

· 论 文 ·

# 全固化 Nd: YVO<sub>4</sub> 绿光激光器

黄元庆 叶艺文 梅荣华

(厦门大学新技术开发研究所, 厦门 361005)

**摘要:** 本文介绍了一种新型微型全固化绿光激光器。采用激光二极管端面泵浦 Nd: YVO<sub>4</sub> 激光晶体, 用 KTP 作为非线性倍频晶体, 当泵浦光功率为 360mW 时, 获得 530nm 波长、9.3mW 的基横模绿光输出, 总的光-光转换效率为 2.4%。

**关键词:** LD, Nd: YVO<sub>4</sub>, 倍频, 绿光激光器

## All solid-state green Nd: YVO<sub>4</sub> laser

Huang Yuanqing Ye Yiwen Mei Ronghua

(Institute of New Technology, Xiamen University, Xiamen 361005)

**Abstract:** In this paper, it is presented for a new structure of all solid-state micro-laser. Nd: YVO<sub>4</sub> crystal is end-pumped by laser diode, and KTP crystal is used as a frequency doubler. The output power of 9.3mW of TEM<sub>00</sub> mode laser at 532nm has been obtained for pumping power of 360mW, and the total optical to optical efficiency is 2.4%.

**Key words:** LD, Nd: YVO<sub>4</sub>, frequency-doubling, green laser

### \* 1 引言

LD(激光二极管)泵浦固体激光器,是80年代中期兴起的新技术,近些年来发展极为迅速。这种全固化结构的激光器与传统的灯泵浦固体激光器相比,激光二极管发射光谱范围窄,发射中心波长可实现与固体激光晶体的吸收光谱完全匹配,光-光转换效率可提高0~50倍;激光晶体无或极小的热透镜效应,无需特殊的冷却装置,减少了激光器件的机械噪声;工作寿命可超过5000小时。因此,该器件是一种高转换效率、高频率稳定性、窄谱线、微型、长寿命的相干光源。

Nd: YVO<sub>4</sub>(掺钕钒酸钇)晶体为四方晶体,是单轴晶体,与Nd: YAG相比具有许多突出优点。如,在1064nm处的受激发射截面, Nd: YVO<sub>4</sub>为 $25 \times 10^{-19} \text{cm}^{-2}$ , Nd: YAG为 $6.8 \times 10^{-19} \text{cm}^{-2}$ ,前者约为后者的四倍;在809nm中

心吸收波长附近的吸收带宽, Nd: YVO<sub>4</sub>约为21nm, Nd: YAG约为10nm,前者约为后者的二倍。此外, Nd: YVO<sub>4</sub>是双折射晶体,能输出偏振光。但Nd: YVO<sub>4</sub>与Nd: YAG相比,其热传导系数较低,因此, Nd: YVO<sub>4</sub>较适合做成微片激光器。

由于KTP对1064nm具有高倍频效率及好的机械强度,尤其是能实现Ⅲ类非临界相位匹配。因此,本器件用KTP作倍频晶体。

### 2 实验与理论分析

图1为LD泵浦Nd: YVO<sub>4</sub>倍频绿光激光器结构示意图。该器件LD与Nd: YVO<sub>4</sub>晶体之间无耦合光学系统,而是采用面对面紧凑型

\* 1996年12月26日收稿

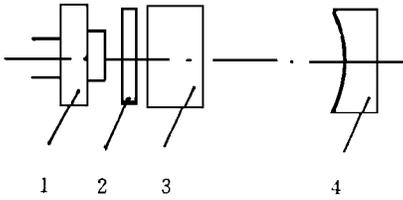


图 1 全固化 Nd:YVO<sub>4</sub> 绿光激光器结构示意图

1- LD, 2- Nd:YVO<sub>4</sub>, 3- KTP, 4- 输出镜

直接耦合结构, 这能使激光晶体最大限度地吸收 LD 光能量, 并使器件微型化和简单化。LD 采用国产 GaAlAs 单量子阱半导体激光器, 光斑为  $240 \times 1 \mu\text{m}$ , 发散角  $\theta_{\perp} \leq 40^\circ$ ,  $\theta_{\parallel} \leq 10^\circ$ , 中心波长为  $809\text{nm}$ , 谱线宽度约  $2\text{nm}$ ; Nd:YVO<sub>4</sub> 尺寸为  $3 \times 3 \times 1\text{mm}^3$ , 掺 Nd 浓度为  $2\text{at}\%$ , 采用 a 轴向切割, 实现  $\pi$  型偏振, 获得对  $809\text{nm}$  波长光能最大吸收系数  $\alpha = 72.4\text{cm}^{-1}$ ; KTP 晶体尺寸为  $3 \times 3 \times 5\text{mm}^3$ 。

为了减少器件的光能量损失, 降低激光阈值, 提高转换效率, 一方面使 LD、Nd:YVO<sub>4</sub> 及 KTP 三者之间尽可能靠近, 并使间隔均控制在  $0.1\text{mm}$ ; 另一方面, 对各元件镀了特殊要求的膜层。其中 Nd:YVO<sub>4</sub> 晶体入射面镀对  $809\text{nm}$  增透、 $1064\text{nm}$  全反的双色膜, 出射面镀对  $809\text{nm}$  全反、 $1064\text{nm}$  增透的双色膜, KTP 入射面镀对  $1064\text{nm}$  增透、 $532\text{nm}$  全反的双色膜, 出射面镀对  $1064\text{nm}$ 、 $532\text{nm}$  均增透膜; 输出镜的入射面镀  $1064\text{nm}$  全反、 $532\text{nm}$  增透的双色膜, 出射面镀  $532\text{nm}$  增透单色膜。该器件的工作原理是, 由 LD 出射的  $809\text{nm}$  半导体激光束泵浦 Nd:YVO<sub>4</sub> 微片晶体 2, 出射的  $1064\text{nm}$  激光, 经 KTP 晶体 3 倍频, 转换成  $532\text{nm}$  绿光激光, 最后由输出镜 4 输出。

倍频, 即二次谐波的产生 (SHG) 是针对单频波而言, 如果出现一个以上纵模, 将产生相位失匹配及模式竞争, 从而导致倍频效率降低。因此, 必须确保基频光是处于单纵模运行状态。对于纵向泵浦的固体激光器单纵模运转的原因是短程吸收, 而与腔长短无关<sup>[1]</sup>, 因此可把微片晶体厚度  $d$  当作谐振腔长度  $L$  处理。Nd:

YVO<sub>4</sub> 晶体对  $809\text{nm}$  波长光有强烈的吸收, 其增益区很薄, 对掺杂 Nd 浓度为  $2\text{at}\%$  时, 其谐振中心谱线  $1064\text{nm}$  的谱线宽度为  $257\text{GHz}$ <sup>[2]</sup>, 当晶体厚度  $d = 0.3\text{mm}$  时可获得单纵模运转。当  $d = 1\text{mm}$  时, 其振荡的纵模  $m$  可由下式给出:

$$m = \frac{\Delta\nu}{\frac{c}{2nd}} \quad (1)$$

式中  $\frac{c}{2nd}$  为纵模间隔,  $\Delta\nu$  为中心谱线宽度,  $c$  为真空光速, 折射率  $n = 2.165$ 。把有关数值代入得  $m = 3.7$ 。根据驻波理论可知, 对于端面泵浦机制的激光器, 在输入面镀有耦合镜的激光介质时, 所有腔模在镜面上有相同的节点, 当泵浦光被短程吸收时, 则在此范围内所有纵模接近相同的反转粒子数, 具有最高受激发射截面的模式首先起振, 抑制了其他模式的起振, 从而可获得单纵模输出。因此本器件结构虽容许 3.7 个纵模振荡, 但由于中心谱线  $1064\text{nm}$  具有最大的吸收系数和最高的发射截面 ( $\sigma = 25 \times 10^{-19}\text{cm}^{-2}$ ), 仍可获得  $1064\text{nm}$  波长的单纵模输出。

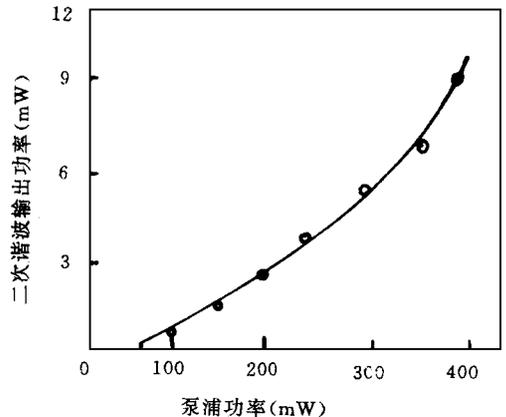


图 2 基横模 SHG 输出功率与泵浦功率关系图

要获得高转换效率的倍频, 除了要求基频光为单频外, 还必须使基频光为基横模, 且实现基频光基横模与腔的基横模匹配, 即要求这两个基横模大小近似相等。虽然半共焦腔具有最

(下转 14 页)

屋景效应测得的结果基本一致,但也存在着差

表 1 纳米二氧化钛热扩散率的拟合结果

方 法 编 号	厚度 (mm)	退火温 度(°C)	激光光热技术			屋景效 应 <sup>[5]</sup>
			方式	热扩散率 ( $\text{cm}^2/\text{s}$ )	拟合误差 Q%	
1	1.23	0	振幅	$7.26 \times 10^{-3}$	1.74	$7.8 \times 10^{-3}$
			位相	$7.18 \times 10^{-3}$	1.94	
2	1.12	200	振幅	$5.71 \times 10^{-3}$	2.33	$5.5 \times 10^{-3}$
			位相	$5.59 \times 10^{-3}$	1.68	
3	1.18	400	振幅	$4.47 \times 10^{-3}$	1.56	$4.3 \times 10^{-3}$
			位相	$4.25 \times 10^{-3}$	1.64	
4	1.20	600	振幅	$4.07 \times 10^{-3}$	1.28	$3.8 \times 10^{-3}$
			位相	$3.95 \times 10^{-3}$	0.89	

别。而利用光热信号的振幅与位相拟合所得的结果是一致的,同时也看到二者的拟合误差都非常小,这说明光热信号法比屋景效应的精确度更高些,同时由于振幅与位相同同时对频率进行拟合,这样对所测得的结果可进行比较,提高了数据的可靠性。虽然利用光热信号曲线拟合法与屋景效应法所得的结果有差别,但纳米二氧化钛的热扩散率随退火温度的变化规律是一致的,即热扩散率随退火温度的升高而减

小<sup>[5]</sup>,这说明两方法所测得的结果都是正确的,只是在精确度上稍有差别而已。

## 4 结 论

利用激光光热技术的光热信号拟合法对纳米二氧化钛的热扩散率进行了测量,结果表明该方法比屋景效应具有较高的精确度,并增加了结果的可靠性,表明激光光热技术在检测新型纳米材料中是一种十分有效的手段。

## 参 考 文 献

- [1] A. C. Boccaro, D. Fournier, and J. Badoz. Appl. phys. Lett, 36(2), 130, 1980
- [2] J. C. Murphy and L. C. Aamodt. J. Appl. phys. 51 (9), 4580, 1980
- [3] P. K. Kuo, M. J. Lin, C. B. Reyes, L. D. Favro, R. L. Thomas, D. S. Kin, and Shu-yi Zhang. Can. J. phys. 64, 1168, 1986
- [4] A. Sa lazar, A. Sanchez- Lavega, and J. Fernandez. T. Appl. phys, 65(11), 4150, 1989
- [5] 王培吉, 范素华, 应用光学, 17(1), 23, 1996

作者简介: 王培吉, 男, 讲师, 1995年毕业于同济大学, 现在山东建材学院物理系工作。

(上接 2 页)

低的激光阈值,但由于本器件采用面对面的直接耦合倍频,为满足基频光斑与腔模光斑大小的匹配,采用了普通的平凹腔体结构。该器件腔长  $L = 20\text{mm}$ , 输出凹面镜曲率半径  $R = 225\text{mm}$ 。图 2 是 SHG 绿光输出功率与泵浦光功率的关系曲线图。当半导体激光器出射的泵浦光为  $360\text{mW}$  时, 获得  $532\text{nm}$  波长  $9.3\text{mW}$  基横模的绿光激光输出, 整个系统总的光-光转换效率为  $2.4\%$ 。

在实验中发现,若继续增大泵浦光功率,输出激光功率也随之增大。但当泵浦光功率超过  $380\text{mW}$  时,输出激光呈多横模,同时也出现了多纵,这是由于基频光的基横模遭到破坏的结

果。这说明,要获得单纵模倍频光输出,基频光为基横模是一个必备条件。

## 3 结 束 语

中小功率的微片绿光激光器,用途十分广泛,在光存储、显示、医疗、准直及娱乐等方面都能得到不同程度的应用。本器件主要是为激光舞台灯而研制的。

## 参 考 文 献

- [1] G. J. Kintz, T. Bear, IEEE J. Quant. Electr., QE-26(a): 1457- 1459, 1990
- [2] Takunori Taira, Akira Mukai, et. al., Optics Letters, Vol. 16, No. 24, 1955- 1957, 1991