

文章编号: 0258-7025(2005)02-0209-03

LiTaO₃ 相位调制器扩频特性的研究

沈 俊¹, 魏敦楷¹, 蒋凤仙¹, 郭葆玲², 杨文奎²

(¹ 复旦大学通信科学与工程系, 上海 200433; ² 中国电子科技集团公司第 23 研究所, 上海 200437)

摘要 介绍一种利用开关微波信号调制 LiTaO₃ 电光晶体, 实现对输入光扩频的方法。研究了 LiTaO₃ 相位调制器的理论模型, 并给出了相应的计算公式。利用公式模拟、计算得到在一定微波功率调制下相位调制器输出的扩频光谱。给出了实际系统的框图, 并对实际系统的输出光谱进行测量, 得到在不同微波调制功率下的光谱图。对理论计算所得的输出光谱与实际系统的输出光谱进行分析, 发现谱线情况较一致, 仅对应的微波输入功率有差异, 原因是实际系统中微波传输线阻抗不匹配, 所需的实际微波功率比理论值大。该系统的电光晶体为 LiTaO₃, 激光器工作波长为 1053 nm, 微波频率为 4.3 GHz, 开关信号是重复频率为 1 kHz, 占空比为 4:6 的方波。使 90% 的光功率分散于主峰以及一、二次边频, 且一、二次边频的功率近似相等。

关键词 光通信; 电光调制器; 扩频; 微波相位调制

中图分类号 TN 929.1 **文献标识码** A

Study of Spectrum Broadening Characters with LiTaO₃ Phase Modulators

SHEN Jun¹, WEI Dun-kai¹, JIANG Feng-xian¹, GUO Bao-ling², YANG Wen-kui²

(¹ Department of Communication Science and Engineering, Fudan University, Shanghai 200433, China
² Electronics 23rd Research Institute, China Electronic Technology Group Corporation, Shanghai 200437, China)

Abstract A novel method of broadening spectrum with LiTaO₃ crystal by switching microwave signal modulation is presented in this paper. The theory model of phase modulation is illustrated, with the according formulae in details. The output result of broadening spectrum in a certain microwave power is computed and simulated by the formulae. Furthermore, from a practical microwave phase modulator system framed in this paper, the actual spectrum is measured corresponding to variant level of modulating microwave power. The spectrum calculated by theory agrees with the spectrum of real system in shape, except for the disaccord of the level due to the impedance mismatch in practical transmission. Using the integrated waveguide electrooptic phase modulator made of LiTaO₃, the input light at 1053 nm is modulated by a 4.3 GHz microwave frequency, whose switching signal is 1 kHz repetition frequency and square-wave of 4:6 duty cycle. The 90 percent of input power is broadened to the fundamental frequency, first and second side frequency. The both side powers are nearly same.

Key words optical communication; electrooptic modulator; spectrum broadening; microwave phase modulation

1 引 言

采用微波调制的电光集成半导体调制器在高速光纤通信中有着广泛的运用, 各种高速宽带的电光调制器已经相继出现^[1,2]。这种调制器是利用各向异性晶体的电光效应实现的^[3]。它可以分为强度调制器和相位调制器。本文研究的是利用电光集成半

导体调制器^[4]对激光进行微波相位调制将输入光扩频^[5]的方法。该调制器工作物质为 LiTaO₃, 激光器工作波长为 1053 nm, 调制频率为 4.3 GHz。

2 工作原理

LiTaO₃ 电光集成半导体相位调制器^[6]在横向外加电压的作用下, 其输出光场为^[7]

收稿日期: 2003-10-14; 收到修改稿日期: 2004-04-30

作者简介: 沈 俊(1978—), 男, 上海人, 复旦大学通信科学与工程系硕士研究生, 主要研究方向为光通信及其应用。
E-mail: sanjohn@163.com

$$e_{out}(t) = A[J_0(\sigma)\cos\omega_0 t + J_1(\sigma)\cos(\omega_0 + \omega_m)t - J_1(\sigma)\cos(\omega_0 - \omega_m)t + J_2(\sigma)\cos(\omega_0 + 2\omega_m)t - J_2(\sigma)\cos(\omega_0 - 2\omega_m)t + J_3(\sigma)\cos(\omega_0 + 3\omega_m)t - J_3(\sigma)\cos(\omega_0 - 3\omega_m)t + J_4(\sigma)\cos(\omega_0 + 4\omega_m)t - J_4(\sigma)\cos(\omega_0 - 4\omega_m)t + L], \quad (1)$$

对上式进行傅里叶变换得到 $e_{out}(\omega)$ 。对于时不变系统, $e_{out}(\omega) = e_{in}(\omega)H(\omega)$, 其中 $H(\omega)$ 为系统传递函数。设 $e_{in}(\omega) = A\pi[\delta(\omega - \omega_0) + \delta(\omega + \omega_0)]$, 则

$$H(\omega) = J_0(\sigma)\delta(\omega) + J_1(\sigma)\delta(\omega + \omega_m) - J_1(\sigma)\delta(\omega - \omega_m) + J_2(\sigma)\delta(\omega + 2\omega_m) - J_2(\sigma)\delta(\omega - 2\omega_m) + J_3(\sigma)\delta(\omega + 3\omega_m) - J_3(\sigma)\delta(\omega - 3\omega_m)A, \quad (2)$$

其中调制深度 σ 为^[8]

$$\sigma = \frac{\omega\Gamma n_e^3 r_{33} V_m L}{2cD} = \frac{\pi n_e^3 r_{33} V_m L}{\lambda D}, \quad (3)$$

式中的 Γ 为考虑到电场和光场相互作用的不完全性而引入的电场和光场的交叠积分因子。在实际系统中, $n_e = 0.180, r_{33} = 30.3 \times 10^{-12} \text{ m/V}, D = 5 \text{ }\mu\text{m}, L = 10 \text{ mm}, \Gamma \approx 0.3, \lambda = 1053 \text{ nm}$ 。

对于功率谱, 有以下关系式

$$P_{out}(\omega) = P_{in}(\omega) |H(\omega)|^2. \quad (4)$$

图1是相位调制器功率传递函数的频域示意

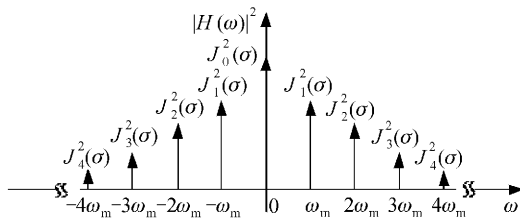


图1 相位调制器的功率传递函数

Fig. 1 Power transmission function of phase modulator

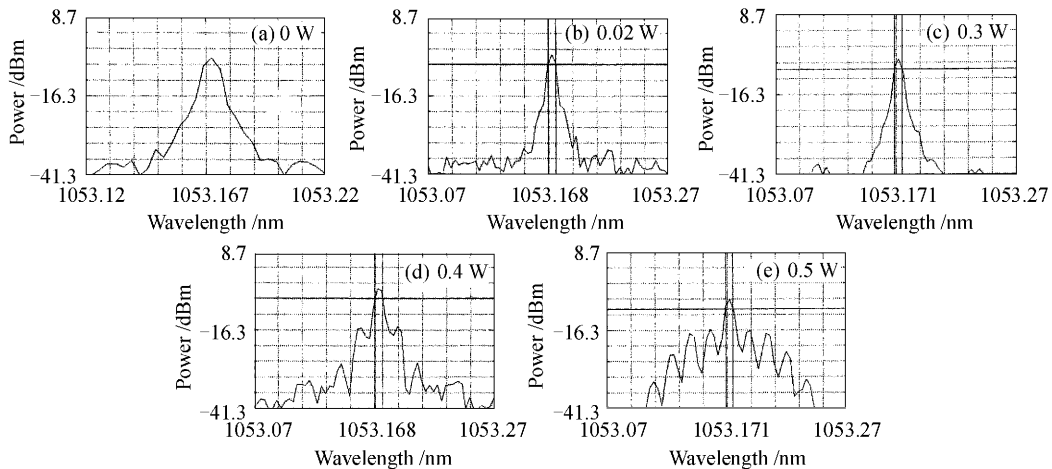


图3 不同调制微波功率下的输出光谱

Fig. 3 Output spectrum given by measurement in various microwave power

图。对于有一定线宽的输入载波光, 傅里叶变换会变得非常复杂, 但是可以近似地利用 $H(\omega)$ 计算输出光谱。

3 系统设计和实验结果

该系统是为 1053 nm 波长输入光的扩频而设计的, 系统框图如图 2 所示, 它包括光纤激光器^[9]、相位调制器、微波信号发生器、电脉冲发生器、微波信号功率控制器、微波衰减器和微波开关。

微波信号发生器产生的 4.3 GHz 微波通过微波开关由电脉冲发生器产生的占空比为 4:6 的 1 kHz 方波开关调制。调制后的微波经过衰减器由微波信号功率控制器控制衰减的大小以控制微波信号的功率, 最后将开关调制的微波功率加到相位调制器上, 对由光纤激光器输出的 1053 nm 的激光进行相位调制。微波信号功率控制器由微处理器控制。采用开关二次调制的原因是: 1) 可以保持 60% 未经相位调制的直透光输出, 这样可以在任何的边

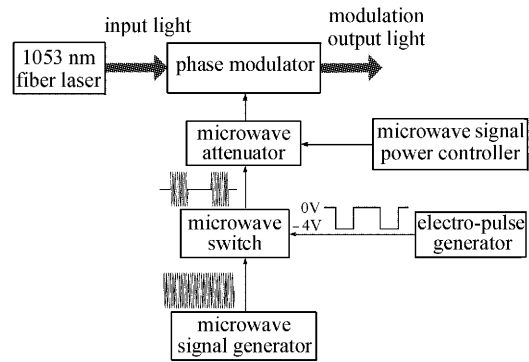


图2 系统框图

Fig. 2 System block map

频分布下都使主峰功率保持一定的值,主峰包含的功率与微波功率有关;2) 考虑到微波管的负载能力,连续的直流微波输入可能会损坏微波管。微波衰减器和相位调制器之间传输线的特征阻抗 $Z_c = 50 \Omega$,在不同微波功率下,得到的扩频结果如图 3 所示。从图中可以看出,随着微波功率的增加,主峰功率减小,边频功率增加。在不计及主峰功率时,得到频谱展宽为 0.07 nm,如图 3(e)所示。

利用(2)~(4)式计算输出光谱,计算中所用的输入光谱参照图 3(a)。微波调制电压为 4.5 V,功率可以下式计算: $P = Z_c V_m^2 / 2 = 0.2 \text{ W}$ 。由于开关二次调制后的微波占空比为 4:6,所以只有 40% 的输入光功率受到相位调制,将参加调制的输入光功率代入(4)式,另外 60% 的输入光功率直接透射出来。得到的理论输出光谱如图 4 所示。图 4(a)表示不计及透射光时的输出光谱,理论计算表明保持微波幅度不变,边频的相对值不会发生改变。图 4(b)表示计及透射光时的输出光谱,即实际输出谱线,在占空比为 4:6 时主频的峰值比一、二次边频高得多,原因是受微波器件的限制占空比不能取得太大。占空比的选择对于扩频频谱的平坦性起着关键的作用,合理增加占空比可以使得频谱平坦且可使 90% 的功率分布在主频和一、二次边频。

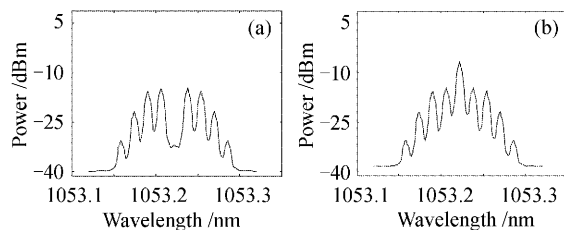


图 4 计算的输出光谱

(a) 不计及透射光时的输出光谱;

(b) 计及透射光时的输出光谱(实际谱)

Fig. 4 Output spectrum given by calculation

(a) output spectrum regardless of transmitted light;

(b) output spectrum counting transmitted light

4 结 论

分析了相位调制器的工作原理,采用二次调制的方法实现了对 1053 nm 激光的扩频。由理论分

析得到的不计及透射光时输出光谱的结果和文献[10]较一致;计及透射光时输出光谱和实测输出光谱图较一致,所不同的是对应的微波输入功率有差异,原因是实际系统中微波传输线阻抗不匹配,所需的实际微波功率比理论值大。设计阻抗匹配的系统,可以使得微波输入功率减小。

参 考 文 献

- Chen Lei, Yu Changtai. Design and fabrication of novel standing wave electrooptical modulator for getting large modulation index [J]. *Acta Optica Sinica*, 2000, **20**(8):1089~1094
陈磊,于长泰. 用于获取大调制度的驻波型电光调制器的设计与制作[J]. *光学学报*, 2000, **20**(8):1089~1094
- Liao Weijun, Chen Xianfeng, Zeng Xianglong *et al.*. Analytical study of electrooptic modulator using annealed proton exchanged planar waveguide [J]. *Acta Optica Sinica*, 2003, **23**(7):865~869
廖尉钧,陈险峰,曾祥龙等. 退火质子交换平面波导型电光调制器的研究[J]. *光学学报*, 2003, **23**(7):865~869
- Guo Fengzhen, Yu Changtai, Tetsuro Kobayashi. Quasi-velocity matched electrooptic phase modulator [J]. *Chinese J. Lasers*, 1997, **A24**(4):307~310
郭凤珍,于长泰,小林哲郎. 准速度匹配电光相位调制器[J]. *中国激光*, 1997, **A24**(4):307~310
- Mee K. Chin, T. Y. Chang, William S. C. Chang. Generalized blockaded reservoir and quantum-well electron-transfer structures (BRAQWETS): modeling and design considerations for high performance waveguide phase modulators [J]. *IEEE J. Quantum Electron.*, 1992, **28**(11):2596~2611
- Li Wei, Pu Hongtu, Wu Jian *et al.*. Experimental study and property analysis of the spectrum broadening [J]. *J. Appl. Opt.*, 2001, **22**(6):31~33
李伟,濮宏图,吴健等. 光谱展宽特性分析及实验研究[J]. *应用光学*, 2001, **22**(6):31~33
- S. McMeekin. Novel transverse electro-optic waveguide phase modulator realised in titanium-diffused and proton-exchanged LiNbO₃ [J]. *Electron. Lett.*, 1989, **25**(13):853~855
- A. Yariv. Introduction to Optical Electronics [M]. Beijing: Science Press, 1983. 273
A. 雅里夫. 光电子学导论[M]. 北京:科学出版社, 1983. 273
- Rod C. Alferness. Waveguide electrooptic modulators [J]. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 1982, **MTT-30**(8):1121~1136
- Jun Li, Yubin Guo, Tianshu Wang *et al.*. An all-fiber type Er⁺³/Yb⁺³ co-doped fiber laser [J]. *Chin. Opt. Lett.*, 2003, **1**(9):503~505
- H. Murata, K. Kinoshita, G. Miyaji *et al.*. Quasi-velocity-matched LiTaO₃ guided-wave optical phase modulator for integrated ultrashort optical pulse generators [J]. *Electron. Lett.*, 2000, **36**(17):1459~1460