

关于 He-Cd 激光器放电管壁击穿现象的研究

高全生 张玉芳

(天津市激光技术研究所)

提 要

放电毛细管壁的击穿是同轴型 He-Cd 激光器的特有损坏类型。在储气套中增设阻挡层,把储气套和阴极筒隔离开来,可以克服放电电流较大时的管壁击穿现象。

一、同轴型 He-Cd 激光器的管壁击穿现象

同轴型装置的 He-Cd 激光器(图 1),点燃一段时间后,工作气体温度可升到 260°C 以上,倘若此时突然关断电源,如再行启动或是将电流降到某一特定值时,往往出现管壁击穿炸裂现象,使起初放电毛细管中的辉光熄灭,而外储气套中产生桔黄色辉光放电,见图 2。随着时间的推移,辉光很快由整个外套管向阳极方向缩短,最后,集中到距阳极约 10 厘米左右的局部地方,见图 3,并

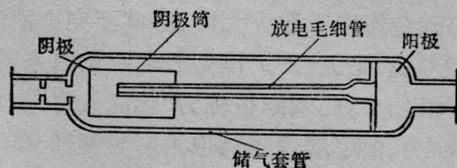


图 1 同轴型装置的 He-Cd 激光器

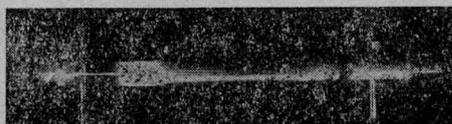


图 2 储气套中出现桔黄色的辉光

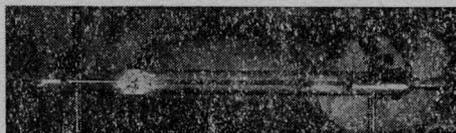


图 3 桔黄色的辉光缩到距阳极 10 厘米处的局部

在此部位交替出现气泡,象开锅一样,使该处内壁出现凹凸不平,最终造成放电管炸裂或熔融穿透,激光器彻底毁坏。

上述放电管壁击穿现象,不仅在实验中重复出现,并且位置都出现在距阳极约 10 厘米左右的地方,见表 1。

表 1 损坏处到阳极的距离

管 号	1	2	3	4	5	6	7
被损坏处到阳极 的距离(厘米)	10.5	9.0	9.0	9.8	10.5	9.0	10

二、对于放电管壁击穿现象的探讨

经研究发现,此种击穿现象与玻璃的特性密切相关。

1. 玻璃的导电性

众所周知,玻璃并不是一种理想的电介

收稿日期: 1979 年 1 月 31 日。

质，在电场作用和处于高温影响下能显示出一定的导电性。我们对长 140 毫米、外径 9 毫米、内径 2.5 毫米的 95# 玻璃进行了测量研究，其电阻值随温度变化遵循一定的规律，见图 4。从图看出，玻璃的电阻在 350°C 以前随温度的变化梯度很大，随后变化缓慢。假设毛细管壁温度为 300°C，其阻值为 500 兆欧，根据电阻公式 $R = \rho L/S$ 可知放电管内外壁之间的电阻仅有 320 千欧，显然，这对于激光工作的高压来说，当然是极易造成击穿的。

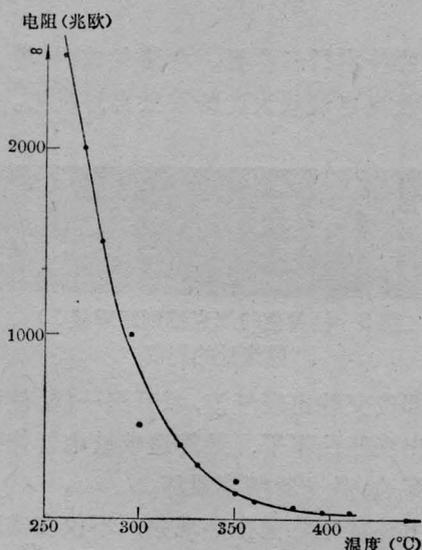


图 4 玻璃电阻随温度的变化曲线

2. 辉光光谱观察

经光谱观察知道外套管中的桔黄色辉光，为 5890 埃和 5896 埃钠双线。我们认为，钠双线来源于玻璃中的钠离子。玻璃受热变成导体，并具有电解性质，电解作用则使碱金属钠成为游离的钠离子，而钠离子在电场作用下将获得动能，从玻璃中脱出，参与气体放电，于是，使外套管出现桔黄色辉光。

三、放电管壁击穿现象的分析

为了分析简单化，拟将激光器内各部分用等效电阻表示如图 5。

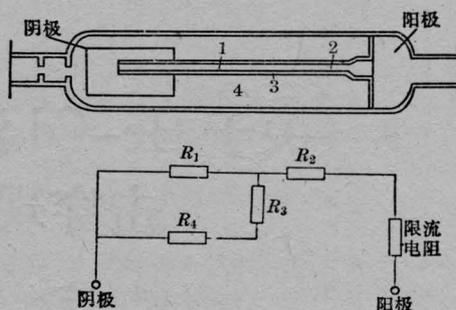


图 5 激光器等效电阻图

R_1, R_2 为毛细管中气体电阻； R_3 为毛细管壁玻璃内外壁之间电阻； R_4 为储气套中气体电阻

放电前，毛细管壁电阻 $R_3 = \infty$ ， $R_2 + R_1 = \infty$ 。当加上电压以后，气体被电离，导致 $R_2 + R_1$ 减小，而 R_3 不变，最后毛细管中的气体被击穿放电，因为放电电流大，毛细管壁温度上升，而使 R_3 由 ∞ 降到几百千欧，同时，钠离子从玻璃中游离出来充满外套储气管，引起电阻 R_4 减小，此时，倘若突然关闭电源则 $R_2 + R_1$ 由原来放电时很小的阻值突然增大，结果 $R_1 + R_2 \gg R_4 + R_3 + R_2$ ，即放电毛细管气体的电阻大于旁路电阻。因此，当再启动电源时，将形成从阳极 $\rightarrow R_2 \rightarrow R_3 \rightarrow R_4 \rightarrow$ 阴极旁路放电通路。于是，形成被击穿初期的外套管放电现象，见图 2。

由玻璃的特性决定，在一定的温度和高压电场作用下，玻璃毛细管会产生电解现象，电解时，阳离子从阳极移向阴极，并且随着温度升高迁移率增大，所以，在增高温度时，加之电场的作用，在毛细管玻璃靠近阳极一端中的碱金属离子数大大降低，甚至完全消失，结果形成“阳极层”，该处的电阻比原来增加数百倍之多。此现象被称为“化成效应”。“化成效应”使毛细管玻璃电阻沿着管轴从阳极向阴极逐渐减小，就在距阳极 10 厘米处开始到阴极一段电阻减小到能被加在管端的高电压击穿，结果在距阳极 10 厘米处击穿，而形成图 2 所示的旁路放电。被击穿处电流密度较大，因而温升加快，而温度越高，使电阻越发减小，进而使电流密度更加增大，温度更

提高, 出现恶性循环, 最后, 造成该处玻璃内表面熔融, 甚至炸裂。

这类管壁击穿现象, 还可能在降低工作电流时发生。我们认为这两种情况是一致的, 当电流减小到不能维持毛细管内气体放电时, 放电辉光熄灭, 但此时放电管两端仍然有要比辉光熄灭前加在放电管两端电压还要高的电压存在。该电压引起“旁路放电”, 因而造成放电管壁的炸裂或熔融穿透。

四、排除放电管壁击穿的措施

根据上述分析结果, 我们采用了如下改进措施:

1. 在激光器工作停止前, 必须先将工作电流降到大于维持放电电流以上, 待激光输出停止几分钟后, 再关闭电源。这个延时过

程, 可使毛细管壁温度下降而使电阻 R_3 增大, 达到阻止旁路放电及管壁击穿的目的。

2. 用加大旁路放电电阻, 按图 6 设计结构在外储气套增加“阻挡层”, 防止放电管形成“旁路放电”, 从而排除了放电管壁的击穿。

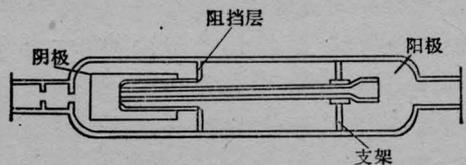


图 6 增加阻挡层的激光器管壳

参 考 文 献

- [1] T. F. Johnston et al.; *IEEE J. Quant. Electr.*, 1976, **QE-12**, No 8, 482~493.
- [2] 金属蒸气ガスレーザー, 《特许公报》, 昭 52-43073.
- [3] 玻璃工艺学实验, H. M. 巴甫鲁什金。

自垂式高精度激光铅直仪

我们研制的自垂式高精度激光铅直仪基于靠重锤的自重原理达到垂直, 用 He-Ne 激光器发出的一束可见红光取代悬挂重锤的线索, 能充分满足高层建筑及滑模工艺的要求。

仪器由本体支架、罗盘架、激光器固定铅筒、重锤及配重螺母、定位螺钉及电源六部分组成。仪器使用时, 由重锤、铅筒等组成的摆悬于罗盘架下而自由摆动, 因而红色激光束也随之摆动。当摆动停止时, 则光点也就稳定在靶标上。再经适当调整, 就

能得到一高精度的准直光束。

因为仪器的结构合理, 因而能得到较高的垂直度。经反复试验表明, 精度可达 $1/15000$ 弧度, 也即在 150 米高度上, 光点的偏离为 1 厘米。由于采用了自垂原理, 因而对铅直仪的支撑底的水平度无特殊要求, 可以直接放在地面上, 也可根据需要随意搬动, 重量不到 20 公斤; 使用简单, 制作容易, 成本较低, 在百米左右的施工建筑中能发挥应有的作用。

(徐宽 毕彦勋 唐振兴)