

## 板条型脉冲 Nd:YAG 激光器的研究

巩马理 韩 凯 徐绍林 翟 刚

(西南技术物理所, 成都, 610015)

**摘要:** 本文研制了尺寸为  $124 \times 12 \times 6 \text{mm}^3$  的 Nd:YAG 晶体板条型脉冲激光器, 自由振荡单脉冲输出 24J, 器件总体效率 2.5%, 电光调 Q 单脉冲输出 860mJ, 脉宽 12~15ns, Q 开关效率 72%。

**关键词:** 板条型激光器, YAG 激光器

### Pulsed slab Nd:YAG laser

*Gong Mali, Han Kai, Xu Shaolin, Zhai Gang*

(South-West Institute of Technical Physics, Chengdu)

**Abstract:** Pulsed operation of a  $126 \times 12 \times 6 \text{mm}^3$  Nd:YAG slab laser is described. The output energy from the free-running oscillator is 24J/shot with an efficiency of 2.5%, and that from the Q-switched laser is 860mJ/shot with a pulse width of 12~15ns and a switching efficiency of 72%.

**Key words:** slab laser, YAG laser

采用板条型结构是固体激光器获得高功率输出的有效技术措施,其特点是:光在激活介质中以锯齿型光路传播,同时对激活介质施行面泵浦和面冷却,从而有效地克服激光介质热光畸变对输出功率和光束质量的影响,使器件获得优质的高功率输出。板条型结构最早由 W. S. Martin 等人提出,后经 Stanford 大学和 GE 公司等研究人员深入细致的理论分析和实验工作,将其研究推入新高潮,成为激光研究的活跃领域之一,出现了移动式激活介质、二极管光泵浦及采用新材等多种板条型固体激光器,板条型固体激光器的平均功率输出已达千瓦<sup>[1]</sup>。

本文研究了脉冲式板条 YAG 激光器,进行了重复频率工作状态的初步试验并分析了板条型固体激光器的端面损耗。

### 一、器件设计与结构

板条型 Nd:YAG 激光器的结构端面图示于图 1。通常为了实现较好的均匀面泵浦,采用多平面反射聚光腔,使泵浦光沿单一方向激励介质<sup>[2]</sup>,但这种腔的泵浦效率较低。我们使用泵浦效率较高的双椭圆柱镀银聚光腔,通过适当设计聚光腔和选取泵浦灯参数,达到均匀泵浦的

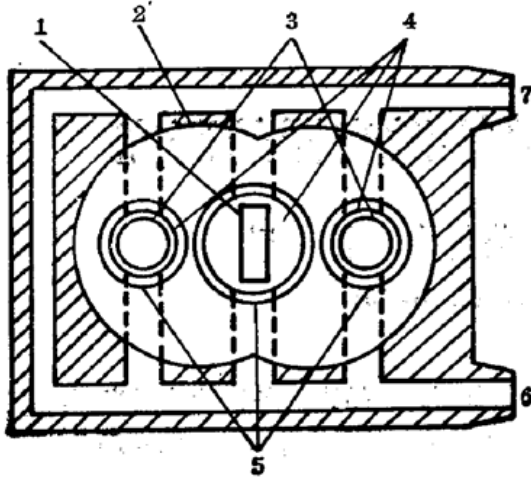


图1 板条状激光器截面图

- 1—YAG 板条状晶体； 2—聚光器； 3—泵浦灯；  
4—冷却水； 5—石英水冷套； 6—冷却水进口；  
7—冷却水出口

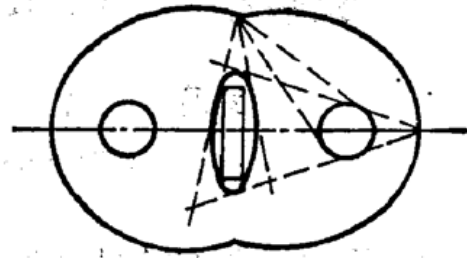


图2 椭圆聚光器中的板条块

目的。当双椭圆泵浦腔中的两只泵浦灯分别位于两椭圆的外侧焦点，其共轭像重合在共焦点（即内焦点）附近，泵浦灯的放电区域内可视为均匀放电，因此，选取适当的聚光腔参数和泵浦灯直径，可使板条型介质位于泵浦灯的椭圆形共轭像内（图2），达到较均匀的泵浦效果。对厚度为  $2t$ 、宽度为  $2w$  的板条介质，实现椭圆腔均匀泵浦的聚光腔偏心率  $e$  和泵浦灯直径  $d_L$ ，由下式确定：

$$d_L = 2\sqrt{2} t \frac{1+e^2}{1-e^2} \quad (1)$$

$$\frac{(1+e)^2(1-e)^2}{[(1+e)^4 - (1+e^2)^2] \left(\arctg \frac{\omega}{t}\right)^2 + (1+e^2)^2} = 4 \frac{(t^2 + \omega^2)}{d_L^2} \quad (2)$$

聚光腔的外形尺寸大小，则由泵浦灯的粗细、板条的宽度与厚度以及冷却要求确定。通常，在多平面反射聚光腔中，用绝热材料或用与板条介质具有相同热导性质的材料夹持板条介质侧面，可实现较理想的均匀面泵浦和面冷却，将热畸变减至最小<sup>[3]</sup>。在我们的器件中，为确保泵浦效率，板条侧面没有夹持其它材料，而是将板条介质全冷，使板条侧面也受到冷却，补偿椭圆聚光腔对侧面的泵浦，克服沿该方向的热畸变，进而使板条介质内形成沿着厚度方向的一维温度梯度。

## 二、端面损耗

板条型固体激光器中，光束同板条型激活介质的耦合方式，一般采用斜入射。这种方式无需辅助耦合棱镜，结构简单并且有利于多灯双面泵浦和冷却封水。合理设计板条端面角，可降低端面损耗，或实现高偏振激光输出。

板条型激光器中，入射角较大（ $60^\circ \sim 70^\circ$ ），端面的反射损耗也较大，而且激活介质较长，给镀膜端面增透膜带来困难。端面反射损耗如图3所示，对S偏振光和自然偏振光，反射损耗随板条端角  $\theta$  的增大而减小（如图中的曲线a、b）；对P偏振光，端面角  $\theta$  取值为布儒斯特角附

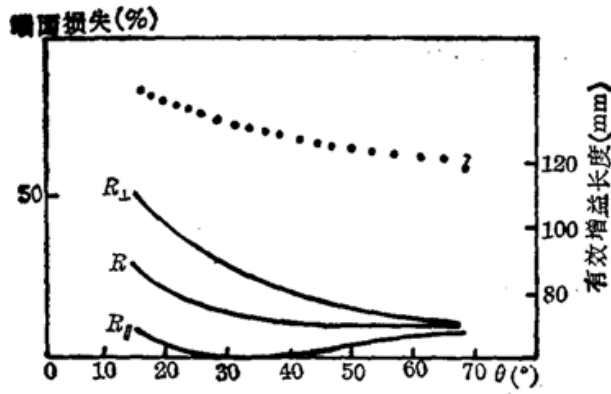


图3 端面损失与有效增益长度

近时, 损耗最小, 但端面切成布儒斯特角的板条介质, 将使器件结构复杂<sup>[4]</sup>。另一方面, 板条激活介质中, 光以锯齿型折迭光路传输, 增加了有效增益长度, 但随着端面角  $\theta$  的增加, 有效增益长度变短。因此, 板条端角的截取, 必须兼顾端面反射损耗和有效增益长度, 我们认为, 对 YAG 板条, 端角以  $36\sim 40^\circ$  为宜。

### 三、输出特性

板条型 YAG 激光器的自由振荡输出特性如图 4 所示。最佳输出镜反射率为 24%, 此时器件阈值约为 50J, 最大单脉冲输出能量为 24J, 斜效率为 2.5%, 脉宽 0.4 ms。输出镜反射率为 28% 和 21% 时, 斜效率分别为 2.2% 和 2.0%。实验测量了沿宽度方向的发散角, 约为 0.18 mrad, 接近衍射极限, 说明全冷却方式可较好地消除侧面泵浦的影响。

电光调 Q 工作状态的激光巨脉冲输出情况如图 5 所示。适当调节电光开关的延迟时间, 可以获得很高的开关效率。稳定工作的最高开关效率为 72%, 此时 Q 脉冲输出与泵浦输入成线性增加, 最大调 Q 巨脉冲能量为 860 mJ, 脉宽为 12~15 ns。进一步增加泵浦能量, Q 脉冲能量虽有提高, 但脉宽变宽并出现多脉冲。图 6 表示电光 Q 开关工作稳定性情况, 我们所研制的电光开关, 工作良好, 效率稳定, 效率起伏优于 10%。在低开光效率工作状态下, 稳定性更好, 优于 5%。

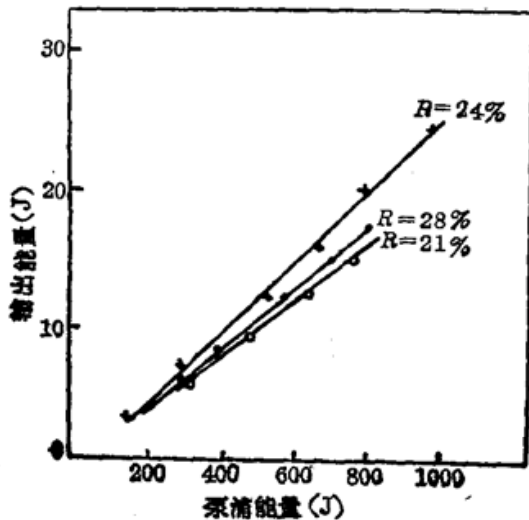


图4 自由振荡脉冲输出

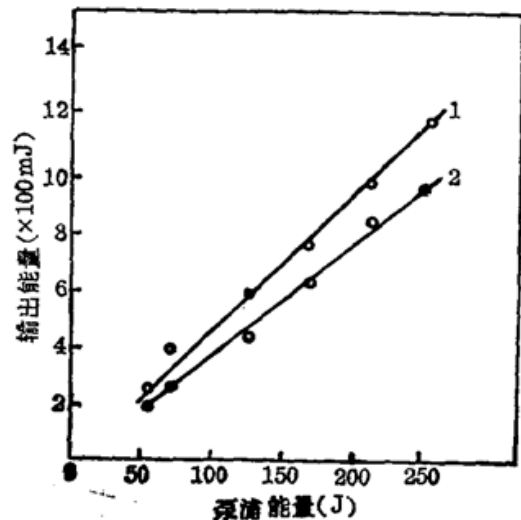


图5 电光调 Q 脉冲输出  
1—自由振荡; 2—调 Q

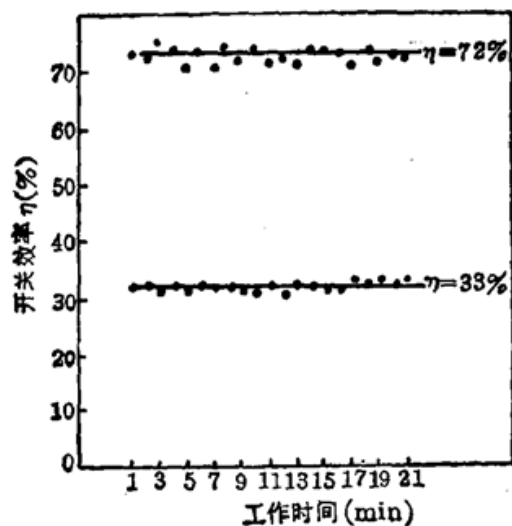


图 6 调 Q 稳定性

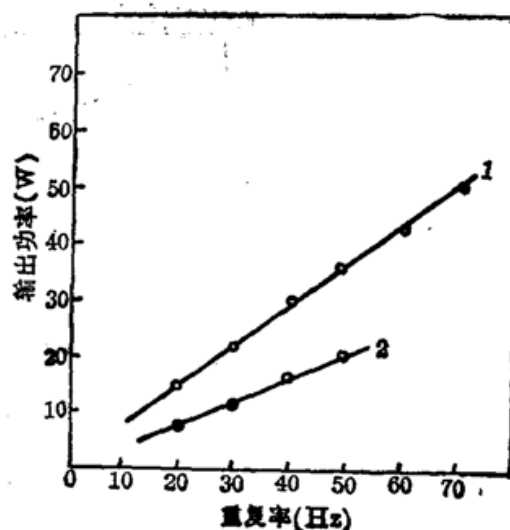


图 7 平均功率特性

1—自由振荡; 2—调 Q

板条型固体激光器有利于高重复频率高平均输出工作,为此,我们进行了初步试验,结果如图 7 所示。自由振荡重复频率为 70 Hz,平均输出功率 49W,总效率为 1%,比单脉冲工作时下降,其原因是:将电源改为重复频率工作时,充电能力下降,每脉冲最高泵浦能量仅为 70J,刚超过器件工作阈值。电光调 Q 工作时,重复频率为 50Hz, Q 脉冲平均输出功率 20W。

参加本工作的还有李俊书、吴大志和于淑凡同志。

## 参 考 文 献

- 1 C. L. M. Ireland, *Laser Focus*, **24** (11), 49 (1988)
- 2 丁丽明 *et al.*, *中国激光*, **16**(6), 423 (1989)
- 3 G. F. Albrecht *et al.*, *IEEE J. Quant. Electr.*, **QE-22** (11), 2099 (1986)
- 4 王戎瑞, *激光与红外*, **18** (12), 9 (1988)
- 5 J. M. Eggleston *et al.*, *IEEE J. Quant. Electr.*, **QE-20** (3), 289 (1984)

您想了解我国激光器件的最新进展吗?

## 请您订阅中国激光专集—激光器件

不少读者曾建议本刊出版一些专题论文集,以便能够比较系统地介绍激光技术某个领域的研究成果和发展动向。为此,我们从已被本刊录用的论文中,选出其中属于激光器件的部分论文汇集成《中国激光专集—激光器件》,内容包括:准分子激光器(4篇)、CO<sub>2</sub>激光器(5篇)、金属蒸气激光器(4篇)、固体激光器(5篇)、半导体激光器(6篇)、光纤激光器(3篇)、染料激光器(3篇)以及激光加工、激光材料及元件等。这些论文反映了我国激光器件方面研究的新水平,其中有一些是我国“七、五”攻关的最新成果。

本专集由《中国激光》编辑委员会编辑,汤星里主编,上海科学技术出版社出版,约 17 万字,定价 9.50 元,需订购者请速与《中国激光》编辑部联系(上海 800—211 信箱,邮政编码 201800),索取订购单。

《中国激光》编辑部