

倒相结构波导电光器件中微带电极的比较和优化*

周 毅 陈益新

(上海交通大学应用物理系, 上海 200030)

提要 对共平面波导电极(CoPlanar Waveguide electrode, 简称 CPW)和非对称微带电极(Asymmetric Strip Line electrode, 简称 ASL)用于行波型倒相电极结构电光波导器件的调制特性进行了分析,并给出电极特征参数和频率响应数值计算结果,比较表明将 ASL 电极用于倒相结构的器件对在高频波段实现有效的光调制仍十分有效。

关键词 微带电极,行波,倒相结构

1 引 言

具有倒相电极结构的行波型波导电光调制器已用于实现宽带光调制和有限带宽光调制^[1,2]。该类器件通常均使用 CPW 电极(如图 1(a) 所示)来实现倒相结构,以获得对称的推挽操作作用。

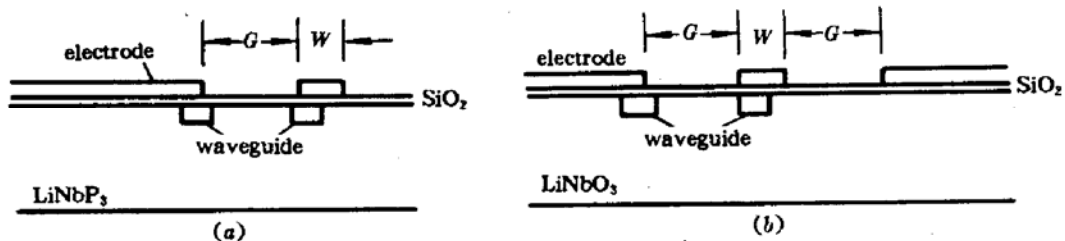


Fig. 1

(a) Coplanar waveguide electrode; (b) Asymmetric strip line electrode

本文首次提出将 ASL 电极(如图 1(b) 所示)用于实现倒相电极结构。文中对 ASL 和 CPW 的电场特性、特征阻抗和电极的传输损耗进行了数值计算。对使用这两种电极结构的电光调制器的调制特性和性能进行了分析、比较。结果表明 ASL 也同样适用于倒相电极结构。

2 电极的电场特性、特征阻抗和传输损耗

电极的电场分布和特征阻抗均用保角变换法^[3]进行计算。

* 自然科学基金资助项目。

收稿日期: 1993 年 8 月 3 日

电极的特征阻抗 Z_c 是微波传输线的重要参量之一。电极与驱动电路间良好的阻抗匹配可减少调制信号在电极接口处的反射,并沿电极获得最有效的电场分布。

对 ASL

$$Z_c = \frac{1}{2c\epsilon_0 n_m} \cdot \frac{K(u)}{K'(u)} \quad (1)$$

对 CPW

$$Z_c = \frac{1}{4c\epsilon_0 n_m} \cdot \frac{K'(u)}{K(u)} \quad (2)$$

其中 c 为真空中的光速, n_m 为微波折射率, ϵ_0 为电极化率, $K(u)$ 为第一类椭圆积分, 且 $K'(u) = K(\sqrt{1-u^2})$ 。对 ASL, $u = \sqrt{G/(G+W)}$, 对 CPW, $u = W/(W+2G)$ 。

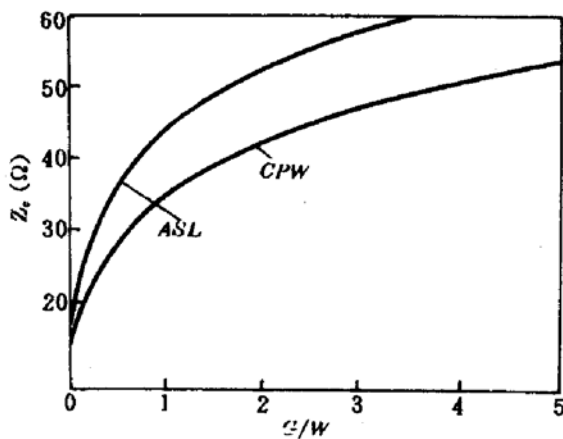


Fig. 2 The characteristic impedance of ASL and CPW

特征阻抗 Z_c 随 G/W 的变化曲线如图 2 所示。若要获得 50Ω 的特征阻抗, 对 ASL, $G/W = 1.7$, 对 CPW, $G/W = 3.8$ 。

ASL 和 CPW 电场分布的数值计算结果如图 3 所示。图 3 的结果表明条电极下的电场强度与接地电极下的电场强度方向相反且大小不等。若条电极下的电场强度为 V_s , 接地电极下的电场强度为 V_g , 则有

$$V_g = \begin{cases} 1/2 V_s & \text{(对 ASL)} \\ 1/4 V_s & \text{(对 CPW)} \end{cases} \quad (3)$$

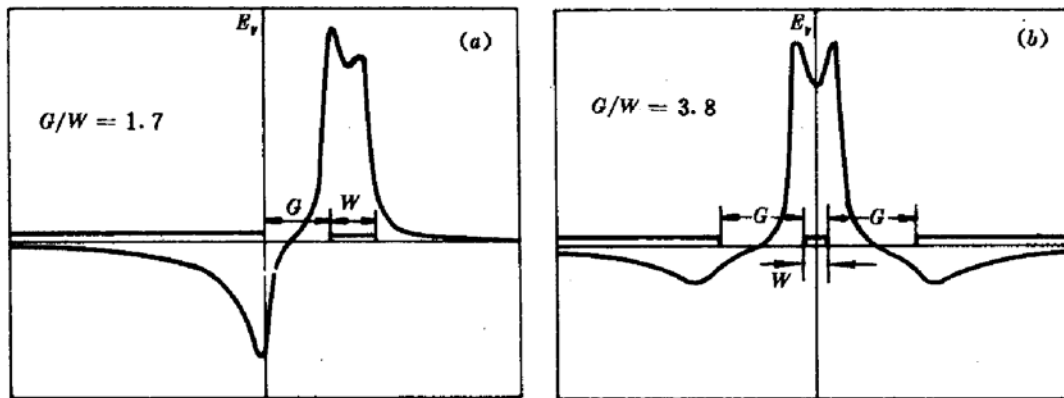


Fig. 3 The field distributions of (a) ASL and (b) CPW

行波调制器的电极是作为微波传输线来使用的, 故必须考虑微波在电极上的传输损耗对器件性能的影响。通常考虑两种损耗: 欧姆和介质损耗。欧姆损耗与电极的几何特性有关。这里使用 Incremental inductance 法则^[4]计算欧姆损耗。若使用铝电极, 对 ASL 的计算结果为

$$a_c = \begin{cases} 17 \sqrt{f(\text{GHz})}/G (\mu\text{m}) & (t > 2d) \\ 90/t (\mu\text{m}) \cdot G (\mu\text{m}) & (t < 2d) \end{cases} \text{ dB/cm} \quad (4)$$

对 CPW 的计算结果为

$$\alpha_c = \begin{cases} 40 \sqrt{f(\text{GHz})}/G (\mu\text{m}) & (t > 2d) \\ 212/t (\mu\text{m}) \cdot G (\mu\text{m}) & (t < 2d) \end{cases} \text{ dB/cm} \quad (5)$$

其中 $d = (1/\pi\mu f\sigma)^{1/2}$, t 为电极的厚度, σ 为材料的电导率, μ 为真空磁导率, f 为行进微波的频率。

介质损耗通常与使用的材料有关。对铝电极的计算结果为

$$\alpha_d = 1.8 \times 10^{-2} (\text{GHz}) \text{ dB/cm} \quad (6)$$

3 器件的频率响应

图 4 为 ASL 和 CPW 用于周期倒相结构的示意图。在周期为 N 的倒相结构电极上施加频率为 ω_m 的行波电信号, 光波通过相互作用长度为 L 的调制器后获得的相位延迟为

$$\Delta\Phi = \prod \frac{2\pi}{\lambda_0} n_0^3 \gamma_{ij} \frac{V_0}{G} |M(\Delta)| \quad (7)$$

其中 λ_0 为光波长, γ_{ij} 为电光系数, V_0 为驱动电源峰值电压, n_0 为光波折射率, \prod 为考虑式(3)非对称推挽操作时的修正因子。

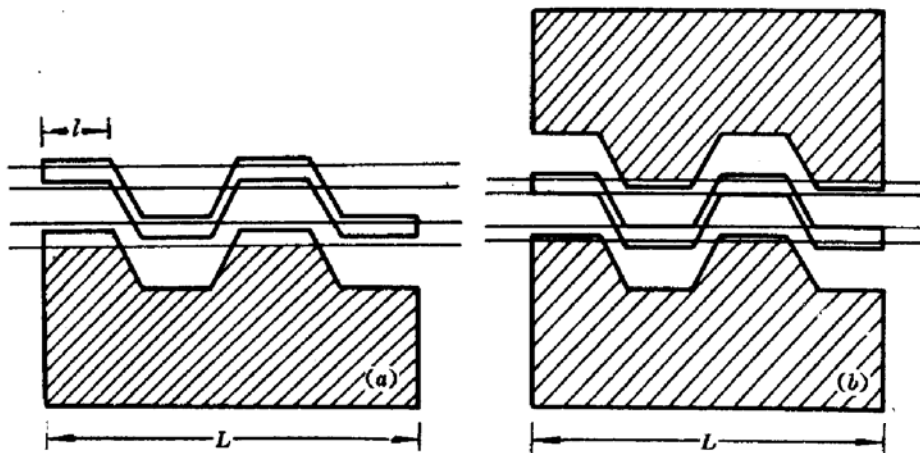


Fig. 4 Phase reversal structures of (a) ASL and (b) CPW

考虑对称推挽操作, 即 $\prod = 1$ 。对 ASL, $M(\Delta)$ 为

$$M(\Delta) = \begin{cases} \frac{1}{N\gamma l} \frac{1/2 e^{-\gamma l} - 1}{e^{-\gamma l} + 1} (1 - e^{-N\gamma l}) & (N \text{ 为偶数}) \\ \frac{1}{N\gamma l} \frac{1 - e^{-(N+1)\gamma l}}{1 + e^{-\gamma l}} \frac{e^{-\gamma l}}{2(1 + e^{-\gamma l})} [1 - e^{-(N-1)\gamma l}] & (N \text{ 为奇数}) \end{cases} \quad (8)$$

对 CPW, $M(\Delta)$ 为

$$M(\Delta) = \begin{cases} \frac{1}{N\gamma l} \frac{e^{-\gamma l} - 1}{e^{-\gamma l} + 1} (1 - e^{-N\gamma l}) & (N \text{ 为偶数}) \\ \frac{1}{N\gamma l} \frac{e^{-\gamma l} - 1}{e^{-\gamma l} + 1} (1 - e^{-N\gamma l}) & (N \text{ 为奇数}) \end{cases} \quad (9)$$

其中 $l = L/N$, $\gamma = \alpha + i2\Delta/l$, $\Delta = \omega l(n_m - n_0)/2c$, n_m 为微波折射率。

若考虑非对称推挽操作的作用, 对 CPW, $M(\Delta)$ 仍由式(9)给出, 但 $\prod = 5/8$ 。对 ASL, $\prod = 0.5$, $M(\Delta)$ 为

$$M(\Delta) = \begin{cases} \frac{1}{N\gamma l} \frac{\frac{1}{2}e^{-\gamma l} - 3/4}{e^{-\gamma l} + 1} (1 - e^{-N\gamma l}) & (N \text{ 为偶数}) \\ \frac{3}{4} \frac{1}{N\gamma l} \left[(1 - e^{-(N+1)\gamma l}) - \frac{2}{3} (1 - e^{-(N-1)\gamma l}) e^{-\gamma l} \right] & (N \text{ 为奇数}) \end{cases} \quad (10)$$

式(7)~(10)的数值计算结果如图5所示。该计算以 $N = 3$ 和 4 为例,且考虑 $\alpha = 0$ 时的理想传输线。

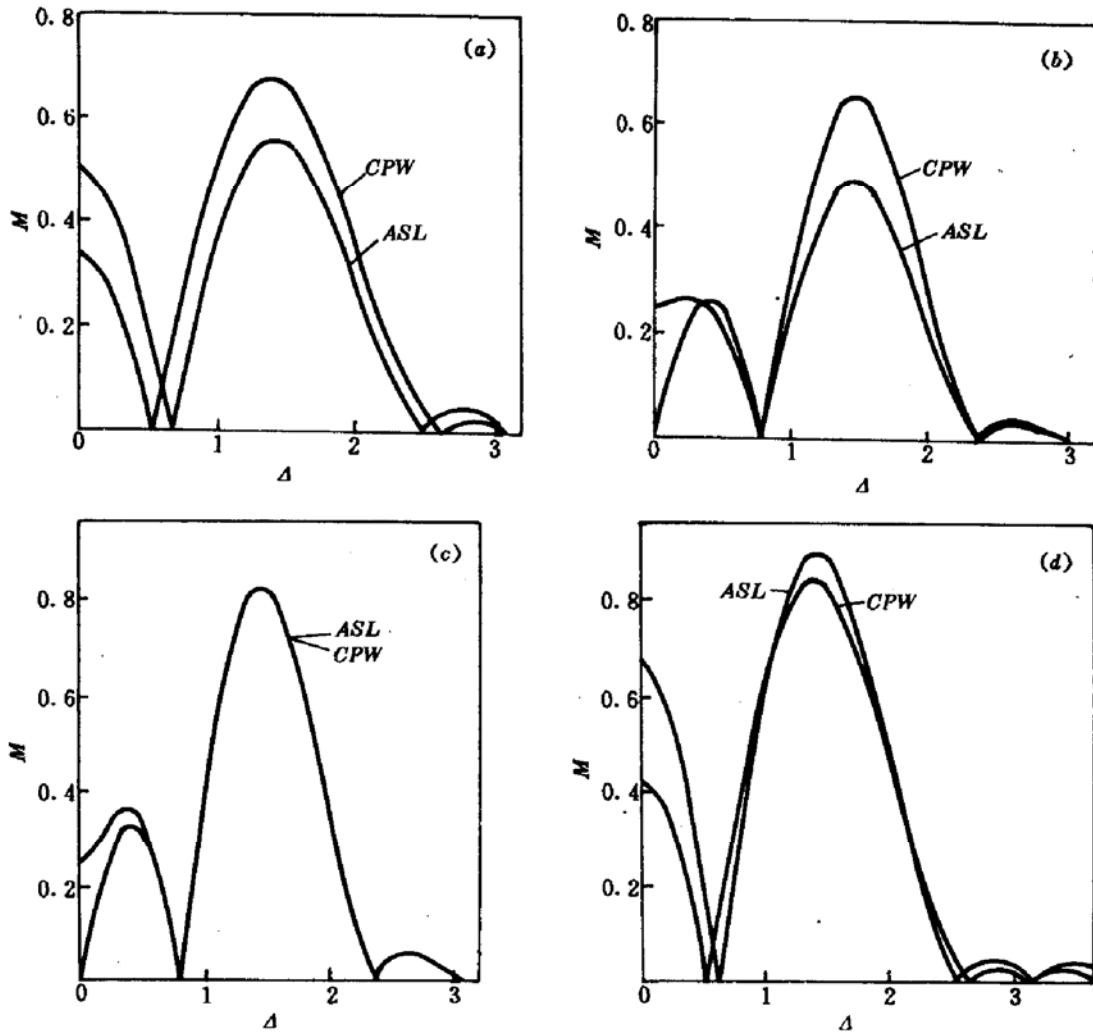


Fig. 5 Frequency responses of (a) $N = 3$ and (b) $N = 4$ with symmetric push-pull operation and (c) $N = 3$ and (d) $N = 4$ with asymmetric push-pull operation, where $M = \prod M(\Delta)$

4 讨论

以上对 ASL 和 CPW 的有关特征参量及它们用于倒相结构时的调制特性进行了数值计算。由于具有式(3)的结果,ASL 和 CPW 均无法利用电光效应在 Mach-Zehnder 干涉仪的两臂上获得大小相等且方向相反的光折射率变化,即无法获得对称推挽操作。故把 ASL 用于倒相结构时,虽然在一条波导上存在未受调制的区域(如图 4(a) 所示),但器件的调制性能却并不劣于使用 CPW 时的情形,这就是图 5(c) 和 (d) 的结果。

由于大多数的微波设备具有 50Ω 的内部阻抗,故将 G/W 设计在使电极具有 50Ω 的特征

阻抗,以达到与外驱动电路阻抗匹配。若 ASL 与 CPW 具有相同的电极厚度和条电极宽度以及 $50\ \Omega$ 特征阻抗,由式(5)和(6)知 ASL 和 CPW 具有近似相等的传输损耗,但 ASL 的电极间隔却小于 CPW 的一半。由此可以预计,使用 ASL 的调制器的驱动电压几乎为使用 CPW 时的 $1/2$ 。

综上所述,ASL 电极完全可以用于倒相结构,无论是实现宽带光调制还是有限带宽光调制,ASL 电极均具有很大的实用性。

参 考 文 献

- 1 D. W. Dolfi, M. Nazarathy, R. J. Jungerman. *Electron. Lett.*, 1988, **24**(9): 528~529
- 2 Y. Zhou, M. Izutsu, T. Sueta. *J. Lightwave Technology*, 1991, **9**(6): 750~753
- 3 K. C. Gupta, R. Gerg, I. J. Bahl. *Microstrip and slotlines*, Washington, Artech, Chapter 7, 1979. 257~301
- 4 H. A. Wheeler. *Proc. IRE*, 1942, **30**(9): 412~424

Comparison of Strip Electrodes of Guidedwave Electrooptical Devices with Phase Reversal Structures

Zhou Yi Chen Yixin

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

Abstract The modulation characteristics of guidedwave electrooptical devices with traveling wave phase reversal structures was analyzed. The performances of devices with two kinds of electrodes, asymmetric strip line electrode (ASL) and coplanar waveguide electrode (CPW) were compared. Numerical calculation shows that effective modulation of lightwave can be realized even through the ASL is applied to the phase reversal structures.

Key words strip electrode, traveling wave, phase reversal