

石英分段放电管低噪声 3.39 微米 氦-氖激光器的研制

杜继祥 胡泰康 尹芳雄

(煤炭工业部煤炭科学研究院抚顺研究所)

Development of a low noise 3.39 μm He-Ne laser with quartz discharge tubes of separate sections

Du Jiexiang Hu Taikang Yin Fangxiong

(Fushun Coal Research Institute, Ministry of Coal Industry)

Abstract

A low noise 3.39 μm He-Ne laser with quartz discharge tubes of separate sections is developed. Compared with the device of ordinary quartz discharge tubes, the noise levels of laser output modulated by environmental noise and discharge current are suppressed by 20 db. The output characteristics of the laser have been improved obviously.

一、氦-氖激光器主要噪声的 来源和抑制方法^[1]

氦-氖激光器存在各种噪声,产生的机理和来源很不一致,各类噪声的级别也不一样,我们只就最主要的,对激光输出性能影响颇大的两种噪声及抑制方法予以讨论。

1. 外部噪声

外部噪声诸如热学的波动、声学的和机械的振动、电极的颤动等导致共振腔轴向长度变化和反射镜中心线的偏转。前者引起振荡频率的起伏,因而引起输出功率的起伏;后者主要使腔内损耗增加,也直接影响输出功率。这些噪声频谱主要分布在低频范围内。

随着振动频率的升高,腔的振动幅度很快衰减,在几十赫范围的振动振幅数值比高于一千赫处的数值大 40 分贝左右。抑制外部噪声可采取防震、隔离以及采用反射镜和谐振腔固定在一起的内腔式结构,选取低膨胀系数材料制作激光管等方法。

2. 电流调制噪声

直流冷阴极放电引起的电流调制噪声或称激励噪声,是氦-氖激光器噪声最重要的来源。冷阴极发射电子的起伏、电极振颤引起的电流摆动,除此而外,主要是放电时在阴极附近产生的移动辉纹,这些原因交织在一起使激光器的辉光放电不均匀,形成管内的空间电荷密度波,以正柱的形式由阴极向阳

收稿日期: 1979 年 3 月 1 日。

极移动,到达阳极时形成很大的振幅,引起等离子体密度的规则的或随机的波动,从而造成输出功率百分之几的波动,有时竟达20%。

若放电长度很短,工作电流较小时,几乎不出现电流调制噪声,有时存在一些较小的噪声是由于阴极发射的起伏效应造成的。随着放电长度增加或放电电流增大,大的噪声开始出现,同时出现了稳定的移动辉纹,噪声频率约在几十千赫到几百千赫之间。随着放电电流的进一步增加,噪声迅速增加到某个数值,然后逐渐趋于饱和,噪声变成无规则的。消除电流调制噪声的方法可以使用外电路控制^[2,3]或改进放电管结构^[4,5]。

分段式放电管抑制放电噪声器件的结构示意图如图1。器件的放电管由若干段短的放电单元管组成,各单元管之间留一定的空间间距,当伴有移动辉纹的空间电荷波迁移到间隔位置时,由于断面突然扩大和电流密度突然下降的缘故,使电荷波消失,从而消除噪声。



图1 分段式放电管结构简图

另一方面,噪声频率的放大和管径的平方成反比的关系,空间电荷波在细管中得到放大,到达粗管部分时,粗管直径不利于放大这些较高频率,反而有所衰减。整体看来,得到的是无波动的放电。

分段式放电结构设计方法如下:管内噪声的放大,必须满足正反馈条件,存在正反馈放大因子 A ;为抑制噪声振荡,可在 A 上加一阻尼因子 A' ,但不损失激光增益,即

$$A_0 = AA' \quad (1)$$

放电管用若干彼此分离的短管组成,各段短管之间套着大直径的储气管, A_0 由下式表示:

$$A_0 = \exp \{ \alpha n l_0 + \alpha' (n-1) b \} \quad (2)$$

式中 α 和 α' 分别是放电管和间隔中噪声的放大系数, n 是短管的总数, l_0 是短管的长度, b 是间隔长度。 α 一般是正的, α' 一般是负的;放电管长度 $l = n l_0$ 由所需的激光功率给出;根据式(2)确定 l_0 、 n 、 b 各变量。

放电管长度正比于单程激光增益。所有各分段短管长度的总和 $n l_0$ 若与普通不分段放电管长 l 相等时,可以有相同的输出功率。因为在分段管的间隔中,电流密度突然减小为原来的几十分之一,吸收是很小的,不会使激光增益明显地损失;但从总的效率来讲,不可避免地要降低一些。

二、3.39 微米低噪声器件的设计

我们设计的低噪声器件,目的是为了获得稳定输出功率,而从材料和几何结构方面来考虑的。即采用熔融石英为制管材料的内腔式结构以降低外部噪声;采用分段式放电管结构以消除电流调制噪声。

1. 熔融石英材料的采用

熔融石英是作管的极好材料,因为它具有很低的热膨胀系数,常温时的值大约为 5×10^{-7} ,比一般制管常用的3C-11玻璃或95玻璃的线膨胀系数低7~8倍。它又有优于所有硬玻璃制管材料的极好的机械强度和大于 1000°C 的骤变温度,不容易炸裂;滞后作用较小,在吹制过程中很少存在残余应力;材料化学性能稳定,对气体的污染很小。虽然熔融石英的软化温度高于 1500°C ,烧制时要用氢氧焰,这些困难仍然没有超出标准的玻璃吹制技术范围。但熔融石英对氦的吸附和渗透逃逸效应严重,久了会使毛细管中氦气减少,缩短激光器的寿命,这是这种材料的重大缺点。本文将要叙述抵制氦逃逸的简易方法。

采用熔融石英制作内腔式器件,大大地降低了由于周围环境的温度变化和振动造成

的腔长度变化而带来的输出功率的变化,使外部噪声大大降低。

2. 分段式放电方法的采用

我们采用分段式放电管方法抑制电流调制噪声,它不象外电路法另加一套复杂的控制系统;分段式放电方法除放电部分分割成若干短管,烧制工艺较特殊以外,它和普通器件一样具有相同的外形,输出功率大小相类似,牢固,使用方便,无任何特殊要求。

设计的放电管总长度 $l=200$ 毫米,分四段,即 $n=4$;每段短管的长度 $l_0=50$ 毫米,用内径 3 毫米、外径 7 毫米的熔融石英毛细管制成;短管与短管的间距 $b=15$ 毫米。

3. 腔结构和等离子体参数

器件采用了内腔式结构。腔长 $L=330$ 毫米;全反射镜基片为 $\phi 20 \times 3$ 毫米的光学玻璃;凹面曲率半径 $R=1000$ 毫米,蒸镀硫化锌—氟化镁介质膜 13 层;输出镜基片材质为 $\phi 20 \times 2$ 毫米的透红外 YSX 石英光学玻璃平面镜,蒸镀硫化锌—氟化镁 9 层,中心波长 3.39 微米。图 2 为设计的器件几何结构示意图。阴极、阳极以旁轴式接在储气管的两侧。阴极以高纯铝片作成 $\phi 13 \times 90$ 毫米的有底圆筒,以钨杆为支撑体烧接在 3C-11 玻璃套管内,因 3C-11 玻璃可与钨直接烧接。阳极为钨杆,烧接在一 3C-11 玻璃套管内。两个套管与熔融石英储气管相接时,须在二者之间加接过渡材料。处理铝冷阴极时充以 2 托空气,以 3 毫安/厘米² 的电流密度放电 40 分钟,生成氧化薄膜,以减少溅射。

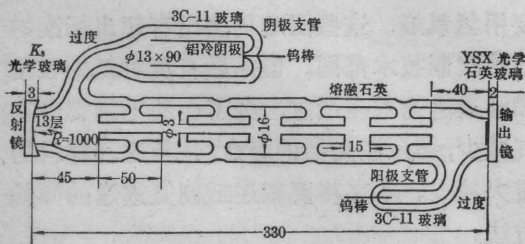


图 2 内腔式石英分段放电管低噪声 3.39 微米氦-氖激光器示意图

器件的工作气体用光谱纯级的氦、同位素氖²⁰。确定 $Pd=13\sim 16$,这个数值是从经验和配气实验取得的。因而确定了充气总压力 $P=5.4$ 托。由配气实验得氦氖²⁰分压比 $13\sim 14:1$ 为最佳值,但现在我们取分压比为 $17:1$,即充氦 5.1 托,氖²⁰ 为 0.3 托。这里的氦压比最佳值偏高 0.9 托,但还接近最佳值,输出功率略有下降,放电很稳定。氦压偏高是为了抵偿熔融石英器件长时间的氦气逃逸,使管内维持一定的氦压,不致影响激光振荡,且能获得长寿命。工作电流为 4~5 毫安,这个范围放电稳定,噪声小。当管子输出功率最大时的放电电流为 16 毫安。

三、工艺要点

1. 熔融石英材料的预处理

为抵销氦气逃逸而将石英材料进行预处理。选定合格的管材,加工前作好清洁工作,用接近 1000°C 的氢氧焰烘烤管体及毛细管各部分,接至排气架上抽 $10^{-4}\sim 10^{-5}$ 托的真空。目的是将材料内壁吸附的各种气体排除干净,然后充以 3 托的氦气,封断备用。充氦后管子内壁饱和吸氦而没有其它气体残存;处理过的材料制成激光器件一般可以维持长寿命。更加有意义的是:石英毛细管在激光器内部,烘烤温度达不到里边,单靠放电处理不易把杂气驱除净尽,用这个方法非常适合。

2. 分段短管的烧接和准直

把选定的石英毛细管的一端烧作喇叭口,同样再烧另一根的一端成喇叭口。将喇叭口对齐,合在一起再烧成一圆片,此圆片直径与将要同它配合的储气管内径相同,并作为放电管的支撑体。将圆片前后的石英毛细管各长 $l_0/2$ 处割断,此时的分段短管长为 l_0 ,中部为圆盘支撑体。

各分段短管作成后,将第一段管置于储气管内适当位置,凭视觉三点法仔细对正,转

动管身看同轴程度；用氢氧焰烧支撑圆片与储气管的接触处，两部分由于受焰软塌在一起，接上后静置。

将第二段管放入储气管另一适当位置，借助一根与分段短管内径相同的光滑钨棒插入第一段短管，穿透后又插入待接的第二段短管，转动对正后烧接上。同法将各段短管接好，取去钨杆。由于撤去火焰后温度降低，应力变形又造成准直度的偏差，仍旧用火焰烘烤，来回转动，借管壳受焰变软时支撑片位置作微小调整，逐一地达到各段精确同轴与准直。

3. 阴极、阳极支管和储气管的对接

两极支管材料用 3C-11 玻璃，因它属钨玻璃，可直接与钨相接。为保证密封性能，钨杆应清洗磨光，加热使其表面呈蓝绿色的氧化层，然后套以薄玻管再烧呈橙黄色，此时烧上 3C-11 玻璃支管。当支管与熔融石英储气管对接时，须加用膨胀系数介于二者之间的过渡材料，否则不易接牢，或随温度骤变而断裂。

四、寿命问题

有些文献中关于延长寿命曾经提出氦气抵偿技术，如双气室平衡氦压法和敷涂低渗透率玻璃法^[6]，由于工艺原因较难实现。我们的措施，一是石英材料的预处理，二是适当提高氦的充气压力。实际经验证明，两种措施之后，显然抵偿了氦的渗透逃逸，延长了器件寿命。多数器件能够维持一年以上的寿命（指制成到不出光的全部时间），较长寿命达到二年多。对各器件停振的原因进行了观察，发现毛细管壁有点状污物停留，反射镜面出现漏光小点，这些东西存在使器件停振。在这里，应从阴极溅射、介质膜破坏及其它污染方面找原因，决不是氦气逃逸产生的。也有少数器件寿命很短，观察证明它们由于粘片不良而漏气，所以不出光，没有发现由于氦气

减少而停振的管子。

五、器件的工作特性

分段管在腔中的几何安排和它们之间的准直程度，直接影响器件的质量。1976 年 6 月，我们用熔融石英作了四支管子。腔长度、等离子体各参数都相同，两支分段放电，两支不分段放电。四管都能正常出光，但分段式管子输出功率偏低。研究了偏低的原因，发现某段短管的准直度有偏离；另一支管子的第一段短管的位置挡住了阴极支管，使放电通路阻抗增加，影响了激光增益。以后制管时作了改进，克服了上述问题，输出功率已接近不分段的器件。1978 年 1 月，将各参数相同的两支管子（一支分段，一支不分段）送中国计量科学研究院检定了输出功率情况，两管的对比情况见表 1。

表 1 两种石英 3.39 微米氦-氖激光器输出功率

名称	放电管总长度 (毫米)	放电管直径 (毫米)	充气总压力 (托)	分压比 $P_{He}:P_{Ne}$	工作电流 (毫安)	输出功率 (毫瓦)	备注
分段式	200	3	5.4	17:1	7.2	1.9	分四段 $n=4$, $l_0=50$, $b=15$
不分段	235	3	5.4	17:1	6.3	2.1	

各项最佳参数的选用，因当时缺乏具体文献查考，有些参数是从实验取得的。同波长类型的器件，随后见到国外仅有日本 1977 年 8 月发表的文章^[7]，除制管材质、腔式不同之外，多数参数和我们接近，个别差别仍很大。由于没有发表输出功率、噪声水平的具体数值，无从作详细的对比，仅列出两种器件主要参数作一大致的类比，见表 2。

1978 年 11 月，我们将分段和不分段的两支管子送中国计量科学研究院检测了噪

表2 两种石英3.39微米分段放电管氦-氖激光器各项参数对照表

制造单位	制管材料	腔型	工作气体	充气压力(托)	分压比	Pa值	放电管径(毫米)	放电总长(毫米)	分段长度(毫米)	总段数	间隔长度(毫米)	储气管内径(毫米)	工作电流(毫安)	阴极材料	放电极安排	输出功率(毫瓦)	最大电流(毫安)
日本计量研究所	派勒克斯	外腔	He, Ne ²⁰	5.7	9:1	17	3	219	73	3	23		4~5	铝合金冷阴(氧化)	旁轴		14
自制	熔融石英	内腔	He, Ne ²⁰	5.4	17:1	13~16	3	200	50	4	15	16	4~5	铝冷阴(氧化)	旁轴	1.9	16

声, 结果见表3。

表3 石英分段和不分段器件噪声比较

放电电流(毫安)	分段式噪声(分贝·米)	不分段噪声(分贝·米)
2.0	-90	-70
2.5	-90	-70
3.0	-90	-73
3.5	-85	-74
4.0	-83	
4.5	-83	-75
5.0	-83	-77
6.0	-82	-80
7.0	-82	-70
8.0	-82	-80
9.0	-80	-60
10.0	-78	-60

即使材料和参数都一样, 分段器件比不分段器件噪声水平小两个数量级。工作电流在4~5毫安时放电很稳定。不分段器件噪

声随放电电流的跳动要频繁得多, 相对稳定范围较小。从这些初步数据来看, 石英材料分段放电器件的进一步研制, 有可能做到把噪声水平限制在千分之几^[8]。

参 考 文 献

- [1] A. J. Wallard; *J. Phys. E. Sci. Instr.*, 1973, No. 6, 793~807.
- [2] *J. Phys. E. Sci. Instr.*, 1971, 4, No. 4, 274~276.
- [3] *ITD*, 1974, № 3, 168~169.
- [4] Takeo Suzuki, *IEEE J. Quantum Electronics*, 1969, QE-5, No. 2, 132~133.
- [5] Takeo Suzuki; *Japanese J. Appl. Phys.*, 1970, No. 9, 309.
- [6] W. N. Peters, E. K. Stein; *J. Phys. E. Sci. Instr.*, 1970, 3, No. 9, 719~721.
- [7] 大井みさほ, 秋元义明; 应用物理学会志, 1977, 46, No. 8, 832~835.
- [8] A. J. Wallard, P. T. Woods; *J. Phys. E. Sci. Instr.*, 1974, No. 7, 207~212.

(上接第64页)

微调: 俯仰角 ±7°

周视角 ±7°

升降微移 10mm

水平微移 20mm

光源: 6V 15W 白炽灯泡 (GY6-15F)

与 6V 30W 白炽灯泡

(GY6-30F)可互换。

外形尺寸: 33.5cm(长)×27.4cm(宽)
×30cm(高)

仪器重量: 15.5kg

木箱大小: 36cm(长)×30cm(宽)
×39cm(高)

仪器总重: 18.7kg