

# 铝阴极辉光放电电子枪运转条件的研究

郁曾期 林逢琦 周师良

(复旦大学物理系)

**提要:** 用一种新方法研究了辉光放电电子枪阴极的工作气氛要求。实验结果已被用于设计这种电子枪激励的连续离子激光器。

## Investigation of operating conditions of glow discharge electron gun with aluminium cathode

Yu Zengqi, Lin Fengqi, Zhou Shiliang

(Department of Physics, Fudan University)

**Abstract:** A method to study the gas phase requisite for the new electron guns has been investigated. Its results are useful for the design of CW laser devices.

一种新型的辉光放电电子枪已经成功地用来激励气体离子激光器。在可供选择的几种电子枪阴极材料中,铝比较便宜,易于加工,具有高的二次电子发射能力。但为了在运转中维持稳定的电子发射,表面必须有一层氧化铝层,也即需要在放电气体,例如氩气中混合一定数量的氧。然而在某些激光体系中,氧对于激活介质的粒子数反转是不利的,因此氧的含量必须适当,不宜太多。本文介绍一种测定维持阴极氧化层所必需的氧气含量的定量方法及其结果。

### 原 理

在氩氧混合气体放电过程中,阴极表面上有二个过程相互竞争:放电形成的离子轰击阴极表面,使氧化层溅射,记氧化层损耗率

为  $L$ 。因为放电气体中氧只占一小部分,导致溅射的主要是氩离子。与此同时,氧与铝金属原子氧化反应,形成新生的氧化铝层,记生长率为  $G$ 。氧化铝的二次电子发射系数比纯铝大得多,因此,从放电伏安特性曲线显示的放电阻抗变化,可以观察氧化铝层是增长还是损耗。图 1 给出了二条伏安曲线。除了电极的经历以外,实验条件相同。曲线  $B$  是刚经过氧化处理后氩放电的伏安特性;曲线  $A$  是这个阴极在 1 托氩加上  $\frac{1}{50}$  氧的气氛中,以 50~60 毫安/厘米<sup>2</sup> 的电流密度放电约半分钟以后测得的伏安特性。显然,曲线  $A$  给出的放电阻抗比较高,它反映了阴极表面氧化层减薄;如果在含氧丰富的气氛中放电,变化过程会倒过来,放电阻抗会渐渐下降。即  $G > L$ ,

收稿日期: 1983 年 10 月 31 日。

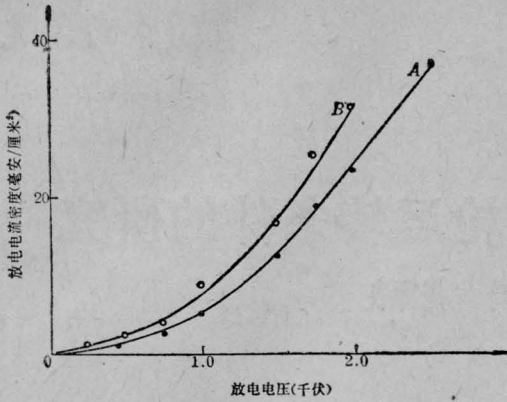


图1 辉光放电伏安特性

A: 氧化层剥落后; B: 具有新生的氧化铝膜

氧化层生长,表现为放电阻抗下降;如果  $G < L$ , 氧化层减薄,表现为放电阻抗上升;  $G = L$ , 放电阻抗不变。由图1可见,在缺氧条件下经大电流放电,电报表面氧化层减少,降低二次电子发射率,导致放电阻抗上升。

## 实验与结果

为了得到可靠的数据,放电室的真空度是重要的。我们的实验中,放电室残余气压是  $4 \times 10^{-5}$  托,最低放电电压是0.8托的氩或是0.3托的氦。

对于一定的气体成分和气压,进行不同电流下的放电,观察放电阻抗变化,找到放电阻抗变化  $G = L$  的转折点。

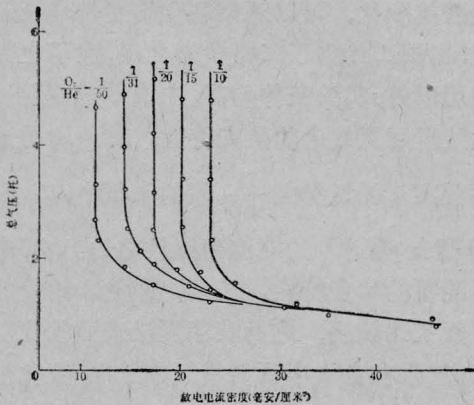


图2 氦-氧放电,对应于  $G = L$  的气压与电流密度的关系

图2给出了上述转折点所对应的气压与放电电流密度的关系。其中氧的相对含量作为参变量。曲线右上方区域对应的是放电阻抗增加区域,  $G < L$ ; 曲线左下方则对应  $G > L$ 。

对于给定比例的氦氧混合气体来说,如果保持气压不变,仅仅增加放电电流,这时放电气体中离子数量及其动量都增加,导致溅射加强。与此同时,氧化过程由氧的数量决定,因此,随着电流增加,由  $G > L$  区域变到  $G < L$  区域。

以氧:氦=1:50为例,对比气压1.0托和1.5托这两点,它们分别对应的转折点电流密度为28.1和17.3毫安/厘米<sup>2</sup>,相差1.6倍,这时电子枪的束电子产生效率分别为67%和50%<sup>[1]</sup>,也就是说,放电电流中非束电子的贡献分别占33%和50%,它们相差1.5倍。这些非束电子——热电子——主要来源于气体原子的电离。在一级近似条件下,热电子数量与正离子数量相对应。因而,上述这二种情况下离子数量估计也相差1.5倍,所以对溅射的贡献有相同的比例。

从曲线族可以看到,当气压大于3托时,转折点与气压无关。由先前的工作知道,随着气压上升,束电子产生率下降<sup>[2]</sup>,以至热电子对电流的贡献占主要地位,而且这时放电电压随气压变化不明显<sup>[3]</sup>。因而只要放电电流不变,氦和氧离子数量比例和离子的动量都不变,也即溅射速率和氧化速率保持动态平衡。所以在高压下,对于固定的氧、氦比例,转折点与气压无关。

从图2还可以看出,当气压大于1.5托时,随着混合气体中氧含量的增加,转折点对应的放电电流也增加。

图2的曲线族可以演译为以氧气分压强为参数的曲线族,见图3。

图3表明随着氧含量减少,转折点对应的电流密度减小。因为溅射由离子流决定,后者又比例于放电电流密度,所以比较少

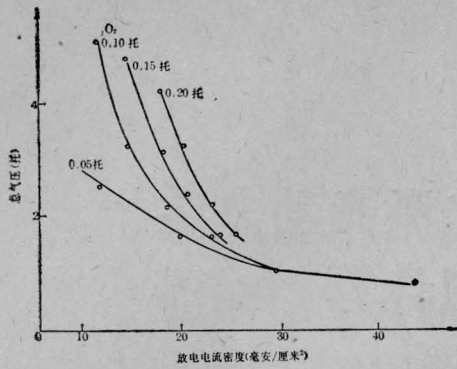


图3 氮-氧放电, 对应于  $G=L$  的气压与电流密度的关系

的氧对应着较小的电流密度。

从图3还可以看到, 随着总气压下降, 达到平衡所需的氧量也下降。

对于氮氧混合气体作了类似的观察, 得到数据示于图4。对比图2和图4, 其差别只是氮氧的转折点电流密度比相对应的氮氧数值小, 曲线移向左下方。这是因为氮的质量大, 溅射系数比氮大。

我们还观察了纯氮、纯氧的情况。现象是: 始终处于  $G < L$  的区域。很明显, 这是因为氧化层得不到恢复。

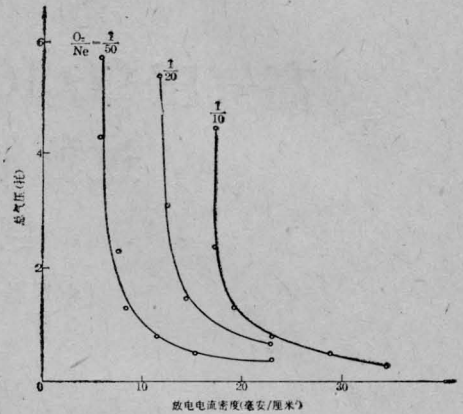


图4 氮-氧放电, 对应于  $G=L$  的气压与电流密度的关系

### 参 考 文 献

- [1] J. Rocca et al.; *Appl. Phys. Lett.*, 1982, **41**, 811.  
 [2] Z. Yu et al.; *J. Appl. Phys.*, 1982, **53**, 4704.

## 《中国激光》征稿简则

一、《中国激光》是激光专业性科学期刊, 每月一期, 国内外发行。读者对象是国内外科学工作者。  
 二、《中国激光》力求全面、及时地以“论文”、“科学札记”、“科研简讯”等形式, 报导我国激光科学技术在基础研究和应用开发中所取得的新发现、新创造和新进展。

### 三、来稿要求和注意事项

1. 来稿要求论点明确, 数据可靠, 文字精练。“论文报告”每篇应控制在 5000 字以内(包括图表在内, 下同); “科学札记”每篇在 1500 字以内; “科研简讯”每篇在 800 字以内(一般不要附图表)。
  2. 来稿需要用文稿纸誉写清楚, 不受理复印稿、油印稿; 稿中外文字母、符号必须分清大、小写; 上、下角字母、数码和符号需书写清楚。来稿需附中、英文提要、题目和作者汉语拼音。
  3. 文中图、表只附最必要的。文中插图请用绘图纸绘制; 照片要求黑白清晰, 层次分明。插图切勿过大。文稿中请留出放置插图的地方。
  4. 参考文献只择最主要的列入, 未公开发表的资料请勿引用。文献如引自期刊, 按下列次序排列: 作者、期刊名、年、卷、期、页码; 如系图书, 则按下列次序排列: 作者、书名、出版单位、地点、年份、页码。
  5. 正文和图表中所用计量单位符号, 以国务院公布的“中华人民共和国法定计量单位”为准。
- 四、来稿一经发表, 将按规定酌致稿酬, “论文报告”赠送抽印本 20 份。来稿请勿两投, 不刊登的稿件, 当妥为退还。

五、来稿请寄: 上海市 8211 信箱, 《中国激光》编辑部, 并请写清楚作者的通信地址和联系电话。

《中国激光》编辑部