

非稳腔在铜蒸气激光器中的应用

Abstract: An analysis is made of the possibility of using unstable resonators in reducing the divergence of radiation from a high-gain, short inversion lifetime metal vapor laser. Comparison is made of the output laser beam characteristics with plane-concave and those of telescopic resonators. It is shown that to obtain an output beam with low divergence in such a laser, unstable resonators must be used.

近来,金属蒸气激光器,其中特别是铜蒸气激光器在医学研究和临床、高速照相和同位素分离应用中有很高的使用价值。这类激光器的增益高,反转寿命短,激光脉宽一般为 20~30 ns。

实验证明靠改变稳定腔参数来提高这类激光器输出的激光的方向性是困难的,需要考虑使用非稳定腔^[1,2]。

图 1 给出我们设计的望远镜或非稳腔示意图。

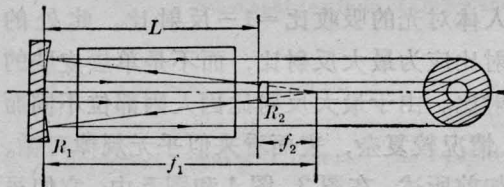


图 1 虚共焦腔

众所周知,一直径为 D 、长度为 L 的放电管,它的菲涅耳数 $N = D^2/4\lambda L$ 。金属蒸气激光器的增益很高,如果没有限制模式振荡的措施,则这些环大部分可能振荡,于是激光的方向性较差。我们又知道,一个在虚共焦腔内的波,在腔内每来回行走一次,波面直径就扩大 M 倍,在腔内来回走 n 次,波面直径就扩大 M^n 倍。而谐振腔的直径是有限的,在直径为 D_2 以外的波面都将逸出腔外。理论上我们可控制振荡次数 n , 在粒子数反转的瞬间,使腔内只剩下一个菲涅耳环(这环与衍射极限相对应)或几个菲涅耳环,从而保证了很好的激光方向性。使光束达到衍射极限所需振荡次数 n 与共振腔参数之间的关系为:

$$n = 1 + \ln N / \ln M; \quad N = D_1^2 / 2\lambda f_1 \quad (1)$$

一个光子在腔内往返几次所需时间为 $t = n2L/c$ (L 是二腔镜之间的距离, c 是光速)。把它代入(1)式,

可以得到建立一个与衍射极限相对应的模所需时间为:

$$t = \frac{2L}{c} (1 + \ln N / \ln M) \quad (2)$$

由实验观测到激光脉冲迟后于电流脉冲 20~25 ns, 可推测放电电流、粒子数反转和激光脉冲随时间变化的关系。图 2 是这种关系的示意图。从图中知道,为了使输出光具有很好的方向性,必须使 $t < \tau$ (τ 为粒子数反转峰值对应的时间), 在粒子数反转峰值到来之前,就建立起一个与衍射极限相对应的振荡模式。以上讨论忽略了增益系数与时间有关,腔内粒子数轴向和径向不均匀等因素,这些因素强烈影响激光输出方向性^[3]。但在保证功率输出条件下,尽可能采用 M 值大的非稳腔或缩短腔距 L 可以提高光束的方向性。

实验采用了直径 $D_1 = 25$ mm、激活长度 $L_a = 970$ mm 的陶瓷管作为放电管,工作频率 7~10 kHz,输入功率 3000 W,稳定腔输出功率 10 W。用

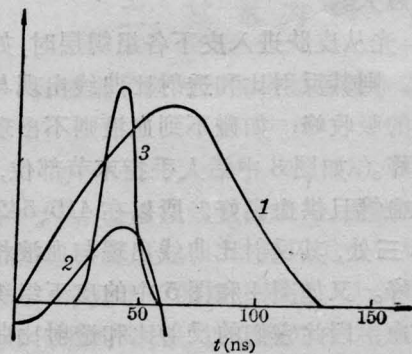


图 2

1—放电电流; 2—粒子反转;
3—激光随时间变化

CCD 列阵光探测器测出激光脉冲强度分布, 其图样用高灵敏度示波器显示, 经换算后, 得到激光光束发散值。所用的稳定腔参数如下:

I: $R_1=5\text{ m}$ (镀全反膜),
 $R_2=\infty$ (透明平板玻璃),
 $L=1.75\text{ m}$;

II: $R_1=10\text{ m}$ (镀全反膜),
 $R_2=\infty$ (透明平板玻璃),
 $L=1.75\text{ m}$;

所用的非稳腔参数如下:

I: $R_1=4\text{ m}$, $R_2=-0.5\text{ m}$, $M=8$;

II: $R_1=4\text{ m}$, $R_2=-0.09\text{ m}$, $M=44$;

III: $R_1=4\text{ m}$, $R_2=-0.035\text{ m}$, $M=114$;

在这三组共振腔里, 出射光束不受腔镜 R_1 直径的影响, 只受放电管直径 D_1 约束。二个镜子分别镀上

510.6 nm 全反膜。

从图 3、4 可看到, 不论稳定腔或非稳腔, 对应每一种腔参数, 光束方向性随激光功率增加变差。实验中观察到在第一个亮环外面还有一个暗环, 其能量随激光功率增大也增大; 随 M 的加大而减弱, 而且方向性很差。我们认为这部分光属于超辐射成份。测定出暗环的能量约占亮环能量的 10~20%。考虑到实验中带来的误差, 我们重复几次测试, 并对数据进行了平均, 其结果如下:

M	$P_{\text{稳腔}}$	$P_{\text{非稳腔}}$	$\theta_{\text{实验}}$	$\theta_{\text{理论}}$
8	10W	9W	0.9 mrad	0.03 mrad
44	10W	6.2W	0.4 mrad	0.03 mrad
114	10W	6W	0.4 mrad	0.03 mrad

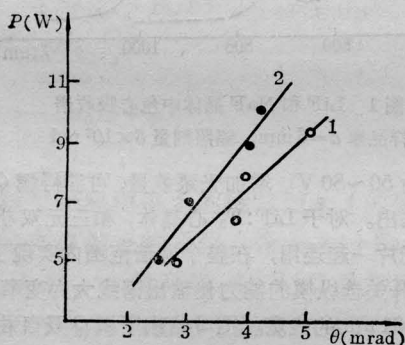


图 3 发散度随输出功率的变化

(1) $R_1=5\text{ m}$, $R_2=\infty$ (2) $R_1=10\text{ m}$, $R_2=\infty$

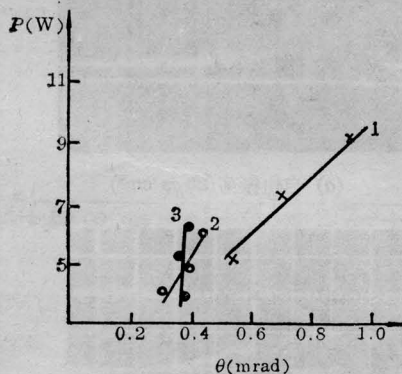


图 4 发散度随输出功率的变化

(1) $M=8$ (2) $M=44$ (3) $M=114$

第一个谐振腔 $M=8$, 在这种情况下要建立起衍射发散光束所需时间为 46 ns。这个时间大于粒子数反转峰值时间, 故发散度很大, 但已优于稳定腔输出的方向性, 且功率下降小。另外二个谐振腔对应的 t 分别为 40 ns 和 24 ns, 比较接近或小于反转峰值的时间, 但仍有 10 倍的衍射极限, 此时输出功率明显下降。理论上讲, 可采用缩短腔距 L 或提高放大率 M 等手段使 $t < \tau$, 来达到衍射极限, 但实验中会受到各种因素干扰, 如放电不均匀、腔的调整精度、器件固有尺寸和实验室有限空间等, 而不易实现。

我们利用 $M=44$ 非稳腔输出的低发散光束作了振荡放大实验。当一束强度为 0.5 W, 发散度为 0.41 mrad 光束输入到一台具有同样功率的放大器后, 该放大器输出一束强度为 4 W、发散度为 0.48 mrad 的光束。另外还测得小信号增益系数为 0.2~0.25 cm^{-1} 左右。

参 考 文 献

- [1] A. A. Isaev; *Sov. J. Quant. Electr.*, 1977, 7, No. 6, 746.
- [2] R. S. Hargrove; *IEEE J. Quant. Electr.*, 1979, QE-15, No. 11, 1228.
- [3] V. V. Buchanov; *Sov. J. Quant. Electr.*, 1983, 13. No. 8, 1022.

(中国科学院上海光机所 梁宝根 尹宪华
1986年5月24日收稿)