

文章编号: 0258-7025(2009)01-0066-04

# 角锥棱镜阵列后腔镜钕玻璃激光器

钟 鸣 夏惠军 刘文兵\* 张 翼 叶大华 樊红英 欧群飞 任 钢

(西南技术物理研究所, 四川 成都 610041)

**摘要** 设计了一种新型的钕玻璃激光器谐振腔以满足激光器高稳定性及高强度激光输出的要求。该激光器利用角锥棱镜阵列作为谐振腔后腔镜,平面镜作输出镜,大尺寸钕玻璃棒作激光工作物质。对激光器进行了实验研究,实验中获得了能量大于450 J的1.06  $\mu\text{m}$ 激光输出,发散角为0.6 mrad左右,电-光效率为2.1%。实验中采集到的光斑不是一系列振幅(强度)相等的小光斑,而是中间有一个巨峰,在其周围分布着一系列振幅(强度)小得多的次峰。对实验结果进行了解释与讨论,提出了利用角锥棱镜阵列进行激光束相干合成的设想。

**关键词** 激光器;钕玻璃激光器;角锥棱镜阵列;光束合成

**中图分类号** TN248.1 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/CJL20093601.0066

## Nd:Glass Laser with Corner Cube Array as Cavity Mirror

Zhong Ming Xia Huijun Liu Wenbing Zhang Yi Ye Dahua

Fan Hongying Ou Qunfei Ren Gang

(Southwest Institute of the Technical Physics, Chengdu, Sichuan 610041, China)

**Abstract** A new type of Nd:glass laser resonator with high stability and high power output was designed and demonstrated. With the corner cube array as the cavity mirror and the flat glass as the output mirror, the Nd:glass laser outputs 1.06  $\mu\text{m}$  laser pulse with pulse energy more than 450 J, the beam divergent angle about 0.6 mrad, and the electro-optic efficiency of 2.1%. The beam spots collected in the experiments are not a series of small beam spots with equal amplitude but a high intensity spot in the middle with many small spots around it. The experimental results are explained and discussed. The idea of laser beam coherent combination using the corner cube array is brought forward.

**Key words** lasers; Nd:glass laser; corner cube array; beam combination

## 1 引 言

由于角锥棱镜具有逆向反射特性,从角锥棱镜底面任意方向入射的光线,经一次折射、三次反射再经一次折射之后,出射光线将以平行于入射光线的方向射出,因此,人们常利用它作为激光器谐振腔的全反射后腔镜构成“免调试激光器”<sup>[1]</sup>。这种激光器具有很多新的特点,如稳定性高、抗失调能力强<sup>[2]</sup>,而且由于振荡光线在不同部位两次通过激光介质,因此能部分克服因工作物质内部折射率、密度、应力、光抽运等不均匀性所造成的增益分布不均匀,也就是一般所说的准相位共轭作用。人们对角锥棱镜谐振腔进行了充分的研究,采用矢量分析方法分析了角锥棱镜直角误差对其光路反射特性的影响,定

量给出了直角误差和出射光的关系<sup>[3]</sup>,在研究角度加工误差对运动角锥棱镜反射特性影响的基础上,得出了角度加工误差将引起运动角锥棱镜反射光束空间方位的随机改变,但其改变属于高阶小量的结论<sup>[4]</sup>。王小兵等<sup>[5]</sup>将角锥棱镜腔用于 XeCl 准分子激光器,获得了近场能量分布均匀、远场能量分布高度集中的相干平顶高斯激光束输出。程勇等<sup>[2]</sup>采用角锥棱镜谐振腔在固体激光器上获得了棱镜失调角为 $\pm 20^\circ$ 高抗失调稳定性和远场发散角1.6 mrad,光场模式为低阶模的高光束质量的激光输出。此外,人们对角锥棱镜谐振腔激光器的调Q特性也进行了详细的研究,在内腔式  $\text{Cr}^{4+}:\text{YAG}$  被动调Q光参量振荡器(OPO)激光器<sup>[6]</sup>及  $\text{Cr}^{4+}:\text{YAG}$  被动调Q

收稿日期:2008-06-02;收到修改稿日期:2008-08-18

作者简介:钟 鸣(1957—),男,研究员,博士生导师,主要从事强激光技术的研究。E-mail:office@xiwu.net

\* 通信联系人。E-mail:novemberlwb@hotmail.com

侧向抽运激光二极管抽运固体激光器(DPL)<sup>[7,8]</sup>中,均获得了高光束质量、高稳定性的激光输出。但是,这些激光器的输出能量较低,不能满足激光器大能量、高功率激光输出的需要。

针对目前激光器高稳定性、高能量输出的要求,笔者与俄罗斯《石榴石》特种设计局合作设计出一种新型的激光谐振腔,使用角锥棱镜阵列作为钕玻璃激光器的后腔镜,获得了能量大于450 J的激光输出,并提出了使用角锥棱镜阵列实现激光器相干输出的设想。

## 2 实验装置

谐振腔采用角锥棱镜阵列作为全反射后腔镜,平板玻璃作输出镜,钕玻璃棒作激光增益介质。实验装置如图1所示。

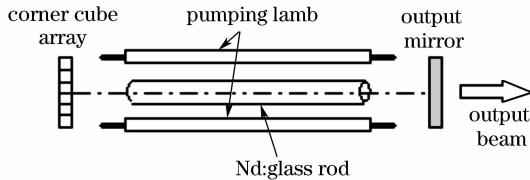


图1 角锥棱镜阵列谐振腔钕玻璃激光器实验装置示意图

Fig. 1 Experimental setup of corner cube array cavity Nd:glass laser

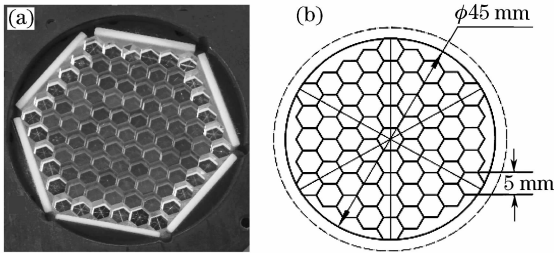


图2 角锥棱镜阵列外形图(a)及其底面平面图(b)

Fig. 2 Picture (a) and bottom sketch (b) of corner cube array

角锥棱镜阵列有效区由61个小角锥棱镜组合而成,每个小角锥棱镜的底面做成正六边形,其内切圆的直径为5 mm,整个角锥棱镜阵列呈正六边形,外接圆直径45 mm。角锥棱镜阵列如图2所示。

激光工作物质为 $\phi 45\text{ mm} \times 920\text{ mm}$ 钕玻璃棒,端面切角为 $4.6^\circ$ 。输出镜采用表面没有镀膜的UBK7平板玻璃,其口径有 $\phi 70\text{ mm}$ 和 $\phi 90\text{ mm}$ 两种,这样可对实验结果进行比较。两块输出镜的面形检测结果为: $\phi 70\text{ mm}$ 峰谷值(PV): $0.647\lambda$ ,均方根值(RMS): $0.130\lambda$ ( $\lambda = 632.8\text{ nm}$ ); $\phi 90\text{ mm}$ 峰谷值

(PV): $0.233\lambda$ ,均方根值(RMS): $0.056\lambda$ ( $\lambda = 632.8\text{ nm}$ )。两腔镜之间几何长度为1.5 m。

## 3 实验结果

实验主要测试了角锥棱镜阵列作全反射后腔镜的钕玻璃激光器的输出能量及输出光束的束散,测量装置如图3所示。激光束经两光楔分束衰减,透过第一块光楔的光束进入能量计以测量激光器输出能量;第一块光楔前表面反射的光束经第二块光楔分束后,再经焦距为1 m的透镜聚焦后进入光束质量分析仪的CCD相机以测量激光束的束散。能量计为LPE-103A激光功率能量计,束散测试采用LBA-PC光束质量分析仪,为保护光束质量分析仪,在光路适当位置放置衰减片,测试结果由计算机作进一步处理。

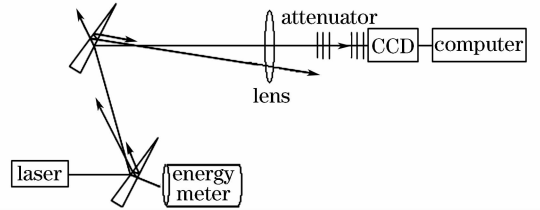


图3 能量、束散测量装置示意图

Fig. 3 Sketch map of energy and divergent angle measurement setup

### 3.1 光斑图像

输出镜为 $\phi 70\text{ mm}$ 平板玻璃时距输出镜3 m处用相纸采集的光斑如图4所示,对应的相关参数如表1所示。

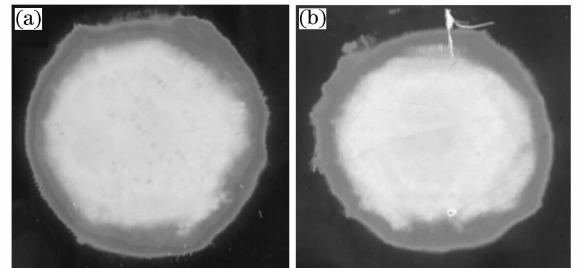


图4 输出镜为 $\phi 70\text{ mm}$ 平板玻璃时距输出镜3 m处的光斑

Fig. 4 Beam-spot 3 m away from the output mirror of  $\phi 70\text{ mm}$  flat glass

输出镜为 $\phi 90\text{ mm}$ 平板玻璃时距输出镜3 m处的光斑如图5所示,对应的相关参数如表2所示。

输出镜为 $\phi 90\text{ mm}$ 平板玻璃时距输出镜23 m处的光斑如图6所示,对应的相关参数如表3所示(光斑大小测量区域不包括旁边散斑)。

表 1 图 4 中激光光斑对应的激光电源工作状态及光斑大小

Table 1 Working status of power and beam spot-size corresponding to Fig. 4

	Voltage /V	Capacitance / $\mu\text{F}$	Diameter /mm	Energy /J
(a)	2500	6400	59	421
(b)	2600	6400	60	454

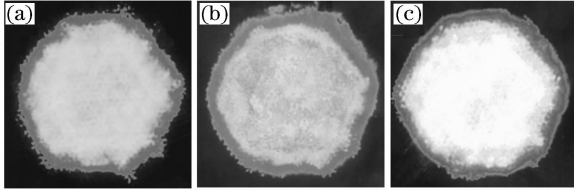


图 5 输出镜为 $\phi 90$  mm 平板玻璃时距输出镜 3 m 处的光斑

Fig. 5 Beam-spot 3 m away from the output mirror of  $\phi 90$  mm flat glass

表 2 图 5 中激光光斑对应的激光电源工作状态及光斑大小

Table 2 Working status of power and beam spot-size corresponding to Fig. 5

	Voltage /V	Capacitance / $\mu\text{F}$	Diameter /mm	Energy /J
(a)	2250	6400	55	339
(b)	2625	6400	58	463
(c)	2650	6400	59	472

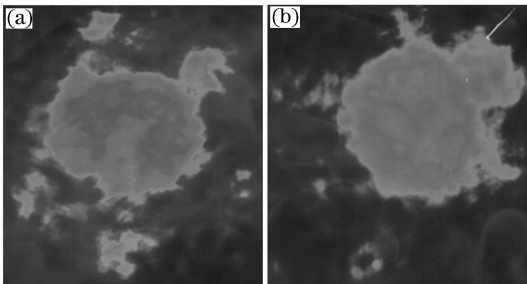


图 6 输出镜为 $\phi 90$  mm 平板玻璃时距输出镜 23 m 处的光斑

Fig. 6 Beam-spot 23 m away from the output mirror of  $\phi 90$  mm flat glass

表 3 图 6 中激光光斑对应的激光电源工作状态及能量主要集中在区光斑大小

Table 3 Working status of power and beam spot-size corresponding to Fig. 6

	Voltage /V	Capacitance / $\mu\text{F}$	Diameter /mm	Energy /J
(a)	2625	6400	60	464
(b)	2600	6400	63	455

从图 4,5 可以看出,在距输出镜较近的地方光斑的形状与角锥棱镜阵列的外形相似,呈六边形,但由于束散的原因,光斑比角锥棱镜阵列要大。但在距输出镜较远处,光斑散开,在中间极大的周围散列着分布不规则的杂散光斑,如图 6 所示。

### 3.2 光束束散

采用 LBA-PC 光束质量分析仪分别测试了 $\phi 70$  mm 平板玻璃作输出镜和 $\phi 90$  mm 平板玻璃作输出镜时输出光束的束散值。光束质量分析仪采集到的光斑如图 7 所示,对应图 7 的光束束散值及电光效率如表 4 所示(激光电源储能器电容为 $6400 \mu\text{F}$ ,光斑大小测量区域不包括旁边散斑)。

从图 7 可以看出,采用角锥棱镜阵列作钎玻璃激光器谐振腔的后腔镜时,输出光束不是一系列振幅(强度)相等的光斑,而是出现了一个巨峰,在其周围分布着一系列振幅(强度)小得多的次峰,类似于多光束干涉的现象。

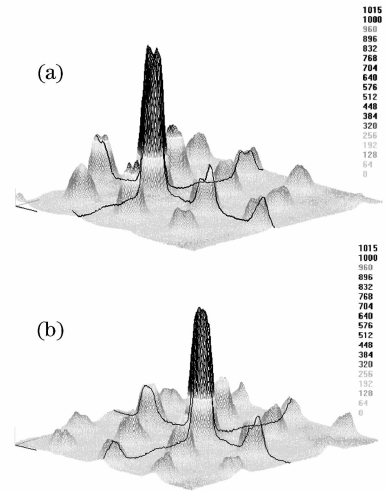


图 7 CCD 采集的光斑。(a)  $\phi 70$  mm 平板玻璃;  
(b)  $\phi 90$  mm 平板玻璃

Fig. 7 Beam spot got by CCD. (a)  $\phi 70$  mm flat glass;  
(b)  $\phi 90$  mm flat glass

表 4 能量、束散测试结果

Table 4 Measured results of energy and divergent angle

	Voltage /V	Energy /J	Electro-optical efficiency /%	Divergent angle /mrad	
				x	y
(a)	2550	441	2.1	0.59	0.68
(b)	2550	443	2.1	0.51	0.64

## 4 实验结果分析

由图 2(b)可知,棒直径为 45 mm 时,此范围最多可包含 61 个直径为 5 mm 的小角锥棱镜,也就是

φ45 mm的波面被分割成 61 个子波面,相当于 61 个子激光器。众所周知,用 CCD 采集空间排列的不相干的数个激光器输出时,获得的光斑图像应是对应的一系列光斑,不会产生相干现象。但是从图 7(a)和(b)可以看到,在 CCD 采集的光斑图像中有 1 个巨峰和若干个次峰,出现了相干输出,这说明 61 个子激光器不是毫无关联的。一种可能的解释是,当其中的一个子激光器起振以后,其旁射的光子引起临近的子激光器同步振荡,所有的子激光器对巨峰都有贡献,由于上能级粒子数的消耗导致其余的子激光器输出减小,因此次峰比巨峰低很多。如果这种解释是合理的,则利用角锥棱镜阵列实现激光器的相干输出将成为可能。

## 5 结 论

采用角锥棱镜阵列在钕玻璃激光器上获得了 450 J 以上的 1.06 μm 激光输出,激光发散角为 0.6 mrad 左右,电-光效率为 2.1%。由于角锥棱镜谐振腔激光器本身具有高稳定性输出的特点,因此角锥棱镜阵列谐振腔激光器可以满足激光器高能量、高稳定性输出的要求。对实验结果进行了解释,提出了利用角锥棱镜阵列进行光束相干合成的设想。

**致谢** 实验所用的角锥棱镜阵列由俄罗斯《石榴石》特种设计局提供,谨致谢意。

## 参 考 文 献

1 Cheng Yong, Mao Shaoqing, Wang Zhihui *et al.*. Avoidance adjust solid state laser [J]. *Laser Technology*, 1999, **23**(2):68

~70  
程 勇,毛少卿,王志怀等. 免调试固体激光器的研究[J]. 激光技术, 1999, **23**(2):68~70

2 Cheng Yong, Wang Xiaobing, Sun Bin *et al.*. Study of directional prism cavity character [J]. *Chinese J. Lasers*, 2000, **A27**(6):537~541  
程 勇,王晓兵,孙 斌等. 定向棱镜谐振腔的特性研究[J]. 中国激光, 2000, **A27**(6):537~541

3 Kuang Cuifang, Feng Qibo, Liu Xin. By vector analysis the rectangular angle error influence on characteristics of the beam of cube-corner retroreflector [J]. *Optical Instruments*, 2003, **25**(4):55~58  
匡萃方,冯其波,刘 欣. 用矢量方法分析角锥棱镜直角误差对其光路反射特性的影响[J]. 光学仪器, 2003, **25**(4):55~58

4 Ou Jiaming, Wang Ruili, Fu Dejun *et al.*. The analyse of theory about effect on angular error for reflective characterisitic of move angular cone prism [J]. *Laser Journal*, 2001, **22**(1):12~14  
欧家鸣,王瑞丽,符德军等. 角度误差影响运动角锥棱镜反射特性的理论分析[J]. 激光杂志, 2001, **22**(1):12~14

5 Wang Xiaobing, Sun Bin, Cheng Yong *et al.*. Properties of flattened Gaussian beam in directional prism cavity [J]. *Laser Technology*, 2002, **26**(2):117~119  
王小兵,孙 斌,程 勇等. 定向棱镜腔平顶高斯激光束特性的研究[J]. 激光技术, 2002, **26**(2):117~119

6 Liu Xu, Lu Changyong, Wang Xiaobing *et al.*. Passively Q-switched intracavity optical parametric oscillator with corner-cube resonator [J]. *Chinese J. Lasers*, 2007, **34**(4):485~490  
刘 旭,卢常勇,王小兵等. 角锥棱镜腔 Cr<sup>4+</sup>:YAG 被动调 Q 内腔式光参量振荡器[J]. 中国激光, 2007, **34**(4):485~490

7 Wang Xiaobing, Cheng Yong, Wang Guchang *et al.*. Study on directional prism resonator to improve the laser beam quality of repetition rate DPL [J]. *Chinese Journal of Quantum Electronics*, 2005, **22**(2):186~191  
王小兵,程 勇,王古常等. 定向棱镜腔改善重频 DPL 光束质量的研究[J]. 量子电子学报, 2005, **22**(2):186~191

8 Lu Changyong, Li Li, Liu Xu *et al.*. Laser diode-pumped passively Q-switched laser with corner-cube resonator [J]. *Acta Optica Sinica*, 2007, **27**(7):1228~1231  
卢常勇,李 莉,刘 旭等. 角锥棱镜腔激光二极管抽运被动调 Q 激光器[J]. 光学学报, 2007, **27**(7):1228~1231