

关于新型(天津型)He-Ne激光器着火机制探讨 中一些观点的分析

Abstract: Analysis on the current explanations of the breakdown mechanism for a new type of He-Ne laser is given.

一、引言

自从1979年高全生等同志发明了具有低着火电压的新型He-Ne激光管以来,对于该管着火电压降低的机制,国内有多人^[1~6]提出了各种解释。

高全生等的主要解释是:

(1) 新型管阳极区域体积大,正离子浓度降低,因此电子与正离子的复合减少,使 α 系数增大;

(2) 毛细管处在正离子包围中,故其内壁被电子所占据,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;又因正离子运动慢,故管壁复合较少。

(3) 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了加速作用。

殷一贤等指出^[3,4]:

(1) 应用奥-高定理可推知毛细管内表面均匀分布的电荷,对毛细管内部带电粒子的运动状态是没有影响的。

(2) 关于阳极位降区的说法有疑问。

马有年^[6]认为着火电压的降低,主要因素是加强了双极性扩散效应。他认为由于毛细管处于正电位中,使其内表面附着更多的电子,因而使径向电场 E_r 得到加强,必然导致横向双极性扩散效应的加强。在放电着火的瞬间,管轴附近的电子浓度 n_e 与离子浓度 n_i 相应地降低,电子平均自由程增长,电离几率增大, α 增大。同时正离子的平均自由程增长,在一个自由程中得到的能量增大,故 γ 值增大,着火电压就降低。

本文作者认为上述各种解释中,有一部份在基本概念上可能存在一些问题。

二、一些论点的分析

1. 高全生等同志认为^[1]:"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。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少,从而加强了双极性扩散作用和更大的复合作用,导致电子和正离子的损失,故必提高了着火电压。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……"。

姑且不论用"正柱"即"等离子体"概念来描述着火过程是否恰当,这里显然对等离子体在外电场下的响应误解了。等离子体是含有相等正、负自由电荷的导电介质,在外电场作用下,它将调整其电荷分布,从而屏蔽外电场的影响,屏蔽所需的长度即众所周知的德拜长度 λ_D 。

实际上,着火过程尚未出现正柱,带电粒子数密度较低,德拜长度(对非中性等离子体,仍可用德拜长度概念^[7])可能比毛细管直径还长,屏蔽作用很不完全,因而外场在较大程度上能渗入到毛细管内部。

2. 高全生等同志认为在阳极区有电子与正离子的复合^[1]。在气体激光管中,即使放电稳定以后,仍然属于弱等离子体,其电荷数密度约处于 $10^{14} \sim 10^{18}$ 个/ m^3 之间^[8],但中性气体分子数密度约为 1.062×10^{23} 个/ m^3 (所充气压以3 Torr计)。可见绝大多数是带电粒子与中性分子之间的碰撞,正离子与电子直接碰撞的几率是很小的。

3. 殷一贤同志同意高全生等的一个观点,即认为毛细管内表面有均匀分布的电荷。实际上毛细管外围的电荷分布并不均匀,它们取决于阳极区正离子的扩散及迁移本领。但He、Ne、Ar、Kr、Xe的渗透及扩散距离均不同,因此外部电荷分布必然不均

匀,从而内部出现的屏蔽场沿轴向是不均匀的。

4. 马有年^[9]认为新型管着火电压的降低是由于加强了双极性扩散效应,旧型管则存在削弱了的双极性扩散效应。马文中有几个观点是值得商榷的。(1)他理解的双极性扩散,实际上就是等离子体双极性扩散,是着火以后的现象,并没有讨论到着火过程。(2)他认为新型管的毛细管处于正电位中,使毛细管内表面附着更多的电子,因而使 E_r (径向电场)得到加强,导致横向双极性扩散效应的加强。这里同样将外场的影响弄错了,如果认为正的外场吸引电子,则同时应确认它要拒斥正离子,我们不能只摄取需要的一面。实际的物理现象是:正的外电场导致更多电子飞抵管壁,其增多的部份(原来的一部份是单纯双极性扩散造成的)恰足以抵消外场的影响;德拜屏蔽层以后,等离子体就是自由等离子体了。(3)马的论证中认为:“管轴附近的电子浓度 n_e 与正离子浓度 n_i 相应降低,电子 $\bar{\lambda}_e$ 增大……同时离子 $\bar{\lambda}_i$ 增大”,这里将放电中带电粒子自由程的概念搞错了。气体放电中定义的电子(离子)平均自由程是指电子(离子)与气体分子之间的碰撞,不是电子(离子)与电子(离子)之间的碰撞。上已指出,在通常的放电条件下,所能得到的是弱等离子体,此时带电粒子间的碰撞总是可以略去不计的。(4)马文中“由于横向双极性扩散的加强,新结构毛细管内 n_e 和 n_i 降低,为了维持较低的 n_e 和 n_i ,必须使轴向电场强度 E_z 减弱,此时管压降就降低。”这种解释存在一些问题,首先在放电着火后的正柱区中,电子和离子的浓度很大而且近似相等,形成等离子区。在等离子体中,由于双极性扩散等原因使一部份带电粒子减少,为了补充这种带电粒子的减少,等离子体要从外电场获得能量来产生一定数量的碰撞电离,以便补充损失。所以为表征维持等离子体存在所需要的能量,特用轴向电场强度 E_z 来表示。有关等离子体的理论计算得出了 E_z 的表达式^[9],它表明在其它条件不变时,双极性扩散系数愈大, E_z 也愈大,即管壁复合损失大,就需要较高的纵向电场,反之则需要较低的纵向场。

5. 关于毛细管外围电荷对阴极表面 r 值的影响。

在新型管中,由于阳极区正离子扩散到(隔着隔膜)阴极附近处,大大加强了该处电场,它有助于阴极到毛细管间的繁流,使进入毛细管的电子数较多,这相当于毛细管放电有一较大的起始电子源。殷一贤同志制作了模型管,测定出电位分布,证实了新型管阴极到毛细管间电场变化甚为剧烈。由于正离子从电场中获得较大的能量,因此一般认为这将导致 γ 值增大,但这个观点是值得商榷的。

根据 Hagstrum^[10~12]的理论,二次电子发射分为位能激发发射和动能激发发射。动能激发发射,仅是在数千电子伏以上的人射离子能量时,才显得重要。因此 $\gamma \sim E_i$ 曲线的起始部份主要是由位能激发发射来决定。位能激发发射常牵涉到入射离子接近表面达数 \AA 距离时与金属中导带电子间相互作用。这种发射仅在离子能量大于表面材料的功函数之两倍时才能发生。

因此,由 Hagstrum 的理论易知,在此处认为正离子动能越大, γ 值亦将越大,是不妥当的。

致谢:本工作得到中国科学院科学基金委员会的资助,特此致谢。

参 考 文 献

- [1] 高全生等;《激光》,1980,7, No. 9, 19.
- [2] 高全生等;《中国激光》,1983,10, No. 1, 53.
- [3] 殷一贤等;《激光》,1981,8, No. 12, 44.
- [4] 殷一贤等;《激光》,1982,9, No. 10, 660.
- [5] 殷一贤等;《四川激光》,1982,3, No. 4, 37.
- [6] 马有年;《中国激光》,1983,10, No. 1, 56.
- [7] Francis, F. Chen;“等离子体物理学导论”,林光海译,人民教育出版社,1980, p. 6.
- [8] B. E. Cherrington;“Gaseous Electronics and Gas Lasers”, 1978, p. 4.
- [9] 江剑平等;“阴极电子学与气体放电原理”,国际工业出版社,1980, p. 385.
- [10] H. D. Hagstrum; *Phys. Rev.*, 1956, 104, 1516
- [11] *Ibid*, 1954, 96, 325, 336.
- [12] *Ibid*, 1953, 89, 244.

(成都电讯工程学院 王欲知 黄宗琳

1984年10月16日收稿)