

# 激光器毛细管中气体的击穿模型

杨正名

(南京工学院电子工程系)

**提要:** 阐述了毛细管中气体的击穿模型, 并对低击穿电压 He-Ne 激光器击穿过程的某些争论提出了看法。

## Modeling of gas breakdown in the capillary of gas lasers

Yang Zhengming

(Department of Electronics Engineering, Nanjing Institute of Technology)

**Abstract:** The modeling of gas breakdown in the capillary is described and the view on the discussion of breakdown process in low breakdown voltage He-Ne lasers is presented.

### 一、引言

自从天津激光所的同志们提出一种降低 He-Ne 激光器击穿电压新结构以来, 一直存在着不同的看法。有的用汤生雪崩放电模型来解释, 有的用朗谬正柱区双极性扩散理论来分析。最近《中国激光》同时刊出了两篇观点相反的文章<sup>[1,2]</sup>。可见这一课题所受到的重视。

对任何物理过程建立一个正确的模型是很必要的, 也是困难的。没有一个正确的模型就不可能理解所发生的现象。为此将个人所理解的击穿过程的模型提出来讨论, 或将有助于解决上述争论。

### 二、毛细管中的气体击穿模型

在击穿以前和击穿过程中, 电子电荷始

终占有优势, 空间电场较强, 繁流过程占主导地位。汤生的雪崩理论和实际情况比较接近, 只需对汤生理论进行适当修正, 再引进一些近似假设就不难建立毛细管中的气体击穿模型。

朗谬双极性扩散理论是建立在空间存在着较浓密的等离子体基础上的。双极性扩散的结果是在器壁附近形成正电荷层——Debye 层。正电荷层完全屏蔽了负的壁电荷, 使等离子体不受影响。但是击穿以前, 放电管中不存在这样的等离子体。所以朗谬理论不能适用。

激光器毛细管中的放电击穿过程是这样的: 电极间一旦加上足以击穿的电压, 则毛细管内、外的电子繁流立即同时发展起来。毛细管内的雪崩过程在文献[3]中已有讨论。由于毛细管很细, 电子的自由程和管子半径可以比拟, 所以雪崩中的电子很容易打上管壁,

收稿日期: 1983年4月5日。

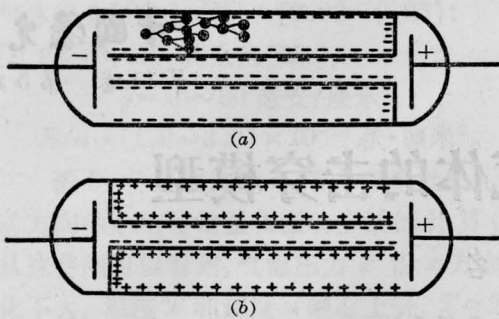


图 1

使毛细管内壁积附一负电荷层(图1),这一负电荷层使管中电位下降,电位梯度减小。同时也使毛细管与阴极间的电位差减小,电场变弱。这些因素使得阴极空间和毛细管中的电离系数降低,雪崩过程减慢,所以毛细管放电的击穿电压较高,而且随毛细管的变细上升很快。

在毛细管外部空间,隔板的阻挡使繁流不成回路。对图1(a)所示结构,繁流中的电子不断积聚在隔板阴极一侧和毛细管的外壁。这些电荷使阴极一侧空间的电场下降,雪崩减弱,最后当繁流强度减弱到可以不计时,电荷积累过程才会停止。显然在这样的结构中,毛细管外壁的电荷和内壁的电荷一样对放电的发展起阻碍作用。所以这种结构的激光管的着火电压都特别高。

相反,对图1(b)所示的结构,毛细管外部空间繁流中的正离子被隔板阻挡,到不了阴极而积附在隔板的阳极一侧和毛细管外壁上,使阳极一侧管外空间的电场下降,繁流变弱,最后停止。但这些电荷的作用却抵消了毛细管内壁负电荷的影响,使阴极附近和毛细管中的电场增强,繁流加剧,所以这种结构的激光管的击穿电压比前一种结构大为降低。

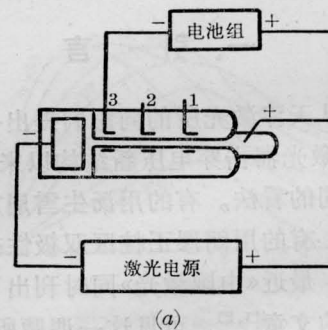
### 三、实验结果的讨论

不同单位所进行的实验结果大体是一致的,并且都与上述模型吻合,只是解释实验结果的观点不同,并因此产生了一些争论。

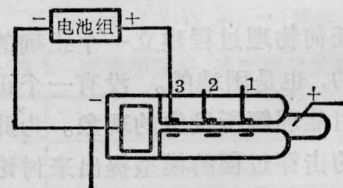
在文章[1]中,天津激光所的同志们对图2所示结构的放电管进行了实验,他们只给出了结果,未作解释。实际上电极3的作用也是因为改变了毛细管中和阴极附近空间的电场强度而影响击穿电压的,同时电极3的存在还使它所包围的一段毛细管成了雪崩强度很低的等位空间。当使电极3悬浮时,放电管外部空间的繁流使3带负电,其影响与负的壁电荷相似,使毛细管中和阴极附近的电位下降,击穿电压上升。而当电极3与阴极相联时,电极3的电位更低,上述影响更大,繁流更弱,击穿电压也更高。反之若使电极3与阳极相联,则电极3的作用大大抵消了毛细管内负壁电荷的影响,提高了阴极附近的电场强度,加大繁流速率从而使击穿电压大幅度下降。



图 2



(a)



(b)

图 3

实验中所发现的毛细管外空间充气压力对击穿电压的影响完全是因为影响了该空间

(下转第316页)

的工作条件、净化效果都很少提及。据 C. Willis<sup>[3]</sup> 报道, 使用活性铜箔做催化剂, 在温度为 365°C 时 CO 转化率为 57.2%; 在 188°C 时转化率为 23.3%, 该催化剂对 NO<sub>x</sub> 转化率未提及。Pt/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 催化剂在 396°C 时对 CO 转化率为 71~86%。据文献[2]报道, 以 CuO-Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 混合物作催化剂, 在 600°C 以上对 NO<sub>x</sub> 有净化效果, 可使输入放电功率增大 75%, 但无具体转化数据。

我们试制的两种催化剂(稀土钙钛矿和 Pd-Ni/γ-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)对 CO、NO<sub>x</sub> 的转化活性见表 1 和表 2。

JL6A 激光器应用催化净化方法对稳定输出功率肯定会有积极作用, 同时也会减轻 NO<sub>x</sub> 对电极和器件的腐蚀。这方面的工作还有待深入。此外, 还应看到, 这类激光器的密封性能一般较差, He 的逃逸及大气的渗入会逐渐改变气体组成, 故在使用催化净化方法时, 首先要解决器件密封性问题。同

时, 还应考虑到催化净化系统总会带来一些维修上的麻烦, 最后确定取舍应综合考虑各方面的因素来决定。

北京市机电研究院光电室的刘永桢、刘善增同志和北京工业大学环化系环保研究室的桑鸿勋、郑菁英、王守兰、苏强等同志在试验过程中曾给予帮助, 特致谢忱。

## 参 考 文 献

- [1] P. Bletzinger *et al.*; *IEEE J. Quant. Electr.*, 1975, **QE-11**, No. 7, 317.
- [2] 尹元昭;《物理》, 1979, **8**, No. 4, 342.
- [3] C. Willis, G. Purdon; *J. Appl. Phys.*, 1979, **50**, No. 4, 2539.
- [4] R. B. Lancashire *et al.*; *SPIE*, 1976, **86**, 11.
- [5] B. C. Алейников; *Кван. электр.*, 1979, **6**, № 10, 2160.
- [6] 环境监测标准分析方法编写组;《环境检测标准分析方法(试行)》, 1980.
- [7] D. S. Stark *et al.*; *IEEE J. Quant. Electr.*, 1975, **QE-11**, 774.

(上接第 318 页)

的繁流强度和壁电荷而产生的。

文献[2]中给出的实验结果是由于同样原因造成的。当将外电极 1、2 或 3 通过 600 伏电池组接到阳极时(图 3(a)), 大大提高该外电极处的电位, 抵消了毛细管内壁负电荷的影响, 使阴极附近和毛细管中电场增强, 繁流加大, 击穿电压降低(1.6~1.8 千伏)。将这些外电极接到阳极时, 该处电位提高更多, 击穿电压进一步下降(1.4~1.5 千伏)。相反将外电极接到阴极时(图 3(b)), 该外电极处的电位将大大下降, 阴极附近电场显著降低, 雪崩减弱, 击穿电压明显上升(2.2~2.4 千

伏)。

由于细长管气体击穿电压本身的零散很大, 将图 3 管中不同的外电极连接到阳极或阴极时, 0.1~0.2 千伏的  $U_0$  差值并不反映规律性, 可以认为这是本身的零散和实验误差造成的。按我们的经验 He-Ne 激光器击穿电压的零散度实际上远比这一数值要大, 因此不予考虑是合理的。

## 参 考 文 献

- [1] 高全生等;《中国激光》, 1983, **10**, No. 1, 53.
- [2] 马有年;《中国激光》, 1983, **10**, No. 1, 56.
- [3] 卡普佐夫著;《电子学》下册, 楼格等译, 人民教育出版社出版, 1960 年。