-[0079]段、图1-3, 7-10	1-10	A	CN 102830463 A (深圳大学) 2012年 12月 19日 (2012 - 12 - 19) 全文	1-10	A	CN 104698606 A (南京邮电大学) 2015年 6月 10日 (2015 - 06 - 10) 全文	1-10	A	US 2008267557 A1 (WANG, ZHENG等) 2008年 10月 30日 (2008 - 10 - 30) 全文	1-10
类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求																								
Y	CN 1969210 A (帕诺拉马实验室有限公司) 2007年 5月 23日 (2007 - 05 - 23) 说明书第14-21页, 第26页第2段、图1-3, 6	1-10																								
Y	CN 104101947 A (欧阳征标 等) 2014年 10月 15日 (2014 - 10 - 15) 说明书[0042]-[0088]段、图1-3, 7-9	1-10																								
PX	CN 105607303 A (欧阳征标) 2016年 5月 25日 (2016 - 05 - 25) 说明书[0035]-[0074]段、权利要求1-10、图1-10	1-10																								
Y	CN 104101948 A (欧阳征标 等) 2014年 10月 15日 (2014 - 10 - 15) 说明书[0045]-[0079]段、图1-3, 7-10	1-10																								
A	CN 102830463 A (深圳大学) 2012年 12月 19日 (2012 - 12 - 19) 全文	1-10																								
A	CN 104698606 A (南京邮电大学) 2015年 6月 10日 (2015 - 06 - 10) 全文	1-10																								
A	US 2008267557 A1 (WANG, ZHENG等) 2008年 10月 30日 (2008 - 10 - 30) 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 2016年 12月 20日		国际检索报告邮寄日期 2017年 1月 9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 传真号 (86-10)62019451		受权官员 钟杰 电话号码 (86-10)62413984																								

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2016/106653

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	1969210	A	2007年 5月 23日	CN	1961234	A	2007年 5月 9日
				CN	1965255	A	2007年 5月 16日
				CN	101128762	A	2008年 2月 20日
				CN	1977196	A	2007年 6月 6日
				CN	100439956	C	2008年 12月 3日
				CN	1969209	A	2007年 5月 23日
				CN	100523888	C	2009年 8月 5日
				CN	1973227	A	2007年 5月 30日
				CN	1961233	A	2007年 5月 9日
				US	2005180673	A1	2005年 8月 18日
				CN	1942796	A	2007年 4月 4日
				CN	1965254	A	2007年 5月 16日
				CN	100414332	C	2008年 8月 27日
				CN	1977195	A	2007年 6月 6日
				CN	100510815	C	2009年 7月 8日
				CN	1997923	A	2007年 7月 11日
				US	2005180676	A1	2005年 8月 18日
				CN	1969211	A	2007年 5月 23日
				CN	100523889	C	2009年 8月 5日
				CN	100439955	C	2008年 12月 3日
				CN	1973226	A	2007年 5月 30日
				CN	101124498	A	2008年 2月 13日
				CN	1961232	A	2007年 5月 9日
				CN	101124498	B	2012年 10月 10日
				CN	1973226	B	2010年 4月 14日
				US	2005180723	A1	2005年 8月 18日
				WO	2005076705	A2	2005年 8月 25日
				EP	1738206	A2	2007年 1月 3日
				AU	2005213213	A1	2006年 9月 28日
				JP	2007522515	A	2007年 8月 9日
				KR	20070028336	A	2007年 3月 12日
CN	104101947	A	2014年 10月 15日	WO	2016015628	A1	2016年 2月 4日
CN	105607303	A	2016年 5月 25日	无			
CN	104101948	A	2014年 10月 15日	WO	2016015629	A1	2016年 2月 4日
CN	102830463	A	2012年 12月 19日	WO	2014032510	A1	2014年 3月 6日
				CN	102830463	B	2014年 7月 16日
				US	2015219849	A1	2015年 8月 6日
				US	9329338	B2	2016年 5月 3日
CN	104698606	A	2015年 6月 10日	无			
US	2008267557	A1	2008年 10月 30日	无			

表 PCT/ISA/210 (同族专利附件) (2009年7月)