

泵浦功率对同步泵浦激光器输出脉冲的影响

朱鹤元 孙迭麓 胡谊梅 李富铭

(三束材料改性国家重点联合实验室复旦分部 复旦大学物理系, 上海 200433)

提要 在理论和实验上研究了腔长固定情形下泵浦功率对同步泵浦激光器输出脉冲的影响。证明最佳锁模腔长与泵浦功率有关。

关键词 同步泵浦染料激光器, 泵浦功率, 脉冲宽度

同步泵浦染料激光器是目前使用广泛的超短脉冲光源,其突出的优点就是具有很强的调谐能力。我们知道,在同步泵浦染料激光器中,腔长对锁模状态的影响是至关重要的。研究^[1]表明,为了获得最短的光脉冲,染料激光器的腔长最佳值必须保持在微米量级的准确度。腔长最佳值是由腔内带宽、染料浓度、泵浦功率、腔损耗等诸多因素决定的,通常很难预言或测量腔长最佳值的绝对数值。本文通过研究腔长固定情形下,泵浦功率是如何影响同步泵浦染料激光器的输出脉冲的,并结合腔长失配研究中^[2]已取得的结果,分析得出最佳锁模腔长随泵浦功率的变化关系,这将对同步泵浦染料激光器的最佳运转具有重要意义。

1 基本理论

在同步泵浦染料激光器中,稳态染料光脉冲轮廓 $V(t)$ 满足^[2]

$$\left[G(t) - L + \delta T \frac{d}{dt} + \frac{1}{\omega_c^2} \frac{d^2}{dt^2} \right] V(t) = 0 \quad (1)$$

其中, $G(t)$ 为每次渡越的增益, L 为常数腔损耗, ω_c 表示由光学滤波器所确定的腔内带宽, δT 表示泵浦周期与染料光脉冲渡越时间的差值,它所对应的腔长失配量为

$$\delta L = -c\delta T/2 \quad (2)$$

其中, c 为光速。

在理论计算中,假定泵浦光脉冲和输出染料光脉冲均为高斯型,并假设在染料光脉冲的时间间隔内,增益变化足够小,我们将增益展开至二阶^[2]。设 T_p 表示泵浦脉冲宽度, P_0 为相对染料饱和吸收能量归一化的泵浦脉冲能量, t_0 为泵浦脉冲相对染料脉冲的时间超前量, G_m 是由染料性质决定的某个常数^[2]。

当我们给参数 T_p 、 ω_c 、 L 和 δT (或 δL) 选择适当的数值,就可以计算出染料光脉冲宽度 τ , 强度 I_0 以及 t_0 随 $G_m P_0$ (即泵浦功率) 的变化关系。

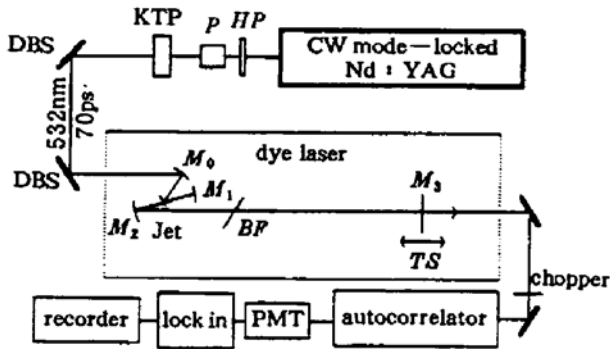


Fig. 1 Schematic diagram of the experimental setup
 HP: half-wave plate; P: polarizer; DBS: dichroic beam splitter; BF: birefringent filter; TS: translational stage

2 实验部分

如图 1 所示,我们采用连续锁模的 Nd:YAG 激光器作为泵浦源,重复频率为 82 MHz, $1.06 \mu\text{m}$ 输出脉冲的宽度为 100 ps,平均功率为 10 W。利用二分之一波片和偏振棱镜可以改变入射到倍频晶体 KTP 上的基频功率,从而改变泵浦功率。最大倍频功率为 1.3 W,倍频光的脉冲宽度为 70 ps。染料激光器采用典型的三镜腔结构,

M_1 和 M_2 分别是曲率半径为 50 mm 和 109.3 mm 的全反镜, M_3 为输出耦合镜,透射率为 3.5%, M_3 被装在一个平移台上,用于腔长调节,调节测微头的最小分度为 $10 \mu\text{m}$;使用 0.5 mm 厚度的双折射滤光片作为调谐元件;增益介质为 Rh6G 的乙二醇溶液,其浓度被调整到对 500 mW 的 532 nm 光有 90~95% 的吸收率;喷流厚度约为 $300 \mu\text{m}$;染料激光器的泵浦阈值为 200 mW。

实验中,我们首先采用 500 mW 的泵浦功率,调整染料激光器的腔长,以得到较好的锁模状态,然后不再对染料激光器作任何调整,而仅仅通过调节倍频晶体前的二分之一波片来改变泵浦功率。我们采用无背景的二阶自相关方法测量了不同泵浦功率下的染料光脉冲宽度。

3 结果与讨论

泵浦功率从 250 mW 变化到 1300 mW。如图 2 所示,我们给出了泵浦功率分别为 250 mW、500 mW 和 1300 mW 情形下的染料光脉冲的自相关曲线。从图中可以看出,对于 250 mW 的泵浦功率,自相关曲线有很明显的相干尖峰,脉冲宽度较宽,说明该腔长设定对于 250 mW 的泵浦功率来说是偏大的;而对于 1300 mW 的泵浦功率,自相关曲线呈现有旁瓣,说明在主脉冲后伴随着卫星脉冲,卫星脉冲与主脉冲的时间间隔约为 31 ps;实际上,当泵浦功率增加到 850 mW 时,自相关曲线上已经有明显的旁瓣(文中未给出自相关曲线),此时卫星脉冲与主脉冲的时间间隔约为 42 ps。我们发现,随着泵浦功率的增加,卫星脉冲更加靠近主脉冲,这种情形与腔长失配研究中腔长缩短时的行为^[2]是一致的,我们在实验中也证实了这一点。说明该腔长设定对于 850 mW 和 1300 mW 的泵浦功率而言是明显偏短的,换言之,其最佳锁模腔长应该更长一些;500 mW 泵浦功率所对应的自相关曲线表明此时处于较好的锁模状态。通过上述演化过程的分析,我们可以得到这样的结论:对于不同的泵浦功率,同步泵浦染料激光器的最佳锁模腔长是不同的;泵浦功率越大,其最佳锁模腔长越长。

图 3 (a) 给出了染料光脉冲宽度随泵浦功率变化的实验结果。实验结果表明,当泵浦功率从 250 mW 增加到 450 mW 时,脉冲宽度由 11.9 ps 减小到 5.4 ps,变化速率是比较大的;然后随着泵浦功率的增加,脉冲宽度的变化存在一段较为平缓的范围;但进一步增加泵浦功率时,自相关曲线上开始出现旁瓣,说明染料光脉冲伴有卫星脉冲(对于 850 mW 和 1300 mW 泵浦功率下的脉冲宽度,我们在图上是主脉冲的宽度来表示的)。图 3 (b) 给出了腔长固定情形下

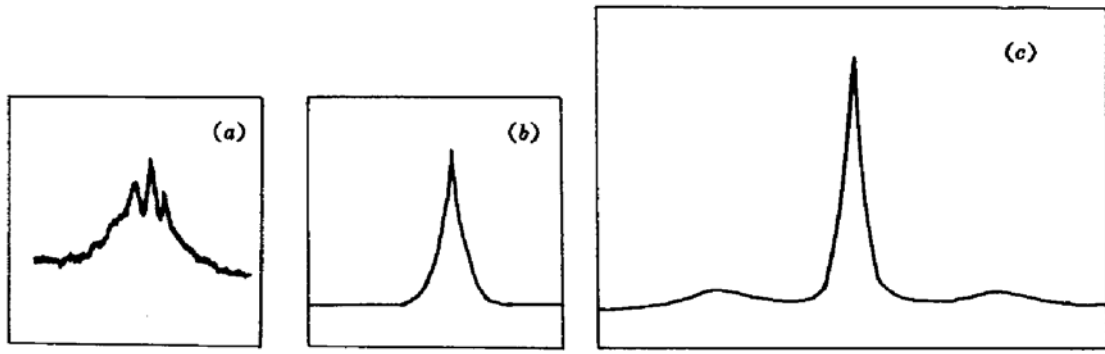


Fig. 2 Autocorrelation traces with different pump powers

(a) 250 mW, $\tau = 11.9$ ps; (b) 500 mW, $\tau = 5.4$ ps; (c) 1300 mW, $\tau = 5.1$ ps

脉冲宽度随泵浦功率变化的理论计算结果。在计算中,我们采用的参数为 $T_p = 70$ ps, $\omega_p T_p = 500$, $L = 0.2$, $\delta L = 5 \mu\text{m}$ 。泵浦功率的增加对应于 $G_m P_0$ 的增加,因此为方便起见,我们采用 $G_m P_0$ 作为横坐标。产生激光时增益必须大于损耗,因此 $G_m P_0$ 的取值必须大于 L 。从理论计算的曲线上可以看出,在某一特定的腔长下,染料光脉冲宽度先是随泵浦功率的增加而明显地变窄,接着是一段比较平坦的区域,随后脉冲宽度随泵浦功率的增加而逐渐增加。这与用三阶增益展开^[3,4]以及不同的理论模型^[5]所得到的结果基本上是一致的。

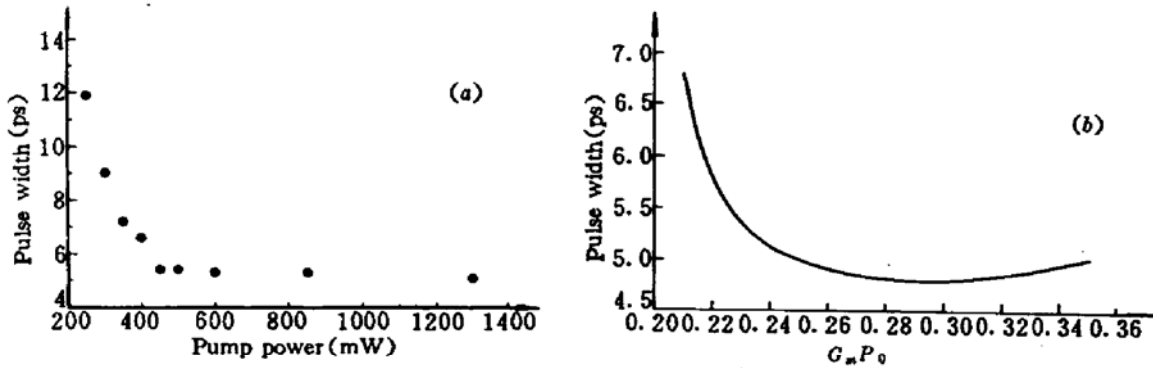


Fig. 3 Variation of the dye pulse width with pump power

(a) experimental result; (b) calculated curve, with the parameters being $T_p = 70$ ps, $\omega_p T_p = 500$, $L = 0.2$ and $\delta L = 5 \mu\text{m}$

从图 3(a) 和 (b) 的比较可以发现,理论计算与实验所得到的变化趋势基本上是一致的,但在大泵浦功率时有偏离。必须指出的是,这样的对比只是定性意义上的,而不是对实验结果的拟合。我们所采用的是一个简化的模型,它对脉冲前沿和后沿的描述是不充分的,更不涉及卫星脉冲^[2],因此它对大泵浦功率下的脉冲宽度预言与实验结果有偏离,这是可以预见的。但无论如何,该简化模型对实验结果能够较好地予以解释。

参 考 文 献

- 1 J. P. Ryan, L. S. Golgberg *et al.*. Comparison of synchronous pumping and passive mode-locking of cw dye lasers for the generation of picosecond and subpicosecond light pulses. *Opt. Commun.*, 1978, 27: 127
- 2 C. Ausschnitt, R. K. Jain, J. P. Heritage *et al.*. Cavity length detuning characteristics of the synchronously mode-locked cw dye laser. *IEEE J. Quant. Electr.*, 1979, QE-15: 912
- 3 鲍晓毅,关信安. 同步泵浦染料激光器系统所产生的微微秒脉冲的特性. *中国激光*, 1986, 13(4): 193
- 4 鲍晓毅,关信安. 对同步泵浦染料激光器系统已有实验结果的解释和讨论. *中国激光*, 1986, 13(5): 273
- 5 J. Kuhl, H. Klingenberg, D. Von der Linde *et al.*. Picosecond and subpicosecond pulse generation in synchronously pumped mode-locked cw dye lasers. *Appl. Phys.*, 1979, 18: 279

Effect of Pump Power on the Output Pulses from a Synchronously Pumped Laser

Zhu Heyuan Sun Diechi Hu Yimei Li Fuming

(State Key Joint Laboratory for Material Modification by Laser, Ion and Electron Beams, Fudan Branch, Department of Physics, Fudan University, Shanghai 200433)

Abstract The theoretical and experimental studies of the effect of pump power on the output pulses from a synchronously pumped dye laser under a constant cavity length are reported. It is shown that the optimal cavity length for mode-locking of the synchronously pumped laser is related to the pump power.

Key words synchronously pumped dye laser, pump power, pulsewidth

第四届压缩态和测不准关系国际会议在太原市召开

由中国山西大学、美国 Maryland 大学和俄罗斯 Lebedev 物理研究所联合主办、中国山西大学经办的第四届压缩态和测不准关系国际会议于 1995 年 6 月 5 日至 8 日在山西省太原市晋祠宾馆召开。

来自美国、俄罗斯、意大利、日本、澳大利亚、德国、印度、英国、波兰、法国、墨西哥、匈牙利、巴西、韩国、加拿大、越南和伊朗等 19 个国家和地区的 54 位外籍代表和 39 位国内代表(含特邀)出席了会议。大会共收到 100 多篇学术论文,选取了其中 26 篇作大会学术报告和交流,内有 6 篇是国内学者的工作。另辟压缩态、测不准关系和量子力学等 3 个分会场进行学术报告和交流,共计 60 篇,其中国内学者报告为 23 篇。此次国际会议的特点是外籍代表多,占正式代表的三分之二,学术空气浓郁,讨论气氛热烈。

本人印象较深的学术报告是:有压缩态创始人之称的美国阮北康教授的“压缩、真空起伏及其他”;印度 B. A. Bambah 教授的“高能碰撞中的压缩相干态和多重分布”;法国 E. Giacobino 教授的“激光二极管中的量子噪声”;日本 Osamu Hirota 教授的“量子干涉与标准量子极限的关系”;中国郭光灿教授的“采用相干态的量子密码”;俄罗斯 E. M. Belenov 教授的“拉曼激活介质中高功率超短脉冲的传播理论”;美国 N. Goargides 教授的“含有压缩光的光谱学”;中国吴令安教授的“非线性过程中压缩光性质的变化”等。代表们高兴地看到压缩态和测不准关系这一基础研究取得了很大进步,它是光通讯坚实的理论基础,必将推动光通讯产业飞速发展。

与会代表参观了山西大学光电技术研究所。代表们对新建的光电所楼表示祝贺,对研究室的配制和完善感到高兴,对彭堃堦校长等人的科学管理感到钦佩。外籍学者赞其为世界第一流压缩态实验室之一。

会议期间还举行了有省、校领导参加的招待会。

(赵梅村)