

# 外腔式结构对 HF/DF 激光器输出光谱的影响

罗 威,袁圣付,邹前进,陆启生

(国防科技大学光电科学与工程学院,湖南长沙 410073)

**摘 要:**近距离测量外腔式结构 HF/DF 激光器的输出光谱时,观察到部分 HF 激光谱线不常规地强度较弱甚至消失。利用 MODTRAN 软件对光谱中各支谱线的大气传输透过率进行了计算,发现这些 HF 激光谱线的大气传输性能较差。经分析,这些大气传输性能较差谱线强度较弱甚至消失的主要原因是腔内大气传输损耗,腔内大气传输损耗应计入总腔内损耗,对 HF 激光器输出光谱有很大影响。

**关键词:**化学激光器;大气传输;谱线选择与控制;外腔式

**中图分类号:**TN248.5 **文献标识码:**A **DOI:**10.3969/j.issn.1001-5078.2012.07.008

## Influence of outer cavity on emission spectrum of the HF/DF chemical laser

LUO Wei, YUAN Sheng-fu, ZOU Qian-jin, LU Qi-sheng

(College of Opto-electric Science and Engineer, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China)

**Abstract:** The emission spectrums of the outer cavity HF/DF chemical lasers were measured. It is found that some spectral lines of HF laser are very week or even disappear unusually. The total atmospheric transmittances of all the spectral lines that have appeared in the spectrums were calculated by MODTRAN software. It is found that those unusual lines of HF laser have poor atmospheric transmission performances. The week intensities or even disappearing of them caused by atmospheric transmission loss in the resonator, which should be counted into the total loss in the resonator. The atmospheric transmission loss has distinct influence on the emission spectrum of HF laser.

**Key words:** chemical laser; emission spectrum; atmospheric transmittance; outer cavity

### 1 引 言

HF/DF 化学激光器作为高能激光器的代表,目前仍然保持着最高的输出功率。多谱线输出是 HF/DF 化学激光器的重要特征,各支谱线的大气传输性能差别较大,从而直接影响激光的传输性能。HF/DF 激光器的各支谱线在不同大气条件下的传输性能被广泛研究<sup>[1-7]</sup>。HF 激光的多支谱线大气传输性能很差,在很大程度上限制了高能 HF 激光的应用范围,DF 激光的少数谱线大气传输性能也较差。因此有研究工作通过衍射光栅、反馈等方式削弱甚至消除激光器中大气传输性能差的谱线<sup>[8]</sup>,镀制选择性谱线透射率膜层也是一种可能的方式,但上述

方法均存在较多弊端,特别是难以在高能激光器中运用,并且会影响激光器输出功率。

对我们自研的电激励 HF 化学激光器进行输出光谱测量时,发现某些大气传输性能差的谱线自己变弱甚至消失了,这一现象仅出现在外腔式激光器中,内腔式激光器则不会出现这种现象,通过分析,我们认为谱线的消失与腔内大气传输损耗有关。文中分别给出了外腔式 HF/DF 激光器中的输出光谱

基金项目:国家自然科学基金(No. 10974255/A040403)资助。

作者简介:罗 威(1985-),男,博士研究生,主要研究方向为高能激光技术。E-Mail:luowei8786@163.com

收稿日期:2011-10-13;修订日期:2011-12-06

图,并分析了外腔式结构中的大气吸收对激光器输出光谱的产生影响的机制,这对 HF/DF 激光器的输出谱线选择与控制可能具有了一定的借鉴意义。

## 2 输出光谱

分别测量了外腔式与内腔式 HF/DF 激光器的输出光谱,这一系列激光器均采用高压直流辉光放电电离含氟气体产生氟原子,  $D_2/H_2$  从喷管中注入与 F 原子反应产生 HF/DF 激光器增益介质,除光腔结构外激光器的其他结构都基本相同。外腔式激光器用  $CaF_2$  窗口组成的布鲁斯特窗进行密封,腔镜放置在两窗口的外侧,窗口与腔镜之间共有大约 0.5 m 的光程是位于大气中的;内腔式激光器中由两片平行的  $CaF_2$  窗口进行密封,腔镜位于两窗口的内侧,腔镜及窗口之间的光路均为位于真空环境中,其结构与文献[9]基本相同。

外腔式 HF 激光器的输出光谱如图 1 所示,外腔式 DF 激光器的光谱如图 2 所示。光谱测量仪器为德国 Bruker 公司 Tensor37 型 FTIR 遥测光谱仪,对激光打在磨砂铝板上的漫反射光进行测量。铝板离输出镜的距离约为 1 m,光谱仪离铝板的距离也约为 1 m。

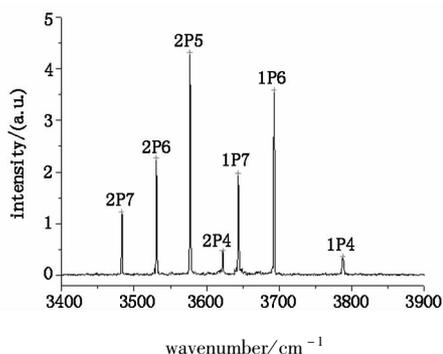


图 1 外腔式 HF 激光的输出光谱

Fig. 1 emission spectrum of an outer cavity HF laser

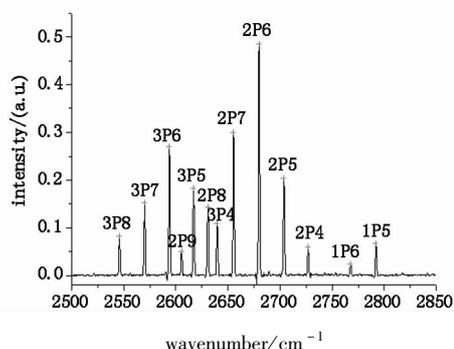


图 2 外腔式 DF 激光的输出光谱

Fig. 2 emission spectrum of an outer cavity DF laser

一般认为激发态 HF/DF 分子处于转动平衡态,各转动态的粒子数分布满足波尔兹曼平衡分布,与温度有关。当振动态粒子数分布与温度确定时,在同一组振动态跃迁谱线中,某一转动态跃迁谱线具有最大增益值,而其左右两边的转动态跃迁谱线将交替占据次大值的位置,直到谱线增益小于损耗而不能出射,在各支谱线的腔内损耗基本相同时,各支谱线的输出功率的高低与增益值的大小是吻合的。如图 1 所示,在 HF 激光的 1P 支谱线中,1P5 谱线在 1P4 和 1P6 谱线均存在的情况下竟然消失了。在 2P 支谱线中,2P5 谱线的强度最大,那么 2P4 谱线的强度应该为第二或小于 2P6 谱线列为第三,但实际上 2P4 谱线强度同时小于谱线 2P6 和 2P7。图 2 中 DF 激光的谱线强度的分布是比较正常的。由于在我们实验室里类似结构的内腔式 HF/DF 激光器中,输出光谱的各支谱线的强度分布是正常的,没有出现 HF 激光 1P5 谱线消失的现象,各支谱线的强度分布也符合上述一般认识,具体光谱图不再给出。考虑到 HF 谱线的大气传输性能较差,因此我们推测 HF 激光 1P5 谱线的消失与大气传输有关。

## 3 HF/DF 谱线大气传输透过率计算

利用大气传输计算软件 MODTRAN 对 HF/DF 激光器谱线的大气传输透过率进行了理论计算,计算条件如下:水平传输,海拔高度 0 km,传输距离 1 m,大气模型为“1976 US Standard”,计算结果如图 3 所示。在外腔式 HF/DF 激光器中光腔处于大气中的长度约为 0.5 m,但传输距离设为 0.5 m 时软件将不能正常运行,因此将传输距离设为最小值 1 m,因为仅需比较 HF/DF 各支谱线的透射率的相对大小,故计算结果能够满足要求。

在 DF 激光常见谱线波段范围内 (2350 ~ 2750  $cm^{-1}$ ),大气传输透过率均很高,而 HF 激光常见谱线波段范围内 (3400 ~ 3850  $cm^{-1}$ ),大气传输透过率普遍不高。通过与 HF/DF 谱线的比对,发现 DF 所有谱线的透射率仅显示为 0.9999 和 1 两个数值,即在短传输距离之下,所有谱线的传输性能都很好,故具体数据不再给出;HF 谱线的大气传输透过率数据如表 1 所示,谱线的波长数据参考文献[8]和文献[10],表 1 给出了图 1 中出现的所有谱线及其附近的谱线。

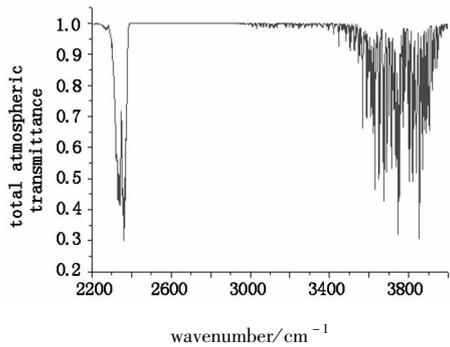


图3 水平传输、距离1 m时的大气传输透过率曲线

表1 部分HF激光谱线大气传输  
距离1 m时的透过率

Tab. 1 total atmospheric transmittances of several  
HF spectral lines with 1 m transmission

lines	Wavenumber/cm <sup>-1</sup>	Wavelength/μm	Total Trans
2P8	3435	2.911	0.9988
2P7	3484	2.87	0.9926
2P6	3531	2.832	0.966
2P5	3578	2.795	0.9598
1P8	3594	2.782	0.8476
2P4	3623	2.76	0.9429
1P7	3644	2.744	0.942
2P3	3666	2.728	0.9707
1P6	3694	2.707	0.9327
1P5	3742	2.672	0.8292
1P4	3788	2.64	0.9802
1P3	3834	2.608	0.7851

由表1可以看出,如仅与在图1中出现过的HF谱线(2P4, 2P5, 2P6, 2P7, 1P4, 1P6, 1P7)相比较,1P5谱线的大气传输透过率是最低的,同时2P4谱线的透过率在所有出现过的2P支谱线(2P4, 2P5, 2P6, 2P7)中是最低的,这与在HF光谱图中各组分的分布是符合的,因此我们推断光谱图中1P5谱线的缺失和2P4谱线强度偏小的现象与大气传输过程中的损耗有关。

#### 4 大气传输对HF/DF谱线的影响

在外腔式HF/DF激光器中,激光在腔内振荡时要经过大气传输,激光出射后到达光谱仪也需要经过大气传输,这两个过程分别对实际输出光谱和光谱测量结果造成影响。

激光从激光器中出射达到光谱仪的距离约为2 m,利用MODTRAN软件计算可以发现,2 m的大

气传输后HF激光1P5谱线的透射率为0.7082。可见短距离传输时,光腔外的大气吸收只能让谱线强度减弱,但不可能让某一支谱线消失。在实验上我们也尝试进一步缩短激光腔外传输距离,但仍然没有观察到1P5谱线。

因此,我们分析外腔式HF激光器中1P5谱线没有实现激射的原因主要在于腔内大气吸收。腔内大气吸收实际上应该计入谱线的单程腔内损耗,实验中使用的HF输出镜其透射率为5%;考虑到腔内实际大气传输距离为0.5 m而非1 m,故HF激光1P5谱线的大气透射率应高于82.92%,假设为85%;则在不考虑其他腔内损耗时,1P5谱线的总腔内损耗已经高达20%,而在此激光器中,1P5谱线的单程增益小于这个值,所以不能实现激射。HF激光中,2P4谱线的传输透过率在所有出现的2P支谱线(2P4, 2P5, 2P6, 2P7)中是最低的,即2P4谱线的腔内损耗也是最大的,这导致2P4谱线的强度在所有2P支谱线中是最小的。

在外腔式DF激光器中,各支DF谱线的腔内大气传输损耗均较小,因此其影响在输出光谱上基本没有体现,但在设计外腔式DF激光器时,腔内大气传输损耗仍然是需要考虑的一个因素,应当尽量缩短腔内大气传输距离。

#### 5 结论

虽然外腔式结构具有结构设计简单、调腔方便的优点,但大气吸收引起的腔内损耗,对激光器的输出谱线组成和输出功率会有较大的影响,这一点在多数谱线大气传输损耗较高的HF激光器上体现的非常明显。因此HF激光应该尽量避免使用外腔式结构,同时HF/DF在使用外腔式结构时应尽量减少腔内大气传输的距离;另一方面,这为通过选择性腔内损耗来选择与控制输出谱线的方法提供了一种新的思路,即在光腔内充入对特定谱线有较强吸收作用的介质,可能可以用于HF/DF输出谱线的选择和

#### 参考文献:

- [1] Kelley P L, McClatchey R A, Long R K, et al. Molecular absorption of infrared laser radiation in the natural atmosphere [J]. Optical and Quantum Electronics, 1976, 8: 117 - 144.
- [2] Wang J Y. Infrared atmospheric transmission of laser radi-

- ation[J]. *Applied Optics*,1974,13(1):56-62.
- [3] White K O, Watkins W R, Bruce C W, et al. Water vapor continuum absorption in the 3.5 ~ 4.0  $\mu\text{m}$  region[J]. *Applied Optics*,1978,17(17):2711-2720.
- [4] Watkins W R, Spellicy R L, White K O, et al. Water vapor absorption coefficients at HF laser wavelengths (2.64 ~ 2.93  $\mu\text{m}$ ) [J]. *Applied Optics*, 1979, 18 (10): 1582-1589.
- [5] Song Z F. Atmospheric attenuation of common applied lasers[J]. *AD*,1997,0206005:1-19.
- [6] Wu J H, Pu D S, Chen X H, et al. The atmospheric attenuation measurement of HF/DF chemical laser[J]. *Chinese Journal of Laser*,1982,10(11):792-794. (in Chinese)  
吴际华,浦达生,陈小华,等. HF/DF 化学激光大气衰减的测量[J]. *中国激光*,1982,10(11):792-794.
- [7] Cao B L, Wu C J, Rao R Z, et al. Atmospheric attenuation of the HF and DF laser radiation[J]. *High Power Laser and Particle Beams*,2003,15(1):18-21. (in Chinese)  
曹百灵,邹承就,饶瑞中,等. HF/DF 激光传输的大气衰减特性[J]. *强激光与粒子束*,2003,15(1):18-21.
- [8] R W F Gross, et al. *Handbook of chemical laser* [M]. Yin H M, et al. Transl. Beijing: Science Press, 1987: 179-189. (in Chinese)  
R W F 格罗斯,等. 化学激光手册[M]. 尹厚明,等译. 北京:科学出版社,1987:179-189.
- [9] Wang H Y, Yuan S F, Zhang P, et al. Effect of two different diluent injecting methods on a discharge excited infrared multi-band chemical laser[J]. *High Power Laser and Particle Beams*,2005,17(3):339-342. (in Chinese)  
王红岩,袁圣付,张鹏,等. 电激励红外多波段化学激光器中稀释剂注入方式对激光输出的影响[J]. *强激光与粒子束*,2005,17(3):339-342.
- [10] R Beck, E Englisch, K Gurs. *Tables of laser lines in gases and vapors* [M]. Third Revised and Enlarged Edition. Springer-Verlag,1980:82-88.