

氦-镉激光器的失效机制

王欲知

(西南交通大学物理系, 成都, 610031)

摘要: 本文报道国产氦-镉激光器常出现的导致失效的一些现象, 并阐明其机制。同时给出一些改进意见及修理方法。

关键词: 氦-镉激光器 失效 机制

Failure mechanism of helium-cadmium lasers

Wang Yuzhi

(Department of Physics, Southwest Jiaotong University)

Abstract: This paper points out that the main reason of failure of home-made helium-cadmium lasers is the deposition of cadmium vapor in discharge capillary. Here, the phenomenon is analyzed in detail, and the repair techniques are given.

Key word: helium cadmium lasers failure mechanism

一、引言

氦-镉激光器提供 4416\AA 的激光输出, 近年来广泛应用于质量检验、测试、打印、分色、全息处理、光刻、医疗和防伪商标制作等领域。这类激光器在国内已形成一定市场, 据用户反映, 国产品普遍存在功率不稳, 寿命不足等缺陷。作者近年来为一些单位检查、修复过这类激光器, 对导致其过早失效的原因, 有所了解, 并根据可能, 修理好一些管子及电源。现分为激光管、电源及其它三部分介绍如下。

二、氦-镉激光管失效的机制

氦-镉激光管内充有 $5\sim 8\text{Torr}$ ($665\sim 1064\text{Pa}$) 的氦气, 正如氦-氖激光管一样, 它在运用或存放中有氦的损失(泄漏、放电清除)问题。解决这问题的办法是多样^[1,2]的, 且较成熟。氦-镉激光器的特殊问题是由于镉蒸气的流动及其凝结所引起的, 管子失效或功率降低, 大部分来自这个现象。

在氦-镉激光管中, 镉蒸气由处于较高温度(约 240°C) 的镉炉所提供, 然后由扩散及电泳效应(主要是后者, 前者只在镉进入毛细管的一短段中发生)通过毛细管, 在毛细管中形成一定的镉蒸气浓度(约 10^{-2}Torr , 即 1Pa 量级), 以产生激光振荡。由于毛细管放电时处于较高(摄氏约 100 多度)的平衡温度, 一般认为镉没有停留在毛细管中, 而仅是通过它, 最终进入处于阴极端的隔离头中。如果隔离头的隔离效果不够好, 则有少量镉蒸气凝聚于布氏窗片内表面, 导致激光功率输出的损失; 但实际上, 在 $1000\sim 2000\text{h}$ 的运用之后, 这个现象尚未见出现, 这说明目前所采取的隔离头结构是有效的。

图 1 为商品激光管的结构原理图。

在氦-镉激光管的实际运用中,毛细管中存在一个镉蒸气缓慢凝结过程。一般在运用数十小时后,洁净透明的玻璃毛细管,内表面已形成一灰色薄层,这实际上就是镉薄膜。一个性能良好的管子,这层薄膜应该是不变厚的。但实际上,由于存在缓慢凝结过程,该薄膜逐渐变厚,使光路受损,激光功率下降。

作者遇到的有下述三种情况:(1)毛细管中镉薄膜均匀变厚;(2)镉堆积于毛细管“出口”处,即与隔离头连接处;(3)镉堆积于毛细管中某处,即某处镉较厚。

这三种情况造成的后果是不同的。对于(1),大多是功率下降;对于(2)和(3),除了造成功率下降,还出现过毛细管或接头处电击穿现象。下面对它们的机制进行分析和讨论。

(1)毛细管中镉薄膜均匀变厚。这是指毛细管内表面各处的镉膜厚度基本相同,但随着时间的推移,其厚度逐渐加厚。这是由于毛细管内壁温度不够高,不足以排除镉原子凝结导致的。由于种种原因,商品管中,毛细管是裸露(不加保温层)的,其温度取决于毛细管内径、壁厚及放电电流大小,一般只达 150°C 左右,故易于导致镉原子的凝结。这种厚度均匀的镉膜有时是可用加热的方法驱赶掉的(见本文四)。

(2)镉堆积于毛细管“出口”处。这是较常遇到的,其机制如下:毛细管到隔离头的连接,大多呈喇叭形,如图2。当从毛细管过渡到喇叭中时,气体(氦气及镉蒸气)的温度显著降低,这是由于(a)喇叭区中放电电流密度变小、电位降亦相应变低(以单位长度计),电功耗小了;(b)喇叭的表面积比毛细管大(以单位长度计)、散热量多;(c)喇叭的玻璃壁比毛细管为薄,导热快。因此,镉蒸气极易凝聚于出口处,导致光路变窄。

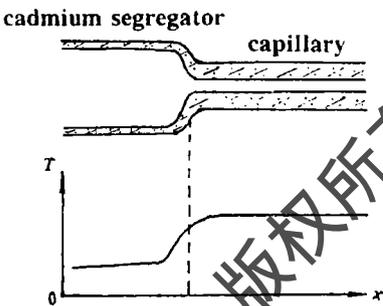


Fig. 2 Temperature distribution and thickness variation of transition region of segregator and capillary

如上所述,在出口处最易出现镉的凝聚。作者检修时,遇到过这类管子,先是镉凝结于喇叭口处,后因逐渐加厚,影响了光路——这在放电状况下可以观察到。这个管子作者成功地修复好了(见四)。

(3)镉堆积于毛细管中某处。一般情况下,不易出现这类现象。但作者遇见过一次,是人为原因造成的,情况如下。某大学购有氦-镉激光器一台,使用一年多后激光功率输出下降,请制造厂家来人检修。检修者在靠近阴极端的毛细管(因该段供镉困难)上外包上一层石棉纸,目的是稍加保温提高该段温度,从而提高镉蒸气浓度(见图3)。

果然,他们如此处理后,功率确实提高了,便告辞回厂。用户用了很短一段时间,发现功率

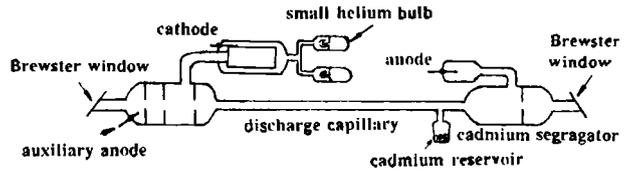


Fig. 1 Schematic diagram of a helium-cadmium laser

有一种传统说法,认为离开放电毛细管的镉蒸气在喇叭口里突然膨胀而迅速降温,于是在这里被冷凝下来^[3]。这是不符合实际的。事实上,因为是封离型管子,运转时氦气没有流动,镉蒸气仅是由于电泳效应以缓慢的速度由阳极方向往阴极方向流动。考虑到氦气压($5 \sim 8 \text{ Torr}$)比镉蒸气压($1 \sim 10^{-1} \text{ Torr}$)为高,镉原子扩散引起的移动是在氦气中进行无规行走(Random Walk),是缓慢的,加上电泳的拖力,亦形不成喷射流;因此,气体动力学中的拉瓦耳喷嘴效应(即突然膨胀)不能成立。此时,镉分子的平均自由程约为 10^{-3} cm 。

下降,最后管子失效。经作者拆开检查,发现毛细管在 A 处熔化及击穿(出现一个小洞)了。其原因如下:该管由于使用已有一年多,在毛细管内已沉积有一均匀、较厚的镉膜。而镉炉中镉业已陈旧,供镉显得不足,尤其是在远处。在这些地方包了绝热层,温度提高了,该段的镉薄膜就可充当镉源,提供一些镉蒸气,激光功率得以提高。但这一效果是不能持续很久的,因薄膜状镉将由于其储量有限而很快耗尽。另一方面,包扎导致毛细管有局部温度突变(见图 3),其后果则是严重的。温度突升对于镉蒸气的电泳移动无异于一势垒,阻碍了镉蒸气通过,最终导致镉在 A 处堆积过多,放电通道变窄,电阻抗增高、电流密度变大、温度升高、玻璃软化,直至击穿。值得指出的是,因该机用负高压制,阴极处于高压,靠近阴极的毛细管也处于对地较高的电压,故易于往大气击穿。

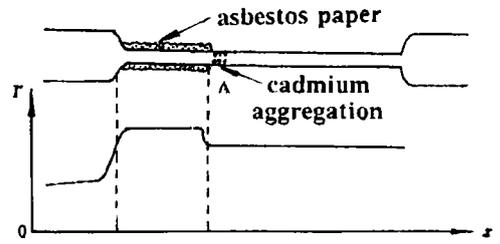


Fig. 3 Schematic diagram of cadmium aggregation and temperature distribution of a capillary, partially surrounded with heat-insulator

该管在修理时,击穿处被切开,观察到毛细管截面已变得很窄,且很不规则,内堆有镉。修理情况见四。

三、电源存在的问题

在修理这类激光器时,作者遇到过两种型号的供电电源,即 HC-15A 低噪声氦镉激光器电源及 HG-70A 低噪声氦镉激光器电源。总的说来,在提供恒流高压,恒流镉炉电流方面,性能是较好的,但有几个地方易损坏。

(1)两种型号的电源中,均设有辅助阳极电源,它们由一交流变压器次级(600V, 10mA)经倍压整流得到约 800V 的直流高压。根据激光管反向电泳的需要,此直流高压负端接于阴极,正端接到辅助阳极。但由于阴极是负高压,因此,该变压器初次级间有近达 8000V 的电位差,这需要特殊的绝缘才行。但实际的变压器,还设有其它绕组,总体积并不大,显然是忽略了这个问题,因此,出现了漏电和过热的毛病。HC-15A 电源中的变压器甚热,我们不得不专设一个小轴流风扇以进行风冷。HG-70A 电源较好,但亦存在内部击穿的危险。

我们制作的电源变压器是独立的,专门考虑了初次级间、次级与铁芯之间的耐压问题。

(2)在 HG-70A 型中,镉炉电源用一大电流集成稳压器 LM338K。检修过程中发现此器件易损,作者曾接连掉换过几个,最后才选到一个性能耐久的型号。

(3)瓷绝缘片表面短路。在供阴极的高压电路中,设有泄放电阻,系由多个(14 个 2M 电阻)高阻值电阻串联而成。为固定这些电阻,厂方选用优质高绝缘瓷片,按 Z 形焊好电阻。在出厂时,绝缘是极好的。但长期使用后,瓷片表面出现黑色炭导电层,导致打火,这是设计者所始料不及的。瓷片表面积炭,是由于高压形成的电晕将大气中的 CO_2 分解所形成,这类类似于家用负离子发生器,它周围物品或墙壁也常变黑。避免瓷片表面积炭有一办法,即将瓷片密封起来,使其不与大气相接触。

(4)机箱振动噪声。作者所检修的这类激光器,其电源有一共同毛病,即机箱振动引起的噪声太大。它是由高压变压器漏磁作用于机箱,以及该变压器本身固夹不佳所导致的。作者制作的电源,采用了多种措施克服了这个毛病,噪声很低。

四、改进及修复有关问题

就目前市售氦-镉激光器来看,最易出现的毛病是氦压降低。此时,如果用户能正确判断,则通过击破备用储氦小瓶,能恢复氦压及激光功率;但亦发现用户盲目补充氦,使氦压过高的情况。

最主要的失效,是镉堵在出口处,其机制前已叙述。改进的办法是在喇叭口处缠上绝热层,保持该区域在较高温度,让镉逸过此区,进入截面大的隔离头主体中,凝结于玻壁上,这就不影响光路了。

作者曾修理好一台镉堵在出口的管子,其过程如下。先从喇叭口切断。隔离头中沉积的镉膜,用稀硝酸(10%~20%浓度)浸泡2h,即可除去,然后用蒸馏水洗净,低温烘干备用。毛细管口凝聚的镉,已失去金属镉特性,是一甚硬的桔黄色块状物,用尖刀慢慢刮掉,最后剩下的膜状物,紧附于毛细管口子处,可用棉球蘸一些稀硝酸擦掉(需进行多次),然后用棉球蘸蒸馏水去掉残留的酸。下一步就是在氦氖激光束监控下接回隔离头,注意保持布氏窗片在正确的角度。该管在排气时,我们还用火火焰驱赶毛细管中的灰黑色镉膜,此时,估计温度约300℃~350℃,以保证毛细管不变形而又能达到驱赶镉之目的。此过程先后持续时间约16h,最后毛细管是较透明的。考虑到该管的镉量可能不足,我们切下镉炉,另制一个,内装3克峨眉半导体材料厂提供的99.9999%的高纯镉。这个管经处理、充气和调整后,激光功率恢复到40mW,供用户继续使用。

至于另一台毛细管击穿的管子,作者曾试图修复,其方法是:在击穿处切开,长的一段毛细管(约占总长85%)仍固定在机架上不动,短的一段与隔离头切断,以便清洗隔离头。隔离头清洗后,接上一根相同内外径的毛细管,以代替被切掉的一段。在机架上的一段长毛细管,用稀硝酸除镉然后用蒸馏水多次冲洗,其方法是将机架斜置,根据水平面相等的原理将酸或水提升到接近镉炉处,经多次清洗便能将毛细管洗至透明。此管经将毛细管接回后,仍能出激光,但连接处难于达到毛细管内外径完全一致(因玻璃过厚,玻璃吹制上有困难),我们是让该处形成一球状,以保证内径稍大及不影响光路。此管因种种原因,没能完全修复好。

参 考 文 献

- 1 赫光生,雷仕湛.激光器设计基础.上海:上海科学技术出版社,1979:103
- 2 上出帆,德留胜见.广学研究,1980;8(2):65~72
- 3 赫光生,雷仕湛.激光器设计基础.上海:上海科学技术出版社,1979:212



作者简介:王欲知,男,1932年1月17日出生。教授,博士生导师。国际电子与电工学会(IEEE)高级会员,美国科学促进会(AAAS)国际会员,历任中国真空学会常务理事,中国真空电子学会理事,四川真空学会理事长。《真空科学与技术》学报主编。从事气体放电及气体激光器、真空物理与技术、科学方法论等研究。

收稿日期:1994-11-25 收到修改稿日期:1994-12-20