

固体离子双电层电容器主要参数的直流测试方法

薛荣坚 信赢¹⁾

(中国科学院物理研究所)

1983年6月16日收到

快离子导体的一个重要应用领域是固体离子器件^[1]。双电层电容器就是一个例子。无极性固体离子双电层电容器的物理模型如图1所示。图2的虚线框内是它的等效线路。 C_d 是两个双电层电容串联的总电容(由于 C_d 很大,可以忽略体电容的贡献); R_s 是等效串联电阻,主要是离子导体的电阻; R_l 是漏电阻,它表征双电层电容器泄漏电流的能力。 C_d 、 R_s 及 R_l 是决定离子电容器性质的三个主要参量。由于 C_d 大, R_s 的值也十分可观,用通常的电容电桥无法测试,因此人们通常进行直流测试。文献[2]报道了恒流充电测试 R_s 和 C_d 的方法。我们在研究离子双电层电容器的过程中采用了两种新的测试方法。本文分别介绍这两种方法。

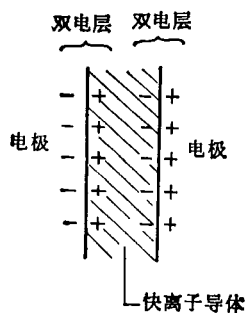


图1 固体离子电容器双电层模型

一、电量积分法

依照图2线路,首先使样品(图中虚线内部分)充电。用X-Y函数记录仪记录样品的端电压 V_m 及标准电阻 R_A 上的电压 V_R 。然后使样品通过 R_A 放电,同样记录 V_m 和 V_R ,这样便得到了如图3所示的样品充放电曲线。在任

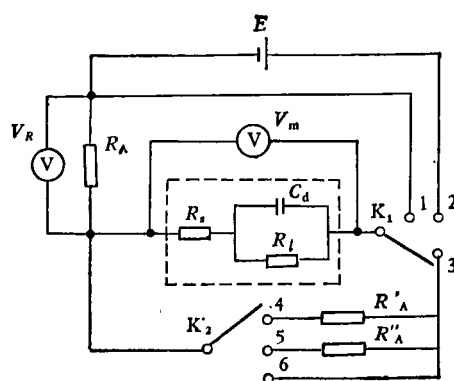


图2 测试线路

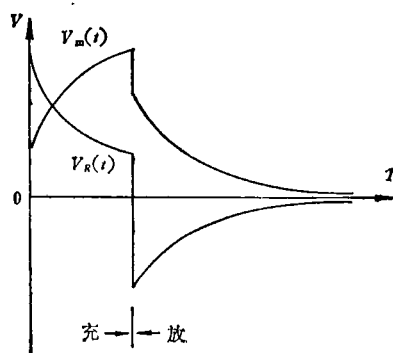


图3 样品充放电曲线

何时刻,根据分压原理, R_s 上的压降 V_s 与 V_R 之比应等于 R_s 与 V_R 之比。而当充电开始的瞬间($t=0$ 时), C_d 两端的电压 $V_C(0)=0$,这样就有 $V_m(0)=V_s(0)$,于是可求得 $R_s=V_m(0)R_A/V_R(0)$ 。

令 $Q_{\text{充}}$ 为对整个样品充的电量; Q_C 为积累在 C_d 极板上的电量; Q_l 是 R_l 上漏过的电量。

1) 天津大学物理系1983年毕业生。

这样充电时就有

$$Q_{\#} = Q_c + Q_1. \quad (1)$$

同样令 $Q_{\#}$ 为通过 R_A 放出的电量; Q'_1 为通过 R_1 放出的电量. 放电时就有

$$Q_{\#} = Q_c - Q'_1. \quad (2)$$

将(1)式减去(2)式,得

$$Q_{\#} - Q_{\#} = Q_1 + Q'_1. \quad (3)$$

流经电阻 R_A 的电流 $i_R = V_R/R_A$, 故积分图3的 $V_R(t)$ 曲线,就得到(3)式左边的量,即

$$Q_{\#} = 1/R_A \int_0^{t'} V_R(t)_{\#} dt;$$

$$Q_{\#} = 1/R_A \int_{t'}^{\infty} V_R(t)_{\#} dt,$$

式中 t' 是充电结束的时刻,也是放电开始的时刻. 实验时样品放电到端电压低于 t' 时刻电压的5%时即可终止.

若令 V_1 和 V_c 分别是 R_1 和 C_d 上的压降,则充电时

$$\begin{aligned} V_1(t) &= V_c(t) - V_m(t) - V_s(t) \\ &= V_m(t) - V_R(t)R_s/R_A, \end{aligned}$$

从而流经 R_1 的充电电流是

$$\begin{aligned} i_1(t)_{\#} &= V_1(t)/R_1 \\ &= \frac{1}{R_1} [V_m(t) - V_R(t)R_s/R_A]; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_1 &= 1/R_1 \left[\int_0^{t'} V_m(t)_{\#} dt \right. \\ &\quad \left. - R_s/R_A \int_0^{t'} V_R(t)_{\#} dt \right]. \quad (4) \end{aligned}$$

放电时

$$\begin{aligned} V_1(t) &= V_c(t) - V_R(t) + V_s(t) = V_R(t) \\ &\quad + V_R(t)R_s/R_A = (1 + R_s/R_A)V_R(t), \end{aligned}$$

故流经 R_1 的放电电流是

$$\begin{aligned} i_1(t)_{\#} &= (1 + R_s/R_A)V_R(t)/R_1, \\ Q'_1 &= (1 + R_s/R_A)/R_1 \int_{t'}^{\infty} V_R(t)_{\#} dt. \quad (5) \end{aligned}$$

(4)式和(5)式中的积分都能由图3的 $V_m(t)$ 和 $V_R(t)$ 曲线求得. 将(4)式和(5)式的运算结果代入(3)式,就能求得 R_1 . 这样 Q_1 和 Q'_1 也都可以计算出来. 再根据(1)式或(2)式便可确定 $Q_c(t')$ 的值. $V_c(t')$ 的值也能很方便地从上面的关系得到,于是由公式 $C_d = Q_c(t')/V_c(t')$, 得到 C_d 的值.

二、两次放电法

首先使样品(如图2所示)通过 R_A 充电,采取与电量积分法完全相同的步骤确定 R_s . 然后通过已知电阻 R'_A 一次放电. 把 R_s , R_1 和 R'_A 串并联等效为一个电阻 R' , 则

$$R' = (R_s + R'_A)R_1/(R_s + R'_A + R_1).$$

放电时,电容 C_d 两端的电压为

$$V_c = V_{c_0} \exp[-t/R'C_d].$$

又 $V_m = V_c - iR_s$, 而 $i = V_c/(R_s + R'_A)$, 故

$$V_m = V_c [1 - R_s/(R'_A + R_s)].$$

在放电的 t_1 时刻,

$$\begin{aligned} V'_{m_1} &= V_{c_0} \exp(-t_1/R'C_d) \\ &\quad \times [1 - R_s/(R'_A + R_s)]; \end{aligned}$$

在放电的 t_2 时刻,

$$\begin{aligned} V'_{m_2} &= V_{c_0} \exp(-t_2/R'C_d) \\ &\quad \times [1 - R_s/(R'_A + R_s)]. \end{aligned}$$

这样,

$$\ln(V'_{m_1}/V'_{m_2}) = (t_2 - t_1)/R'C_d.$$

读取 V'_{m_1} , V'_{m_2} , t_1 和 t_2 之后,使样品短路放电片刻,再二次充电,充电的条件(电流和电压)与第一次完全一样. 充电毕,通过 R''_A 二次放电,分别读取 t_1 和 t_2 时刻的样品端电压 V''_{m_1} 和 V''_{m_2} . 可以得到二次放电的关系式为

$$\ln(V''_{m_1}/V''_{m_2}) = (t_2 - t_1)/R''C_d,$$

$$R'' = (R_s + R''_A)R_1/(R_s + R''_A + R_1).$$

把两次放电的关系式相比,得到

$$\ln(V'_{m_1}/V'_{m_2})/\ln(V''_{m_1}/V''_{m_2}) = R''/R'. \quad (6)$$

从(6)式中求得 R_1 . 这样 R' 和 R'' 的值便可确定,利用两次放电的任一关系式都能确定 C_d .

用以上两种方法对几个样品的测试结果由表1给出. 用文献[2]报道的恒流充电法测量的 R_s 和 C_d 的值也列在表中以便比较.

由表可见恒流法测量的 C_d 值偏大,这是因为该方法没有考虑 R_1 的影响.

本文介绍的两种方法的测量精度取决于所用仪器的精度和操作的准确性. 只要严格保证测量的条件一样,两种方法都可以重复.

表1 三种方法测量结果

项目 结果	R_1 (k Ω)			R_2 (k Ω)			C_d ($10^3\mu\text{F}$)		
	恒流	积分	放电	恒流	积分	放电	恒流	积分	放电
C_1	29.00	28.00	28.00		29.40	26.31	9.43	2.37	2.07
C_2	9.80	6.23	6.23		16.81	13.04	22.00	4.36	5.27
C_3	6.50	6.61	6.61		21.91	25.29	51.01	14.50	11.60

[2] 村中孝义、森元, 电子材料, 8(1981), 129.

参 考 文 献

[1] 薛荣坚, 电子世界, 11(1981), 4.

改进 Bessel 函数法激光干涉测振

陈守六 李学志 赵春山 金亨焕

(中国科学院声学研究所)

1983年4月14日收到

一、引 言

激光干涉法是测量振动的有效方法, 它具有精度高、空间分辨率高、与被测物体不接触等优点, 故在振动测量上的应用日趋广泛。激光干涉法一般分为外差法及零差法两大类, 外差法可测瞬态振动, 且能辨别振动位相, 但设备较复杂。零差法所需设备简单。

零差法的光电信号, 对于大振幅, 可用计数器直接记录干涉条纹数的办法, 但对光波波长量级或更小的振幅, 则需对条纹进行细分, 这需用较复杂的专用电子设备。

零差法光电信号处理的另一常用方法是 Bessel 函数法^[1], 这类方法的优点是设备简单, 但此法不能用于较大振幅的测量。本文提出一个改进的 Bessel 函数法, 使它亦能测量大振幅, 初步实验表明, 它可用来测量大于 1000 Å 的振幅。

物理

二、原 理

图1为测振系统示意图。当被测物体作振幅为 A 的简谐振动时, 输出光电流为^[1]

$$I = K \left[a + \cos \left(\frac{4\pi}{\lambda} A \cos \omega t + \theta \right) \right], \quad (1)$$

式中 K 为与光电系统有关的常数, ω 为振动角

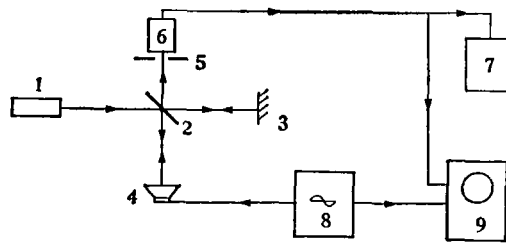


图1 测振系统示意图

1—激光器; 2—分光镜; 3—全反镜; 4—被测物体; 5—光闸; 6—光电接收器; 7—信号处理器; 8—振荡器; 9—示波器