

## 免调试固体激光器的研究

程 勇 毛少卿 王志怀 王晓兵 孙 斌 火 星 曾文锋  
(武汉军械士官学校光学教研室, 武汉, 430064)

**摘要:** 描述了一种新型的免调试激光装置。它采用定向棱镜作为谐振腔的全反镜, 在固体激光器中安装后不经调试就能实现激光运行, 它具有抗失调能力强、远场光场能量集中、发散角小的特点, 角度失调允量  $\pm 2^\circ$ , 棒轴平移量为  $D/4$ , 发散角小于  $3\text{mrad}$ 。在  $100\text{Hz}$  高重复频率运行时, 单脉冲  $\text{Cr}^{4+}:\text{YAG}$  晶体被动调 Q 输出能量达到  $300\text{mJ}$ , 且光场分布均匀。

**关键词:** 定向棱镜 免调试 抗失调 固体激光器

## Avoidance adjust solid state laser

Cheng Yong, Mao Shaoqing, Wang Zhihui, Wang Xiaobing,  
Sun Bin, Huo Xing, Zeng Wenfeng

(Optics Teaching and Research Room of Ordnance Noncommissioned Officer School, Wuhan, 430064)

**Abstract:** A innovatory avoidance adjust solid state laser was demonstrated. It used the directional prism as a reflector of the resonant cavity. With the prism reflector, the laser operates normally without special adjustment. The stability is the highest than other rasonant cavity. The divergence angle of laser beam is small. The laser energy of far-field is focus. The deflection angle allowed of the reflector is of  $\pm 2^\circ$ . The laser rod shift of  $D/4$  is allowed which  $D$  is the diameter of the laser rod. The divergence angle of laser beam is small than  $3\text{mrad}$ . The laser output energy  $300\text{mJ/pulse}$  in the high repetition of  $100\text{Hz}$  with a  $\text{Cr}^{4+}:\text{YAG}$  crystal as passive Q-switch, and the laser field distribution is homogeneous.

**Key words:** directional prism avoidance adjustment high stability solid state laser

## 引 言

激光谐振腔由于腔镜失调造成的激光输出不稳定性一直困扰着激光界, 影响激光器在实用中(特别是在振动环境下)的应用效果。长期以来, 人们从腔型设计和机械结构等方面力图改善和解决此问题, 采用粘接固化强化镜架机械结构、计算机优化设计腔参数, 美国在机载激光器上采用波罗棱镜腔<sup>[1, 2]</sup>, 都使谐振腔的稳定性得到一定程度的改善, 但腔镜失调造成的不稳定性始终没有得到根本性解决, 能否形成一种有抗失调、免调试、结构简单、便于安装的激光器是当前国内外激光器实用中急待解决的问题。我们研制的新型免调试固体激光器不但从根本上解决了激光器腔镜失调造成的不稳定性, 而且使光束质量得到改善, 在技术上取得了突破性进展。并应用在军用激光测距机上, 取得显著效果。

## 1 实验装置

新型免调试结构的固体激光器由激光棒、泵灯、聚光腔、光学谐振腔、Q 开关、电源等构成,

\* 华中理工大学激光技术国家实验室教授。

其特征是激光棒一端放置定向棱镜  $M_1$  作为全反镜, 另一端直接镀透反膜作为输出镜  $M_2$  构成免调试谐振腔。其装置结构如图 1 所示。本装置所用 Nd:YAG 激光棒尺寸为:  $\phi 4\text{mm} \times 75\text{mm}$ , 腔长为 80mm, BDN 染料 Q 开关, 泵浦能量为 4.62J。由四维调节机构模拟失调量。

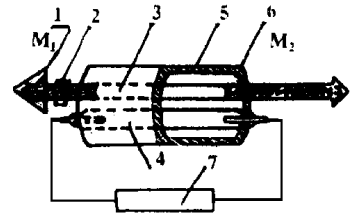


Fig. 1 Innovate directional solid state laser  
1— $M_1$  directional prism reflector 2—Q-switch  
3—laser rod 4—focus light cavity 5— $M_2$  output mirror 6—pump lamp 7—power supply

## 2 实验结果

### 2.1 失调灵敏度的测量

测试方案有两种, 一是转动定向棱镜测量其绕任意轴转动使激光输出能量下降 10% 时的允限失调角  $\alpha$ ; 二是定向棱镜在  $X$  轴方向作相对光轴平移, 使激光输出能量下降 10% 时

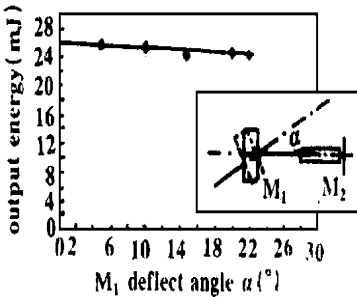


Fig. 2 Relationship of the  $M_1$  deflect angle with laser output energy

的允限位移量  $\Delta x$ , 其实验结果为: (1) 允限失调角  $\alpha$  的测试 实验装置示意图及测试曲线如图 2 所示。激光能量

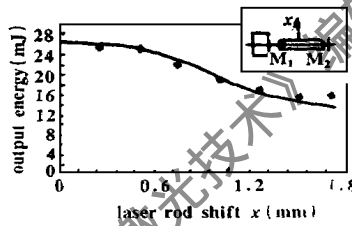


Fig. 3 Relationship of laser rod shift with laser output energy

下降 10% 时的容限失调角实测  $\alpha = \pm 384\text{mrad}$ 。(2) 允限位移  $\Delta x$  的测试 测试结果及实验装置示意图如图 3 所示。激光能量下降 10% 时, 相对棒轴的允限平移量

$\Delta x = \pm 0.8\text{mm}$ 。平移量  $\Delta x$  为棒径  $D$  的  $1/4$ 。(3) 定向棱镜转动和平移综合允差的测试 定向棱镜相对光轴沿  $x$  方向平移 0.5mm 后绕任意轴转动, 测允限失调角  $\alpha$ , 其测试结果及装置示意图如图 4 所示。此时出现实验曲线的不对称。按能量下降快的一侧计算, 激光能量下降 10% 时的容限失调角  $\alpha = 349\text{mrad}$ 。

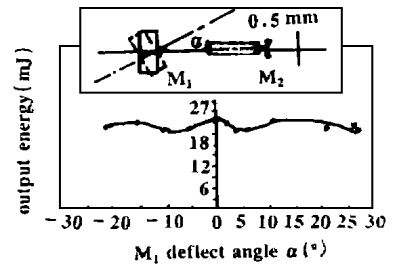


Fig. 4 During the rod axis position shifting off the cavity axis is of 0.5mm, the relationship of the  $M_1$  deflect angle with laser output energy

### 2.2 激光能量分布及发散角

我们用国际标准测量法之一的移动狭缝法<sup>[3]</sup>, 测量了新型激光器输出的近场和远场分布, 如图 5 所示。 $s$  为扫描狭缝至激光器输出镜的距离, 狭缝宽度为 0.5 mm。由此可见, 激光器的激光远场能量分布是一个中心光强更为集中的分布。这有利于压缩发散角、增大传输距离和测程。

从上面的能量分布测得光束发散角为 2.2mrad。

### 2.3 激光输出能量

在工作电压为 682V 时, 测得静态激光输出能量为 103mJ/pulse; 用 BDN 染料片作为 Q 开关, 动态激光输出能量为 20.83mJ/pulse, 工作电压坪区宽度为 625~720V。

将该新型腔安装在采用  $\text{Cr}^{4+}:\text{YAG}$  晶体调 Q 重频激光系统中, Nd:YAG 激光棒的尺寸为  $\phi 6\text{mm} \times 120\text{mm}$ , 在工作频率为 100Hz, 泵浦能量为 22.7J 条件下, 测得动态输出能量为

316mJ,且光能分布均匀。

### 3 结果分析

(1) 定向棱镜的光学特性保证了可以将空间任何角度入射的光线折转180°沿原方向返回,在谐振腔中不受倾角α的调制,因此,具有极好的抗失调特性,实现免调试安装。

(2) 根据新型腔内平行光振荡输出光场和横场能量分布,近场为空心圆柱形平行光场,理论分析时可作为被平面波均匀照明的亮环来处理,用夫琅和费衍射积分方程和叠加原理来计算远场能量分布。圆孔衍射积分方程:

$$\begin{aligned} \tilde{E}(p) &= C' \int_0^a \int_0^{2\pi} \exp[-ik(r_1\theta\cos\Psi_1\cos\Psi + r_1\theta\sin\Psi_1\sin\Psi)] r_1 dr_1 d\Psi_1 \\ &= C' \int_0^a \int_0^{2\pi} \exp[-ikr_1\theta\cos(\Psi_1 - \Psi)] r_1 dr_1 d\Psi_1 \end{aligned}$$

积分方程的解为贝塞尔函数  $\tilde{E}(p) = \pi a^2 C' [2J_1(ka\theta)/(ka\theta)] = E(o)[2J_1(ka\theta)/(ka\theta)]$  亮环衍射光场的远场,光强度(即能量)分布为:

$$I(\theta) = I_0 [2J_1(ka_2\theta)/(ka_2\theta) - (a_1/a_2)^2 2J_1(ka_1\theta)/(ka_1\theta)]^2 / [1 - (a_1/a_2)^2]^2$$

式中,  $a_1, a_2$  分别表示为近场图中亮环的内径和外径,  $I_0$  为远场图中中心处的光强值,  $J_1$  为一阶贝塞尔函数,  $k$  为波矢值,  $\theta$  为远场分布图中的角半径。用透镜聚焦来观察远场图时,  $\theta = r/f$ ,  $r$  为透镜焦平面上光斑的某一点到光斑中心的径向距离,  $f$  为透镜焦距。图6表示激光的远场能量分布。由此可见,光场远场能量分布集中,压缩了光束发散角。

(3) 定向棱镜能够消除光在腔内振荡过程中因热应力、晶体折射率分布不均匀、散射颗粒、应力双折射等引起的相位畸变,提高了激光模式质量。同时,由角向选模特性压缩了发散角<sup>[4]</sup>。

### 4 结论

本激光器具有免调试、抗失调、光束质量好、结构简单、安装方便、便于维修等特点,能够制成标准化、系列化产品,可推广应用于各种军用、民用激光设备中。

#### 参 考 文 献

- 1 Woodbury E J. U S P 3464026, 1969
- 2 George. U S P 337376, 1968
- 3 International Organization for Standardization. ISO/TC 172/SC 9/ WG1N14, 1991
- 4 Giordmaine J A, Kaiser W. J A P, 1964; 35(12)

\* \* \*

作者简介:程 勇,男,1961年出生。高级讲师。现主要从事军用激光技术的研究工作。

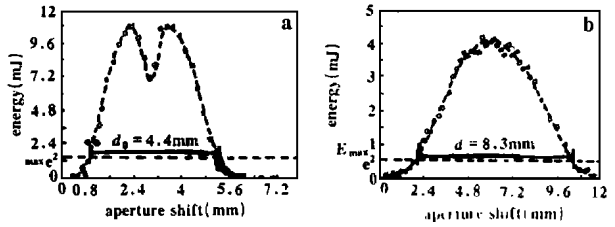


Fig. 5 Distribution of energy in laser beam  
a—s= 100mm distribution of near-field energy b—s= 1900mm distribution of far-field energy

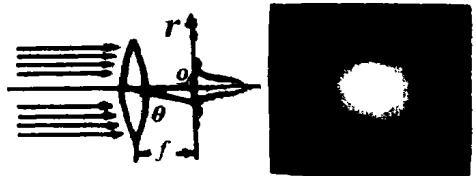


Fig. 6 Far-field distribution of laser energy