

降低气体激光管着火电压的初步理论分析

高全生 张玉芳 刘新

(天津市激光技术研究所)

提要: 本文从气体放电的着火条件 $\gamma(e^{\alpha d} - 1) = 1$ 出发, 对改进型激光管和未改进型激光管内的一些现象进行了初步理论分析, 此理论分析很好地解释了改进型激光管着火电压大大降低的实验结果。

A preliminary theoretical analysis on lowering breakdown voltage in gas laser tubes

Gao Quansheng Chang Yufang Liu Xin

(Tianjin Research Institute of Laser Technology)

Abstract: According to breakdown condition of gas discharge $\gamma(e^{\alpha d} - 1) = 1$, we have made a preliminary theoretical analysis on some phenomena in the improved-type laser tubes and the old ones. Theoretical analysis elucidates well the experimental results with considerably lowered voltage in improved laser tubes.

引言

实验证明, 降低气体激光管着火电压的决定因素是毛细管必须处于被扩大的阳极区域内, 这样, 激光管的着火电压最大可以降低 50%。本文试图对这一实验结果进行理论上的分析。

一、旧型管存在的问题

1. 旧型管阳极区体积很小, 只占整个腔体的二十五分之一(腔长为 230 毫米), 其结构如图 1 所示。在繁流放电中, 空间电荷的

分布不是均匀的。由碰撞电离形成的正离子多数分布在阳极位降区附近, 正离子实际只被限制在毛细管阳极一端, 浓度很高。因此当电子通过时, 由于和正离子复合几率加大, 所以电子和正离子损失必然加大, 致使汤生第一系数 α 和第二系数 γ 减小。

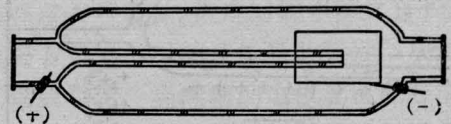


图 1

另外, 旧型管的毛细管是被负电位包围着, 毛细管内壁表面即为正离子所占据, 如图

收稿日期: 1979年7月30日。

2 所示。毛细管内表面的正电位,对在正柱区内快速运动的电子具有引力,使这些电子更容易跑向管壁与正离子复合,结果使管壁附近带电粒子的浓度相应减小,从而加强了双极扩散作用和更大的复合作用,导致电子和正离子的损失。为满足着火条件 $\gamma(e^{\alpha d} - 1) = 1$ 而点燃激光管就必须加大 α 和 γ , 还必须设法提高着火电压 U_0 。

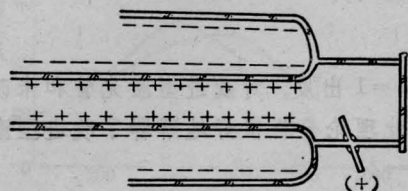


图 2

2. 旧型管造成电子能量的损失

首先由于管子内表面正电荷作用,不但降低了正柱区沿电场运动的电子的速度,并使其偏离电场方向运动(见图3)。另外,被减速的电子到达因集聚超过电子浓度的正离子而形成的负的阳极位降区时又受到一个阻力,致使电子难于通过该区达到阳极而完成一次繁流过程,亦即减少了到达阳极的总电子数。要实现 $\gamma(e^{\alpha d} - 1) = 1$ 的条件。唯一的办法是提高着火电压,增大电场强度来提高电子在正柱区沿电场方向运动的动能,以抵消双极扩散和负的阳极位降的阻力,增加到达阳极的总电子数,从而建立正常辉光放电条件。

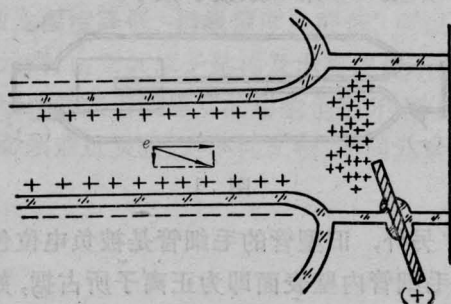


图 3

二、对新型管的分析

新型管结构改进的关键体现在以下两方面:

- (1) 扩大了阳极区体积对总体积之比。
- (2) 使毛细管被包围在正电位区。

这样就取得了以下效果:

1. 电荷损失减小

新型管阳极区域体积扩大了几十倍,相应的在阳极区附近正离子浓度减小几十倍,因此电子通过该区域时与正离子的复合几率和带电粒子的损失也就大大减小,从而使该区域内 α 系数比旧型管增大。

另外,因毛细管是处于正电位中(见图4),毛细管内壁被电子占据,这样对快速向管壁运动的电子形成了阻力,使之难于跑到管壁,又因正离子质量大,运动速度慢,所以使管壁复合较少,相对旧型管来说,带电粒子的损失减小了。

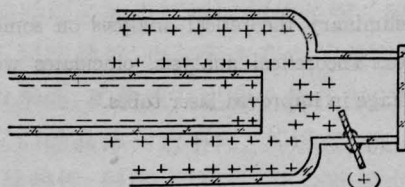


图 4

设: $\alpha_1, \gamma_1, u_1, P_1, d_1$ 为旧型管的相应参数。

$\alpha_2, \gamma_2, u_2, P_2, d_2$ 为新型管的相应参数。

当, $P_1 = P_2, d_1 = d_2, u_1 = u_2$ 时,

由上述分析得知; $\alpha_2 > \alpha_1, \gamma_2 > \gamma_1$

倘若 $\gamma_2(e^{\alpha_2 d_2} - 1) = 1$ 成立,

那么必定

$$\gamma_1(e^{\alpha_1 d_1} - 1) < 1$$

这时旧型管不能满足着火条件。要使旧型管满足着火条件,即令 $\gamma_1(e^{\alpha_1 d_1} - 1) = 1$, 这时必须使 $\alpha_1 = \alpha_2, \gamma_1 = \gamma_2$, 又根据汤生理论:

(下转第 30 页)

R_p 在 1.02~3.05 范围内取值均可。

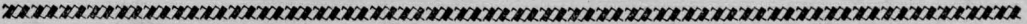
例 2: 设已知 $R_b=3$, $K_b=1.4$, $K_p=1.4$, $M_e=5.00$, $R_p=2.00$, 问壁面不出现逆压的最大膨胀角 θ_b 的上界是多少? 查特性图表 4, 得 $\theta_{bmax} \approx 0.665$, 故设计时务必取 $\theta_b \leq 0.665$ 。

例 3: 设已知一喷管参数为 $R_b=1.5$, $R_p=2$, $K_b=1.35$, $K_p=1.4$, $M_e=5.2$, $\theta_b=0.75$, 问此喷管内是否会出现逆压? 查特性图表 2, 得 $\theta_{bmax} \approx 0.685$, 所以 $\theta_b > \theta_{bmax}$, 故此喷管必产生逆压。

另外, 当根据特性图表, 选定既符合设计要求, 又互不矛盾的六个参数后, 采用本程序, 用计算机即可算得整个喷管形状。限于篇幅, 本程序从略。

参 考 文 献

- [1] 林同骥, 贾振学; “亚跨超音速喷管流场,” 《力学学报》, 1978 年, 第 1 期。
- [2] 盛家宁: “高速流动型激光器喷管计算”, 《激光》, 1979 年, 6, 第 4 期, 6。
- [3] Greenberg *et al.*; Papid expansion nozzles; *AIAA J.*, 1972, 10, No. 11。



(上接第 20 页)

$\gamma = \frac{\alpha}{\rho} = f\left(\frac{v}{\rho d}\right)$ 关系知道, 当 $\alpha_1 = \alpha_2$, $\gamma_1 = \gamma_2$, 在 $\rho_1 = \rho_2$, $d_1 = d_2$ 条件下, 必须使: $u_{s1} > u_{s2}$ 。

显然, 要达到同样的着火条件, 旧型管着火电压 u_{s1} 必定要高于新型管的着火电压 u_{s2} 。

2. 新型管使正柱区的电子加速的同时增大了繁流过程

新型管中毛细管内壁是负电位, 这样就对向阳极运动的电子起到加速作用, 如图 5 所示。沿电场方向运动的电子被周围的负电位加速, 而对作热运动的电子来说, 当它们向管壁方向运动时(图 5 中虚线箭头), 就要受到管壁负电位的横向电场力的作用, 这个分力使作热运动的电子逐渐地被校正到电场的方向(图 5 中实线箭头), 直到穿过整个正柱区, 达到阳极位降区为止。

新型管的阳极位降区中, 因正离子浓度的减小使得该区形成了正的阳极位降, 对电

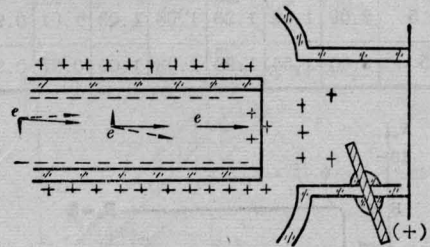


图 5

子起了加速作用, 使电子在该区内的电离能量加大, 繁流过程加强。由此看出在新型管中的正柱区内不但电子损失小, 而且还加速了沿电场方向的运动, 更使一部分做热运动的电子被校正到电场方向来参加繁流过程, 故而大大有利于建立满足 $\gamma(e^{ad} - 1) = 1$ 的条件, 达到降低着火电压的目的。

以上的初步理论分析, 已在新结构 He-Ne 和 He-Cd 激光器中得到证明, 使新结构的激光管的着火电压比旧结构管降低了 1/2~1/3。