

文章编号: 0258-7025(2010)01-0136-06

# 110 nm 宽频谱马赫-曾德尔电光开关的改进设计

郑传涛 马春生 闫欣 王现银 张大明

(吉林大学电子科学与工程学院集成光电子学国家重点联合实验室吉林大学实验区, 吉林 长春 130012)

**摘要** 设计了一种新型改进结构马赫-曾德尔干涉(MZI)电光开关,即在传统结构 MZI 电光开关中,使用一个相位发生器(PGC)取代一个 3 dB 耦合器。给出了改进器件的模型和工作原理,导出了振幅传输矩阵,分析了相移补偿原理和开关条件,优化了结构参数,模拟了传输功率、输出功率、输出频谱、插入损耗、串扰等特性。仿真结果表明,所设计器件的开关电压为 2.445 V,开关时间为 18.1 ps,拓展后的输出频谱为 110 nm,工作波长在  $1492 \leq \lambda \leq 1602$  nm 范围内,器件的插入损耗小于 2.24 dB,串扰小于 -30 dB。设计结果与基于光束传播法(BPM)的 Optiwave 软件模拟结果吻合较好。

**关键词** 集成光学;光通信;马赫-曾德尔干涉电光开关;输出频谱;开关电压;插入损耗;串扰

中图分类号 TN253 文献标识码 A doi: 10.3788/CJL20103701.0136

## Improved Design of a Polymer Mach-Zehnder Electro-Optic Switch with a Wide Spectrum of 110 nm

Zheng Chuantao Ma Chunsheng Yan Xin Wang Xianyin Zhang Daming

(State Key Laboratory on Integrated Optoelectronics, College of Electronic Science and Engineering, Jilin University, Changchun, Jilin 130012, China)

**Abstract** By replacing the first 3 dB coupler with a phase generating coupler (PGC) in the conventional Mach-Zehnder interferometer (MZI) electro-optic switch, a novel improved switch is designed. The structural model is presented, and the principle is described. The expressions of the amplitude transfer matrices are derived, and the compensating principle of the phase shift and the switching condition are analyzed. The parameters are optimized, and the characteristics are simulated, involving the propagation power, output power, output spectrum, insertion loss and crosstalk. Simulation results for the designed device show that, the push-pull switching voltage is 2.445 V, the switching time is 18.1 ps, the pass-band of the output spectrum can be increased to 110 nm, and the insertion loss and crosstalk are less than 2.24 dB and -30 dB, respectively, within the wavelength range from 1492 to 1602 nm. Our simulation results agree well with those of the Optiwave software based on the beam propagation method (BPM).

**Key words** integrated optics; optical communication; Mach-Zehnder interference (MZI) electro-optic switch; output spectrum; switching voltage; insertion loss; crosstalk

### 1 引言

随着光通信网络的迅速发展,人们需要高性能的光电子器件来满足日益增长的信道容量的要求,而优化器件结构、加快响应速度,拓展频谱带宽已成

为器件设计和制作的主要措施<sup>[1~5]</sup>。电光开关响应速度快、信息传输容量大,已成为光通信系统中的主要元件。设计和制作出高速度、低电压、低串扰、低损耗、宽频谱的电光开关已成为提高光通信系统工

收稿日期: 2009-02-13; 收到修改稿日期: 2009-03-23

基金项目: 国家自然科学基金(60706011),国家 973 计划(2006CB302803),教育部博士点新教师基金(20070183087)和吉林省科技发展计划青年科研基金(20080125)资助课题。

作者简介: 郑传涛(1982—),男,博士研究生,主要从事聚合物电光开关的设计与模拟等方面的研究。

E-mail: zhengchuantao578@163.com

导师简介: 马春生(1945—),男,教授,博士生导师,主要从事光电子学和导波光学等方面的研究。

E-mail: mcsheng@163.com(通信联系人)

作性能的主要途径<sup>[6~9]</sup>。传统马赫-曾德尔干涉(MZI)结构电光开关由 2 个 3 dB 耦合器组成,当器件的工作波长变化时,MZI 两臂的相位延迟会随之变化,即产生相移漂移,但由于 2 个 3 dB 耦合器的相移是固定的,难以对这一偏移进行补偿,因此器件将不能实现正常的开关功能,频谱较窄<sup>[10]</sup>,一般小于 60 nm,这将严重影响系统的工作性能。

为了拓展器件的输出频谱,本文提出了一种 MZI 电光开关的改进结构,即使用一个相位发生器(PGC)取代一个 3 dB 耦合器。介绍了器件的模型和工作原理,导出 PGC 和器件的振幅传输矩阵,分析相移补偿原理和开关条件。为了补偿波长漂移造成的相位偏移,获得较低的串扰,优化了 PGC 和器件结构。模拟了传输功率、输出功率、输出频谱、插入损耗及串扰等特性。

## 2 器件结构

图 1(a)示出了 MZI 电光开关的改进结构,它由一个 MZI,一个 3 dB 耦合器和一个 PGC 构成。器件采用脊形波导结构,从上至下依次为空气/上电极/上

缓冲层/芯层/下缓冲层/下电极/衬底,其中仅芯层材料为聚合物电光材料。器件采用推挽双驱动电极结构,包含一对上表面电极和一个下(地)电极(GND),如图 1(b)所示。器件极化时,在两表面电极上施加相反极化电压,形成反向极化;器件工作时,两表面电极上施加相同的工作电压  $U$ 。设器件的输入功率  $P_{in} = P_0$ ,输出功率为  $P_{out}$ 。图 1(c)为 PGC 的结构图,它包含 3 个区:I,II区为两个耦合器,耦合区长度分别为  $l_1$  和  $l_2$ ,II 区为相移器,波导偏折角为  $\gamma$ ,其下分支水平波导的上边沿距耦合器中心距离为  $l_3$ ,令 3 个区的相移分别为  $\phi_1(\lambda)$ ,  $2\Delta\phi(\lambda)$  及  $\phi_2(\lambda)$ 。

设芯层聚合物材料的折射率为  $n_1$ ,体振幅衰减系数为  $\alpha_1$ ;上下缓冲层、脊波导两侧包层的折射率为  $n_2$ ,体振幅衰减系数为  $\alpha_2$ ;上下电极的折射率为  $n_3$ ,消光系数为  $\kappa_3$ ;电极上面包层的折射率为  $n_4$ ,体振幅衰减系数为  $\alpha_4$ 。芯层、上下缓冲层、上下电极的厚度分别为  $b_1, b_2, b_3$ ,芯宽度为  $a$ ,脊高度为  $h$ 。MZI 电光作用区长度为  $L_2$ ,两臂间距为  $d_2$ ,3 dB 耦合器耦合区长度为  $L_1$ ,耦合间距为  $d_1$ 。MZI 波导偏折角度为  $\theta$ ,令  $\lambda_c$  为器件中心工作波长。

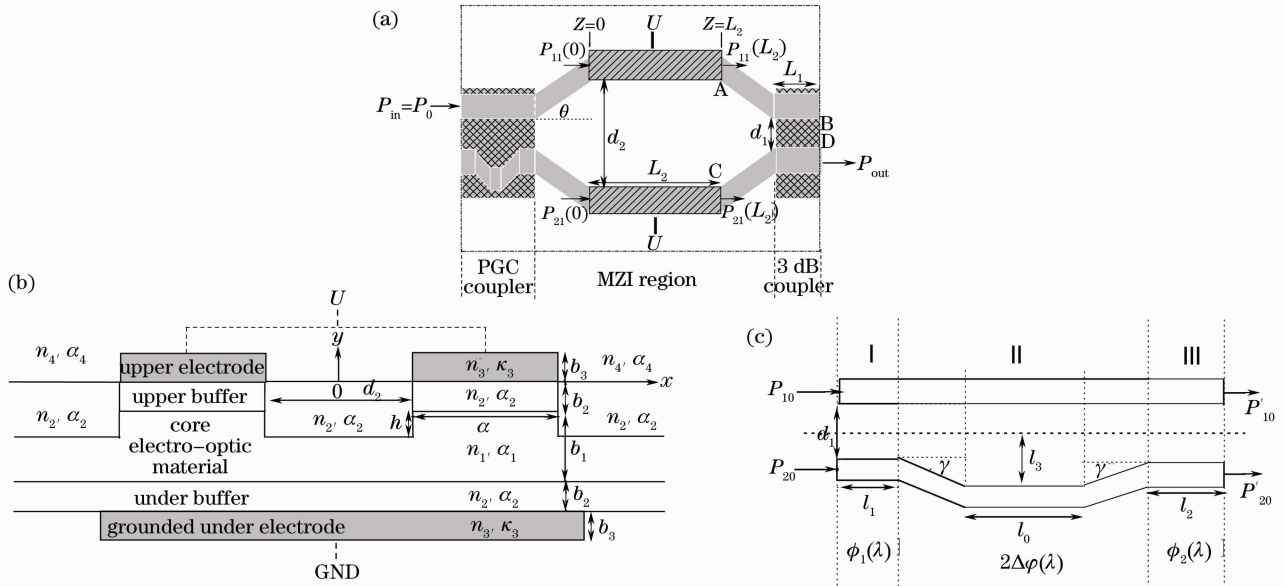


图 1 MZI 电光开关的俯视图(a),电光区截面图(b)和 PGC 结构图(c)

Fig. 1 Schematic diagram of a polymer MZI electro-optic switch. (a) over view; (b) cross-section of the electro-optic region; (c) schematic diagram of the PGC

## 3 理论推导

### 3.1 PGC 传输矩阵

应用耦合模理论,PGC 的幅度传输矩阵可表示为

$$\mathbf{T}_{\text{PGC}} = \begin{bmatrix} \cos \phi_2 & -j \sin \phi_2 \\ -j \sin \phi_2 & \cos \phi_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \exp(-j\Delta\phi) & 0 \\ 0 & \exp(j\Delta\phi) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \phi_1 & -j \sin \phi_1 \\ -j \sin \phi_1 & \cos \phi_1 \end{bmatrix}, \quad (1)$$

式中  $\phi_1(\lambda) = \frac{\pi L_1}{2L_0(\lambda)}$ ,  $\Delta\varphi(\lambda) = \frac{\pi\Delta l}{\lambda}$ ,  $\phi_2(\lambda) = \frac{\pi L_2}{2L_0(\lambda)}$ ,  $L_0(\lambda)$  为波长  $\lambda$  下的耦合长度,  $n_{\text{eff}}(\lambda)$  为模有效折

射率。根据几何关系, 路径差  $\Delta l = -2(L_3 - d_1/2)/\sin\gamma$ , 因此 (1) 式可最终简化为

$$\mathbf{T}_{\text{PGC}}(\lambda) = \begin{bmatrix} A & -B^* \\ B & A^* \end{bmatrix}, \quad (2)$$

式中  $A(\lambda)$  和  $B(\lambda)$  为 PGC 的耦合系数, 可分别表示为

$$A(\lambda) = \cos[\Delta\varphi(\lambda)]\cos[\phi_1(\lambda) + \phi_2(\lambda)] - j\sin[\Delta\varphi(\lambda)]\cos[\phi_1(\lambda) - \phi_2(\lambda)], \quad (3)$$

$$B(\lambda) = \sin[\Delta\varphi(\lambda)]\sin[\phi_1(\lambda) - \phi_2(\lambda)] - j\cos[\Delta\varphi(\lambda)]\sin[\phi_1(\lambda) + \phi_2(\lambda)]. \quad (4)$$

### 3.2 MZI 相移

图 1(b) 所示芯层中的电场可表示为  $E(x, y) = n_2^2 U / (2n_1^2 b_2 + n_2^2 b_1)$ 。根据电光调制理论, 芯层折射率的变化为  $\Delta n_1 = n_1^3 n_2^2 U \gamma_{33} / [2(2n_1^2 b_2 + n_2^2 b_1)]$ ,  $\gamma_{33}$  为电光调制系数, 因此 MZI 两臂的折射率分别变化为  $n_1 + \Delta n_1$  和  $n_1 - \Delta n_1$ 。令  $\beta_{\text{eff1}}, \beta_{\text{eff2}}$  分别为两臂的有效传播常数, 则当光传输距离  $L_2$  后单臂引起的相移为

$$\Delta\psi(\lambda) = L_2 \Delta\beta(\lambda), \quad (5)$$

式中  $2\Delta\beta(\lambda) = \beta_{\text{eff1}} - \beta_{\text{eff2}}$ 。

### 3.3 输出功率

按照耦合模理论, 图 1(a) 所示改进 MZI 电光开关的幅度传输矩阵为

$$\mathbf{T}_{\text{total}}(\lambda) = \begin{bmatrix} \cos[\phi_d(\lambda)] & -j\sin[\phi_d(\lambda)] \\ -j\sin[\phi_d(\lambda)] & \cos[\phi_d(\lambda)] \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \exp[-j\Delta\psi(\lambda)] & 0 \\ 0 & \exp[j\Delta\psi(\lambda)] \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A(\lambda) & -B^*(\lambda) \\ B(\lambda) & A^*(\lambda) \end{bmatrix}, \quad (6)$$

式中  $\phi_d(\lambda) = \frac{\pi L_1}{2L_0(\lambda)}$ ,  $L_1 = \frac{L_0(\lambda_c)}{2}$ 。利用 (6) 式, 输出光功率  $P_{\text{out}}$  可表示为

$$P_{\text{out}}(\lambda) = P_0 [ |-jA\sin\phi_d \exp(-j\Delta\psi) + B(\lambda)\cos\phi_d \exp(j\Delta\psi)|^2 ]. \quad (7)$$

将 (3), (4) 式代入 (7) 式,  $P_{\text{out}}$  可进一步改写为

$$P_{\text{out}}(\lambda) = P_0 \{ |A|^2 |\sin\phi_d|^2 + |B|^2 |\cos\phi_d|^2 - 2|A||B|\sin\phi_d \cos\phi_d \sin[2\Delta\psi - (\phi_A - \phi_B)] \}, \quad (8)$$

式中  $\phi_A(\lambda) = \arg(A)$ ,  $\phi_B(\lambda) = \arg(B)$  分别为  $A, B$  的幅角主值, 称  $\phi_A - \phi_B$  为 PGC 的实际发生相移。

### 3.4 相移补偿和开关条件

由 (5) 式及 (8) 式, 在中心波长  $\lambda_c$  下, 当  $U = 0$  时,  $\Delta\psi = 0$ , 若  $\phi_A - \phi_B = \pi/2$ , 则  $P_{\text{out}}$  可达最大值, 称为“ON”状态; 当  $U \neq 0$ ,  $\Delta\psi \neq 0$ , 若  $\Delta\psi(\lambda_c) = \pi/2$ , 则  $2\Delta\psi - (\phi_A - \phi_B) = \pi/2$ , 此时  $P_{\text{out}}$  可达最小值, 称为“OFF”状态, 对应的外加电压称为开关电压, 记为  $U_s$ 。

当工作波长  $\lambda \neq \lambda_c$  且  $U = U_s$  时, 为了实现正常的开关功能, 下式必须成立

$$2\Delta\psi(\lambda) - [\phi_A(\lambda) - \phi_B(\lambda)] = \pi/2. \quad (9)$$

令  $\delta\psi(\lambda) = 2[\Delta\psi(\lambda) - \Delta\psi(\lambda_c)]$  为 MZI 两臂产生的相移漂移, 则 (9) 式可进一步表示为

$$\phi_A(\lambda) - \phi_B(\lambda) = \delta\psi + \pi/2, \quad (10)$$

且称  $\delta\psi + \pi/2$  为 PGC 的理论发生相移。(10) 式表明, 若使器件实现正常的开关功能, 必须使 PGC 的实际发生相移等于理论发生相移。

为了获得较低的串扰, 当  $2\Delta\psi - (\phi_A - \phi_B) = \pi/2$  时, 应有  $P_{\text{out}} = 0$ , 因此可得

$$\begin{aligned} |A(\lambda)| &= |\cos[\phi_d(\lambda)]|, \\ |B(\lambda)| &= |\sin[\phi_d(\lambda)]|, \end{aligned} \quad (11)$$

式中  $|\cos[\phi_d(\lambda)]|$  和  $|\sin[\phi_d(\lambda)]|$  为 3 dB 耦合器的耦合系数, 且称 (10) 式, (11) 式分别为相移补偿条件和串扰补偿条件。根据 (5) 式, MZI 两臂电光耦合区长度可表示为

$$L_2 = \Delta\psi(\lambda_c) / \Delta\beta(\lambda_c). \quad (12)$$

## 4 优化设计

在下面的设计中选取中心工作波长  $\lambda_c = 1550$  nm, 波导的材料参数为:  $n_1 = 1.643$ ,  $\alpha_1 = 2.0$  dB/cm,  $\gamma_{33} = 138$  pm/V<sup>[11,12]</sup>,  $n_2 = 1.461$ ,  $\alpha_2 = 0.25$  dB/cm<sup>[13]</sup>, 用金作为金属电极,  $n_3 = 0.19$ ,  $\kappa_3 = 6.1$ <sup>[14]</sup>, 电极上面的介质为空气,  $n_4 = 1.0$ ,  $\alpha_4 = 0$ 。模拟中选取  $E_{00}^y$  主模。

为了保证单模传输, 并使得波导中有电极覆盖

部分和没有电极覆盖部分具有相同的模传播常数, 进而降低模式耦合损耗和开关电压, 选取  $a=3.0 \mu\text{m}$ ,  $b_1=1.5 \mu\text{m}$ ,  $h=0.5 \mu\text{m}$ ,  $b_2=1.5 \mu\text{m}$ ,  $b_3=1.0 \mu\text{m}$ 。应用文献[15]提出的 MOS 型金属包层波导的模式特性分析方法, 可计算出上述尺寸下  $E_{00}^y$  模式的振幅衰减系数  $\alpha_p = 2.286 \text{ dB/cm}$ , 且在以下的模拟中都考虑了这一损耗。

根据 3.4 节, 中心工作波长  $\lambda_c$  满足  $\Delta\psi(\lambda_c) = \pi/2$ , 则由(5)式可知, 随着 MZI 电光作用区长度  $L_2$  的增加, 开关电压将随之降低, 但传输损耗增加且器件的集成度降低。因此折中选取  $L_2 = 3000 \mu\text{m}$ , 此时开关电压  $U_s = 2.4451 \text{ V}$ 。

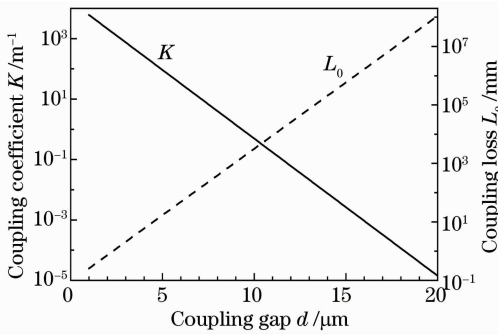


图 2 耦合系数  $K$  和耦合长度  $L_0$  随耦合间距  $d$  的变化曲线

Fig. 2 Curves of the coupling coefficient  $K$  and the coupling length  $L_0$  versus the coupling gap  $d$

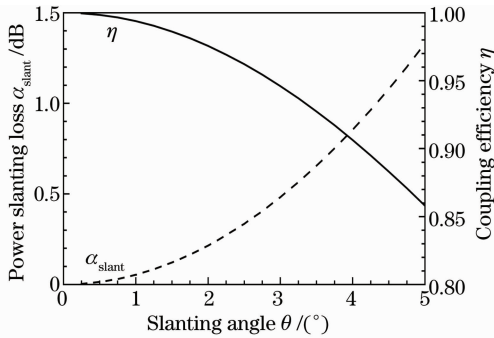


图 3 功率耦合损耗  $\alpha_{\text{slant}}$  和耦合效率  $\eta$  随偏折角度  $\theta$  的变化曲线

Fig. 3 Curves of the power slanting loss  $\alpha_{\text{slant}}$  and coupling efficiency  $\eta$  versus the slanting angle  $\theta$

合理选取  $d_1, d_2$  可使 3 dB 耦合器的耦合作用增强, 同时 MZI 两臂间耦合作用减弱。图 2 显示了中心波长  $\lambda_c$  下, 两脊形波导耦合系数  $K$  和耦合长度  $L_0$  随耦合间距  $d$  的变化曲线, 取  $a = 3.0 \mu\text{m}$ ,  $b_1 = 1.5 \mu\text{m}$ ,  $b_2 = 1.5 \mu\text{m}$ ,  $b_3 = 1.0 \mu\text{m}$ ,  $h = 0.5 \mu\text{m}$ ,  $\lambda_c = 1550 \text{ nm}$ 。可以看出, 当  $d \geq 20 \mu\text{m}$  时,  $K \leq 1.421 \times 10^{-3} \text{ m}^{-1}$ , 因此取  $d_2 = 20 \mu\text{m}$ , 此时 MZI

两臂之间的耦合作用很小, 可以被忽略, 这将极大地消除耦合作用对 MZI 相移的影响。同时, 为了增强 3 dB 耦合器两波导之间的耦合作用, 选取  $d_1 = 2.5 \mu\text{m}$ , 此时耦合长度  $L_0(\lambda_c) = 1247 \mu\text{m}$ , 3 dB 耦合器的耦合区长度  $L_1 = L_0/2 = 623.5 \mu\text{m}$ 。

波导的偏折角度越小, 偏折损耗也越小, 然而非平行波导的长度增大, 这将增大传输损耗, 因此设计中也必须优化选取偏折角度  $\theta$ 。图 3 给出了功率耦合损耗  $\alpha_{\text{slant}}$  和耦合效率  $\eta$  随偏折角度  $\theta$  的变化曲线, 取  $a = 3.0 \mu\text{m}$ ,  $b_1 = 1.5 \mu\text{m}$ ,  $b_2 = 1.5 \mu\text{m}$ ,  $b_3 = 1.0 \mu\text{m}$ ,  $h = 0.5 \mu\text{m}$ 。折中考虑偏折损耗和传输损耗, 设计中选取  $\theta = 1.25^\circ$ , 此时  $\alpha_{\text{slant}} \approx 0.0839 \text{ dB}$ 。

PGC 的优化是此 MZI 电光开关设计中的关键环节。首先, 根据(10)式, 为了补偿由波长漂移造成的 MZI 相移产生的偏差, PGC 的实际发生相移  $\phi_A(\lambda) - \phi_B(\lambda)$  必须严格等于其理论发生相移  $\delta\psi + \pi/2$ 。利用 MATLAB 工具箱中的非线性最小均方优化算法, 优化了 PGC 的结构, 优化后的参数为:  $\Delta l = -0.63 \lambda_c$ ,  $l_1 = 0.16 L_0(\lambda_c)$ ,  $l_2 = 0.34 L_0(\lambda_c)$ , 且  $L_0(\lambda_c) = 1247 \mu\text{m}$ 。图 4 显示了 PGC 的实际发生相移  $\phi_A - \phi_B$  和理论发生相移  $\delta\psi + \pi/2$  随波长  $\lambda$  的变化曲线。可以发现,  $\phi_A - \phi_B$  与  $\delta\psi + \pi/2$  基本一致, 这将有效地补偿波长漂移引起的相移偏差, 从而拓展了器件的输出频谱。合理选取  $l_3 = 31.05 \mu\text{m}$ ,  $\gamma = 1.75^\circ$ ,  $l_0 = 10 \mu\text{m}$ , 可使得路径差的优化值为  $\Delta l = -0.63 \lambda_c$ 。

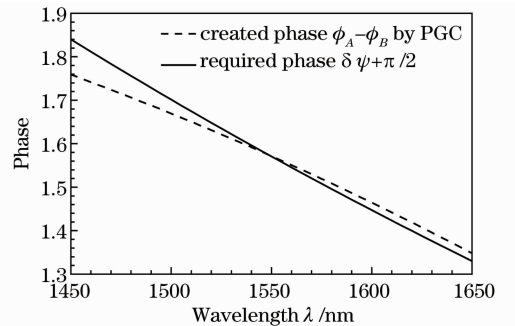


图 4 PGC 的实际发生相移  $\phi_A - \phi_B$ , 理论发生相移  $\delta\psi + \pi/2$  随波长  $\lambda$  的变化曲线

Fig. 4 Curves of the required generated phase  $\delta\psi + \pi/2$  for the PGC and the created phase  $\phi_A - \phi_B$  by the optimized PGC versus the wavelength  $\lambda$

为了减小器件的串扰,  $A(\lambda)$  和  $B(\lambda)$  必须满足(11)式。图 5 示出了优化后  $|A|$ ,  $|B|$ ,  $|\cos \phi_d|$ ,  $|\sin \phi_d|$  随波长  $\lambda$  的变化曲线。可以看出,  $|A|$  和  $|B|$  与  $|\cos \phi_d|$  和  $|\sin \phi_d|$  分别拟合得很好, 这表明, 经上述优化后, PGC 的作用不仅可等效为一个 3 dB 耦合器, 而且由于 PGC 的引入, 器件可以获得

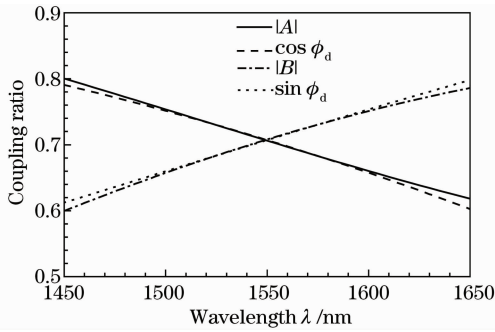


图 5 耦合系数  $|A|$ ,  $|B|$ ,  $|\cos \phi_d|$ ,  $|\sin \phi_d|$  随波长  $\lambda$  的变化曲线

Fig. 5 Curves of the coupling ratios  $|A|$ ,  $|B|$ ,  $|\cos \phi_d|$  and  $|\sin \phi_d|$  versus the wavelength  $\lambda$

较低的串扰和较宽的频谱。

### 5 性能模拟与设计验证

利用 3.1 节和 3.3 节给出的幅度传输矩阵,图 6 绘出了中心波长下波导归一化传输功率  $P$  随波导截面坐标  $x$  和传输位移  $z$  的 3-D 曲线,其中(a)  $U=0$  为 ON 状态,(b)  $U=2.445$  V 为 OFF 状态。可以看出,在所计算的开关电压下,器件实现了良好的开关功能。

利用(8)式,图 7 显示了中心波长下开关输出功率  $P_{out}$  随外加电压  $U$  的变化曲线。可以看出, $U=0$  时,输出功率达到最大,实现了 ON 状态; $U=2.445$  V 时,输出功率达到最小,实现了 OFF 状态。该模拟结果也表明,所设计的电光开关具有良好的开关功能。

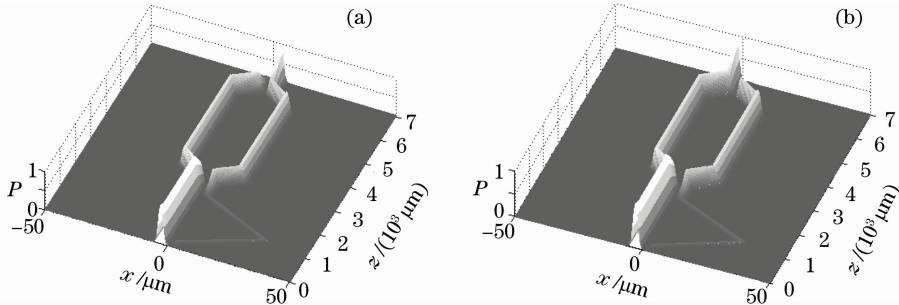


图 6 归一化传输功率  $P$  随波导截面坐标  $x$  和传输位移  $z$  的 3-D 曲线。(a)  $U=0$ , ON 状态;(b)  $U=2.445$  V, OFF 状态

Fig. 6 3-D curves of the normalized propagation powers  $P$  in the waveguide versus the coordinates  $x$  and  $z$

(a)  $U=0$ , ON state; (b)  $U=2.445$  V, OFF state

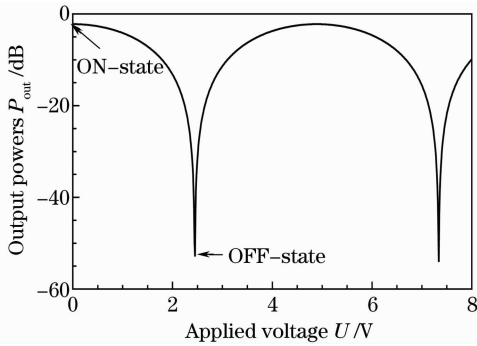


图 7 中心波长  $\lambda_c = 1550$  nm 下开关输出功率  $P_{out}$  随外加电压  $U$  的变化曲线

Fig. 7 Curves of the output powers  $P_{out}$  versus the operation voltage  $U$  under  $\lambda_c = 1550$  nm

图 8 示出了输出功率  $P_{out}$  随波长  $\lambda$  的变化曲线。可以看出,与传统结构 MZI 电光开关相比,改进结构 MZI 开关的输出频谱由 60 nm 拓展为 110 nm,且在  $1492 \leq \lambda \leq 1602$  nm 范围内,器件的插入损耗小于 2.24 dB,串扰小于 -30 dB。这说明优化后的开关器件具有更宽的频谱和更低的串扰。

由 3.3 节,图 9 示出了中心波长  $\lambda_c$  下外加电压  $U$  从 2.445 V 变为 0 及从 0 变为 2.445 V 两种情况

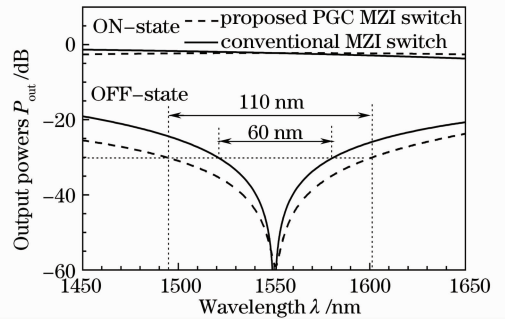


图 8 输出功率  $P_{out}$  随波长  $\lambda$  的变化曲线

Fig. 8 Curves of the output power  $P_{out}$  versus the wavelength  $\lambda$

下,器件输出功率  $P_{out}$  随响应时间  $t$  的变化关系,设  $U$  的变化时刻为  $t=0$ 。由模拟结果可知,器件的上升时间  $t_{rise}$  和下降时间  $t_{fall}$  均为 12.6 ps,延迟时间  $t_d$  为 5.5 ps,开关时间  $t_s$  为 18.1 ps。

为了验证本文提出的分析理论、设计方法和设计结果的精度,在上述优化的器件尺寸下,应用 Optiwave 软件及光束传输法(BPM),模拟了所设计开关的传输光功率,如图 10 所示,其中  $U=0$  为 ON 状态, $U=2.445$  V 为 OFF 状态。可以看出,该模拟

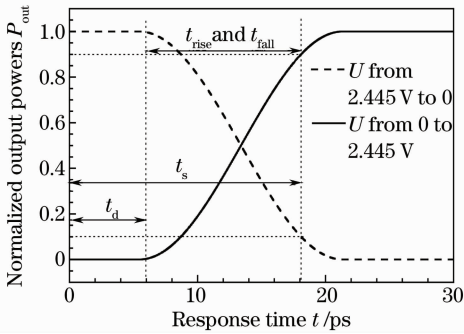


图 9 输出功率  $P_{out}$  随响应时间  $t$  的变化关系

Fig. 9 Relation between  $P_{out}$  and response time  $t$

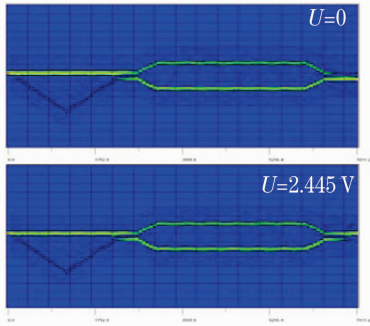


图 10 改进器件的 Optiwave 软件模拟结果

Fig. 10 Optiwave simulation results of the designed switch

结果与本文所计算的结果(图 6)吻合得很好,这说明本文的设计方法和设计结果具有较高的精度和可行性,可满足工程设计的需要。

## 6 结 论

提出了一种新型改进结构,即使用一个相位发生器代替了其中的一个 3 dB 耦合器,且通过优化 PGC 参数,有效降低了波长依赖性,拓展了频谱。仿真结果表明,所设计的电光开关的开关电压为 2.445 V,开关时间为 18.1 ps,展宽后的输出波谱为 110 nm,在此宽频谱范围内,器件的传输损耗小于 2.24 dB,串扰小于 -30 dB。这些特性将有效地消除工作波长漂移带来的不良影响。

## 参 考 文 献

1 Yang Di, Yu Jinzhong, Chen Shaowu. An improvement on  $2 \times 2$  silicon-on-insulator Mach-Zehnder thermo-optical switch[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2008, **37**(5): 931~934

杨迪,余金中,陈少武. 一种改进的  $2 \times 2$  SOI Mach-Zehnder 热光开关[J]. *光子学报*, 2008, **37**(5): 931~934

2 Hou Peipei, Song Zhe, Li Xudong *et al.*. Integrated optical  $N \times N$  crossbar network and its control algorithm [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2008, **28**(2): 365~369

侯培培,宋哲,李旭东等. 单块晶体集成的  $N \times N$  纵横开关网络及其控制算法[J]. *光学学报*, 2008, **28**(2): 365~369

3 Dong Zuoren, Xia Zhiping, Qin Shibo *et al.*. Analyses and experimental study of a  $N \times N$  optical switch using two-facet reflective mirrors [J]. *Chinese J. Lasers*, 2007, **34**(2): 234~238

董作人,夏志平,秦世博等. 基于双面反射镜的  $N \times N$  光开关的特性分析和实验研究[J]. *中国激光*, 2007, **34**(2): 234~238

4 Yang Junbo, Su Xianyu. Polarization-independent bidirectional  $2 \times 2$  and  $4 \times 4$  free-space optical switch[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2007, **27**(9): 1593~1599

杨俊波,苏显渝. 与偏振无关双向  $2 \times 2$  和  $4 \times 4$  自由空间光开关[J]. *光学学报*, 2007, **27**(9): 1593~1599

5 C. T. Zheng, C. S. Ma, X. Yan *et al.*. Simulation and optimization of a polymer directional coupler electro-optic switch with push-pull electrodes[J]. *Opt. Commun.*, 2008, **281**(14): 3695~3702

6 H. Muller, S. W. Chiow, S. Herrmann *et al.*. Nanosecond electro-optical switching with a repetition rate above 20 MHz[J]. *Rev. Sci. Instrum.*, 2007, **78**(12), 124702

7 Q. Wang, J. P. Yao. A high speed  $2 \times 2$  electro-optic switch using a polarization modulator [J]. *Opt. Express*, 2007, **15**(25): 16500~16505

8 Y. H. Kim, U. C. Paek, W. T. Han. All-optical  $2 \times 2$  switching with two independent  $\text{Yb}^{3+}$ -doped nonlinear optical fibers with a long-period fiber grating pair[J]. *Appl. Opt.*, 2005, **44**(15): 3051~3057

9 C. F. Li, N. Dou, P. P. Yupapin. Milliwatt and nanosecond all-optical switching in a double-coupler ring resonator containing an EDFA[J]. *J. Opt. A: Pure Appl. Opt.*, 2006, **8**(9): 728~732

10 M. H. Lee, Y. H. Min, J. J. Ju *et al.*. Polymeric electrooptic  $2 \times 2$  switch consisting of bifurcation optical active waveguides and a Mach-Zehnder interferometer [J]. *IEEE J. Sel. Top. Quantum Electron.*, 2001, **7**(5): 812~818

11 Y. Enami, D. Mathine, C. T. Derose *et al.*. Hybrid cross-linkable polymer/sol-gel waveguide modulators with 0.65 V half wave voltage at 1550 nm[J]. *Appl. Phys. Lett.*, 2007, **91**(9): 093505~093607

12 Y. Enami, C. T. Derose, Mathine *et al.*. Hybrid polymer/sol-gel waveguide modulators with exceptionally large electro-optic coefficients [J]. *Nature Photon.*, 2007, **1**(3): 180~185

13 C. Pitois, C. Vukmirovic, A. Hult. Low-loss passive optical waveguides based on photosensitive poly (pentafluorostyrene-co-glycidyl methacrylate) [J]. *Macromolecules*, 1999, **32**(9): 2903~2909

14 W. G. Driscoll, W. Vaughan. Handbook of Optics[M]. New York: McGraw-Hill, 1978. 7

15 Ma Chunsheng, Liu Shiyong. Optical characteristic analysis of MOS-type waveguide [J]. *Chinese J. Semiconductors*, 1989, **10**(4): 249~253

马春生,刘式壻. MOS型波导光学特性分析[J]. *半导体学报*, 1989, **10**(4): 249~253