

# 全金属结构氩激光器的研究\*

田大准 王殿儒 曹尔妍 张福

(北京光电技术研究所) (中国科学院力学研究所)

**提要:** 本文简述全金属结构氩离子激光器实验的初步结果。该激光器以水冷分段铝片组成放电管,内径8毫米,有效放电长度300毫米。采用水冷铜环形冷弧阴极和冷水筒状阳极。

## Study of all metal structure argon lasers

Tian Dashun

Wang Dianru, Cao Eryan, Zhang Fu

(Beijing Institute of Opto-Electric Technology)

(Institute of Mechanics, Academia Sinica)

**Abstract:** Preliminary results of an all metal structure argon laser are briefly described in this paper. In this laser the discharge tube with an inside diameter of 8mm and discharge length of 300mm is made of water-cooled segmented aluminium disks. Water-cooled cold-arc-cathode in cup-shape and tube-shaped anode are used.

### 一、装 置

激光器以分段金属片构成的 $\phi 8 \times 300$ 的细长孔道为等离子体放电管。采用水冷的筒状阳极,材料为紫铜。阴极为专门研制的能够承受大电流的长寿命冷弧阴极,该阴极与放电管管轴呈 $90^\circ$ 安置,以最大限度地减少金属腔蒸气对谐振腔镜片的污染。阴极、阳极、放电管通过专门的过渡腔连接为一个整体,阴极过渡腔设有轴对称的氩气注入环,阳极过渡腔则设有对称的排气环。两过渡腔均装有相应的真空测量规管,并设有外回气用的金属接头。激光器还以同轴布置的6个 $\phi 4$ 孔作为内回气,以平衡因电泳而造成的两端气压差。除镜片、密封圈和绝缘部分外,激

光器所有部件,包括阴极、阳极、放电管体、过渡段、谐振腔在内全部采用金属结构。除少数部位采用专门车制的聚四氟乙烯环作密封绝缘外,其余全部采用简单的O环密封技术。

激光器放电管采用L<sub>4</sub>铝制作金属分段片(图1)。铝既具有良好的导热性,又易于加工,而且表面还可以通过阳极氧化处理生成绝缘的氧化膜层。分段片的厚度为10毫米,各片间通过O环密封,并设有尼龙绝缘垫用以控制O圈的压缩量,以及用此方法使放电管各片间达到刚性连接。O圈分为两圈并且同心设置,两圈之间有均匀分布的12个 $\phi 10$ 冷却水孔,冷却水从阳极端流入,从阴

收稿日期:1982年5月17日。

\* 参加此项工作的还有孟敬民、张勇、邵平波、周苒等同志。

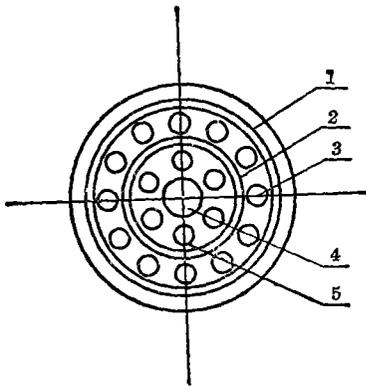


图1 金属放电片  
1, 2—密封O圈; 3—水冷孔;  
4—放电孔; 5—内回气孔

极端送回水池。内层O圈虽然距离放电等离子体很近,但因得到水冷,既起到水密封的作用,又能可靠地实现激光管的真空密封。在设计中采用了凸凹状的装配结构以保护O圈避免等离子体的直接热辐射。在气体放电管壁与水冷表面之间存在着很高的温度梯度,因此必须通过严格的热设计确定出水冷孔的位置和小O圈的直径。根据我们的实验结果,在注入300安培放电电流时,水冷孔的位置距轴线应足够近,以便使管壁温度不高于铝熔点的2/3,而小O圈的位置则要足够远,使其温度不高于氟橡胶环的使用温度(200°C)。

激光器阳极内孔 $\phi 20$ 毫米,长100毫米,以保证激光通路。为防止等离子体散逸,在激光管出口端装有耐高温金属钽的屏蔽筒。

激光器的电源由600伏、300安可调压硬外特性的硅整流电源为主电源,在主回路中串有0~16欧的大功率可变电阻器,对电弧起镇定作用。此外,还装有1500伏、2安的硅整流电源作为激光器的启动电源。两电源并联,用大功率二极管为主电源提供保护。激光器还设有由压电陶瓷阀门、真空计和控制仪组成的自动稳压装置。

## 二、冷弧阴极

在通常的离子激光器中,一般使用热阴极,其发射电流为几十安培。在非密封系统中,它很容易被污染而严重损坏。

我们设计的冷弧阴极在全金属氩激光器的实验中,得到10~120安的稳定发射电流,并有可能进一步提高。此阴极经几次拆卸观察无明显阴极材料消耗,并且对激光腔没有明显污染。冷弧阴极采用杯状空腔状,如图2所示。这样,从几何上限制了当阴极斑在腔内徘徊时造成的阴极材料溅射,同时减轻了燃弧的困难。

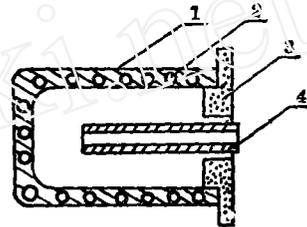


图2 冷弧阴极结构  
1—冷阴极腔; 2—水冷管;  
3—绝缘套; 4—自加热衬套

为延长冷弧阴极的使用寿命,在冷弧阴极出口孔内采用耐高温金属管做成衬套。它的作用是在有电弧放电存在的过程中,衬套被放电正弧柱在衬套长度上放出的能量所加热,通过实验可以选取衬套尺寸,使其衬套温度等于腔金属沸点温度。当阴极腔内壁上的阴极斑点溅射的腔壁金属沉积到衬套上时,被加热了的衬套(自加热衬套)将重新挥发腔壁金属,使之重新沉积到工作腔壁面上,这就避免了在衬套上出现阴极斑,也避免阴极斑跑出工作腔,使阴极得到自恢复。

阴极腔材料选用低饱和蒸气压的无氧铜,自加热衬套为钽管(使用最高温度为2600°C)。为降低腔的燃弧电压,实验采用特种工艺将内层涂上稀有金属铋(Bi)薄层。在

41 种可能的金属阴极材料中, 铋的真空电弧电压是较低的, 且其饱和蒸气压也很小。

### 三、分段长度

在全金属结构的离子激光器中, 分段金属有两种类型, 一种是表面无任何绝缘层保护(如铜、钨、钼等); 另一种是对表面进行特殊工艺处理, 使表面形成绝缘层。这两种分段金属对产生激光等离子体的边界条件是不同的。因此在这两种情况中, 分段长度的考虑也是有所差别的。

对金属分段结构, 其管轴电位与管壁电位呈一定分布, 并由  $T_e$  (电子温度) 决定。由图 3 可知, 分段愈长, 金属壁电位相对于管轴电位的差别愈大, 因而离子对管壁的轰击也愈严重(局部径向电位梯度愈高, 对壁面的离子轰击愈严重), 同时对轴向放电造成的扰动也愈大, 使等离子体产生轴向不均匀性。但分段太短会带来一系列工艺上的麻烦。

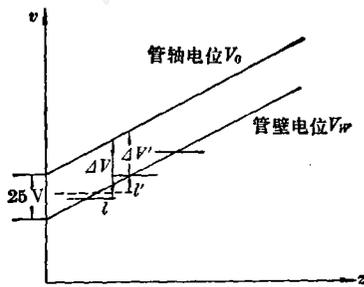


图 3 分段金属沿轴电位分布

$$V_w = -\frac{KT_e}{e} \ln \left[ 1.045 \left( \frac{m_i}{m_e} \right)^{1/2} \right], \text{ 当 } r \rightarrow R, T_e = 5.2 \times 10^4 \text{ K 时, } V_w = -\frac{KT_e}{e} 1.15 = -25 \text{ 伏}$$

对于分段金属激光器, 为了保证沿着导电分段的中心孔形成均匀的放电弧光正柱, 防止串弧, 必须限制每个分段的长度。

对金属片进行硫酸阳极化处理, 使表面生成  $Al_2O_3$  绝缘层, 以提高铝的耐离子轰击能力 ( $Al_2O_3$  熔点  $2100^\circ\text{C}$ ), 同时有利于电位沿管轴的平滑分布, 从而减小了对等离子体的扰动, 并且可以使用自来水进行冷却。但是必须指出的是, 一定厚度绝缘层的生长工艺是很困难的, 因此在设计表面涂有绝缘层的放电金属片时仍然需要按照分段金属不串弧的原则来考虑。

实验取放电片分段厚度 10 毫米, 喇叭口取厚为 20 毫米, 冷弧阴极中自加热衬套长度同样考虑了不产生串弧的原则。在放电片表面生成  $\sim 100$  微米  $Al_2O_3$  层, 硬度  $R_o \sim 50$ 。在全金属结构起放电电压达 1400 伏及放电电流达 120 安 ( $240$  安/厘米<sup>2</sup>), 总放电时间  $\sim 100$  小时, 未发现分段金属有串弧现象, 并无明显溅散, 工作正常, 分段之间真空密封保证了稳定放电出光。

### 四、实验结果

全金属冷弧阴极氩激光器, 目前尚未调整到最佳状态, 在其有效长度为 300 毫米, 实验放电电流为 60 安时, 输出功率为 101 毫瓦; 70 安时输出 169 毫瓦; 80 安时为 520 毫瓦; 90 安时为 800 毫瓦。激光阈值为 30 安, 磁场为 5 伏 200 安, 充气压为 0.3 托 (使用 GG-3 功率计)。