

波导相位调制器光谱展宽特性分析及实验研究

濮宏图 李伟 薛泉

张小民 董延滨

(电子科技大学应用物理研究所 成都 610054)

(西南核物理与化学研究所 成都 610003)

提要 计算了相位调制器光谱展宽与调制深度的关系,分析并通过实验观察了 $0.6328 \mu\text{m}$ 光辐射在功率 1 W , 2.45 GHz 微波驱动下的频谱,推得调制深度与微波功率的表达式。最后用光栅谱仪测得在 16 W 微波功率作用下产生 0.13 nm 光谱宽度,两种测试结果吻合较好。

关键词 光谱展宽,光波导,相位调制器

1 引言

在 ICF(Inertia Confinement Fusion) 中采用集成光学技术已经成为各国科学家研究的热点,该技术不仅在实现多光路均衡、时间同步等方面具有独特的优点,而且由于对控制信号功率要求低,用强度调制器和相位调制器实现脉冲时间剪裁和光谱展宽也容易实现^[1,2]。本文分析了光谱展宽与调制深度的关系。介绍了在 SSD(Smoothing by Spectral Dispersion) 技术中使用的一种相位调制器及光谱展宽实验。

本文首先叙述了相位调制的一般原理,简单分析了相位调制器输出光谱特点,给出了展宽实验和实验结果及分析。

2 光相位调制的一般原理

相位调制器中微波引起的光相位延迟为^[3]

$$\varphi = \omega_0 t + \delta \sin \omega_m t$$

其中 ω_0 为光波角频率, ω_m 为微波角频率,如果采用横向激励则调制深度

$$\delta = \pi n_e^3 \gamma_{33} E_m L / \lambda_0 \quad (1)$$

式中 n_e 为非常光折射率, L 为波导中光波与微波作用长度,对于 x 切 y 方向传播的 LiNbO_3 基片,光波导模为 TE 时光电场偏振方向与电极电场方向一致。 $E_m = V/L_z$ 为微波在 z 方向的场强, L_z 为电极间距离,通常与波导尺寸相当。被相位调制的光场为

$$e_{\text{out}} = A \cos(\omega_0 t + \delta \sin \omega_m t)$$

上式按贝塞尔函数展开

$$e_{out} = A [J_0(\delta) \cos\omega_0 t \pm J_1(\delta) \cos(\omega_0 \pm \omega_m)t + J_2(\delta) \cos(\omega_0 \pm 2\omega_m)t \pm J_3(\delta) \cos(\omega_0 \pm 3\omega_m)t + J_4(\delta) \cos(\omega_0 \pm 4\omega_m)t \dots] \tag{2}$$

如果光谱展宽 $\Delta\lambda = 0.2 \text{ nm}$, 中心波长 $\lambda_0 = 0.6328 \text{ }\mu\text{m}$ 处光谱展宽 $\Delta\nu = c\Delta\lambda/\lambda_0^2 \approx 150 \text{ GHz}$, 当微波频率 ν_m 取 2.45 GHz 时, 边频带对应的阶数为 $\Delta\nu/2\nu_m \approx 31 \approx 10\pi$ 。

理论上我们可以通过光谱展宽与调制深度的关系得到所需微波功率, 但微波场与光场都是不均匀的, 所以通常用场-模重叠因子描述^[4], 不过该因子的具体值往往也是由实验确定的。

3 相位调制器光谱展宽与调制深度

通过(2)式可知由微波调制的激光将是以 ω_0 为中心频率各阶微波频率 ω_m 为边带的具有一定宽度的复合光, 第 n 个边带的功率为 $P_n = P_0 |J_n(\delta)|^2$ 。运用文献[5]的方法, 微波功率一定时, 频率超出激光中心频率 $\pm \nu_m\delta$ 的边带功率可以忽略, 于是定义调制深度与光谱展宽宽度的关系为

$$\delta = \Delta\nu/2\nu_m = c\Delta\lambda/(2\lambda_0^2\nu_m) \tag{3}$$

上式作为光谱展宽的依据是根据贝塞尔函数的性质得到的, 图1分别给出了 δ 取 $5\pi, 9\pi, 10\pi$ 时对应各阶边带的功率谱, 其对应谱宽分别约为 $36\nu_m, 58\nu_m, 64\nu_m$, 即如果中心波长 λ_0 为 $0.6328 \text{ }\mu\text{m}$, $\Delta\lambda = 0.119, 0.190, 0.209 \text{ nm}$ 。

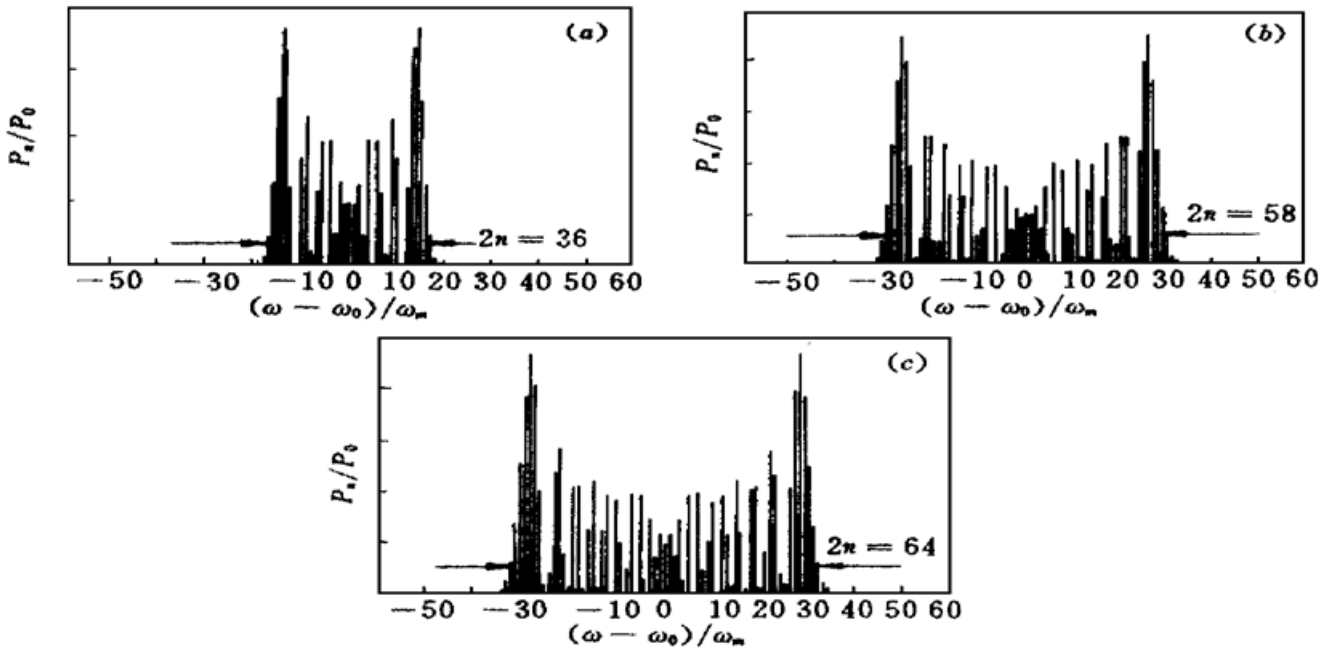


图1 调制深度 $\delta = 5\pi$ (a), 9π (b) 和 10π (c) 时的频谱

Fig. 1 The modulated spectrum
(a) $\delta = 5\pi$; (b) $\delta = 9\pi$; (c) $\delta = 10\pi$

4 光谱展宽的测试

4.1 测试系统及测试结果

首先由F-P标准具考察了调制微波功率为 1 W 时 $0.6328 \text{ }\mu\text{m}$ 激光输出谱的干涉图, 观察到亮度不小于零阶的三阶边带。由于受到自由光谱范围的限制最后选用反射光栅谱仪。图2是 1300 线/mm 反射光栅测得的钠双线一级和二级衍射强度分布。图3分别为微波功率 0 W 和

16 W 时调制器输出的 He-Ne 激光谱分布。

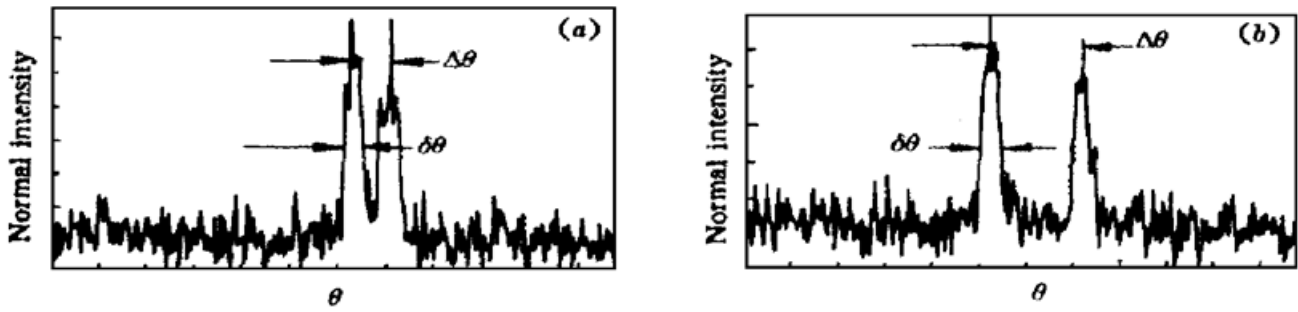


图 2 Na 双线一级衍射强度分布 (a) 和二级衍射强度分布 (b)

Fig. 2 The first order (a) and the second order (b) diffraction of a sodium-vapor lamp

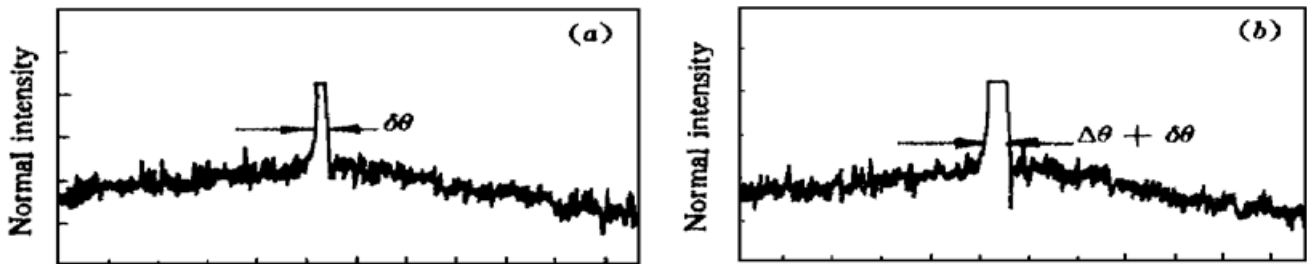


图 3 未加微波时 He-Ne 激光强度分布 (a) 和微波功率为 16 W 时的强度分布 (b)

Fig. 3 The intensity distribution of an unmodulated He-Ne laser (a) and the intensity distribution of a modulated He-Ne laser (microwave power is 16 W) (b)

4.2 数据分析

随着调制深度 δ 从 0 增加, 第一次出现三阶贝塞尔函数取最大值时对应的 δ 约为 4.2, 由 (1) 式可知 $\delta \propto \sqrt{P_m}$, P_m 是微波功率。也就是说, 当微波功率为 1 W 时调制深度约为 4.2, 即有 $\delta \approx 4.2 \sqrt{P_m}$ 。微波功率为 16 W 时可推知 $\delta = 16.8 \geq 5\pi$, 光谱展宽宽度应大于 0.12 nm。

根据光栅半角宽度与角分辨公式我们设 $\Delta\lambda = K(\theta)\lambda_0 \frac{\Delta\theta}{\delta\theta}$, 其中 $\delta\theta$ 为半角宽度, $\Delta\theta$ 是波长差为 $\Delta\lambda$ 的光的张角。由图 2 $\Delta\lambda = 0.6 \text{ nm}$, $\lambda_0 = 0.5893 \mu\text{m}$, 当光栅衍射级次 $m = 1, 2$ 时对应 $\Delta\theta/\delta\theta = 32/15, 78/18$, 即 $K(\theta) = 0.000477, 0.000235$ 。而波长为 $\lambda_0 = 0.6328 \mu\text{m}$ 时其一级衍射角 (24.3°) 在钠光一、二级衍射角 ($22.5, 50.0^\circ$) 之间, 于是取 $K(\theta) = 0.00045$ 。由图 3 知 $\Delta\theta/\delta\theta = 6/13$, 最后有 $\Delta\lambda \approx 0.13 \text{ nm}$ 。这与通过弱微波调制时得到的推论相吻合, 由此得出使 He-Ne 激光展宽 0.2 nm 所需微波功率为 56 W。

参 考 文 献

- 1 R. B. Wilcox, W. Behrendt, D. F. Browning *et al.*. Fusion laser oscillator and pulse-forming system using integrated optics. *SPIE*, 1993, **1870**: 53~ 63
- 2 J. R. Murray, J. R. Smith, R. B. Ehrlich *et al.*. Experimental observation and suppression of transverse stimulated Brillouin scattering in large optical components. *J. Opt. Soc. Am. B*, 1989, **6**(12): 2402~ 2411
- 3 A. Yariv. Quantum Electronics. By John Wiley & Sons, Ins. Second Edition. see chapter 14
- 4 Chen Fushen. Optimal electrode and waveguide design for high efficiency integrated optic modulators and

switches. *Acta Optica Sinica* (光学学报), 1995, **16**(3) : 357~ 363 (in Chinese)

- 5 S. N. Dixit. Numerical modelling of the suppression of stimulated Brillouin scattering due to finite laser bandwidth. *SPIE*, 1992, **1626** : 254~ 265

Study of Spectral Widening Characteristics of a Waveguide Phase Modulator

Pu Hongtu Li Wei Xue Quan

(*Institute of Applied Physics, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 610054*)

Zhang Xiaomin Dong Yanbin

(*Institute of South-west Nuclear Physics and Chemistry, Chengdu 610003*)

Abstract The relation of spanned optical spectrum and modulation intensity in a phase modulator is calculated in this paper. The frequency spectrum of $0.6328 \mu\text{m}$ light driven by 2.45 GHz microwave at 1 W power is analyzed and observed. Finally, with a grating spectrometer, the 0.13 nm spectrum width at 16 W microwave power is measured. The two measured results are in good agreements.

Key words spectrum spread, optical waveguide, phase modulator

中国科技期刊排行表*

(按被引频次和影响因子排序)

工程技术类:

名次	期刊名称	被引频次	名次	期刊名称	影响因子
1	金属学报	471	1	摩擦学学报	0.3168
2	中国激光·A	369	2	金属学报	0.3067
3	电子学报	269	3	电子显微学报	0.2635
4	石油化工	238	4	自动化学报	0.2418
5	水利学报	228	5	计算机学报	0.2331
6	自动化学报	222	6	材料研究学报	0.2070
7	半导体学报	216	7	中国激光·A	0.2024
8	计算机学报	200	8	化工学报	0.2000
9	金属热处理	199	9	燃料化学学报	0.1931
10	化工学报	198	10	高分子材料科学与工程	0.1926

* 详细说明见本刊 1998 年第 1 期第 96 页。