

使用不同染料的锁模磷酸盐钕玻璃 激光器的输出性能

裘佩霞 唐贵琛 支婷婷

(中国科学院上海光机所)

提要: 以掺钕磷酸盐玻璃为激光工作物质, 分别比较了四种染料作锁模所产生的超短脉冲的性能, 其中包括双光子荧光对比度、脉冲半宽度、光谱特性、输出能量及器件运转的稳定性。最后就腔结构的合理选择进行讨论。

Output properties of mode-locked Nd^{3+} phosphate glass laser with various dyes

Qiu Peixia Tang Guisheng Zhi Tingting

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

Abstract: Properties of a mode-locked Nd^{3+} phosphate glass laser with four kinds of dyes are compared. Contrast of two photon fluorescence, pulse width, spectral properties, output energy and stability of laser operation are included. Finally, the best construction of laser cavity is discussed.

本文主要介绍用国产的掺钕磷酸盐玻璃作为工作物质, 分别以国产的十一甲川、五甲川和美国的 9740、9860 作为可饱和吸收体的超短脉冲实验结果。

一、实验装置

实验装置见图 1。采用半共焦腔, 腔长 1.5 米, 凹面全反镜的曲率半径 $R=3$ 米, 输出端是 $\sim 2^\circ$ 的契形部分反射镜(抑制子腔, 对锁模激光器是很重要的)。棒用 20°C 的恒温水冷却。小孔光阑为 $\phi 2.5$, 以保证激光器的输出是基模。分束器 1 对 1.06 微米的反射率为 99%, 透过 5300 埃的光束, 分束器 2

对 5300 埃的反射率大于 98%。实验中所使用的 1 米光栅光谱仪的工作波段是 2000~6000 埃, 光信号用银氧铯阴极的 GD-44 强流管, 在我们的实验条件下对绿光没有响应。染料对强度弱的 1.06 微米光的透过率分

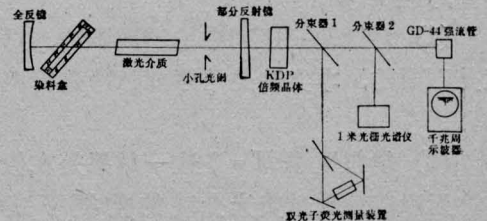


图 1 实验装置

收稿日期: 1980 年 1 月 4 日。

别为：十一甲川 74%，五甲川 67%，9740 68%，9860 62%。

二、实验结果

1. 脉冲半宽度及双光子荧光 (TPF) 对比度

采用双光子荧光装置来测量脉冲的半宽度和 TPF 对比度。实验中所用的结构如图 2 所示，中性滤光片的透过率为 88%。

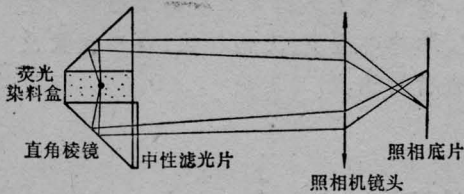


图 2 双光子荧光测量示意图

根据 TPF 法原理，脉冲半宽度为：

$$\tau_p = \Delta Z \left(\frac{c}{n} \alpha \right)^{-1}$$

其中 c 为真空中的光速； ΔZ 为荧光半强度处的宽度； n 为荧光溶液的折射率，本实验中 $n=1.4$ ； α 是与脉冲形状有关的参数，对于高斯形脉冲 $\alpha=1.41$ 。

TPF 对比度 K 定义为荧光峰值处的强度与荧光本底强度的比值。理想锁模脉冲，对比度 $K=3$ ，自由振荡脉冲 $K=1.5$ ，不完全锁模时 K 就介于二者之间。

使用不同染料时的脉冲半宽度 τ_p 及 TPF 对比度 K 示于表 1。

从表 1 看到，四种染料的 TPF 对比度都不高，其原因如下：

(1) 对于同一序列中的不同脉冲，对比度是不同的，本实验是用序列脉冲进行测量的。

(2) 理想锁模 $K=3$ 这一结果是在假设脉冲无吸收地通过荧光介质的前提下获得的，从理论上可以推导光在荧光介质中的衰减将引起对比度下降^[4]。实验中使用的荧光染料过浓和染料盒过长都使 TPF 对比度

表 1 脉冲宽度 τ_p (微微秒) 和 TPF 对比度 K 的数据

十一甲川		五甲川		9740		9860	
τ_p	K	τ_p	K	τ_p	K	τ_p	K
14.4	1.9	6.6	2.6	4.8	1.9	3.3	2.0
16.2	1.84	5.4	2.4	7.8	1.9	3.3	1.7
15.6	2.0	6	2.5	6	1.8	7.2	1.8
		7.8	2.2	6	1.8	5.1	1.7
		5.4	2.2	9	2.1		
		5.1	2.7				
		7.8	2.1				

偏低。

(3) 不完全锁模。

但是从表 1 也可以看出使用五甲川染料时的 TPF 对比度最高。

使用十一甲川染料时脉冲半宽度最宽。使用 9860 染料时，脉冲半宽度最窄。

2. 光谱特性

用 1 米光栅光谱仪拍摄锁模脉冲光谱。光栅常数是 1200 条/毫米。

各种情况下的光谱的测微光度计的扫迹示于图 3。

在光谱仪狭缝的一半处放一块 50% 的滤光片，因此对每一张光谱照片都同时得到二条相对曝光量为 1:2 的光谱，从比较这两条光谱宽度就得到了光谱半宽度。

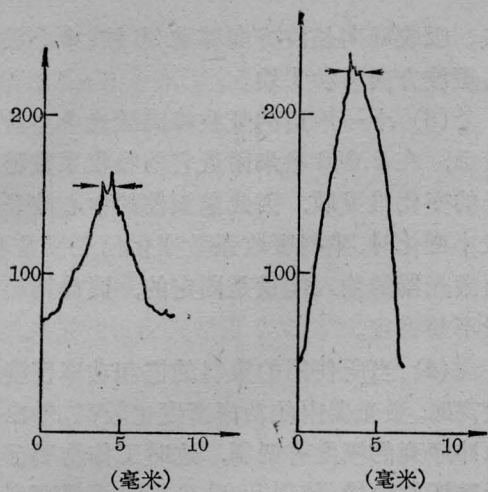
实验结果示于表 2。

中心波长移动的测量误差小于 0.6 埃。

3. 时间带宽乘积

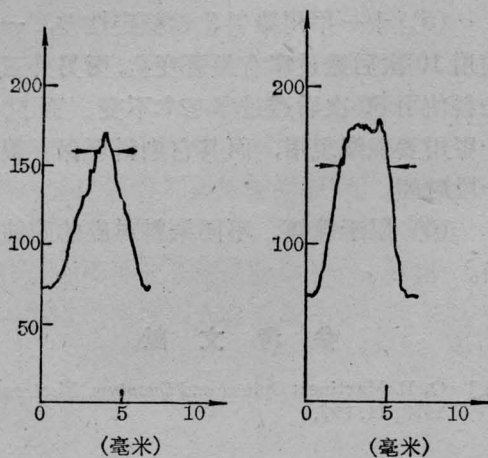
除了用 TPF 对比度来判断锁模的优劣外，脉冲的时间带宽积也是一个重要的判据。如果脉冲的时间和频宽的关系满足 $\Delta\nu\Delta t = P$ (P 是数量级为 1 的常数，它的具体数值取决于强度包络的形状，对于高斯形脉冲， $P=0.44$)，就称此脉冲是变换限制的，是完全锁模的。如果 $\Delta\nu\Delta t > P$ ，说明存在频率调制，不是理想锁模。

各种染料的 $\tau_p\Delta\nu$ 值列于表 3，是多次激



(a) 用十一甲川染料

(b) 用五甲川染料



(c) 用 9740 染料

(d) 用 9860 染料

图 3 光谱的测微光度计扫迹
图中的纵座标为黑度

表 2 光谱的实验结果

染料	十一甲川	五甲川	9740	9860
中心波长 (微米)	1.05628	1.05480	1.5480	1.05470
中心波长的移动 (埃)	± 1.5	± 1.5	± 2.0	± 0.8
光谱半宽度 (埃)	5.6	4.5	5.6	21.7

表 3 时间带宽积的实验结果

染料	十一甲川	五甲川	9740	9860
$\Delta\nu$ (10^{10} /秒)	15.0	12.1	15	58.4
τ_p (微微秒)	15.4	6.3	6.7	5.1
$\Delta\nu\tau_p$	2.31	0.76	1.00	2.98

光发射的平均值。

从表 3 可以看到用五甲川染料时, 时间带宽积最接近理想值。

4. 输出能量

用灵敏度为 2160 格/焦耳的高灵敏炭斗测量激光器的输出能量。各种染料都进行了连续 8 次的测量, 结果列于表 4。

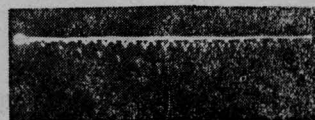
表 4 激光器的输出能量

染料	十一甲川	五甲川	9740	9860
锁模阈值 (焦耳)	488	570	645	720
平均输出能量 (毫焦耳)	24.6 ± 2.3	23 ± 2	24 ± 3.5	14.4 ± 4.2
经常出现的能量 (毫焦耳)	25.5 ± 1	23 ± 1.1	22 ± 1	17 ± 3
经常出现的能量几率	44%	60%	62%	50%

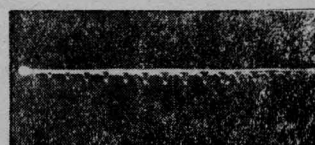
从表 4 看到使用十一甲川染料时能量重复性最差。

5. 锁模波形

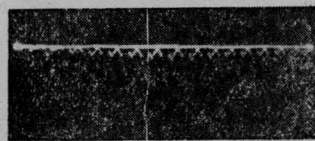
用千兆周示波器配 GB-44 强流管监视



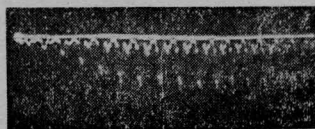
(a) 用十一甲川染料



(b) 用五甲川染料



(c) 用 9740 染料



(d) 用 9860 染料

图 4 锁模波形照片

锁模波形，以脉冲序列是否规整来粗略判断锁模质量。系统的响应时间在1毫秒以内。图4是各种情况下的锁模脉冲序列照片。

三、结 论

各种染料的性能归纳成表5。

表5 染料性能参数表

染 料	十一甲川	五 甲 川	9740	9860
溶 剂	丙 酮	1,2-二氯乙烷	氯 苯	1,2-二氯乙烷
吸收峰(微米)	0.99	1.045	1.045	1.051
饱和功率密度	较 低	同 9740	40 兆瓦/厘米 ²	56 兆瓦/厘米 ²
激发态寿命	~20 × 10 ⁻¹² 秒	20 × 10 ⁻¹² 秒	8.1 × 10 ⁻¹² 秒	9.1 × 10 ⁻¹² 秒
损坏阈值(相对)	低	同 9740	15	43

从实验结果对照染料特性得出以下结论：

(1) 脉冲半宽度与染料透过率密切相关。十一甲川的透过率最大，脉宽也最宽。9860的透过率最小，脉宽最窄。五甲川与9740的透过率相仿，脉宽也差不多。

(2) 光谱的中心波长与染料的吸收峰有

关。吸收峰向长波方向移动36埃，中心波长向短波方向移动1埃。

(3) 十一甲川的吸收峰离激光中心波长较远，在1.056微米附近它的吸收系数随波长的变化很灵敏，因此当振荡的中心波长有微小变化时，染料吸收系数变化已经很显著，而激光器的输入能量是固定的，因此输出能量不易稳定。

(4) 当所使用的染料的饱和功率密度比较高时，激光器内的功率密度也较高，输出的脉冲序列的幅度有调制，这时工作物质已处于破坏的边缘，使用9860染料时就观察到了这一现象。

(5) 十一甲川染料化学稳定性差，一般使用10次后透过率有显著变化，而另外三种染料使用30次后透过率基本不变。而且十一甲川要现配现用，而其它染料可保存很长一段时间。

(6) 限于篇幅，不同染料对应的腔结构略。

参 考 文 献

[1] O. E. Martinez; *Optical and Quantum Electronics*, 1979, 11, 297.