

# LD 泵浦的 Nd : YAG 腔内倍频 激光器及其模式

霍玉晶 蔡金星 周炳琨

(清华大学电子工程系, 北京 100084)

沈德忠 马笑衍 张爱华

(北京人工晶体所, 北京 100018)

**提要** 用 KTP 晶体研制成 LD 泵浦的 YAG 腔内倍频激光器, 得到 0.532  $\mu\text{m}$  连续绿色线偏振激光输出, 阈值泵浦功率为 41 mW, 输出功率为 1.4 mW, 斜效率为 1.7%。研究了泵浦光对倍频激光横模的影响。

**关键词** LD 泵浦, YAG 激光器, 倍频, 横模, KTP

## LD pumped Nd : YAG intracavity frequency doubled laser and its modes

*Huo Yujing, Cai Jinxing, Zhou Bingkun*

(Department of Electronic Engineering, Qinghua University, Beijing 100084)

*Shen Dezhong, Ma Xiaoyan, Zhang Aihua*

(Research Institute of Synthetic Crystals, Beijing 100018)

**Abstract** Using KTP crystal, LD pumped intracavity frequency doubled Nd : YAG laser has been developed. The CW green laser with linear polarization at 0.532  $\mu\text{m}$  has been obtained. The pumping threshold is 41 mW, the output power is 1.4 mW, the slope efficiency is 1.7%. The influence of the pumping light on transverse modes of the frequency doubled laser is studied has been studied. The experimental method and results are reported briefly.

**Key words** LD pumped, YAG laser, frequency doubled, transverse mode, KTP

## 1 引 言

近几年来, LD 泵浦的固体激光器一直是各国研究和商业活动的热点。利用倍频技术制作能产生连续波(CW)可见光的、LD 泵浦的倍频激光器的研究尤为引人注目, 并已经取得很大进展。这类器件在光存储、水下通讯等领域中有光明的应用前景。本工作的目的是研制出具有 mW 级绿光输出的 LD 泵浦的 Nd : YAG 腔内倍频激光器, 并研究泵浦光状态对倍频激光模式的影响。

## 2 基本原理

用 LD 泵浦 Nd : YAG 晶体,用放在激光谐振腔内的 KTP 晶体对 Nd : YAG 产生的  $1.064 \mu\text{m}$  的红外基频光倍频,得到  $0.532 \mu\text{m}$  绿光输出;用改变 LD 泵浦光的聚焦状态和它对激光谐振腔光轴的方位的方法研究泵浦光对倍频光模式的影响。

采用轴向泵浦方式。理论分析表明:对于轴向泵浦方式,谐振腔的损耗越小,有效泵浦截面越小,则阈值泵浦功率越低、能量转换效率越高。因此,必须适当设计谐振腔型,保证泵浦光截面和振荡激光束截面之间的最佳匹配;必须设计适当的泵浦光路,减小有效泵浦截面,即应使泵浦光束在整个激光棒内都具有很小的模体积。为简化分析,作如下近似:把泵浦光的光腰半径与它在激光介质端面上的光斑半径的平均值作为泵浦光的光斑半径。根据这个原理,设计合适的聚焦系统和激光谐振腔,从而降低阈值泵浦功率、提高能量转换效率,并有利于激光器基横模运转。

当泵浦光和基频光的光束横截面积达到最佳匹配时,可以得到最大功率的倍频光输出,但这并不能保证总是基横模输出。因为在一般 LD 泵浦的倍频激光器中使用的多是线列阵 LD,这种 LD 发出的激光远场光斑形状和焦距很小的双曲线相近。在使用中总是把它的光束聚成具有很小光腰的细光束。在光腰处,其光斑一般是直线排开的几个(一般是十个)小光斑;在稍离开光腰以后,其光斑就变成以此直线为对称轴的双曲线形。在其中心处的光强很弱,这不利于基横模的运转。LD 泵浦光的这种特殊形状使得泵浦光的聚焦状态和方位对基频光模式产生很大的影响。为了获得所希望的激光模式,了解泵浦光聚焦状态和方位对基频光模式的影响是很重要的。

KTP 晶体属正交晶系,点群  $mm2$ ,是正双轴晶体,其透光范围为  $0.3 \sim 4 \mu\text{m}$ ,光损伤阈值大于  $15 \text{ GW}/\text{cm}^2$ ,对 LD 泵浦的倍频激光器很适合<sup>[1,2]</sup>。本工作采用人工晶体所生长的 KTP 晶体制作倍频器件。

由计算可知,当  $\theta = 90^\circ, \varphi = 24.3^\circ$  时, KTP 晶体的 II 类匹配有效非线性系数有极大值:  $d_{eff}^I|_{max} = 7.4 \text{ pm}/\text{V}$ ,比 I 类相位匹配的有效非线性系数要大一个量级。因此,在实验中采用 II 类相位匹配的 KTP 晶体。我们根据实验结果采用 KTP 晶体的切割方式为  $\theta = 90^\circ, \varphi = 23.2^\circ$ 。这时对  $1.064 \mu\text{m}$  光倍频有最大的有效非线性系数。

## 3 实验装置和实验结果

实验装置如图 1 所示。LD(2)输出的激光束经聚焦系统(3)聚焦后,经过 YAG 晶体(5)上的输入耦合镜(4)进入激光谐振腔对 Nd : YAG 晶体(5)进行同轴泵浦;产生的基频激光经过 KTP 晶体(8)时产生绿色倍频光并经过输出耦合镜(10)输出。本工作通过改变泵浦光的会聚角、泵浦光的光腰在激光晶体中的位置和泵浦光的方位研究它们对激光横模的影响。

用中心波长为  $810 \text{ nm}$ ,功率为  $200 \text{ mW}$  的 LD 阵列(2) (SDL-2420-H1)作泵浦光源。由输入耦合镜(4)、输出耦合镜(10)组成半外腔激光谐振腔,腔长在  $15 \sim 100 \text{ mm}$  之间变化。输入耦合镜(4)是直接镀在 Nd : YAG 晶体(5)输入端的平面介质膜反射镜,它对  $0.809 \mu\text{m}$  的泵浦光是高透射( $T \sim 75\%$ ),对  $1.064 \mu\text{m}$  的光是高反射的( $R \sim 99.7\%$ )。输出耦合镜(10)是介质膜反射镜,它对  $1.064 \mu\text{m}$  光是高反射( $R \sim 99.7\%$ ),对  $0.532 \mu\text{m}$  是高增透的,曲率半径采用  $50 \text{ mm}$  和  $100 \text{ mm}$  两种。Nd : YAG 晶体(5)的直径是  $3 \text{ mm}$ ,长  $4 \text{ mm}$ ,两个端面是平行平面,

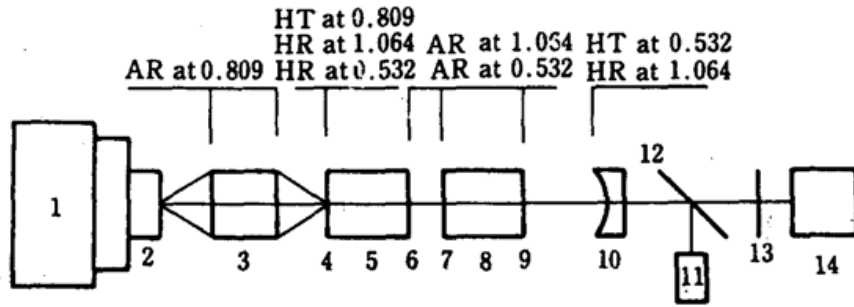


Fig. 1 Experimental setup for LD-pumped intracavity frequency doubled Nd : YAG laser

1—Temperature controller; 2—LD; 3—Focus system; 4—Input coupler; 5—Nd : YAG crystal; 6, 7, 9—Antireflecting films; 8—KTP crystal; 10—Output coupler; 11—Spectrum analyzer; 12—Beam splitter; 13—Filter; 14—Power meter

一端镀制输入耦合镜(4),另一端镀同时对  $1.064\ \mu\text{m}$  和  $0.532\ \mu\text{m}$  增透的介质膜(6)。KTP 晶体的两个端面也是平行平面,都镀有同时对  $1.064\ \mu\text{m}$  和  $0.532\ \mu\text{m}$  光增透的介质膜(7)和(9)。

为了得到最大的功率输出,保证 LD 发射光谱的中心波长和 Nd : YAG 晶体中  $\text{Nd}^{3+}$  吸收光谱的峰值波长重合是很重要的。由于所用的 LD 输出光谱由在  $2\sim 3\ \text{nm}$  光谱范围内的  $10\sim 15$  条的谱线组成,因此要适当调整 LD 的中心波长和  $\text{Nd}^{3+}$  吸收光谱的峰值波长的相对位置,以使 LD 的发射光谱和  $\text{Nd}^{3+}$  的吸收光谱的重合面积最大。为实现光谱匹配,用半导体控温仪对 LD 温度进行控制,以将它的中心波长精确地调谐到  $\text{Nd}^{3+}$  的最大吸收峰  $808.5\ \text{nm}$  处。为提高倍频效率,应当尽量减小 KTP 晶体内部的基频激光光束的横截面面积。在本实验平凹谐振腔的情况下,使 KTP 晶体尽量靠近 Nd : YAG 晶体。

通过测量得到该激光器在基横模运转时的性能如下:

激光横模:  $\text{TEM}_{00}$  模;中心波长:  $532\ \text{nm}$ ;泵浦阈值功率:  $P_{th} = 41\ \text{mW}$ ;最大输出功率:  $P_{max} = 1.4\ \text{mW}$ ;斜效率:  $S = 1.7\%$ ;偏振度:  $\geq 99.7\%$ 。

在研究泵浦光聚焦状态和方位对基频光模式的影响时,首先调整整个系统到产生最大功率倍频光输出的初始状态。在此状态下,逐渐减小 LD 泵浦光的功率,发现输出倍频光仍然保持  $\text{TEM}_{00}$  模,但输出功率逐渐减小,可见 LD 泵浦光的功率对倍频光模式的影响不大。从初始状态,在不改变 LD 泵浦光的功率和泵浦光聚焦状态条件下,把 LD 和聚焦系统以整体方式沿谐振腔光轴移近或移远以改变泵浦光光腰在 YAG 晶体中的轴向位置时,输出倍频光的横模发生由  $\text{TEM}_{00}$  模逐渐向  $\text{TEM}_{01}$  模、 $\text{TEM}_{02}$  模和  $\text{TEM}_{03}$  模转变,并可以得到它们的稳定运转,但输出功率发生变化。在一般情况下倍频光的输出功率下降,但有时从  $\text{TEM}_{00}$  模向  $\text{TEM}_{01}$  模过渡时,倍频光的输出功率会增大。从初始状态,在不改变 LD 泵浦光的功率、泵浦光聚焦状态和泵浦光光腰在 YAG 晶体中的轴向位置条件下,使 LD 的泵浦光在与谐振腔光轴成一个小角度的范围内入射到 YAG 晶体中时,倍频光的输出功率明显减小,横模也发生从  $\text{TEM}_{00}$  模向  $\text{TEM}_{01}$  模和  $\text{TEM}_{02}$  模的逐渐过渡,并可以得到它们的稳定运转。从初始状态,在不改变 LD 泵浦光的功率的条件下,同时改变泵浦光的聚焦状态、它与谐振腔光轴的夹角和它的光腰在 YAG 晶体中的位置,并配合谐振腔的适当调整,得到了从  $\text{TEM}_{00}$  模到  $\text{TEM}_{0,13}$  模、 $\text{TEM}_{2,6}$  等各种横模的稳定运转,但输出功率有很大的变化。一般横模阶数越高,倍频光的输出功率越小。实验中发现,  $\text{TEM}_{2n+1,2m+1}$  模比  $\text{TEM}_{2n,2m}$  模更容易得到。图 2 的照片表示倍频光横模的上述变化。这些模式也反映了基频激光的振荡模式,也可以用于激光标准模式的演示。上述激光模式的产生和转化可以用 LD 发出泵浦光的双曲线型分布解释。



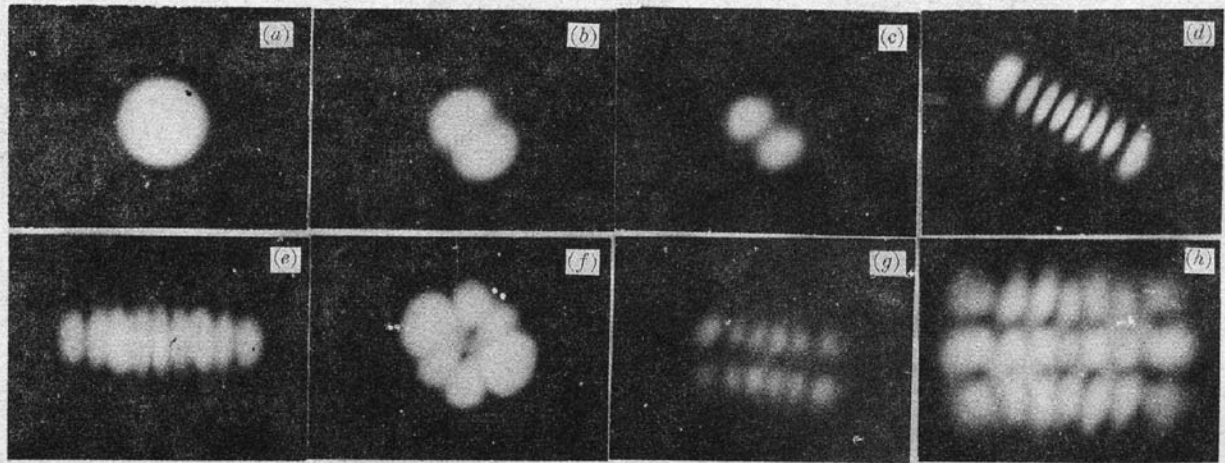


Fig. 2 The modes of LD pumped intracavity frequency doubled Nd : YAG laser

### 参 考 文 献

- 1 R. F. Belt, G. Gashurorv *et al.*, *Laser Focus*, **21**(10), 110~124(1985)
- 2 T. Y. Fan, C. E. Huang *et al.*, *Appl. Opt.*, **26**(12), 2390~2394(1987)