



中华人民共和国国家标准

GB/T 1552—1995

硅、锗单晶电阻率测定 直排四探针法

Test method for measuring resistivity of monocrystal silicon
and germanium with a collinear four-probe array

1995-04-18 发布

1995-12-01 实施

国家技术监督局 发布

中华人民共和国国家标准

硅、锗单晶电阻率测定
直排四探针法

GB/T 1552—1995

Test method for measuring resistivity of monocrystal silicon
and germanium with a collinear four-probe array

代替 GB 1552—79
GB 5251—85
GB 6615—86

1 主题内容与适用范围

本标准规定了用直排四探针测量硅、锗单晶电阻率的方法。

本标准适用于测量试样厚度和从试样边缘与任一探针端点的最近距离二者均大于探针间距的 4 倍的硅、锗单晶的体电阻率以及测量直径大于探针间距的 10 倍、厚度小于探针间距 4 倍的硅、锗单晶圆片(简称圆片)的电阻率。测量范围为硅: $1 \times 10^{-3} \sim 3 \times 10^3 \Omega \cdot \text{cm}$, 锗: $1 \times 10^{-3} \sim 1 \times 10^2 \Omega \cdot \text{cm}$ 。

2 方法提要

排列成一直线的四根探针垂直地压在近似为半无穷大的平坦试样表面上, 将直流电流 I 在两外探针间通入试样, 测量内侧两探针间所产生的电势差 V , 根据测得的电流和电势差值, 按式(1)计算电阻率。对圆片试样还应根据几何修正因子进行计算。测量示意图见图 1。

$$\rho = 2\pi S \frac{V}{I} \dots\dots\dots (1)$$

式中: ρ ——电阻率, $\Omega \cdot \text{cm}$;
 V ——测得的电势差, mV;
 I ——通入的电流, mA;
 S ——探针间距, cm。

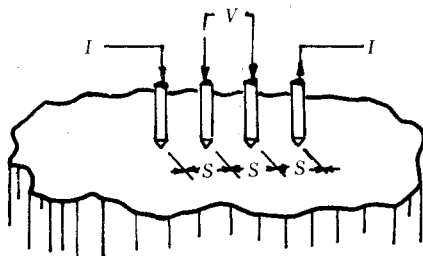


图 1 直排四探针测量示意图

3 仪器与设备

3.1 探针装置由下列几部分组成。

国家技术监督局 1995-04-18 批准

1995-12-01 实施

3.1.1 探针,用钨、碳化钨或高速钢等金属制成,针尖呈圆锥型,夹角为 $45^{\circ}\sim 150^{\circ}$,尖端初始标称半径为 $25\sim 50\ \mu\text{m}$ 。

3.1.2 探针压力,每根探针压力为 $1.75\pm 0.25\ \text{N}$,或 $4.0\pm 0.5\ \text{N}$ 。

3.1.3 绝缘性,一探针(包括连接弹簧和外部引线)与任何其他探针或装置任一部分之间绝缘电阻大于 $10^9\ \Omega$ 。

3.1.4 探针排列和间距,四根探针的尖端应成等间距直线排列。仲裁测量时,探针间距(相邻探针之间的距离)标称值应为 $1\ \text{mm}$ 。用于圆片仲裁测量时,探针间距标称值也可为 $1.59\ \text{mm}$ 。探针间距按 5.2 条测定。

3.1.5 探针架,能在针尖几乎无横向移动的情况下使探针下降到试样表面。

3.2 电学测量装置由下列几部分组成。

3.2.1 任何满足 5.3.7 条要求的电路均可用来进行电学测量。推荐电路(见图 2)包括下述几部分。

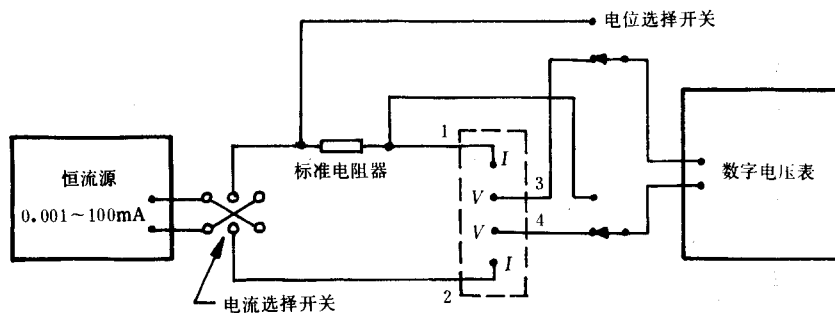


图 2 推荐电路图

3.2.1.1 恒流源,电流范围为 $10^{-1}\sim 10^{-6}\ \text{A}$,纹波系数不大于 $\pm 0.1\%$,稳定度优于 $\pm 0.05\%$ 。

3.2.1.2 电流换向开关。

3.2.1.3 标准电阻, $0.01\sim 100\ 000\ \Omega$, 0.05 级。

3.2.1.4 双刀双掷电位选择开关,图 2 推荐电路需要这一开关来选择测量标准电阻或试样上电势差。

3.2.1.5 数字电压表,可用来测量以毫伏为单位的电势差,或者连同电流源一起校准到能直接读出电压-电流比值。测量满量程为 $0.2\ \text{mV}\sim 50\ \text{mV}$,分辨率为 $\pm 0.05\%$ ($3\frac{1}{2}$ 位有效数字),输入阻抗大于 10^6 倍试样电阻率。

注:如试样电阻率仅限定在某一数值范围内,一个较小满量程范围就足够了。

3.2.2 模拟测试电路,连接图 3 所示的五个电阻,以检验电学测量装置。

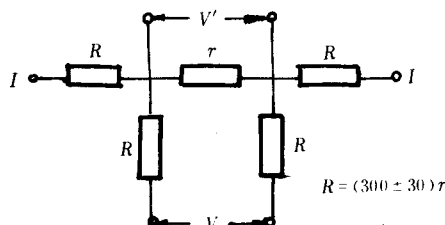


图 3 四探针测量模拟电路

3.3 样品架/台,用于固定试样的合适夹具。

3.4 散热器,用一直径至少为 $100\ \text{mm}$,厚为 $38\ \text{mm}$ 的铜块来支承圆片试样和起散热器作用(图 4)。它应包含一个容纳温度计的小孔,使温度计能放置在离试样 $10\ \text{mm}$ 范围内的散热器中心区。散热器上放一片 $10\sim 25\ \mu\text{m}$ 厚的云母片,使试样和散热器电绝缘。在云母片和铜块间、温度计孔中填充矿物油和有

机硅散热以减少热阻。散热器安放应能使探针尖端阵列中心在试样中心的 0.25 mm 以内。散热器应与电学测量装置的接地端相连接。

注：为了迅速对准试样中心，可在散热器表面加工一个与铜块同心的浅圆环。

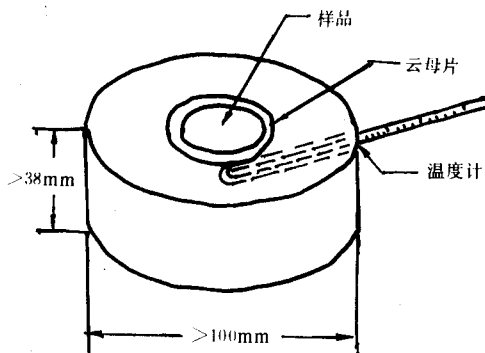


图 4 带有样品、云母片和温度计的散热器

- 3.5 研磨或喷砂设备，用以提供平坦的试样表面。研磨设备应能将圆片试样研磨到厚度变化不大于试样中心处厚度值的 $\pm 1\%$ 。
- 3.6 机械或电子厚度测量仪，能测量试样不同位置的厚度，精度优于 $\pm 1.0\%$ 。
- 3.7 千分尺或游标卡尺，分辨率优于 $\pm 0.05\text{ mm}$ 。
- 3.8 微移动机构，能以 $0.05\sim 0.10\text{ mm}$ 增量使探针装置或硅表面以垂直于探针尖端连线方向并平行于硅表面移动。
- 3.9 工具显微镜，分辨率为 $1\text{ }\mu\text{m}$ 。
- 3.10 显微镜，至少放大 400 倍。
- 3.11 温度计或其他测温仪器， $0\sim 40^\circ\text{C}$ ，分度值为 0.1°C 。
- 3.12 欧姆计，能指示大于 $10^8\text{ }\Omega$ 绝缘电阻。
- 3.13 超声波清洗器，具有适当频率($18\sim 45\text{ kHz}$)和足够功率。
- 3.14 化学实验室器具，如塑料烧杯、量筒和涂敷塑料的镊子以及处理和清洗酸及其蒸汽所需的设备等。

4 试样制备

- 4.1 试样待测面用 320[#]($28\sim 42\text{ }\mu\text{m}$)或 W28($20\sim 28\text{ }\mu\text{m}$)金刚砂研磨或喷砂。
- 4.2 对圆片试样，用 $5\sim 14\text{ }\mu\text{m}$ 氧化铝或金刚砂研磨上下表面。
 - 4.2.1 在不包括参考面或参考缺口的圆周上测量直径 3 次，计算试样的平均直径 D 。试样直径应大于 10 倍平均探针间距，直径变化不大于 D 的 $D/5S\%$ ，记下 D 值。
 - 4.2.2 在试样上测量 9 个点处的厚度(图 5)。要求各测量点厚度与试样中心点厚度的偏差不大于 $\pm 1\%$ ，记下试样中心厚度 W 。

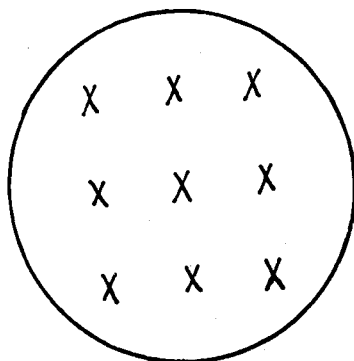


图 5 试样厚度位置测量点示意图

4.3 将试样清洗干净并干燥。

5 测量程序

5.1 测量条件

5.1.1 环境温度为 $23 \pm 5^\circ\text{C}$, 相对湿度不大于 65%。

5.1.2 电磁屏蔽。

5.1.3 高阻试样应在光屏蔽条件下测量。

5.1.4 试样中电场强度不能过大, 以避免少数载流子注入。如果使用的电流适当, 则用该电流的两倍或一半时, 引起电阻率的变化应小于 0.5%。

5.2 确定探针间距与探针尖端状态

5.2.1 将四探针以正常压力压在严格固定的抛光硅片表面上, 形成一组压痕。提起探针, 在垂直于探针尖连线方向上移动硅片表面或探针 $0.05 \sim 0.10 \text{ mm}$, 再将探针压到硅片表面上, 重复上述步骤, 直到获得 10 组压痕。

注: 建议在两组或 3 组压痕后, 将硅片表面或探针移动上述距离的两倍, 以帮助操作者识别压痕属于哪一组。

5.2.2 将硅片表面清洗, 用空气干燥。

5.2.3 将此具有压痕的硅片表面置于工具显微镜的载物台上, 使 y 轴的读数 (图 6 中的 y_B 和 y_A) 相差不大于 0.150 mm , 把在工具显微镜中的 10 组压痕 A 到 H 的 x 轴读数记录在表中, 精确到 $1 \mu\text{m}$ 。

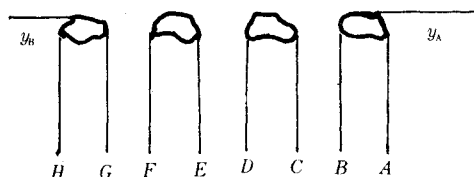


图 6 测量位置图

表 1 探针压痕记录表

探针编号 _____ S _____ C _____										
日期 _____ 操作者 _____ F _{sp} _____										
操作号	A	B	C	D	E	F	G	H	y _A	y _B
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										

- 5.2.4 在放大倍数不小于 400 倍的显微镜下检查压痕。
- 5.2.5 按 6.1 条计算探针间距 $\overline{S_i}$,平均探针间距 $\overline{S}$,标准偏差 σ_i 和探针系数 C 。
- 5.2.6 对于合格的探针,必须满足下述条件。
- 5.2.6.1 对于 S_i 来说,3 组 10 次测量值的每一组样品标准偏差 σ_i 应小于 $\overline{S_i}$ 的 0.30%。
- 5.2.6.2 $\overline{S_1}, \overline{S_2}$ 和 $\overline{S_3}$ 的差应不大于 2%。
- 5.2.6.3 每根探针的压痕应只出现一个接触面,最大直径线度小于 100 μm 。如果有的压痕出现不连续的接触面,则更换探针并重新测量。
- 5.2.6.4 在放大倍数为 400 倍的显微镜下检验时,在与硅片表面的接触面上出现明显的横向移动的探针是不合格的。该探针系统必须重新调整,以防止上述移动。
- 5.3 确定电学测量装置的适用性和准确度
- 5.3.1 将恒流源短路或关闭,断开探针装置与电学测量装置的连接。
- 5.3.2 按表 2 选择模拟电路中电阻 r 的阻值。将电流引线(图 2 中 1 和 4)接到模拟电路电流端,将电压引线(图 2 中 2 和 3)接到模拟电路的电压端。

表 2 标准电阻最小阻值选择

电阻率, $\Omega \cdot \text{cm}$	电阻, Ω
<0.002 5	0.01
0.002 0~0.025	0.1
0.020~0.25	1
0.20~2.5	10
2.0~25	100
20~250	1 000
>200	10 000

- 5.3.3 如果采用直接测量电阻(电压-电流比值)仪器,按 5.3.5 条进行,否则如下进行:让电流在任一方向(称之为正向),调节电流大小到近似于表 4 推荐的圆片测量电流值,测量标准电阻两端的电势差 V_{sf} ,或直接测量流过模拟电路的电流 I_{sf} ,再测量模拟电路的电势差 V_{sf} 。将电流换向,测量 V_{sr} 或 I_{sr} 和

V_{ar} 。记入表 3a。

5.3.4 重复 5.3.3 条操作,直到每一极性进行了 5 次测量。然后按 5.3.6 条进行。

5.3.5 用直接测量电阻的仪器。开始在任一极性上(称之为正向)测量模拟电路的正向电阻 r_t 。改变连接极性,测量反向电阻 r_r 。继续改变极性进行测量,直到每一极性进行了 5 次测量。记入表 3b。

表 3 用于模拟电路测量的典型数据表

日期 _____
 R_s _____

a 用于标准电路或直接测量电流的数据表

操作号	V_{sf}, mV	V_{af}, mV	V_{sr}, mV	V_{ar}, mV	I_{sf}, mA	I_{sr}, mA
1						
2						
3						
4						
5						

b 直接电阻测量或从表 3a 计算到的数据表

操作号	r_t, Ω	r_r, Ω
1		
2		
3		
4		
5		

5.3.6 按 6.2 条计算平均电阻 $\bar{r}$ 和标准偏差 σ 。

5.3.7 电学测量装置应满足下述条件:

5.3.7.1 $\bar{r}$ 值应在已知 r 值的 0.3% 以内。

5.3.7.2 样品标准偏差 σ 应小于 $\bar{r}$ 的 0.3%。

5.3.7.3 设备应能测量出 0.05% 电阻的变化。

5.4 测量

5.4.1 将试样清洗干净,用空气干燥。

5.4.2 将试样置于样品架/台上。如果为圆片试样,应将试样置于散热器的云母片上,用欧姆表测量试样与散热器间电阻,以保证两者是电绝缘的 ($>10^8 \Omega$)。

5.4.3 测量与记录环境温度。如果为圆片试样应借助于置于散热器中的温度来确定温度。为使温度达到平衡,在该温度下使试样保持足够时间。

注:使试样温度平衡所需的时间取决于试样的质量,对于小的试样有 30 min 至 1 h 就足够了,而对大的锭则需要 1 到 2 d。在圆片仲裁测量前,应将散热器放置在室内 48 h(室内温度变化不超过 $\pm 1^\circ\text{C}$)。

5.4.4 将探针下降到试样表面的待测位置,每一探针尖离试样边缘的最近距离至少为平均探针间距的 4 倍。如果为圆片试样,应使探针尖端的阵列中心在试样中心的 0.25 mm 以内。

5.4.5 让电流在任一方向(称之为正向),根据试样电阻率大小按表 4 调节电流大小。要求两内探针之间测得电势差小于 50 mV。测量下列参数,要求至少有 $3\frac{1}{2}$ 位有效数字。记录在表 5 中。如果直接测量电阻则记在表 6 中。

注:对于不是圆片的试样,如果选用测量电流 I 在数值上等于 $2\pi C$,则两内探针之间测得电势差在数值上等于电阻率值,可免于计算。

表 4a 不同电阻率硅试样所需要的电流值

电阻率, $\Omega \cdot \text{cm}$	电流, mA	推荐的圆片测量电流值
<0.03	≤ 100	100
$0.03 \sim 0.30$	< 100	25
$0.3 \sim 3$	≤ 10	2.5
$3 \sim 30$	≤ 1	0.25
$30 \sim 300$	≤ 0.1	0.025
$300 \sim 3\,000$	≤ 0.01	0.002 5

注：推荐的圆片测量电流是在试样厚度为 0.5 mm, 两内探针间得到 10 mV 电势差时得到。

表 4b 不同电阻率锗试样所需要的电流值

电阻率, $\Omega \cdot \text{cm}$	电流, mA
<0.01	≤ 100
$0.01 \sim 1$	≤ 10
$1 \sim 30$	≤ 1
$30 \sim 100$	≤ 0.1

表 5 用于试样参数的典型数据表

试样编号 _____ 试样厚度 _____
 探针编号 _____ 试样直径 _____
 R_s _____ 型号 _____

a 用于标准电路

操作号	V_{sf}, mV	V_f, mV	V_{sr}, mV	V_r, mV	$T, ^\circ\text{C}$
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					

b 用于直接测量电路

操作号	I_f, mA	V_f, mV	I_r, mA	V_r, mV	$T, ^\circ\text{C}$
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					

表 6 用于四探针电阻率测量的典型计算表

操作号	R_t, Ω	R_r, Ω	R_m, Ω	$\rho(T), \Omega \cdot \text{cm}$	$F_T \rho(23), \Omega \cdot \text{cm}$	
1						D, cm
2						W, cm
3						S, cm
4						F_{sp}
5						D/S
6						F_2
7						$F(W/S)$
8						
9						
10						

- 5.4.5.1 标准电阻两端的电势差 V_{st} (若直接测量电流, 则代之以电流 I_t , 若仪器可直接读出电阻, 则省略这一测量)。
- 5.4.5.2 两内探针间的电势差 V_t (若直接测量电阻, 则代之以两探针间的电阻 R_t)。
- 5.4.5.3 如果为圆片试样, 借助于散热器内温度计测量试样温度 T , 准确到 0.1°C 。
- 5.4.6 改变电流方向, 测量 V_{sr} (或 I_r), V_r , 记录数据。
- 5.4.7 短路或关闭电流源。提起探针, 将试样或探针移到下一测量位置。如果为圆片试样, 则将试样或探针旋转 $15\sim 20^\circ$ 。
- 5.4.8 重复 5.4.4~5.4.7 条步骤, 直到完成全部预定位置的测量。如果为圆片试样, 应测量 10 组数据。

6 测量结果计量

- 6.1 利用表 1 中数据计算探针间距 $\overline{S}_i$, 平均探针间距 $\overline{S}$, 标准偏差 σ_i 和探针系数 C 和探针间距修正因子 F_{sp} 。
- 6.1.1 对十组测量数据中的每一组, 用下式计算探针间距 S_{1j} , S_{2j} 和 S_{3j} :

$$\left. \begin{aligned} S_{1j} &= [(C_j + D_j)/2] - [(A_j + B_j)/2] \\ S_{2j} &= [(E_j + F_j)/2] - [(C_j + D_j)/2] \\ S_{3j} &= [(G_j + H_j)/2] - [(E_j + F_j)/2] \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2)$$

式中: 脚标 j 是组数, 取 1 至 10。

- 6.1.2 用上式得到的 S_{ij} , 计算每一间距平均值 $\overline{S}_i$:

$$\overline{S}_i = (1/10) \sum_{j=1}^{10} S_{ij} \dots\dots\dots (3)$$

式中: i 取 1, 2, 3。

- 6.1.3 将按(3)式计算得到的 $\overline{S}_i$ 和按(2)式计算得到的 S_{ij} , 利用下式分别计算 3 个间距的样品标准偏差 σ_i :

$$\sigma_i = 1/3 \left[\sum_{j=1}^{10} (S_{ij} - \overline{S}_i)^2 \right]^{1/2} \dots\dots\dots (4)$$

6.1.4 计算平均探针间距 $\bar{S}$:

$$\bar{S} = 1/3(\bar{S}_1 + \bar{S}_2 + \bar{S}_3) \quad \dots\dots\dots(5)$$

6.1.5 计算探针系数 C 和适用于圆片测量时的探针间距修正因子 F_{sp} :

$$C = \frac{2\pi}{\frac{1}{\bar{S}_1} + \frac{1}{\bar{S}_3} - \frac{1}{\bar{S}_1 + \bar{S}_3} - \frac{1}{\bar{S}_2 + \bar{S}_3}} \quad \dots\dots\dots(6)$$

$$F_{sp} = 1 + 1.082[1 - (\bar{S}_2/\bar{S})] \quad \dots\dots\dots(7)$$

6.2 利用表 3 数据计算模拟电路测量的平均电阻 $\bar{r}$ 和标准偏差 σ

6.2.1 如果直接测量电阻,从 6.2.2 开始。否则利用表 3a 中数据由下式计算:

$$\begin{aligned} V_f &= V_{af}R_s/V_{sf} = V_{af}/I_{af} \\ V_r &= V_{ar}R_s/V_{sr} = V_{ar}/I_{ar} \end{aligned} \quad \dots\dots\dots(8)$$

式中: R_s ——标准电阻阻值, Ω ;

V_{af} ——正向电流下模拟电路两端的电势差, mV;

V_{ar} ——反向电流下模拟电路两端的电势差, mV;

V_{sf} ——正向电流下标准电阻两端的电势差, mV;

V_{sr} ——反向电流下标准电阻两端的电势差, mV;

I_{af} ——流过模拟电路的正向电流, mA;

I_{ar} ——流过模拟电路的反向电流, mA。

当直接测量电流时,使用式(8)中最右边的形式。

6.2.2 用单个正向和反向电阻(无论是由计算还是直接测量得到的)按下式计算平均电阻:

$$\bar{r} = 1/10 \sum_{i=1}^{10} r_i \quad \dots\dots\dots(9)$$

式中, r_i 是 10 个 r_f 和 r_r 值中的一个。

6.2.3 根据下式计算样品标准偏差 σ :

$$\sigma = 1/3 \left[\sum_{i=1}^{10} (r_i - \bar{r})^2 \right]^{1/2} \quad \dots\dots\dots(10)$$

6.3 计算试样电阻率 ρ 。

6.3.1 计算正向和反向电流的电阻:

$$\begin{aligned} R_f &= V_f R_s / V_{sf} = V_f / I_f \\ R_r &= V_r R_s / V_{sr} = V_r / I_r \end{aligned} \quad \dots\dots\dots(11)$$

式中： R_f ——正向电流时的试样电阻， Ω ；
 R_r ——反向电流时的试样电阻， Ω ；
 I_f ——通过试样的正向电流，mA；
 I_r ——通过试样的反向电流，mA；
 V_f ——正向电流时测得的试样电势差，mV；
 V_r ——反向电流时测得的试样电势差，mV；
 V_{sf} ——正向电流时标准电阻两端的电势差，mV；
 V_{sr} ——反向电流时标准电阻两端的电势差，mV。

当直接测量电流，采用式(11)最右边的形式。如果使用电阻直读仪器，就不需此计算。要求 R_f 与 R_r 之差与 R_f 或 R_r (取两者中较大者) 的比值小于 10%。

6.3.2 计算每一测量位置的电阻平均值：

$$R_m = 1/2(R_f + R_r) \dots\dots\dots (12)$$

6.3.3 如果为圆片试样，计算几何修正因子 F 。否则从 6.3.4 条开始。

6.3.3.1 计算试样厚度 W 与平均探针间距 $\bar{S}$ 的比值，用线性内插法从表 7 中查出修正因子 $F(W/S)$ 。

表 7 厚度修正系数 $F(W/S)$ 为圆片厚度 W 与探针间距 S 之比的函数

W/S	$F(W/S)$	W/S	$F(W/S)$	W/S	$F(W/S)$	W/S	$F(W/S)$
0.40	0.999 3	0.60	0.992 0	0.80	0.966 4	1.0	0.921
0.41	0.999 2	0.61	0.991 2	0.81	0.964 5	1.2	0.864
0.42	0.999 0	0.62	0.990 3	0.82	0.962 7	1.4	0.803
0.43	0.998 9	0.63	0.989 4	0.83	0.960 8	1.6	0.742
0.44	0.998 7	0.64	0.988 5	0.84	0.958 8	1.8	0.685
0.45	0.998 6	0.65	0.987 5	0.85	0.956 6	2.0	0.634
0.46	0.998 4	0.66	0.986 5	0.86	0.954 7	2.2	0.587
0.47	0.998 1	0.67	0.985 3	0.87	0.952 6	2.4	0.546
0.48	0.997 8	0.68	0.984 2	0.88	0.950 5	2.6	0.510
0.49	0.997 6	0.69	0.983 0	0.89	0.948 3	2.8	0.477
0.50	0.997 5	0.70	0.981 8	0.90	0.946 0	3.0	0.448
0.51	0.997 1	0.71	0.980 4	0.91	0.943 8	3.2	0.422
0.52	0.996 7	0.72	0.979 1	0.92	0.941 4	3.4	0.399
0.53	0.996 2	0.73	0.977 7	0.93	0.939 1	3.6	0.378
0.54	0.995 8	0.74	0.976 2	0.94	0.936 7	3.8	0.359
0.55	0.995 3	0.75	0.974 7	0.95	0.934 3	4.0	0.342
0.56	0.994 7	0.76	0.973 1	0.96	0.931 8		
0.57	0.994 1	0.77	0.971 5	0.97	0.929 3		
0.58	0.993 4	0.78	0.969 9	0.98	0.926 3		
0.59	0.992 7	0.79	0.968 1	0.99	0.924 2		

注： $W/S < 0.4, F(W/S) = 1.000$ 。

6.3.3.2 计算平均探针间距 $\bar{S}$ 与试样直径 D 的比值,查出修正因子 F_2 :

当 $2.5 \leq W/S < 4$ 时, F_2 取 4.532。

当 $W/S < 2.5$ 时,用线性内插法从表 8 中查出 F_2 。

表 8 修正系数 F_2 为探针间距 S 与圆片直径 D 之比的函数

S/D	F_2	S/D	F_2	S/D	F_2
0	4.532	0.035	4.485	0.070	4.348
0.005	4.531	0.040	4.470	0.075	4.322
0.010	4.528	0.045	4.454	0.080	4.294
0.015	4.524	0.050	4.436	0.085	4.265
0.020	4.517	0.055	4.417	0.090	4.235
0.025	4.508	0.060	4.395	0.095	4.204
0.030	4.497	0.065	4.372	0.100	4.171

6.3.3.3 计算几何修正因子 F :

$$F = F(W/S) \times W \times F_2 \times F_{sp} \quad \dots\dots\dots (13)$$

式中: F_{sp} ——探针间距修正因子;

W ——试样厚度,cm。

注:当 $W/S > 1, D > 16S$ 时, F 的有效精度在 2% 以内。

6.3.4 计算测量温度下试样电阻率:

$$\rho(T) = R_m \times C \quad \dots\dots\dots (14)$$

式中: R_m ——平均电阻, Ω ;

C ——探针系数,cm。

如果为圆片试样,则

$$\rho(T) = R_m \times F \quad \dots\dots\dots (15)$$

式中: R_m ——平均电阻, Ω ;

F ——几何修正因子,cm。

6.3.5 从表 9 或图 7 查出相应的温度系数,计算温度修正因子 F_T :

$$F_T = 1 - C_T(T - 23) \quad \dots\dots\dots (16)$$

式中: T ——温度, $^{\circ}\text{C}$;

C_T ——从表 9 或图 7 中查得的系数。

6.3.6 计算修正到 23°C 的电阻率:

$$\rho(23) = \rho(T) \times F_T \quad \dots\dots\dots (17)$$

式中： $\rho(23)$ ——23℃的电阻率， $\Omega \cdot \text{cm}$ 。

6.3.7 计算已修正的电阻率平均值：

$$\bar{\rho}(23) = 1/n \sum_{i=1}^n \rho_i(23) \dots\dots\dots (18)$$

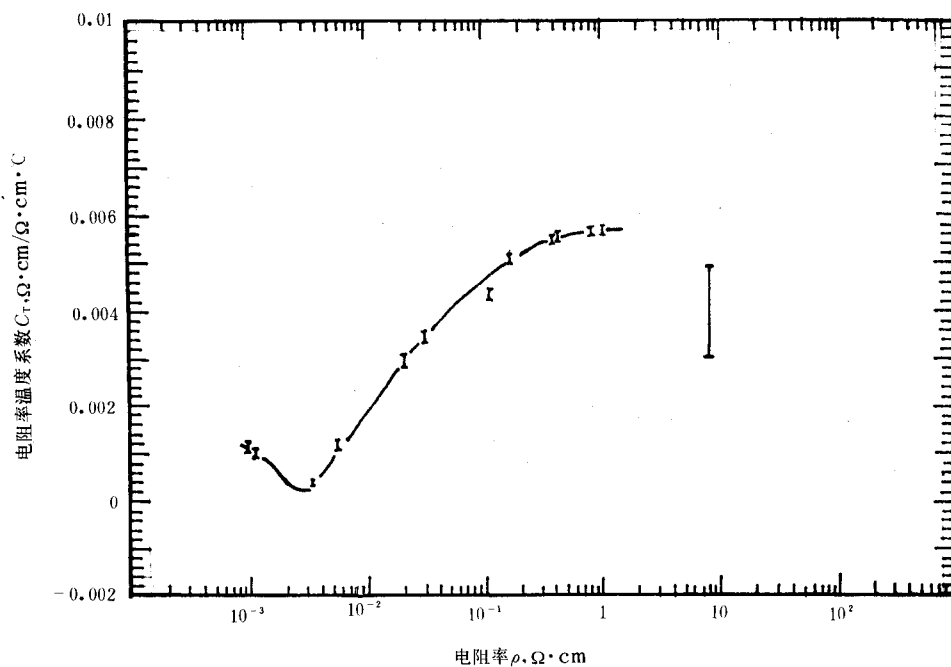
式中： $\rho_i(23)$ ——根据式(17)求出的修正过的电阻率， $\Omega \cdot \text{cm}$ ；

n ——某测量位置上的测量次数。

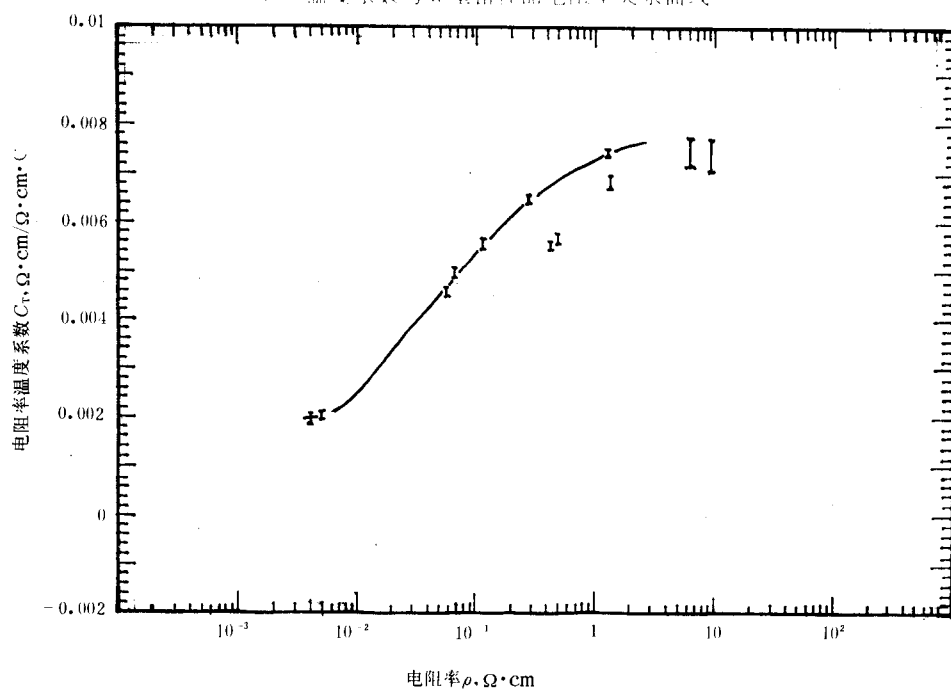
表 9 18~28℃范围内的硅的电阻率温度系数

电阻率 $\Omega \cdot \text{cm}$	温 度 系 数 $\Omega \cdot \text{cm}/\Omega \cdot \text{cm} \cdot ^\circ\text{C}$		电阻率 $\Omega \cdot \text{cm}$	温 度 系 数 $\Omega \cdot \text{cm}/\Omega \cdot \text{cm} \cdot ^\circ\text{C}$	
	n 型	p 型		n 型	p 型
0.000 6	0.002 00	0.001 60	1.0	0.007 36	0.007 07
0.000 8	0.002 00	0.001 60	1.2	0.007 47	0.007 22
			1.4	0.007 55	0.007 34
0.001 0	0.002 00	0.001 58	1.6	0.007 61	0.007 44
0.001 2	0.001 84	0.001 51	2.0	0.007 68	0.007 59
0.001 4	0.001 69	0.001 49	2.5	0.007 74	0.007 73
0.001 6	0.001 61	0.001 48			
0.002 0	0.001 58	0.001 48	3.0	0.007 78	0.007 83
0.002 5	0.001 59	0.001 45	3.5	0.007 82	0.007 91
			4.0	0.007 85	0.007 97
0.003 0	0.001 56	0.001 37	5.0	0.007 91	0.008 05
0.003 5	0.001 46	0.001 27	6.0	0.007 97	0.008 11
0.004 0	0.001 31	0.001 16	8.0	0.008 06	0.008 19
0.005 0	0.000 96	0.000 94			
0.006 0	0.000 60	0.000 74	10	0.008 13	0.008 25
0.008 0	0.000 06	0.000 46	12	0.008 18	0.008 29
			14	0.008 22	0.008 32
0.010	-0.000 22	0.000 31	16	0.008 24	0.008 35
0.012	-0.000 31	0.000 25	20	0.008 26	0.008 40
0.014	-0.000 26	0.000 25	25	0.008 27	0.008 45
0.016	-0.000 13	0.000 29			
0.020	0.000 25	0.000 45	30	0.008 28	0.008 49
0.025	0.000 83	0.000 73	35	0.008 29	0.008 53
			40	0.008 30	0.008 57
0.030	0.001 39	0.001 02	50	0.008 30	0.008 62
0.035	0.001 90	0.001 31	60	0.008 30	0.008 67
0.040	0.002 35	0.001 58	80	0.008 30	0.008 72
0.050	0.003 09	0.002 08			
0.060	0.003 64	0.002 51	100	0.008 30	0.008 76
0.080	0.004 39	0.003 20	120	0.008 30	0.008 78
			140	0.008 30	0.008 79
0.10	0.004 86	0.003 72	160	0.008 30	0.008 80
0.12	0.005 17	0.004 12	200	0.008 30	0.008 82
0.14	0.005 40	0.004 44	250	0.008 30	0.008 84
0.16	0.005 58	0.004 71			
0.20	0.005 85	0.005 12	300	0.008 30	0.008 86
0.25	0.006 09	0.005 48	350	0.008 30	0.008 88
			400	0.008 30	0.008 91
0.30	0.006 27	0.005 75	500	0.008 30	0.008 97
0.35	0.006 43	0.005 96	600	0.008 30	0.009 00
0.40	0.006 56	0.006 13	800	0.008 30	0.009 00
0.50	0.006 78	0.006 39			
0.60	0.006 96	0.006 59	1 000	0.008 30	0.009 00
0.80	0.007 20	0.006 87			

注：p 型硅值只对硼掺杂有效，用斜体字标出的数字为由曲线拟合所得值。



a) 温度系数与 n 型锗样品电阻率关系曲线



b) 温度系数与 p 型锗样品电阻率关系曲线

图 7 温度系数与锗样品电阻率关系曲线

如果在给定测量位置上仅进行了一次测量,则省去这一步骤。

6.3.8 计算电阻率的标准偏差 σ :

$$\sigma = \left\{ \frac{\sum_{i=1}^n [\rho_i(23) - \bar{\rho}(23)]^2}{n-1} \right\}^{1/2} \dots\dots\dots (19)$$

7 精密度

本方法的多实验室精密度优于 $\pm 10\%$ (R3S)。

8 试验报告

8.1 试验报告应包括以下内容：

- a. 试样编号和试样说明；
 - b. 测量环境温度；
 - c. 测量电流；
 - d. 探针间距和探针压力；
 - e. 试样室温电阻率,如必要,应注明测量位置；
 - f. 试样电阻率标准偏差；
 - g. 本标准编号；
 - h. 测量者；
 - i. 测量日期。
-

附加说明：

本标准由中国有色金属工业总公司提出。

本标准由上海有色金属研究所负责起草。

本标准主要起草人施海青、顾小龙、林敏敏。