

射频激励可调谐波导CO₂激光器的进展

谢小川 林良华 时顺森

(西南技术物理研究所, 成都)

摘要: 本文评述了射频(RF)激励可调谐波导CO₂激光器的进展, 回顾了过去几年来此类调谐激光器的三代谐振腔特点, 展望了它的应用前景。

The progress in RF excited tunable waveguide CO₂ laser

Xie Xiaochuan, Lin Lianghua, Shi Shunsen

(Southwest Institute of Technical Physics)

Abstract: In this paper, the progress in RF excited tunable waveguide CO₂ lasers are reviewed, the characteristics of three kinds of the laser resonators developed in the past years are summarised, and the future of the lasers are also discussed.

一、引 言

众所周知, CO₂激光器是目前转换效率高、输出功率或能量大, 在9 μ m~11 μ m范围内可调谐的一种既可连续工作又可脉冲工作的最常见的分子气体激光器。自从60年代中期 CO₂激光器问世以来, 人们就开始了可调谐CO₂激光器的研究, 由于这种激光器频率调谐范围受增益多普勒带宽的限制(约为53MHz), 无法向更宽的调谐宽度发展。70年代中期贝尔实验室和休斯研究室成功地实现了波导CO₂激光器的运转。该器件的出现, 以它的单位长度增益高、放电区内径小、运转气压高、激光模体积和激活介质的重叠较好等特点引起了人们的普遍关注。较小的波导内径和较高的充气气压, 分子谱线的压力展宽效应使波导CO₂激光器具有比普通CO₂激光器更大的频率调谐范围。纵向直流激励的波导CO₂激光器点火电压高、体积庞大、电极易溅射、输出功率不易电调制, 这在许多工程应用中是不适合的。70年

[3] Fan T E, Byer R L. IEEE J Q E, 1988; 24 (6): 895~912

[4] 霍玉晶, 黄哲林, 段玉生 *et al.* 中国激光, 1990; 17 (增刊): 103~105

[5] 霍玉晶, 段玉生, 黄哲林 *et al.* 激光与红外, 1991; 21(4): 43~46

[6] 霍玉晶, 陆宝生, 易奎林 *et al.* LD泵浦OF耦合NYAB自倍频激光器的初步研究, 中国激光, 待发表

*

*

*

作者简介: 霍玉晶, 男, 1946年4月出生。副教授。近年主要从事晶体光纤和LD泵浦激光器的研究工作。

收稿日期: 1991年8月13日。

代末期, Dr.K.Laakmann首先将横向射频激励技术应用于波导CO₂激光器,使CO₂激光器向更大输出功率、更小体积、更长寿命、能完全适应苛刻环境的超紧凑激光器实用化方面迈出一大步,可调谐RF激励的波导CO₂激光器显示了光明的应用前景。其频率调谐特性引起了国内外学者的浓厚兴趣。

二、可调谐波导CO₂激光器的谐振腔

迄今,可调谐波导CO₂激光器谐振腔的发展大致可分为三代。第一代谐振腔是Holahan^[1]等人利用普通光栅腔进行选支及调谐。如图1所示。

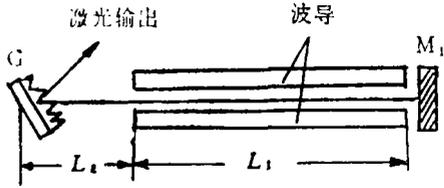


图1 普通光栅谐振腔
M₁—反射率为r₁的反射镜
G—反射率为r₂的光栅

利用一光栅代替谐振腔的输出耦合镜、光栅的零级方向输出激光,通过调节光栅的自准角度以达到选取支及调谐目的。由于采用光栅作为选模元件,光栅的分辨率和色散特性必然会影器件调谐性能。Holahan对这种光栅腔作了分析,发现它的分辨率和耦合效率都较低。J.J.Degnan^[2]分析表明,调谐宽度是激活长度L₁、小信号增益g₀、碰撞宽度Δν_{coll}、反射镜及光栅反射率r₁, r₂的函数,且谐振腔

自由光谱间隔c/2L的范围对实际能获得的调谐带宽有直接的限制作用。

为了增加光栅分辨邻近谱线的分辨率,减弱自由光谱间隔对调谐宽度的限制,以增大激光器的频率调谐范围。于是出现了第二代可调谐波导CO₂激光器谐振腔。M.Chapman^[3]等人在光栅前面某一位置上加一单透镜,如图2所示。望远镜如图3所示以增大光栅被激光束照射的覆盖面,提高光栅的分辨率。

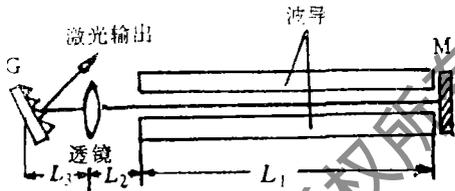


图2 普通光栅腔中置入一单透镜
M₁—反射率为r₁的反射镜
G—反射率为r₂的光栅

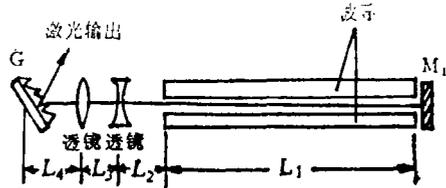


图3 普通光栅腔中置入望远镜
M₁—反射率为r₁的反射镜
G—反射率为r₂的光栅

T.Matsuhima^[4]等人在谐振腔内加入CdTe电光调制器, Merkle^[5]等人在谐振腔内加入Fox-Smith选模器,如图4所示。T.Matsuhima^[6]等人同时在谐振腔中加入Fox-Smith选模器及CdTe电光调制器,如图5所示,以使激光频率调谐范围受自由光谱间隔的限制减到最小程度,都获得了较满意的结果。但这类谐振腔的激光器结构复杂、尺寸大、调整困难,失去了波导CO₂激光器紧凑、小型的优点。

为了保持波导CO₂激光器结构紧凑、小型的特点,又要提高光栅的分辨率、减小自由光谱间隔对调谐宽度的限制,人们不断摸索新的谐振腔结构,于是出现了第三代调谐谐振腔——复合光栅腔,如图6所示。

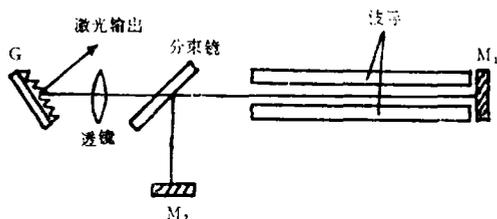


图4 普通光栅腔中置入Fox-Smith选模器

M₁—反射镜 M₂—反射镜 G—光栅

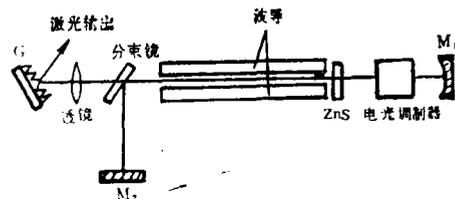


图5 普通光栅腔中置入Fox-Smith选模器及CdTe光电调制器

M₁—四面反射镜 M₂—反射镜 G—光栅



图6 复合光栅谐振腔

M₁—反射镜 M₂—一半反射镜 G—光栅

复合光栅腔跟普通光栅腔不同，在谐振腔中加一反射镜M₂，这样，光栅与反射镜M₂组成F-P腔。相当于一个F-P干涉仪，它们与M₁一起组成复合腔。改变腔长L₂可连续改变F-P干涉仪的总反射率，这样可用来选择支线并使之最强。G.J.Erstad^[7]等人对复合光栅的调谐特性进行了详细的研究。该谐振腔改善了光栅的分辨率和角分辨率，提高了谐振腔的有效反射率，减小了耦合损耗，减少了光栅上的吸收、反

射损耗及光栅所承受的光辐射强度。利于实现单纵模运行。保证激光腔在调谐过程中，其中心支线的增益总高于其它支线的增益，而且在模式竞争中占有优势，使不同分子谱线间或邻近纵模间的竞争效应不影响调谐带宽，复合光栅腔完全展示了这些特点。因此，复合腔结构的可调谐波导CO₂激光器对争取较大范围的调谐，稳定支线，增大可调谐线数目都很有利，而且复合腔结构简单、紧凑、小型、易于调整和准直。毫无疑问，复合光腔的这些特点展示了中红外波段可调谐RF激励波导CO₂激光器光明的应用前景。

三、RF激励的宽调谐波导CO₂激光器

宽调谐RF激励的波导CO₂激光器近年来以其新颖的谐振腔、紧凑的结构、较好的中红外波段、较宽的频率调谐范围引起了人们的极大兴趣。国外许多高校、研究所对这种调谐激光器进行了广泛的研究。

1. RF激励的低气压普通光栅调谐的波导CO₂激光器

1985年，苏联莫斯科工程物理研究所的Gerasimchuk^[8]等人利用普通光栅腔进行了RF激励波导CO₂激光器可调谐特性的研究。

当混合气体比例为CO₂:He:Ne:Xe=1:8:0.5:0.25，混合气压120Torr，波导尺寸180mm×1.5mm×1.5mm时得到了频率调谐宽度500MHz，当混合气体比例CO₂:He:Ne:Xe=1:10:0.5:0.25，混合气压150Torr，波导尺寸180mm×1.4mm×1.0mm时得到了几支P支线800MHz的调谐带宽。研究还表明，通过改变矩形波导的横截面，选用合理的波导尺寸，可望进一步增大RF激励的波导CO₂激光器的频率调谐宽度。

1986年英国霍尔大学的Hill^[10]等人对RF激励的波导CO₂激光器的宽调谐特性进行了理论及实验研究,同样利用普通光栅腔结构。

从实验中得到了P(16)支线的调谐宽度 $\geq 500\text{MHz}$,输出光功率50mW,并对波导孔宽度对调谐宽度的影响进行了较为详细的研究,波导孔宽度在最佳值时偏离变化 $5\mu\text{m}$,其频率调谐宽度将变化100MHz。他们还对RF激励的波导CO₂激光器普通光栅腔,在调谐过程中发生的跳支现象、模式跳动、拍频效应进行了较为详细的理论研究,结果表明,细微的改变波导孔宽度有助于消除在调谐过程中出现的跳支、跳模、拍频等现象。

2. RF激励的高气压复合光栅调谐的波导CO₂激光器

为了充分利用波导CO₂激光器运转气压高的特点,1987年Matacciniak^[11]等人提出了一种RF激励的高气压复合光栅腔波导CO₂激光器结构,如图7所示。

大量的实验结果表明:当RF激励功率从20W变到40W,激励频率从100MHz变到150MHz,充气气压从450Torr变到500Torr,气体成分比例He:CO₂从11:1变到13:1时,获得了 $10.6\mu\text{m}$ CO₂的P(20)支线频率调谐宽度从1.4GHz变到1.54GHz,输出光功率为125mW变到290mW的满意结果。

3. RF脉冲式激励高气压复合光栅腔波导CO₂调谐激光器

由于RF激励的波导CO₂激光器易于电调制,1983年,挪威防御研究中心的Stianlovd^[11]等人提出一种RF脉冲激励复合光栅调谐的波导CO₂激光器,如图8所示。

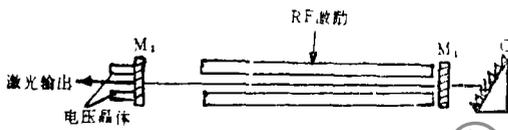


图7 RF激励的高气压复合光栅腔
波导CO₂激光器

M₁—反射镜 M₂—输出镜 G—光栅

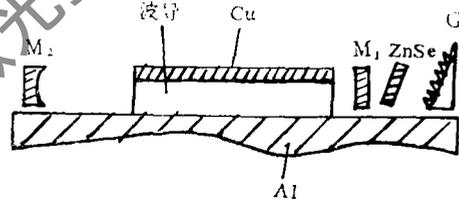


图8 RF脉冲激励复合光栅高气压
波导CO₂激光器

M₁—反射镜 M₂—输出镜 G—光栅

在复合光栅腔中再插入一块ZnSe片,通过调节光栅及ZnSe片与光轴的夹角,可以得到R(12)至R(26) $10.4\mu\text{m}$ 每一支谱线的调谐宽度3GHz。该实验研究表明,增加RF注入功率可望得到 $9.4\mu\text{m}$, $10.6\mu\text{m}$ 的所有P支及R支支线。

四、应用前景

目前,直流激励的可调谐波导CO₂激光器在许多实验室有广泛的应用,但在大型工程、军事应用上碰到一些困难,新型崛起的RF激励的可调谐波导CO₂激光器正在逐步取代直流激励波导CO₂激光器,以充分利用 $10.6\mu\text{m}$ 波段处于“大气窗口”的特点。这已经引起多方面的重视,RF激励的可调谐波导CO₂激光器未来应用领域归纳如下:1.激光大气通信中,较宽的频率调谐范围使激光大气通信可传输大容量、高保密信息。2.激光雷达中,卫星轨道上物体的运动多普勒频移 $\Delta\nu = v/\lambda$, v 为物体运动速度,通常多普勒频移 $\Delta\nu$ 高达吉赫兹,波导CO₂

激光器的宽可调谐范围特点正好满足多普勒跟踪的要求。3.在激光制导中,对激光器输出功率、模式及频率可调特性有较高的要求。4.高分辨率红外光谱分析及激光大气测污染中,要求激光器在测量时间内稳定振荡在一个支线及较宽的频率调谐范围。

五、结 论

RF激励的可调谐波导CO₂激光器经历了十年的发展,从CO₂激光器的出现,射频激励技术的开拓到较宽的频率调谐特性,发展之迅速,影响之深是不多见的,虽然宽调谐RF波导CO₂激光器还有许多问题有待解决,还不如直流激励波导CO₂激光器那么普遍,那么成熟,但是,从发展需要来看,这种宽调谐激光器具有结构紧凑、小型、简单、易于调制、可调谐范围大以及其波长处于“大气窗口”等诱人的优点。可以预言,这种宽调谐激光器90年代将有重大的发展。

参 考 文 献

- [1] Holahan A M, Prunty S L. *Infrared Phys*, 1983; 23(3): 149~156
- [2] Degnan J J. *J A P*, 1974; 54(1): 257
- [3] Chapman M, Heckenberg N R. *Int J IR and MM*, 1987; 8(7): 783
- [4] Matsushima T, Nakajima N, Tamura M *et al.* *Int J IR and MM*, 1986; 7(10): 1585
- [5] Merkle G, Hepper J. *IEEE J Q E*, 1983; QE-19(11): 1663~1667
- [6] Matsushima T, Nakajima N, Sueta T. *Int J IR and MM*, 1989; 10(10): 1311
- [7] Ernst G J, Witteman W J. *IEEE J Q E*, 1971; QE-7(10): 484~488
- [8] Gerasimchuk A G, Kornilov S T, Protsenko E D. *Soviet J Q E*, 1986; 16(8): 1089
- [9] Christopher A H, Monk P, Denis R H. *IEEE J Q E*, 1987; QE-23(11): 1968
- [10] Matacciniak H C, Goodwin F E. *USP*, 4677635, 1987
- [11] Stianlovold, Gunnarwang. *IEEE J Q E*, 1984; QE-20(3): 182

* * *

作者简介: 谢小川, 男, 1964年6月出生。硕士。现从事激光技术工作。

收稿日期: 1991年11月6日。

· 简 讯 ·

二极管泵浦固体激光器

ADLAS/A-B激光公司推出二极管泵浦固体激光器的完整系列产品,新近增加有DPY 420系列,其中有1064nm连续输出2W和1319nm小于800mW运转的产品。420系列调Q Nd:YLF激光器峰值脉冲能量在1047nm时小于300μJ, 523nm时小于120μJ。还可提供四倍频的262nm器件产生小于15μJ的峰值能量。所有DPY420系列激光器都在TEM₀₀模运转。

译自L&O, 1992; 11(1): 22 于祖兰译 巩马理校