

文章编号: 0258-7025(2002)05-0389-04

# LD 抽运 Nd:YVO<sub>4</sub>/KTP 激光光强高频调制技术

华家宁

(南京师范大学省重点光电技术实验室, 江苏南京 210097)

**提要** 用声光调制的方法将激光二极管(LD)抽运 Nd:YVO<sub>4</sub>/KTP 激光进行光强调制, 频率达 15 MHz 以上, 衍射效率达 40%~60%, 满足了激光精密测量和新型激光彩色电视的技术要求, 有很好的应用前景。

**关键词** LD 抽运, 绿激光, 声光调制, 光强高频调制

中图分类号 TN 248.1 文献标识码 A

## Technology of High-frequency Light-intensity Modulation on LD Pumped Nd:YVO<sub>4</sub>/KTP Laser

HUA Jia-ning

(Provincial Lab of Electro-optical Technology, Nanjing Normal University, Nanjing 210097)

**Abstract** The LD pumped Nd:YVO<sub>4</sub>/KTP laser is modulated by AOM of light-intensity. The modulating frequency achieved is above 15 MHz, and the diffraction efficiency attained is up to 40%~60%, which can meet the needs of laser accurate measure and new type laser color television.

**Key words** LD pumped, green laser, AOM, light-intensity high frequency modulation

### 1 引 言

近年来研制成功的激光二极管(LD)抽运全固态腔内倍频激光器(DPL), 其性能稳定, 具有效率高、寿命长、体积小、重量轻、结构紧凑、工作可靠等优点, 有很好的应用开发价值<sup>[1,2]</sup>。我们研究了对 LD 抽运 Nd:YVO<sub>4</sub>/KTP 激光进行光强高频调制的技术。目前国内外用内调制的方法其最高频率仅为 1~2 MHz, 电光调制又需要提供较大的电功率, 从应用实际出发, 我们选用声光调制的方法。在英国 Gooch&Housego 公司加工定制了一套高频声光调制器(HAOM), 设计了与之相匹配的光学系统, 成功地获得了 15 MHz 以上的高频光强调制光, 其衍射效率高达 40%~60%。满足了这种激光精密测量和新型激光彩色电视的技术要求<sup>[3]</sup>, 有很好的应用前景。

### 2 LD 抽运 Nd:YVO<sub>4</sub>/KTP 激光束的特性

所用的 LD 抽运 Nd:YVO<sub>4</sub>/KTP 激光器, 型号为 CDPL-1020, 输出功率为 20 mW, 波长  $\lambda = 532$  nm, 为基横模(TEM<sub>00</sub>)高斯光束, 束腰在激光器输出端面处, 直径  $2w_0 = 0.06800$  mm, 远场发散角  $2\theta_0 = 10$  mrad。由计算得高斯光束的瑞利长度  $z_0 \approx 6.826$  mm, 此处高斯光斑直径  $2w(z_0) \approx 0.09616$  mm, 发散角  $2\theta \approx 7.040$  mrad。

### 3 DPL 激光的光强高频调制

在精密测量和激光彩色电视扫描等方面, 需将激光的光强变化频率调制到 10 MHz 以上, 且有较高的衍射效率。采用声光调制技术的问题是, 调制频率越高, 要求在晶体中激光束的有效直径越小, 导致

收稿日期: 2001-03-12; 收到修改稿日期: 2001-07-24

基金项目: 江苏省光电技术重点实验室开放基金(项目代码 610803001)资助项目。

作者简介: 华家宁(1940—), 女, 浙江杭州人, 南京师范大学物理科学与技术学院教授, 主要从事光学与激光技术研究。E-mail: sheila69@sina.com

高斯光束的发散角增大,且在晶体中的有效作用距离减小,致使其衍射效率下降。如何获得高衍射效率的高频调制光,是声光调制技术的难题。英国 Gooch&Housego 公司根据我们提出的指标参数,加工制作了一台型号为 M350-2C 的声光调制器,其驱动器型号为 A310,它的载波频率为 350 MHz, M350-2C 采用行波声场的布喇格声光调制技术,光强调制频率的范围为 0~100 MHz,其调制频率为 0

时的直流衍射效率大于 85%,布喇格角为 22 mrad,属小角度布喇格衍射,其实验框图见图 1。根据我们测量的需要,选择激光的光强调制频率为 15 MHz。将峰值为 1 V,频率为 15 MHz 的正弦调制电信号馈给驱动器的模拟信号输入口,在驱动器的输出口产生功率大约为 0.4 mW 的射频信号,调节与声光调制器相匹配的光学聚焦系统,获得了高衍射效率的 1 级衍射光,其光强调制频率为 15 MHz。

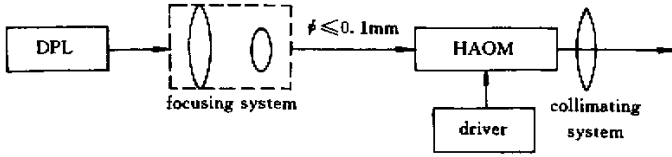


图 1 声光调制实验框图

Fig. 1 Experimental scheme of acousto-optic modulation

### 4 高频声光调制器 (HAOM) 匹配条件分析

我们要求 HAOM 的调制频率在 10 MHz 以上时,通过声光晶体的有效激光束直径小于 0.1 mm,在声光作用距离内光束发散角小于 7 mrad。由于本声光晶体总长为 20 mm,为使高频调制光的衍射效率达到最大,其关键是使激光在晶体中的有效声光作用距离应尽量接近 20 mm,且光束束腰应设计在晶体的中心位置。下面以此问题为中心进行具体的分析讨论。

由距束腰  $z$  距离处光斑半径  $w(z)$  公式<sup>[4]</sup>

$$w^2(z) = w_0^2 \left[ 1 + \left( \frac{\lambda z}{\pi w_0^2} \right)^2 \right] \quad (1)$$

得当  $2w(z) = 0.1 \text{ mm}$  时,  $w_0$  应满足的条件

$$w_0^2 = \frac{1}{2} w^2(z) \pm \sqrt{\frac{1}{4} w^4(z) - (\lambda z / \pi)^2} \quad (2)$$

可知,要使  $w_0$  具有意义的实解,应满足的条件为

$$\frac{1}{4} w^4(z) \geq (\lambda z / \pi)^2$$

由此可得  $z$  的最大值

$$z_{\max} = \frac{\pi w^2(z)}{2\lambda} \quad (3)$$

计算得  $z_{\max} \approx 7.382 \text{ mm}$ 。此时  $2w_0 = \sqrt{2} w(z) \approx 0.07071 \text{ mm}$ ,此处的发散角  $2\theta$  由公式<sup>[5]</sup>

$$2\theta = \frac{2dw(z)}{dz} = \frac{2\lambda^2}{\pi w_0} \frac{z}{\sqrt{\pi^2 w_0^4 + \lambda^2 z^2}} \quad (4)$$

得  $2\theta \approx 6.772 \text{ mrad} < 7 \text{ mrad}$ ,相应的瑞利长度  $z_0 \approx 7.384 \text{ mm}$ 。

由此可知,取晶体中心处激光束腰直径  $2w_0 \approx 0.0707 \text{ mm}$  为最佳设计,此时在晶体内部可取得 14.767 mm 的最长有效声光作用距离,这样就能得到最高的高频调制衍射效率。显然,此种激光不能直接输入 HAOM,必须设计一个使两者相匹配的光学系统。

### 5 光学匹配系统的设计

根据上述分析,为得到最高衍射效率的高频调制光,我们设计了两种使 DPL 激光与 HAOM 相匹配的光学系统。

#### 5.1 单透镜系统

选用一个透镜  $L$ ,其焦距  $f = 32 \text{ mm}$ ,由计算得它距 DPL 束腰  $w_0$  的距离  $z \approx 62.022 \text{ mm}$ ,距 HAOM 中心束腰  $w_0'$  的距离  $z' \approx 64.451 \text{ mm}$ 。

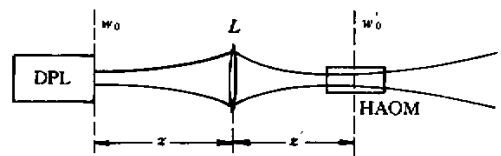


图 2 单透镜系统

Fig. 2 System of single lens

## 5.2 双透镜系统

本系统使用两个透镜  $L_1$  (焦距  $f_1 = 40$  mm),  $L_2$  (焦距  $f_2 = 32$  mm), 透镜  $L_2$  置于  $L_1$  出射高斯光束的束腰  $w_{01}'$  处。计算得  $z_1 \approx 46.071$  mm,  $z_1' \approx 156.385$  mm,  $z_2' \approx 33.802$  mm。

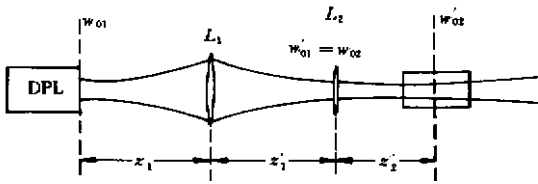


图 3 双透镜系统

Fig. 3 System of two lenses

经实验,双透镜系统较单透镜系统更便于调节,更容易调整到最佳匹配状态,获得较高的衍射效率。

## 6 实验结果与讨论

利用双透镜聚光系统,我们得到光强调制频率为 15 MHz 的激光输出,用型号为 13DAH003 的高

频响应光电探测器直接接收经 HAOM 调制后出射的光,其示波器显示见图 4,示波器上显示的读数为  $\text{FREQ} 15.00$  MHz。如果我们使用国产 DPL,它有低频光强噪声,光电探测器接收它直接发射的光,其示波器显示见图 5,示波器光标选在一个周期间隔,屏幕显示  $1/\Delta TA$  为 138.1 kHz,在此  $\Delta TA = T$  (即一个周期),测得噪声频率  $1/T = 138.1$  kHz。此时用探测器测通过 HAOM 输出的激光光强调制频率,示波器光标取 10 个周期间隔,屏幕显示  $1/\Delta TA$  为 1.501 MHz,此时  $\Delta TA = 10 T$ ,测得频率  $1/T = 15.01$  MHz (见图 6)。我们用光功率计分三组实验,测量光强调制频率为 15 MHz 的 1 级光衍射效率,每组测试前均重新调节一下 HAOM 的位置及它与 DPL 相匹配的双透镜聚光系统,实验测量数据见表 1 (表中入射光总功率是经双透镜系统后入射到 HAOM 上的光功率)。

可以看出我们获得了光强调制频率为 15 MHz 的 1 级衍射光,其衍射效率高达 40%~60% 左右,由图 7 的照片也可看出仅有的两个 0 级和 1 级的布喇格衍射光强近乎相等。

表 1 1 级衍射效率的测量数据

Table 1 Measure data of one-order diffraction efficient

	Order of measurement	Total power of incident light/mW	Power of zero-order diffraction/mW	Power of one-order diffraction/mW	Diffraction efficient/%	Average diffraction efficient/%
The first group	1	10.01	5.87	4.10	40.96	40.89
	2	10.02	5.90	4.09	40.82	
	3	10.02	5.88	4.10	40.92	
	4	10.02	5.90	4.08	40.80	
	5	10.01	5.88	4.10	40.96	
	6	10.02	5.88	4.09	40.90	
The second group	1	10.02	4.81	5.19	51.80	51.76
	2	10.01	4.77	5.20	51.95	
	3	10.01	4.82	5.17	51.65	
	4	10.02	4.80	5.18	51.70	
	5	10.00	4.82	5.17	51.70	
	6	10.01	4.80	5.18	51.75	
The third group	1	10.10	4.30	5.78	57.23	57.22
	2	10.12	4.29	5.80	57.31	
	3	10.11	4.29	5.78	57.17	
	4	10.11	4.30	5.79	57.29	
	5	10.10	4.31	5.77	57.12	
	6	10.12	4.31	5.79	57.21	

采用国产 DPL 激光器,输出为双纵模,并有 138 kHz 的低频脉冲噪声,光强不稳定,会影响测量

精度。高精度测量最好选用美国 Coherence 公司生产的这种激光器,它输出稳定,无脉冲噪声。用我们

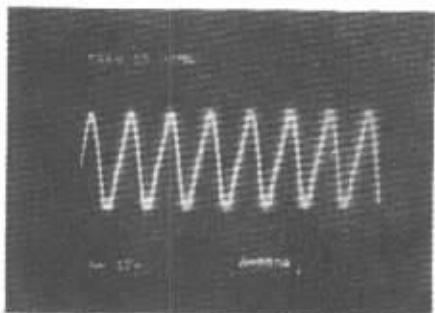


图 4 高频光强调制激光显示

Fig. 4 Waveform of the modulated laser



图 7 高频声光调制布喇格衍射光斑照片

Fig. 7 Photograph of Bragg diffraction in the high frequency acoustic-optic modulation

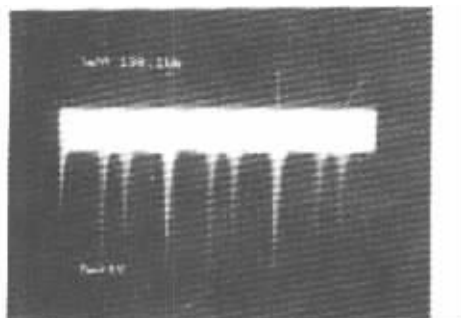


图 5 直接发射的国产 DPL 激光显示

Fig. 5 Waveform of the unmodulated home made DPL laser

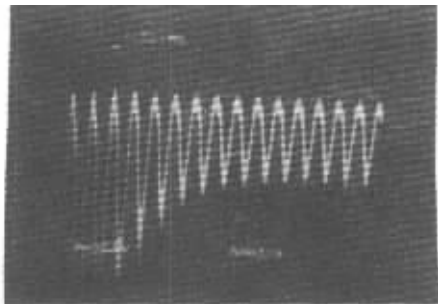


图 6 高频光强调制的国产 DPL 激光显示

Fig. 6 Waveform of the modulated home made DPL laser

设计的匹配光学系统完全能满足激光精密测量和新型激光彩色电视技术的要求。

### 参 考 文 献

- 1 Zhou Shou-huan, Jiang Dong-sheng, Zhao Hong. Diode-pumped high power, frequency doubling Nd:YAG laser [J]. *Chinese J. Lasers* (中国激光), 2001, **A28**(2):97~99 (in Chinese)
- 2 Huo Yujing, He Shufang, Duan Yusheng *et al.*. LD pumped high performance miniature green laser [J]. *Chinese J. Lasers* (中国激光), 2000, **A27**(7):586~588 (in Chinese)
- 3 Hua Jia-ning. An experimental system for weak signal detection using LD pumped Nd:YVO<sub>4</sub>/KPT laser [J]. *Semiconductor Optoelectronics* (半导体光电), 2001, **22**(2):112~116
- 4 Chen Yu-qing, Wang Jing-huan. *Laser Principle* [M]. Hangzhou: Zhejiang University Press, 1997. 186, 216~217 (in Chinese)
- 5 Teaching and Research Group of Optical Instruments, Tsinghua University, *Basic optics of information* [M]. Beijing: Machine Industry Press, 1985. 509 (in Chinese)