

二氧化碳选频激光器制作中的若干问题

北京大学物理系激光专业 中国科学院环境化学研究所技术室

通常的二氧化碳激光器，它的发射谱线在 10.6 微米附近随机地变化。但是，如果在激光器中装有选频元件，就能控制和调节它的发射波长。二氧化碳选频激光器在红外和喇曼光谱技术、光雷达和通讯、大气传输测量、环境污染检测、同位素分离、频率标准研究、非线性效应研究，以及作远红外和喇曼激光器激励源等方面均有广泛的用途。为适应不同的用途，从结构上说，有横向高压的、波导式和纵向电激励的选频激光器。二氧化碳选频激光器不仅能发射 10.4 微米带和 9.4 微米带激光，还能在其它若干振-转带上产生受激发射。

在选频激光器中关键元件是选频元件。不同用途的器件可以用不同的选频元件，通常采用平面反射光栅。

这里将介绍我们在试制空气污染检测用二氧化碳选频激光器中遇到的一些问题。这种器件是半内腔式的，用光栅选频，可在 10.4 和 9.4 微米两个带内选择发射波长。我们曾用 2.4 米、1.5 米、1.2 米和 1 米长放电区的激光管作过试验。2.4 米长的激光器能发射 80 多条谱线。我们还使用复制光栅(150 线/毫米)制作了比较小型的器件。上述这些器件的电气部分以及充气与普通二氧化碳激光器类似，不再叙述。这里将只介绍与选频有关的一些问题。

光栅选频的二氧化碳激光器的示意图如图 1 所示。现就有关元件和问题分别概略地介绍如下。

1. 光栅

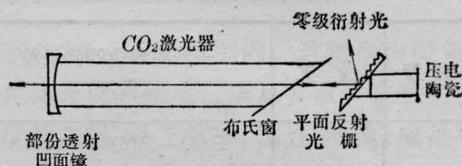


图 1

作激光器振荡选频用的反射光栅不同于光栅光谱仪中使用的光栅。它得设计成对工作波长不能有高于 1 级的衍射。为达到这一要求，光栅刻线的间距 d 限于 $0.5\lambda < d < 1.5\lambda$ ， λ 是工作波长。球形凹面光栅和全息光栅都不宜作激光器选频用。原刻平面反射光栅的基底有用玻璃的或金属的。金属基底的优质原刻反射光栅，在红外区的工作波长，能耐受腔内连续功率密度 10^3 瓦/厘米² 的照射。在金属基底上复制的光栅可耐受 50 瓦/厘米²。耐受脉冲功率密度约各高 4 个数量级。

表 1

光栅刻线密度 (线/毫米)	光栅转角变化 (对于 $\lambda=10$ 微米, $\Delta\lambda=0.01$ 微米)
66	1.2'
80	1.5'
100	2.0'
120	2.6'
135	3.1'
150	3.9'

波长 10 微米附近工作的光栅通常为 80~150 线/毫米。刻线密度愈大，光栅的色散就愈大。表 1 中列出了对 6 种不同刻线密度的光栅，在 10 微米附近，振荡的激光波长变化 0.01 微米时，光栅转角的相应变化。

我们曾用过 66 线/毫米的光栅,它对 10.4 微米带的 P 支线(>10.4 微米)还可以用,但对 R 支的色散就不够大。为选择合适的光栅,在表 2 中列出了各带各支中一些相邻线的波长差以供比较。如果希望在 9.2 至 10.8 微米之间均有良好的选频作用,则应当选择 100~150 线/毫米的光栅。

表 2

发射带	线支	一些相邻线的波长差 (微米)
10.4 微米带	P支	P(8) - P(6) 0.018
		P(20) - P(18) 0.020
		P(50) - P(48) 0.025
	R支	R(6) - R(8) 0.016
		R(18) - R(20) 0.014
		R(48) - R(50) 0.010
9.4 微米带	P支	P(8) - P(6) 0.016
		P(20) - P(18) 0.017
		P(50) - P(48) 0.021
	R支	R(6) - R(8) 0.013
		R(18) - R(20) 0.011
		R(48) - R(50) 0.007

光栅的安置方式有严格的要求。光栅的刻线应当与布儒斯特窗的入射面垂直,即偏振光的电矢量应当垂直于刻线;如果平行,则光栅的衍射效率远远降低。光栅的刻线必须与光栅的转轴平行,否则可调节的光谱范围变窄。另外,如果光栅很小,光栅的转动轴线应当接近光栅的中央刻线。

2. 布儒斯特窗

在我们的激光器上用过氯化钠和砷化镓两种布儒斯特窗片。氯化钠易潮解,需采取抗潮解保护措施。氯化钠的机械性能比砷化镓差得多,例如长轴为 5 厘米的砷化镓窗片,只要厚 1.25 毫米就可以避免形变和破裂,而用同样尺寸的氯化钠片,在具有相应的机械性能时,理论上预计需厚 9 毫米^[1]。在波长 10 微米附近,掺铬高阻砷化镓的吸收系数为 0.015~0.02 厘/米,它比氯化钠的吸收系数

大一个数量级,然而砷化镓窗片可以薄得多,所以总吸收只增加很少。砷化镓对可见光是不透明的,不过,这对凹面镜完全固定在管端的激光器,光栅位置的调整不致于发生麻烦。此外,碲化镉和硒化锌更合适作这种窗片,硒化锌还对可见光透明,所以更为有利。

在 10 微米附近,氯化钠和砷化镓的折射率各为 1.49 和 3.3,对应的布儒斯特角各为 56°8' 和 73°10'。在窗口上安装时,对氯化钠片如果偏差小于 ±1°,对砷化镓片如果偏差小于 ±0.5°,则由这偏差引起的腔内损耗可以略而不计。提高此角的精度也无必要,因为事实上片子表面过渡层中折射率并非恒量。碲化镉和硒化锌的布儒斯特角各为 69°30' 和 67°30'。在这波长区域,在室温下锗与砷化镓的吸收系数差不多,不同的是,高阻砷化镓在 200°C 以下,吸收几乎与温度无关,当高于 400°C 才随温度迅速增加,然而锗,当高于 40°C 时,吸收随温度很快增加。故锗不宜作腔内布儒斯特窗片。

3. 激光输出问题

激光输出可采用多种方式,光栅选频的激光输出常用下述两种方案。光栅选频激光器的谐振腔由凹面镜和光栅组成,如果在镀金的凹面镜中央开一小孔,外面再封以红外窗片,激光可从小孔输出。较好的是用锗或砷化镓镜,其凹面镀增反射膜,其另一面(平面)镀增透射膜,由镜子的部分透射输出激光。另一种取用激光的方案是利用光栅的零级衍射光。这时凹面镜用全反射镜,因此激光器腔的品质因子提高,从而可获得更多的振荡谱线;不过,激光从腔内输出的比值完全由光栅本身决定,这比值是比较小的,一般不是最佳输出比。光栅的零级衍射光束的方向是随光栅的转动而变的,然而这是可以克服的,用一附加的反射镜来反射这一光束,当此镜的表面与光栅表面的交线就是光栅的转动轴线时,激光束的方向可以保持不变。

4. 腔长的稳定与控制

欲使激光的频率和强度稳定,腔长必须稳定。稳定腔长的基本措施是,凹面镜与光栅之间的连结体应是石英、殷钢或花岗岩材料。如果要求更高的稳定度,则还需要恒温措施,甚至采取热膨胀补偿设计。对于腔长较短(比如说1米以下)的二氧化碳激光器,它发生的是单纵模振荡,对这种情形,当光栅已转到合适位置时,可能腔长离满足振荡条件(半波长的整倍数)较远,激光输出很弱。为使激光输出最强,必须调节和控制腔长,一般是用压电陶瓷推动光栅或腔镜来实现。

5. 波长标定

激光器中光栅的位置通常是用调节装置上的刻度来指示的。波长标定就是确定指示值与波长的对应关系。标定方法之一是用大色散的光谱仪器测量激光波长,这要使用贵重仪器。我们是利用对二氧化碳的激光吸收光谱为已知的气体来标定的。方法是这样,首先,用红外探测器测量出激光强度出现峰值所对应的光栅位置,然后,例如标定10.4

微米带的P支线,可用乙烯气体测量它的透射光谱或吸收光谱,探测到的突出强的吸收峰位置对应波长10.532微米,即为该带的P(14)线。它的长波方面依次出现的线为P(16)、P(18)、P(20)、...,短波方面依次为P(12)、P(10)、P(8)、...。已知^[2]乙烯对10.4微米带的R(24)线有比较强的吸收,氨气对9.4微米带的P(12)和R(16)有比较强的吸收,可以利用它们来标定对应支线的波长。

6. 激光器的维护

激光器上的光栅、布儒斯特窗片和部分透射的介质膜镜,都应当有防尘保护。尤其是光栅和布儒斯特窗片,它们位于腔内,上面的灰尘受腔内的高功率密度激光照射后,烧焦或烧熔,并粘附在其上,由此导致逐渐积累的损坏。

参 考 资 料

- [1] B. S. Patel; *Appl. Opt.*, 1977, **16**, No. 5, 1232.
- [2] R. R. Patty *et al.*, *Appl. Opt.*, 1974, **13**, No. 12, 2580.

激光纤维通信系统联试成功

激光纤维通信具有容量大、保密性好、较经济等优点,是一个崭新的通信手段,国外已趋于实用化的发展阶段。

在英明领袖华主席为首的党中央关于召开全国科学大会通知精神的鼓舞下,中国科学院有关研究所积极开展半导体激光纤维通

信的研究,并于1977年10月成功地联试了三个通信系统。实验表明所研究的部件和系统达到了国内较好水平,尤其光纤损耗有了新的突破,为我国光通信走向实用化作出了重要贡献。