

文章编号: 1001-3806(2006)03-0329-03

# LD 侧面抽运的钇玻璃激光器

路英宾, 卿光弼\*, 兰 戈, 陈德章, 高剑波, 刘 韵  
(西南技术物理研究所, 成都 610041)

摘要: 钇玻璃激光器可以直接输出 1.54μm 人眼安全激光, 主要应用在激光测距。报道了 LD 侧面抽运的 Er<sup>3+</sup>, Yb<sup>3+</sup> 共掺磷酸盐玻璃激光器的运转。实现了自由振荡输出 60mJ 在 0.5Hz 重复频率下, 稳定输出 50mJ 脉冲, 波长 1.54μm。实验表明, 抽运的对称性和均匀性是设计钇玻璃激光器的关键。

关键词: 激光器; 二极管抽运; 钇玻璃; 人眼安全

中图分类号: TN248.1 文献标识码: A

## LD side-pump Er: glass lasers

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

Abstract Erbium glass lasers can directly output 1.54μm eye-safe laser and can be used in eye-safe rangefinding applications. LD bar side-pumped Er<sup>3+</sup>, Yb<sup>3+</sup> phosphate glass laser is reported. A free-running mode maximum pulse energy of 60mJ is obtained at 0.5Hz repetition rate, it can output 50mJ/pulse at 1.54μm stably. Experiments indicate that the key of Er glass laser design is pumping symmetry and uniformity.

Key words lasers; diode-pump; erbium glass; eye-safe

### 引 言

1.54μm 附近的激光处于人眼最安全波段, 且穿透烟雾能力强和处于通信窗口<sup>[1]</sup>, 实现该波段输出是激光研究领域的一个热点。以 Er, Yb 共掺的磷酸盐玻璃能直接发射波长 1.54μm 的激光。钇玻璃激光器相对于光学参量振荡器和喇曼频移激光器具有结构紧凑、成本低、重量轻、可实现调 Q 运转等优点, 因此, 钇玻璃激光器在人眼安全激光测距和光通讯<sup>[2-5]</sup> 领域有广泛的应用。

目前, 从事 1.54μm 钇玻璃激光器研究的单位中, 比较突出的有意大利 LAPORTA 教授领导的科研小组和美国的 Kiger 公司。前者以光通信为主要目的, 以实验室研究为主, 后者更侧重于激光测距产品的开发<sup>[6]</sup>。国内的西南技术物理研究所、上海光学精密机械研究所、电子部 11 所、南开大学等单位也对钇玻璃材料、调 Q 技术、LD 端面抽运 CW 输出等不同的专题进行了一定程度的研究。

### 1 激光材料

目前, 磷酸盐是最优良的钇玻璃激光介质的基质材

作者简介: 路英宾 (1978-), 男, 硕士研究生, 主要从事固体激光器件的研究工作。

\* 通讯联系人。E-mail: gxcrl23@126.com

收稿日期: 2005-01-31; 收到修改稿日期: 2005-03-07

料。闪光灯抽运需要 Cr, Yb, Er 共掺, LD 的单色性较好, 只需要 Yb, Er 共掺即可, Yb 和 Cr 都是起敏化作用。

一般情况下, Er<sup>3+</sup> 的质量在 Er<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 的 2% ~ 5% (或者 Er<sup>3+</sup> 离子浓度在 2 × 10<sup>19</sup> cm<sup>-3</sup> ~ 5 × 10<sup>19</sup> cm<sup>-3</sup> 之间), Er<sup>3+</sup> 离子浓度只有足够低才能产生合理的激发阈值。Er<sup>3+</sup> 为三能级系统, 在达到阈值之前必须要大约 60% 的离子得到激发, 另一方面, Er<sup>3+</sup> 的离子浓度必须足够高, 以便从 Yb<sup>3+</sup> 到 Er<sup>3+</sup> 的能量转移效率比较高<sup>[7]</sup>。所以, Er 玻璃中 Yb<sup>3+</sup> 离子浓度是 1.5 × 10<sup>21</sup> cm<sup>-3</sup> ~ 5 × 10<sup>21</sup> cm<sup>-3</sup>, Er<sup>3+</sup> 离子浓度为 10<sup>19</sup> cm<sup>-3</sup> 的量级<sup>[8]</sup>。LD 抽运的材料中 Er<sup>3+</sup> 离子浓度较高。

在 Er 和 Yb 共掺磷酸盐玻璃中, 抽运能量首先被 Yb<sup>3+</sup> 吸收, 再转移到 Er<sup>3+</sup>。能量的吸收和转移见图 1。

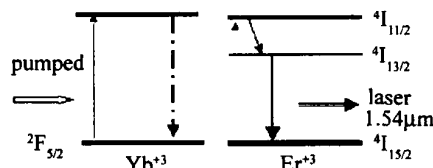


Fig 1 Yb<sup>3+</sup> and Er<sup>3+</sup> energy levels illustration energy transfer from Yb<sup>3+</sup> to Er<sup>3+</sup>

Yb<sup>3+</sup> 吸收 900nm ~ 1000nm 的抽运光, 从 <sup>2</sup>F<sub>7/2</sub> 态跃迁到 <sup>2</sup>F<sub>5/2</sub> 态, 激发态寿命为 2ms。能量无辐射的从 <sup>2</sup>F<sub>5/2</sub> 态以共振转移的方式转移到 Er<sup>3+</sup> 的 <sup>4</sup>I<sub>11/2</sub> (大约 500μs), 再快速 (小于 1μs) 地无辐射衰变到 <sup>4</sup>I<sub>3/2</sub> 态<sup>[9]</sup>, Er<sup>3+</sup> 的 <sup>4</sup>I<sub>3/2</sub> 态的寿命为 8ms。1.54μm 的激光辐

射就是由  $Er^{+3}$  从  $^4I_{3/2}$  态转移到  $^4I_{5/2}$  态产生的。共掺  $Yb^{+3}$ ,  $Er^{+3}$  磷酸盐玻璃的吸收谱线见图 2。主要的吸收波长落在 915nm~980nm, 吸收峰值为 976nm。

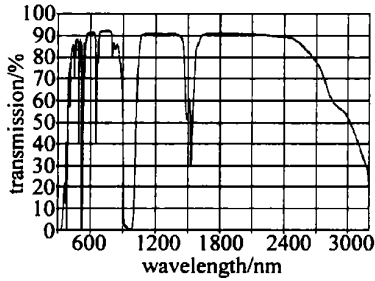


Fig 2 Absorption spectrum of phosphate  $Yb^{+3}$ ,  $Er^{+3}$  glass

钇玻璃适合 LD 抽运的几个特性: (1) 钇玻璃热性能较差, LD 抽运有利于提高重频和抽运效率; (2) 钇玻璃吸收谱宽较宽, 对 LD 不需要精确的温度控制; (3) 钇玻璃荧光寿命长, 有利于用长脉宽 LD 抽运, 提高抽运能量。

西南技术物理研究所生产的钇玻璃材料离子浓度分别为,  $Yb^{+3}$ :  $2.15 \times 10^{21} / cm^3$ ;  $Er^{+3}$ :  $1.87 \times 10^{19} / cm^3$ 。实验采用钇玻璃材料尺寸为  $3mm \times a mm \times 20mm$  ( $a$  为厚度) 端面没有镀增透膜。

采用中科院半导体所研制的 20bar 40W 准连续阵列, 总峰值功率 800W。该 LD 在 25°C 的中心波长为 960nm, 谱宽 (FWHM) 4nm, 温漂系数  $0.3 mm / ^\circ C$ , 电光效率 40%。每个面阵 10bar 发光面积是  $3mm \times 20mm$ 。

## 2 实验研究

### 2.1 实验装置

实验采用 LD 面阵直接侧面抽运钇玻璃板条, 腔长为 25cm 的实验装置见图 3。采用这种方式, 基于以

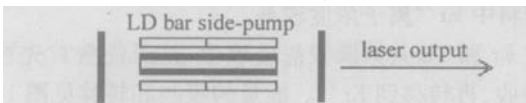


Fig 3 Schematic diagram of the flat-flat cavity  $Yb^{+3}$ ,  $Er^{+3}$  glass laser

下考虑: 钇玻璃材料受热不对称容易发生热畸变, 导致输出不能持续稳定, 板条材料的另外两个未抽运面和涂有导热硅脂的热沉紧密连接, 带走其内废热, 使热流方向垂直于抽运方向, 以便保持高光束质量<sup>[10]</sup>。对于三能级系统, 需要足够的抽运能量密度, 由于钇玻璃材料的热性能较差, 若抽运不均匀容易引材料的破裂, 所以在足够的抽运能量密度情况下, 首先要考虑的应该是抽运的均匀性。钇玻璃激光器抽运光处于水的吸收谱内, 一般钇玻璃材料需要用重水做冷却剂, 钇玻璃材料的冷却装置增加了系统的体积和成本。在低频率工作情况下, 钇玻璃激光器主要还是采用自然冷却。另外, 激光器对 LD 的位置非常敏感, 只有两个面阵列严

格对称, 才能保证激光器持续稳定输出。

### 2.2 实验结果

当抽运电脉冲为矩形波时, 抽运能量正比于抽运脉冲宽度。在抽运脉宽为 5ms 时注入电能为 10J, 抽运脉宽增大, 注入能量随之增大, 钇玻璃荧光寿命是 8ms, 在脉宽为 4.5ms 时抽运效率最高<sup>[11]</sup>。在 1Hz 重频时, 激光不能持续稳定输出, 在输出能量逐渐变小最后在输出 20 个脉冲后停止运转。在 0.5Hz 时激光器能稳定输出 50mJ 能量, 束散角 1.3mrad, 持续工作 1min 未见输出有明显减弱。稳定输出 10mJ 时, 重频 1Hz, 只从一个侧面抽运时, 虽然最大可以输出 35mJ 能量, 由于介质的受热弯曲仅输出 5 个激光脉冲后, 就因为损耗过大而不起振, 从这点可以看出, 使钇玻璃受热对称很重要。自由运转时间一般比抽运持续时间少 1ms, 抽运脉宽加大, 自由运转时间随之增长。图 4 为输出能量随抽运能量变化曲线, 二者几乎呈线性关系, 说明材料被均匀抽运, 抽运效率约为 0.57%。

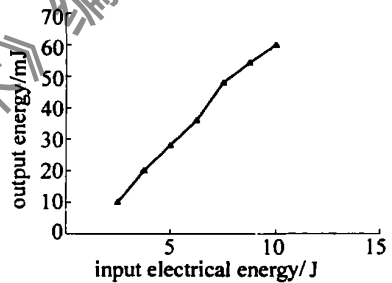


Fig 4 Pump energy versus output energy of material  $3mm \times 3mm \times 30mm$

抽运效率较低的原因主要是: LD 的光束没有经过适当的聚焦耦合, 且抽运面积过大, 抽运光的利用率只有 60%。另一个主要原因是, 材料中  $Er^{+3}$  离子浓度较低,  $Yb^{+3}$  和  $Er^{+3}$  的离子数目没有达到最佳配比, 导致材料量子效率很低。如果材料端面镀上激光的增透膜结果也会有所改善。激光介质对 960nm 抽运光的吸收系数约为  $\alpha = 5 cm^{-1}$ 。图 5 示出了对不同厚度的材料

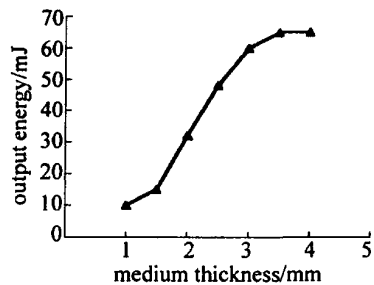


Fig 5 Pump thickness versus output energy

进行对称抽运时的输出能力。实验中发现, 对厚度超过 3.5cm 的介质抽运, 输出能量不会有明显提高。并且厚度为 3cm 的材料光束质量较好。抽运头和抽运表面的距离在 0.3mm~2.5mm 改变时, 输出能量随距离增大而有所减少, 但没有明显改变。抽运距离越远, 光斑越接近圆斑。改变输出镜的反射率, 输出能量没

有明显差别,和理论计算一样,在反射率为 90% 时有比较高的效率。在实验当中,改变二极管激光器冷却水温度  $15^{\circ}\text{C} \sim 30^{\circ}\text{C}$ ,即改变抽运波长,输出没有明显改变。

### 3 结论

报道了 LD 侧面抽运钇玻璃激光的初步研究成果。实验结果表明,和闪光灯抽运方式相比,LD 抽运提高了转化效率和重复频率,且系统稳定,受到较少干扰。由于抽运耦合系统和钇玻璃材料本身的质量原因导致激光效率较低。钇玻璃材料的物理性质决定了该类激光器只适合小能量、低重频运转。对钇玻璃材料和抽运方式的改进工作正在进行当中。下一步将就钇玻璃调  $Q$  技术做一些研究。

### 参 考 文 献

- [1] FROM ZEL V, KUCHMA I, LUNTER S *et al* Efficiency and tuning of the erbium-doped glass lasers [J]. *SPE*, 1991, 1839: 166~172
- [2] HAM LIN S, JIMERS JD, MERSM J High repetition rate  $Q$ -switched erbium glass lasers [J]. *SPE*, 1981, 1419: 100
- [3] ANSILE B J A review of the fabrication and properties of erbium doped fibers for optical waveguides [J]. *IEEE Journal of Lightwave Technology* 1991, 9(2): 220.

- [4] LAPORTA P, TECCHIO S, LONGHIS *et al* Erbium-ytterbium micro-lasers: optical properties and lasing characteristics [J]. *Optical Materials* 1999, 11(3): 269~288.
- [5] WU R K, MYERS J D, MYERS M J *et al* Diode pumped miniature eye-safe laser  $Q$ -switched by  $\text{U}^{+2}$ :  $\text{CaF}_2$  and  $\text{Co}^{+2}$ :  $\text{MgAl}_2\text{O}_4$  [J]. *SPE*, 2002, 4630: 94~95.
- [6] LU Zh P, HU L L, DA I Sh X *et al* LD pumped Er: Yb codoped phosphate glass laser [J]. *Chinese Journal Luminescence* 2002, 22(9): 1129~1131 (in Chinese).
- [7] KOECHNER W. Solid-state laser engineering [M]. Beijing Science Press 2002 58 (in Chinese).
- [8] LEVOSHKIN A, MONTAGNE J E Efficient diode pumping for  $Q$ -switched Yb:Er glass lasers [J]. *Appl Opt* 2001, 40(18): 3023~3032
- [9] ALEKSEEV N E, GAPONTSEV V P, ZHABOTNSKI L M *et al* Laser phosphate glasses [M]. Moscow: Moscow Nauka Publishing House, 1983: 25
- [10] YANAGISAWA T, ASAKA K, HAMAZU K *et al* 11mJ 15Hz single-frequency diode pumped  $Q$ -switched Er: Yb: phosphate glass laser [J]. *Opt Lett* 2001, 26(16): 1262~1264.
- [11] BOUTCHKOV V, KUCHMA I, LEVOSHKIN A *et al* High efficiency diode pumped  $Q$ -switched Yb:Er glass laser [J]. *Opt Commun* 2002, 175: 383~388
- [12] WU R K, MYERS J D, MYERS M J *et al* Fluorescence lifetime and 980nm pump energy transfer dynamics in erbium and ytterbium codoped phosphate laser glasses [J]. *SPE*, 2003 4968: 11~17

(上接第 328 页)

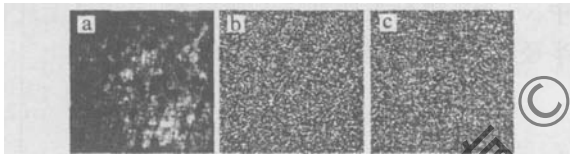


Fig 4 Decrypted image with the incorrect key code

另外从图 4 可以看出,当用平行光照射且只用 1 块相位掩模  $\text{RPM}_2$  而不用  $\text{RPM}_1$  进行加密时,其抗盲解密性差,如图 4a 所示;图 4b 是在平行光照射下双随机相位掩模加密的盲解密图,由于存在  $\text{RPM}_1$  对空间信息的扰乱作用,所以它具有很好的抗盲解密性;图 4c 是在点源照射下的单随机相位加密的盲解密图,虽然它只用 1 块相位掩模  $\text{RPM}_2$  没用  $\text{RPM}_1$  进行加密,但是由于是采用点源照射,球面波的自带相位因子替代了  $\text{RPM}_1$  扰乱空间信息的作用,因此也具有很好的抗盲解密性。

### 4 结论

根据双随机相位编码加密方法中两块相位掩模的作用,结合球面波的相位因子特性,提出用球面波自带的相位因子替代  $\text{RPM}_1$  进行图像加密,实现了只用 1 块相位掩模在菲涅耳域对图像进行加密。理论分析和计算机仿真实验结果表明:该方法不仅能获得与双随机相位编码加密技术一样的效果和安全性能,而且还

能减少相位掩模数量,简化系统设置。在实际操作中,这些特点对减少因透过相位掩模造成一些相应的相干噪声和光能损失有很大的帮助。

### 参 考 文 献

- [1] ROEGGER P, JAVIDIB. Optical image encryption based on input plane and Fourier plane random encoding [J]. *Opt Lett* 1995, 20(7): 767~769.
- [2] NOMURA T, JAVIDIB. Optical encryption using a joint transform correlator architecture [J]. *Opt Engng* 2000, 39(8): 2031~2035
- [3] UNNKRISHNAN G, JOSEPH J, SINGH K. Optical encryption using double random phase encoding in the fractional Fourier domain [J]. *Opt Lett* 1995, 20(12): 887~889
- [4] SIU GH, ZHANG JJ. Double random phase encoding in the Fresnel domain [J]. *Opt Lett* 2004, 29(14): 1584~1586.
- [5] WANG Sh F, ZHU Zh Q. Principle of modern optics [M]. Chengdu University of Electronic Science and Technology of China Press 1998 117~118 (in Chinese).
- [6] ABOOKASIS D, JAVIDIB. Security optical systems based on a joint transform correlator with significant output images [J]. *Opt Engng* 2001, 40(8): 1584~1589
- [7] WANG R K K, CHATWIN C. Random phase encoding for optical security [J]. *Opt Engng* 1996, 35(9): 2464~2469.
- [8] NISHCHAL N K, SINGH K. Fully phase-based encryption using fractional order Fourier domain random phase encoding error analysis [J]. *Opt Engng* 2004, 43(10): 2266~2273
- [9] NISHCHAL N K, JOSEPH J. Fully phase-encrypted memory using cascaded extended fractional Fourier transform [DB/OL]. <http://elsevier.lib.tsinghua.edu.cn/cgi-bin/>, 2004-02-16