

金属-半导体欧姆接触的接触电阻率

陈存礼

(南京大学物理系)

1982年5月13日收到

金属-半导体的欧姆接触无论在半导体的器件制造还是半导体物理和材料的性能研究方面都是极其重要的。接触性能的好坏直接影响着器件的质量和材料、物理的研究。接触电阻率 ρ_c 是标志金属-半导体欧姆接触优劣的一个重要参量。线形传输线模型^[1]是测量 ρ_c 的常用方法之一,对于绝缘衬底上的薄半导体层(例如高阻层上外延、扩散、离子注入等)需要一个台面结构,样品的制备较为复杂。Reeves^[2]提出多环结构的圆形传输线模型,克服了这个困难,然而运算繁琐。本文提出用简单的四点结构圆形传输线模型,只要做出所需的接触图形而无需台面绝缘即可测量出接触电阻率,样品制备简单,数据处理方便。

如图1所示,设 a_1, a_2, a_3, a_4 分别为四个圆形金属电极 1、2、3、4 与样品接触的圆盘半径,它们之间的距离分别为 $s_{12}, s_{13}, s_{14}, s_{23}, s_{24}$ 和 s_{34} 。让电流 i 由 1 进入样品,由 2 流出,用 i_{12} 表示。

如果在厚度为 t 的薄层上,通电流的电极与样品接触的圆盘半径 $a \gg t$, 则与圆盘相距为 r ($r > a$) 的任一点的径向电势梯度应满足

$$\frac{dV}{dr} = -\frac{\rho_s i}{2\pi r t} = -\frac{\rho_s i}{2\pi r} \quad (1)$$

于是该点与接触圆盘间的电势差为

$$V_{r_0} = \frac{\rho_s i}{2\pi} \ln \frac{a}{r} \quad (2)$$

式中 ρ_s 为样品的薄层电阻。如果样品掺杂均匀具有恒定的薄层电阻,因而就有

$$R_{34} = \frac{V_{34}}{i_{12}} = \frac{\rho_s}{2\pi} \ln \frac{(s_{23} - a_2)(s_{14} - a_1)}{(s_{13} - a_1)(s_{24} - a_2)} \quad (3)$$

$$R_{12} = \frac{V_{12}}{i_{12}} = R_{c1} + R_{c2} + \frac{\rho_s}{2\pi} \ln \frac{(s_{12} - a_1)(s_{12} - a_2)}{a_1 a_2} \quad (4)$$

式中 R_{c1} 和 R_{c2} 分别为圆形金属电极 1 和 2 与半导体薄层样品的接触电阻, V_{12} 和 V_{34} 则分别表示在 i_{12} 时,电极 1、2 和 3、4 间的电压。若 $a_1 = a_2 = a_3 = a_4 = a$, 且 $s_{12} = s_{13} = s_{24} = s_{34} = s$, 则式(3)和式(4)变为

$$R_{34} = \frac{\rho_s}{\pi} \ln \frac{\sqrt{2s - a}}{s - a} \quad (3')$$

$$R_{12} = 2R_c + \frac{\rho_s}{\pi} \ln \frac{s - a}{a} \quad (4')$$

现在考虑与样品接触的圆形金属电极的传输线模型,如图2所示。在接触点之下(设

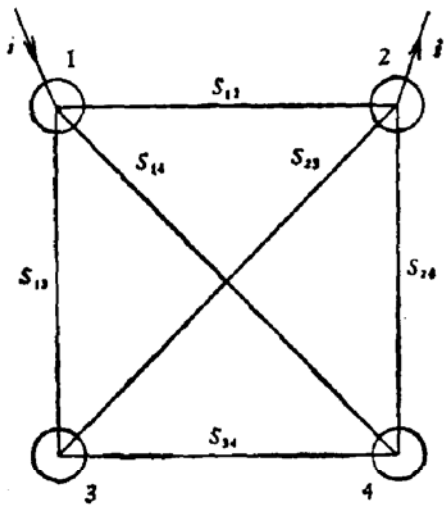


图 1

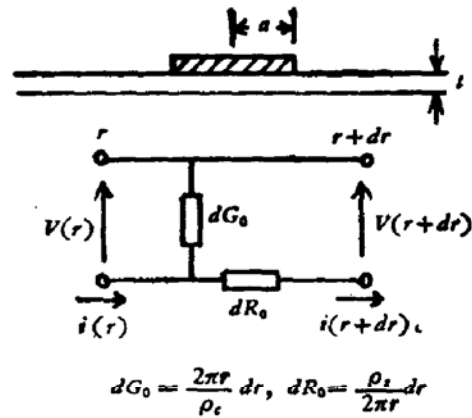


图 2

这里与接触点之外的 ρ_s 一样) 有 $dV = i \frac{\rho_s}{2\pi r} dr$, $di = V \frac{2\pi r}{\rho_c} dr$, 于是有微分方程

$$\frac{d^2V}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{dV}{dr} - \alpha_0^2 V = 0 \tag{5}$$

式中 $\alpha_0^2 = \frac{\rho_s}{\rho_c}$, 上式的解为: $V = AI_0(\alpha_0 r) + BK_0(\alpha_0 r)$, 因而 $i = \frac{2\pi r}{\rho_s} [A\alpha_0 I_1(\alpha_0 r) + B\alpha_0 K_1(\alpha_0 r)]$, 这里

$I_0(\alpha_0 r)$ 为第一类零级变形的(亦称虚宗量)贝塞尔函数

$$I_0(\alpha_0 r) = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{1}{2} \frac{(\alpha_0 r)^{2k}}{(k!)^2}$$

$I_1(\alpha_0 r)$ 为第一类一级变形的贝塞尔函数

$$I_1(\alpha_0 r) = I_0'(\alpha_0 r) = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{\left(\frac{1}{2} \alpha_0 r\right)^{(2k+1)}}{k!(k+1)!}$$

$K_0(\alpha_0 r)$ 为第二类零级变形的贝塞尔函数, $K_1(\alpha_0 r)$ 为第二类一级变形的贝塞尔函数, 于是, 接触电阻

$$R_c = \frac{V}{i} \Big|_{r=a} = \frac{\rho_s}{2\pi\alpha_0 a} \times \left[\frac{I_0(\alpha_0 a) + \frac{B}{A} K_0(\alpha_0 a)}{I_1(\alpha_0 a) - \frac{B}{A} K_1(\alpha_0 a)} \right] \tag{6}$$

式中 $c = \frac{B}{A}$ 必须为零, 否则会存在一个“ $\alpha_0 a$ ”值使得 R_c 变号, 这是不合理的. 所以

$$R_c = \frac{\rho_s}{2\pi\alpha_0 a} \frac{I_0(\alpha_0 a)}{I_1(\alpha_0 a)} = Z_0 \frac{I_0(\alpha_0 a)}{I_1(\alpha_0 a)} \tag{7}$$

这里 $Z_0 = \frac{\rho_s}{2\pi\alpha_0 a}$ 叫做圆形传输线的特征电阻

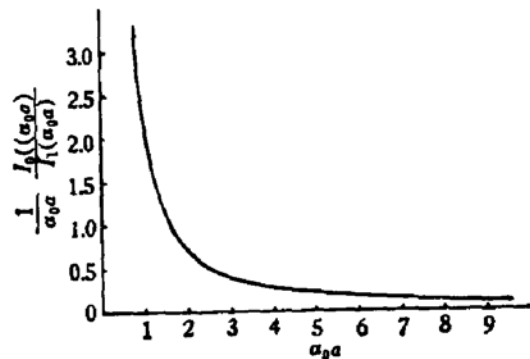


图 3

$\alpha_0 = \sqrt{\frac{\rho_s}{\rho_c}}$ 称为圆形传输线的衰减常数

$\alpha_0 a$ 与 $\frac{1}{\alpha_0 a} \frac{I_0(\alpha_0 a)}{I_1(\alpha_0 a)}$ 的关系如图 3 所示.

样品是 P 型 8-10 Ωcm 的 $\langle 111 \rangle$ 直拉硅抛光片, 分成两半, 用标准平面工艺将一半扩磷后, 在线 N^+ 层上 ($\rho_s = 50\Omega/\square$) 做上所需的四点结构图形铝电极, 进行测量. 所得结果摘列于表 1. 为了进行比较, 另一半硅片按线形传输线模型^[1]进行测量, 结果也列于表 1. 可以看到, 二者的结果是相一致的.

表 1 两种传输线模型的测量结果

四点结构圆形传输线模型		线形传输线模型	
$s_{12} = s_{34} = 1400\mu\text{m}$		$l_1 = 50\mu\text{m}, l_2 = 500\mu\text{m}$	
$s_{23} = s_{41} = 1500\mu\text{m}$		$w = 50\mu\text{m}, w' = 40\mu\text{m}$	
		$d = 20\mu\text{m}$	
$\rho_c(\Omega\text{cm}^2)$	$\bar{\rho}_c(\Omega\text{cm}^2)$	$\rho'_c(\Omega\text{cm}^2)$	$\bar{\rho}'_c(\Omega\text{cm}^2)$
$(1.05-2.04) \times 10^{-3}$	1.40×10^{-3}	$9.30 \times 10^{-4} - 5.15 \times 10^{-3}$	1.42×10^{-3}

如果通电流的两个金属接触半径 a_1 和 a_2 不相等, 则可用 $R_{13} = \frac{V_{13}}{i_{12}}$ (或 R_{14}, R_{23}, R_{24}) 来代替式 (4). 当然, 即使在 a_1 和 a_2 相等的情况下, 同样可用 R_{13} 等代替 R_{12} . 但用 R_{13} 则较好, 这里有消除不均匀的含义.

本方法不仅适用于 Si, 对 Ge、GaAs 和 InP 等半导体材料同样适用.

样品的制备得到南京电力自动化设备厂吴利民同志和本教研室李德宽同志的协助, 在此表示感谢.

参 考 文 献

- [1] H. H. Berger, *Solid-St. Electron.*, 15, 145 (1972).
 [2] G. K. Reeves, *Solid-St. Electron.*, 23, 487 (1980).

Specific Contact Resistance of Metal-Semiconductor Ohmic Contact

Chen Cunli

(Department of Physics, Nanjing University)

Abstract

In this paper, the measurement of the specific contact resistance of M-S ohmic contact is presented using a four-point configuration circular transmission line model. This method eliminates the necessity for the mesa isolation of contact pattern, thus simplifying the sample preparation and calculation. The experiment result is in agreement with in-line geometry transmission line model.