



# 中华人民共和国国家标准

GB/T ××××-××××

---

## 锗单晶电阻率直流四探针 测量方法

Germanium monocrystal-Examination of  
Resistivity-DC linear four-point probe

××××-××-××发布

××××-××-××实施

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局 发布  
中国国家标准化管理委员会



## 前 言

本标准是以 GB/T5251-85 《锗单晶电阻率直流四探针测量方法》为基础，并参照了 SEMI MF43-0705 和 GB/T××××-×××× 《硅单晶电阻率测定 直排四探针法》。

本标准与 GB/T1552-1995 相比，主要有如下变动：

- 本标准从原来的《硅、锗单晶电阻率测定 直排四探针法》将锗单晶电阻率测定四探针法分离出来变成《锗单晶电阻率直流四探针测量方法》。
- 本标准在原 GB/T5251-85 标准的基础上进行修订。增加了大直径锗单晶的测量部位和点数规定，删除了原标准 6.3 章节中不满足边界条件的修正曲线，改为用函数表。
- 本标准格式按 GB/T1.1-2000 《标准化工作导则》的要求进行了切合实际的修改、补充和完善。

本标准由中国有色金属工业协会提出。

本标准由全国半导体设备和材料标准化技术委员会材料分技术委员会归口。

本标准由南京锗厂有限责任公司负责起草。

本标准主要起草人：张莉萍 焦欣文

本标准代替的历次版本发布情况为：

GB/T5251-85和GB/T1552-1995。



## 锗单晶电阻率直流四探针测量方法

### 1 范围

本标准规定了用直流四探针法测量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  $1 \times 10^{-3} \sim 1 \times 10^2 \Omega \cdot \text{cm}$ 。

### 2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

GB/T ×××× 锗单晶

GB/T ×××× 硅单晶

GB/T ×××× 硅单晶电阻率测量方法

GB/T 11073 硅片径向电阻率变化测试方法

SEMI MF43-0705 半导体材料电阻率测试方法

### 3 方法原理

测量原理见图1。排列成一直线的四探针垂直压在半无穷大的试样平坦表面上。外探针1、4间通电流  $I$  (A)，内探针2、3间电压  $V$  (V)。在满足一定条件下，四探针附近试样电阻率  $\rho$ ，可用公式 (1) 计算：

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

$$l = \left( \frac{1}{l_1} + \frac{1}{l_3} - \frac{1}{l_1 + l_2} - \frac{1}{l_2 + l_3} \right)^{-1} \dots\dots\dots (2)$$

式中：l—探针系数；

$l_1$ —探针1、2间的距离，cm；

$l_2$ —探针2、3间的距离，cm；

$l_3$ —探针3、4间的距离，cm。

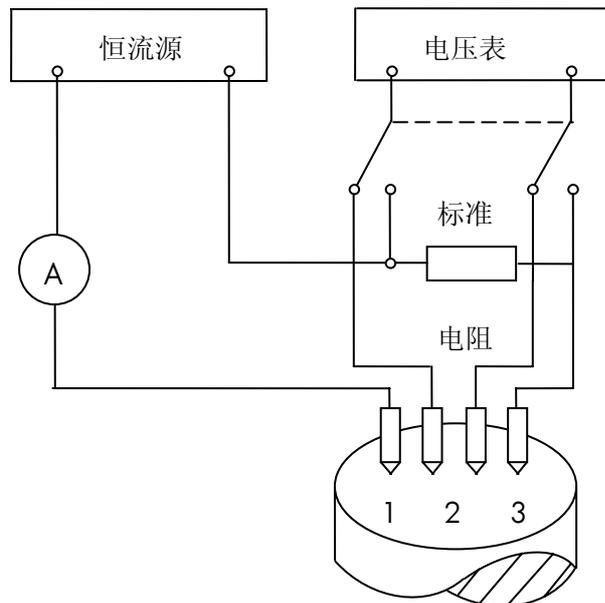


图1 四探针法示意图

#### 4 设备和仪器。

##### 4.1 电磁屏蔽间

为了消除邻近高频发生器在测量电路中可能引入的寄生电流，电阻率测量必须在电磁屏蔽间内进行。

##### 4.2 恒温恒湿设备

保证电阻率测试间的温度能稳定在仲裁温度 $23 \pm 0.5^\circ\text{C}$ 内，相对湿度 $<70\%$ 。

##### 4.3 温度计

测量锗单晶表面温度，精度 $\pm 0.1^\circ\text{C}$ 内

##### 4.4 四探针电阻率测试仪

###### 4.4.1 恒流电源

能提供 $10^{-1} \sim 10^{-5}\text{A}$ 的直流电流，测量时其值已知且稳定在 $\pm 0.5\%$ 以内。

###### 4.4.2 数字电压表

能测量 $10^{-5} \sim 1\text{V}$ 的电压，误差小于 $\pm 0.5\%$ 。仪表的输入阻抗应大于试样体电阻加试样与探针间的接触电阻的三个数量级以上。

###### 4.4.3 探针装置

探针头用工具钢、碳化钨等材料制成。直径 $0.5\text{mm}$ 或 $0.8\text{mm}$ 左右。探针针尖压痕的线度必须小于 $100\mu\text{m}$ 。探针间距用测量显微镜(刻度 $0.01\text{mm}$ )测定。探针间的机械游移率~~错误!未找到引用源。~~ $<0.3\%$ ( $\Delta l$ 为探针间距的最大机械游移量， $l$ 为探针间距)。探针间的绝缘电阻大于 $10^3\text{M}\Omega$ 。

###### 4.4.4 探针架

要求提供 $1.75\text{N} + 0.25\text{N}$ 的压力，且能保证探针与试样接触的位置重复在探针间距的 $\pm 0.5\%$ 以内。

#### 5. 测量步骤

##### 5.1 测量环境

试样置于温度 $23 \pm 0.5^\circ\text{C}$ ，相对湿度小于或等于 $70\%$ 的测试间里，

##### 5.2 试样制备

试样待测面用W28#的金刚砂研磨上下表面，保证无机械损伤，无玷污物。

##### 5.3 根据单晶直径的不同，可采用下列两种测量部位：

5.3.1 当单晶  $\Phi < 100\text{mm}$  时，单晶端面电阻率的测量部位如图2所示。

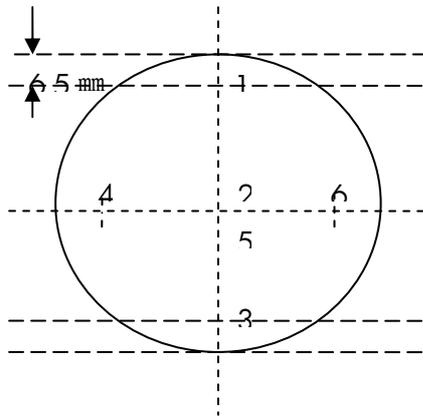


图 2 单晶端面电阻率的测量位置 (1 ~ 6)

5.3.2 当单晶  $\Phi \geq 100\text{mm}$  时，单晶端面电阻率的测量部位如图3所示

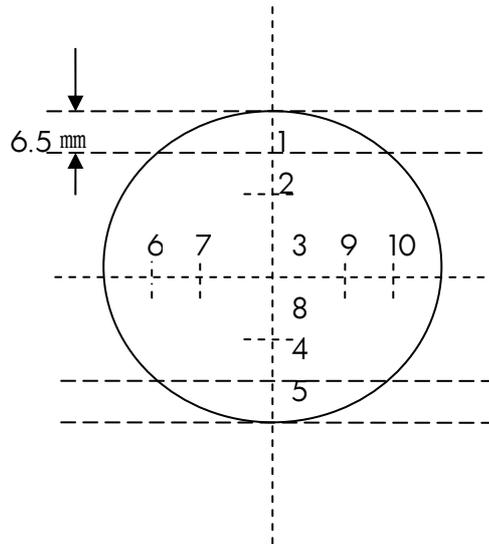


图3 单晶端面电阻率测量位置 (1~10)

5.4 测量：

待试样达到规定温度 ( $23 \pm 0.5^\circ\text{C}$ ) 时，把探针垂直压在试样表面平坦的单一型号区域上，调节电流到规定值。电流大小应满足弱场条件：小于  $1\text{V/cm}$ 。试样电流按表一选取。取正、反电流方向的电压平均值，根据样品的长度用不同的公式计算。

表一 不同电阻率试样电流选择表

| 电阻率范围, $\Omega \cdot \text{cm}$ | <0.01 | 0.01~1 | 1~30 | 30~100 |
|---------------------------------|-------|--------|------|--------|
| 电 流, mA                         | <100  | <10    | <1   | <0.1   |
| 推荐的圆片电流值, mA                    | 100   | 2.5    | 0.25 | 0.025  |

6. 测量结果的计算

6.1 试样的厚度大于4倍探针间距单晶断面电阻率按公式（1）计算。

6.2 单晶径向电阻率变化的计算：

6.2.1 当单晶Φ<100mm时，单晶径向电阻率不均匀变化E，按公式（3）计算

$$E=[(\rho_a-\rho_c)/\rho_c] \times 100\% \dots\dots\dots (3)$$

式中： ρ<sub>a</sub>—距边缘6mm处测量的电阻率平均值 Ω . cm

ρ<sub>c</sub>—中心点测得两次电阻率平均值 Ω . cm

6.2.2 当单晶Φ≥100mm时，单晶径向电阻率最大百分变化E，按公式（4）计算

$$E=[(\rho_M-\rho_m)/\rho_m] \times 100\% \dots\dots\dots (4)$$

式中： ρ<sub>M</sub>—测量的最大电阻率 Ω . cm

ρ<sub>m</sub>—测量的最小电阻率 Ω . cm

6.3 如果试样为圆片，计算几何修正因子F

6.3.1 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2中查出修正因子F（W/S）

表二 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) |
|------|---------|------|---------|------|---------|-----|---------|
| 0.1  | 1.0027  | 0.64 | 0.9885  | 0.91 | 0.9438  | 2.8 | 0.477   |
| 0.2  | 1.0007  | 0.65 | 0.9875  | 0.92 | 0.9414  | 2.9 | 0.462   |
| 0.3  | 1.0003  | 0.66 | 0.9865  | 0.93 | 0.9391  | 3.0 | 0.448   |
| 0.4  | 0.9993  | 0.67 | 0.9853  | 0.94 | 0.9367  | 3.1 | 0.435   |
| 0.41 | 0.9992  | 0.68 | 0.9842  | 0.95 | 0.9343  | 3.2 | 0.422   |
| 0.42 | 0.9990  | 0.69 | 0.9830  | 0.96 | 0.9318  | 3.3 | 0.411   |
| 0.43 | 0.9989  | 0.70 | 0.9818  | 0.97 | 0.9293  | 3.4 | 0.399   |
| 0.44 | 0.9987  | 0.71 | 0.9804  | 0.98 | 0.9263  | 3.5 | 0.388   |
| 0.45 | 0.9986  | 0.72 | 0.9791  | 0.99 | 0.9242  | 3.6 | 0.378   |
| 0.46 | 0.9984  | 0.73 | 0.9777  | 1.0  | 0.921   | 3.7 | 0.369   |
| 0.47 | 0.9981  | 0.74 | 0.9762  | 1.1  | 0.894   | 3.8 | 0.359   |
| 0.48 | 0.9978  | 0.75 | 0.9747  | 1.2  | 0.864   | 3.9 | 0.350   |
| 0.49 | 0.9976  | 0.76 | 0.9731  | 1.3  | 0.834   | 4.0 | 0.342   |
| 0.50 | 0.9975  | 0.77 | 0.9715  | 1.4  | 0.803   |     |         |
| 0.51 | 0.9971  | 0.78 | 0.9699  | 1.5  | 0.772   |     |         |
| 0.52 | 0.9967  | 0.79 | 0.9681  | 1.6  | 0.742   |     |         |
| 0.53 | 0.9962  | 0.80 | 0.9664  | 1.7  | 0.713   |     |         |
| 0.54 | 0.9928  | 0.81 | 0.9645  | 1.8  | 0.685   |     |         |
| 0.55 | 0.9953  | 0.82 | 0.9627  | 1.9  | 0.659   |     |         |
| 0.56 | 0.9947  | 0.83 | 0.9608  | 2.0  | 0.634   |     |         |
| 0.57 | 0.9941  | 0.84 | 0.9588  | 2.1  | 0.601   |     |         |
| 0.58 | 0.9934  | 0.85 | 0.9566  | 2.2  | 0.587   |     |         |
| 0.59 | 0.9927  | 0.86 | 0.9547  | 2.3  | 0.566   |     |         |
| 0.60 | 0.9920  | 0.87 | 0.9526  | 2.4  | 0.546   |     |         |
| 0.61 | 0.9912  | 0.88 | 0.9505  | 2.5  | 0.528   |     |         |
| 0.62 | 0.9903  | 0.89 | 0.9483  | 2.6  | 0.510   |     |         |

|      |        |      |        |     |       |  |  |
|------|--------|------|--------|-----|-------|--|--|
| 0.63 | 0.9894 | 0.90 | 0.9460 | 2.7 | 0.493 |  |  |
|------|--------|------|--------|-----|-------|--|--|

6.3.2 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  $2.5 \leq \frac{W}{S} < 4$  时， $F_2$ 取4.532

当  $1 < \frac{W}{S} < 2.5$  时，用线性内插法从表3中查出 $F_2$

表三 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 计算几何修正因子F

$$F = F(W/S) \times W \times F_2 \times F_{sp} \dots \dots \dots (5)$$

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。

7. 精密度

按本标准测量锗单晶的电阻率精度优于± %。

8. 试验报告

试验报告应包括如下内容：

- a) 测量设备说明；
- b) 试样的编号及说明；
- c) 测量方法；
- d) 测量电流；
- e) 探针间距和探针压力；
- f) 试样室温电阻率；
- g) 试样电阻率标准偏差；
- h) 本标准编号；
- i) 测试者；
- j) 测试日期。