

灯泵浦二元染料激光器实验研究

邝能俊 张德沛 陈美锋 李又生

(华中理工大学激光研究所, 武汉)

摘要: 本文报道了灯泵浦二元染料激光器的实验结果, 论证了二元染料可改进染料激光输出的性能。

Experimental study on flashlamp-pumped binary-dye laser

Kuang Nengjun, Zhang Depei, Chen Meifeng, Li Yousheng

(Institute of Laser, HUST)

Abstract: This paper described experimental results about a flashlamp-pumped binary-dye laser. The improving lasing properties such as out-put energy and spectrum band are obtained.

一、前 言

通常, 使用单一染料的染料激光器的波长及输出能量等参数, 均由改变染料溶液的浓度来实现的。要连续调谐, 则需使用衍射光栅才能达到。若只使用单一染料进一步改善激光的调谐及效率则是比较困难的^[1~4], 因此利用多元染料不仅可以扩大激光光谱的范围, 还可以提高激光的输出。

我们利用灯泵浦染料激光器进行了两种实验。其一, 将Rh6G的乙醇溶液作为激光染料使之在染料池内循环, 辅助染料香豆素C6乙醇溶液用于包围在灯与灯中间(对于我们的激光器, 实际上C6溶液用来冷却灯。)。其二, 将Rh6G与C6的乙醇溶液混合在染料池内循环。这两种途径都提高了激光输出。

二、原 理

许多有机染料的吸收光谱在可见光有强的吸收带。有一些在真空紫外尚还有一些弱的吸收带, 这些吸收带虽弱, 却是一重要的吸收光谱。我们利用分光光度计将Rh6G与C6的吸收谱和荧光谱测出, 另外这两种染料混合后的吸收谱及荧光谱也测出, 显示在图1~6中。从图中可看出, 香豆素C6在300~500nm之间均有高的吸收峰, 而Rh6G在此范围吸收能力较

差。而C6的荧光光谱在520nm左右，则该范围正是Rh6G的高吸收峰。显而易见，C6的乙醇溶液是作为光的转换器使用的。

对于染料激光器，有机染料的浓度对激光输出有很大影响。在低浓度时，仅仅在染料的强吸收带的泵浦光被吸收。在高浓度时，泵浦光虽然被完全吸收，但是都是在近染料表面而

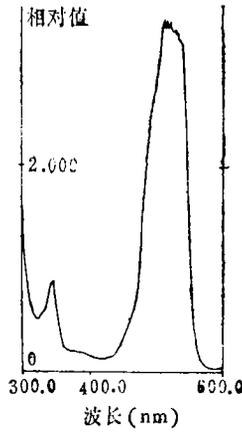


图1 Rh6G ($4 \times 10^{-5} \text{M/l}$) 吸收谱

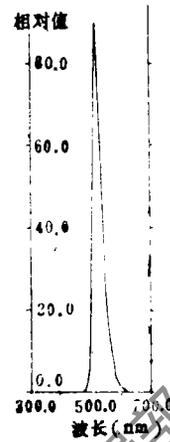


图2 C6 ($2.8 \times 10^{-4} \text{M/l}$) 荧光谱

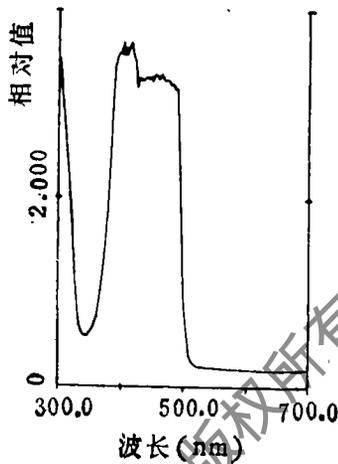


图3 C6 ($2.8 \times 10^{-4} \text{M/l}$) 吸收谱

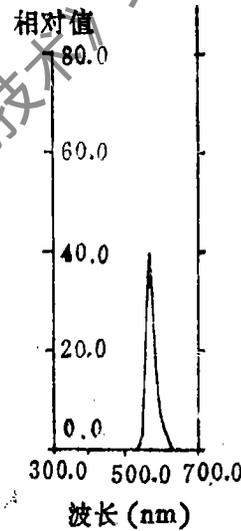


图4 Rh6G ($4 \times 10^{-5} \text{M/l}$) 吸收谱

不能穿透到染料池的中心，故池中心还是呈现低吸收。所以，对于各种染料都对应有一最大宽带（不调谐状态）输出的最佳浓度。

对于上面这种效应的定量分析，提出一个光谱转换率 S.I.R。考虑距器壁为 x 处的泵浦率，已知入射的泵浦光谱强度为 $I_0(\lambda)$ ，染料的吸收截面为 $\sigma(\lambda)$ ，则在平面结构的染料池中，均匀的平行光线照明染料池的两边，则得出关系式为：

$$S.I.R = I_0(\lambda) N \sigma(\lambda) \{ \exp[-N \sigma(\lambda) x] + \exp[-N \sigma(\lambda) (d-x)] \}$$

式中， N 是染料的浓度， d 为染料池的厚度。

这等式的数值是在染料池中一给定点由入射泵浦光的不同波长而产生的泵浦率的量度。

图7的例子是表明对于若丹明6G (分子量 $M = 478.5$) 的各种浓度, 在3mm厚的染料池的中

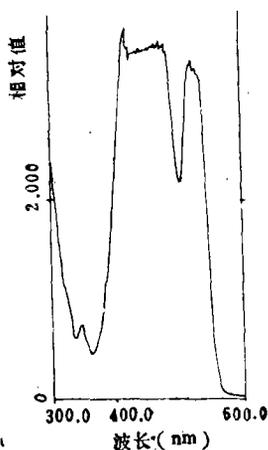


图5 C6 ($2.8 \times 10^{-4} M/l$) + Rh6G ($4 \times 10^{-5} M/l$) 吸收谱

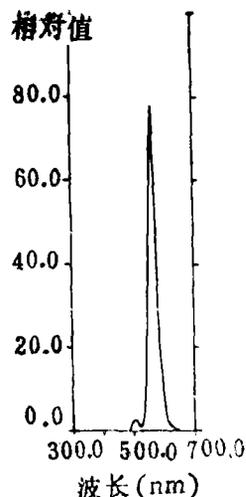


图6 C6 ($2.8 \times 10^{-4} M/l$) + Rh6G ($4 \times 10^{-5} M/l$) 荧光谱

间计算出来的泵浦率的图谱。这结果对圆柱形染料池也基本有效。实际上在 $d = R$ 时, 所求得的最佳浓度对于圆柱形或平面结构的染料池也是一样的^[5]。从图7中可看出, 在染料池轴线上的S.I.R效应, 则总计的反转速率(反转速率光谱对 λ 的积分), 在高浓度时是大的, 而在低浓度时则小。

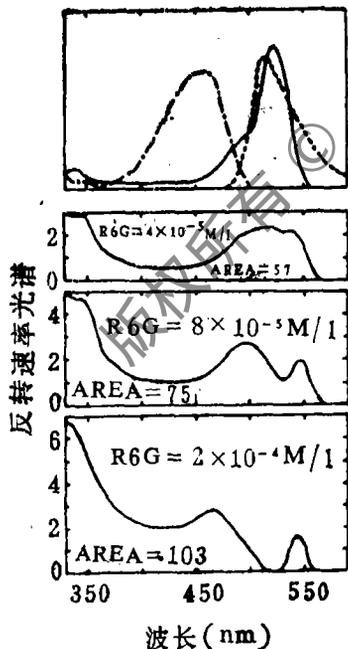


图7 在3mm厚的池中间对三种浓度的Rh6G, 计算出的反转速率光谱
C6 荧光谱 —·—·—C6 吸收谱。-----Rh6G吸收谱

若在闪光灯与激光染料池之间加上一层另外的染料香豆素C6乙醇溶液 (C6的吸收光谱和荧光光谱以及Rh6G的吸收光谱均显示在图5中), 则C6吸收泵浦灯的近紫外光而将其转变为荧光, 而荧光被Rh6G吸收。这种使用荧光转换原理, 可以理解为“染料激光器泵浦染料激光器”。这时C6溶液在这里作为光的转换剂使用。同理, Rh6G与C6直接混合也有类似的作用。这种方法更好地利用了闪光灯发射的宽带泵浦光能, 特别是改进了通常激光染料吸收很弱的紫外光线的利用。原则上, 只要辅助染料的荧光光谱与激光染料的吸收光谱相重叠, 都能改善激光的性能。

三、实 验

实验分三步进行, 溶液的总体积均为2 l。所用的染料Rh6G为一种高氯酸盐, 分子量 $M = 543.02$ 。激光器为双灯泵浦分腔冷却的内腔式染料激光器, 染料池为

$\phi 3.5\text{mm}$, 泵浦灯的极间距为 150mm , 贮能电容为 $0.4\mu\text{F}/3\text{kV}$ 。

表1 Rh6G 最佳浓度实验

浓度 (M/l)	波长 (nm)	能量(相对值)	
		13kV	14kV
4×10^{-5}	593.6	1*	1.94
7×10^{-5}	593.4	1.44	2.74
1×10^{-4}	598.4	1.71	3.03
1.5×10^{-4}	599.6	1.48	2.9
2×10^{-4}	601.5	1.28	2.23

*将浓度为 4×10^{-5} 的Rh6G在13kV时的输出能量作为所有表格的基准值。

表2 二元染料的输出特性实验

Rh6G浓度 (M/l)	输出波长 (nm)	输出能量(相对值)	
		13kV	14kV
2×10^{-4}	600.3	0.84	1.55
1×10^{-4}	600.1	3.31	5.38
7×10^{-5}	598.6	5.60	7.87
4×10^{-5}	598.0	5.1	7.57

表3 混合染料的输出特性实验1

(C6 = $2.8 \times 10^{-4}\text{M/l}$)

Rh6G浓度 (M/l)	输出波长 (nm)	输出能量(相对值)	
		13kV	14kV
3.7×10^{-5}	587.5	3.42	4.72
7×10^{-6}	588.2	2.58	3.6
1×10^{-4}	591.0	2.01	3.03

(1) Rh6G 乙醇溶液在染料池中循环, 灯用水冷却, 进行Rh6G的最佳浓度实验。测得结果列于表1。

从表中可看出当浓度为 $1 \times 10^{-4}\text{M/l}$ 时, 输出能量最高。该浓度为最佳浓度。这与小分子量的Rh6G的最佳浓度 $2 \times 10^{-4}\text{M/l}$ 是不一样的。

(2) Rh6G 的乙醇溶液在染料池中循环, 香豆素C6的乙醇溶液(浓度为 $4.5 \times 10^{-4}\text{M/l}$)用来作为闪光灯的冷却液, 进行二元染料的输出特性实验。测得数据见表2。

从表2可看出, 当C6浓度固定在某值时, 随着Rh6G浓度的逐渐减小, 激光输出能量逐渐增大。此时Rh6G也有一最佳浓度。

(3) Rh6G与C6混合作为激光染料在染料池中循环, 闪光灯用水冷却进行混合染料的实验。

a. 当C6的浓度固定在 $2.8 \times 10^{-4}\text{M/l}$, Rh6G的浓度逐渐变化, 测得的数据见表3。

b. 当Rh6G浓度固定在 $7 \times 10^{-5}\text{M/l}$, C6溶液的浓度逐渐变化, 测得的数据见表4。

表4 混合染料的输出特性实验2

(Rh6G = $7 \times 10^{-5}\text{M/l}$)

C6浓度 (M/l)	输出波长 (nm)	输出能量(相对值)	
		13kV	14kV
4.16×10^{-4}	590.7	0.72	1.30
3.6×10^{-4}	584.6	1.5	2.46
2.8×10^{-4}	584.0	2.10	3.01
2.07×10^{-4}	583.6	2.33	3.47

从表4可看出, 当Rh6G固定时, 辅助染料C6也应存在一个最佳浓度。

四、讨 论

(1) 根据表2实验数据可以看出, 当辅助染料C6的浓度固定时, Rh6G的浓度为 $2 \times 10^{-4}\text{M/l}$ 则激光输出能量为1.55, 而Rh6G的浓度降为 $7 \times 10^{-5}\text{M/l}$, 其输出能量为7.87。表3的数据也可看出这一规律。所以在二元染料系统中, 随着激光染料浓度的减小, 输出能

量则增加,其原因可由图7的反转速率光谱分析出来。

当Rh6G浓度高时,其反转速率光谱大。且在近紫外区反转速率光谱也高,但在530nm左右却有一凹陷,所以与C6的荧光光谱匹配不好。相反在浓度低时,在近紫外区反转速率光谱本来就低,而反转速率光谱与C6的荧光光谱又相匹配,所以在浓度低时输出提高显著。

在单一染料和二元染料系统中,为了得到同样的输出能量,则在二元系统中加了辅助染料C6后为达到同等输出,可使Rh6G浓度降低。这就带来许多好处:a.由于低浓度的Rh6G被激励,首先是接近Rh6G荧光峰的泵浦光起作用,这样由于Stokes能量转移部分和引起染料光电分离作用明显减小,使激光染料稳定;b.尤其对具有很小横截面的染料池,且染料浓度很高的染料激光器(如波导染料激光器),利用辅助染料后,激光染料的浓度可降低,这样明显改进激光染料的性能;c.特别在调谐激光器中,使用低浓度的Rh6G后,可减轻热和衍射作用,使泵浦光能较均匀的被吸收。

(2)从表3、表4的实验数据可分析出,激光染料与辅助染料混合时,在各浓度的排列组合中,可能存在一个最佳输出的浓度组合。而在二元染料的实验中,两种染料的排列组合也可能有一个最佳浓度组合。

在混合实验中,各染料的变化范围还不够,未能找出最好结果。在二元染料的实验中,只用了一种浓度的C6冷却灯。至于二元染料最佳浓度组合,还有待于深入地研究。

参 考 文 献

- [1] A.P.L., 1969, Vol.12, P.206.
- [2] A.P.L., 1971, Vol.18, P.278.
- [3] Opt.Comm., 1972, Vol.6, P.160.
- [4] A.P.L., 1974, Vol.25, P.151.
- [5] Opt.Comm., 1977, Vol.22, P.283.

* * *

作者简介: 邢能俊,女,1942年出生。工程师。现从事染料激光研究工作。

张德沛,男,1946年出生。工程师。现从事染料激光研究工作。

陈美锋,女,硕士研究生。

李又生,男,1938年出生。副教授。现从事激光器件研制工作。

收稿日期: 1989年9月12日。

· 简 讯 ·

二极管泵浦的Nd:YAG激光器获得3.3W发射

Fibertek公司的科学家最近演示了一台连续输出 $1.06\mu\text{m}$ 3.3W功率的Nd:YAG激光器。据报导,这是目前为止最高输出功率的二极管泵浦激光器。激光器的电效率多模为3.6%,TEM₀₀模为2%,倍频为1%,Nd:YAG激光器的光泵浦是4条1cm长的二极管阵列,每条阵列额定输出808nm波长光功率5W。

译自 L.& O., 1988, Dec., P.12.

于祖兰 译 封鸿渊 校