

## 非稳定腔脉冲 HF 激光器

徐捷 陈钰明 何国珍 庄欣

(中国科学院上海光机所)

**提要:** 对不同放大倍数的非稳定腔脉冲 HF 激光器进行了实验研究, 光束质量明显改善, 输出能量没有降低。

## A pulsed HF laser with unstable resonator

Xu Jie, Cheng Yuming, He Guozhen, Zhuang Xin

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

**Abstract:** A detailed experimental study of the performances of a pulsed HF laser with unstable resonators of different magnification has been made. The significant improvement of the beam quality has been achieved. And the energy of the laser with an unstable resonator has not been decreased.

## 一、引言

HF 激光器的增益很高, 可高达  $\sim 1$  厘米 $^{-1}$ , 而且常常出现严重的寄生振荡, 在只用一个腔镜甚至没有腔镜时, 仍有超辐射输出。因此输出辐射的发散角很大, 这将大大限制了这种激光器的亮度以及它们的可能应用。许多作者在电子束泵浦和横向放电 HF 激光系统上所做的研究表明, 采用非稳定腔可使激光器输出方向性有很大改善, 采用振荡放大系统甚至可以达到近衍射极限输出<sup>[1,2]</sup>。

我们设计了各种放大倍数  $M$  值的平凸腔和望远镜腔, 利用高放大倍数的望远镜腔, HF 激光辐射发散角为  $\sim 1$  毫弧度, 输出能量没有降低。

## 二、设计考虑

对于望远镜非稳定腔建立激光振荡光子

在腔内需要往返的次数为<sup>[3]</sup>:

$$m_{\max} = 1 + \frac{\ln [D_1^2 / 2\lambda f_1]}{\ln M} \quad (1)$$

式中  $D_1$  为凹面镜直径(在这里也是振荡器孔径);  $f_1$  为凹面镜焦距;  $\lambda$  为激光波长;  $M$  为放大倍数。

在往返次数  $m \geq m_{\max}$  后, 激活介质增益系数达到饱和, 辐射发散角并不变大。相应地建立基模所需要的时间为:

$$\tau = \frac{2L}{c} m_{\max} \quad (2)$$

式中  $L$  为腔距。时间  $\tau$  必须小于激光发射脉冲时间  $t$ , 当这个条件被满足时将优先建立基模, 并提取足够大的激光能量。

从这个条件出发,  $M$  值的选取将有一个最低的限制, 对于 HF 激光器而言,  $M$  应取大于 2。  $M$  值的上限应满足腔有效反射率  $(1/M^2) >$  寄生反射率  $R_0$  的条件, 此时基模

收稿日期: 1982年11月22日。

强度在轴向寄生振荡增长到从介质提取能量之前就达到饱和,  $\delta=1-1/M^2$  为光线在腔内往返一次的侧向逸出损耗。

当采用平凸腔时, 建立衍射极限模所需要的往返次数为<sup>[9]</sup>:

$$n_{\max} = \frac{1}{\ln M} \ln \frac{D^2(M-1)}{4LM\lambda} \quad (3)$$

对于建立基模的时间也可以做相应的计算, 从而估算出可选项  $M$  值的范围。

### 三、实验装置

我们所研究的是横向激发 Blumlein 放电 HF 激光器, 采用  $\text{SF}_6$  和  $\text{H}_2$  气体反应系统, 总气压为 120 托, 分压比  $\text{SF}_6/\text{H}_2=5/1$ 。激光放电室是透明的有机玻璃筒, 一对抛光喷砂铝电极长 76 厘米, 间隔 2 厘米。为克服由于  $\text{SF}_6$  气体的负电特性引起的丝状放电, 两侧用了紫外预电离火花列阵。在平凸非稳腔实验中用全内腔结构, 一端为凸面镀金全反射镜, 另一端为红外石英平板透射输出。望远镜腔是用半外腔结构, 实验装置如图 1 所示。放电室一端为凹面镀金全反射镜, 另一端为红外石英平板布儒斯特窗, 一个小凸面镀金全反射镜固定在与光轴倾斜取向的红外石英平板上, 以防止光从它的表面反馈到激光器中。凸凹镜的焦点相重合, 从凸面镜侧面耦合输出。在上述的放电条件下, 激光脉宽 (FWHM) 为 100 毫微秒。辐射波长范围为 2.6 微米到 3 微米之间, 最强的谱线波长是 2.8 微米。发散角的测量是采用脉冲激光器所通用的焦斑法, 在长焦距透镜的焦平面上放置小孔光阑使聚焦光束通过, 用卡计测量激光能量, 三次取平均, 其重复性好于 10%。令通过 80% 激光能量的孔径为光斑

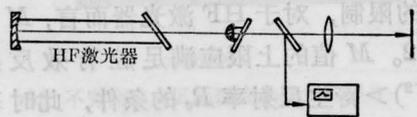


图 1 望远镜腔 HF 激光器

尺寸  $d$ , 然后按公式  $\theta \approx \frac{d}{f}$  计算光束发散角。

## 四、非稳腔实验

### 1. 平凸腔

按照图 2 所示光路可以设计平凸腔。



图 2 平凸腔光路图

由于平凸腔激光输出为球面波, 在测量辐射发散角时应加补偿透镜, 透镜焦点与虚光源  $P_1$  重合, 从而将球面波矫正成平面波, 再进行发散角测量。平凸非稳腔与平凹稳腔的 HF 激光输出结果列于表 1。这些结果是在主放电电压 28 千伏下得到的, 总气压 120 托, 分压比  $\text{SF}_6/\text{H}_2=5/1$ 。

与稳腔相比, 平凸腔 HF 激光器方向性有明显改善, 比较理想的放大倍数是  $M=2.4$ , 其激光输出能量是稳腔的 82%。

透射输出的平凸腔, 结构简单, 腔的调准也很方便, 但模式控制效果并不是最佳, 并且使用时还需要波面矫正。

### 2. 望远镜腔

图 3 为望远镜腔光路系统。谐振腔由曲率半径分别为  $R_1$  和  $R_2$  的凹凸镀金全反射镜组成, 它们的焦点相重合, 镜面直径应满足  $M = \frac{a_1}{a_2} = \frac{f_1}{f_2} = \frac{R_1}{R_2}$ 。激光辐射由小凸镜侧面耦合输出成环状, 并且波面为平面波。

取不同  $M$  值, 按照望远镜腔的公式:

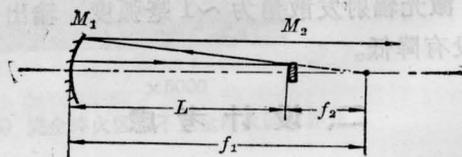


图 3 望远镜腔光路图

表 1

腔类型	R(米)	M	$\delta=1-1/M_2$	E(焦耳)	$E_{非稳}/E_{稳}(\%)$	$\theta$ (毫弧度)
平凸腔	2	3.7	0.93	0.24	62	5.5
平凸腔	3	3.0	0.89	0.26	70	4
平凸腔	5	2.4	0.82	0.31	82	3
平凸腔	10	1.9	0.71	0.34	90	4.5
平凸腔	30	1.5	0.52	0.35	92	5
平凹腔	5	/	/	0.38	/	10

表 2

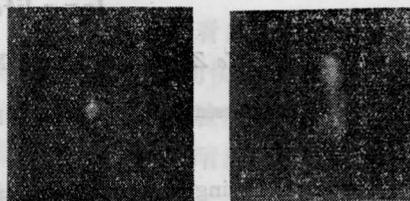
望远镜远腔	M	$a_1$ (毫米)	$a_2$ (毫米)	$R_1$ (厘米)	$R_2$ (厘米)	L (厘米)	E (焦耳)	$E_{非稳}/E_{稳}(\%)$	$\theta$ (毫弧度)
1	2.5	40	16	449	180	134	0.30	80	1.5
2	4	40	10	366	91	138	0.36	96	~1
3	8	40	5	322	40	141	0.37	98	~1

$$\begin{cases} R_1 = \frac{2M}{M-1} L \\ R_2 = \frac{2}{M-1} L \end{cases} \quad (4)$$

设计了三种谐振腔,腔的参数及 HF 激光输出特性列入表 2,其结果是在主放电电压 28 千伏、总气压 120 托、分压比  $SF_6/H_2=5/1$  的条件下得到的,稳腔的输出能量是 0.38 焦耳。图 4 示出 HF 激光器的远场光斑。比较表明,稳腔输出发散角大于 10 毫弧度,且光斑强度分布很不均匀,两边强,中间弱,而望远镜腔的远场光斑可形成一个中心十分强的小光斑。

望远镜腔 HF 激光器的近场光斑呈环状,内环孔径由小凸面镜的直径限定,其光强分布并不均匀(见图 5),这可能是由于输出光束同时受到大小孔径两个反射镜尖锐边缘的衍射影响,使光束受到扰动,产生明显的空间调制现象。此外,当凸镜上下移动时,近场光斑将明显地由对称环状变成不对称以致单侧输出,此时激光输出能量将明显下降。

浙江大学实习生郑舰鹰、潘劲参加了本工作。对王润文同志的指导和帮助致以谢意。



(a) (b)

图 4 HF 激光远场光斑

(a) 望远镜腔 (b) 平凹腔

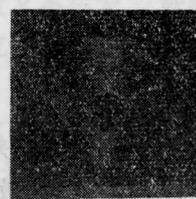


图 5 望远镜腔 HF 激光近场

 $(a_2=5$  毫米)

## 参 考 文 献

- [1] E. L. Patterson, R. A. Gerber; *IEEE J. Quant. Electr.*, 1975, **QE-11**, 642.
- [2] B. K. Deka, P. E. Dyer; *IEEE J. Quant. Electr.*, 1978, **QE-14**, 661.
- [3] В. П. Борисов, С. Д. Великанов *Кван. электр.*, 1981, **8**, №6, 1208.