

非对称 Mach-Zehnder 干涉型集成光学电光调制器的温度稳定性分析*

周 毅 邱 伟 陈益新

(上海交通大学应用物理系, 上海 200030)

提要 本文对 Mach-Zehnder 干涉型集成光学电光调制器的温度稳定性进行了定量分析, 结果表明非对称 Mach-Zehnder 调制器同样具有非常好的温度稳定性。

关键词 温度稳定性, Mach-Zehnder 干涉仪, 集成光学

1 引 言

集成光学电光器件已被广泛用于大容量光纤通信、光信号处理和光传感器等领域, 其中 Mach-Zehnder 干涉型调制器(MZM)是最常用的器件结构之一。传统的 MZM 具有一对对称的干涉臂, 一般外界环境的变化对两臂造成相同的影响, 光波通过两臂后将不会产生附加的相位延迟, 因而对称 MZM 具有下列优点: 1) 制作工艺误差的影响不大; 2) 易于设计并制作行波电极; 3) 与方向耦合器型调制器相比较驱动电压低; 4) 具有良好的温度稳定性。

使两干涉臂的条波导不等宽, 制成非对称 MZM (AMZM), 可用于降低器件的驱动电压^[1,2]。此外具有不等长干涉臂的 AMZM 也被用于制作输出对偏置电压呈线性响应的器件^[3]。由于 AMZM 的两条干涉臂不对称, 环境温度的变化将使两臂的光折射率变化不等, 光波通过两臂后获得附加相位延迟, 并最终影响光输出。

本文将讨论温度变化对器件的影响, 并给出定量分析的结果。

2 器件结构分析

四种 AMZM 结构归纳于图 1, 并且非对称 X 结被用作为 3-dB 耦合器。从 P 端输入光强为 I_{in} 的光波在第一个 X 结等功率分束后进入两条不对称臂。在第二个 X 结处两束光波发生干涉。若两束波同相位, 则干涉后的光波从 Q 端输出; 若两束波逆相位(具有相位差 π), 则光波从 R 端输出。输出光强 I_{out} 与输入光强 I_{in} 的关系如下:

$$I_{out} = I_{in}[1 + \cos(\Delta\phi_m + \Delta\phi_r)]/2 \quad (1)$$

* 自然科学基金资助项目。

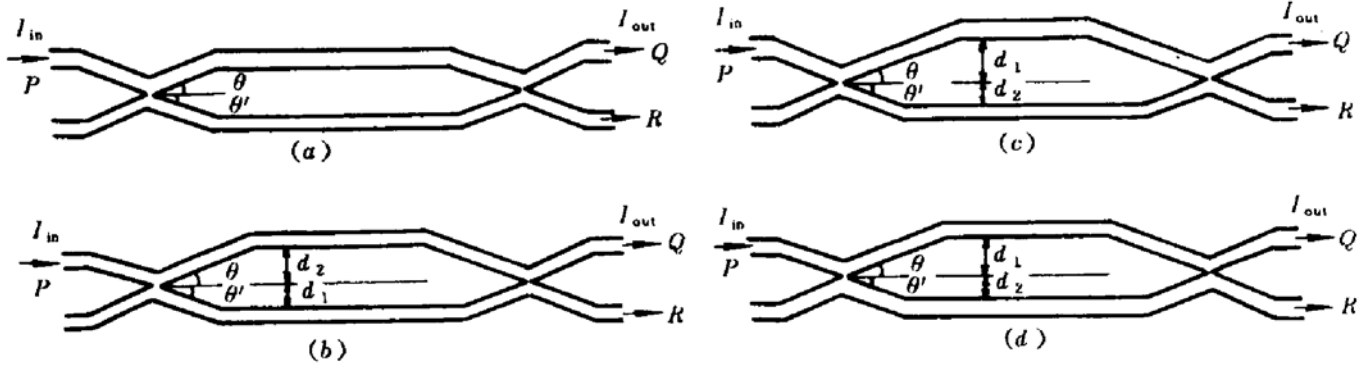


Fig. 1 Integrated optical Mach-Zehnder interferometric modulators with asymmetric structures by (a) different width of two arms; (b) different length of two arms; (c) and (d) different width and length of two arms

其中 $\Delta\phi_m$ 为因电光效应而产生的相位差, $\Delta\phi_T$ 为因温度变化而产生的附加相位差。四种结构所对应的 $\Delta\phi_T$ 为

$$\Delta\phi_T = \begin{cases} (2\pi/\lambda)(N_{\text{eff1}} - N_{\text{eff2}})L & \text{(结构 A)} \\ (2\pi/\lambda)N_{\text{eff}}(L_1 - L_2) & \text{(结构 B)} \\ (2\pi/\lambda)(N_{\text{eff1}}L_1 - N_{\text{eff2}}L_2) & \text{(结构 C, 且 } N_{\text{eff1}} > N_{\text{eff2}}) \\ (2\pi/\lambda)(N_{\text{eff1}}L_1 - N_{\text{eff2}}L_2) & \text{(结构 D, 且 } N_{\text{eff1}} < N_{\text{eff2}}) \end{cases} \quad (2)$$

其中 λ 为光波在真空中的波长; N_{eff} 为波导的有效光折射率; L 和 L_1, L_2 分别为 AMZM 的臂长。

对 $\Delta\phi_T$ 求温度 T 的微分, 得到环境温度每变化一度的附加相位差, 表达式为

$$\frac{d(\Delta\phi_T)}{dT} = \begin{cases} \frac{2\pi}{\lambda}\Delta N_{\text{eff}} \frac{dL}{dT} & \text{(结构 A)} \\ \frac{2\pi}{\lambda}\left(\frac{dN_{\text{eff}}}{dT} + N_{\text{eff}}\alpha\right)\Delta L & \text{(结构 B)} \\ \frac{2\pi}{\lambda}\left[\left(\frac{dN_{\text{eff}}}{dT} + N_{\text{eff}}\alpha\right)\Delta L + \Delta N_{\text{eff}}\alpha L_2\right] & \text{(结构 C)} \\ \frac{2\pi}{\lambda}\left[\left(\frac{dN_{\text{eff}}}{dT} + N_{\text{eff}}\alpha\right)\Delta L - \Delta N_{\text{eff}}\alpha L_2\right] & \text{(结构 D)} \end{cases} \quad (3)$$

其中 $\Delta L = L_1 - L_2$; $\Delta N_{\text{eff}} = N_{\text{eff1}} - N_{\text{eff2}}$; $\alpha = (1/L)(dL/dT)$ 。并在一级近似下假设 $(dN_{\text{eff}}/dT) \approx (dN_{\text{eff1}}/dT) \approx (dN_{\text{eff2}}/dT)$; $N_{\text{eff}} \approx N_{\text{eff1}} \approx N_{\text{eff2}}$ 。利用式(3)可将式(1)重写为

$$I_{\text{out}} = I_{\text{in}}[1 + \cos(\Delta\phi_m + b\Delta T)] \quad (4)$$

其中 $b = [d(\Delta\phi_T)/dT]$; $\Delta T = T - T_r$, T_r 为室温。根据电光效应, $\Delta\phi_m$ 由下式给出

$$\Delta\phi_m = (\pi/\lambda)n_e^3 r_{ij} (V/G) L \quad (5)$$

其中 n_e 为波导的光折射率; r_{ij} 为电光系数; G 为电极间隔, V 为驱动电压。

从式(3)可以看到, 附加相位差与温度的变化呈线性关系。处于一定偏置(如 $\Delta\phi_m = \pi/2$) 下的 MZM, 温度的变化将导致器件工作点的漂移。由式(5)可得漂移电压 ΔV 与 ΔT 的关系为

$$\Delta V = \frac{\lambda}{\pi} \frac{G}{n_e^3 r_{ij} L} b \Delta T \quad (6)$$

3 结果及讨论

本文以 LiNbO₃ 材料为例,进行了定量分析。有关参数的选取如下: $n_o = N_{eff} = 2.0$, $\Delta N_{eff} \approx 10^{-4}$, $(dN_{eff}/dT) \approx 5.3 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}^{[4]}$, $\alpha \approx 1.6 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}^{[5]}$, $L \approx L_1 \approx L_2 \approx 1 \text{ cm}$, $r_{33} \approx 3.08 \times 10^{-2} \text{ nm/V}$ 。

若 $\theta = \theta'$, 则 ΔL 的值为

$$\Delta L = L_1 - L_2 = 2(d_1 - d_2) \tan(\theta/2) \quad (7)$$

根据文献[3],选取 $\Delta L = 70 \text{ nm}$ 。 b 值的计算结果由表 1 给出。

Table 1 Temperature change ratio of optical phase

Structures	A	B	C	D
$b (10^{-5}/^{\circ}\text{C})$	7.7	3.0	10.7	-4.7

由式(6)得到漂移电压的温度变化率,并由表 2 给出。

Table 2 Drive point shift of z -cut devices*

Structures	A	B	C	D
$\Delta V/\Delta T (10^{-5} \text{ V}/^{\circ}\text{C})$	4.9	1.9	6.9	-3.0

* $G = 5.0 \times 10^3 \text{ nm}$ in calculation.

从表 1 可以看到,结构 A 和 B 的相位温度变化率具有相同的数量级,且结构 B 稍优,若同时使用结构 A 和 B,制成具有结构 C 和 D 的 AMZM 将不会获得温度稳定性的任何改善,即不能互为补偿。这是因为在实验中难于如此精确地控制,并使 $N_{eff1}L_1 = N_{eff2}L_2$ 。相反若要在结构 D 中获得完全补偿,就必须满足下式

$$\Delta N_{eff}/N_{eff} \approx \Delta L/L \quad (8)$$

若将本文计算中选取的数据代入(8)式,则得

$$\Delta N_{eff}/N_{eff} \approx 5 \times 10^{-5}, \quad \Delta L/L = 7 \times 10^{-6} \quad (9)$$

由式(9)可见,对于图 1 所示的各种结构,要完全补偿附加位相差就必须增加 ΔL 。

由表 2 可以看到,AMZM 工作点的漂移是非常小的。在自然环境(如从零下 20 $^{\circ}\text{C}$ 至零上 50 $^{\circ}\text{C}$)中温度的变化对器件工作特性的影响非常小,因而在器件设计过程中可不考虑温度这一因素。

值得注意的是对于结构 B,若 $\theta \neq \theta'$, 则 ΔL 将不遵从(7)式。实际应用 ΔL 将大于 70 nm,甚至达到 10^6 nm ,因而在器件的设计过程中必须考虑温度因素的影响。同时也可利用结构 D 按式(9)进行器件设计,以补偿因温度变化而产生的附加相位差。

参 考 文 献

- 1 Y. Zhou, M. Izutsu et al. . *J. Lightwave Technology*, 1990, 9(7): 750~753
- 2 J. L. Jackel, J. J. Johnson. *J. Lightwave Technology*, 1988, 6(8): 1348~1354
- 3 C. H. Bulmer, W. K. Burns et al. . *Opt. Lett.*, 1980, 5(5): 176~178
- 4 H. Nishihana, M. Haruna et al. . *Optical Integrated Circuits*, McGraw-Hill Optical and Electrooptical Engineering Series, New York McGraw-Hill, 1989
- 5 Y. S. Kim, R. T. Smith, *J. Appl. Phys.*, 1969, 40(10): 4637~4641

Temperature Stability of Integrated Optical Asymmetric Mach-Zehnder Modulators

Zhou Yi Qiu Wei Chen Yixin

(Department of Applied Physics, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200030)

Abstract In this paper the temperature stability of integrated optical asymmetric Mach-Zehnder interferometric modulators was analyzed and the results were given quantitatively. Research shows that there are very good temperature stability for asymmetric Mach-Zehnder modulators.

key words temperature stability, Mach-Zehnder interferometer, integrated optics

力科光电有限公司向国内外用户致意

力科光电有限公司是经营光电产品为主的专业公司,公司以优质的技术服务,最佳的品质服务于国内外用户,一个电话或一封信,您的需要就得到满足。

力科公司向您提供:

1. 非线性晶体: KTP, ADP, KDP, DKDP, LI, LBO 等和这些晶体制作的二倍频器、三倍频器、四倍频器、Q 开关等;
2. 用于微电子和光电子器件的衬底和外延片 (MOCVD 和 MBE);
3. 激光晶体: Nd: YAG, Nd: YVO₄, Nd: YAP, Cr: Mg₂SiO₄, Ti: Al₂O₃;
4. 声光晶体: LN, PbMoO₄, LT, TeO₂, Li₂B₄O₇;
5. 光学材料: CaF₂, BaF₂, MgF₂, NaCl, KBr, KCl;
6. 各种光学调整架,各种光学元件的夹具,激光电源,超微光摄像机, ZJD-003 型激光打孔机,激光图像通讯机, TXK 人体死后时间测定仪,便携式激光痕迹检查仪,便携式多波段激光痕迹检查仪,半导体激光报警器;
7. 提供您在济南的各种服务,如住宿,车票,接待。车票请提前四天电告 831365。力科公司将在全国各地招聘业务员,愿者请来信来电,待遇从优。
8. 力科公司愿与各界同仁通力合作,可为厂矿、企业推销产品,请寄说明书和合作意向。

力科光电有限公司
济南市七里河路 32 号
邮 编: 250100
联系人: 祁建平
传 真: 0531-837760
电 话: 0531-831365

上海联系电话: 4701390-207 陈以超
9534890-262 冯贤平
传真: (021)9528885

北京联系电话: 7711177-722 李 港
传真: 7714088