

50 毫瓦大功率氦-镉白光激光器的研究

傅云鹏

(清华大学物理教研组)

提要: 本文介绍了放电长度为 980 毫米的笛形空阴极放电氦-镉白光激光器, 采用外加热镉蒸发方式得到了 54.2 毫瓦的白激光输出。提供了管体结构的设计方法和白激光的输出特性。

Study of 50 mW high power helium-cadmium white light laser

Fu Yumpeng

(Physics Teaching and Research Group, Qinghua University)

Abstract: A helium-cadmium white light laser device of flute-type hollow cathode is described. The discharge length is 980mm, and white light output is 54.2mW with an externally-heated cadmium vapor source. The tube configuration design and the output properties are also presented.

我们设计了采用外加热控制镉蒸发的激光器结构。整体结构如图 1 所示。

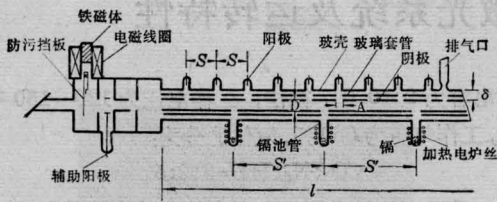


图 1 管体总结构

阳极放在阴极管上侧, 镉池管放在阴极管下侧, 并沿阴极管轴向等距离安放。镉池管口相应位置的玻璃套管和阴极铜管同样开孔, 以便镉蒸气比较容易地扩散进入阴极内部。镉蒸气压强的变化通过镉池管外壁缠绕的电炉丝加热控制(要求每一个镉池的加热功率相同), 改变镉池的加热功率, 可控制镉蒸气分压强, 加热功率恒定, 镉蒸气分压强可保持不变。

激光器的玻壳及玻璃套管均用 11# 玻璃吹制。阴极用内径 4 毫米, 壁厚 1 毫米的无氧铜管(对无氧铜管进行特殊处理后, 在真空中放出杂气少, 而且无氧铜导热性能好, 阴极温度比较均匀)。阳极用 $\phi 1.5$ 毫米磨光钨杆。为了延长激光器的使用寿命, 仍附有储气泡增加氦气储存量^[1]。

下面就有关笛形管几个主要尺寸的确定分述如下:

1. 阴极内径 D

D 值选择的范围比较宽, 我们先后用内径为 2 毫米、3 毫米、4 毫米的镍管、可伐管、无氧铜管等做阴极, 均能满足出光条件(比 4 毫米再大的金属管没有用过)。

2. 阴极放电长度 l

设阴极放电总长度 l 与阴极内径 D 之比为 q :

收稿日期: 1980 年 2 月 11 日。

$$q = \frac{l}{D} \quad (1)$$

由实验可知,当阴极内径取2~4毫米范围内, q 值大于200以上都能得到三色振荡,并能匹配成比较满意的白光。 q 值愈小,获得白激光的条件愈困难。阴极尺寸及出光情况见表1。

表1 阴极尺寸与出光情况

阴极内径 D (毫米)	放电总长度 l (毫米)	$q = \frac{l}{D}$	出光情况
4	980	245	很容易得到三色振荡和白激光输出
3	600	200	容易得到三色振荡及白激光输出
2	310	155	能得到三色振荡,输出白激光困难
3	310	103	严格匹配反射镜才能得到三色振荡,能输出白激光,但较困难
3	120	40	只得到绿光输出

q 值选的愈大输出功率愈高。但考虑到工艺条件和衍射损耗, q 值不宜大于300以上。

3. 阳极间距 S

S 值的选择必须保证两个阳极间负辉区的连接,保证阴极内部沿轴向放电长度获得一个连续的均匀的负辉区柱。由实验可知,一个阳极沿轴向放电长度 ξ 值是内径 D 、压强 P 和放电电流 I 的函数,随着 D 、 I 值的增加, ξ 值加长。 ξ 值可通过实验来确定。

为了观察放电长度的变化,我们把阴极管侧面钻一排小孔。观察结果如表2。

由表2可知,阴极内径、放电电流对放电长度影响较大。通过实验证明,镉蒸气压强的高低对放电长度没有影响。

表2 阴极内径、放电电流与放电长度的关系
(氦压 $P=16$ 托)

阴极内径 (毫米)	放电电流 (毫安)			
	80	100	150	300
4	90	100	120	130
3	60	80	80	100
2	60	60	60	70

4. 阳极与阴极间的距离 δ

低压强条件下,实现稳定连续放电的条件并不需要正柱区的存在,只要阳极至阴极的距离大于阴极表面至阴极暗区外端的长度就能维持放电。为了尽可能降低放电电压,消除不必要的正柱区,极间距离要尽可能地短。图2表示了两种不同距离的伏安特性曲线。很明显, $\delta=20$ 毫米其伏安特性为负阻特性, $\delta=2$ 毫米属于正阻特性。

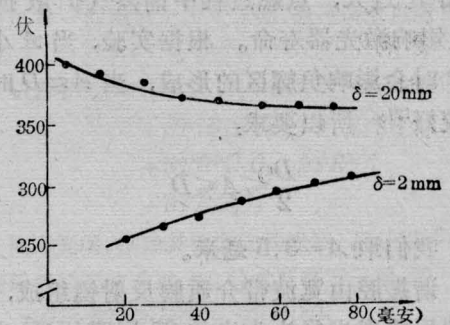


图2 极间放电伏安特性曲线

另外,由于极间距离不同,起辉电压相差也较大。如氦压为16托的情况下, $\delta=20$ 毫米的极间距离,用750伏直流电压不能起辉放电,需用火花检漏器激发点燃。而 $\delta=2$ 毫米的极间距离平均起辉电压约350伏即可点燃,不需外加激发。综合考虑,我们采用 $\delta=4$ 毫米,起辉电压约为380~400伏。

实验发现,极间距离对光输出的短时间熄灭^[1]影响较大,尚需进一步研究。

5. 镉池管的间距 S'

为了使阴极内部镉蒸气均匀分布,要求

沿阴极轴向长度增加镉池管的数目，也就是说，镉池管的间距 S' 值要小。但镉池数目增加，管结构复杂，吹制玻壳也易弯曲。根据工艺条件， S' 值取 100~200 毫米是允许的（阴极内径小， S' 值相应取值小），在这个范围内，镉池加热一定时间后，镉蒸气沿轴向分布趋于均匀。如 S' 取 150 毫米，镉池加热 30 分钟后，镉蒸气在阴极内部基本上均匀分布。保持加热功率不变，镉蒸气分压强可维持恒定，激光输出功率的稳定性提高。

为了防止阴极辐射热对镉蒸发的影响，希望镉池深度不小于 30 毫米。

我们选池间距离 S' 为 150 毫米，共六个镉池，沿放电长度等距分布。

6. 阴极放电孔 A

阴极放电孔 A 的大小要以不影响阴极内部负辉区的形成为条件，孔 A 过小就会沿阴极外表面放电，阴极内部不能形成负辉区，但孔 A 过大，点燃过程中镉蒸气扩散损耗多，影响激光器寿命。根据实验，当 A 小于 $D/2$ 时会影响负辉区的形成，当 $A \approx D$ 时效果较好^[2]。所以要求：

$$\frac{D}{2} \leq A \leq D \quad (2)$$

我们取 $A = 3.5$ 毫米。

谐振腔由宽波带介质膜反射镜组成，全反端用曲率半径为 1 米的 35 层膜片，输出端用曲率半径为 1 米的 19 层膜片（非最佳匹配，因目前仅有这种镜片）。

我们研究这台器件的输出特性，并得到如下一些规律（输出功率除特别说明的以外，均指三色同时振荡并混合成白激光的总输出功率）：

1. 加热温度与输出功率的关系

图 3 表示三色同时振荡的情况下加热温度分别与三色功率的关系。由图可知，加热温度不同，输出功率的三色分配比例也不相同，温度愈低，蓝光占的比例愈高，而在 325°C 时三色功率能匹配成比较满意的白激

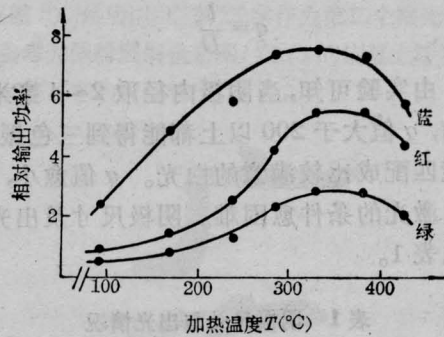


图 3 加热温度与三色输出功率的关系曲线

光。

2. 最佳工作温度与压强的关系

图 4 为不同压强条件下最佳工作温度与输出功率的关系曲线。由图可知，充气压强不同，最佳工作温度也有所偏移，即随着压强的增高，最佳工作温度逐渐下降。

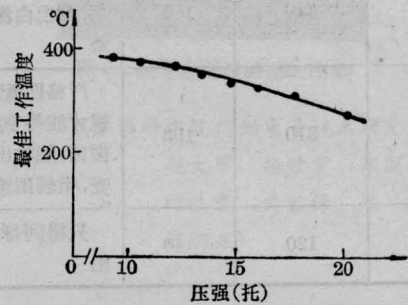


图 4 充气压强与最佳工作温度的关系曲线

图 5 表示了不同温度条件下放电电流与输出功率的关系。温度较低时输出功率随着电流的加大而增加，当 $I = 2$ 安时仍未出现饱和现象（根据现有电源容量我们只做到 2 安

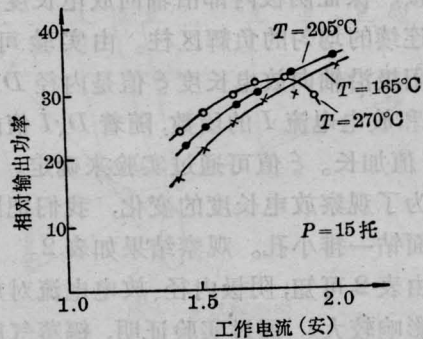


图 5 工作电流与输出功率的关系曲线

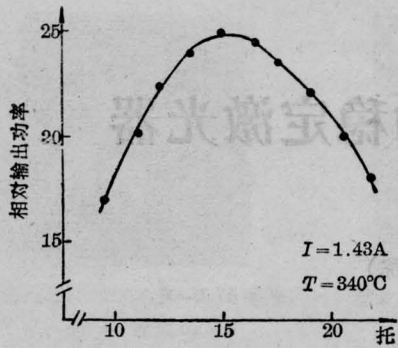


图6 氩气压强与输出功率的关系曲线

培),当加热温度为 270°C 时,电流加到 1.65 安输出功率就达最高点,电流再大功率反而下降。所以,为了获得大功率输出,需要电流加大,但相应要求降低加热温度。

图6为加热温度、工作电流保持不变的条件下氩压强与输出功率的关系。由图可知,得到最高输出功率的最佳压强值为 15 托。

3. 输出功率的稳定性

镉采用外加热蒸发方式,可维持加热功率不变,保持镉蒸气压强恒定,从而改善了输出功率的稳定性。我们用记录仪划出了功率与时间的关系曲线,如图7所示,长时间的稳

定性是一小时之内不大于 5%,但短时间仍存在有光熄灭现象,熄灭持续时间为几个微秒到几十微秒数量级,这个问题尚待进一步解决。

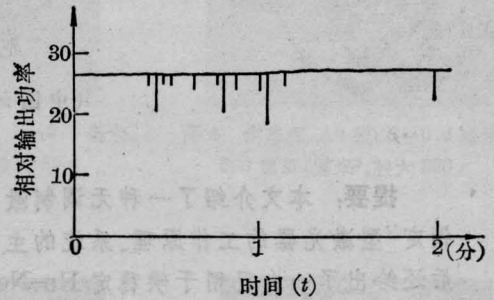


图7 功率输出稳定特性曲线

我们用的宽波带介质膜反射镜由清华大学物理教研组镀膜组研制,玻壳由殷守春同志吹制,徐亦庄教授、李功平副教授等提了不少宝贵意见,特此致谢。

参 考 文 献

- [1] 徐亦庄,傅云鹏等;《清华大学学报》,1978, No. 3, 1~6.
- [2] K. I. Fujii et al.; *IEEE J. Quant. Electr.*, 1979, QE-15, 35.