

文章编号: 0258-7025(2002)Supplement-0089-02

LD 抽运的高效率内腔倍频绿光激光器的研究*

于意仲 陈进 张百钢 王鹏 张帆 王涛 朱孟 李喜福 姚建铨

(天津大学精仪学院激光与光电子研究所光电信息技术教育部重点实验室, 天津 300072)

提要 考虑了高功率 LD 抽运的倍频 YAG 激光器中 KTP 晶体的热效应, 计算了在高功率抽运条件下的最佳相位匹配角应为 $\theta = 90^\circ, \phi = 23.27 + 0.7^\circ$ 。采用传统直腔和 L 形腔, 在声光调 Q 及高功率 LD 抽运的情况下, 获得了 40 W 的内腔倍频绿光输出。

关键词 二极管抽运, 声光调 Q, 最佳耦合, 内腔倍频

中图分类号 TN248.1⁺3 **文献标识码** A

Study of LD Pumped High Efficiency Intracavity-frequency-doubled Green Lasers

YU Yi-zhong CHEN Jin ZHANG Bai-gang WAGN Peng ZHANG Fan
WANG Tao ZHU Meng LI Xi-fu YAO Jian-quan

(College of Precision Instruments and Optoelectronics Engineering, Tianjin University, Laser and Optoelectronics Institute, Ministry of Education Key Lab of Optics and Optoelectronics Information, Tianjin 300072)

Abstract Considering the thermal effect of KTP crystal in high power LD pumped frequency doubled YAG laser, the optimum phase matching angle of $\theta = 90^\circ, \phi = 23.27 + 0.7^\circ$ was given. 40 watts green laser output from the acoustic-optic Q-switched intra-cavity frequency doubled laser was obtained.

Key words diode laser pumped, acusto-optical Q-switched, optimal coupling, intracavity frequency doubling

采用声光调 Q 固体激光器的内腔倍频来实现高平均功率的绿光输出是获得绿光激光器的一种有效方法, 随着半导体激光器阵列侧面抽运的出现, 高功率 YAG 激光器以及高功率内腔倍频激光器已成为国内外这一领域新的研究热点, 目前国际上已达到平均功率百瓦级的绿光输出^[1]。

高效绿光转换的实现与激光谐振腔的结构、倍频器件的设计有直接的关系。我们分析得出了 KTP 晶体的最佳倍频相位匹配角并采用 L 型腔结构, 最终获得了平均功率 40W 的绿光输出。

1 理论分析

采用 KTP 晶体作为 YAG 激光器的倍频器件, 它具有非线性系数大, 破坏阈值高, 易于获得大尺

寸, 成本相对低廉等不可替代的优势。一般情况下, 当功率较低及抽运光斑较大时, 晶体的温升不在考虑范围内。当采用高功率的半导体激光管阵列抽运时, 由于其光斑半径明显减小, 加上功率的大幅度提高, 温升对于晶体的最佳相位匹配角会带来明显的影响。特别是在内腔倍频的情况下, 最佳相位匹配角的偏移对倍频输出造成的影响直接降低了倍频光的输出功率, 严重时会影响倍频光的稳定性直至完全没有倍频输出。

采用常规计算方法得到 KTP 对于 1064 nm 抽运光倍频的 II 类最佳相位匹配角为 $\theta = 90^\circ, \phi = 23.27^\circ$, 其中三个主轴折射率的 Sellmeier 公式为

$$\left. \begin{aligned} n_x &= 3.0065 + \frac{0.03901}{\lambda^2 - 0.04251} - 0.01327\lambda^2 \\ n_y &= 3.0333 + \frac{0.04151}{\lambda^2 - 0.04547} - 0.01408\lambda^2 \\ n_z &= 3.3144 + \frac{0.05694}{\lambda^2 - 0.05658} - 0.01682\lambda^2 \end{aligned} \right\} (1)$$

需要强调的是, 在晶体温升不很严重的情况下,

* 天津市光电子联合科学研究中心及激光技术国家重点实验室部分资助课题。

一般不必考虑晶体内部温度对匹配角的影响。

在高功率半导体激光抽运的情况下,一般光束半径明显减小,功率密度明显提高。由于晶体对基频光的吸收,晶体的倍频抽运区内温度会有较大幅度的上升。实验表明,KTP 晶体在高功率密度的抽运情况下,最佳相位匹配角有明显的变化。在有较

大温升的情况下,会造成倍频激光器输出功率显著下降,或不能稳定工作。

重新考虑在高温下的最佳相位匹配变化,对于 LD 抽运的高功率绿光激光器来说是完全必要的。

KTP 晶体折射率随温度变化的实验结果^[2,3]见(2)式,(3)式:

$$\left. \begin{aligned} dn_x/dT &= (0.1323\lambda^{-3} - 0.4385\lambda^{-2} + 1.2307\lambda^{-1} + 0.7709) \times 10^{-5} \quad (\text{°C}^{-1}) \\ dn_y/dT &= (0.5014\lambda^{-3} - 2.0030\lambda^{-2} + 3.3016\lambda^{-1} + 0.7498) \times 10^{-5} \quad (\text{°C}^{-1}) \\ dn_z/dT &= (0.3896\lambda^{-3} - 1.3332\lambda^{-2} + 2.2762\lambda^{-1} + 2.1151) \times 10^{-5} \quad (\text{°C}^{-1}) \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

$$n_1 = n_x + \Delta n_x \quad n_2 = n_y + \Delta n_y \quad n_3 = n_z + \Delta n_z \quad (3)$$

因此,在考虑温升的情况下,利用(2)和(3)式对(1)式进行修正。由此计算出来的相位匹配角随温度的变化,如图 1 所示。其中最大有效非线性系数对应的通光方向仍然位于晶体的主平面 X-Y 面内,方位角 ϕ 随温度的升高而改变的趋势接近线性,变化率约为每升高 100 °C,晶体内角度增加 1.2°。图 1 给出的关系曲线是方位角 ϕ 从起始温度 27 °C 开始时的相对变化量。

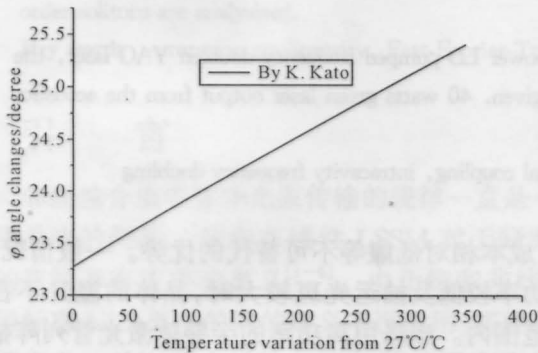


图 1 ϕ 角随温度变化曲线

Fig. 1 ϕ angle variation with temperature

考虑温度对相位匹配角的影响,在高功率时选择了抽运光在晶体内部的最佳相位匹配角为 $\theta = 90^\circ$, $\phi = 23.27 + 0.7^\circ$,相当于晶体内部温升约为 120 °C。

2 实验结果

为了获得最大的模体积,实验中采用了传统的平-平直腔和 L 型腔结构。如图 2 所示。由恒温水冷系统控制高功率 LD 激光器工作在 28 °C,总腔长在 500 mm 以内,KTP 晶体尺寸为 7 mm × 7 mm × 8 mm,YAG 激光棒为 $\phi 6$ mm × 134 mm,声光 Q 开关重复频率为 11 kHz ~ 15 kHz,脉冲宽度 192 ns,最大抽运电流 14 A,相当于 YAG 激光连续输出 110 W。

最终获得了最高 40 W 的倍频绿光输出。

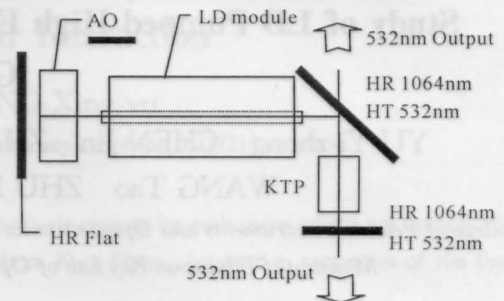


图 2 L-型平-平腔、内腔倍频激光器

Fig. 2 L-shape flat-flat intracavity frequency doubled laser
KTP frequency doubled L-shaped cavity configuration

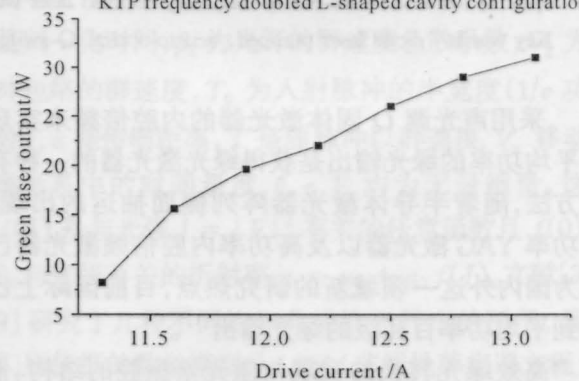


图 3 倍频绿光输出曲线

Fig. 3 Curve of frequency doubled green light output

参 考 文 献

- 1 Susumu Konno, Tetsuo Kojima, Shuichi Fujikawa *et al.*. High-brightness 138 W green laser based on an intracavity-frequency-doubled diode-side-pumped Q-switched Nd:YAG laser. *Opt. Lett.*, 2000, **25**(2):105~107
- 2 K. Kato. Parametric oscillation at 3.2 μm in KTP pumped at 1.064 μm . *IEEE J. Quantum Electron.*, 1991, **27**(5):2043~2046
- 3 K. Kato. Temperature Insensitive SHG at 0.5321 μm in KTP. *IEEE J. Quantum Electron.*, 1992, **28**(10):1974~1976