

放电等离子体振荡下的光电流光谱特性

归振兴 王裕民 张顺怡 沈桂荣 方学信* 王润文

(中国科学院上海光机所)

摘要: 实验研究了 He-Ne 放电等离子体振荡下的光电流光谱特性; 利用谐振光电流效应, 测量了等离子体振荡的频率谱。

Characteristics of optogalvanic spectrum in discharge plasma oscillation

Gui Zhenxing, Wang Yumin, Zhang Shunyi, Shen Guirong, Fang Xuexin, Wang Runwen

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

Abstract: Characteristics of optogalvanic spectrum in He-Ne discharge plasma oscillation have been investigated experimentally. The plasma oscillation frequency-spectrum has been measured by means of resonant OGE.

在低气压辉光放电中, 存在着各种电振荡现象, 行走辉纹就是其中一种, 其振荡频率在 $10^3 \sim 10^5$ Hz。有关它的特性已有过详细描述^[1]。它的出现会使气体激光产生噪声, 因此弄清其出现机制、条件并加以克服是十分必要的。

在等离子体中由于荷电粒子(电子及离子)的振荡运动将显著增强光电流信号。对 He-Ne 混合气体放电的研究发现, 当激发等离子体振荡频率与等离子体自激振荡频率一致时, 光电流谱将出现峭陡的峰值信号。表明光电流光谱可作为探测等离子体振荡灵敏而方便的方法。

一、实验装置

实验装置见图 1。选支 CO 激光束(波

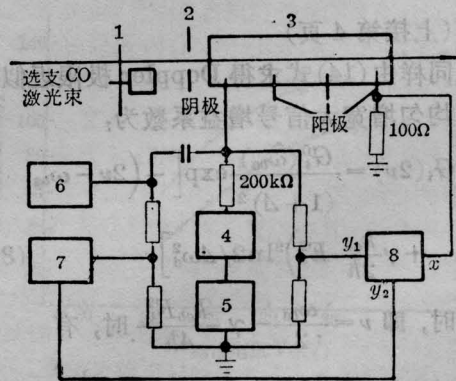


图 1 实验装置简图

- 1—斩波器 ($f=1$ kHz); 2—光阑 ($\phi 4$); 3—放电管;
- 4—直流电源; 5—XD7 低频信号发生器;
- 6—示波器; 7—选频放大器 ($f=1$ kHz);
- 8—x-y 函数记录仪

收稿日期: 1985 年 9 月 23 日。

* 西北电讯工程学院应届毕业生。

长调谐范围 $5.3\sim 6.3\mu\text{m}$) 被斩波器斩波为 1kHz 的光信号后, 经光阑再通过内径为 $\phi 5\text{mm}$ 的水冷放电管, 放电长度分别为 80 、 150 、 210mm 可变, 管内充入氦、氖混合气体。

实验中, 音频信号是由 XD7 低频信号发生器提供(功率 $< 4\text{W}$), 是通过 600Ω 的电阻串入直流放电回路。放电限流电阻为 $200\text{k}\Omega$, 电压调制幅度为数伏量级。

当选支 CO 激光的谱线诱发放电介质产生近共振跃迁时, 便感生出光电压信号 ΔV , 其数值由选频放大器读出, 并输入 $x-y$ 函数记录仪记录。用示波器监测放电等离子体振荡的频率和幅度。

二、等离子体振荡的光电流光谱特性

先在纯气体放电情况下观察它产生等离子体自激振荡的条件, 结果见图 2、图 3。从图可见放电等离子体自激振荡的区域(指电流范围)随气压的升高、放电长度的增加而减少。超过一定气压后, 自激振荡区就消失, 这些结果与文献 [2] 是一致的。

如果在等离子体出现自激振荡的条件下, 注入 CO 选支激光并测量其光电流谱信号,

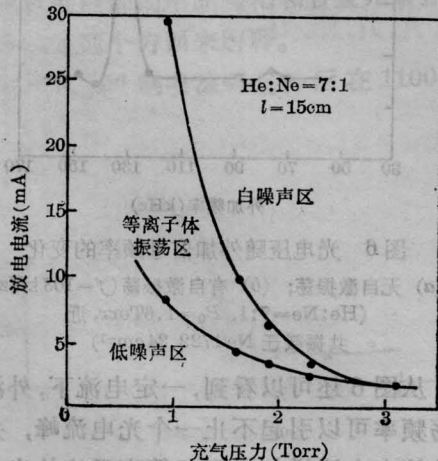


图 2 充气压力对等离子体振荡区的影响

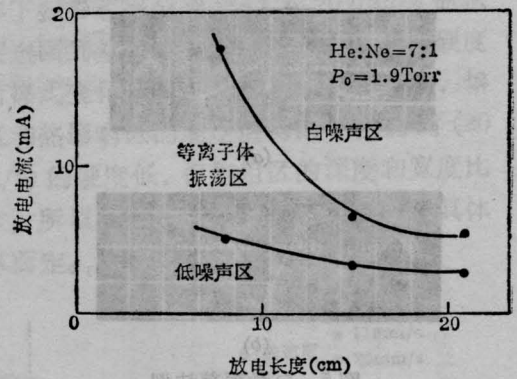


图 3 等离子体振荡区与放电长度的关系

号, 此时可观察到信号的陡化和跃变。改变放电电流使等离子体振荡区域从单频区转向多频区时, 光电流信号亦将发生跃变。这些现象的典型实验结果见图 4。图中还给出了相应的放电伏安曲线(上图)、自激振荡频率(指主频率)和幅度随放电电流变化的关系(下图)。图 5 是不同频谱区的自激振荡波形。

从图 4 可以看出, 当放电在 4mA 处刚发生自激振荡, 光电压信号就出现跃变。改

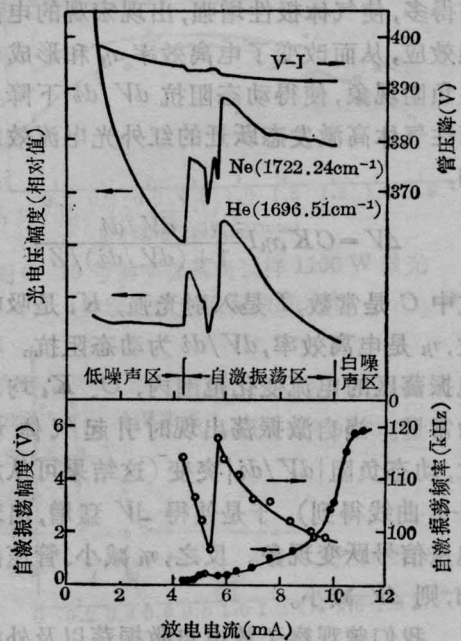


图 4 等离子体自激振荡对 OGE 的影响 (He:Ne=7:1, $P_0=1.6\text{Torr}$, $l=150\text{mm}$)

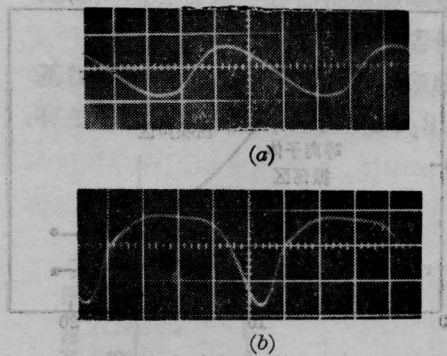


图5 自激振荡波型

(a) $i_0=4.4\text{ mA}$, (b) $i_0=6.5\text{ mA}$
(时标: $2\mu\text{s/cm}$)

变放电电流并扫过自激振荡区, 光电压还发生一次跃变。特别值得注意的是, 在光电压发生跃变处, 管压降亦突然降低, 放电内阻减小。这表明, 等离子体振荡对放电状态和光电流效应有着强烈的影响。

关于等离子体振荡增强光电流效应的作用机理, 我们认为这是由于放电等离子体出现振荡时, 荷电的电子和离子集体振荡运动, 特别是电子振荡频率 ω_{ep} 比离子振荡频率 ω_{ip} 高得多, 使气体极性增强, 出现宏观的电离增强效应, 从而改变了电离效率 η_i 和形成非线性负阻现象, 使得动态阻抗 dV/di 下降。由惰性气体高激发态跃迁的红外光电流效应可知:

$$\Delta V = CK_i \eta_i I \frac{dV/di}{1 + (dV/di)/Z} \quad (1)$$

式中 C 是常数, I 是入射光强, K_i 是吸收系数, η_i 是电离效率, dV/di 为动态阻抗。在放电振荡区的电流变化范围内, C 、 K_i 均近似为常量。当自激振荡出现时引起气体 η_i 增大, 动态负阻 $|dV/di|$ 突变 (这结果可从放电 $V-I$ 曲线得到), 于是使得 ΔV 猛增, 出现光电压信号跃变现象。反之, η_i 减小、管压降增加, 则 ΔV 减小。

我们曾观察了放电自激振荡以及外激振荡对 He-Ne 激光器输出光强 (632.8 nm) 的影响, 发现振荡并不能增强或降低输出激光

强度。这进一步表明, 放电振荡仅改变了等离子体的电荷密度和分布, 并不明显影响能级跃迁的吸收系数 K_i 。因此, 自激振荡增强光电流效应与发生跃迁的能级无关。

当电源用音频信号调制, 在固定放电电流和信号源输出幅度下, 调谐音频信号频率, 观察光电压信号随外加频率变化的关系, 可以得到一系列陡峭的光电流峰, 典型结果见图6。图中 (a) 是放电处在无自激振荡的结果; (b) 是放电自身存在自激振荡的结果, 其主频率为 108 kHz。可见外界信号只在一定频率下才会影响光电流信号。当频率等于自激振荡频率时, 光电压幅度达最大且可几倍于无外加信号时的光电压。然而外界信号也可以使光电压信号减弱到几乎为零, 它的频率往往稍大于谐振频率。这可能是外界信号扰乱了等离子体的振荡而造成的。

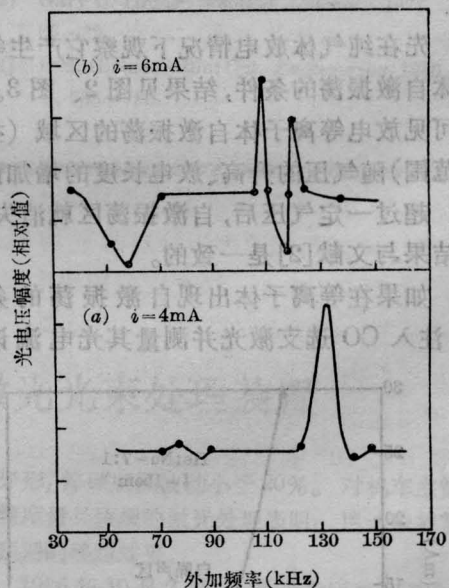


图6 光电压随外加信号频率的变化
(a) 无自激振荡; (b) 有自激振荡 ($f=108\text{ kHz}$)
(He:Ne=7:1, $P_0=1.6\text{ Torr}$, 近
共振跃迁 $\text{Ne } 1722.24\text{ cm}^{-1}$)

从图6还可以看到, 一定电流下, 外激的振荡频率可以引起不止一个光电流峰, 并且随着放电电流增加, 引起等离子体的光电流共振频率峰也增多, 这显然是由于放电电流

加大后其自激振荡的频谱分布更宽的缘故。

固定外加信号频率,改变电压幅值,可观察到它对光电压有很大的影响,结果见图7。图中的电压值是用示波器测得的放电管两端的外加信号的幅值。可见随外加信号电压幅值增大,光电流波动的范围增大,且峰值电流位置也发生移动并加大。

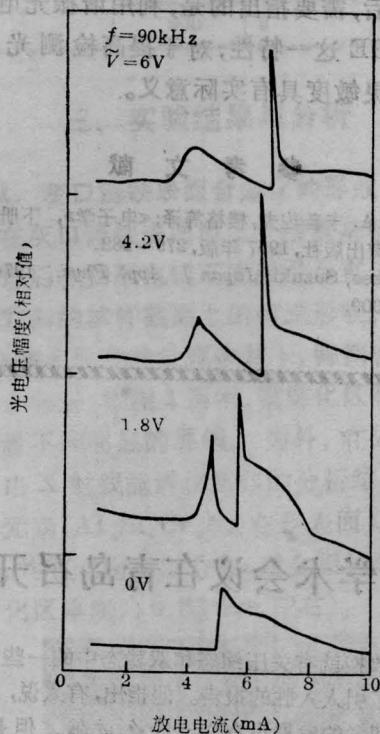


图7 外加信号大小对光电压的影响

(He:Ne=7:1, $P_0=2.0$ Torr,
近共振跃迁 Ne 1722.24 cm^{-1})

上述实验结果表明,外加信号频率等于自激振荡频率时,与放电等离子体发生谐振,将加剧气体的电离,导致光电压显著增大。因此,根据光电压的峰值位置有可能来测量等离子体谐振频率以及研究其频谱特性。

三、放电等离子体 谐振频率的测量

我们用 Ne(1722.24cm^{-1})的光电压信号,外加一小信号电压(2V左右),并逐点改

变其频率,缓慢地调节放电管电流,记录了一组光电压随电流变化的曲线,部分代表性结果在图8给出。归结为以下几个特点:

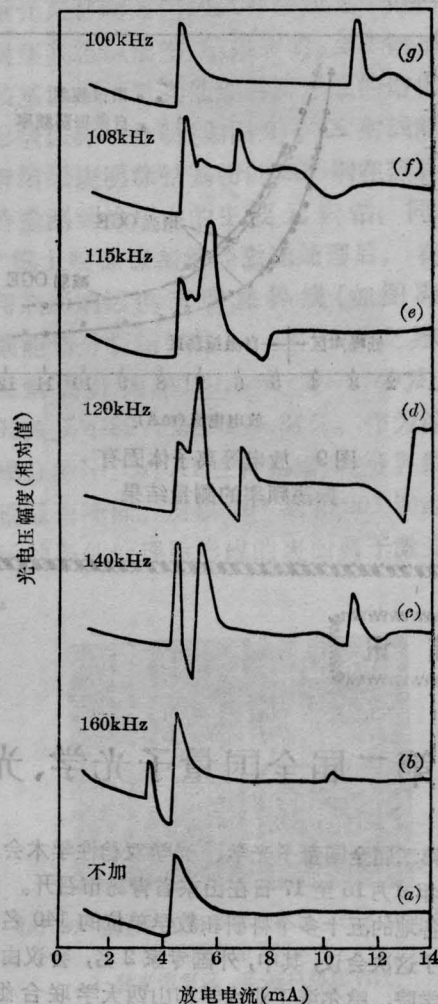


图8 在不同外加频率下,
光电压随放电电流的变化

(He:Ne=7:1, $P_0=1.6$ Torr, $l=80$ mm)

1) 在等离子体自激振荡区之前(即低噪声区),同样存在着谐振频率,只是不足以自振而已,见图8(b)。

2) 在同一频率下,可以在几处出现谐振峰,有增强 OGE,也有减弱 OGE。如图8中(e)、(d);

3) 在一定电流下,也可以存在几个谐振频率,见图8的(d)、(e)、(f)。

根据扫描曲线中 OGE 的峰和凹值位置,

便可得到谐振频率随放电电流变化的关系, 见图 9。图 9 中还给出了自激振荡主频率的测量值。

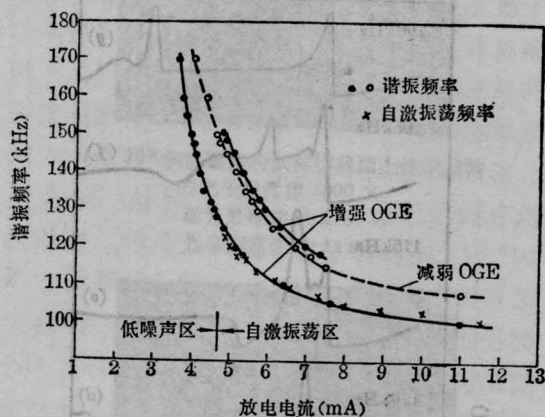


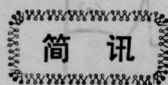
图 9 放电等离子体固有振荡频率的测量结果

由此可见, 利用谐振光电流方法测量放电等离子体振荡的频谱特性有其独特优点, 它除了能测出低噪声区的固有振荡频率外, 还能观察到各频率成分对等离子体电离状态以及 OGE 的贡献, 这是用频谱仪测量所不能及的。因此, 该法可作为研究等离子体振荡特性的一种补充手段。

最后, 需要指出的是, 利用谐振光电流法增强 OGE 这一特性, 对于提高检测光电流信号的灵敏度具有实际意义。

参 考 文 献

- [1] H. A. 卡普佐夫, 楼格等译;《电子学》, 下册, 高等教育出版社, 1957 年版, 279~282.
- [2] Takeo, Suzuki; *Japan J. Appl Phys.*, 1970, No. 3, 309.



简 讯

第二届全国量子光学、光学双稳性学术会议在青岛召开

第二届全国量子光学、光学双稳性学术会议于 1986 年 9 月 15 至 17 日在山东省青岛市召开。来自全国各地的五十多个科研和教学单位的 140 名学者出席了这次会议, 其中, 外国专家 2 名, 会议由山东海洋学院、哈尔滨工业大学和山西大学联合组办。这次会议共收到论文报告约 84 篇。

会议以特邀报告和讲学形式就量子光学的压缩态、光学双稳性、混沌、聚束与反聚束和光子统计分布等问题进行学术交流。美国德莱索大学 Narducci 教授就激光不稳定性理论和实验研究作了系统而全面的介绍; 美国罗切斯特大学的著名量子光学专家 Mandel 教授就量子光学的压缩态、光子统计和光子相干等理论问题, 以及这一领域的最新实验研究和应用前景作了详细介绍; 吉林大学高锦岳教授报告了他们同 Narducci 教授在混合光学双稳态研究中所取得的成果; 中科院北京物理所张洪钧教授报告了具有竞争相互作用的光学双稳态的频率锁定效应; 哈尔滨工业大学李淳飞教授全面介绍了半导体光学双稳态的有关特性和发展; 中科院上海光机所

谭维翰教授就有关压缩态和双稳态中的一些问题的研究作了引人入胜的报告。他指出, 有人说, 激光对基础物理学的发展没有作出什么贡献。但是实际上, 由于激光的发展才使我们真正认识到光的统计分布, 除普朗克分布外, 还有泊松、亚泊松和超泊松等分布, 以及近年来开展的聚束、反聚束和压缩态等的研究, 这些都不能不算是基础物理的贡献; 山东大学陈继述教授报告了他们在含色散光学双稳态及其耗散结构研究中所取得的成果; 兰州大学汪志诚教授报告了双光子激光的有关理论研究结果。

会议讨论, 发言热烈, 学术研讨气氛浓厚。热心倡导开展我国量子光学研究的中国科大郭光灿副教授兴奋地说, 这次会议, 中青年学者所表现出来的对量子光学的浓厚兴趣, 使我们有理由相信, 量子光学在我们中国这块土地上必将取得更多、更新和更重大的成果。

据悉, 第三届会议将于 1988 年在山西太原市召开。

(黄永楷)