

3.6 激光脉冲

在 22 kV 下激光脉宽为 25 ns, 光斑尺寸为 $23 \times 13 \text{ mm}^2$ 。通过拍摄不同距离的光斑, 算得光束发散角为 $1 \times 3.6 \text{ mrad}$ 。

倪晋智同志参加了部分实验工作, 胡向葵同志在测试中给予了帮助, 特此致谢。

参 考 文 献

1 余吟山 *et al.*, 量子电子学, 5(1), 36(1988)

2 Gary Klauminer, *Laser & Applications*, September 1986, 75

3 M. Hiramatsu, T. Goto, *Rev. Sci. Instrum.*, 57(4), 534(1986)

4 邓国扬 *et al.*, 光学学报, 15(6), 332(1988)

5 王华胜 *et al.*, 光学学报(待发表)

(收稿日期: 1988年11月14日)

主-被动对撞脉冲锁模 Nd:YAG 激光器

王世杰 陆海鹤 李士英 陈时胜 林礼煌 朱国英

(中国科学院上海光机所)

Experimental study of active-passive colliding pulse mode-locked Nd:YAG laser

Wang Shijie, Lu Hcife, Li Shying, Chen Shisheng, Lin Lihuang, Zhu Guoying

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

提要: 报道主-被动和纯被动对撞脉冲锁模 Nd³⁺:YAG 激光器的实验研究结果。主-被动锁模激光脉宽为 15 ps, 激光输出序列脉冲能量起伏小于 $\pm 2\%$ 。被动锁模激光脉宽为 12 ps, 序列脉冲能量起伏小于 $\pm 10\%$ 。利用腔内插入标准具, 获得脉宽在 15~26 ps 间可变的锁模激光。实验还研究了非共振环形腔的激光偏振特性。

关键词: Nd:YAG 激光器, 对撞脉冲锁模

一、引 言

自 Fork 等入^[1]于 1981 年在环形对撞锁模染料激光器上实现亚微微秒激光脉冲输出以来, 已在环形对撞锁模染料激光研究方面做了大量的工作。Nd:YAG 对撞脉冲锁模激光的脉冲宽度达 10 ps 左右, 能量起伏不低于 $\pm 7\%$ 。输出稳定、脉冲宽度可变的超短脉冲激光一直是科研和实际应用中所追求的目标之一。我们在非共振环形腔中进行的主-被动和纯被动对撞脉冲锁模 Nd:YAG 激光的实验上获得最佳主-被动锁模激光能量起伏小于 $\pm 2\%$, 脉冲宽度为 15 ps, 平均单脉冲功率 15 MW。纯被动锁模激光脉冲宽度 12 ps, 激光能量起伏为 $\pm 10\%$, 平均单脉冲功率为 45 MW。利用腔内标准具在不同角度下透过率的变化获得脉宽可变 (15~26 ps) 的主-被动锁模激光。

二、实验装置

实验装置如图 1 所示。非共振环形腔由输出耦合镜 M_1 和非共振环结构组成, 其中 M_1 为 50% 平面反射镜并置于微调平台上; $M_3 = M_4$ 为 100% 平面全反镜; M_2 为 45°S 分量半透半反镜; Nd³⁺:YAG 棒产生的辐射光被分光镜 M_2 分解成两束强度近似相等而传播方向相反的光, 在两光束空间传播路径完全重合的理想情况下, 在 M_2 处相干迭加后几乎完全返回增益介质, 其“透射”损耗(图 1 中 A 方向透射光)由下式决定^[2]:

$$y = (T - R)^2 \quad (1)$$

其中 T 、 R 分别为分光板 M_2 的透射率和反射率。 M_3 、 M_4 为平面全反镜。

实验中采用厚度为 0.5 mm 的可循环流动染料盒, 将其置于微调平台上。可饱和吸收染料为五甲

川-1, 2-二氯乙烷溶液。染料盒 DC , 先预置于环形结构的中心位置处。Nd:YAG 棒尺寸为 $\phi 5 \times 80$ mm, 由两根 $\phi 10 \times 80$ mm 的脉冲氙灯泵浦。D 为 $\phi 2$ mm 小孔光阑, 用于横模选择, AOM 为声光调制器, 调制频率 50.35 MHz, 调制度 $M=60\%$, 调制器的工作环境温度 $t=60 \pm 0.1^\circ\text{C}$, 频率匹配腔长 $L_0=1.489$ m。用双光子荧光法 (TPF) 测量锁模脉冲宽度。

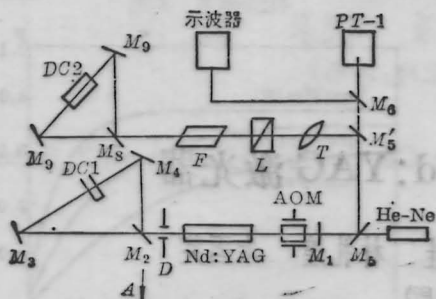


图1 实验装置

三、实验结果

3.1 纯被动锁模

在非共振环形腔中, 激光辐射被分光板分为两束沿相反方向传播的光, 可将饱和吸收染料置于环形结构的中心位置 (最佳碰撞位置, 记为 $x=0$ 位置)。

图2为锁模脉冲宽度 (τ_p) 以及锁模脉冲能量 (E_s) 与染料透过率 (0.5 mm 染料盒的实测静态透过率) 的关系。在我们的实验条件下, 最佳染料透过率 T 约 17%。从图中可以看出, T 值从小至大, 起先脉冲宽度不断减小, 脉冲能量则不断升高, 在最佳透过率附近, 具有最窄的脉冲和最大的锁模脉冲能量。

实验研究了 5 种不同染料透过率情况下染料盒的位置对锁模激光特性的影响。图3为两个比较典

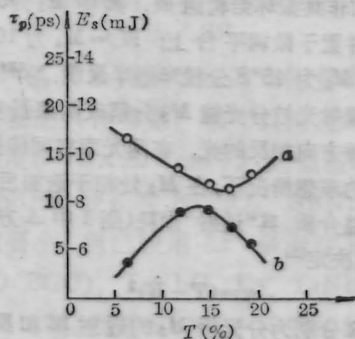


图2

- (a) 被动锁模脉宽与染料透过率的关系;
(b) 对应的脉冲能量

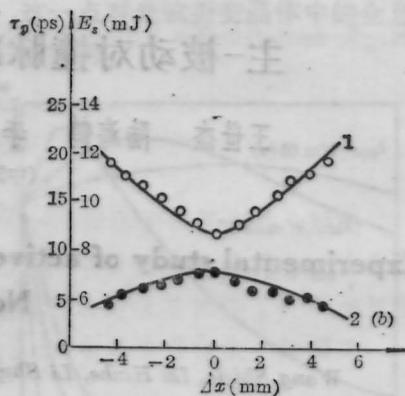
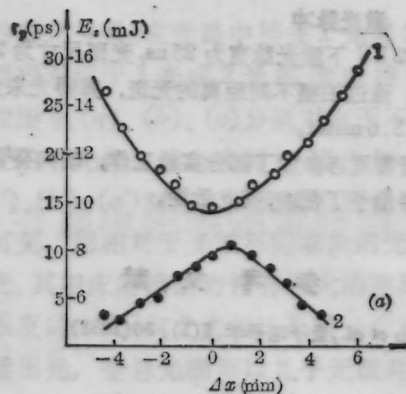


图3 染料透过率对被动锁模脉冲宽度、脉冲能量的影响

- (a) 染料透过率 $T=12\%$; (b) $T=17\%$ (曲线1、2分别为脉宽与能量曲线)

型的染料盒位置与锁模脉宽以及脉冲能量的关系曲线。实验中观察到, 在最佳对撞位置处激光脉冲能量起伏不大于 1%, 但随着染料盒相对最佳对撞位置偏离 Δx 的增大, 激光脉冲的稳定性变差。偏离 4 mm 时, 脉冲能量起伏达 $\pm 20\%$ 左右。脉冲宽度也有起伏, 而且有时会出现不完全锁模的现象。

改变分光板角度也影响锁模激光特性。实验中所采用的非共振环形腔分光板为 $45^\circ S$ 分量半透半反镜。一般地讲, 角度的变化将改变反射镜的透、反射系数。实验中观察到, 随着分光板偏离角度的增大, 激光脉冲能量下降, 起伏加大, 但在 $\pm 2^\circ$ 之内这种能量下降并不明显。能量下降的主要原因是分光板偏离 45° 时反射率不等于 50%, 透射光和反射光强度不等, 造成透、反光在 M_2 的侧向输出方向上不完全相干抵消, 从而产生侧向输出 (即 A 方向输出, 见图1), 腔损耗的增加, 使激光输出能量下降。

3.2 主被动对撞脉冲锁模

(1) 纯主动脉冲锁模

此时除去图1中的染料盒 DC_1 。实验采用驻波

式声光锁模调制器。声光调制器频率为 50.35MHz, 输入声功率 $< 0.2\text{W}$, 调制度 $M \approx 60\%$, 衍射效率 $\eta \approx 40\%$ 。频率稳定度约 $2 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ 。调制器在恒温条件下工作(60°C), 温控精度为 $\pm 0.1^\circ\text{C}$, 即实际使用中的调制器频率漂移约为 $\pm 10\text{Hz}$ 。图 4 给出主动锁模腔长匹配以及腔长失谐时的锁模脉冲包络。腔长匹配时, 锁模脉冲包络光滑对称, 激光脉冲能量起伏小于 $\pm 3\%$ 。腔长轻微失谐时, 脉冲包络不对称, 同时激光脉冲能量起伏加剧, 一般不低于 $\pm 10\%$ 。腔长失谐量进一步加大时, 出现明显的非均匀调制脉冲包络。

(2) 主-被动对撞脉冲锁模

声光锁模调制器可以有效地改善被动锁模激光特性。

图 5 给出染料盒处于对撞位置时不同染料透过率情况下, 主-被动锁模脉冲宽度和相应的激光脉冲能量。由图中看出, 染料浓度降低, 锁模脉冲宽度增

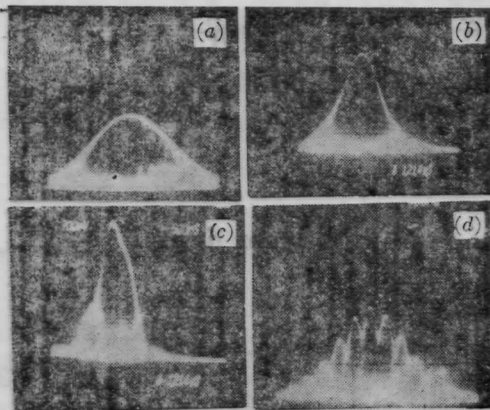


图 4 主-动锁模腔长匹配脉冲包络 ($|\Delta L|$ 为腔长失谐量(mm))。

(a) $|\Delta L|=0$; (b) $|\Delta L|=0.5$; (c) $|\Delta L|=1.5$;
(d) $|\Delta L|=2.5$

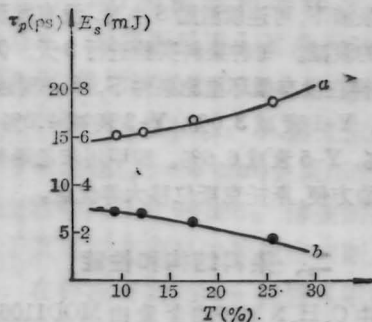


图 5 主-被动锁模脉冲宽度

(a)和脉冲能量(b)与染料浓度关系

大, 脉冲能量下降。与纯被动锁模相比, 主-被动锁模激光脉冲能量稳定性提高了, 染料浓度较低时也可获得较稳定的完全锁模激光。染料透过率 $T=25.5\%$ 时, 主-被动锁模激光脉冲能量起伏仍低于 $\pm 4\%$, 锁模几率为 100%, 而 $T=18.6\%$ 的纯被动锁模激光脉冲能量起伏为 $\pm 10\%$ 左右。 $T=17\%$ 时主-被动锁模激光输出最稳定, 脉冲能量起伏小于 $\pm 2\%$, 脉冲宽度 15 ps, 脉冲能量 2.2 mJ, 同样浓度染料的被动锁模激光脉冲能量起伏为 $\pm 8\%$, 脉冲宽度 12 ps, 脉冲能量 7.5 mJ。我们认为主-被动锁模脉冲宽度增大, 能量降低的主要原因是声光调制器的“窗口”作用, 图 6 为主-被动锁模脉冲包络, 与纯被动锁模相比, 底部显得“干净”, 这也定性地反应出主-被动锁模具有较高的信噪比。

(3) 腔内标准具对锁模脉冲宽度的调制

腔内标准具具有改变损耗的作用。F-P 标准具的透射率为^[3]

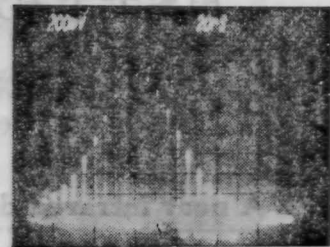


图 6 主-被动锁模脉冲包络

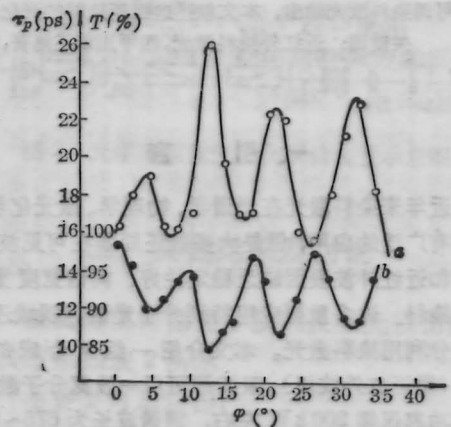


图 7

(a)主-被动锁模脉冲宽度与标准具角度的关系, (b)标准具透过率与角度的关系

$$T = \left[1 + F \sin^2 \frac{\delta}{2} \right]^{-1} \quad (3)$$

其中 $F = 4R/(1-R)^2$, $\delta = 4\pi n d \cos \theta_2 / \lambda$, d 为标准具厚度, n 为折射率, λ 为光波长, $\theta_2 = \sin^{-1} \left(\frac{1}{n} \sin \theta_1 \right)$ θ_1 为光线与标准具的夹角。改变标准具的角度即可改变腔内损耗, 进而改变锁模脉宽。

我们在实验中采用厚度分别为 $d = 0.1 \text{ mm}$ 和 2 mm 的两块表面未镀膜标准具。考虑到主-被动锁模腔长匹配的要求, 适当地缩短了腔长。图 7a 为主-被动锁模脉冲宽度随标准具 (0.1 mm) 角度的变化, 图 7b 为按式 (3) 计算的标准具透过率。图 7 表明, 锁模脉宽与标准具透过率基本成反比关系, 这与前面的分析相一致。脉宽在 $15 \sim 26 \text{ ps}$ 范围内变化。实

验中还观察到脉宽变大时, 锁模激光脉冲能量起伏稍有增加, 脉宽也有一定程度的起伏。在厚度较大的标准具实验中这个现象更明显。这主要是由于同样的外界干扰将引起“厚”标准具透过率的更大变化, 使激光输出不稳。

参 考 文 献

- 1 R. L. Fork et al., *Appl. Phys. Lett.*, **38**(9), 671 (1981)
- 2 A. E. Siegman, *Opt. Lett.*, **6**(7), 334(1981)
- 3 梁铨廷, 《物理光学》, (机械工业出版社, 1980), p. 82
(收稿日期: 1988年8月30日)

用氮分子激光泵浦的近红外染料激光

王炳奎 金乾元 李燮里

(华东化工学院物理系, 上海)

A near infrared dye laser pumped by N₂ laser light

Wang Bingkui, Jin Qianyuan, Li Xieli

(Physics Department, East China University of Chemical Technology, Shanghai)

提要: 用氮分子激光器作泵浦光源, 对 6 种新合成的四甲川苯乙烯菁染料溶液, 获得 $675 \sim 787 \text{ nm}$ 波段连续可调染料激光输出。本文叙述这组新染料的光化学特性和激光特性。

关键词: 近红外染料激光, 四甲川苯乙烯菁, 氮激光

一、引 言

近年来染料激光在光谱学、物理学、激光化学等领域有广泛的应用, 但是大多数还局限在可见波段, 红外和近红外波段因缺乏稳定性好、调谐宽度宽的激光染料, 许多重要应用特别分子光谱等领域还不能充分利用染料激光。本文介绍一组新合成的染料^[1] (属近红外波段)。泵浦源可用一般氮分子激光, 泵浦功率仅需 200 kW 左右, 调谐波长为 $675 \sim 787 \text{ nm}$ 。这组染料在波长 532 nm 附近也有较强吸收, 因此也可用 YAG 倍频激光作为泵浦源获得调谐激光输出。此外, 这组新染料化学稳定性也比较好, 在

染料未循环流动时, Y-2、Y-6 两种染料在 10 pps 氮分子激光泵浦下, 可连续激励 8 小时, 没有发现输出激光强度的衰减。每种染料实验进行 3 天, 仍没见衰减。同样在没有循环措施条件下, 8 小时连续泵浦工作后, Y-1 衰减 3.0%, Y-3 衰减 4.0%, Y-4 衰减 7.0%, Y-5 衰减 6.6%。四甲川苯乙烯菁染料还具有激励方便, 斯托克斯位移大等优点。

二、染料结构和性能

染料中 C、H、N 原子的含量由 MOD1106 型元素分析仪测定, 理论值与实验值之间的误差在 0.5% 以内。分子结构由 FI-IR20X 型红外仪和 M-80 型