

阻滞放电中的 OGE 特性

归振兴 王裕民 张顺怡

(中国科学院上海光机所)

提要: 测量了阻滞放电中 He、Ne、Xe 的红外光电流谱, OGE 的空间分布及其与电流、气压的依赖关系, 指出它的放电噪声极低。

OGE characteristics in obstructed glow discharge

Gui Zhenxin, Wang Yumin, Zhang Shunyi

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica)

Abstract: The infrared optogalvanic spectrum of He, Ne, Xe gases, OGE spatial distribution and its dependence on the discharge current, pressure in the obstructed glow discharge have been measured. It has been observed that the discharge current noise is very low.

光电流效应(以下简称 OGE)的研究通常是在毛细管放电或空心阴极放电中进行, 由于纵向正柱放电中存在严重的放电噪声, 限制了它的发展。Pekarek 曾指出, 毛细管放电的放电噪声主要是阴极区电流的扰动在向阳极传输过程中被放大所致^[1], 要有效地克服放电噪声, 就要减小从阴极传输到阳极的放大因子 $A^{[2]}$, 缩短电极间距是一种可行的办法。为此, 我们采用了横向放电结构, 观察了放电噪声及其 OGE 特性。发现该放电是属于阻滞放电, 在负辉区的 OGE 最强。与空心阴极放电类似, 所不同的是放电电流密度极低, 而 OGE 却很敏感。这种放电具有低电压、低电流、低噪声、低溅射的特点, 将适用于多种气体的 OGE 研究。

实验装置

图 1 是实验装置示意图。被调制的 CO 激光束经过可变光阑进入放电管, 放电管是由一对平行圆柱面阴极和平板阳极组成, 阴极长 12 cm, 宽 1.1 cm, 材料是无氧铜, 阳极是黄铜, 电极间距 0.7 cm。调节反射镜 M_2 的导轨, 光束便在电极间平行于电极扫描。OGE 信号从电阻 R (50k Ω) 上取出, 灵敏度为毫微安量级。

结果和讨论

1. 光电流谱

收稿日期: 1984年11月5日。

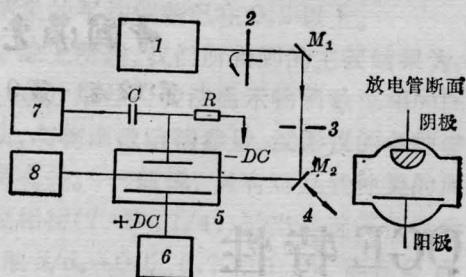


图1 实验装置示意图

1—选支CO激光器；2—斩波器；3—可变小孔光阑；4—滑块导轨；5—放电管；6—直流稳压电源；7—选频放大器和示波器；8—功率计

分别充入 He-Ne(7:1)、He-Xe(30:1)两种混合气体，观察在阻滞放电中氦、氖、氙的光电流谱，发现除 OGE 极弱的未检测到外，在正柱放电中所观察到的绝大部分跃迁都能检测到，其中 He-Xe 放电中的 $Xe I 5d' [5/2]_3 - 5f [9/2]_4$ ($1631.7153 \text{ cm}^{-1}$) 以及 He-Ne 放电中的 $He I 6d^3 D - 9f^3 F^0$ (1696.51 cm^{-1}) 的 OGE 最强。

我们还观察了 He-Ar 的 OGE 谱，结果表明正柱放电中的 OGE 谱在阻滞放电中也都观察到。

2. 空间分布

用 $\phi 1$ 的激光束 (频率为 $1631.7153 \text{ cm}^{-1}$, 对应 $Xe I 5d' [5/2]_3 - 5f [9/2]_4$ 跃迁) 扫描电极间不同位置，测量 OGE 的分布，典型结果见图 2。由图可见，OGE 最大位置发生在靠近阴极地方——阴极负辉区，亦即图 3 照片中最明亮的地方。这表明负辉区的激发和电离过程最强烈，因而 OGE 最大。随着向阳极推移，OGE 越来越小。

对于阴极位降区内 OGE 的精细分布，由于入射光束直径较大，没有能细致分辨开来，但从总体上看，整个阴极位降区的 OGE 还是很强的。

改变气压可以发现，OGE 的峰值位置随气压升高而向阴极方向移动，并且其变化也剧烈，这是由于阴极区和负辉区的厚度是与气压成反比的结果^[3]。

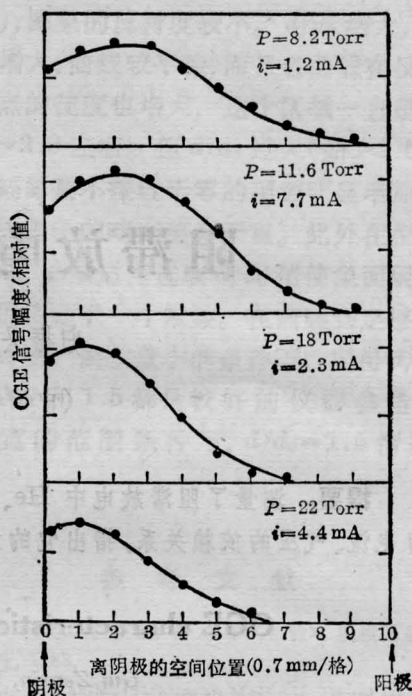


图 2 OGE 信号的空间分布随气压变化的关系 (He:Xe=30:1; 入射光波波长 $1631.7153 \text{ cm}^{-1}$ 对应跃迁 $Xe I 5d' [5/2]_3 - 5f [9/2]_4$)

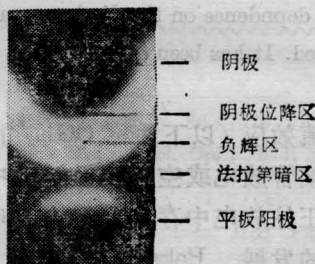


图 3 放电截面光强分布 (He:Xe=30:1; $p=8.2 \text{ Torr}$)

改变放电电流或选用氦、氖的其它跃迁，扫描 OGE 的分布未观察到明显的变化。

3. OGE 与放电电流的关系

将 $\phi 1 \text{ mm}$ 的激光束通过放电区中 OGE 最大的位置，改变放电电流，测量了 OGE 与放电电流的关系。图 4 和图 5 分别给出的是 He-Xe 放电中 $Xe I 5d' [5/2]_3 - 5f [9/2]_4$ 和 He-Ne 放电中 $He I 6d^3 D - 9f^3 F^0$ 跃迁的 OGE 在不同气压下随放电电流变化的关系。可以看到随着放电电流的增加，起先 OGE

迅速下降，而后缓慢地增加到最大(He的跃迁在这过程中还出现两个峰)，这时，放电区域刚好完全充满整个阴极，继续增加放电电流，OGE便越来越弱。

我们也观察了其它跃迁的 OGE 与放电电流关系，除 $Ne4S_2-5P_1$ 外，基本上同 He、Xe 的结果，见图6。

阻滞放电的 OGE 这个特性完全不同于正柱放电的结果。在正柱放电中，OGE 的大小依赖于放电的动态阻抗 dV/di ，而这里的放电类似于一个稳压管，其电压几乎不随电流变化。图7给出的是放电管的伏-安曲线，见 dV/di 是常数，而且是正的。因此，阻抗对可放电的 OGE 影响不大，出现图4和图5的结果，可以认为，基本上和动态阻抗无关。

为了搞清阻滞放电的 OGE 特性，我们将激光束从放电管的侧面入射到放电区，即图1中的断面方向，以排除放电区随电流而伸长的因素。发现其 OGE 随电流增加而迅速减小，并且没有出现增长的趋势，结果见图8，这情况和图4、图5中开始部份的结果是完全一致的。随着电流的增加，电放区域沿电极长度伸长(电流密度保持不变)，与光相互作用的长度亦随之增加，因此，OGE 也就加强。当

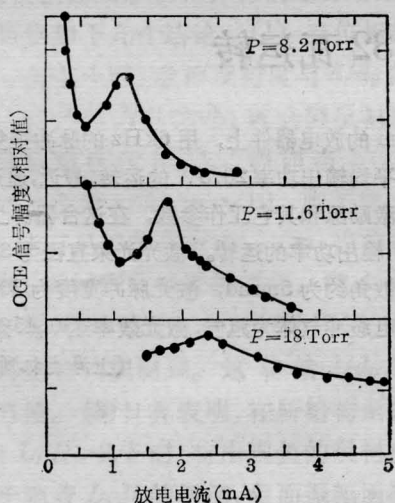


图4 OGE 信号与放电电流的关系
(He: Xe=30:1; 跃迁 $Xe15d'[5/2]_3-5f[9/2]_4$)

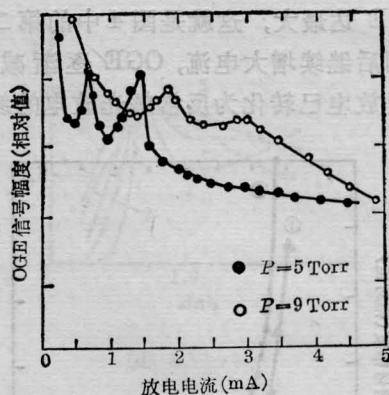


图5 在 He-Ne 放电中 OGE 信号与放电电流的关系
(He:Ne=7:1; 入射光波长 1696.51 cm^{-1} ; 对应跃迁 $HeI6d^3D-9f^3F^0$)

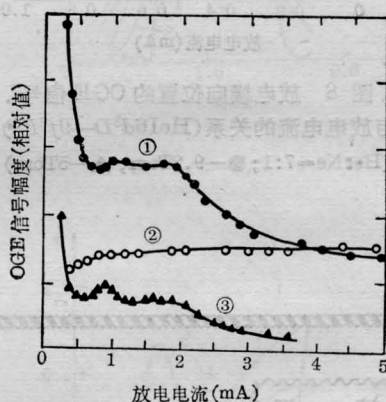


图6 不同跃迁 OGE 信号与放电电流的关系
●—HeI6d³D-9f³F⁰; ○—NeI4S₄-5P₁;
▲—HeI16p¹P⁰-7d¹D₂

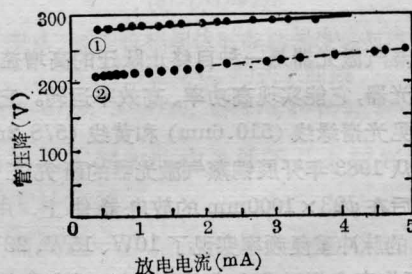


图7 典型的放电伏-安曲线
① He:Xe(30:1)11.6Torr;
② He:Ne(7:1)5Torr

OGE 因放电区伸长而增加的作用超过因电流增加而减小的作用时，便发生 OGE 随电流的增加而开始增强，直到放电充满电极长度

时 OGE 达最大, 这就是图 4 中的第二个过程。而后继续增大电流, OGE 逐渐减小, 这主要是放电已转化为反常辉光放电的缘故。

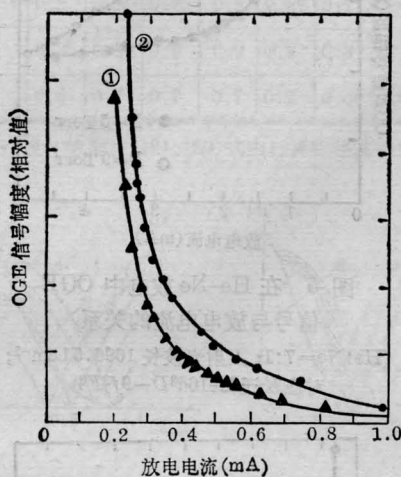


图 8 放电横向位置的 OGE 信号与放电电流的关系 (HeI6d³D—9f³F⁰) (He:Ne=7:1; ●—9.2Torr; ▲—5Torr)

以上的 OGE 特性, 主要取决于气体的激发状态以及能级的跃迁过程, 比较复杂, 象图 6 中 Ne4S₂—5P₁ 的结果就与众不同。

但从上面结果也可以发现, 在低电流、放电区域极小的情况下, 仍然可以产生很强的 OGE, 这表明在阻滞放电中的 OGE 是很显著的。

关于气压对 OGE 的影响, 从气体放电的基本特性可以知道, 在正常阴极位降放电下, 气体放电的电流密度正比于气压 $p^{0.4}$, 因此, 峰值的 OGE 工作电流随气压的升高而增大也是容易理解的。

参 考 文 献

- [1] L. Peka'rad; *Czechsl. J. Phys.*, 1958, 8, 32.
- [2] Takeo, Suzuki; *Japanese J. Appl. Phys.*, 1970, 9, No. 3, 309.
- [3] H. A. 卡普卓夫;《气体与真空中的电现象》, 下册, 高等教育出版社, 1985年12月第1版, 454.
- [4] 同[3], 461.

简 讯

铜蒸气激光器实现 32 瓦运转

铜蒸气激光器是一种自终止跃迁的高增益气体放电激光器, 它能实现高功率、高效率运转。它的发射为可见光谱绿线 (510.6nm) 和黄线 (578.2nm)。我自 1983 年开展铜蒸气激光器的研究工作以来, 先后在 $\phi 23 \times 1000$ mm 的放电器件上, 用 6~10kHz 的脉冲重复频率实现了 10W、15W、23W 的运转; 工作寿命超过 200 小时。去年, 我们在 $\phi 35 \times$

1000mm 的放电器件上, 用 6kHz 的脉冲重复频率实现了平均输出功率 26.5W 的运转。最近, 通过改进器件的激励源和其它工作参数, 在这台器件上实现了 32W 输出功率的运转。激光光束直径为 35mm, 光束发散角约为 5mrad, 激光脉冲宽度为 30ns, 激光器放电缓冲气体为氖气, 激光效率达 0.45%。

(上海光机所)