

内腔式简易 He-Cd 激光器的制作

熙 健

(武汉地震大队地震仪器厂)

提 要

简述 He-Cd 金属蒸气激光器的工作机理。给出一种简单的分段结构的内腔式 He-Cd 激光器的制作工艺和初步的实验结果。此种结构也可按使用的需要而制成半内腔式或外腔式的激光器。

1968 年国外实现了 He-Cd 的 4416\AA 激光振荡后,接着又获得了 3250\AA 的激光振荡。由于 He-Cd 激光器在 4416\AA (深蓝)和 3250\AA (紫外)波长上能获得较强的连续输出,而且是在 100 毫安以下的低放电电流下获得的,并可望应用于全息照相和彩色显示等方面,所以它一出现后即引起人们的注意,成为一种典型的中小功率离子激光器件。

初期的 He-Cd 激光器在靠阳极端附有一个盛金属镉的镉池,利用外加电源加热镉池来提供镉蒸气,由电泳效应使毛细管内获得镉蒸气分布,但是所得到的镉蒸气是不均匀而又不稳定的。由于带正电的镉离子向阴极流动,所以经过一定的时间后,需要将正负电极切换,以便从阳极和阴极消除金属堆积物。后来人们在正负电极之间使用一种与氩和氦离子激光器相类似的旁路,不仅可使噪声降低,而且延长了使用寿命。但是仍保留了镉池和外加的加热电源。1971 年出现了采用分段管结构制成的一种简易的低噪声 He-Cd 激光器。由于它的增益足够高,使用天然镉即可以制成高效率袖珍式激光器。在 25 厘米的放电长度中,可在 4416\AA 波长上获得 10 毫瓦和在 3250\AA 波长上获得 2.5 毫瓦的连续激光输出。它不需要附属的加热器或冷却装置,也不要求带极性转换开关的复杂电源,只要一个简单的稳流高压电源即可使 He-Cd 激光器如同 He-Ne 激光器一样方便地工作。由于这种 He-Cd 激光器的性能优良,噪声低、结构简单、制作方便、成本低,因此很快得到了实际应用。

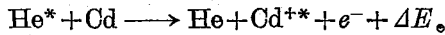
一、工作 原 理

He-Cd 激光器是一种典型的金属蒸气离子激光器。它的工作介质是氦气和加热的金属镉蒸气的混合物。它的激励机理和 He-Ne 激光器类似。Ne 的激励是由 He 的亚稳态与 Ne 原子发生共振能量转移,而从 He 的亚稳态获得激励能量的。被激励的 Ne 能级必须和 He 的亚稳态能级吻合到几个 KT 的范围以内。与此不同,对于具有上述跃迁过程的 He-Cd 激光器, Cd 的激励主要是由所谓“彭宁效应”来产生 Cd 原子的离化。所以好象它的激励能级只要处在低

于 He 的亚稳态能级就可以了。其实有多条谱线处在 He 亚稳态能级之下,而未能用彭宁效应来获得粒子数反转。可是,在用电弧放电的空心阴极结构的 He-Cd 激光器中,激励过程除彭宁电离碰撞过程外,尚有电荷交换过程起作用,所以采用空心阴极结构的 He-Cd 激光器能在 3250Å 到 8530Å 之间的十条谱线上获得新的稳定的激光振荡。

由于 Cd 离子基态 $^2S_{1/2}$ 的自发辐射而导致低能级 $^2P_{3/2}^0$ 的快速衰减(寿命 $\tau \approx 0.5 \times 10^{-9}$ 秒),而通过彭宁电离近乎共振的能量传递,有利于 He 的亚稳态能量转移到 Cd 的 2D 能级中去,而这碰撞过程的截面又较大 [$\sigma \approx (4.5 \pm 0.02) \times 10^{-15}$ 厘米²],故导致产生 Cd 离子的可观的速率,优先建立起 2D 和 2P 之间的粒子数反转,因而导致 4416Å 线和 3250Å 线的振荡。而由态 $5s^2D_{3/2}$ 到态 $5p^2P_{1/2}$ 产生的 3250Å 线是由态 $5s^2D_{5/2}$ 到态 $5p^2P_{3/2}$ 产生的 4416Å 线的同一多重态的跃迁。

在用辉光放电的 He-Cd 激光器中,激励主要是一种所谓彭宁电离碰撞过程



初始的放电电流激励了 He 原子而产生亚稳态的 He* 原子,它的寿命比其他激发态原子长。亚稳态的 He* 原子与金属蒸气原子 Cd 碰撞,把它的能量传递给金属原子,从而把金属原子 Cd 提升到一个激发的电离态 Cd⁺⁺。当这激发态的金属原子 Cd⁺⁺ 受激而跃迁到较低的能级时,就发射激光。

亚稳态的 He* 原子携带着超过电离金属原子 Cd 的能量,金属原子电离后剩余的能量,由从金属原子发射的电子 e⁻ 带走。彭宁碰撞过程发射出的自由电子 e⁻ 从放电管的电场中获得能量,且趋向于与 He 原子碰撞,并把 He 原子提升到亚稳态 He*。这些附加的受激 He* 原子产生更多的电离金属原子 Cd⁺⁺ 和更多的自由电子 e⁻。这样继续下去,放电管电场中的能量就通过自由电子和受激的 He* 原子有效地传递给受激的金属原子 Cd⁺⁺。这一特性是所谓彭宁电离碰撞激励机理的最大优点。结果使更多的电离金属原子产生激光,从而把金属蒸气激光器的输出功率提高到超过起始放电所预期的水平之上。He-Cd 激光器的输出功率和效率都超过典型的 He-Ne 激光器。

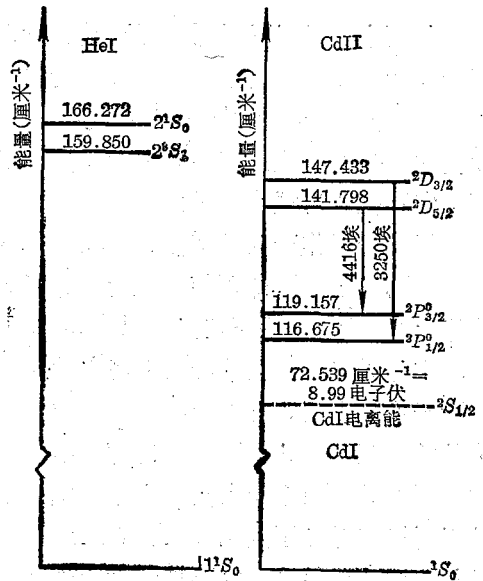


图 1 He-Cd 激光能级简图

二、激光器的结构

对于激励效率较好的金属蒸气激光器来说,主要的困难和关键的问题是来自由多方面的。腐蚀性的金属蒸气会粘附在激光管的窗口上,使得窗口或反射镜的光学性质迅速恶化。由于放电管中的电泳效应而引起 Cd⁺ 离子从阳极端向阴极端流动,所以阴极端的气压比阳极端要高。于是就在放电区产生 Cd 蒸气密度的起伏,从而使激光输出功率产生起伏,使噪声变大。还有为了使 Cd 蒸气稳定而存在的温度控制等问题。一句话,对于金属蒸气激光器,为了获得高

效率、长时间稳定的激光输出,激光管的结构仍是重要的问题。在 He-Cd 激光器中,由于使用了适当组配的具有分段管子的结构,很大程度上使上述问题都得到满意的解决,并且简化了管子结构和供电设备,同时还获得了低噪声的激光输出。

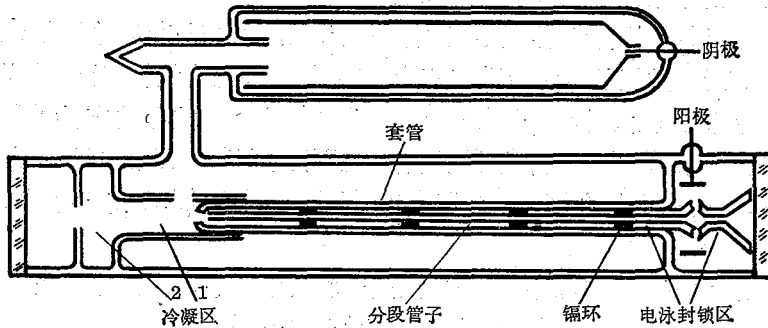


图 2 分段管结构的 He-Cd 激光管示意图

如图中所示,将机械加工的金属 Cd 环穿插在分段的毛细管之间。它们与适当配合的套管组合而形成放电激活区和镉蒸气旁通路,并借助放电同时加热放电区的金属 Cd 环来提供合适的金属镉蒸气(约 $10^{-3} \sim 10^{-2}$ 托)。这样的合理组合使 He-Cd 激光管的结构和使用都得到很大简化。分段的毛细管主要是为了放置多个金属 Cd 环,提供放电区域中的多个金属 Cd 蒸气源。它不但改善放电激活区中的金属 Cd 蒸气分布的均匀性,获得低噪声的激光输出,同时还增加了激光工作介质的增益。金属 Cd 环的间隔可能有一个最佳值,但是一般使金属 Cd 环取 6~8 厘米的间隔,即可使激光管获得稳定而均匀的激光输出。为了避免金属 Cd 蒸气在电极边缘上的堆积,一般不宜使金属 Cd 环的厚度超过 4 毫米。

在靠激光管阴极端的反射镜之前,应设有一个由外管形成的两次扩大的区域和一道玻璃挡壁来作冷凝区。它用来收集冷凝的金属 Cd 蒸气。到达第一扩大区域的 Cd 蒸气,由于离开热的放电区突然膨胀而迅速冷却,使得凝结的金属 Cd 蒸气大部分沉积在这个区域。剩下不多的金属 Cd 蒸气继续凝结而沉积到阴极区和第二扩大区及玻璃挡壁上。这样在离放电区较远的反射镜就避免了金属 Cd 蒸气的沉积和腐蚀。在阳极端,由于使用一段短的毛细管来形成电泳封锁区,金属 Cd 蒸气不易到达阳极区。虽然由于 Cd 原子的密度梯度会产生反向扩散,一些 Cd 原子就从压力较高的阴极端向阳极端作逆电泳方向的扩散,但到达阳极区的数量很少,故阳极端的反射镜可以靠放电区近些。封锁电泳的毛细管长短要适当。长一些封锁效果好,但会引起有效放电长度的缩短,对获得较强的功率输出不利;短的封锁区则对电泳的封锁效果差,部分 Cd 蒸气会扩散到阳极区,对反射镜产生腐蚀等不利影响。封锁区毛细管的长度一般有 2~3 厘米即可。

激光管中放电区的放电电流不但用来激励金属 Cd 的激光能级,而且也同时用来加热金属 Cd 环,产生放电区的金属 Cd 蒸气。通过适当的几何设计(一般在实验中最后确定),特别是对分段毛细管和套管的几何尺寸的设计和确定,可以使被加热的金属 Cd 环达到最佳温度(约 $210 \sim 250^\circ\text{C}$)所需要的放电电流接近激光激励的最佳值。

此种结构可按使用的需要而设计成内腔式、半内腔式和外腔式的管子。

三、制作中的一些问题

He-Cd 激光管最好用石英玻璃制造,也可以使用普通硬质玻璃制成。

激光管中提供最佳蒸气压的金属 Cd 环的平衡温度由整个管子的玻璃结构的温度分布决定。适当的设计不但可使加热金属 Cd 环达到最佳平衡温度所需的放电电流接近激光工作的最佳电流值,而且即使当金属 Cd 环最后蒸发完了,但恒定放电电流仍可保持适当的 Cd 蒸气压。

激光管的结构确定了激光起振所需的加热时间。典型的激光起振时间一般约 4~5 分钟,并随后达到它的最佳功率输出。对于一个套管外径为 10 毫米、分段毛细管孔径为 2 毫米的 He-Cd 激光管,最佳放电电流在 60 毫安左右。

由激光输出随 He 压的变化可以得到一个 He 压的最佳值。一般在放电毛细管孔径为 1~5 毫米范围内,He 压最佳值与毛细管孔径之乘积取一定数值:

$$pd \approx 10 \sim 12 \text{ (托} \cdot \text{毫米)}$$

p 是 He 压(托), d 是毛细管孔径(毫米)。

一般来说,较小的放电孔径有较高的增益,且容易获得较强的功率输出。同时,多个分段比单个分段有较高的增益,并且容易得到低噪声的激光输出。

通过反射镜最佳透射率的选择,可使激光功率输出达到最佳值。反射镜透射率选择范围一般在 1~4%。另一反射镜为全反射。

在选择毛细管和它的配套管时,要注意它们的管壁均厚和直线性好,使得组合后的各分段管所形成的放电区都严格地同轴,以免因各段放电区的离轴或弯曲而缩小有效的激光孔径,从而影响了增益和输出功率的提高。

四、初步的实验结果

试验的 He-Cd 激光管用 11# 玻璃制成管壳。纯铝阴极尺寸大小为 $\phi 18 \times 150$ 毫米。谐振腔由曲率半径为 1 米左右的球面全反射镜和另一平面反射镜组成。用上海试剂总厂生产的高纯镉制成镉环。输出功率未作定标测量,目前在 4416Å 的输出功率大约为 1 毫瓦左右。

寿命试验与管子的参数

管子号	毛细管径(毫米)	有效放电长度(毫米)	放电电流(毫安)	点燃时间(断续)
1	2	250	65	6个月(因管子漏气而中断)
2	1.5	250	50	2个月(因管子漏气而中断)

参 考 资 料

- [1] W. J. Silfvast, *Laser Focus*, pp. 22~24, 1969 (July).
- [2] W. J. Silfvast, *Appl. Phys. Lett.*, **13**, pp. 169~171, 1968 (September).
- [3] J. P. Goldsborough, *IEEE J. Quantum Electronics*, **QE-5**, No. 2, p. 133, 1969.
- [4] K. G. Herngvist, *Appl. Phys. Lett.*, **16**, No. 11, pp. 464~466, 1970.
- [5] W. J. Silfvast, L. H. Ezeto, *Appl. Phys. Lett.*, **19**, No. 10, p. 435~447, 1971.
- [6] 小林·氏原·神山;应用物理, **41**, No. 1, p. 5, 1972.