

三色氦镉激光器阴极放电孔径与瞬间跳火的关系

王曙光

(新天精密光学仪器公司)

Relationship between discharge aperture and transient arc discharge in a white light laser

Wang Shuguang

(Xintian Fine Optical Instrument Corporation, Guiyang)

Abstract: Unstable output power of a white light He-Cd laser due to transient arc discharge was studied experimentally and the optimum aperture of the cathode discharge hole was found. It was demonstrated experimentally that the output power stability is $\pm 2.0\%/hr$ and the maximum output power is up to 100 mW for the developed laser, and no transient arc discharge was observed within 800 hours of operation.

笛形空心阴极三色氦镉激光器在彩色图像处理、假彩色、光谱仪器的波长标定等方面,具有广泛的应用前景。但由于激光器工作时存在瞬间跳火问题,使其不能获得长期稳定的功率输出。本文对三色氦镉激光器产生瞬间跳火的原因进行了分析,讨论了两种不同阴极放电孔对放电的影响,从而获得解决这一问题的方法,并在实验中得到验证。

1. 在一般空心阴极灯放电条件下,当充入的气体为氦,阴极孔直径为 4~10 mm 时,能产生空心阴极放电效应的气压范围为 15~25 Torr^[1],但在实际制成的笛形空心阴极三色氦镉激光管中,在气压 15~25 Torr、阴极放电圆孔直径为 4 mm 条件下,放电会出现不稳定现象,产生瞬间跳火,从而造成输出功率随瞬间跳火的出现而发生波动。

通过实验我们发现,在三色氦镉激光器中,放电空间电场的分布直接与阴极放电孔形状有关,并由此产生瞬间跳火。

根据静电场原理可知:在静电场中,导体内部不能存在电场,它表面上的电场强度方向垂直于导体表面。所以,通过小孔的电力线在金属屏的反面闭合。小孔边缘相当于一个凸出的导体,在它附近的

电场梯度较大,小孔附近的电场分布相当不均匀:

$$\mathbf{E} = -\nabla\varphi = -\frac{E_0 r^3}{3\pi} \nabla \left(\frac{z}{S^3} \right) \mathbf{S} \quad (1)$$

从(1)式可以看出,通过小孔的电场直接与小孔半径 r 有关。在这样一种电场分布条件下,通过小孔的电通量为:

$$\begin{aligned} A &= \int_a \mathbf{E} \cdot d\mathbf{a} \\ &= \frac{E_0 r^3}{3\pi} \int_a \nabla \left(\frac{r}{S^3} \right) da \cos \theta \end{aligned} \quad (2)$$

式中 a 为小孔面积, θ 为电场与小孔平面法线间的夹角。(2)式表明,在通量不变的情况下,随着 r 的减小,单位面积上的电力线密度增加,其结果使阴极放电孔附近出现较大的局部电场。在这种较大局部电场的作用下,放电就会由正常辉光放电和反常辉光放电向电弧放电转化,并随电场强度的变化,交替产生空心阴极辉光放电和电弧放电,使阴极温度忽高忽低,放电电流和电压产生波动,从而产生瞬间跳火现象,造成输出功率的不稳定。同时,随着金属镉的不断蒸发,镉原子与阴极发射出来的电子碰撞,产生了电离,在整个放电空间中,出现了大量镉离子。由于空间电场发生畸变,使这些镉离子堆积在阴极放

电孔附近,并在其表面建立了很强的局部电场,又进一步促使弧光放电产生和发展。

2. 这表明,当阴极放电孔半径 r 很小时,在放电孔附近造成电场弯曲,产生很高的局部电场,从而容易造成电弧放电,破坏了输出激光的稳定性。

为了改善放电条件,降低局部电场,需将阴极放电孔直径增大。但是,增大放电孔直径的同时又带来两个不利因素。其一是在气压不变的条件下,随阴极放电孔面积的增大,放电电压也随之增加。其二是随小孔半径 r 增大,镱蒸气扩散损耗也相应增加。为了克服这两个弊病,降低因孔径增加而提高的放电电压,尽可能的减少镱损耗,我们在综合了大小圆孔利弊的基础上,对阴极放电孔孔径和形状进行了多次改进性实验,得出最佳放电孔形状如图 1 所示。

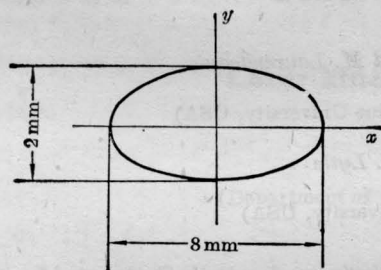


图 1 改进后阴极放电孔形状及尺寸

这是一个椭圆放电孔, x 方向两端端距离为 8 mm, 长轴沿阴极伸长方向上放置。 y 方向两端端距离为 2 mm。经改进后,由于 x 方向间距较大,可消除因 y 方向间距小而产生的高局部电场,使通过阴极放电孔的电场不存在很大的弯曲和突变,从而保证了场的均匀性,排除了产生瞬间跳火的条件。 y 方向间距较小,可减小由于 x 方向间距增大而引起的产生空心阴极效应所必须增加的放电电压,同时又能限制镱蒸气因扩散效应引起的损失,保证激光增益区内有足够的镱离子。两者相互弥补,扬长避短,从而达到较理想的效果。

改进后的 He-Cd 激光器有关数据如表 1 所示。

其功率稳定性如图 2 所示。从图 2 可以看出,基本消除了瞬间跳火。改进后,最高输出功率可达 100 mW,并能够长期稳定在 50 mW 条件下工作。经测

试,当充气气压为 15 Torr 时,在 800 小时的使用过程中,未发现有瞬间跳火现象。同时当输出功率为 50 mW 时,工作电流仅为 1.4 A,这样可减少阴极溅射,使激光器寿命延长。

表 1

放电长度	1 m
阴 极	20 个
放电电流	1.4~1.5 A
工作电压	~350 V. D. C
功率稳定性	±2.5%/h
镱 炉	10 个
He 气压	15 Torr
输出功率	60 mW
三色比	红:绿:蓝=3:3:4
输出谱线	红:636.0 nm 635.5 nm 绿:533.7 nm 537.8 nm 蓝:441.6 nm
放电孔尺寸	2 mm × 8 mm
Cd 孔半径	2 mm
无瞬间跳火	

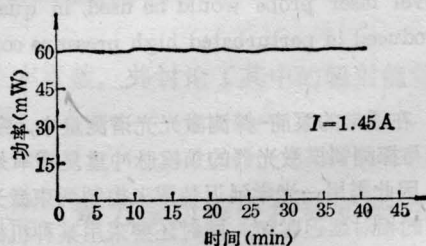


图 2 改进后的激光输出功率情况

参 考 文 献

- 1 周开亿。“空心阴极放电及其应用”, 真空科学与技术杂志, 1982, p. 13

(收稿日期: 1987年5月11日)