



中华人民共和国国家标准

GB/T 1551—1995

硅、锗单晶电阻率测定 直流两探针法

Test method for resistivity of silicon
and germanium bars using a two-point probe

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 直流两探针法

GB/T 1551—1995

代替 GB 1551—79
GB 5253—85

Test method for resistivity of silicon
and germanium bars using a two-point probe

1 主题内容与适用范围

本标准规定了用直流两探针测量硅和锗单晶电阻率的方法。

本标准适用于测量截面均匀的圆形、方形或矩形单晶电阻率的电阻率。测量范围：硅单晶为 $10^{-3} \sim 10^4 \Omega \cdot \text{cm}$ ，锗单晶为 $5 \times 10^{-4} \sim 10^2 \Omega \cdot \text{cm}$ 。试样长度与截面最大尺寸之比应不小于 3:1。

2 引用标准

GB 1550 硅单晶导电类型测定方法

GB/T 1552 硅、锗单晶电阻率测定 直排四探针法

GB 5256 锗单晶导电类型测量方法

3 方法提要

让直流电流 I 通过试样两端，并使 A 、 B 两根探针垂直压在试样侧面，测量 A 、 B 两根探针间的电位差 V ，见图 1。若试样的横截面积为 A ，探针间距为 S ，则试样的电阻率 ρ 可用式(1)计算：

$$\rho = \frac{A}{S} \cdot \frac{V}{I} \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中： ρ ——电阻率， $\Omega \cdot \text{cm}$ ；

V ——两探针间的电位差， V ；

I ——通过试样的直流电流， A ；

A ——试样的截面积， cm^2 ；

S ——两探针间的探针间距， cm 。

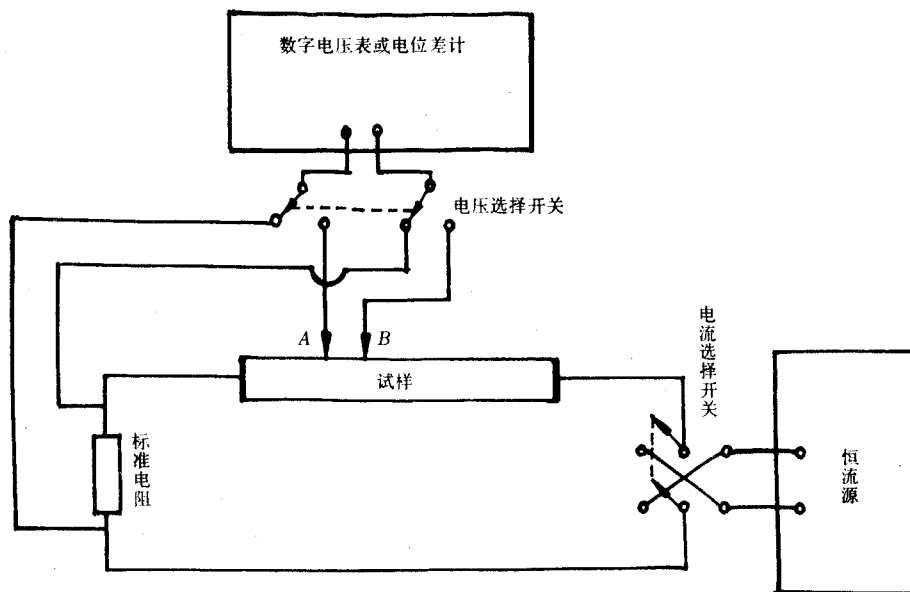


图 1 测量电路示意图

4 试剂与材料

4.1 去离子水, 25℃电阻率大于 $2 \text{ M}\Omega \cdot \text{cm}$ 。

4.2 丙酮(化学纯)。

4.3 乙醇(化学纯)。

4.4 端面欧姆接触材料, 可任选一种使用。

4.4.1 胶体石墨液, 由 60 g 水与 40 g 22% 的胶体石墨混合而成。

4.4.2 银浆混合液, 由 2 份丙酮和 4 份甲醇及 1 份导电银浆混合而成。

4.4.3 钨箔

4.4.4 镀镍混合液: 称取 30 g 氯化镍($\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)、50 g 氯化铵、15 g 次亚磷酸钠($\text{NaH}_2\text{PO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$)、65 g 柠檬酸二钠($\text{Na}_2\text{HC}_6\text{H}_5\text{O}_7$)溶解于烧杯中, 然后移入 1 000 mL 容量瓶中, 用水稀释至刻度, 混匀。

4.4.5 镀铜混合液: 称取 20 g 硫酸铜($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)溶解在 90 mL 去离子水中, 再加入 15 mL 氢氟酸。

4.5 磨料, W28(20~28 μm)金刚砂。

5 设备与仪器

5.1 制样设备, 包括切片机、滚磨及喷砂设备等。

5.2 探针装置由以下几部分组成。

5.2.1 探针架, 能保证探针与试样接触位置重复, 无横向移动。

5.2.2 探针, 用钨、钨钨、碳化钨或合金钢等耐磨硬质材料制成。探针间及探针与其他部分之间的绝缘电阻应大于 $10^8 \Omega$ 。探针间距标称值为 1~4.7 mm 及 10 mm。探针压力应为 $1.75 \pm 0.25 \text{ N}$ 。

5.3 电学测量设备由以下几部分组成。

5.3.1 恒流源, 电流量程 0.01 mA~1 A, 稳定度在 $\pm 0.5\%$ 以内。

5.3.2 电流换向开关。

5.3.3 双掷双刀电位选择开关。

5.3.4 数字电压表或其他相当的仪表, 量程 $10^{-4} \sim 1 \text{ V}$, 输入阻抗一般大于 $10^8 \Omega$, 分辨率为 $3\frac{1}{2}$ 位有效

数字。

5.3.5 标准电阻和模拟电阻,推荐值见表 1。

表 1 与电阻率范围适应的模拟测试电路电阻以及推荐的标准电阻值

电阻率, $\Omega \cdot \text{cm}$	标准电阻 R_s 和模拟电阻 R_a, Ω
0.001	0.001
0.01	0.01
0.1	0.1
1.0	1.0
10	10
100	100
1 000	1 000

5.3.6 模拟电路,见图 2。

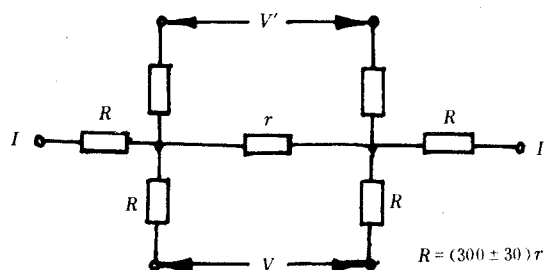


图 2 电阻率测量的模拟电路

5.4 导电类型测定设备。

5.5 工具显微镜,分辨率 $1 \mu\text{m}$ 。

5.6 测微器或卡尺,分辨率为 $\pm 0.05 \text{ mm}$ 或更高。

5.7 化学实验室设备:塑料烧杯,镀塑镊子,废液盛器及通风橱。

5.8 温度计,范围 $0 \sim 40^\circ\text{C}$,分辨率 0.1°C 。

6 试样准备

6.1 按 GB 1550 或 GB 5256 测定试样的导电类型,沿长度每隔 1 cm 测一次,整个晶体上只出现一种导电类型才满足本标准方法的要求,否则不能测量。

6.2 圆柱形试样用喷砂或研磨方法在晶体圆周侧面上制备宽 $3 \sim 5 \text{ mm}$ 的测量道,并在与该测量道成 90° 的侧面上制备宽度相同的第二测量道。

6.3 试样两端面用磨料(4.5)喷砂或研磨。

6.4 试样用丙酮清洗,乙醇漂洗后吹干。

6.5 选用 4.4 条中任何一种材料在试样两端制成欧姆接触。

6.6 试样各测量点的截面积与整个试样平均截面积之差必须在 $\pm 1\%$ 以内,否则不宜使用本方法。

7 测量程序

7.1 试样平均截面积的测定

7.1.1 圆柱形试样 沿试样长度以适当等距离间隔分别测量并记录 2 条垂直的直径,以这二条直径的平均值计算各测量点的截面积 A_i 。利用所有的 A_i 值计算整个试样的平均截面积 A 。

7.1.2 方形或矩形试样 沿试样长度以适当等距离间隔,分别测量并记录截面的长度和宽度,计算各测量点的截面积 A_i ,根据所有的 A_i 值计算整个试样的平均截面积 A 。

7.2 测试设备的适用性检查

仲裁测量前必须进行以下步骤:

7.2.1 按 GB/T 1552 的 5.2 条确定探针的间距和状态。

7.2.1.1 测量 10 组探针压痕对的位置 A 、 B 、 C 、 D ,见图 3。计算 10 组探针间距 S_i 、平均探针间距 $\bar{S}$ 及探针间距标准偏差 S_p 。

7.2.1.2 探针间距的标准偏差 S_p 小于平均探针间距 $\bar{S}$ 的 0.25% 的探针是合格的。

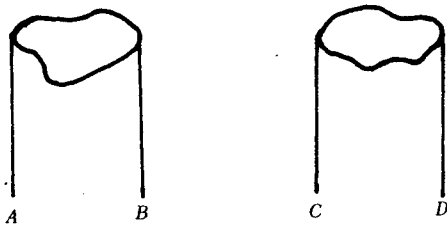


图 3 探针压痕对的测量位置

7.2.2 按 GB/T 1552 硅锗单晶电阻率直排四探针测量方法 5.3 条确定电气设备的适用性。

7.2.2.1 测定 5 组模拟电路的电压降或 10 组模拟电路的电阻值。

7.2.2.2 计算 10 个模拟电阻 R_i 和模拟电阻的平均值 $\bar{R}_a$,及模拟电阻的标准偏差 S_a 。

7.2.2.3 将 7.2.2.1 条测得的数据及按 7.2.2.2 条计算的结果分别填入表 2。

7.2.2.4 模拟电阻的平均值 $\bar{R}_a$ 必须在模拟电阻已知值 R_a 的 0.3% 以内。

7.2.2.5 模拟电阻的标准偏差 S_a 应不大于模拟电阻平均值 $\bar{R}_a$ 的 0.3%。

表 2 模拟电路测量数据表

测 量 次 数	V_{af}, mV	V_{af}, mV	V_{ar}, mV	V_{ar}, mV

No.	R_{af}, Ω	R_{ar}, Ω	No.	R_{af}, Ω	R_{ar}, Ω

标准电阻 R_s _____
模拟电阻 $\bar{R}_a$ _____
标准偏差 S_a _____
日 期 _____

7.3 测量

7.3.1 把试样放在导电极板之间,将探针降低到测量道上,使探针垂直压在晶体侧面测量道上。第一测量点在离端面 2 cm 处,测量距离从两根探针的中心算起。

7.3.2 如果电阻率未知,从低电流开始逐渐增加电流,直到两个电压探针之间测到 10 mV 左右电位差。

7.3.3 测量环境温度 T ,准确到 0.2℃。

7.3.4 测量标准电阻上的电压降 V_{st} (mV),或直接测量试样电流 I_t 。

7.3.5 测量两根电压探针之间的电压降 V_f (mV)。

7.3.6 将电流反向。

7.3.7 测量标准电阻上的电压降 V_{sr} (mV),或直接测量试样电流 I_r 。

7.3.8 测量两根电压探针上的电压降 V_r (mV)。

7.3.9 将探头升高并向另一端面方向移动适当距离(与 7.1 条移动距离相同),重复 7.3.4~7.3.8 步骤,直到两探针中心与另一端面相距在 2 cm 内。

7.3.10 在第二测量道上重复 7.3.4~7.3.9 步骤。

7.3.11 重复 7.3.4 至 7.3.10 步骤,直到取得 5 组数据为止。

7.3.12 若晶体长度小于 4 cm 时,可将测量点置于同二端面欧姆接触等距离处。按 7.3.4~7.3.8 及 7.3.10~7.3.11 步骤重复 5 次。

7.3.13 将以上 5 组数据分别记录在表 3 中。

表 3 两探针测量数据表

试样编号		探针间距		标准电阻				
导电类型		平均截面积						
测量道	测点离起始端面的距离,cm							
	测量次数	V_f ,mV	V_r ,mV	V_{sf} ,mV	V_{sr} ,mV	I_f ,mA	I_r ,mA	T °C
1	1							
	2							
	3							
	4							
	5							
2	1							
	2							
	3							
	4							
	5							

8 测量结果计算

8.1 探针间距 S_i 、平均探针间距 $\bar{S}$ 及探针间距标准偏差 S_p 的计算

8.1.1 探针间距 S_i 的计算:

$$S_i = \frac{A_i + B_i}{2} - \frac{C_i + D_i}{2} \dots\dots\dots (2)$$

式中: S_i ——探针间距, cm;

A 、 B 、 C 和 D 为探针压痕对, 见图 3。

i 为测量次数, $i=1\sim 10$ 。

8.1.2 平均探针间距 $\bar{S}$ 的计算:

$$\bar{S} = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} S_i \dots\dots\dots (3)$$

8.1.3 探针间距的标准偏差 S_p 的计算:

$$S_p = \frac{1}{3} \sqrt{\sum_{i=1}^{10} (S_i - \bar{S})^2} \dots\dots\dots (4)$$

8.2 模拟电阻 R_{ai} 、模拟电阻平均值 $\bar{R}_a$ 及标准偏差 S_a 的计算

8.2.1 模拟电阻 R_{ai} 的计算:

$$R_{ai} = V_a R_s / V_s = V_a / I_a \dots\dots\dots (5)$$

式中: R_{ai} ——模拟电阻, Ω ;

V_a ——模拟电路的电压降, mV;

R_s ——标准电阻的阻抗, Ω ;

V_s ——标准电阻上的电压降, mV;

I_a ——通过模拟电路的电流, mA。

分别对 5 组正向及反向数据进行计算, 如果直接测量电流, 利用式(5)的右式。

8.2.2 模拟电阻的平均值 $\bar{R}_a$ 的计算:

$$\bar{R}_a = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} R_{ai} \dots\dots\dots (6)$$

式中: $\bar{R}_a$ ——模拟电阻的平均值, Ω ;

R_{ai} ——模拟电阻, Ω 。

8.2.3 模拟电阻的标准偏差 S_a 的计算:

$$S_a = \frac{1}{3} \sqrt{\sum_{i=1}^{10} (R_{ai} - \bar{R}_a)^2} \dots\dots\dots (7)$$

式中: S_a ——模拟电阻的标准偏差;

R_{ai} ——模拟电阻, Ω ;

$\bar{R}_a$ ——模拟电阻的平均值, Ω 。

8.3 两探针测量的计算

8.3.1 正向电流电阻 R_f 和反向电流电阻 R_r 的计算:

$$R_f = V_f R_s / V_{sf} = V_f / I_f \quad \dots\dots\dots (8)$$

$$R_r = V_r R_s / V_{sr} = V_r / I_r \quad \dots\dots\dots (9)$$

式中: R_f ——正向电流时试样的电阻, Ω ;

R_r ——反向电流时试样的电阻, 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上的电势差, mV;

V_r ——反向电流时测得的试样上的电势差, 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;

R_s ——标准电阻, Ω 。

若直接测量电流, 则采用式(8)和式(9)中的右式。

对于仲裁测量, 每一对 R_f 和 R_r 的值必须满足两者之差小于其中较大值的 2%。

8.3.2 每个测量点每次测量的正、反向平均电阻 R_i 的计算:

$$R_i = (R_{fi} + R_{ri}) / 2 \quad \dots\dots\dots (10)$$

式中: R_i ——每个测量点每次测量时正、反向平均电阻, Ω ;

R_{fi} ——每次测量求得的正向电阻, Ω ;

R_{ri} ——每次测量求得的反向电阻, Ω ;

i ——表示 5 组正、反向电阻中的一组, $i=1\sim 5$ 。

8.3.3 每个测量点的平均电阻 $\bar{R}$ 的计算:

$$\bar{R} = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 R_i \quad \dots\dots\dots (11)$$

式中: $\bar{R}$ ——每个测量点的平均电阻, Ω ;

R_i ——每个测量点每次正、反向测量时的平均电阻, Ω 。

8.3.4 每个测量点在温度 T 时的电阻率 ρ_T 的计算:

$$\rho_T = \bar{R} \times (A/\bar{S}) \quad \dots\dots\dots (12)$$

式中: ρ_T ——温度 T 时的电阻率, $\Omega \cdot \text{cm}$;

$\bar{R}$ ——每个测量点的平均电阻, Ω ;

A ——试样的平均截面积, cm^2 ;

$\bar{S}$ ——探针平均间距, cm。

8.3.5 从相应的图表中查出相应的温度系数,按式(13)计算温度修正因子 F_T :

$$F_T = 1 - G(T - 23) \dots\dots\dots (13)$$

式中: F_T ——温度修正因子;

T ——温度, $^{\circ}\text{C}$;

G ——电阻率的温度系数, $\Omega \cdot \text{cm} / \Omega \cdot \text{cm} \cdot ^{\circ}\text{C}$ 。

硅单晶电阻率温度系数表 4, 锗单晶查图 4 和图 5。

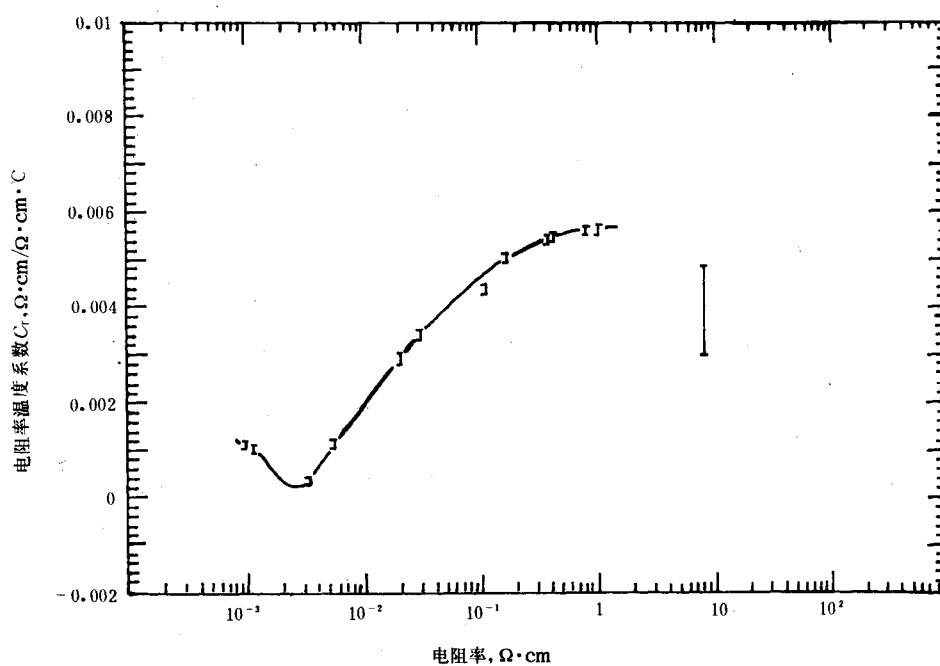
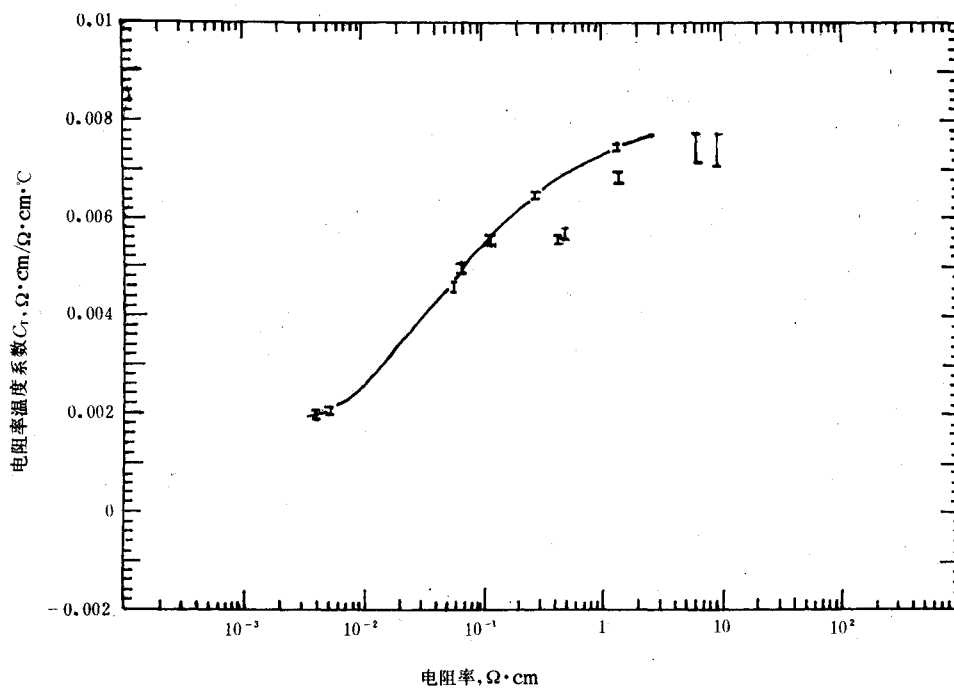


图 4 温度系数 C_T 与 n 型锗电阻率的关系曲线

图 5 温度系数 C_T 与 p 型锗电阻率的关系曲线

8.3.6 按式(14)计算 23℃ 的电阻率:

$$\rho_{23} = \rho_T \times F_T \quad \dots\dots\dots (14)$$

式中: ρ_{23} ——温度 23℃ 时的电阻率, $\Omega \cdot \text{cm}$;

ρ_T ——温度 $T^\circ\text{C}$ 时的电阻率, $\Omega \cdot \text{cm}$;

F_T ——温度 $T^\circ\text{C}$ 时的修正因子。

表 4 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。

9 精密度

采用 $1\,000\ \Omega \cdot \text{cm}$ 以下的 8 根硅单晶锭及 $2\sim 15\ \Omega \cdot \text{cm}$ 的 3 根锗单晶锭,分别在 5 个实验室进行循环试验,得到本方法的各实验室精密度为 $\pm 12\%$ (R3S)。

10 试验报告

试验报告应包括以下内容:

- a. 试样编号;
- b. 试样平均截面积;
- c. 每个测量点距起始端面的距离;
- d. 探针间距;
- e. 测量温度;
- f. 试样每个测量点的电阻率;
- 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。

本标准主要起草人林敏敏、金胜祖、施海青。

中 华 人 民 共 和 国
国 家 标 准
硅、锗单晶电阻率测定
直 流 两 探 针 法
GB/T 1551—1995

*

中国标准出版社出版
北京复兴门外三里河北街16号
邮政编码:100045

电 话:8522112

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷
新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售
版权专有 不得翻印

*

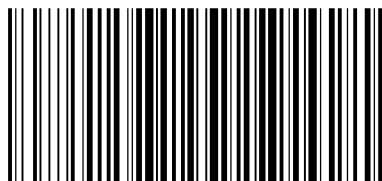
开本 880×1230 1/16 印张 1 字数 20 千字
1995年11月第一版 1995年11月第一次印刷
印数 1—2 500

*

书号: 155066·1-11911 定价 12.00 元

*

标 目 274—23



GB/T 1551—1995