

一种新的无极放电技术

王福敦 龚光源

(中国科学院上海光学精密机械研究所)

气体激光器的发展大大地促进了气体放电技术的发展,尤其是近几年 TEA CO₂ 激光器、N₂ 分子激光器、稀有气体卤化物准分子激光器的进展,要求大面积均匀辉光放电和选择性能量耦合。为此发展了多种预电离技术^[1]及各种形式的等离子体电极^[2,3],以使放电区间的空间电荷分布均匀,改善电极面型和电子发射特性,避免放电成弧。

本文提出的无极放电是以固体电介质表面的装填式电荷发射为基础的新型放电技术。它可以在不使用任何预电离措施情况下获得大面积均匀辉光放电,并对器壁没有苛刻的面型要求。这就可能简化激光器结构和设备,提高以活泼元素为激光介质的激光器工作寿命。

一、原理简述

这种放电技术可以看成电介质在电场作用下引起对称性或趋向性发生改变,导致电介质表面出现束缚电荷。运用多种方法把异性自由电荷装填到介质表面上去,中和这种束缚电荷。把在电场和电介质相互作用下呈现的均匀分布的束缚面电荷对异性自由电荷的吸引力场视为限制异性自由电荷运动的三维势垒:

$$W_a = \frac{eV_D}{2\varepsilon},$$

其中 ε 为电介质介电常数, V_D 为电介质两表面间电位差, e 为被束缚异性“自由电荷”的电量。进而根据电介质的电学特性及三维位垒的边界条件确定晶胞模型。用量子统计法可以求出束缚于电介质表面上的异性“自由电荷”的逸出功 ϕ 。

物理

为了研究放电,我们用两块尺寸相同的能够进行上述装填式电荷发射的介质板构成一个中空气体放电室,如图 1 所示。其中 D_1, D_2 为具有介电常数 ε 、厚为 L 、直径为 d 的电介质平板,它们的间距离为 L_g 。另用绝缘材料做的管子 T 密封放电室。 D_1 和 D_2 的外表面整体镀银作为外电极。

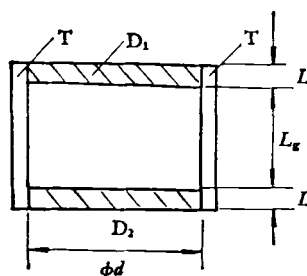


图 1 放电室结构简图

在放电室内充以气压为 p 的某种气体,其着火电压为 V_i 。再在 D_1 和 D_2 两电介质板的镀银外电极上施加电压 V 。在气体击穿之前,介质板两表面电位差 $V_D = V \left(\frac{L}{2L + \varepsilon L_g} \right)$, 气体两端的电位差为 $V_g = V \left(\frac{\varepsilon L_g}{2L + \varepsilon L_g} \right)$, 此时 $V_g < V_i$ 。

如果增加 V 值使 V_g 大于 V_i , 那么放电盒中气体离化, 形成等离子体。同时此等离子体在外场的作用下以两种不同极性的自由电荷分别对介质板 D_1 和 D_2 的内表面充电储能。在场致离化等离子体有足够的密度以及声、光、电、热对吸附电荷的骚扰足够小时, 这种充荷储能达到最终的状态应是: $V_g = 0, V_D = \frac{1}{2} V$ 。

显然, 这种情况下能量全部储存于介质板

及其所占居的空间之中。此后一旦外加电压突然下降到零 ($V = 0$), 则储存于介质板中的能量 $W = \frac{D^2 \epsilon}{64L} V^2$, 和充填于介质板表面上的“自由电荷” $Q = \frac{D^2 \epsilon}{32} V$, 将经过表面电荷的弹射 ($\phi = 0$) 和气体碰撞、激发以及复合放电而释放出来。

二、实验装置和观察结果的讨论

实验装置如图 2 所示。由电介质板 D_1 , D_2 和玻璃管 T 胶合成的放电室与火花隙 S 以及直流电源 C 的两个输出端相并联。其中 G 是触发电极, 一经触发, S 和器件就同时放电。放电室内径为 36 mm, 电介质板 D_1 和 D_2 之间的间距为 15 mm, 所用电介质材料是钛酸钡陶瓷, 介电常数为 $\epsilon = 8000$, 厚为 5 mm。

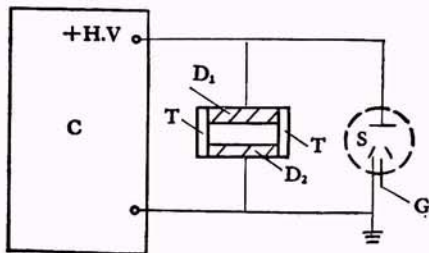


图 2 实验装置图

1. 放电均匀性观察

用上述实验装置, 器件中充空气 30 Torr, 充电电压为 5 kV, 单次拍摄放电发光照片如图

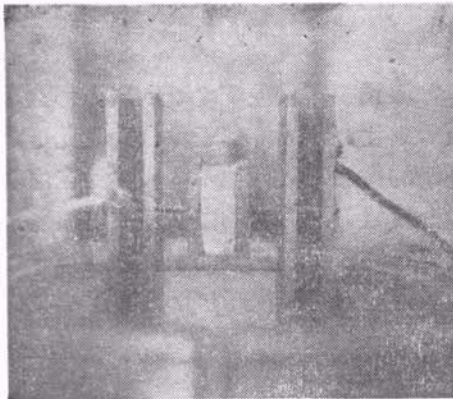


图 3 放电均匀性照片

3 所示。从所摄辉光照片可见, 这种新型无极放电有较大的纵横比, 不采用任何预电离措施和特殊的面型结构也能够获得相当均匀的辉光放电。

2. 放电电压波形观察

用上述实验装置、分压器和示波器系统, 对于放电的电压波形进行观察的典型结果如图 4

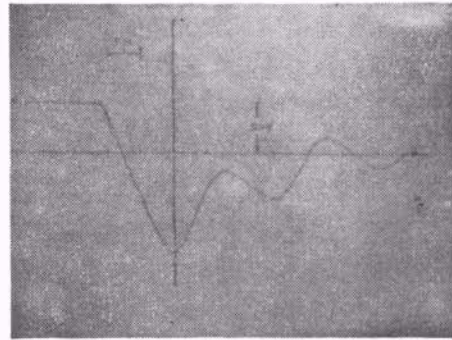


图 4 器件放电时, 用分压器和示波器系统测得器件放电电压的典型波形
(扫描速度为 5 ns/格, 垂直幅度为 5 kV/1.5 格)

所示, 从图中可见放电上升速率较快 (~ 10 ns)。放电电压有较大的反冲, 反冲电压为所施加外电压幅值的 1~2 倍左右, 并且波形中有阻尼谐振分量存在。这种电压反冲及波形中阻尼振荡分量可以用电介质弹性发射时结构变型及谐振来解释。实际观察发现, 电压波形的前沿速率及波形中谐振幅值的大小和火花隙的作用密切相关。火花隙的开关作用好(电压下降快, 阻抗小), 电压波形前沿陡, 反冲电压幅度大, 波形中谐振幅度也大, 阻尼小, 谐振时间长。但是波形中的谐振频率没有明显变化。

3. 用黄铜板取代放电室上的 D_2 电介质板进行放电观察

观察到较容易形成整体均匀放电。如果在黄铜电极中心插入一个尖端铜棒, 破坏电场均匀性进行放电时, 放电依旧为辉光放电, 辉光区间从电介质板 D_1 的表面逐渐向此尖端收缩, 形成一个圆锥体辉光放电区。当严重的场不均匀性出现于铜电极边缘时, 在较高的气压下会产生沿电介质表面的辉光渡越放电, 在电场强时出现较强的辉光放电。这是由于场不均匀时表

面上放电时间有先后,造成电介质表面上有较大的电位差所致。

4. 放电的能量观察

在室温下,实验发现放电能量没有预计的那样大。主要是在器件充荷储能时电介质板两表面间电压没有达到 $V_D = \frac{1}{2} V$ 的值,所能实

际达到的值大约是 $V_D = \frac{1}{2} (V - V_i)$ 。这归因于电荷的热发射。

5. 静电闪光的观察

将放电器件放置在暗箱内,加上直流恒压,不触发火花隙开关。只要所加电压使 $V_k > V_i$,就应该观察到由于热电子发射造成气体中电位不断改变所引起的闪光放电。用黄铜板代替 D_1 的器件做实验,的确观察到静电闪光。

参 考 文 献

- [1] 包智香等,电子学报,5-5(1981),70.
- [2] 王福敦等,激光,8-3(1981),44.
- [3] В. Ю. Баранов, В. М. Борисов, О. Б. Хрисмофоров, Квантовая Электроника, 8-1 (1981), 165.

(上接第 139 页)

起很大误差。因此,需要进一步深入研究择优溅射对表面分析结果的影响及其校正方法,并发展其它非破坏性的表面成分及其深度分布的测量方法。

参 考 文 献

- [1] G. K. Wehner, Methods of Surfaces Analysis, Ed: A. W. Czanderna, Elsevier Scientific, (1975), 5
- [2] G. K. Wehner, J. Vac. Sci. Technol., A1(1983), 487.
- [3] P. Sigmund, Sputtering by Particle Bombardment I, Ed: R. Behrisch, Springer-Verlag, (1981), 9
- [4] P. Sigmund, Phys. Rev., 184(1969), 383.
- [5] H. Oechsner, Z. Physik, 238(1970), 433.
- [6] P. K. Haff and Z. E. Switkowski, Appl. Phys. Letters, 29(1976), 549.
- [7] R. P. Frankenthal and D. J. Siconolfi, Surface Sci., 111(1981), 317.
- [8] H. Shimizu, M. One and K. Nakayama, Surface Sci., 36(1973), 817.

- [9] F. Garbassi and G. Ferravane, Surface Sci., 71(1978), 42.
- [10] G. Betz, M. Opitz and P. Braun, Nuclear Instrum. Methods, 182/183, (1981), 63.
- [11] 董树忠、庞嫄婉、邓景发、朱效中,金属学报,19(1983), B262.
- [12] R. Kelly, Surface Sci., 100(1980), 85.
- [13] P. K. Haff, Appl. Phys. Letters, 31(1979), 259.
- [14] G. E. McGuire, Surface Sci., 76(1978), 130.
- [15] P. K. Rol, J. M. Fluit and I. Kistemaker Physica, 26(1960), 1000.
- [16] J. N. Coburn, Thin Solid Films, 64(1979), 371.
- [17] R. Shimizu, Proc. 7th Intern. Vac. Congr. and 3rd Intern. Conf. Solid Surfaces, Vol. II, p. 1417, Vienna, (1977).
- [18] P. S. Ho, Surface Sci., 72 (1978), 253.
- [19] P. M. Hall, I. M. Morabito and D. K. Conley, Surface Sci., 62(1977), 1.
- [20] G. Betz, Surface Sci., 92(1980), 283.
- [21] H. J. Mathieu and D. Landolt, Appl. Surface Sci., 10(1982), 100.
- [22] P. S. Ho, J. E. Lewis, H. S. Wildman and J. K. Howard, Surface Sci., 57(1976), 393.