

高阻化合物电阻率的测量方法

祁 增 芳

(南开大学电子科学系)

1986年5月21日收到

本文报道一种测量高阻化合物电阻率的方法,即变频法。

关于高阻化合物半导体电阻率的测量,已经建立了不少方法。这些方法,有的要求样品有规则的几何形状,有的需要制备良好的欧姆接触,因此给样品的制做工艺及测量带来不少困难,甚至会使测量重复性及稳定性变坏,导致测量结果离散。这里报道的变频法,既不要求样品有特殊的几何形状,也无需特殊制做欧姆接触,只用一些常规设备,就可以测得高阻化合物的电阻率,而且结果稳定、可靠。

一、实验原理

用汞探针和待测样品表面形成肖特基势垒(或者用平面工艺制成 MOS 电容),整个待测样品的等效电路如图 1 所示。

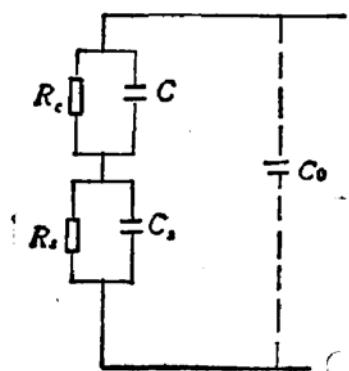


图 1 待测样品等效电路

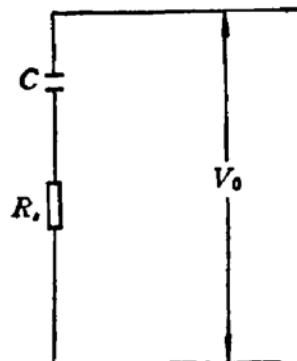


图 2 待测样品简化电路

图中 C_0 为系统分布电容, C 为势垒电容(或 MOS 电容), R_c 为直流损耗电阻, R_s 为扩展电阻, C_s 为样品分布电容。一般工艺条件下,不难做到 $R_c \gg \frac{1}{2\pi f C}$; 同时根据电磁学原理可以选取一个适当的频率 f , 使得通过样品的位移电流远小于传导电流, 即 $R_s \ll \frac{1}{2\pi f C_s}$ 。又因为系统分布电容 C_0 与信号源输入端并联, 在工作频率下, 输入阻抗远小于 C_0 的容抗, 故 C_0 的影响可以忽略不计。由上述分析, 图(1)可以简化成如图 2 所示, 若待测样品两端的电压为 V_0 , 则得到下式:

$$V_0^2 = (R_s I)^2 + \left(\frac{I}{2\pi f C} \right)^2.$$

测量过程中使电容 C 保持不变, 对两个不同的频率进行测量, 可以写出下面一组方程:

$$V_0^2 = (R_s I_1)^2 + \left(\frac{I_1}{2\pi f_1 C} \right)^2, \quad (1)$$

$$V_0^2 = (R_s I_2)^2 + \left(\frac{I_2}{2\pi f_2 C} \right)^2, \quad (2)$$

联解 (1), (2) 两式得到

$$R_s^2 = \frac{V_0^2}{f_2^2 - f_1^2} \left[\left(\frac{f_2}{I_2} \right)^2 - \left(\frac{f_1}{I_1} \right)^2 \right]. \quad (3)$$

式中 f_1, f_2, V_0 为已知, I_1, I_2 可以通过取样电压而求得, 所以由 (3) 式可以求出 R_s .

R_s 可以由下式表示 (R_s 为扩展电阻)

$$R_s = \frac{\rho}{4r_s}. \quad (4)$$

式中 r_s 为汞探针的半径, 它可以用测距显微镜准确的测出. ρ 为待测样品的电阻率. 由实验测出了样品的扩展电阻 R_s , 就可以算出样品的电阻率 ρ .

二、实验方法

实验装置示意图如图 3 所示

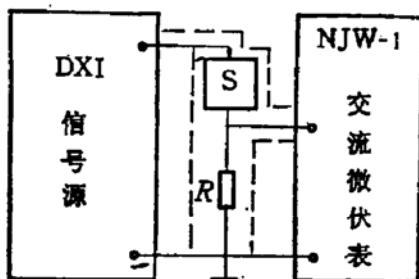


图 3 实验装置示意图

本实验采用 XD1 型低频信号发生器为信号源, 由 NJW-1 型交流微伏表检测取样电压. 图 3 中 R 为取样电阻, S 为待测样品. 实验要求对待测样品和取样电阻都要进行良好的屏蔽. 同时取样电阻应当采用高精度、高稳定性的标准电阻. 梅探针严防污沾和氧化, 以便保证制成高性能的肖特基势垒.

实验中采用如下条件:

$$\begin{aligned} f_1 &= 50 \text{Hz}, \quad f_2 = 100 \text{Hz}, \quad V_0 = 0.5 \text{V} \\ r_s &= 0.5 \text{mm}, \quad R = 82 \text{k}\Omega. \end{aligned}$$

由实验测得:

当 $f_1 = 50 \text{Hz}$ 时, $V_{R_1} = 110 \mu\text{V}$ (取样电压).

$f_2 = 100 \text{Hz}$ 时, $V_{R_2} = 115 \mu\text{V}$ (取样电压).

由取样电压和取样电阻算出:

$$I_1 = 1.34 \times 10^{-9} A,$$

$$I_2 = 1.40 \times 10^{-9} A,$$

将 I_1 、 I_2 、 R_s 一并代入(3)式，算得：

$$R_s = 3.78 \times 10^8 \Omega.$$

由(4)式求出：

$$\rho = 7.56 \times 10^7 \Omega \cdot \text{cm}.$$

同一块样品，由霍尔实验测量的电阻率为 $9 \times 10^7 \Omega \cdot \text{cm}$ 。对于高阻样品而言，二种方法的结果吻合的较好。

本实验中， $R_s > 10^{11} \Omega$ ，电容 C 大约做到 10^{-11} 法拉。由工作频率可以估算出 $R_s \gg \frac{1}{2\pi f C}$ 。又由电磁学原理知道，在交流电压作用下，介质中的位移电流与传导电流之比为 $\omega\epsilon/4\pi\sigma$ ，待测样品为 GaAs 材料，其介电常数 $\epsilon = 12.5$ ，电阻率约 $10^7 \Omega \cdot \text{cm}$ ，代入上式得到：

$$\begin{aligned} \frac{\omega\epsilon}{4\pi\sigma} &= \frac{\epsilon f_1}{2\sigma} = \frac{\epsilon f_1 \rho}{2} = \frac{10^7 \Omega \cdot \text{cm} \times 50 \text{Hz} \times 12.5}{2} \\ &= \frac{1}{9 \times 10^{11}} \times 10^7 \text{CGSE} \times 50 \times 12.5 = 3.47 \times 10^{-3}. \end{aligned}$$

由以上计算结果看出，位移电流远小于传导电流，即 $R_s \gg \frac{1}{2\pi f C_s}$ ，由上述分析看出，在该实验条件下，图 1 简化成图 2 是合理的，所以公式 3 有效（实验中所用的 NJW-1 型微伏表的输入阻抗为 $2M\Omega$ ）。

三、讨 论

推导公式(3)时，没有考虑信号源内阻的影响，认为实验中能满足 $Z_i \ll R$ ， $Z_i \ll \frac{1}{2\pi f C}$ (Z_i 为信号源的内阻)。若考虑信号源的内阻 Z_i ，也能得到同样的结果。如图 4 所示：

设端电压为 $V(t)$ ，由图 4 可以写出下面方程组。(取两个不同的角频率分别为 ω_1 和 ω_2)

$$V_1 = R_s i_1 + \frac{i_1}{j\omega_1 C} \quad (5)$$

$$V_2 = R_s i_2 + \frac{i_2}{j\omega_2 C}, \quad (6)$$

由(5)和(6)知：

$$V_1^* = R_s i_1^* - \frac{i_1^*}{j\omega_1 C}, \quad (7)$$

$$V_2^* = R_s i_2^* - \frac{i_2^*}{j\omega_2 C}. \quad (8)$$

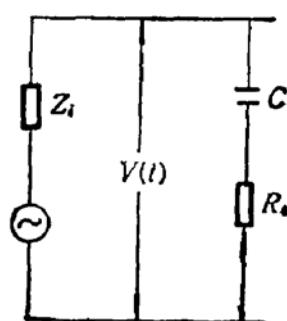


图 4

(5)×(7)得

$$V_i^2 = (R_i i_1)^2 + \left(\frac{i_1}{\omega_1 C}\right)^2, \quad (9)$$

同理:

$$V_i^2 = (R_i i_2)^2 + \left(\frac{i_2}{\omega_2 C}\right)^2. \quad (10)$$

由(9)式得到:

$$\frac{1}{C^2} = \frac{\omega_1^2 V_i^2}{i_1^2} - R_i^2 \omega_1^2. \quad (11)$$

同理可以得到:

$$\frac{1}{C^2} = \frac{\omega_2^2 V_i^2}{i_2^2} - R_i^2 \omega_2^2. \quad (12)$$

由(11)和(12)消去 C^2 , 并令 $V_1 = V_2 = V_0$ (由电压表读数保证), 则得到:

$$R_i^2 = \frac{V_0^2}{\omega_2^2 - \omega_1^2} \left[\frac{\omega_2^2}{i_2^2} - \frac{\omega_1^2}{i_1^2} \right],$$

即

$$R_i = \frac{V_0^2}{f_2^2 - f_1^2} \left[\left(\frac{f_2}{I_2} \right)^2 - \left(\frac{f_1}{I_1} \right)^2 \right].$$

四、结 束 语

变频法是一个新的实验方法, 它具有以下特点:

1. 对待测样品的形状和尺寸没有特殊要求。表面处理工艺简单。对于已抛光的样品, 只要用有机溶剂去油, 无离子水冲洗即可。
2. 设备简单、操作方便、结果稳定可靠。
3. 由于本实验采用交流信号, 所以能够有效的消除直流测量中遇到的非线性误差。

A New Method for Measuring Resistivity of High Resistance Compound

Qi Zengfang

(Department of Electronic Science Nankai University, Tianjin)

Abstract

A new method for measuring resistivity of high resistance compound, which may be called the Changing Frequency Method, has been proposed. At two different frequencies measuring the AC current and at the same time keeping the AC voltage constant, resistivity can be easily determined. The merit of this method is that there is no need to make ohmic contacts. Results presented show that this method is reliable.