



中华人民共和国国家计量检定规程

JJG 508—2004

四探针电阻率测试仪

Resistivity Measuring Instruments with Four - Probe Array Method

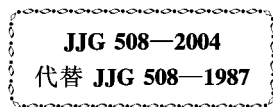
2004 - 09 - 21 发布

2005 - 03 - 21 实施

国家质量监督检验检疫总局 发布

四探针电阻率测试仪检定规程

**Verification Regulation of Resistivity
Measuring Instruments with
Four – Probe Array Method**



本规程经国家质量监督检验检疫总局于 2004 年 09 月 21 日批准，并自 2005 年 03 月 21 日起施行。

归口单位：全国无线电计量技术委员会

主要起草单位：中国计量科学研究院

参加起草单位：广州半导体材料研究所

本规程委托全国无线电计量技术委员会负责解释

本规程主要起草人：

鲁效明 （中国计量科学研究院）

参加起草人：

谢鸿波 （广州半导体材料研究所）

目 录

1 范围	(1)
2 概述	(1)
3 计量性能要求	(1)
3.1 对电阻率测试仪技术指标的要求	(1)
3.2 绝缘电阻的测量和绝缘强度的试验	(2)
4 通用技术要求	(3)
4.1 电阻率测试仪的外观	(3)
4.2 电阻率测试仪工作正常性的检查	(3)
5 计量器具控制	(3)
5.1 检定条件	(3)
5.2 检定项目	(5)
5.3 检定方法	(5)
5.4 检定结果的处理	(8)
5.5 检定周期	(8)
附录 A 探针压痕检定记录及计算方法	(9)
附录 B 用电阻率标准样片整体方法检定电阻率测试仪的记录格式	(10)
附录 C 用标准样片检定电阻率测试仪各修正系数表	(11)
附录 D 分部件检定四探针电阻率测试仪检定结果的处理	(12)
附录 E 四探针电阻率测试仪检定证书及检定结果通知书内页格式	(14)

四探针电阻率测试仪检定规程

1 范围

本规程适用于接触式, 测量范围在 $10^{-3} \Omega \cdot \text{cm} \sim 10^3 \Omega \cdot \text{cm}$ 的四探针电阻率测试仪的首次检定, 后续检定和使用中检验。对某些多功能的四探针电阻率测试仪或只能测量方块电阻四探针测试仪也同样适用。方块电阻的测量范围在 $10^{-2} \Omega/\square \sim 10^4 \Omega/\square$ 。

本规程不适用于二探针、三探针、六探针及方型四探针电阻率测试仪的检定。

2 概述

四探针电阻率测试仪 (以下简称电阻率测试仪), 是用来测量半导体材料及工艺硅片的电阻率, 或扩散层及外延层, 以及绝缘衬底镀膜层方块电阻的测量仪器。它主要由电气部分和探头等部分组成。自动式测试仪还包括计算机及接口等部分, 电气部分一般包括可调稳流源、A/D 转换器、数字显示器、换向开关等仪器和部件。探头部分一般包括探头夹具、探头和样品台, 其原理图及方框图如图 1 和图 2 所示。

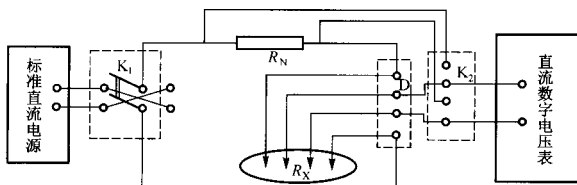


图 1 标准样片检定电阻率测试仪的原理图

K_1 —换向开关; R_N —标准电阻; D —探针接线; K_2 —无热电势开关; R_X —被检标准样片

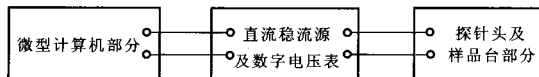


图 2 标准样片检定电阻率测试仪的方框图

3 计量性能要求

3.1 对电阻率测试仪技术指标的要求

3.1.1 各种型号的电阻率测试仪的技术指标应符合出厂技术说明书的要求。Ⅰ级、Ⅱ级电阻率测试仪的技术指标应符合 SJ/T10314—92 和 SJ/T10315—92 的部颁标准。

3.1.2 仪器的测量范围 (见表 1)

表 1 电阻率测试仪的测量范围

电阻率测试仪等级	I 级	II 级
电阻率/ ($\Omega \cdot \text{cm}$)	$10^{-4} \sim 10^4$	$10^{-3} \sim 2 \times 10^3$
方块电阻/ ($\Omega/\square$)	$10^{-3} \sim 10^5$	$10^{-2} \sim 2 \times 10^4$
电阻/ Ω	$10^{-3} \sim 10^5$	$10^{-2} \sim 2 \times 10^4$

3.1.3 仪器的准确度 (见表 2)

表 2 电阻率测试仪的准确度

电阻率测试仪等级	I 级	II 级
0.01Ω·cm ~ 500Ω·cm (%)	± 3	± 5
小于 0.001Ω·cm ~ 0.01Ω·cm (%)	± 5	± 10
大于 500Ω·cm ~ 1000Ω·cm (%)		
注：准确度以示值基本误差表示		

3.1.4 探针头技术指标 (见表 3)

表 3 探针头的各项技术指标

探针头的级别		I 级	II 级
探针头间距系列/mm		1.000	1.590
探针头间距相对偏差/ (%)		小于或等于 1	小于或等于 2
探针游移率/ (%)		小于或等于 0.3	小于或等于 0.5
探针力 /N	测样片时	1 ~ 2	
	测薄层时厚度大于或等于 $3\mu\text{m}$ 时	0.2 ~ 0.4	
	测薄层时厚度小于 $3\mu\text{m}$ 时	0.3 ~ 0.8	

3.1.5 对某些技术条件不完全符合本规程的电阻率测试仪可以参照本规程进行校准。

3.2 绝缘电阻的测量和绝缘强度的试验

3.2.1 首次检定的电阻率测试仪应作绝缘电阻的测量。在仪器的探针之间或探针与仪器外壳之间可用遥表或其它方法测量其绝缘电阻, 测量时工作电压为 (100 ~ 500) V, 绝缘电阻值不得低于 $500\text{M}\Omega$ 。

3.2.2 首次检定的电阻率测试仪, 可进行绝缘强度即耐压试验, 要求电流输入端与机壳间应能承受 1500V (有效值) 交流电压, 历时 1min, 无击穿与飞弧现象。对此项试验由送检单位提出申请后方可进行, 如未做耐压试验, 则应在检定证书上注明。

4 通用技术要求

4.1 电阻率测试仪的外观

4.1.1 电阻率测试仪外壳或铭牌上应有以下主要标志和符号：

- 产品名称、型号、制造厂名称或商标、出厂编号、标志。
- 仪器外露部件（包括外壳）有无缺陷、松动或损坏。
- 准确度等级。

4.2 电阻率测试仪工作正常性的检查

- 手动或倾斜仪器时是否可以听到内部有松动零件的撞击声。
- 各调节盘定位与接触是否良好。
- 数字显示是否正常。
- 探头是否晃动，四根针是否在同一平面上和直线上，有无出厂编号、型号、生产厂家及相关技术指标。
- 当外观和工作正常性检查时，发现上述项目中的某一项或多项已构成影响该仪器的计量性能时，则应在修复后再进行检定。

5 计量器具控制

计量器具控制包括首次检定、后续检定和使用中的检验。

5.1 检定条件

5.1.1 环境条件

电阻率测试仪的检定应在恒温专用清洁室内进行，检定具体要求见表4，检定前，被检电阻率测试仪应在恒温室内存放4h以上。

表4 电阻率测试仪的环境要求

被检仪器级别	室温/℃	相对湿度/%	室内条件	其它外界干扰
I级和II级	23 ± 2	40 ~ 65	专用清洁室	无较强的电场干扰，无强光直接照射

在检定过程中，发现有静电感应或泄漏电流等现象，则应采取相应的屏蔽或接地措施消除。

5.1.2 检定电阻率测试仪应具备下列设备：

检定用的标准器具：三套电阻率标准样片、分部件检定方法中的模拟电路电阻器。

标准辅助设备，有一台工具显微镜、若干抛光片或抛光蒸铝片、一台测力仪和一只温度计。

标准器具和标准辅助设备及环境条件所引起的扩展不确定度应不大于被检电阻率测试仪最大允许误差的1/3，包含因子 k 取2。

5.1.2.1 三套共12个标准样片的电阻率，电阻率标称值为0.005, 0.01, 0.1, 1, 5, 10, 25, 75, 180, 250, 500, 1000 $\Omega \cdot \text{cm}$ 。对其样片本身的要求见表5。

5.1.2.2 用于检定电阻率测试仪的标准样片，表面应没有任何脏物，长期使用应按

“使用说明”规定方法清洗，以保持样片表面的清洁。

表 5 对标准样片本身的要求

标准样片标称值 $/(\Omega \cdot \text{cm})$	标准样片厚度 W/mm 与直径 D/mm	温度 系数	备 注
0.005 ~ 1000	$W \leq 1.6$ $D \geq 16$	有	①引用标准样片实际值后扩展不确定度一般应小于被检仪器准确度的 1/3 ②标准样片应经省部级以上计量部门检定

5.1.2.3 对模拟电路电阻器的要求

1) 用模拟电路法检定电阻率测试仪电气部分的 U/I 比时，对模拟电路电阻器的电阻 r 和 R 有如下要求（见表 6）。

模拟电路法的电阻计算公式如下：

$$r = \frac{U_{av} R_s}{U_{sv}} = \frac{U_{av}}{I_{av}} \quad (1)$$

式中： r ——模拟电路的标准电阻；

U_{av} ——电流正反向测量 r 上电压降的平均值；

R_s ——标准电阻值；

U_{sv} ——标准电阻上电压降平均值；

I_{av} ——正反向电流的平均值。

表 6 对模拟电阻器的要求

电阻率 $/(\Omega \cdot \text{cm})$	电阻 r $/\Omega$	对 r 电阻扩展不确定度的要求	对 R 电阻的要求	R 电阻的偏差要求
< 0.0025	0.01	$\leq 0.05\%$ ($k=2$)	$R = (300 \pm 30)r$	$\leq \pm 20\%$
0.0025 ~ 0.005	0.1			
0.02 ~ 0.05	1			
0.2 ~ 2.5	10			
2 ~ 25	100			
25 ~ 250	1000			
> 250	10000			

2) 检定 I 级电阻率测试仪的模拟电路电阻器， r 电阻 10 次测量的标准偏差要小于或等于 r 平均值的 0.3%。10 次测量的 r 平均值与 r 实际值相比较扩展不确定度小于或等于 0.3%。检定 II 级电阻率测试仪的模拟电路， r 电阻 10 次测量的标准偏差要小于或等于 r 平均值的 0.5%。10 次测量的 r 平均值与 r 实际值相比较扩展不确定度小于或等于 0.5%。

5.1.2.4 一台放大倍数不低于 400 倍的工具显微镜（或不低于 100 倍的投影仪），若干片抛光硅片或抛光蒸铝硅片。

5.1.2.5 一台测力仪，测力仪的技术指标为：

a. 测力范围不小于：(0~9.8)N；

b. 测力仪准确度优于： $\pm 5\%$ 。

5.1.2.6 0.1℃分度值的温度计一只，温度范围 $\geq 10^{\circ}\text{C} \sim 40^{\circ}\text{C}$ 。

5.2 检定项目

电阻率测试仪的检定项目见表 7。

表 7 检定项目

检定类别 检定项目	首次检定	后续检定	使用中检验
外观检查	+	+	+
绝缘电阻	+	-	-
绝缘强度	+	-	-
探针头检定	+	+	-
示值基本误差检定	+	+	+

注：“+”表示应检项目，“-”表示可不检项目。

5.3 检定方法

5.3.1 外观检查

按 4.1.1 给出的细则去作检查。

5.3.2 对定型试验的电阻率测试仪作绝缘电阻和绝缘强度的试验。

按 3.2.1 作绝缘电阻测量，按 3.2.2 作绝缘强度试验。

5.3.3 探针头检定

5.3.3.1 测量探针力

用测力仪测出每根针的力和四根针的合力。

5.3.3.2 观察探针压痕形状，测量压痕直径间距和探针游移率。

1) 用一个抛光面的硅片（或抛光蒸铝片），在被检仪器探针力为合格值时压 10 组压痕（注意 10 组压痕的排列顺序，不可弄乱），然后用显微镜或投影仪观察每个压痕的形状、读出 y 轴上 y_A 和 y_B 的读数（即每组压痕中在 y 轴最大值与最小值）并算出 y_A 与 y_B 的差值。然后测量压痕直径及相邻两个压痕之间的距离，合格的探针压痕是指均匀接触而无滑动的压痕。

2) 探针压痕的直径和间距按下式计算，四根针压痕示意图见图 3。

$$S_1 = \left| \frac{C+D}{2} - \frac{A+B}{2} \right| \quad (2)$$

$$S_2 = \left| \frac{E+F}{2} - \frac{C+D}{2} \right| \quad (3)$$

$$S_3 = \left| \frac{G+H}{2} - \frac{E+F}{2} \right| \quad (4)$$

式中：A、B、C、D、E、F、G、H 分别表示探针压痕在显微镜上的读数，并取其 10 次平均值作为最后的计算值，则压痕参数实际求法如下：

$$\phi_1 = |A - B| \quad (5)$$

$$\phi_2 = |C - D| \quad (6)$$

$$\phi_3 = |E - F| \quad (7)$$

$$\phi_4 = |G - H| \quad (8)$$

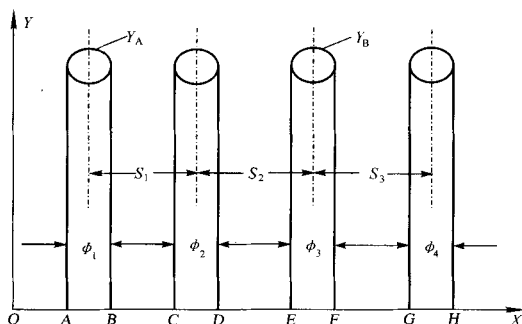


图 3 四根针压痕示意图

探针压痕，探针间距和探针游移率的记录格式及其计算方法见附录 A。

5.3.4 电阻率测试仪示值基本误差的检定

5.3.4.1 电阻率测试仪示值基本误差的检定有两种检定方法：两种方法为用标准样片的整体检定法和用模拟电路的分部件检定法。可用其中任何一种方法进行检定。

5.3.4.2 用硅单晶电阻率标准样片对电阻率测试仪进行整体检定

注：一般分为方块电阻检定和电阻率的检定，对于只能测量方块电阻的测试仪就对该仪器进行方块电阻检定。对于既能测方块电阻又能测电阻率的电阻率测试仪，可对电阻率进行检定。如果用户提出只对方块电阻进行检定也可以只检方块电阻。

1) 电阻率测试仪电阻率的检定

将被检仪器的电流值调到标准样片允许通过使用的电流值以内，对 12 个标准样片进行测量，每个样片在正反电流的情况下各测 10 次，每正反向测量一次将样片转动 $20^\circ \sim 30^\circ$ ，共计测得 20 个数据。通常以电压表读数在 10mV 左右。对小电阻率的标准样片，例如 $0.01\Omega \cdot \text{cm}$ 和 $0.005\Omega \cdot \text{cm}$ 的标准样片，仪器的电压读数位数可适当减小，但最少不得少于 3 位读数。

整体方法检定电阻率测试仪的记录格式见附录 B。

2) 被检电阻率测试仪电阻率值需要按下式进行计算：

$$\rho = \frac{V}{I} \cdot W F_{\text{sp}} F(W/\bar{S}) F(\bar{S}/D) F_t \quad (9)$$

式中： V ——仪器电压的读数，mV。

I ——测量时仪器给出的电流值，mA。

W ——被测样片的厚度值以 cm 为单位。

$F(W/\bar{S})$ ——厚度修正系数，数值可查附录 C 修正系数表。

$F(\bar{S}/D)$ ——直径修正系数，数值可查附录 C 修正系数表。

F_t ——温度修正系数。

见 JJG48—2004《硅单晶电阻率标准样片检定规程》附录 A。

F_{sp} ——探针头修正系数。

见本规程附录 D 探针修正计算公式。

3) 电阻率测试仪方块电阻的检定

将被检仪器的电流值调到 4.532mA 或是 4.532×10^n mA (n 为正负整数视选取仪器量程而定)。用被检仪器测量 12 个硅单晶电阻率标准样片，每个样片在正反电流的情况下各测 10 次，每正反测量一次将样片转动 $20^\circ \sim 30^\circ$ ，共计测得 20 个数据。

4) 标准样片的方块电阻按下式计算

$$R_{\square\text{标}} = \frac{\rho}{W} \quad (10)$$

式中： ρ ——标准样片电阻率值 $\Omega \cdot \text{cm}$ ；

W ——标准样片厚度值，以 cm 为单位。

5) 按下式计算电阻率测试仪被检示值的相对误差

a. 电阻率示值的相对误差

$$\delta_\rho = \frac{\rho_{\text{仪}} - \rho_{\text{标}}}{\rho_{\text{标}}} \times 100\% \quad (11)$$

式中： $\rho_{\text{仪}}$ ——由被检仪器测量后按 (9) 式算出的电阻率值或被检仪器电阻率值的直接读数；

$\rho_{\text{标}}$ ——标准样片电阻率的实际值。

b. 方块电阻示值的相对误差

$$\delta_\rho = \frac{R_{\square\text{仪}} - R_{\square\text{标}}}{R_{\square\text{标}}} \times 100\% \quad (12)$$

式中： $R_{\square\text{仪}}$ ——由被检仪器测出的方块电阻值。

$R_{\square\text{标}}$ ——由 (10) 式计算出标准样片的方块电阻值。

5.3.4.3 全自动或半自动的数字显示电阻率测试仪的检定

1) 电阻率测试仪的其它功能，按仪器说明书的指标要求进行检查。判断是否合格。

2) 按仪器说明书的要求，在电阻率测试仪测量范围内，选择相对应的标准样片作为被测对象对标准样片中心点 (0.25mm 以内) 的电阻率进行正反向各 10 次测量，并按 (11) 式计算电阻率的相对误差。

5.3.4.4 电阻率测试仪的分部件检定

1) 对电阻率测试仪的电气部分, 可用模拟电路法进行检定。根据仪器测量范围和所对应的电路的 r 值 (见表 6) 用模拟电路方法检定, 模拟电路按图 4 接线后, 再接到电阻率测试仪上。

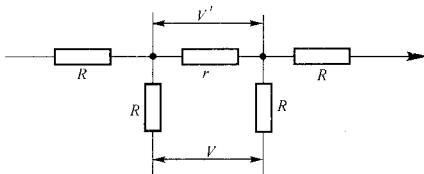


图 4 模拟电路接线图

按照电阻率测试仪的测量方法, 对上述模拟电路进行正反向 10 次测量, 并按 (13)、(14) 式计算平均值及其标准偏差。

$$\bar{r} = \frac{1}{10} \sum_{j=1}^{10} r_j \quad (13)$$

$$s = \frac{1}{3} \sqrt{\sum_{j=1}^{10} r_j (r_j - \bar{r})^2} \quad (14)$$

式中: r_j ——为正反向单次测量的平均值;

$\bar{r}$ ——10 次测量的平均值。

2) 对探针压痕直径及其间距的检定, 其要求和方法与探针检定相同。

5.4 检定结果的处理

5.4.1 用标准样片检定电阻率测试仪, 由检定结果中找出最大的相对误差, 如果最大相对误差超过仪器标定的准确度, 则说明仪器超差。

5.4.2 分部件检定的电阻率测试仪, 检定结果处理见附录 D。

5.4.3 对于检定后的各项指标都合格的电阻率测试仪, 出具检定合格证书。在证书中注明标准样片的实际值和测量值, 给出测量的误差值, 给出探针头的修正系数。如果用户要求给出全部探针指标, 也可按需要给出全部探头指标, 若探头为不合格, 则必须指出哪项指标或 n 项指标不合格。对自动或半自动电阻率测试仪, 只要有一项功能不符合要求时, 就按不合格仪器处理。检定证书及检定结果通知书的内页格式见附录 E。

5.4.4 对于检定后的有一项以上指标不合格的电阻率测试仪, 出具检定结果通知书, 并在通知书中注明不合格项目。此外在检定证书或通知书中一般不用给出检定总不确定度, 若用户需要可满足用户要求。但必须注明, 检定时的温度、相对湿度及实验室条件等项目。

5.4.5 对检定后不合格的电阻率测试仪, 经修理后, 仍需要重新按首次检定要求检定。

5.5 检定周期

电阻率测试仪的检定周期一般不超过 1 年, 送检时需要携带上一次检定证书。

附录 A

探针压痕检定记录及计算方法

由显微镜测得的 A, B, C, D, E, F, G, H 的值如下表。

mm

位置 读数 次数	A	B	C	D	E	F	G	H	Y_A	Y_B
1	14.264	14.310	15.265	15.298	16.278	16.315	17.265	17.306		
2	14.263	14.309	15.266	15.297	16.279	16.314	17.263	17.305		
3	14.262	14.308	15.246	15.296	16.277	16.313	17.262	17.304		
4	14.264	14.309	15.265	15.297	16.277	16.314	17.263	17.305		
5	14.263	14.307	15.264	15.295	16.276	16.313	17.264	17.303		
6	14.262	14.306	15.263	15.296	16.278	16.312	17.263	17.304		
7	14.264	14.305	15.262	15.295	16.277	16.313	17.264	17.303		
8	14.262	14.309	15.263	15.298	16.275	16.316	17.262	17.304		
9	14.263	14.305	15.262	15.299	16.274	16.315	17.261	17.303		
10	14.263	14.308	15.262	15.297	16.279	16.316	17.263	17.306		
平均	14.263	14.308	15.263	15.297	16.277	16.315	17.263	17.305		

计算

$$\phi_1 = |B - A| = |14.308 - 14.263| = 45\mu\text{m}$$

$$\phi_2 = |D - C| = |15.297 - 15.263| = 34\mu\text{m}$$

$$\phi_3 = |E - F| = 38\mu\text{m}$$

$$\phi_4 = |H - G| = 42\mu\text{m}$$

$$S_1 = \frac{15.263 + 15.297}{2} - \frac{14.263 + 14.308}{2} = 15.280 - 14.286 = 0.994\text{mm}$$

$$S_2 = \frac{16.277 + 16.315}{2} - \frac{15.263 + 15.297}{2} = 16.296 - 15.280 = 1.016\text{mm}$$

$$S_3 = \frac{17.263 + 17.305}{2} - \frac{16.277 + 16.315}{2} = 17.284 - 16.296 = 0.988\text{mm}$$

游移率 σ 以 S_1 为例

$$\sigma = \frac{\sigma_r}{\bar{S}_i} = \frac{1}{\bar{S}_i \sqrt{n}} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (S_i - \bar{S})^2}{n-1}} = 0.18\% \quad (k=2)$$

附录 B

用电阻率标准样片整体方法检定电阻率测试仪的记录格式

电阻率值的检定：

所用标准样片	$\Omega \cdot \text{cm}$	$W = \mu\text{m}$	$\rho_{\text{标}} = \Omega \cdot \text{cm}$	编号	
$\rho_{\text{仪}}$ 或 V 值 测量次数	正向	反向	平均值	相对误差 %	
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
平均					

方块电阻的检定：

所用标准样片	$\Omega \cdot \text{cm}$	$W = \mu\text{m}$	$R_{\square \text{标}} =$	编号	
$R_{\square \text{仪}}$ 测量次数	正向	反向	平均值	相对误差 %	
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
平均					
检定环境条件	室温：℃	相对湿度：%	检定人员		
			检定日期	年 月 日	

附录 C

用标准样片检定电阻率测试仪各修正系数表

$W/\bar{S}$	$F(W/\bar{S})$	$\bar{S}/D$	$F(\bar{S}/D)$	$W/\bar{S}$	$F(W/\bar{S})$	$\bar{S}/D$	$F(\bar{S}/D)$
0.500	0.9970	0.0100	4.528	0.655	0.9865	0.0740	4.327
0.505	0.9967	0.0120	4.527	0.660	0.9860	0.0760	4.317
0.510	0.9965	0.0140	4.525	0.665	0.9855	0.0780	4.306
0.515	0.9962	0.0160	4.522	0.670	0.9850	0.0800	4.294
0.520	0.9960	0.0180	4.520	0.675	0.9845	0.0820	4.283
0.525	0.9958	0.0200	4.517	0.680	0.9840	0.0840	4.271
0.530	0.9955	0.0220	4.513	0.685	0.9835	0.0860	4.260
0.535	0.9952	0.0240	4.510	0.690	0.9830	0.0880	4.248
0.540	0.9950	0.0260	4.506	0.695	0.9825	0.0900	4.235
0.545	0.9948	0.0280	4.497	0.700	0.9820	0.0920	4.223
0.550	0.9945	0.0300	4.493	0.705	0.9812	0.0940	4.210
0.550	0.9942	0.0320	4.488	0.710	0.9803	0.0960	4.197
0.560	0.9940	0.0340	4.482	0.720	0.9790	0.0980	4.184
0.565	0.9938	0.0360	4.476	0.730	0.9775	0.1100	4.171
0.570	0.9935	0.0380	4.470	0.740	0.9740		
0.575	0.9932	0.0400	4.461	0.750	0.9745		
0.580	0.9930	0.0420	4.458	0.760	0.9730		
0.585	0.9928	0.0440	4.451	0.770	0.9714		
0.590	0.9925	0.0460	4.444	0.780	0.9698		
0.595	0.9922	0.0480	4.436	0.790	0.9680		
0.600	0.9920	0.0500	4.429	0.800	0.9662		
0.605	0.9915	0.0520	4.421	0.820	0.9626		
0.610	0.9910	0.0540	4.413	0.840	0.9587		
0.615	0.9905	0.0560	4.404	0.860	0.9546		
0.620	0.9900	0.0580	4.395	0.880	0.9504		
0.625	0.9895	0.0600	4.386	0.900	0.9459		
0.630	0.9890	0.0620	4.377	0.920	0.9413		
0.635	0.9885	0.0640	4.368	0.940	0.9362		
0.640	0.9880	0.0680	4.358	0.960	0.9317		
0.645	0.9875	0.0700	4.348	0.980	0.9260		
0.650	0.9870	0.0720	4.333	1.000	0.9215		

备注：以上数据来自测量较薄标准样片时，为了补偿电磁场的变化，通过物理学理论计算得到。

附录 D

分部件检定四探针电阻率测试仪检定结果的处理

D.1 用模电路法测得 V/I 比值的标准不确定度 $r(V/I)$, 探针间距游移率对电阻率测量的标准不确定度 r_{sp} , 并按下式计算出合成标准不确定度:

$$r_2 = \sqrt{(\gamma_{(V/I)})^2 + (\gamma_{sp})^2 + (\gamma'_{sp})^2 + (\gamma_{FT})^2}$$

式中: $\gamma_{(V/I)}$ ——用模拟电路检定仪器 V/I 比值的最大标准不确定度;

γ_{sp} ——探针的游移率引起对电阻率测量的标准不确定度;

γ'_{sp} ——由显微镜的读数刻度及分辨率所带来的标准不确定度;

γ_{FT} ——除上述因素外, 其它各项因素引起的标准不确定度。

探针游移率对电阻率测量的标准不确定度 γ_{sp} 按下式计算

$$\gamma_{sp} = 1.14 \frac{\delta_s}{\bar{S}}$$

式中: $\bar{S}$ ——探针间距 S_1 、 S_2 、 S_3 的测量平均值;

δ_s ——探针间距 S_1 、 S_2 、 S_3 测量的最大标准偏差。

由公式 $r_2 = \sqrt{(\gamma_{(V/I)})^2 + (\gamma_{sp})^2 + (\gamma'_{sp})^2 + (\gamma_{FT})^2}$ 计算的扩展不确定度 r_2 值 ($k=2$), 应小于或等于测试仪本身的准确度, 则说明仪器合格。

D.2 除上述要求外, 探针部分还应满足以下要求:

D.2.1 探针力, 指四根针合力应在 $7.0N \pm 1N$ 范围内, 且四根针的力要均匀分布, 每根针在 $1.75N \pm 0.25N$ 范围内, 对于测量薄层方块电阻的探针力应在 $2.5N \pm 0.5N$ 范围内。

D.2.2 探针压痕的直径应在 $20\mu m \sim 100\mu m$ 范围内。

D.2.3 探针间距的平均值 $\bar{S}_1$, $\bar{S}_2$, $\bar{S}_3$ 与 $\bar{S}$ 之差应满足附录中表 D.1 的规定。

D.2.4 由 10 次测量的 3 组间距中每一个 $\bar{S}_i$ 值的标准偏差 δ_{Si} 应满足附录中表 D.1 的规定。

D.2.5 由 10 组探针压痕在 y 轴上读数 y_A 和 y_B 的差值不大于 $150\mu m$ 。

D.3 对于探针应按下式计算平均间距和探针修正系数 F_{sp} 。

$$\bar{S} = \frac{1}{3} (\bar{S}_1 + \bar{S}_2 + \bar{S}_3)$$

$$F_{sp} = 1 + 1.082 \left(1 - \frac{\bar{S}_2}{\bar{S}} \right)$$

D.4 以双电测量原理生产的四探针电阻率测试仪, 因其测量结果受探针间距的影响较小, 其探头的指标可以放宽要求:

D.4.1 三个探针间距 $\bar{S}_1$, $\bar{S}_2$, $\bar{S}_3$ 任何两个间距之比可在 $0.7 \sim 1.5$ 范围内变化。

D.4.2 在横向 (电流方向) 探针游移率不设严格要求, 而在纵向上探针游移率的指标可放宽到小于 1%。

表 D.1 分部件检定法对四探针探头全部要求

仪器及探头级别	I 级		II 级		备注
	±3%	±5%	±5%	±10%	
准确度	±3%	±5%	±5%	±10%	
测量范围	0.01Ω·cm ~ 500Ω·cm	0.001Ω·cm ~ 0.1Ω·cm 500Ω·cm ~ 1000Ω·cm	0.01Ω·cm ~ 500Ω·cm	0.001Ω·cm ~ 0.1Ω·cm 500Ω·cm ~ 1000Ω·cm	
对电阻 r 的要求	10 次测量 r 的平均值和已知的 r 实际值相比较不确定度应在 0.3% 以内, 测量的标准偏差 δ 应小于 $\bar{r}$ 的 0.3%		10 次测量 r 的平均值和已知的 r 实际值相比较不确定度应在 0.5% 以内, 测量的标准偏差 δ 应小于 $\bar{r}$ 的 0.5%		适合于分部件检定的电阻率测试仪
对探针游移率及其它各项指标的要求	10 次测量中三组间距中, 每一个 S_i 值的标准偏差 δ_{S_i} 应小于 S_i 的 0.3%, $\bar{S}_1, \bar{S}_2, \bar{S}_3$ 与 $\bar{S}$ 的差值应不超过 $\pm 1\%$, 探针合力测电阻率时为 $7.0 \pm 1\text{N}$ 测薄层电阻时 W 小于 $3\mu\text{m}$ 探针合力为 $0.8\text{N} \sim 1.6\text{N} \pm 0.12\text{N}$ W 大于或等于 $3\mu\text{m}$ $1.2\text{N} \sim 3.2\text{N} \pm 0.12\text{N}$		10 次测量中三组间距中, 每一个 S_i 值的标准偏差 δ_{S_i} 应小于 S_i 的 0.5%, $\bar{S}_1, \bar{S}_2, \bar{S}_3$ 与 $\bar{S}$ 的差值应不超过 $\pm 2\%$, 探针合力测电阻率时为 $7.0 \pm 1\text{N}$ 测薄层电阻时 W 小于 $3\mu\text{m}$ 探针合力为 $0.8\text{N} \sim 1.6\text{N} \pm 0.12\text{N}$ W 大于或等于 $3\mu\text{m}$ $1.2\text{N} \sim 3.2\text{N} \pm 0.12\text{N}$		
满量程分辨率	$\leq 0.05\%$		$\leq 0.1\%$		

附录 E

四探针电阻率测试仪 检定证书及检定结果通知书内页格式

E.1 检定证书内页格式

共 页第 页

检定依据： 证书编号：

计量标准：

检定条件： 温度： _____℃ 湿度： _____% RH

检定结果：

表 1 电阻率测量

标准样片电阻率标称值 $/(\Omega \cdot \text{cm})$	电阻率实际值 $/(\Omega \cdot \text{cm})$	电阻率测量值 $/(\Omega \cdot \text{cm})$	相对误差 $/(\%)$
0.005			
0.01			
0.1			
1			
5			
10			
25			
75			
180			
250			
500			
1000			

表 2 探针头测量

探针头型号:	编号:
探针头测量结果:	
探针间距 / μm	探针压痕 / μm
$S_1 =$	$D_1 =$
$S_2 =$	$D_2 =$
$S_3 =$	$D_3 =$
$S_4 =$	$D_4 =$
游移率 / (%)	间距偏差 / (%)
$S_{d_1} =$	$P_{w_1} =$
$S_{d_2} =$	$P_{w_2} =$
$S_{d_3} =$	$P_{w_3} =$
间距修正系数 $F_{\text{sp1}} =$	
说明:	

E.2 检定结果通知书

要求同上，并指出不合格项目。