

用横向行波泵浦产生超短染料 ASE 脉冲

李文冲 宁长龙 黄作柱

(中山大学物理系)

提要: 用 $\lambda=337.1\text{ nm}$ 、脉宽为 700 ps 的氮激光器作泵浦光源。在横向行波泵浦装置情况下,对 Rh6G、RhB 和 C311 三种染料溶液,分别获得 45 、 55 和 45 ps ASE 脉冲输出。

Ultrashort dye ASE pulses generated by transversal travelling wave pumping

Li Wenchong, Ning Changlong, Huang Zuozhu

(Physics Department, Zhongshan University)

Abstract: A N_2 laser with $\lambda=337.1\text{ nm}$, pulse width= 700 ps is used as pumping source. ASE pulses with a duration of 45 , 55 and 45 ps from solutions of Rh6G, Rh B and C311 have been obtained respectively by transversal travelling wave pumping arrangement.

放大的自发辐射(ASE)是染料激光系统中一种重要效应。不少作者曾对它作过研究^[1~4]。发现在高功率密度激发下,ASE在介质中获得很大的增益,光束方向性增强,谱带变窄,光脉冲的脉宽可略小于泵浦脉宽。

我们用 N_2 激光(脉宽 0.7 ns)^[5] 横向行波泵浦 Rh6G、RhB 和 Cumarin C311 三种染料溶液,分别获得 45 、 55 和 45 ps 的超短染料 ASE 光脉冲,压缩比大于 $10:1$ 。

实验装置如图1所示, N_2 激光($\lambda=337.1\text{ nm}$, 脉宽 0.7 ns , 单脉冲能量 $270\sim 400\ \mu\text{J}$)从垂直方向投射到反射光栅(2400线/mm),在 $\varphi=54^\circ$ 方向衍射并产生延迟^[6],衍射光束经柱面透镜聚焦到染料池,形成横向行波泵浦。当衍射角 φ 和染料溶剂的折射率

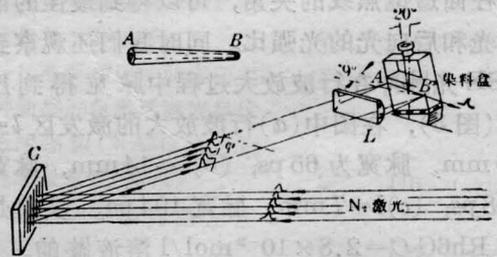


图1 实验装置

G—2400线/mm; L—柱面透镜, $f=60\text{ mm}$

n 满足 $\tan \varphi = n$ 时,染料光辐射沿 AB 方向前进,每到达一点均与泵浦脉冲的峰值同步,从而在 AB 方向得到单向放大的激光光束,前向光比后向光明显增强,产生染料 ASE 光脉冲。用脉宽 0.7 ns 的 N_2 激光泵浦 Rh6G,获得 $300\sim 400\text{ ps}$ 脉宽的 ASE。其波形如图

收稿日期:1985年9月27日。

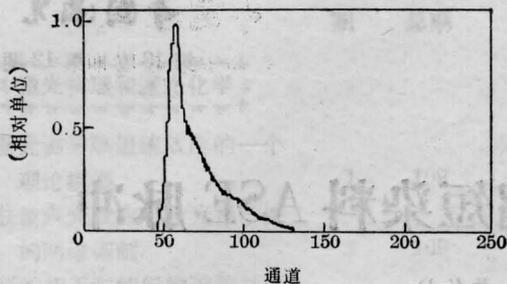


图2 行波放大 ASE 光脉冲的条纹照相机图形

2. 产生这种波形的原因,我们认为与光学排布有关。因为横向泵浦,染料池的激发区为铅笔状,区内各点具有相等的激发功率密度。在行波泵浦情况下,始端 A 受激产生的光脉冲沿 AB 方向放大,前沿变陡,但很快饱和,脉冲峰值不能再增加,而泵浦后期激发的辐射接踵而来,形成一个较长的尾巴。

为了获得更短的光脉冲,我们作了两点改进:(1)改变染料介质中激发区的功率密度空间分布。(2)适当选择染料浓度。移动样品池,使 A 点略离焦, B 点仍然落在焦点上,这样激发区成了圆锥体(参看图 1)。沿 AB 方向产生激发功率密度梯度,染料介质的增益 G_0 由 A 向 B 递增。合理地选择 AB 和柱面透镜焦线的夹角,可以得到最佳的前向光和后向光的光强比。同时我们还观察到 ASE 光脉冲在行波放大过程中脉宽得到压缩(图 3),在图中(a)行波放大的激发区 $l=20\text{ mm}$,脉宽为 65 ps; (b) $l=14\text{ mm}$,脉宽 108 ps; (c) $l=7\text{ mm}$,脉宽 194 ps。实验是用 Rh6G $C=2.8 \times 10^{-2}\text{ mol/l}$ 溶液做的。

改变 Rh6G 的浓度从 $7.5 \times 10^{-3}\text{ mol/l}$ 增加到 $2.8 \times 10^{-2}\text{ mol/l}$,脉宽随浓度的增加

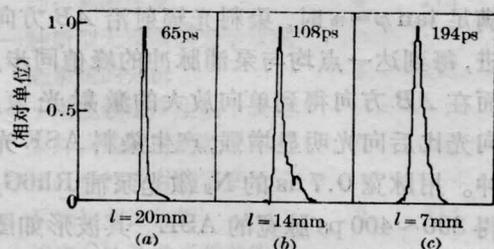


图3 行波放大距离对脉宽的影响

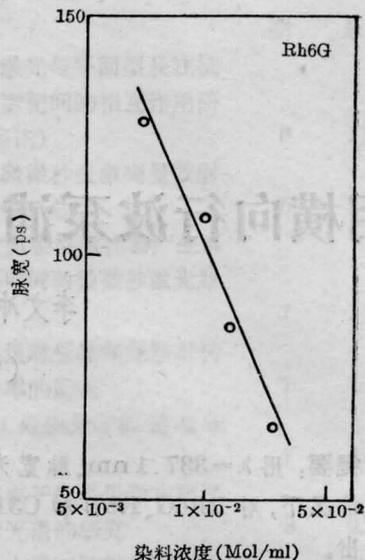


图4 染料浓度对脉宽的影响

而进一步压缩,并且在前向光束的中心位置有一个明显的亮斑。图 4 为染料浓度对脉宽的影响。对这种现象我们提出一个初步的解释:在有腔的染料激光系统,通常染料的浓度约为 $1 \times 10^{-3}\text{ mol/l}$,光辐射要在腔内往返多次(例如 5 到 10 次)才能获得足够增益,输出光脉冲。现在我们把浓度提高 10 倍以上,这样,在同等的光程可以获得低浓度腔往返 10 次的增益,所以产生激射现象;浓度增加由于碰撞等因素将会大大缩短染料分子的荧光寿命,有利于脉宽的压缩。

我们对 Rh6G、RhB 和 Cumarin C311 三种染料作了实验,所得结果如表 1。

除此之外,我们还用光栅光谱仪(焦距 =

表 1

染料	Rh6G	RhB	C311
浓度(mol/l)	2.8×10^{-2}	2.5×10^{-3}	5×10^{-3}
泵浦能量(μJ)	434	434	434
输出脉冲			
脉宽(ps)	45	55	45
能量(μJ)	5.13	13.7	20.5
转换效率(%)	1.2	3.2	4.7
带宽(nm)	6.8	10.7	5.7
中心波长(nm)	600	591	458

(下转第 742 页)

由此 τ_c 可称为合作时间。

(4.4)与(4.5)相比较可以看出, τ_c 等于 τ_R 的最小值 $\tau_R|_{L=L_c}$, 故当 $L < L_c$ 时, 有

$$\tau_c < \tau_R \quad (4.6)$$

由上式及(2.10)可以得出

$$\tau_E < \tau_c \quad (4.7)$$

由于 $\theta_0 = 2/\sqrt{N}$ 是很小的数^[10], 因此 $\operatorname{tg} \frac{\theta_0}{2} \approx \frac{\theta_0}{2}$, 这样(2.13)可以写为 $\tau_D \approx \tau_R \ln \sqrt{N}$,

因而有

$$\tau_E < \tau_D \quad (4.8)$$

综合(4.6)~(4.8), 再注意到最初 $\frac{1}{T_1} \rightarrow 0$ 的假定, 可以得到

$$\tau_E < \tau_c < \tau_R < \tau_D < T_1, T_2, T_2^* \quad (4.9)$$

这里 T_2^* 是非均匀加宽工作物质的横驰豫时间。(4.9)就是产生单脉冲超辐射的特征时间不等式。

4. 考虑泵浦脉冲。为了不破坏正在形成的集体自发辐射, 泵浦必须在超辐射态形成之前截止, 即泵浦脉冲宽度 τ_p 应满足

$$\tau_p < \tau_D; \quad (4.10)$$

另一方面, 泵浦必须遍及整个样品即要求

$$\tau_E < \tau_p \quad (4.11)$$

综合(4.10)及(4.11)得到

$$\tau_E < \tau_p < \tau_D \quad (4.12)$$

(4.12)就是产生单脉冲超辐射对泵浦脉冲的要求。

上述(4.2)、(4.3)、(4.9)、(4.12)诸条件在实验上被满足时, 确实观察到了单脉冲输出^[10]。

参 考 文 献

- [1] L. Allen, J. H. Eberly; "Optical resonance and two-level atoms", Wiley, New York, 1975, p. 174.
- [2] R. Bonifacio, Lugiato; *Phys. Rev.*, 1975, **A11**, No. 5, 1504.
- [3] M. S. Feld, V. S. Letokhov; "Coherent Nonlinear Optics", Heidelberg, New York, 1980, p. 7.
- [4] D. C. Burnham, R. Y. Chiao; *Phys. Rev.*, 1969, **188**, No. 2, 667.
- [5] 高迁正基;《应用物理》, 1975, **44**, No. 10, 1091.
- [6] 陆治国, 顾樵;《激光杂志》, 1984, **5**, No. 2, 113.
- [7] 顾樵;《西北大学学报》, 1986, **16**, No 2, 119.
- [8] 顾樵;《中国激光》, 1986, **13**, No. 2, 76.
- [9] F. T. Arecchi, E. O. Schulz-DuBois; "激光手册", 第五分册, 北京, 1979年第一版, p. 267.
- [10] Bonifacio *et al.*; "Dissipative Systems in Quantum Optics", Heidelberg, New York, 1982, p. 111.

正在进行研究。

参 考 文 献

- [1] M. E. Mack; *Appl. Phys. Lett.*, 1969, **15**, 166.
- [2] W. Falkenstein *et al.*; *Opt. Commun.*, 1978, **27**, 151.
- [3] Zs. Bor *et al.*; *Appl. Phys.*, 1983, **B32**, 101~104.
- [4] S. Szatmari, F. P. Schafer; *Opt. Commun.*, 1984, **49**, 281.
- [5] 源永安, 宁长龙;《应用激光联刊》, 1984, No. 11~12.
- [6] R. Wyatt, E. E. Marinero; *Appl. Phys.*, 1981, **25**, 297.

(上接第 748 页)

2m, 色散率为 0.45 nm/mm) 拍摄了三种染料行波泵浦的染料 ASE 光谱, 所得结果已列入表 1 中。对 C311 染料在一般泵浦能量下是连续谱, 但当泵浦能量提高之后, 出现了明显的光谱结构(参看图 5)。对这种现象, 我们



图 5 在高激发功率下 C311 的行波放大 ASE 光谱