

氩-氦激光器

上海师范大学物理系光学教研组

氩-氦激光器是具有连续输出特性的气体激光器,尽管它的输出功率不大(一般为毫瓦级,最大的也只有近百毫瓦),但由于它的结构简单、操作方便、造价低廉,并且输出可见激光——红光。因此它在精密测量、准直、导向和全息照相等方面得到广泛的应用。本文仅就氩-氦激光器的构造、工作原理和工作特性作一些简单的介绍。

一、氩-氦激光器的构造

图1是内腔式氩-氦激光器的结构示意图。激光管的中心部分是一根毛细玻璃管,构成放电管,外壳为储气部分,A是钨棒,作为阳极;C是钼或铝制成的圆筒,作为阴极。玻壳的两端贴有两块与放电管垂直并相互平行的反射镜,构成平面-凹面共振腔,激光束从一端输出。反射镜涂以多层介质膜,以获得高反射率。对长200毫米左右的管子,输出端的反射率约98%左右,另一端的反射率为99%以上。这样长的管子,一般选用直径1毫米多些的毛细玻璃管,充以2.5托左右(1托=1/760毫米汞高)的氩-氦混合气体。氩和氦分压比选取5~7左右,输出可达2毫瓦*。若要求10毫瓦以上的单模输出,放电管长度需超过500毫米,内径比上述管子大($\phi 2\sim 3$ 毫米),而混合气体的气压可略低些。

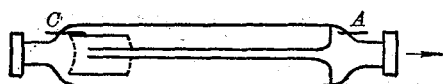


图1 内腔式氩-氦激光管的构造

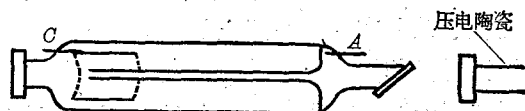


图2 半外腔式氩-氦激光管的结构

图1所示的这类管子的反射镜,以储气部分的玻璃管作为间隔器,由于环境温度的起伏引起腔长的变化,从而使激光束的频率和强度漂移。此外,这类管子输出激光的偏振态也是不确定的。因此,在精密测量中所用的激光器,一般采用图2所示的半外腔结构。从图2可见,这类管子的放电管的一端是石英平行平面,它的法线与放电管的轴线成一定夹角**,所以放电管和共振腔的一个端面是分离的。共振腔的一块镜子安装在一压电陶瓷上,而这一压电陶瓷与另一端的反射镜之间用热胀系数比较小的石英管或殷钢棒连接,在激光器运转时,可以通过压电陶瓷上所加电压的变化而抵消腔长的变化,使两反射镜间距(即腔长)恒定,从而保证激光束的频率和功率稳定,通常称这类管子为稳频管,但这类管子仍然无法克服管子变形而引起的输出特性的变化。因此,在高精度测量中,大多采用共振腔的两端都与放电管分离的全外腔式激

* 指 6328\AA 波长的输出。

** 夹角 θ 满足 $\tan\theta = n$, n 为石英在 6328\AA 处的折射率。此时, 6328\AA 光透过石英玻璃时的损耗最小。

光管。一般稳频管的放电管长度仅十几厘米，所以输出功率不大，小于1毫瓦，但它的功率和频率的稳定度远比前一类管子好，而这正是精密测量所需要的。

二、氦-氖激光器的工作原理

氦-氖激光器中的工作气体是氦气和氖气，图3是氦原子和氖原子的能级图。氖原子的受激跃迁产生激光，不同能级的受激跃迁产生不同波长的激光，主要的有6328Å、1.15微米和3.39微米三个波长。

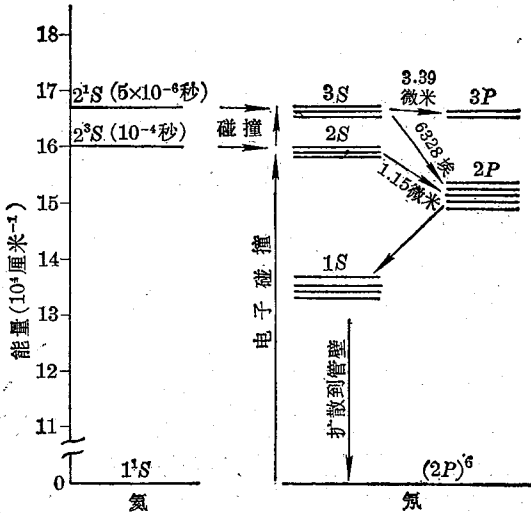


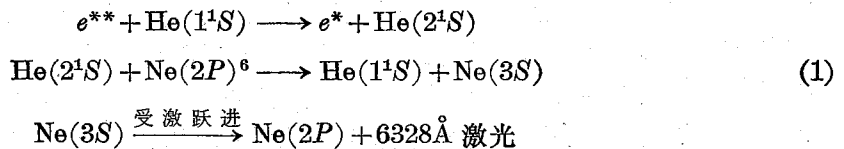
图3 氦原子和氖原子的能级图

在“激光的产生和特性”这一讲中(见本刊第1期),我们已经知道,在正常情况下,一个原子(或分子)体系中绝大部分的原子处于能量最低的基态,只有少数原子处于能量较高的激发态。而且,能级的能量愈大,处于这个能级上的粒子数也愈少。但当外界以一定方式将处于基态的粒子抽运至上能级,并形成上能级的粒子数 N_2 大于下能级的粒子数 N_1 时,这体系就具有光放大的条件了。

下面我们就6328Å激光的产生过程来阐述氦-氖激光器的工作原理。

在 $3S_2 \rightarrow 2P_4$ 的受激跃迁中,上能级是3S,下能级是2P。在通常情况下,3S的粒子数 N_2 少于2P的粒子数 N_1 ,但由于处于3S态的氖原子的寿命(10^{-7} 秒)比处于2P态的寿命(10^{-8} 秒)长,这就有利于上能级积累粒子而实现粒子数反转。这是氖原子能够发射激光的内在原因。但还必须改变正常的粒子数分布,使较多的粒子从基态“抽运”到上能级3S上去,而不增加2P上的粒子数,氦-氖激光器中的氦正是起了这样的作用。

氦有两个亚稳态能级 2^1S 和 2^3S ,它们的寿命分别为 5×10^{-6} 和 10^{-4} 秒。在气体放电管中,在电场中加速而获得一定动能的电子与氦原子碰撞,并将氦原子激发至 2^1S 或 2^3S 。这两能级的长寿命使它容易积累粒子,因而在放电管中这两个能级上的氦原子数是比较多的,这些氦原子的能量又分别与处于3S和2P状态的氖原子的能量相近,当处于 2^1S 状态的氦原子与处于基态 $(2P)^6$ 的氖原子碰撞时,氦原子的这部分能量很容易转移给氖原子,从而使基态的氖原子跃迁至3S能级,通常称这类碰撞为共振碰撞。在氦-氖管中,这是将氖原子从基态抽运至3S能级的主要过程,这一过程可用下式表示:

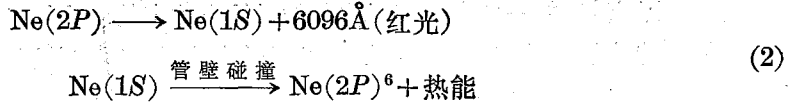


式中, e^{**} 为具有一定动能的电子, e^* 是丧失了一些动能的电子。

在放电管中,上式的过程是不断进行的,以补给上能级粒子数的消耗。但仅仅这一过程还

不足以维持连续振荡,因为在 $3S \rightarrow 2P$ 受激跃迁而发射出 6328\AA 激光的同时,将使 $2P$ 能级上的粒子数增多而破坏反转条件,此外,也会造成基态粒子数的减少而影响抽运。对氖原子来说, $2P$ 向 $1S$ 跃迁的几率很大,并辐射出红橙色的光,困难的是 $1S$ 向基态跃迁的几率很小,因而不利于下能级“抽空”。不仅如此,由于它的长寿命,容易与带有一定动能的电子碰撞,而又回到 $2P$ 能级上去,这更有损于反转。

在氦-氖管中, $1S$ 能级的抽空主要是通过 $1S$ 态的粒子与管壁碰撞后又回到基态来完成的。因此,氦-氖激光器的放电管直径不能太大。对 6328\AA 的激光输出来说,增益随放电管直径的减小而增加。下式表示 $2P$ 能级的抽空过程:



三、氦-氖激光器的工作特性

氦-氖激光器的工作特性主要是指工作电流、放电管径、总气压、分压比等因素与输出功率的关系。下面,我们就上述这些因素是如何影响输出功率大小的问题作一定性的解释和讨论,以使在制作和使用氦-氖激光器时,对如何选择这些参数作一参考。

输出功率的大小直接与上、下能级的激发速率有关,而激发速率又与电子浓度、电子温度(电子平均能量)、氦和氖的浓度、管壁猝灭程度等有关,工作电流、管径、气压诸因素正是通过这些量而影响上、下能级的激发速率,也即影响输出功率大小的。

在其他诸因素恒定时,电子浓度与工作电流成正比,但我们不能期望增大工作电流以提高电子浓度从而增加激光输出功率。因为在电子浓度增加使上能级激发速度增大的同时,也会增加上能级的氖与电子碰撞而回到基态的几率(消激发过程),此外,当电子浓度增大时,下能级的激发速率也会增加。这三个过程中,后面两个过程对激光输出的贡献与第一过程的贡献恰恰相反。在工作电流较小,即电子浓度较低时,激发上能级的一面占主要方面,因而输出功率随电流增加而增大(见图4),但当电流(即电子浓度)达一定值以后,由于上能级消激发过程的影响,致使上能级激发速率的纯增长次于下能级激发速率的增加,从而使输出功率随电流增大而减弱,所以在实际使用时,有一最佳电流值,此时输出功率最大。通常把这一输出功率作为该激光器的功率。

气压和气压比通过电子温度和气体原子浓度影响上、下能级的激发速率。在总气压比较高时,电子自由程(两次碰撞之间在轴向加速可以行进的距离)比较小,因而加速获得的动能较小,不利于上能级的激发,所以输出功率较小。在总气压较小时,尽管电子动能可以大些,但氦-氖原子浓度太小,也不利于上能级的激发。所以在确定管径和分压比时,存在一个最佳总气压,对于管径 d 小于 3 毫米的管子,当 $P_{\text{He}}:P_{\text{Ne}}=5:1$ 时,发现 $P_{\text{最佳}}$ 满足下式:

$$P_{\text{最佳}} \times d = 2.9 \sim 3.6 \text{ 千} \cdot \text{毫米} \quad (3)$$

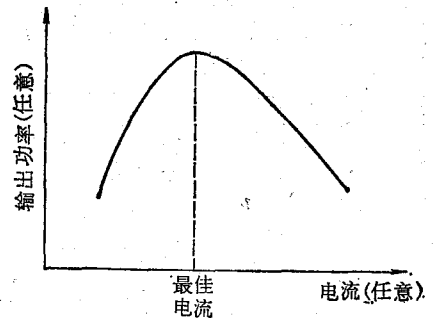


图4 氦-氖管中输出功率与电流的关系

在总气压确定时,减少氖的含量可以提高电子温度,但会使氖的原子数减少,两者对上能级激发的作用是相互矛盾的,存在一最佳气压比,此时,既有足够的氖原子数,又有较高的电子温度。例如,对毫 $d < 3$ 米的管子,一般取 $P_{\text{He}}: P_{\text{Ne}} = 5 \sim 7:1$,对于大管径激光器, $P_{\text{He}}: P_{\text{Ne}}$ 取 $7 \sim 10:1$ 。

管径的大小既影响上能级的消激发速率,又影响电子温度。此外,尽管增益几乎随管径的减小而增大,但从输出功率考虑,管径不能取得太小,因为小孔径在振荡器中引入过多的衍射损耗而减少激光输出。一般视腔的长短选取合适的管径,如对250毫米长的共振腔,放电管直径一般取1.3毫米。

除了上面讨论的一些参数和工作条件对输出功率的影响外,反射镜的反射率、放电管和腔体的结构,也会影响输出功率。我们可以通过实践和参阅有关资料来选择合适的数值和结构。

《激光》杂志征稿简则

一、《激光》杂志是报导我国激光研究的进展和成果、普及与提高相结合专业性刊物。它以马克思列宁主义、毛泽东思想为指导,坚持理论联系实际,遵照“百花齐放、百家争鸣”的方针,通过学术经验的交流和讨论,促进激光研究成果的推广和激光技术的发展,为我国社会主义革命和社会主义建设服务。

二、本刊主要登载下列内容的文章:

(1) 在激光研究中,学习和运用马克思列宁主义、毛泽东思想的心得体会,宣传唯物辩证法,批判唯心论和形而上学的心得体会;

(2) 我国激光的研究与应用的进展与成果(包括实验研究、技术革新、理论探索等);

(3) 关于激光研究新成就、新发展、新动向的评述以及不同学术观点的讨论;

(4) 关于国内激光重要学术活动的报导。

三、来稿注意事项:

(1) 文稿要观点明确,数据可靠,内容力求言简意明,做到清稿定稿。文前附本文提要。

(2) 文中引用马克思、恩格斯、列宁、斯大林和毛主席的语录,请注明出处,以便核对。

(3) 文稿务必用钢笔(切勿用圆珠笔、复写或油印)在稿纸上缮写清楚,切勿潦草,标点符号置于行内,亦占一格。简体字只限于采用已公布者,切勿自造或误用。稿中外文字母、符号须分清大、小写,正、斜体,希腊字母或拉丁字母;用作上标或下标的字母、数码或符号,其位置高低须区别明显;如要用黑体字请于字下加波线。文中容易混淆的外文字母、符号,在第一次出现时,请用铅笔在稿纸旁边注释。

(4) 文中插图,须用黑墨按工程图标准精绘在洁白绘图纸或描图纸上,要求墨浓黑、线条光洁均匀,图中文字一律用软铅笔书写清晰,以便贴印刷字体后制版。图的大小一般在 14×20 厘米与 8×10 厘米之间为宜。文中插图的文字说明,请于稿纸上插图所在位置注明。照片务求黑白分明,层次清晰。

(5) 参考资料与注释各用数字标明次序。注释写在加注处同页下端。参考资料目录尽量用打字;如果手写,必须仿印刷体书写,集中附列于文末,尚未正式公开发表的资料请勿引用和列入。资料目录写法为:作者,书刊名称,年份,卷数,期别,页数。

(6) 作者须自留底稿。来稿经审阅后,如有必要得请作者修改。

(7) 本刊不登之稿当妥为退还。

(8) 来稿请注明作者真实姓名、服务机关及详细通讯地址。

(9) 来稿请寄:上海市8211邮政信箱《激光》杂志编辑部。