

小型 NdP₅O₁₄ 脉冲激光器

刘继尚 王明凯 赵锡君 梁艳春

王保林 陆宝生

(山东省激光研究所)

(山东大学晶体材料研究所)

提要: 简要介绍 NdP₅O₁₄ 小型激光器的结构设计, 给出了灯和棒的最佳匹配尺寸, 获得发散角小于 5 mrad、峰值功率大于 4 MW 的激光输出。

A miniature pulsed NdP₅O₁₄ laser

Liu Jishang, Wang Mingkai, Zhao Xijun, Liang Yanchun

(Shandong Institute of Lasers)

Wang Baolin, Lu Baosheng

(Institute of Crystal Materials, Shandong University)

Abstract: A brief introduction is given on the structure design of NdP₅O₁₄ mini-lasers. The optimum matching size of pumping lamp and laser rod is presented for this kind of laser. Output with divergence angle of less than 5 mrad and a peak power of over 4 MW have been obtained.

五磷酸铈晶体(简称 NdPP)是一种高增益的激光材料, 其阈值比 YAG 激光器低几倍, 转换效率高几倍^[1], 但 NdPP 激光器的光束散度较大, 晶体机械性能较差, 因此至今国内外尚未看到实用报道。针对这些问题我们做了一系列研究工作, 结果表明 NdPP 激光器的发散角可以做到小型 YAG 器件的水平, 机械性能通过工艺方法可以达到实用要求。目前, 我们研制的器件已经正式用于手持式小型测距机。

一、器件设计概要

1977 年林肯实验室 S. R. Chinn^[2] 等

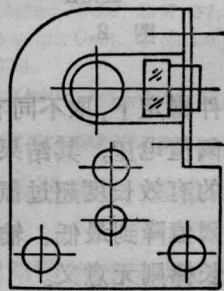


图 1

人报道了他们用闪光灯泵浦的 NdPP 激光器的研究结果。参考其器件结构, 结合圆形闪光灯和方形棒的特点, 我们设计了一种 U 形聚

收稿日期: 1985 年 9 月 6 日。

光器, 见图 1。U 形槽内镶抛光镀银铜箔, 其圆弧部分与灯的尺寸相配合, 方形部分与棒的尺寸相配合; 棒胶合在一片抛光镀银的铜片上, 铜片用微型螺钉从上下两边紧固在机体上; 灯与棒的间隙约 1mm, 并保证棒四面不受任何压力, 以免影响晶体的光学质量; U 形槽的下部是器件的基座, 谐振腔反射镜的调节机构连接在基座上。

用 BDN 染料片调 Q , 激光棒输出端镀膜反射膜作为一个腔镜。

二、实验研究

1. 灯和棒的尺寸匹配和泵浦均匀性

为了充分利用泵灯轴向辐射能量, 提高泵浦效率, 工作物质长度和灯的极间距离要求最佳尺寸匹配。由于影响因素较多, 一般要在具体条件下进行实验测定。实验装置如图 2, 遮光套在棒的一端, 轻轻推拉可以移动。当遮光套取不同位置时, 对应不同的有效棒长可由标尺直接读出。

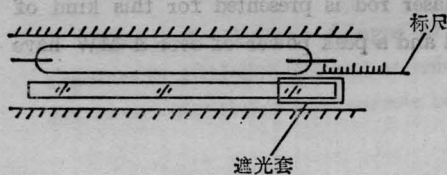


图 2

在其他条件固定下, 取不同有效棒长, 测量输出能量和阈值电压, 其结果见表 1。可以得知, 当棒的有效长度超过氙灯电极内端 2~3 mm 时, 阈值降到最低、输出能量达到最大。继续加长棒则无意义。

表 1

有效棒长(mm)	31	32	33	34	35	36
阈值电压(V)	915	915	905	900	900	900
单峰能量(mJ)	15.5	15.1	16.2	15.9	16.1	15.8

注: 灯的极间距离为 30 mm, 棒的实际尺寸是 45 mm。

为了改善泵浦均匀性, 我们试验了圆柱腔、椭圆腔、相交圆腔, 皆没有明显的效果, 这是因为腔体不可能做得太大(否则, 不能达到小型化的要求)。以上几种聚光腔理论上都是对圆形棒而言的, 并且对低浓度材料来说泵浦光可以穿透, 光线多次反射, 故可实现均匀泵浦。而用于高浓度材料方形棒时, 就很难奏效。

减小 NdPP 棒的厚度可以改善泵浦均匀性。其原因可用图 3 说明。如图 3(a) 把 NdPP 认为是均匀介质, 并设泵浦光为平行光束, 自左向右垂直入射, 侧向泵浦, 到达晶体左表面上的泵浦光强为 I_0 ; 用 l 表示晶体内部任意一点到左表面的距离, I 表示该点的泵浦光强, 相对光强 I/I_0 随 l 的变化如图 3(b)。众所周知, 这是一条指数曲线, 由于 NdPP 的强吸收, 泵浦光迅速衰减, 穿透

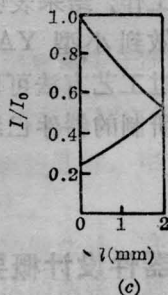
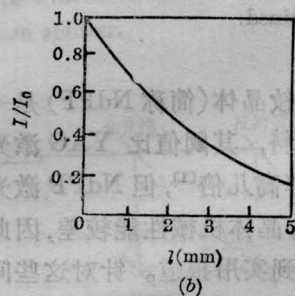
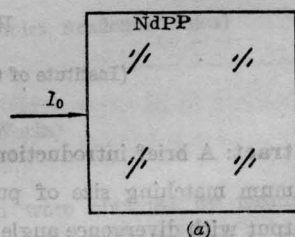


图 3

5 mm 厚的晶体时, 相对强度由 1 衰减到 0.18, 这条曲线基本上可以说明上述非均匀泵浦的状态。

针对材料高浓度的特点, 把棒的厚度减小为 2 mm, 并靠近棒的右表面放置高度抛光的镀银反射镜, 把穿透晶体的泵浦光沿原路反射回来。图 3(c) 中的上、下曲线分别表示入射泵浦光和反射泵浦光在晶体内部传播时的衰减变化。根据非相干光强度相加的原理, 晶体内部某点的总泵浦光强 I_p (相对值) 应该等于上、下曲线对应于该点的横坐标所表示的强度之和。图 3(c) 所示: 在晶体左表面上, $I_p = 1.00 + 0.25 = 1.25$; 在晶体右表面上, $I_p = 0.50 + 0.50 = 1.00$ 。可以证明: 在晶体内部任意一点, $1.00 < I_p < 1.25$ 。显然泵浦均匀性大为改善。

以上解释虽有理想化的假设, 不能完全代表实际情况, 但我们取棒的厚度为 2 mm 时确实得到了充满整个棒截面的光斑, 激光强度大体符合高斯分布。

2. 发散角的改善

(1) 增加腔长

根据谐振腔理论, 对平行平面腔而言, 激光输出发散角 θ 与横模序数有关, 模式序数越高, 发散角越大。抑制高阶模的振荡, 减少同时被激发的模数, 即可改善发散角。

我们用 No. 1 棒做了不同腔长的实验, 其结果列于表 2, 发散角 θ 与 $L^{-1/2}$ 的关系示于图 4。根据上述实验结果, 我们采用折叠光路, 腔长增加到 130 mm, 而器件长度为 68 mm (仍不失为小型器件), 获得了非常满意的结果。

表 2

腔长 L (mm)	$L^{-1/2}$ (mm) $^{-1/2}$	发散角 θ (mrad)
38	0.16	11
77	0.11	6
115	0.09	4

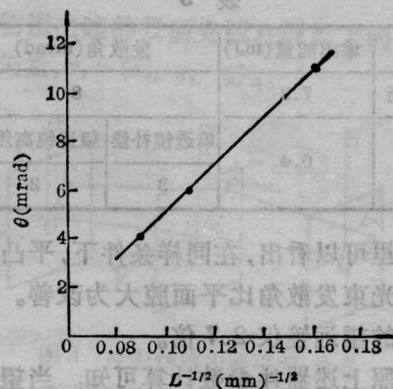


图 4

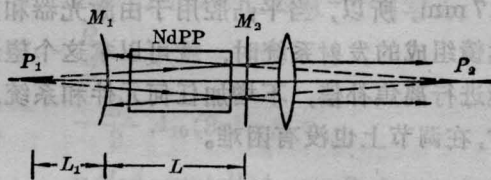


图 5

(2) 非稳腔

抑制高阶模较有实用价值的一种就是平凸腔。如图 5, 把 M_1 和 M_2 两反射镜构成的平凸腔视为一光学多次成象系统, 则总存在一对轴上共轭点 P_1 和 P_2 , 由几何光学方法^[3] 可求得:

$$L_1 = L^* \left(\sqrt{1 + \frac{R}{L^*}} - 1 \right) \quad (1)$$

$$L^* = L - \Delta L \quad (2)$$

$$\Delta L = l \left(1 - \frac{1}{n} \right) \quad (3)$$

式中 L^* 称为等效腔长, R 为凸面曲率半径, ΔL 是由于工作物质的存在, 为了继续使用空腔公式所给出的腔长修正量, l 和 n 分别是工作物质的长度和折射率。实验中器件参数为 $L = 56$ mm, $R = 1000$ mm, 工作物质依然用 No. 1 棒, $l = 33$ mm, $n = 1.6$, 代入 (1)、(2) 和 (3) 式算得 $L_1 = 170$ mm。因镜面加工误差、工作物质引起的光束畸变、调整误差或多模振荡等原因, 理想的平面波是得不到的。我们用焦距 $f = 320$ mm 的透镜进行补偿, 同时也采用了望远镜离焦补偿, 其结果列于表 3, 表中与同样腔长的平面腔进行了比较。

表 3

腔型	输出能量(mJ)	发散角(mrad)	
平行平面	7.2	8	
平凸	6.4	单透镜补偿	望远镜离焦补偿
		3	2

这里可以看出,在同样条件下,平凸腔经补偿后光束发散角比平面腔大为改善。实验中所用的望远镜仅 2.7 倍。

按照上述器件参数计算可知:当望远镜目镜焦距 $f_e < 20$ mm 时,离焦量 $\Delta f < 1.7$ mm,所以,当平凸腔用于由激光器和望远镜组成的发射系统时,就可以拿这个望远镜进行离焦补偿,不增加任何元件和系统尺寸,在调节上也没有困难。

三、研制结果

(上接第 51 页)

小,各排的放电参数 E/N 值从 $1.92 \times 10^{-16} \text{V} \cdot \text{cm}^2$ 下降到 $1.64 \times 10^{-16} \text{V} \cdot \text{cm}^2$ 。

四、输出特性

激光器的输出特性如图 10 所示。在气

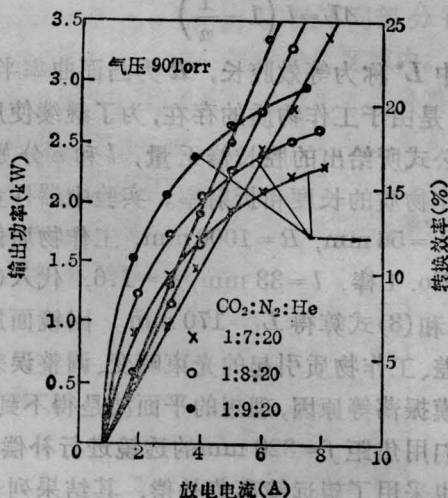


图 10 输出特性

在上述实验的基础上,我们研制成功一种小型 NdPP 脉冲激光器,室温下自然冷却每分钟可以发射 10 次,输入能量 5.9~8.6 J 输出单峰脉冲,单脉冲能量 17 mJ,脉冲宽度(半功率点)4 ns,峰值功率大于 4 MW,用套孔法测量发散角:4.2 mrad 通过总能量的 90%,2.5 mrad 通过总能量的 68%,器件外形尺寸 $15 \times 22 \times 68$ (mm)³,重量 35 g (不包括电源)。

参 考 文 献

- [1] 廉汝林等,《激光与红外》,1980, No. 13, 28.
- [2] S. R. Chinn et al.; *Appl. Phys. Lett.*, 1977, 31, No. 3, 178~180.
- [3] 赫光生,雷仕湛;《激光器设计基础》,上海科学技术出版社,1979, 40~45.

压为 90 Torr,流速为 50 m/s,气温为 20°C 的情况下,改变混合气体中 CO₂, N₂ 和 He 的比例,得到了三组输出特性的曲线。

适当地增加混合气体中的含 N₂ 量,可以显著地提高激光器的输出功率和效率。本激光器工作气体的最佳混合比为 1CO₂:9N₂:20 He。采用这种气体的比例,在 90 Torr 的气压下,流速为 50 m/s,放电区上游气温为 20°C 时,激光器的输出功率可达 2900 W,电光转换效率可达 20%。连续运转时间为 4 小时。

参 考 文 献

- [1] 永井治彦(い);大出力炭酸のレーザー,《三菱电机技报》,1981, 55, No. 10, 55~59.
- [2] 李同宁;华中工学院研究生论文,1984, 10.
- [3] R. B. Lancashire et al.; *Opt Engineering*, 1977, 16, No. 5, 505~512.
- [4] R.H. Bullis et al.; *AIJA J.*, April, 1972, 407~414.