

## 输出平均功率达 200W 的板状激光器

何慧娟 李永春 顾圣如 赵隆兴 钱林兴 张影华 陈国彬

(中国科学院上海光机所, 201800)

**提要:** 脉冲运转的“之”字形 Nd:YAG 板状激光器, 在工作频率为 50 pps 时, 最高输出激光平均功率达 230 W。由于采用了“之”字形光路, 使热畸变得到补偿, 输出激光束的发散角得到改善, 一般为  $3 \times 4$  mrad。

**关键词:** 板状激光器, 高平均输出功率

### Nd:YAG slab laser with average output power of 200W

*He Huijuan, Li Yongchun, Gu Shengru, Zhao Longxing,  
Qian Linxing, Zhang Yinghua, Chen Guobin*

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica, Shanghai)

**Abstract:** A pulsed Nd:YAG slab laser with a zigzag optical path is described. The maximum average output power is 230 W at 50pps repetition rate and about 10kW input power. The thermal distortion is compensated with zigzag optical path in Nd:YAG slab, therefore, the output beam divergence is improved, being about  $3 \times 4$  mrad.

**Key words:** slab laser, high average output power

## 一、引 言

由于圆棒状固体激光器存在着难以克服的热畸变问题, 因此在高平均功率运转时所产生的热聚焦、热应力及退偏振等热效应, 严重地影响了棒状激光器的使用。

为了克服棒状固体激光器的这一致命弱点, 早在七十年代初美国通用电器公司发明了光路呈“之”字形的板状面泵浦的固体激光器<sup>[1]</sup>。原则上讲, 这种新型的固体激光器完全可以克服圆棒状固体激光器存在的热畸变问题。但是, 由于面泵浦的板状固体激光器对制作工艺要求甚高, 当时激光晶体的尺寸也不够大, 因此限制了它的发展。在八十年代初, 美国斯坦福大学 Byer 教授领导的研究小组, 对板状激光器进行了系统的探讨<sup>[2,3]</sup>, 同时激光材料本身的发展和加工工艺的提高, 使得近几年来, 板状激光器又得到了迅速的发展。

本文报道“之”字形光路 Nd:YAG 板状激光器, 该激光器最高输出平均功率可达 230 W。

## 二、激光器设计

在棒状激光器里, 热梯度是由棒的中心沿着棒的半径呈放射状的分布, 即呈二维温度梯度

分布( $dT/dx$  和  $dT/dy$ ), 而激光光路与温度梯度的变化方向相垂直, 温度梯度的变化引起折射率的变化为  $dn/dx$  和  $dn/dy$ , 因此输出的激光光束产生热聚焦、热应力及退偏振等热畸变现象, 使固体激光器难以运转在高平均功率输出的状态。在“之”字形板状激光器里, 在  $x$  方向是热绝缘的, 形成一维温度场, 温度梯度只是沿  $y$  方向(板的厚度方向)呈一维的变化, 即  $dT/dy$ , 在  $x$  方向上温度是均匀分布的, 即  $dT/dx=0$ 。当激光束由板的下反射面上的一个反射点传播到板的上反射面上第二个反射点的过程中(见图1)经历了两个方向相反的  $dn/dy$  变化, 使激光束由于温度梯度的变化引起的热畸变得得到补偿。因此在理想情况下, “之”字形的板状激光器输出激光束几乎不受热畸变的影响。然而在实际研制的板状激光器中, 由于复杂的工艺要求, 难以做到完全的一维温度场, 使  $dn/dx \neq 0$ , 在板的宽度方向上也出现了折射率的差异。此外, 还存在着端面效应及侧面的边缘效应等问题, 使板状激光器偏离了理想情况。尽管如此, 板状激光器与棒状激光器相比, 在克服热效应, 提高输出激光束的亮度方面已有了很大提高。

根据以上分析, 在 Nd:YAG 板的宽度( $x$ )方向两侧放置两个热传导很低的玻璃条, 使宽度方向保持在热隔离状态, 不存在温度梯度。同时设计一个泵浦光聚光腔, 使照明光强在宽度  $x$  方向是均匀的, 在板的长度方向( $z$ ), 即氙灯的轴向光强分布也是均匀的。两支相同的氙灯从板的上下两面照射以获得粒子数反转。由此, 可在激光板状介质中获得一维温度场。

从图1中的简单几何关系可以得到板条中心线的长度  $L$ 、厚度  $t$ 、顶角  $S$  及内角  $\alpha$  之间的关系:

$$L = Nt / \tan \alpha \quad (1)$$

$$\alpha = 90^\circ - S - \sin^{-1} \left( \frac{\sin \theta}{n} \right) \quad (2)$$

式中:  $N$ ——在板条内的全内反射点数;

$n$ ——板条材料的折射率。对于 Nd:YAG 板料,  $n=1.83$ ;

$\theta$ ——入射角(或出射角)。

这里要注意的是内角  $\alpha$  必须满足在板条内传播的光路符合全内反射的条件, 否则光束从板条内折出。

根据实验要求, 依据上面的公式就可确定板条的各个尺寸。实验采用 Nd:YAG 材料的板条。取板条厚度  $t=6$  mm, 宽度  $W=20$  mm,  $N=10$ 。为了激光器的紧凑, 通光方便, 将入射角  $\theta$  选为布氏角, 即如图1的结构。此时因为顶角  $S = \sin^{-1}(\sin \theta/n)$ , 所以(2)式呈

$$\alpha = 90^\circ - 2S \quad (3)$$

依照这些数据算出  $S=28.65^\circ$ ,  $L=93.46$  mm, 板条全长  $L'=104$  mm,  $\alpha=32.7^\circ$ , 满足全内反射条件。

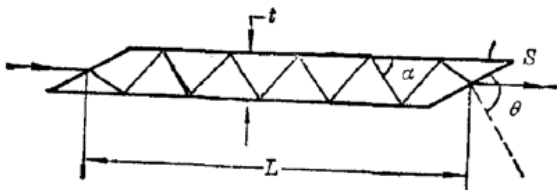


图1 Nd:YAG 板中的激光光路



图2 板状激光器的实验装置简图

### 三、实验装置及结果

实验装置的简图示于图 2, 第一块 YAG 板条的尺寸是  $6 \times 18 \times 94$  mm, 氙灯置于 YAG 板的上下两个面上, 激光谐振腔由平面全反射镜和  $T=68\%$  的平面镜组成。激光器的工作频率为 1、10、20、50 pps 可调。灯光脉冲宽度为  $200 \mu\text{s}$ , 输入功率连续可调。由于 YAG 板加工成入射角和出射角均为布氏角, 因此激光输出是完全线偏振的。聚光系统是双椭圆腔, 其光照均匀性较好。测试结果示于图 3。测量是用光二极管探测器沿着 YAG 板的宽度方向上以直径小于  $0.5$  mm 的受光面积逐点进行的(测试时 YAG 板取下), 在整个测试过程中, 光二极管探测器始终处于非饱和的线性工作区。从图 3 可以看出, 光照曲线比较光滑平整。由于边缘效应, 从中部  $16$  mm 宽度范围内的光照曲线, 可以得出光照均匀度  $\Delta I/I=9.5\%$ 。图 4 给出了在不同的重复频率、不同的泵浦功率下测量的尺寸为  $6 \times 20 \times 94$  mm YAG 板状激光器单个脉冲的输入能量与输出激光能量之间的关系曲线。当工作频率为 50 pps, 输入功率近  $10$  kW 时, 激光输出达  $230$  W。从图中也可以看出, 重复频率为 1、10 及 20 pps, 单脉冲输入能量在  $140$  J 以下时, 三条曲线靠得很近, 其斜率效率约  $3.5\%$ , 在泵浦功率提高后, 三条曲线才分开, 并出现了弯曲现象。重复率为 50 pps 时的曲线, 斜率效率偏低, 这是由于在高功率泵浦下, Nd:YAG 板的热效应增加使输出激光功率下降所导致的。激光输出  $100$  W 时, 功率输出的稳定性优于  $\pm 5\%$ 。

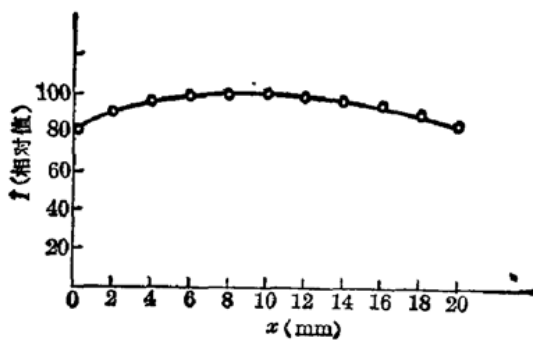


图 3 光泵均匀性曲线  
横轴为板的宽度方向, 纵轴为  
光照强度的相对数值

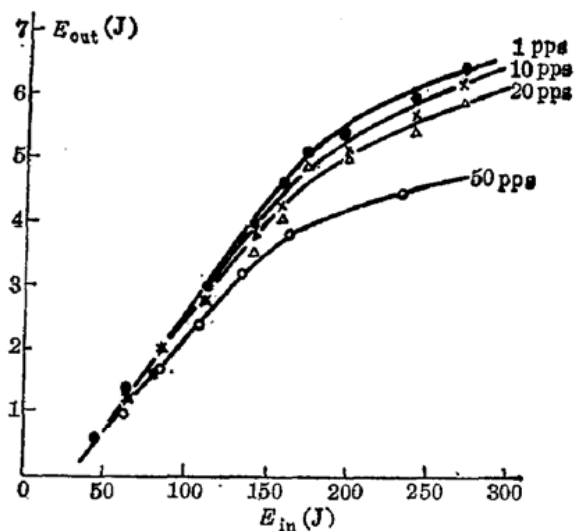


图 4 脉冲激光的输入与输出能量之间的关系  
横轴为一个脉冲的输入能量, 纵轴为一个脉冲的激光  
输出能量, YAG 板的尺寸是  $6 \times 20 \times 94$  mm

用套孔法测量了  $6 \times 18 \times 94$  mm 板激光输出的光束发散角, 当激光器的重复频率为 1、10 和 20 pps, 单个泵浦脉冲能量为  $176$  J, 也就是泵浦平均功率在  $3520$  W 以下时, 激光光束在  $3 \times 4$  mrad 内的能量占全部输出能量的  $90\%$ , 而当重复率为 50 pps, 输入功率为  $8500$  W 时, 激光光束在  $3 \times 4$  mrad 内的能量占全部输出能量的  $80\%$ 。可看出在高泵浦的情况下, 由于热效应引起的激光光束发散角有所增加。

该激光器在高泵浦情况下存在的热效应, 一方面是由于未被冷却液带走残留在 YAG 板

里的多余热量引起板条形变,另外一个重要原因则是 Nd:YAG 板的两端,由于热绝缘不够理想,引起折射率的变化,使得激光光束发散角变差,同时也使激光输出幅度下降。继续改进 YAG 板的冷却方式及克服端面效应,将使激光束质量进一步改善。

### 参 考 文 献

- 1 W. B. Jones, G. J. Hulme, United States Patent 3633126, 1972. 1
- 2 J. M. Eggleston *et al.*, *IEEE J. Quant. Electr.*, **QE-20** (3), 289 (1984)
- 3 Thomas J. Kane *et al.*, *IEEE J. Quant. Electr.*, **QE-21** (8), 1195 (1985)

---

## 激光生命科学国际会议在广州召开

由我国国家自然科学基金委员会、中国物理学会广东分会、华南师范大学联合主办的“激光生命科学”国际学术会议,1990年6月19~24日在广州国际会议中心召开,会议收到中国、美国、日本、西德、意大利、苏联、泰国、南朝鲜等国家和地区的科学家提交的论文约150篇,150多位科学家出席了会议。

报告的论文反映了近几年来激光技术在生物学、医学、农业、遗传学等领域的基础研究及应用开发方面取得的新成果,以及激光技术推动这些学科向前发展的作用。

我国科学家利用激光技术在农业、医学上取得的研究成果受到中外科学家的注意。例如安徽用激光培育的“安激1号”和“安激2号”大豆新品种,产量高而且蛋白质和脂肪含量也明显提高;湖南用激光培育的豆角新品种,豆长1米多,用激光培育的丝瓜新品种,肉厚且无籽;内蒙古自治区用激光照射处理山羊精子,成倍地提高精子有效保存期;以及石家庄和上海市利用激光治疗食道癌及消化道疾病,上海市利用激光固有荧光法诊断早期恶性肿瘤等成果,都有比较好的经济效益和社会效益,受到同行科学家的注目和好评。

下一次会议将于1992年6、7月间在苏联莫斯科举行。

(纪钟)