

# 非稳腔 Nd:YAG 被动锁模激光器

**Abstract:** A passively mode-locked Nd:YAG laser with unstable confocal resonator is reported. The volume was  $1.6\text{ cm}^3$ . Single pulses of  $6.5\text{ mJ}$  energy,  $20\text{ ps}$  duration and a divergence close to the diffraction limit were obtained.

自 1978 年起有人对非稳腔结构的 Nd:YAG 被动锁模进行了实验研究<sup>[1~5]</sup>。采用非稳腔结构的锁模激光器有可能得到单脉冲能量比稳定腔大得多并接近衍射极限的超短光脉冲。

正支望远镜虚共焦腔的结构应满足以下条件:

$$\begin{cases} R_1/2 + R_2/2 = L \\ 2g_1g_2 = g_1 + g_2 \end{cases}$$

这里  $R_1, R_2$  分别为两端反镜的曲率半径;  $L$  为腔的光学长度;  $g_1 = 1 - L/R_1, g_2 = 1 - L/R_2$ 。放大率为  $M = |g_2/g_1|$ 。本实验中取  $L = 1\text{ m}, M = 2$ , 一块腔镜为  $R_1 = -2\text{ m}$  的全反射镜, 另一端是透过率为 95%、 $R_2 = 4\text{ m}$  的输出镜, 镜子的背面镀增透膜。激光器元件的排布见图 1。工作物质为  $\phi 5.5 \times 67\text{ mm}$  的 Nd:YAG 棒, 端面涂增透膜。聚光筒为双椭圆型, 充电容  $140\ \mu\text{F}$ , 氙灯光波形的半极大全宽度为  $180\ \mu\text{s}$ 。介质膜偏振片和染料盒都以布儒斯特角插入腔内, 染料盒厚  $1\text{ mm}$ , 充以五甲川的二氯乙烷溶液作为被动锁模用的饱和吸收体。

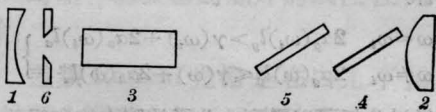


图 1 振荡器的结构

- 1—输出镜, 2—全反镜, 3—Nd:YAG 棒  
4—五甲川染料盒, 5—偏振片, 6—小孔

实验观察了在不同染料浓度下锁模的成功率。当弱信号透过率  $T_0$  大于 50% 时, 锁模不稳定, 出现多列。随着  $T_0$  减小, 多列现象消失, 脉冲个数减小, 脉冲序列的能量增加, 稳定性也变好。当  $T_0 = 30\%$  左右时效果最佳, 锁模成功率达 90% 以上, 激光输出波形见图 2。但  $T_0$  继续增加, 比如  $T_0 = 20\%$  时, 有一半的几率输出调 Q 脉冲。在不加小孔光阑的情况下, 输出激光的场分布不很均匀, 我们认为这是由于工作物质以及光源的不均匀所引起, 如果在腔内靠

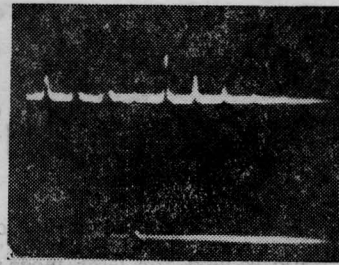


图 2 输出激光脉冲

- 上 选出单脉冲后的锁模序列  
下 选出的单脉冲

近输出端加上  $\phi 2.5\text{ mm}$  的小孔就可以得到理想的单横模光束, 激光器输出发散的球面波。在离输出腔镜  $5\text{ m}$  处用尖劈法测量了光束的方向性。在腔内不加光阑时, 光束直径为  $18\text{ mm}$ , 衍射发散角是 2.3 倍的衍射极限, 即  $0.16\text{ mrad}$ ; 在腔内加上  $\phi 2.5\text{ mm}$  的光阑后, 光束直径为  $10\text{ mm}$ , 为 0.9 倍衍射极限, 即  $0.12\text{ mrad}$ 。由于通常把  $1.22\lambda/D$  取作衍射极限, 这是截面为圆、光强均匀分布的平行光束的夫琅和费衍射图象中第一个极小点的角半径, 而本实验中测得的衍射发散角, 是高斯光束被长焦距透镜成像后, 象点中的强度半极大处对透镜所张的角半径。因此在理论上也是可以小于“衍射极限”的。脉宽测量是用双光子荧光法。双光子荧光照片见图 3。测得脉冲宽度为  $20\text{ ps}$ , 对比度为 2:1, 属于部分锁模。作者认为对比度偏低可能是由于双光子法测量中的误差所致, 从示波器上观察锁模质量并不差。另外从双光子荧光照片中我们观察到, 当染料盒与腔镜平行或成小角度时, 都有卫星脉冲出现, 当染料

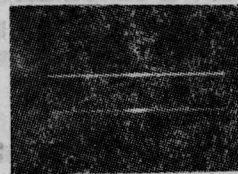


图 3 双光子荧光照片

盒以布儒斯特角放置时, 无卫星脉冲。用一台平面型激光能量卡计分别测量了有小孔和没有小孔时的脉冲能量, 电容器储能为 93 J。不加小孔时, 锁模序列能量为 145 mJ, 选出的单脉冲能量为 30 mJ, 加  $\phi 2.5$  mm 的小孔后, 序列能量为 24 mJ, 单脉冲能量为 6 mJ。

### 参 考 文 献

[1] A. N. KirKin *et al.*; *Krant. Electron* (Mosc.),

1978, 5, 2640.

[2] R. J. Dewhurst, D. Jacoby; *Opt. Commun.*, 1979, 28, 107.

[3] P. Lin, R. Yen; *Appl. Opt.*, 1979, 18, 600.

[4] G. C. Reali; *Opt. Commun.*, 1981, 35, 264.

[5] O. P. Varnavsky *et al.*; *Opt. Commun.*, 1983, 45, 342.

(中国科学院上海光机所 朱鑫铭 聂少峰)

1984年10月10日收稿)

## 饱和吸收选模的可调谐单模 612 毫微米 He-Ne 激光器

**Abstract:** The necessary conditions under which saturated absorption of molecules inside the cavity could be used for laser mode selection are discussed. A tunable length of 1.6 meter has been achieved by means of saturated absorption mode selection in  $^{129}\text{I}_2$ .

### 一、引言

He-Ne 激光是最常用的激光之一。在可见区, 除了常用的强线 633 nm 波长(红色)外, 还有一些弱得多的激光谱线<sup>[1]</sup>, 其中较强的是 612 nm(桔黄色)和 640 nm(紫红色)波长。由于它们很弱, 发现之后十多年间很少被应用。近几年, 碘分子饱和吸收稳频的 612 nm He-Ne 激光, 呈现出诱人的应用前景, 因为它的饱和吸收峰的衬度很高(5~10%)<sup>[2]</sup>, 造成很好的频率复现性, 稳定性也很好<sup>[3]</sup>。

为了获得较高功率的单频可调谐激光, 需要采用长激光管, 并且进行选模。常用的 Fox-Smith 选模器适用于 633 nm 激光<sup>[4]</sup>, 用于 612 nm 激光很困难, 因为 Ne 的 612 nm 跃迁增益小, 引进选模器损耗后, 激光器振荡困难。

我们利用  $^{129}\text{I}_2$  分子的饱和吸收, 在 1.6 m 长腔较大的 He-Ne 激光器中实现了 612 nm 波长单频可调谐运转, 单输出功率输出大于 200  $\mu\text{W}$ 。

### 二、饱和吸收用于模式选择

圆频率为  $\omega$  的单色电磁波通过长为  $l_g$  的增益室和一长为  $l_a$  的吸收室, 经过腔长  $L$  的谐振腔一次往返后, 其强度为:

$$I(\omega, 2L) = I(\omega, 0) \exp[2\alpha_g(\omega)l_g - \gamma(\omega) - 2\alpha_a(\omega)l_a], \quad (1)$$

式中  $\alpha_g(\omega)$  是激活介质的小信号增益系数,  $\alpha_a(\omega)$  是介质吸收系数;  $\gamma(\omega)$  为损耗因子, 代表所有其它损耗, 如反射镜的反射损耗(即透射)、两种介质室窗口的吸收、棱镜的吸收、孔径衍射、光路上的尘粒散射、不完整表面的散射等。激光器能够振荡的条件是

$$2\alpha_g(\omega)l_g > \gamma(\omega) + 2\alpha_a(\omega)l_a \quad (2)$$

若要求激光器仅在某一单纵模  $\omega_i$  振荡, 则必须使其仅在此模损耗小, 而对其它所有的模损耗均大, 即满足条件:

$$\left. \begin{aligned} \omega = \omega_i & \quad 2\alpha_g(\omega_i)l_g > \gamma(\omega_i) + 2\alpha_a(\omega_i)l_a \\ \omega \neq \omega_i & \quad 2\alpha_g(\omega)l_g \leq \gamma(\omega) + 2\alpha_a(\omega)l_a \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

经过分析可以看到, 分子的腔内饱和吸收有可能用作激光纵模选择, 其必要条件是:

(1) 吸收分子的均匀线宽(即兰姆凹陷半峰宽度  $r_s$ )应小于谐振腔的纵模间隔 ( $\delta\nu = \frac{c}{2L}$ )。

(2) 其兰姆凹陷应相当深, 即饱和参数  $S_0$  相当大。

(3) 吸收分子吸收线的多普勒宽度应超过激活介质在阈值以上的增益线宽度。

(4) 吸收系数或吸收室的长度应可以控制, 以达到在线中心频率  $\omega = \omega_{0i}$  处:

$$\gamma(\omega_{0i}) + 2\alpha_a(\omega_{0i})l_a < 2\alpha_g(\omega_{0i})l_g \quad (4)$$

而  $\omega \neq \omega_{0i}$  处: