

文章编号: 1001-3806(2005)05-0514-02

LD 抽运 355nm 准连续紫外激光器

陈德章, 郭弘其, 卿光弼, 刘 韵, 高剑波, 路英宾
(西南技术物理研究所, 成都 610041)

摘要: 采用连续 LD 端面抽运, 腔内插入 Cr³⁺:YAG, KTP 和 LBO 等晶体, 并采用自孔径选模, 获得较好光束质量的准连续紫外激光输出。在抽运功率 12W 的条件下, 紫外激光输出功率约 50mW, 重复频率 10kHz 近场光斑显示获得近似基模的 355nm 紫外激光。

关键词: 激光二极管端面抽运; Cr³⁺:YAG 调 Q; LBO 腔内混频; 准连续紫外激光

中图分类号: TN248.1 文献标识码: A

LD pumped 355nm quasi-CW ultraviolet laser

CHEN De-zhang, GUO Hong-qi, QING Guang-bi, LIU Yun, GAO Jian-bo, LU Ying-bin
(Southwest Institute of Technical Physics, Chengdu 610041, China)

Abstract The CW LD end-pumped quasi-CW ultraviolet laser with Cr³⁺:YAG, KTP and LBO is described. When the power of the laser diode is 12W, the pulse repeated frequency is 10kHz, the power of the quasi-CW ultraviolet laser with similar single transverse mode is approximately 50mW.

Key words laser diode end-pumped; Cr³⁺:YAG Q-switch; LBO tripled in cavity; quasi-CW ultraviolet laser

引 言

紫外激光在军事、科研、工业和农业等各领域获得广泛的应用, 特别是随着国际重大高科技领域“惯性约束核聚变 (ICF) 和强激光技术研究”的发展, 红外长波长激光打靶不能适应物理实验的要求, 紫外短波长激光打靶是 ICF 技术的必然趋势。因此, 近年来紫外激光器技术获得了长足的发展。DPL 抽运的全固态 Nd:YAG 谐波紫外激光源具有高效、高重频、轻小紧凑及性能稳定等特点, 可广泛应用于各研究领域, 是惯性约束核聚变 (ICF) 激光打靶中靶精确定位的理想光源, 具有十分重要的研究意义。

1 基础理论分析

1.1 高光束质量基频光的获得

由于 LD 端面抽运方式易于获得较好光束质量激光, 采用光纤耦合输出的 808nm 连续二极管激光器端面抽运 Nd:YAG 晶体, 采用自孔径选模获得基横模, 通过合理设计抽运耦合光学系统和激光腔的参数, 使得在激光晶体中的抽运光斑半径 w_p 与基模高斯光束的光斑半径 w_r 恰当匹配 (一般取 $w_r/w_p = 0.9$)^[1], 即可

实现基模激光运转。在腔内插入 Cr³⁺:YAG 饱和吸收片, 实现准连续巨脉冲输出^[2], 从而提高腔内激光功率密度, 获得较高地谐波转换效率。由于激光晶体中的抽运光斑直径较小, 抽运光功率密度较高, 热透镜效应严重, 应对激光棒有效冷却^[3-5]。

1.2 紫外激光的产生

355nm 紫外激光由 1064nm Nd:YAG 激光的三次谐波获得, 具体技术途径是用二次谐波晶体腔内倍频 1064nm 基波产生 532nm 二次谐波, 基波和谐波再经三次谐波晶体腔内混频产生 355nm 三次谐波。二次谐波晶体选用 KTP 晶体, 采用 II 类临界相位匹配方式, 即 $\omega_1(1064\text{nm}, e\text{光}) + \omega_2(1064\text{nm}, o\text{光}) \rightarrow \omega_3(532\text{nm}, o\text{光})$, 相位匹配条件为 $\frac{1}{2}[n_o^\omega(\theta_n) + n_o^\omega] = n_o^{2\omega}$; 二次谐波和基波的混频采用 LBO 晶体, 采用 II 类临界相位匹配方式, 即 $\omega_1(532\text{nm}, e\text{光}) + \omega_2(1064\text{nm}, o\text{光}) \rightarrow \omega_3(355\text{nm}, o\text{光})$, 相位匹配条件为 $\frac{1}{2}[n_o^\omega + n_e^\omega(\theta_n)] = n_o^{2\omega}$ 。激光在 KTP 晶体和 LBO 晶

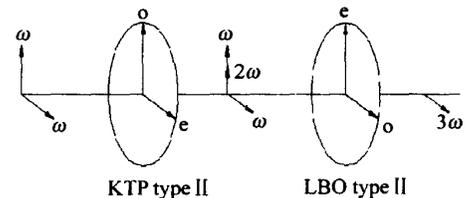


Fig 1 Light polarizing match in KTP and LBO

作者简介: 陈德章 (1964-), 男, 研究员, 主要从事激光及其应用技术研究。

E-mail CDZ1965@126.com

收稿日期: 2004-06-17; 收到修改稿日期: 2004-09-06

体中的偏振匹配图如图 1 所示。为了提高转换效率,设计时应尽可能提高 KTP 和 LBO 晶体处的激光功率面密度。

1.3 谐振腔参数的设计分析

所设计的 355nm 紫外激光器如图 2 所示,其中,

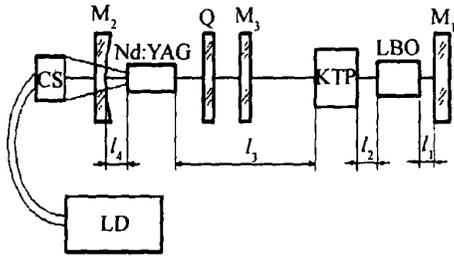


Fig 2 LD pumped ultraviolet laser

CS 为抽运耦合系统; M_1 为平面输出耦合镜; M_2 为全反射凹面镜, 曲率半径为 R ; M_3 为平面镜; Q 为 Cr^{+4} :YAG 饱和吸收片; KTP 为倍频晶体; LBO 为三次谐波晶体。激光棒的热透镜效应在一级近似下可等效为焦距为 f_r 的薄透镜, 图 2 所示激光器的等效共振腔如图 3 所示。其中: $L_1 = l_1 + l_2 + l_3 + d_1/n_1 + d_2/n_2 + d_3/n_3 + d_4/n_4 + d_5/2n_5 - d_4 - d_5$, $L_2 = l_4 + d_5/2n_5$, n_1, n_2, n_3, n_4, n_5 和 d_1, d_2, d_3, d_4, d_5 分别是 LBO, KTP, 镜 M_3 , 饱和吸收片, YAG 晶体棒的折射率和长度。

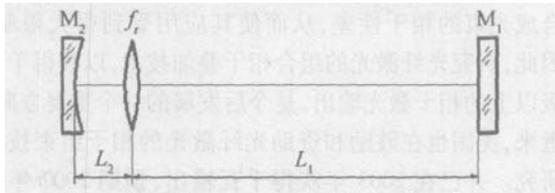


Fig 3 Equivalent resonator schematic

以 M_1 为参考面, 共振腔的单程传输矩阵为:

$$\begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & L_2 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -1/f_r & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & L_1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 - \frac{L_2}{f_r} & L_2 + L_1 - \frac{L_1 L_2}{f_r} \\ -\frac{1}{f_r} & 1 - \frac{L_1}{f_r} \end{bmatrix} \quad (1)$$

腔的 G 参数为:

$$G_1 = 1 - L_2/f_r \quad (2)$$

$$G_2 = 1 - L_1/f_r - b/R \quad (3)$$

$$b = L_1 + L_2 - L_1 L_2/f_r \quad (4)$$

M_1, M_2 和 YAG 晶体处的基模光斑半径 w_1, w_2 和 w_r 分别为^[6]:

$$w_1^2 = \pm \frac{\lambda b}{\pi} \left[\frac{G_2}{G_1(1 - G_1 \cdot G_2)} \right]^{1/2} \quad (5)$$

$$w_2^2 = \pm \frac{\lambda b}{\pi} \left[\frac{G_1}{G_2(1 - G_1 \cdot G_2)} \right]^{1/2} \quad (6)$$

$$w_r = w_1 \left[1 + \left(\frac{L_1}{\pi w_1^2} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (7)$$

输出镜 M_1 处的多模光斑半径 w_1' 为:

$$w_1' = \frac{w_p}{w_r} w_1 \quad (8)$$

式中, w_p 是晶体棒处的抽运光斑半径。

从前面的分析知, 激光共振腔参数的设计应考虑以下因素: (1) 为了获得近似基模高斯光束, Nd:YAG 晶体处的基模光斑半径 w_r 应同此处抽运光半径 w_p 近似相等, 取 $w_r/hv_p = 0.9$ (2) 为了获得较高的二倍频和三倍频转换效率, 应最大限度提供 KTP 和 LBO 晶体处的光功率面密度, 即 KTP 和 LBO 晶体处的光斑半径应尽量小些; (3) 为了尽量降低 YAG 晶体的热效应, w_p 的取值又不能过小。根据 (1) 式 ~ (7) 式, 取 $L_2 = 10\text{mm}$, $L_1 = 100\text{mm}$, $f_r = 200\text{mm}$, $R = 449.8\text{mm}$, $\lambda = 1.064\mu\text{m}$, 可得基频 $1.064\mu\text{m}$ 激光腔参数为: $G_1 = 0.95$, $G_2 = 0.2666$, $w_1 = 0.148\text{mm}$, $w_2 = 0.279\text{mm}$, $w_r = 0.273\text{mm}$, $w_p = 0.30\text{mm}$, $w_1' = 0.163\text{mm}$ 。由于 355nm 紫外激光是由基频和倍频激光混频获得, 假设转换过程中光束截面形状及尺寸近似不变, 则输出镜处紫外激光的光斑半径近似为 w_1' , 其束散角 θ 为: $\theta = 2\lambda w_p/\pi w_1$, $w_r = 1.6\text{mrad}$ 其中 λ_3 为 355nm 紫外激光波长。

2 实验结果

根据计算机模拟结果设计了如图 4 所示的 LD 抽

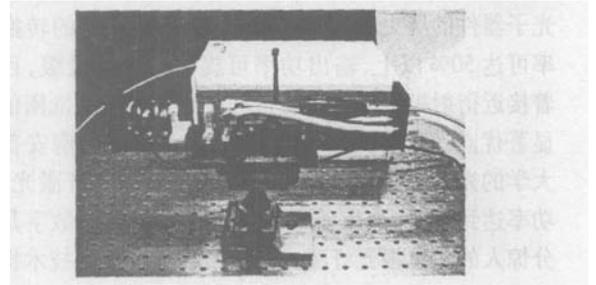


Fig 4 LD pumped 355nm quasi-CW ultraviolet laser

运准连续 355nm 紫外激光器, Nd:YAG 晶体尺寸为 $\varnothing 3\text{mm} \times 10\text{mm}$; KTP 晶体尺寸为 $5\text{mm} \times 5\text{mm} \times 7\text{mm}$, 镀对 1064nm, 532nm 双波长增透膜; LBO 晶体尺寸为 $3\text{mm} \times 3\text{mm} \times 12\text{mm}$, 镀对 1064nm, 532nm 和 355nm 三波长增透膜。 Cr^{+4} :YAG 的初始透过率为 90%; 全反射凹面镜 M_2 的曲率半径 $R = 449.8\text{mm}$; 平面镜 M_3 镀对 1064nm 增透膜和对 532nm 高反膜; 平面输出耦合镜 M_1 镀对 1064nm, 532nm 高反射膜和对 355nm 增透膜; 采用武汉凌云光电公司的 LFYC-1 光纤耦合输出的 808nm 连续二极管激光器, 循环水冷却。在抽运功率 12W 的条件下, 获得约 50mW 的准连续紫外激光输出, 脉冲重复频率 10kHz, 近场光斑如图 5 所示。

(下转第 560 页)

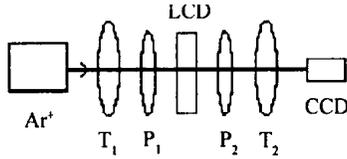


Fig 5 Set up used to test the capabilities of the scanning system

到 PC, 受其视频信号控制, 形成不同的衍射元件。在 CCD 的接收面上, 楔即可使光线在 x 方向产生扫描, 也可在 y 方向上移动。图 6 中 R 是扫描图型。实验中, 还编程产生了柱面镜, 并让柱面镜产生线状光斑。

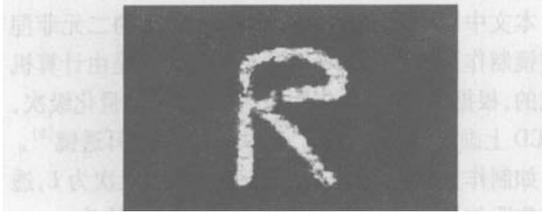


Fig 6 R shape produced by wedge lens

4 小 结

给出了一个基于 LCD 的理想扫描装置。此调制器为可编程调整光源聚集系统, 产生任意的扫描图形。

该系统的具有几个特点, 一是既可逐像素扫描, 又可通过编程产生焦点可变的球面镜等元件, 并可同时产生不同的光学元件。第 2 个特点是以视频速度生成光学元件。第 3 个特点是精度较以前提高, 因为整个系统没有采用机械的扫描方式^[7]。

参 考 文 献

- [1] K M KH, BUEHLER C, SO P T C. High speed two-photon scanning microscope [J]. *Appl Opt* 1999, 38(38): 6004~ 6008.
- [2] BRAKENHOFF G J, SQUER J, NORRIS T. Real time two-photon absorption microscopy using multi-point excitation [J]. *Journal of Microscopy*, 1996, 181(3): 253~ 257.
- [3] STRAUB M, HELL S M. Multifocal multiphoton microscopy: a fast and efficient tool for 3-D fluorescence imaging [J]. *Bioimaging* 1998, 24(6): 177~ 180.
- [4] FAN G Y, FUJISAKI H, MIYAWAKI A. Video-rate scanning two-photon excitation fluorescence microscopy and ratio imaging with camera lenses [J]. *Biophysical Journal* 1999, 76(5): 2412~ 2415.
- [5] 陈怀新, 隋展, 陈祯培 *et al*. 液晶电视 (LCTV) 的光学调制特性及其应用 [J]. *中国激光*, 2000, 27(8): 741~ 745.
- [6] FAKLIS D, MORRIS G M. Spectral properties of multi-order diffractive lenses [J]. *Appl Opt* 1995, 34(14): 2464~ 2467.
- [7] 胡茂海, 陶纯琪, 杨晓春 *et al*. 一种适用于激光共焦扫描显微镜的体绘制 [J]. *激光技术*, 2002, 26(6): 419~ 420.

(上接第 515 页)

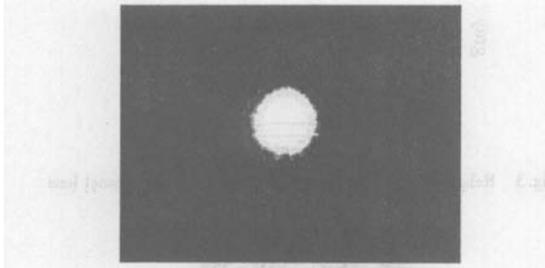


Fig 5 Near-field laser spot

3 结 论

实验结果表明, 通过抽运光斑和基模高斯光束光斑尺寸的恰当匹配, 可方便地获得近似基模的紫外激光输出, 腔内插入 $\text{Cr}^{+4}:\text{YAG}$ 获得准连续紫外激光的方法简便、可靠, 有利于器件的小型化。实验发现

CW LD 端面抽运方式, 激活介质热透镜效应严重, 如何有效地散热极其重要。

参 考 文 献

- [1] CHEN Y F, HUANG T M, KAO C F *et al*. Optimization in scaling fiber-coupled laser diode end-pumped lasers to higher power: influence of thermal effect [J]. *IEEE J Q E*, 1997, 33(8): 1424~ 1429.
- [2] AGNESIA, ACQUA S D, PICCINNI E *et al*. Efficient wavelength conversion with high-power passively Q-switched diode-pumped nonlinear laser [J]. *IEEE J Q E*, 1998, 34(8): 1480~ 1484.
- [3] 张彪, 侯学文, 李宇飞 *et al*. 端面泵浦 Nd:GdVO₄ 的热焦距及基频运转 [J]. *光电子激光*, 2002, 13(9): 920~ 922.
- [4] 刘均海, 卢建仁, 吕军华 *et al*. 高功率半导体激光器端面抽运连续固体激光器谐振腔的设计 [J]. *中国激光*, 2000, 27(1): 7~ 10.
- [5] 张行愚, 赵圣之, 王青圃 *et al*. 激光二极管抽运的激光器热透镜效应的研究 [J]. *中国激光*, 2002, 29(9): 777~ 781.
- [6] 吕百达. *激光光学* [M]. 成都: 四川大学出版社, 1992, 171, 234~ 254.