

文章编号: 1001-4322(2002)03-0453-03

潘宁放电在密封电真空器件真空度测量中的应用*

金大志, 唐平瀛, 刘 铁, 谈效华, 戴晶怡

(中国工程物理研究院 电子工程研究所, 四川 绵阳 621900)

摘 要: 密封电真空器件的可靠性尤其重要, 而影响其可靠性的主要因素是真空度。对于具有两个电极的密封电真空器件由于无法利用其自身的电极结构直接测定其真空度, 因此需要研究并建立一种合适的真空度测量方法。分析了利用潘宁放电来测量两个电极的密封电真空器件真空度的工作原理, 设计了测试实验装置, 初步建立了密封电真空器件的潘宁放电模型, 给出了有关实验数据。

关键词: 潘宁放电; 密封电真空器件; 真空度

中图分类号: TB771

文献标识码: A

密封真空器件对剩余气体压强都有要求, 这关系到器件的寿命和可靠性。若器件存在慢性漏气和内部材料慢性放气, 经贮存或使用一段时间后造成器件内因压强上升而导致特性恶化或失效, 对于具有两个电极且无法利用其自身的电极结构直接测定真空度的密封电真空器件, 需要研究并建立一种合适的真空度测量方法。

1 测试原理和模型

1.1 测试原理^[1]

对于具有两个电极, 真空度一般在 $10^{-1} \sim 10^{-4}$ Pa 之间的密封电真空器件, 可以利用潘宁放电的原理来进行真空度的测量, 即利用器件中的自由电子作为初始自由电子, 这些自由电子在电场和磁场的共同作用下在向阳极的运动过程中, 与气体分子发生碰撞而使其发生电离, 电离产生的正离子在强电场作用下, 高速轰击阴极, 在阴极表面打出二次电子, 这些电子在飞向阳极时, 再与气体分子碰撞又发生放电, 如此不断发展引起气体电离和气体放电。加磁场的目的是增加气体电离的机会, 当不加磁场时, 虽有电场存在仍不能引起放电, 这是由于在低压强时, 电子的平均自由程大于放电电极间距, 电子与气体分子碰撞的几率很小, 所以不能引起放电。在有磁场时, 电子在电场和磁场的共同作用下在向阳极的运动过程中, 电子的轨迹不再是直线运动而是螺旋运动, 这比起只有电场单独存在时大大地增加了电子飞行路径, 也增大了电离几率, 即使在很低的压强下也能引起放电, 产生足够的电离电流信号, 信号的大小与气体压强有关。

采用的方法是将密封电真空器件置于一个均匀的螺线管磁场中, 在密封电真空器件上加一个直流高压, 测量一定气压情况下的放电电流大小。

1.2 着火条件模型^[2]

对具有两个电极的密封真空器件复杂的具体结构简化为如下模型, 见图 1。假设两极之间为平行电场和均匀的轴向磁场, 即 $E \parallel B$ 。

两极之间建立电场后, 空间的自由电子以及阴极表面的微弱电子发射, 会形成本底电流, 此电流较小。电子流在磁场中做 Larmor 运动, Larmor 运动使得电子在到达阳极前的运动路程大大增加, 有更多的机会与残余气体分子碰撞并使其电离。设电子的初始速度径向分量为 v_r , 则 Larmor 运动的半径 R_L 和周期 T_L 分别为

$$R_L = m_e v_r / eB_z, \quad T_L = 2\pi m_e / eB_z \quad (1)$$

式中: m_e 和 e 分别为电子质量和电量。

由于强电场加在轴向, 故假设电子依靠轴向的动能来使气体分子电离, 即发生碰撞电离后电子只损失轴向

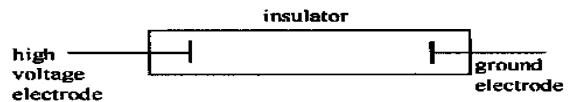


Fig 1 Schematic structure

图 1 结构示意图

* 四川省电子学会第二届高能电子学学术交流会优秀论文。

收稿日期: 2001-09-17; 修订日期: 2001-11-12

作者简介: 金大志(1970-), 男, 高级工程师, 从事电真空器件的研制, 绵阳 919-523 信箱。

动能。设气体分子的电离能为 E_1 ，若轴向动能大于或等于 E_1 电子只发生电离碰撞，则电子的动能从 0 积累到 E_1 所需要的时间为

$$T_1 = (2Em_e d^2 / e^2 U^2)^{1/2} \quad (2)$$

在稳定的放电过程中，电子在两次碰撞之间积累的动能必须大于气体的电离能，即电子动能积累到 E_1 之前所走过的路程 S 应小于电子的平均自由程 λ ，即

$$S = 2\pi R_L T_1 / T_L < \lambda \quad (3)$$

电子通过电场均匀的两极间的时间为

$$T_0 = (2m_e / eU)^{1/2} d \quad (4)$$

则电子在它被阳极吸收之前，至少应发生一次碰撞，即

$$(2m_e / eU)^{1/2} v_r d > \lambda \quad (5)$$

由以上两式可得潘宁放电的着火条件为

$$(2m_e / eU)^{1/2} v_r d > \lambda > (2m_e E_1)^{1/2} v_r d / eU \quad (6)$$

根据上式，着火条件似乎与磁场无关，这是由于我们采用的是同轴磁场。尽管磁场的大小并不影响放电的着火条件，但对具体的器件而言，为了使放电信号可测量，磁场值应有下限值，这是因为Lamor运动的半径必须小于管径 R_0 。故最小磁场为

$$B_{min} = m_e v_r / eR_s \quad (7)$$

2 实验

2.1 实验装置

实验的电路原理图见图2，有关实验参数如下。直流高压：1.5kV；低压电源：0~30V，0~50A；螺线管线圈：电感为5.88mH，电阻为1.32Ω，工作电流15A；取样电阻为1000Ω；离子电流由示波器(Tek3014)和记录仪记录。

为了作出真空度(p)-放电电流(I)曲线，需要在不同的真空度下测试，因此要将器件接在真空抽气装置上，即 p - I 曲线的获取要在如图3所示真空度-离子流标定系统上进行。

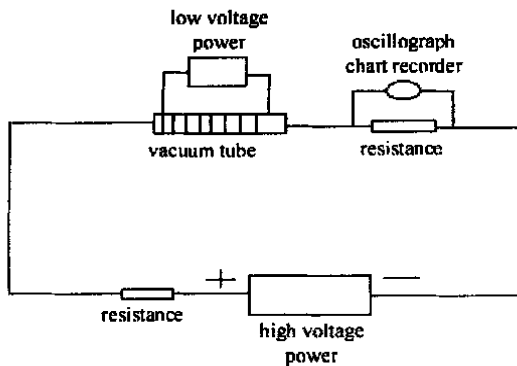


Fig 2 Electric circuit
图2 电路原理图

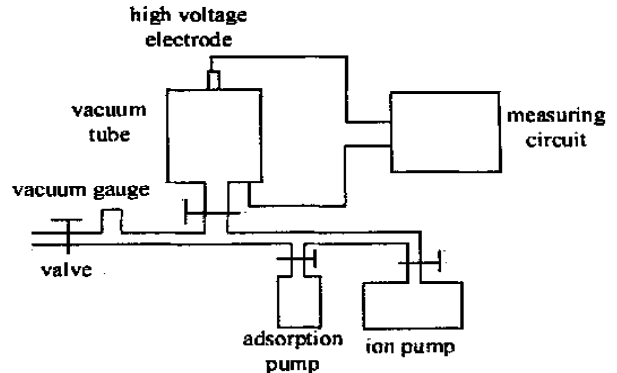


Fig 3 Pressure-ion current measuring system
图3 真空度-离子流标定系统

2.2 实验结果

通过实验观察到了具有两个电极的密封真空器件的潘宁放电的现象，测试了不同真空度的潘宁放电子流的大小和波形，图4是 5.0×10^{-2} Pa 的放电电流波形，图5是根据与真空度对应的离子流大小作出的真空度-离子流曲线。

对真空度-离子流曲线进行拟合(拟合函数: $I = 0.012 \times p^{0.66}$ ，其中 I 的单位为 A， p 的单位为 Pa)，可以得出 $I = f(p)$ 的函数关系，如图6。从拟合曲线来看，除了在 6.0×10^{-1} Pa 附近外，其余都吻合较好，说明拟合函数是符合实际的真空度-离子流曲线。

3 结论

通过实验我们观察到了具有两个电极的密封器件在电磁场作用下的潘宁放电现象，符合上述理论分析，同

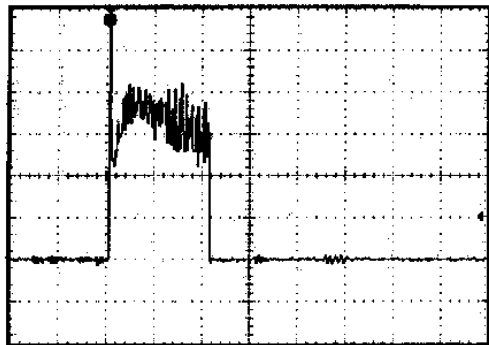


Fig 4 Ion current of 5.0×10^{-2} Pa
图 4 5.0×10^{-2} Pa 的放电电流波形

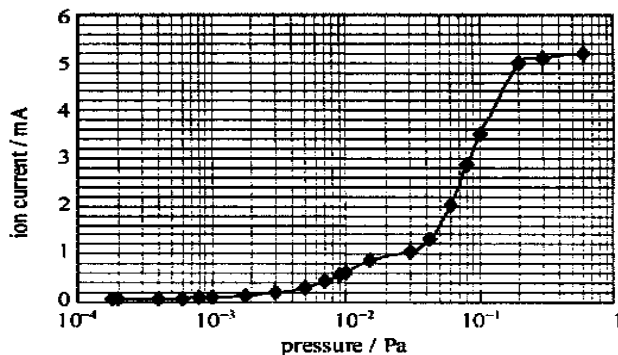


Fig 5 Pressure-ion current chart
图 5 真空度-离子流曲线

时证实了真空度与离子流的一一对应关系, 经过严格校正曲线后即可解决密封电真空器件的真空度测量问题。

参考文献

- [1] 唐政清 真空测量[M] 北京: 宇航出版社, 1992 (Tang Z Q. Vacuum measuring Beijing: Yuhang Press, 1992)
- [2] 程仲元, 邹积岩 脉冲磁控真空计的工作磁场分析[J] 高压电器, 1995. 1. (Cheng Z Y, Zhou J Y. The analysis of magnetic field in magnetron-discharge vacuum gauge High voltage electrical equipment, 1995. 1)

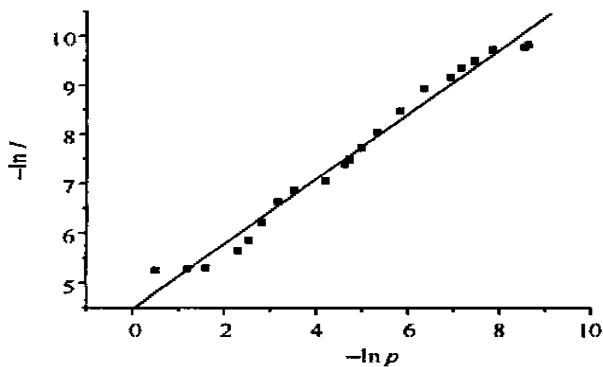


Fig 6 Fitting curve
图 6 拟合曲线

Application of Penning discharge in vacuum measuring of sealed vacuum device

JIN Da-zhi, TANG Ping-ying, LU Tie, TAN Xiao-hua, DA JIing-yi

(Institute of Electric Engineering, CAEP, P. O. Box 919-523, Mianyang 621900, China)

Abstract Reliability of the sealed vacuum device is very important, and the main reason that affects reliability is its vacuum. As the degree of vacuum cannot be measured directly, an indirectly method is adopted in this paper. In this paper, the principle in measuring the vacuum of sealed vacuum device with Penning discharge is analyzed, the Penning discharge model of sealed vacuum device is established, the experimental device is designed, and pressure-ion current chart is presented.

Key words: Penning discharge; sealed vacuum device; vacuum