

微微秒叶绿素染料激光器的研究

刘一先 王亚刚 朱伟 李富铭
(复旦大学物理系)

杨善元
(中国科学院上海植物生理研究所)

周培林
(复旦大学生物系)

提 要

本文报道用一台对撞脉冲锁模 Nd:YAG 激光器的三倍频光作为泵浦光源,采用超短腔结构,获得叶绿素的红色 ps 脉冲激光输出的装置和实验结果。研究了叶绿素 a 和 b 在各种聚合状态下输出激光波长随染料浓度的变化关系,当叶绿素 a-乙醇溶液浓度为 $2 \times 10^{-3} M$, 激光腔长 $< 36 \mu m$ 时可获得单模调谐 ps 系列脉冲输出,激光束的发散角 $\approx 60 \text{ mrad}$ 。

关键词: 碰撞脉冲锁模激光器,超短腔激光器,微微秒脉冲染料激光器。

一、引 言

叶绿素 a(chla)和叶绿素 b(chlb)是高等植物吸收太阳光能进行光合作用的主要色素,这些色素通常又称为天线色素,天线色素分子吸收太阳光能后被激发,激发状态的能量非常有效地传递到光反应中心,在反应中心电子激发能被转换成氧化还原化学能,反应中心的作用过程称为光化学反应。而光能从天线色素分子吸收到传递至反应中心这一过程非常快,一般在 $10^{-12} \sim 10^{-9} \text{ sec}$ 之间,这一过程是光合作用中的原初反应过程^[1,2]。Kaza 等人早在1977年就报道了利用氮分子激光器激发叶绿素分子产生激光发射^[3],从而寻找与光合作用原初反应中的有用信息。我们对 chl d 分子在光激励下产生激光发射曾进行过研究^[4],最近我们用对撞脉冲锁模 Nd:YAG 激光器的三次谐波光泵浦一级超短腔的方法,对 chla 和 chlb 在各种不同聚合状态下产生 ps 激光发射进行了详细研究。chla 处于单体状态,用乙醇作溶剂,当其浓度 $c = 1 \times 10^{-3} M$ 时,输出波长范围为 $6682 \sim 6748 \text{ \AA}$,增益带宽为 66 \AA 。chla 处于二聚体或多聚体,用苯作溶剂,当其浓度为 $c = 1 \times 10^{-3} M$ 时,输出波长范围为 $6730 \sim 6800 \text{ \AA}$,增益带宽为 70 \AA 。当 chlb-乙醇溶液为饱和浓度时,输出激光波长范围为 $6432 \sim 6658 \text{ \AA}$,增益带宽为 226 \AA 。输出激光的发散角 $\approx 60 \text{ mrad}$ 。

二、实验装置

实验装置如图 1 所示,对撞脉冲锁模 Nd:YAG 激光器由一级振荡器和一级放大器组

收稿日期: 1986年7月4日; 收到修改稿日期: 1986年7月31日

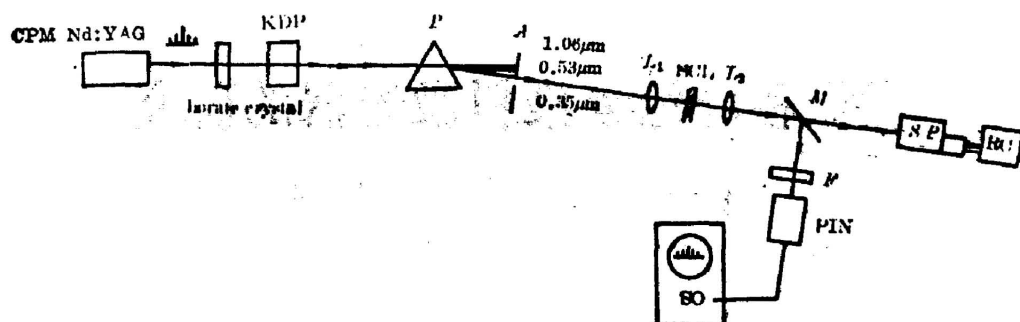


Fig. 1 Schematic experiment arrangement

成,其激光装置和输出性能参见文献[5],锁模激光器输出的基波光脉宽 <10 ps,用一块 I 类匹配的偏硼酸盐晶体和一块 II 类匹配的 KDP 晶体将 $1.06 \mu\text{m}$ 基波光转换成 $0.35 \mu\text{m}$ 的三次谐波光,用棱镜 P 将三次谐波光与基波光和二次谐波光分离,三倍频的系列脉冲光通常由 7 个小脉冲组成,系列脉冲能量 $>7 \mu\text{J}$ (实际用于泵浦染料的有效能量),脉冲宽度 <6 ps。三倍频光经透镜 L_1 调焦到超短激光腔 SCL 中,SCL 的结构参见[6],由中心波长为 6700 \AA 的全反射镜和透过率为 3% 的平面输出镜组成光学谐振腔。输出的叶绿素激光用透镜 L_2 聚焦或变成平行光束。用部分反射镜 M 分取一小部分光经滤光片 F 滤去背景光后由 PIN 光电二极管探测器接收,并输入宽带 500 MHz 示波器中进行显示记录。透过的光束调焦到 SD-IVB 型凹面光栅单色仪的入射狭缝,经分光后用光电探测器 PD 接收,然后由显示记录系统观测输出的激光波长范围。

三、实验结果与讨论

1. chl a 和 chl b 的吸收光谱、荧光光谱和激光作用光谱

chl a 和 chl b 溶于不同极性试剂中,其红端吸收光谱和荧光光谱分别用岛津 UV-240 和日立 850 型自动记录分光光度计测得如图 2、3、4 和 5 所示,图中虚线表示为典型的激光作用光谱。

2. 输出激光的光谱特性与染料浓度的关系

当激光腔长 $\approx 100 \mu\text{m}$ 时,输出激光的中心波长 λ_0 随 chl a-乙醇染料溶液的浓度 c 变化关系示于图 6。从图 6 中曲线可以看出,在所试验的染料浓度范围内,输出激光的中心波长 λ_0 随染料浓度 c 的增加而近似线性地增加。从表 1 的数据可以看出,其增益宽度也随浓度的增加而增加。当激光腔长缩短到 $36 \mu\text{m}$,染料浓度 $c=2 \times 10^{-8} \text{ M}$ 时,输出激光波长为 6727 \AA 的单色光,而 Rh 6G 和 Rh B 获得单模运转的条件分别为腔长 $l < 5 \mu\text{m}$ ^[6] 和 $l < 7 \mu\text{m}$ ^[7],由 chl a 的结果与 Rh 6G 和 Rh B 比较表明 chl a 具有更好的选模效果,也即 chl a 可以在较长的腔中实现单模可调谐激光输出。

在激光腔长 $l \approx 100 \mu\text{m}$ 时,chl a 溶于不同溶剂中输出的激光波长列于表 1 中。由表中的数据表明,chl a 在相同的浓度,相同的激光腔长和相同的泵浦功率条件下,由于溶剂的不同,其激光输出的波长范围和中心波长是稍有差异的,特别是 chl a 处于不同的聚集状态,即单体与二聚体或多聚体时,这两者之间的差异较大。当处于二聚体或多聚体时,输出的激

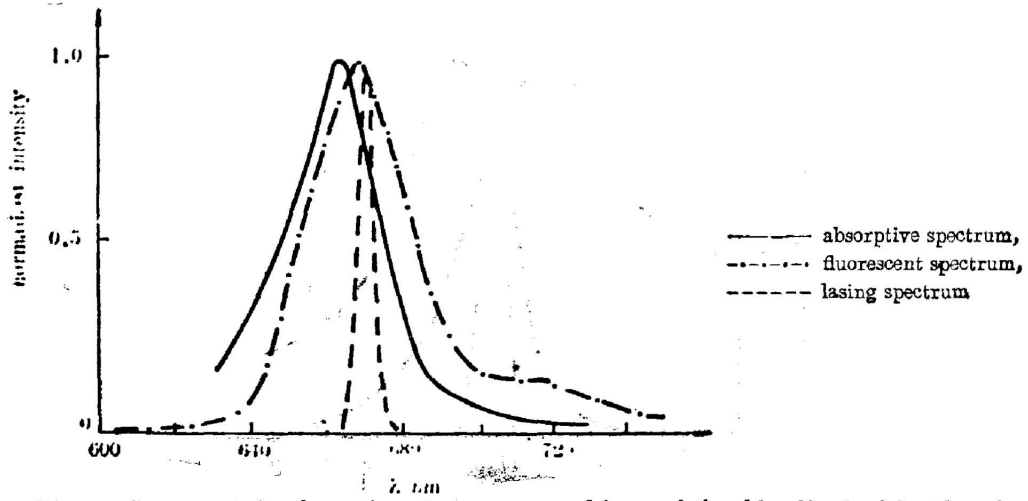


Fig. 2 Spectra of the absorption, fluorescence and laser of the chl a dissolved in ethanol

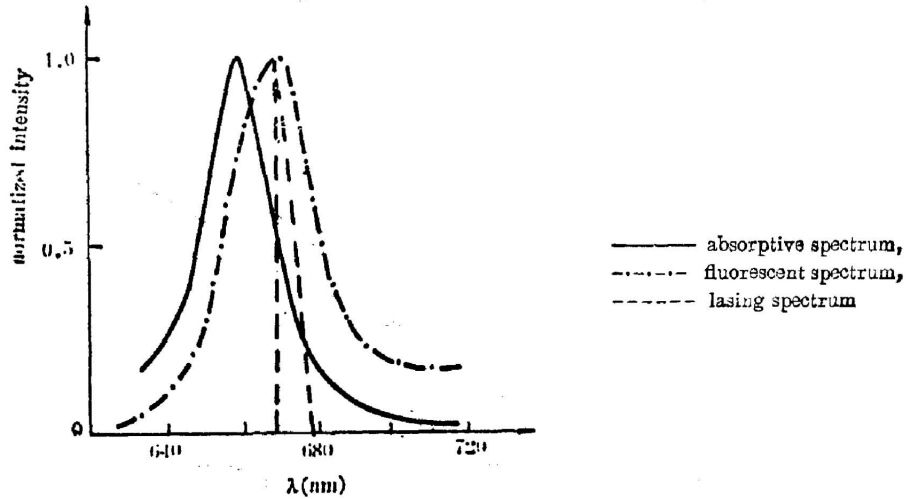


Fig. 3 Spectra of the absorption, fluorescence and laser of the chl a dissolved in acetone

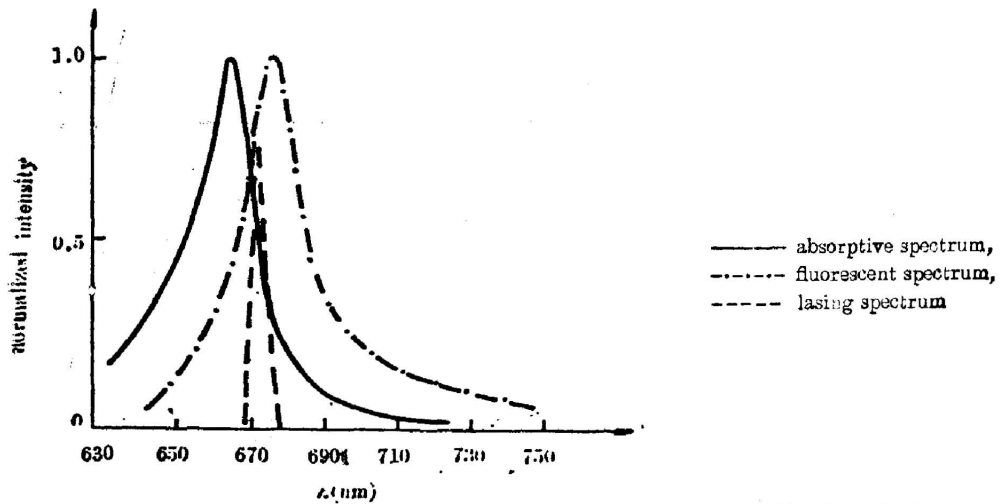


Fig. 4 Spectra of the absorption, fluorescence and laser of the chl a dissolved in benzene

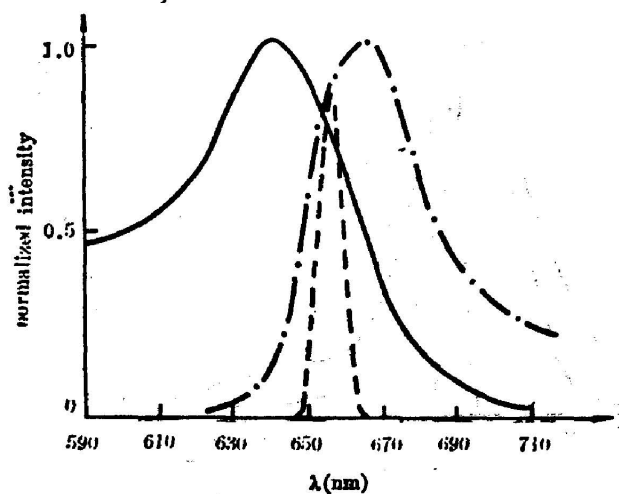


Fig. 5 Spectra of the absorption, fluorescence and laser of the chl b dissolved in ethanol

—— absorptive spectrum, - · - · - fluorescent spectrum, - - - - lasing spectrum

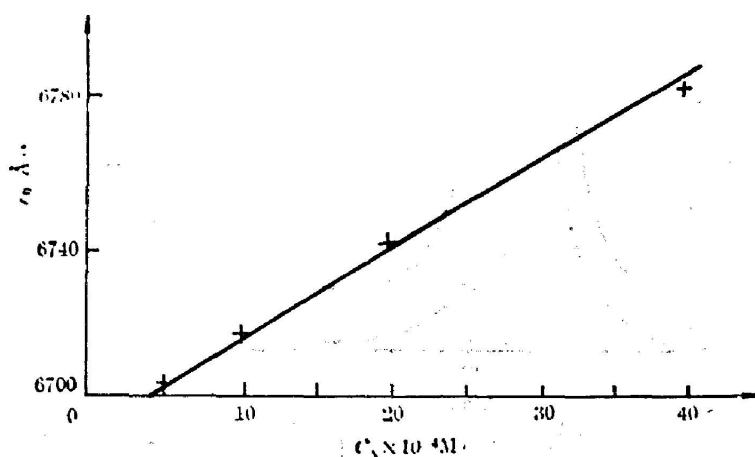


Fig. 6 Output center wavelength λ_0 versus dye concentrations c : chl a-ethanol solution

Table 1 Output laser characteristics of chl a in various solvents and dye concentrations

Solvent	Dye concentration (M)	Lasing range (Å)	Center laser wavelength (Å)	Gain bandwidth (Å)
Ethanol	4×10^{-3}	6747~6843	6795	96
	2×10^{-3}	6696~6782	6739	86
	1×10^{-3}	6682~6748	6715	66
	5×10^{-4}	6670~6734	6702	64
Acetone	2×10^{-3}	6720~6778	6749	58
	1×10^{-3}	6712~6765	6739	53
Wet benzene	1×10^{-3}	6730~6800	6745	70
	5×10^{-4}	6702~6763	6733	61
	2.5×10^{-4}	6690~6752	6721	62

光波长是朝红端方向漂移,这主要是由于分子内部的排列差异所造成^[7]。实验还表明,在相同泵浦功率条件下 chl a-苯溶液产生激光发射的浓度较低,也就是说 chl a-苯溶液的泵浦阈值较高,同时其输出激光的强度也比单体时为弱。实验中还发现对于 $1 \times 10^{-3} M$ 的 chl a-苯溶液,当用 $0.35 \mu m$ 的 ps 光激发时产生的荧光发射峰值波长 $\approx 7000 \text{ \AA}$ 。

3. chl b 激光作用光谱

chl b-乙醇溶液不同浓度时的输出激光波长范围列于表 2 中。

Table 2 Output laser wavelength of chl b-ethanol solution versus dye concentration

Dye concentration	Lasing range (\AA)	Center laser wavelength (\AA)	Gain bandwidth (\AA)
Saturation	6432~6658	6509	226
1/2 Saturation	6446~6638	6498	192
1/4 Saturation	6453~6608	6492	167

实验发现 chl b-乙醇溶液的泵浦阈值明显低于 chl a-乙醇溶液的泵浦阈值。同样输出激光能量也相对地较弱,但从表 1 与表 2 的比较可以看出, chl b-乙醇溶液的增益带宽 $\Delta\lambda$, 较 chl a-乙醇溶液的 $\Delta\lambda$ 显著增加,这似乎反映 chl b 比 chl a 具有较宽的能带。

4. 输出激光波形的观察

chl a 和 chl b 染料激光器输出激光的典型示波图形如图 7 所示,图中上下两组脉冲系列是在相同条件下两次拍摄的示波图形,由照片可以看出输出激光的波形基本稳定。输出激光的脉冲宽度可根据 Roess-Lin 的谐振腔瞬变理论以及 Scott 等人^[8]的实验结果推得为 $< 6 \text{ ps}$ 。

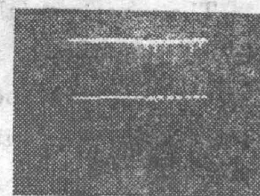


Fig. 7

四、结 束 语

我们的实验表明,用微微秒泵浦光源和超短腔结构是研究快速弛豫分子产生激光作用的有力手段。由 chl a 分子处于不同聚集状态时,产生的不同激光作用光谱,反映溶剂分子对 chl a 分子内部排列的影响以及其能级结构的差异,从而为光合作用的原初过程提供有用信息。

参 考 文 献

- [1] A. J. Campillo, S. L. Shupiro; *Photochem. Photobiol.*, 1978, **28**, No. 6 (Dec), 975~989.
- [2] A. B. Rubin; *Photochem. Photobiol.*, 1978, **28**, No. 6 (Dec), 1021~1028.
- [3] J. C. Hindman *et al.*; *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.*, 1977, **74**, No. 1 (Jan), 5~9.
- [4] 刘一先等;《复旦学报(自然科学版)》, 1980, **19**, No. 4 (Dec), 363~366.
- [5] 刘一先等;《光学学报》, 1986, **6**, No. 1 (Jan), 1~5.
- [6] 陈凌冷等;《中国激光》, 1984, **11**, No. 7 (Jul), 396~399.
- [7] 刘一先等;《应用激光》, 1985, **5**, No. 5 (Oct), 207~210.
- [8] G. W. Scott *et al.*; *IEEE J. Q. E.*, 1983, **QE-19**, No. 4 (Apr), 544~550.

Investigations of picosecond Chl dye lasers

LIU YIXIAN, WANG YAGANG, ZHU WEI AND LI FUMING

(Department of Physics, Fudan University, Shanghai)

YANG SHANYUAN

(Shanghai Institute of Plant Physiology)

ZHOU PELLIN

(Department of Biology, Fudan University, Shanghai)

(Received 4 July 1986; revised 31 July 1986)

Abstract

The experimental set-up of a red picosecond pulse output from a ultrashort cavity dye laser pumped by third harmonic from a colliding pulse mode-locked Nd:YAG laser is reported and the experimental results is presented in this paper. The dependences of the output laser wavelengths of chl a and b in different aggregations in solutions on the dye concentrations are studied. As chl a-ethanol solution with concentration of $2 \times 10^{-3} M$ and the length of the laser cavity less than $36 \mu m$, a single mode-tun blea ps pulse train coula b=obtainea. Divergence angle of the laser beam is about 60 mrad.

Key Words: Colliding pulse mode-locked lasers; ultrashort cavity laser; ps pulse dye lasers.