

氦-氖激光管中阴极溅射造成 气体清除规律的实验研究

刘志国 李宝珍 姚玉兰

(南开大学物理系)

提要: 本文报道了在氦-氖激光管中工作气体清除速率与气压一次方成反比的实验结果。

Experimental investigation on the clearing law of operational gas by cathode-sputtering in He-Ne lasers

Liu Zhiguo, Li Baozhen, Yao Yulan

(Department of Physics, Nankai University)

Abstract: This paper reports the experimental results which indicate that the clearing-speed is inversely proportional to the pressure in He-Ne lasers.

为了提高氦-氖激光管的寿命,降低阴极溅射造成的气体清除始终是一个重要课题。人们在阴极材料选择、尺寸设计和清洁处理等方面做了大量的研究工作,使得阴极寿命从几百小时提高到几万小时。阴极溅射效应在气体电子学中有较详细的描述,但在气体激光管中特定场合下,阴极溅射造成的气体清除规律还研究得不够深入。

过去人们^[1]常常引用下面的溅射吸气速率公式说明氦-氖激光管中的情况:

$$V \frac{dP}{dt} = -K' \frac{j^2}{P^5} \quad (1)$$

我们分析了工作在正常辉光放电区的氦-氖激光管的气体清除现象后,认为上述公式不适用此种特殊情况,提出了不同的公式,

即^[2]:

$$V \frac{dP}{dt} = -K \frac{j}{P} \quad (2)$$

下面我们用实验对比的方法说明上述二个公式的适用范围。

一、气压变化的归一化曲线

现在我们有二个公式描述同一个气体清除现象,但在初始时刻的气体清除速率是相同的。令初始条件为:

$$V \frac{dP}{dt} \Big|_{t=0} = -a, \quad (3)$$

其中 $a > 0$ 。对于公式(1) $a = \frac{K' j^2}{P_0^5}$; 公式(2)

收稿日期: 1983年6月30日。

中 $a = K \frac{j}{P_0}$ 。 j 为阴极电流密度; P_0 为初始气压; V 为气体体积; K' 和 K 为二个常数。

(1)、(2) 二式的解分别为:

$$P = P_0 \left(1 - \frac{6K'j^2}{VP_0^3} t \right)^{\frac{1}{6}}$$

$$= P_0 \left(1 - \frac{6a}{VP_0} t \right)^{\frac{1}{6}} \quad (4)$$

$$P = P_0 \left(1 - \frac{2Kj}{VP_0^2} t \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$= P_0 \left(1 - \frac{2a}{VP_0} t \right)^{\frac{1}{2}} \quad (5)$$

设 $\tau_0 = \frac{VP_0}{2a}$, 则(4)、(5)二式分别为:

$$P = P_0 \left(1 - \frac{3t}{\tau_0} \right)^{\frac{1}{6}} \quad (6)$$

$$P = P_0 \left(1 - \frac{t}{\tau_0} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (7)$$

上述二式可用统一的归一化公式表示:

$$\frac{P}{P_0} = \left(1 - \frac{n+1}{2} \frac{t}{\tau_0} \right)^{\frac{1}{n+1}} \quad (8)$$

$n=5$ 或 $n=1$ 时, 分别就是(6)、(7)二式。 τ_0 是一个时间常数, 物理意义是阴极溅射气体清除速率若一直保持初始数值时总气压下降到初始值的一半所需用的时间。 τ_0 可方便地从实验中求得。图1表示 n 值不同时的 $\frac{P}{P_0} \sim \frac{t}{\tau_0}$ 关系曲线。由此图可直观地求出 n 值的大小。

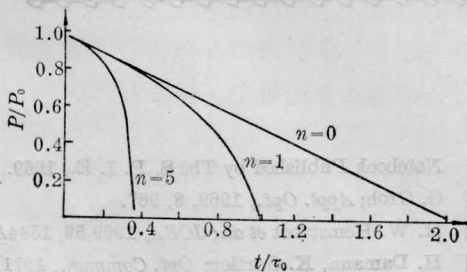


图1 气压变化的归一化曲线

二、正常辉光放电时气压变化的实验曲线

实测了一批实验放电管的气压变化情

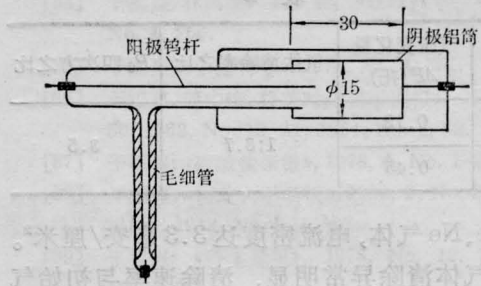


图2 实验用氩-氩放电管结构

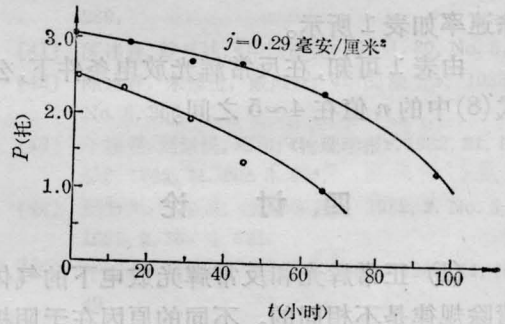


图3 严重溅射下的气压变化曲线

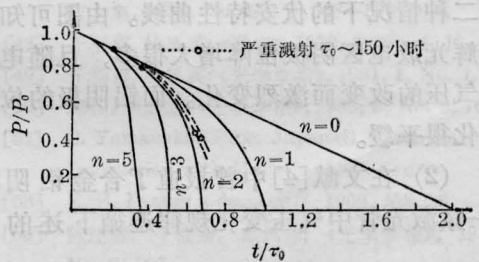


图4 气压变化实验结果在归一化曲线上

况, 图2是实验用氩-氩放电管结构。气压测量按[3]中方法进行。为缩短实验周期, 采用缩小体积、增大电流密度的方法, 但阴极位降仍变化不大, 可近似看作正常辉光放电。气压变化的典型曲线如图3所示, 归一化曲线如图4所示。虽然溅射严重, 可知公式(8)中的“ n ”值还在1~2之间, 并不是5。初始气压值对清除速率的影响不象公式(1)描述的那样激烈。

三、反常辉光放电下气压变化规律

我们设计了一个钨丝冷阴极放电管, 充

表 1

P_0 (托)	气压变化量 ΔP (托)	气体清除率之比	P_0 四次方之比
3.0	0.12	1:3.7	3.5
2.2	0.45		

入 He、Ne 气体, 电流密度达 3.3 毫安/厘米²。溅射气体清除异常明显, 清除速率与初始气压值关系异常密切, 20 分钟内的平均气体清除速率如表 1 所示。

由表 1 可知, 在反常辉光放电条件下, 公式(8)中的 n 值在 4~5 之间。

四、讨 论

(1) 正常辉光和反常辉光放电下的气体清除规律是不相同的。不同的原因在于阴极位降随电流和气压的变化规律不同。图 5 表示二种情况下的伏安特性曲线。由图可知反常辉光放电区阴极位降增大很多, 且随电流和气压的改变而激烈变化。而铝阴极的位降变化很平缓。

(2) 在文献[4]中曾报道了合金铝阴极氩-氟激光管中气压变化规律遵循下述的规

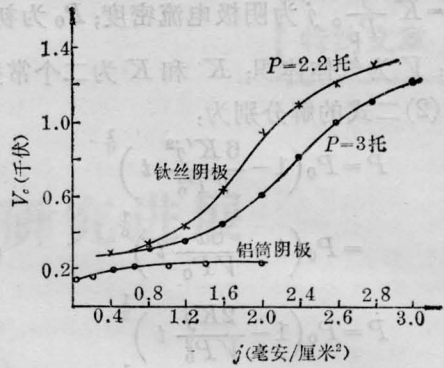


图 5 钛阴极放电管的伏安特性

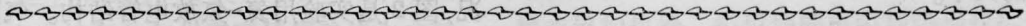
律:

$$\frac{P}{P_0} = \left(1 - \frac{t}{18000}\right)^{\frac{1}{2.5}}$$

把上式与公式(8)相对照, 可知在他们的实验条件下 n 值为 1.5, 说明二者的实验结果基本一致。

参 考 文 献

- [1] 赫光生, 雷仕湛;《激光器设计基础》, 上海科学技术出版社(1979)。
- [2] 刘志国;《应用激光联刊》, 1982, 2, No.1, 50~52。
- [3] 刘志国;《激光》, 1981, 8, No.3, 53~54。
- [4] U. Hochuli et al., *IEEE J. Quant. Electr.*, 1967, QE-3, No.11, 612~614。



(上接第 499 页)

零, 而在 11×11 个“1”的所在则不断地补“1”。插零的目的在于压低噪音, 补“1”的目的在于提高信息, 因而延拓能达到提高信噪比的目的。

本文实验工作曾得到我系李德宽、石明同志帮助, 特此致谢。

参 考 文 献

- [1] G. B. Parrent, B. J. Thompson; *Physical Optical*

Notebook Published by The S. P. I. E., 1969.

- [2] G. Groh; *Appl. Opt.*, 1969, 8, 967.
- [3] H. W. Hemstveet et al.; *JOSA*, 1969, 59, 1544A.
- [4] H. Damann, K. Görtler; *Opt. Commun.*, 1971, 3, 312.
- [5] A. Kalestynski; *Appl. Opt.*, 1975, 14, 2343.
- [6] 高文琦, 叶权书;《激光》, 1978, 5, No. 5~6, 39.
- [7] 高文琦, 叶权书;《南京大学学报》(物理学专刊), 1980, p. 57.