

五 磷 酸 钕 激 光 器

何慧娟 陆国贤 赵梅村 赵隆兴

(中国科学院上海光机所)

Neodymium pentaphosphate laser

He Huijuan Lu Guoxian Zhao Meicun Zhao Longxin

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

Abstract

The experimental setup, test method and laser performances at room temperature for a neodymium pentaphosphate laser with a single transverse mode longitudinally pumped by a dye laser at $0.58\mu\text{m}$ are described. The optical slope efficiency is $\sim 10\%$, threshold energy for single transverse mode is $\sim 40\mu\text{j}$. Oscillation threshold for single mode of longitudinal pumping was estimated with a simple computer model. They agree each other within the experimental error of 10% . A single pulse without Q-switching can be obtained by appropriately varying the cavity parameters.

一、前 言

$\text{NdP}_5\text{O}_{14}$ 晶体及其他类似的化合物中, Nd^{3+} 浓度高达 4×10^{21} 厘米⁻³, 比常用的掺 Nd 1% 的 YAG 大 30 倍而其浓度猝灭效应却很小, 因而只需很小的工作样品就可获得较大的激光增益, 极有利于器件小型化。它不但可以替代低功率 Nd:YAG 激光器的许多应用, 而且由于其具备光谱宽度窄、模特性好、光束发散角小等特点, 有可能解决一般半导体激光器因这几个特性差而在应用中受到的限制。如: $\text{NdP}_5\text{O}_{14}$ 激光器可以因其光耦合效率高及具有低的吸收、散射损耗而适宜于做光导纤维通讯系统的光源。从发展来看,

将来在航天飞行器之间的几毫瓦至几十毫瓦的通讯、光子计算机中的逻辑光源、集成光学中的集成激光器等方面它都有应用的广阔前景。正因为如此, 它受到人们的相当重视, 必然地已成为光电子技术发展的方向之一。

不少兄弟单位都已在组织此类化合物晶体的生长, 我们采用山东大学晶体研究所生长的 $\text{NdP}_5\text{O}_{14}$ 工作样品首次实现了脉冲染料激光器泵浦的单模 $\text{NbP}_5\text{O}_{14}$ 激光器的室温运转。

二、实验装置及实验方法

1. 实验装置 示于图 1。

收稿日期: 1979 年 4 月 24 日。

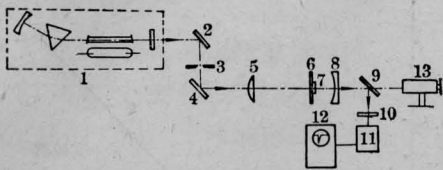


图1 $\text{NdP}_5\text{O}_{14}$ 激光器实验装置

1—直管氙灯泵浦的染料激光器；2、4—0.58微米45°全反射镜；3—场阑($\phi 20$)；5—泵浦光聚焦透镜， $f=10$ 厘米；6—平行平面腔片；7— $\text{NdP}_5\text{O}_{14}$ 晶体；8—凹面腔片；9—可拆卸的1.05微米45°全反射镜；10—1.05微米窄带干涉滤光片及滤0.58微米的颜色玻璃片，11—强流光电管(GD-44)或光电倍增管(GDB-28)；12—脉冲示波器(SS-212)；13—内调焦平行光管

直管脉冲氙灯泵浦的单块棱镜调谐的若丹明6G染料激光器：0.58微米，光谱半宽度 $\sim 40\text{\AA}$ ，1次/秒，脉冲半强度宽度 ~ 1 微秒，束散角 ~ 3 毫弧度。

泵浦光经场阑及二块45°全反镜以后由聚焦透镜聚于 $\text{NdP}_5\text{O}_{14}$ 晶体上，1.05微米的激光经45°全反镜及滤光片由强流光电管或光电倍增管检测在示波器上显示。

为了取得单模低阈值运转并考虑到调整精度的要求，采用准半共心腔，经抛光后厚度为1.1毫米的晶片用弹性胶粘贴于平面腔片上， b 轴方向透光。平面腔片1.05微米的反射率 $r_1=99.3\%$ ，0.58微米的透过率 $T_1=70\%$ ，凹面腔片曲率半径 $\rho=60$ 毫米，1.05微米的透过率1.5%。腔长及透镜位置可调。

2. 实验方法

本实验主要工作分三部分。

首先用内调焦平行光管把腔准直好，然后泵入0.58微米激光，调节二块全反镜及聚焦透镜使入射光束与腔轴准直。在强光泵条件下实现激光振荡，腔的调整精度要求是不高的，要实现单模低阈值运转，腔的调整精度是要求高的；为了判别1.05微米的激光输出，可先利用1.05微米的荧光与激光在脉宽上存在的极大差异把荧光与激光区分开，然后在接收元件处放置单色仪把0.58微米的泵

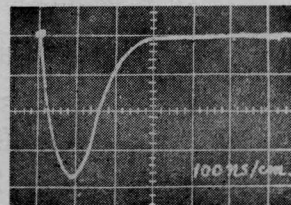
浦光与1.05微米的激光分开，也可以把腔拉长使腔由介稳半共心腔变为非稳腔以区分0.58微米的泵浦光和1.05微米的激光；一般激光脉冲能量多数用炭斗能量卡计来测定，可是此类卡计仅能测到毫焦耳级，我们装置中的激光能量多半在微焦耳 \sim 几十微焦耳水平，炭斗测量法已经失灵，经过几种方法的比较与实践，最后我们用强流光电管线性转换区脉冲积分的办法完成了弱能量的测量，这种方法的特点是光路对准容易且在环境电磁干扰小的情况下测量精度高，可测到微焦耳级以下，仅需改变一下强流光电管的阳极负载就可以测量脉冲波形，使用相当方便。

三、实验结果及与理论计算的比较

1. 腔长 $d=50.8$ 毫米时适当调节聚焦透镜至晶体间的距离，输出1.05微米的激光脉冲波形如图2。其中(a)为光泵较强时的激光弛豫脉冲，由一个主脉冲及数个小脉冲组成，弛豫振荡衰减时间 ~ 2 微秒。(b)为光泵经适当减弱后出现的单个激光脉冲的展宽波形，脉冲半强度宽度 ~ 140 毫微秒。



(a)



(b)

图2 1.05微米激光脉冲波形

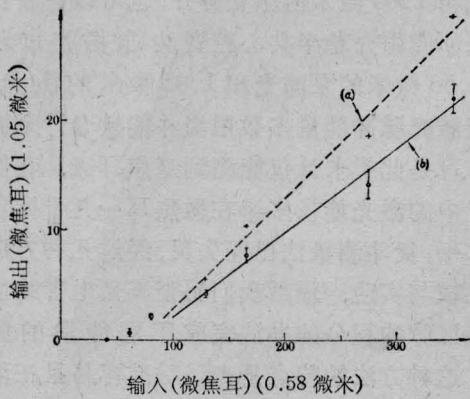


图3 光能转换关系

(a) 双端输出; (b) 单端输出(实测)

2. 腔长 59 毫米, 聚焦透镜至晶体间距离为 126 毫米时激光多模输出能量由标定过的强流光电管积分测定, 光能转换效率关系曲线示于图 3。其中实线可在凹面腔片输出端实测所得, 虚线为计及平面腔片端会有 0.5% 的耦合输出所得。泵浦光能量为透过平面腔片直接到达晶体入射表面的能量, 用灵敏炭斗测定, 光能转换斜率效率~10%, 光量子转换效率~18%, 与 H. P. Weber 等人的结果相同^[1]。

3. 腔长 39 毫米, 聚焦透镜至晶体间距离调节到 122.5 毫米时振荡模斑尺寸最大的 TEM₀₀ 模近场图示于图 4 (在激光器输出端用红外变像管直接接收显示)。

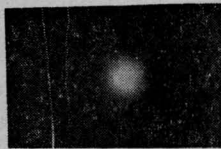


图4 TEM₀₀ 模场图

4. 当改变输出镜的反射率 r_2 时, 测定了对应基模振荡的阈值, 并由阈值~ $\ln(r_1 r_2)$ 曲线得到了实腔的非耦合损耗率(包括晶体的共振损耗及非共振损耗), ~2.3%, 见图 5。其中“+”号为实验测量值, “o”号表示泵浦光与基模空间完全重合近似模型算得的

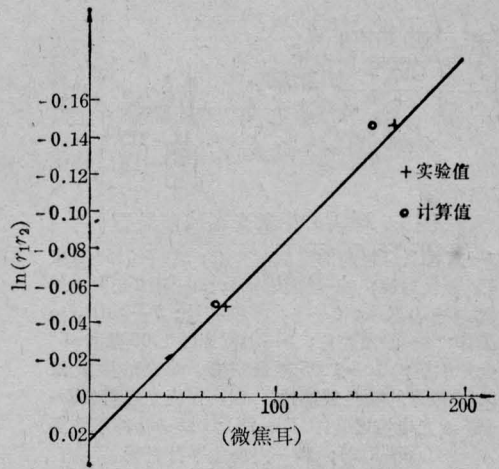


图5 阈值~ $\ln(r_1 r_2)$ 关系

理论值。计算公式如下:

$$\omega_0^2 = (\lambda/\pi) \sqrt{d(\rho-d)} \quad (1)$$

(1)式中的 ω_0 为基模在晶体入射面上光斑的半径(当晶片厚度远小于腔长时, 晶体厚度之微弱影响忽略不计)。 λ 为振荡波长, d 为腔几何长度, ρ 为凹面腔片曲率半径。

当泵浦光脉宽远小于 Nd³⁺ 荧光寿命时, 由自发辐射微扰起动的正反馈放大器模型出发可导出激光脉冲振荡阈值能量面密度为:

$$E_{th} = hcL_c \times 10^{-7} / 2\lambda_p \alpha_p \sigma F \eta \quad (2)$$

其中 L_c ——实腔往返总激光损耗率,

λ_p ——泵浦波长,

α_p ——激光工作样品对泵浦光之吸收率,

F —— $4F_{3/2}$ 态激光能级上的 Nd³⁺ 百分粒子数,

η ——泵浦光子进入 $4F_{3/2}$ 态的转换效率,

σ ——Nd³⁺ 在 1.05 微米的受激发射截面,

h ——普朗克常量,

c ——光速。

按式(1)和(2)算得的理论值及实验值列于表 1, 由表可见两者在近似模型及误差范围内较好地得到符合。

表1 阈值能量计算表及实验值

λ (厘米)	1.05×10^{-4}	1.05×10^{-4}	1.05×10^{-4}
λ_p (厘米)	0.58×10^{-4}	0.58×10^{-4}	0.85×10^{-4}
α_p (%)	100	100	100
F (%)	63	63	63
σ (厘米 ²)	1.8×10^{-19}	1.8×10^{-19}	1.8×10^{-19}
η (%)	60	60	60
d_j (厘米)	3.9	3.9	3.9
ρ (厘米)	6.0	6.0	6.0
ω_0 (厘米)	9.83×10^{-3}	9.83×10^{-3}	9.83×10^{-3}
$\pi\omega_0^2$ (厘米 ²)	3.04×10^{-4}	3.04×10^{-4}	3.04×10^{-4}
r_1 (%)	99.3	99.3	99.3
r_2 (%)	98.5	95.8	87
$\ln r_1 r_2$	-0.022	-0.049	-0.146
L_c (%)	$2.3+0.7$ $+1.5=4.5$	$2.3+0.7$ $+4.2=7.2$	$2.3+0.7$ $+13=16$
E_{th} (微焦耳/厘米 ²)	1.4×10^5	2.23×10^5	5×10^5
$E_{th} \cdot \pi\omega_0^2$ (微焦耳)	42	67	150
$E_{th实验}$ (微焦耳)	42	72	162

四、结束语

1. 由基模运转阈值能量的实验值与理论计算值的较好符合验证了纵向泵浦简单计算模型的可行性, 在实验精度及实验误差没有得到很好提高的条件下不必采用更加精细的计算模型。由实际测量可知腔的非耦合损耗高达2.3%, 这说明只要晶体光学质量进一步提高, 真空镀膜使反射率进一步提高以及腔片调整架精度的提高, 可望得到更低的阈值振荡能量。

2. 纵向泵浦的方式可方便地实现模式控制, 进而可实现模式调制, 在特定的应用场合也许激光模式调制的特性可加以利用。模式花样见图6。

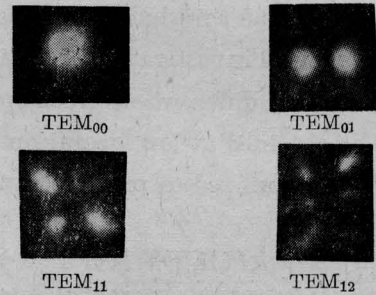


图6 调节聚焦透镜位置呈现的激光模式

3. 适当控制光泵能量可方便地实现单脉冲运转。如果适当改变谐振腔参数(诸如: 腔长、损耗等), 可望在一定脉宽范围内获得不带Q开关的脉宽可调的激光单脉冲。

参考文献

- [1] *Appl. Phys. Lett.*, **22**, 534(1973).
- [2] *Appl. Opt.*, **5**, 1557(1966).
- [3] *J. Appl. Phys.*, **46**, 1194(1975).