



# 中华人民共和国国家计量检定规程

JJG 48—2004

---

## 硅单晶电阻率标准样片

*Standard Slice of Single Crystal Silicon Resistivity*

2004 - 09 - 21 发布

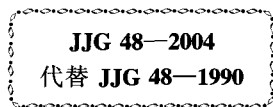
2005 - 03 - 21 实施

---

国家质量监督检验检疫总局 发布

# 硅单晶电阻率标准样片 检定规程

Verification Regulation of Standard  
Slice of Single Crystal Silicon Resistivity



---

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 标准样片的电阻率的测量范围	(1)
3.2 标准样片的标称值	(1)
3.3 标准样片应具备的参数及性能要求	(1)
4 通用技术要求	(2)
5 计量器具控制	(3)
5.1 检定条件	(3)
5.2 检定项目及检定方法	(5)
5.3 检定结果的处理	(7)
5.4 检定周期	(8)
附录 A 硅单晶电阻率标准样片温度修正系数表	(9)
附录 B 硅单晶电阻率标准样片的清洗方法	(10)
附录 C 硅单晶电阻率标准样片检定原始记录	(11)
附录 D 硅单晶电阻率标准样片检定证书及检定结果通知书内页格式	(12)
附录 E 硅单晶电阻率标准样片检定结果的计算与处理	(13)
附录 F 计算硅单晶电阻率标准样片的各种修正系数表	(15)
附录 G 不同直径的硅单晶电阻率标准样片距边缘 6mm 处的修正系数表( $F_{\text{eg}}$ )	(16)

## 硅单晶电阻率标准样片检定规程

## 1 范围

本规程适用于硅单晶电阻率标准样片的首次检定、后续检定和使用中的检验。

## 2 概述

硅单晶电阻率标准样片（以下简称标准样片）是用高纯多晶硅，经过单晶制备，再经中子嬗变掺杂等多种工艺制造的，具有一定几何尺寸的实物标准。由不确定度已知的标准装置，对该实物标准的电阻率及其它指标给予标定，使用时以标准样片为准，对相关参数进行量值传递。

## 3 计量性能要求

## 3.1 标准样片的电阻率的测量范围

电阻率的测量范围  $0.005\Omega\cdot\text{cm} \sim 5000\Omega\cdot\text{cm}$ 。

## 3.2 标准样片的标称值

标准样片的标称值应符合下述 19 个规格中的一个，见表 1：

表 1 标准样片的标称值

 $\Omega\cdot\text{cm}$ 

电阻率标称值									
0.005	0.01	0.02	0.05	0.1	0.2	0.5	1	2	5
10	25	75	180	250	500	1000	2000	5000	

## 3.3 标准样片应具备的参数及性能要求

3.3.1 标准样片，除具有电阻率标称值和实际值外，还应有下列参数或数据：导电类型、掺杂元素、直径值、厚度值和使用要求。

3.3.2 对不同级别的标准样片，各项指标的要求见表 2。

表 2 标准样片的各项指标


合格指标 项目	样片级别	国家级标准样片	一级标准样片	二级标准样片
		直径	$(40 \sim 75) \pm 1\% \text{ mm}$	$(40 \sim 75) \pm 1\% \text{ mm}$
厚度		$W \leq 1.0 \text{ mm}$	$W \leq 1.0 \text{ mm}$	$W \leq 1.0 \text{ mm}$
标称值偏差 $0.01\Omega\cdot\text{cm} \sim 5000\Omega\cdot\text{cm}$		$\pm 5\%$	$\pm 10\%$	$\pm 15\%$
中心点电阻率重复性 ( $2\sigma$ )		0.3%	0.4%	0.8%
径向电阻率不均匀度		$\leq 3\%$	$\leq 4\%$	$\leq 8\%$

表 2 (续)

合格指标 项 目	样片级别	国家级标准样片	一级标准样片	二级标准样片
	年稳定度		$\pm 1.0\%$	$\pm 1.5\%$
扩展不确定度 (包含因子 $k=2$ )		1.0%	1.5%	2.5%
备注: 电阻率大于 $500\Omega\cdot\text{cm}$ 和电阻率为 $0.005\Omega\cdot\text{cm}$ 的电阻率标准样片标称值偏差为 $\pm 15\%$ , 中心电阻率重复性为 $0.8\%$ ( $2\sigma$ ), 扩展不确定度为 $2.0\%$ , 二级标准样片, 中心电阻率重复性为 $1.0\%$ ( $2\sigma$ ), 扩展不确定度为 $3.0\%$				

#### 4 通用技术要求

##### 4.1 外观包装及对样片本身的要求

4.1.1 标准样片应具备内外包装, 外包装应具有制造厂名、 标志, 内包装应有样片的标称值、样片型号、出厂编号。

4.1.2 标准样片的表面应该洁净, 对不同级别的标准样片, 表面质量及有关参数应符合表 3 的要求。

表 3 标准样片表面质量及几何尺寸的要求

合格指标 项 目	样片级别	标准样片表面质量	对标准样片厚度 $W$ 与直径 $D$ 的要求
	国家级标准样片		样片表面经金刚砂研磨, 表面没有划痕, 崩边, 缺口, 表面没有沾污
一级标准样片		样片表面经金刚砂研磨, 表面没有明显划痕, 崩边, 缺口, 表面没有沾污	$W \leq 1.0\text{mm}$ , 厚度标称值的偏差在 $\pm 10\mu\text{m}$ 以内, 测量同一平面内 9 点中的任何一点与中心点厚度之差在 $\pm 1.0\%$ 之内, 直径 $D \geq 40\text{mm}$
二级标准样片		样片表面经金刚砂研磨, 允许表面有不妨碍正常使用与测量的微小缺陷与沾污	$W \leq 1.0\text{mm}$ , 厚度标称值的偏差在 $\pm 15\mu\text{m}$ 以内, 测量同一平面内 9 点中的任何一点与中心点厚度之差在 $\pm 1.5\%$ 之内, 直径 $D \geq 25\text{mm}$

标准样片的温度系数随标准样片一起给出，标准样片的温度系数见附录 A。

## 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

标准样片应在有一定环境要求的室内进行检定，不同级别的标准样片具体要求见表 4 的规定。

表 4 标准样片对环境的要求

检定样片的级别	检定前标准样片恒温室放置时间的要求	对周围环境的要求
国家级标准样片	标准样片检定前 应在恒温室内放置 4 小时以上	室温 $23^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ ，样品台 $23^{\circ}\text{C} \pm 0.1^{\circ}\text{C}$ ， $10^4$ 级超净室测量，室内或测量设备电磁屏蔽，电源有滤波装置，无强光直接照射，测量台应避免开较强振动源，相对湿度 $\leq 65\%$
一级标准样片		室温 $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ ，样品台 $23^{\circ}\text{C} \pm 0.1^{\circ}\text{C}$ ， $10^5$ 级超净室测量，室内或测量设备电磁屏蔽，电源有滤波装置，无强光直接照射，测量台应避免开较强振动源，相对湿度 $\leq 65\%$
二级标准样片		室温 $23^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ ，样品台 $23^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ，在具有通风条件的清洁室内进行，应具备电磁屏蔽，电源有滤波装置，无强光直接照射，测量台应避免开较强振动源，相对湿度 $\leq 65\%$

#### 5.1.2 检定装置

标准样片的检定装置分为手动测量装置和自动测量装置，两者中的任何一种都可以作为标准样片的标准检定装置。其中直流恒流源、数字电压表、探针头为标准器。换向开关、四探针台、架、测厚仪、游标卡尺、温度计等为标准辅助设备。

检定时由标准器、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标准样片的  $1/3$ ，包含因子  $k$  取 2。

5.1.2.1 检定标准样片，最少应具备下列标准测量设备中的 (5.1.2.2 或 5.1.2.3) 任何一套。

##### 5.1.2.2 手动标准检定装置

###### 1) 电气设备

a) 直流恒流源：恒流源输出电流  $1\mu\text{A} \sim 300\text{mA}$ 。允许误差： $10\mu\text{A}$  以上， $200\text{mA}$  以下优于  $\pm 0.05\%$ ； $10\mu\text{A}$  以下， $200\text{mA}$  以上优于  $\pm 0.1\%$ 。

b) 数字电压表: 测量范围 0mV ~ 500mV 以上, 电压允许误差优于  $\pm 0.05\%$ 。

c) 无热电势转换开关。

## 2) 测量台

a) 标准样片测量台是用一台直径大于 250mm, 厚度大于 38mm 的铜块或相当质量的铜块, 可用于放置被测样片作为恒温装置。该装置应有一个放温度计的小孔, 并可自由转动  $200^\circ \sim 360^\circ$ , 并有  $\leq 5^\circ$  的刻度分度线。在恒温装置上放  $12\mu\text{m} \sim 25\mu\text{m}$  厚的云母片, 并与铜块贴牢, 使样片与恒温装置之间绝缘。一级以上的标准样片测量台应有控温装置, 台面的平面度应不大于 0.02mm, 台面上应有直径为 38mm, 50mm, 75mm, 100mm, 125mm 带主参考面的同心圆刻度线。

b) 四探针探头架, 它应能在探针尖, 无横向移动的情况下使探针均匀地下降到样品表面, 探头架的位移装置应符合有关部标 SJ/T—10314—92 的要求。

c) 若检定一级以上的标准样片, 测量台应带有三维空间方向的微调装置; 调节范围应在 0mm ~ 20mm, 调节细度应在  $\leq 10\mu\text{m}$ 。

d) 四探针探头: 探针与硅片接触时 (在 400 倍显微镜下观察) 无明显滑移; 探针间距标称值为 1mm 或 1.59mm; 曲率半径  $\leq 50\mu\text{m}$ ; 探针尖锥体夹角  $45^\circ \sim 150^\circ$ ; 相邻探针间距平均值  $\bar{S}_1, \bar{S}_2, \bar{S}_3$  与其总平均值  $\bar{S}$  之差不大于  $\bar{S}$  的 1%; 探针的移游率  $\leq 0.3\%$ ; 四根针直线度  $\leq 150\mu\text{m}$ 。若用于双电测原理测试仪的四探针头, 除四根针的直线度外, 其它指标均可放宽: 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 ~ 1.5 范围内变化; 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%。

### 5.1.2.3 自动标准检定装置

自动标准检定装置测量设备和手动标准检定装置的主要测量设备基本相同, 只是把测量程序编成软件由计算机控制自动完成测量并给出测量结果。

#### 1) 技术指标

a) 电阻率测量范围:  $0.005\Omega \cdot \text{cm} \sim 5000\Omega \cdot \text{cm}$ 。

b) 适合测量标准样片厚度为  $\leq 1.0\text{mm}$ 。

c) 适合测量标准样片直径为  $\leq 250\text{mm}$ 。

d) 测量的扩展不确定度:

$0.01\Omega \cdot \text{cm} \sim 500\Omega \cdot \text{cm}$ : 0.5% (包含因子  $k=2$ )。

$0.005\Omega \cdot \text{cm} \sim 0.01\Omega \cdot \text{cm}$ : 1.0% (包含因子  $k=2$ )。

$500\Omega \cdot \text{cm} \sim 1000\Omega \cdot \text{cm}$ : 1.0% (包含因子  $k=2$ )。

#### 2) 测量功能

a) 中心点测量, 测量 10 次, 每次转动计算  $18^\circ \sim 20^\circ$ , 计算平均电阻率和标准偏差。

b) 同心圆及边缘点测量, 每点测 5 次, 计算各点平均电阻率及样品不均匀性。

c) 径向测量, 从边缘 6mm (对于直径为 76mm 及以下的样片) 或 10mm (对于直径为 76mm 以上的样片) 起, 沿一条直径每隔 2mm ~ 3mm 测一点, 每点测 5 次, 并计算其平均值。

3) 辅助设备 (该设备适用于配合手动和自动两套测量装置)



- a) 测厚仪测量范围不小于 0mm ~ 2mm, 准确度优于 0.1%。
- b) 游标卡尺: 测量范围 0mm ~ 300mm, 分辨率  $\leq 0.01$ mm。
- c) 温度计: 温度范围不小于 0℃ ~ 40℃, 分辨率  $\leq 0.1$ ℃。
- 4) 测量标准样片边缘位置的示意图见图 1。

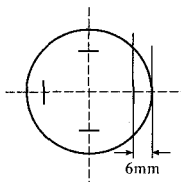


图 1 测量标准样片边缘位置的示意图  
(适用于直径为 76mm 及以下的标准样片)

#### 5.1.2.4 导电类型的鉴别仪

### 5.2 检定项目及检定方法

#### 5.2.1 检定项目

标准样片的检定项目见表 5。

表 5 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	+	+	+
导电类型鉴定	+	-	-
直径测量	+	-	-
厚度测量	+	+	-
电阻率基本误差	+	+	+

注：“+”表示应检项目，“-”表示可不检项目。

#### 5.2.2 外观检查及方法

5.2.2.1 对标准样片正式检定前, 先进行外观检查, 发现有如下缺陷的标准样片则要对样片采取有效措施加以处理。

5.2.2.2 标准样片表面未清洗时应对症片进行清洗, 其清洗方法见附录 B。

5.2.2.3 标准样片表面有明显划痕时, 可对样片进行研磨, 经研磨后的样片, 仍按附录 B 方法进行清洗, 并重新测量厚度。

5.2.2.4 对标准样片表面的其它要求见表 3。

#### 5.2.3 标准样片导电类型的鉴定

对于所检定的标准样片，其导电类型不太清楚或者对所给定的导电类型有疑问时，应用导电类型鉴别仪给予鉴别。

#### 5.2.4 标准样片直径的测量

用游标卡尺对直径每隔  $18^\circ \sim 20^\circ$  的不同位置进行 10 次测量，读数准确到 0.1mm。

#### 5.2.5 标准样片厚度的测量

用测厚仪在样片上测定 9 个点的厚度值（见图 2），以正反面中心点较小的厚度值作为样片的实际厚度值。如果用接触式测量仪测量厚度，其探头力不能大于 0.5N。

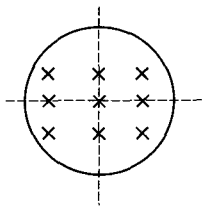


图 2 标准样片测量厚度位置的示意图

#### 5.2.6 标准样片电阻率基本误差的检定

5.2.6.1 标准样片的检定是用一个直排四探针的测量标准装置进行测量，并通过计算获得样片的电阻率，电流流过其中的两个探针，另外两个探针测出样片上的电压降，电阻率根据测量电流和电压降以及样片有关的几何尺寸的修正因子计算得到，电阻率标准样片的检定原理如图 3 所示。

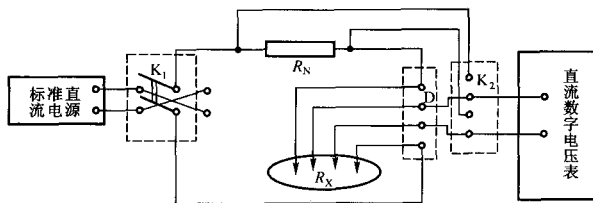


图 3 用标准四探针测试仪检定电阻率标准样片的原理图

$K_1$ —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

5.2.6.2 对于不同标称值的标准样片，测量电流的选择如表 6 所示，其原则是在使被检样片不发热且少于小注入弱电势的条件下，尽量满足电压表有较多的读数位数，但不得大于 30mV。

#### 5.2.6.3 标准样片的测量按下述步骤进行

1) 将被检样片放在样品测量台上，通过微动调节装置使探针对准样片中心位置（精确到 0.25mm 以内）。

表 6 测量标准样片时对通过电流的要求

标准样片标称值/ $(\Omega \cdot \text{cm})$	允许通过的电流值/mA	在数字电压表上的读数位数
0.005	100 ~ 200	国家级标准样片和一级标准样片不得少于 4 位读数, 读数的最小分辨率应优于 0.05%, 二级标准样片不得少于 3 位读数, 读数的最小分辨率应优于 0.1%
0.01	80 ~ 120	
0.02	50 ~ 100	
0.05	30 ~ 80	
0.1	10 ~ 50	
0.2	5 ~ 12	
0.5	3 ~ 8	
1.0	1 ~ 5	
2	0.5 ~ 3	
5	0.4 ~ 1.5	
10	0.2 ~ 1.0	
25	1.0 ~ 0.8	
75	0.03 ~ 0.3	
180	0.015 ~ 0.15	
250	0.01 ~ 0.15	
500	0.005 ~ 0.10	
1000	0.001 ~ 0.01	
2000	0.001 ~ 0.01	
5000	0.001 ~ 0.005	

2) 放下探头, 使其探针和样片形成较好的接触, 接通电流, 并进行正反向电流下的测量, 并记下此时的电压读数 (注意电压表的采样时间, 以能读取较稳定的电压数值为准。正反向电压读数的差值不超过 10%, 否则数据重测或在最后计算结果时予以剔除)。

3) 抬起探头, 将放置样品台转动  $18^\circ \sim 20^\circ$ , 再作同样的测量, 同一个标称值的样片要反复测量 10 次, 并记下正反向电流测量时得到的 20 个电压读数, 标准样片检定的记录格式见附录 C。自动测量装置则可记下 10 次电阻率值及其有关数据。

4) 标准样片除测量中心电阻率值外, 在通过样片中心相互垂直的两条直线上, 于距边缘 6mm 处, 直线四探针与直径垂直的四个位置, 分别在电流正反向的情况下各重复测量 5 次, 并记下相对应电压值或电阻率值, 对于直径大于 76mm 的样片可以在距边缘 10mm 处进行测量。

### 5.3 检定结果的处理

5.3.1 标准样片经检定后, 可按表 2 的指标判断样片是否合格。

5.3.2 各级标准样片经检定后是否合格, 其考核以修约后的数字为准。各级标准样片给出的证书或通知书的电阻率或方块电阻实际值的数据全部给到四位有效数字。

5.3.3 对于检定后的各项指标都合格的标准样片, 出具检定证书; 有一项以上指标不合格的标准样片, 出具检定结果通知书, 并注明不合格项目, 检定证书或检定结果通知书的内页格式见附录 D。标准样片检定结果的计算与数据处理见附录 E、F、G。

5.3.4 对于某个级别的标准样片，经检定后，某项指标已不满足原来级别的指标时可降到下一级别使用，但必须满足下一级别标准样片指标的要求。

#### 5.4 检定周期

标准样片的检定周期一般不超过 1 年。后续检定时需要带前一次检定证书。

## 附录 A

硅单晶电阻率标准样片  
温度修正系数表

$F_T$ 温度/°C	标称电阻率 / $(\Omega \cdot \text{cm})$	0.005	0.01	0.1	1	5 ~ 180	250 ~ 1000
10		0.9768	0.9969	0.9550	0.9097	0.9010	0.8921
12		0.9803	0.9970	0.9617	0.9232	0.9157	0.9087
14		0.9838	0.9972	0.9680	0.9370	0.9302	0.9253
16		0.9873	0.9975	0.9747	0.9502	0.9450	0.9419
18		0.9908	0.9984	0.9815	0.9635	0.9600	0.9585
20		0.9943	0.9986	0.9890	0.9785	0.9760	0.9751
22		0.9982	0.9999	0.9962	0.9927	0.9920	0.9919
23		1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
24		1.0016	1.0003	1.0037	1.0075	1.0080	1.0083
26		1.0045	1.0009	1.0107	1.0222	1.0240	1.0249
28		1.0086	1.0016	1.0187	1.0365	1.0400	1.0415
30		1.0121	1.0028	1.0252	1.0524	1.0570	1.0581

注：公式  $P_T = F_T P_{23}$

$P_T$ ——在温度  $T$  时标准样片电阻率值；

$P_{23}$ ——所给标准样片中心电阻率值。

备注：该数据通过实验得出。

## 附录 B

## 硅单晶电阻率标准样片的清洗方法

- 一、被清洗的样片按顺序放在一个固定的架子上，在一个容器里放上适量的超纯水（10M $\Omega$ ），把放好的样片的架子放到容器里，把容器放到超声波清洗机里，进行超声波清洗 30 分钟。
- 二、倒掉容器里的超纯水，换上同样数量的化学纯 II 级甲苯，用上述方法再运行 15 分钟的清洗。
- 三、倒掉容器里的甲苯，换上同样数量的丙酮，用上述方法再运行 15 分钟的清洗。
- 四、再分别以甲醇和乙醇（化学纯 II 级）为清洗剂，按上述步骤先乙醇、后甲醇，各清洗 15 分钟，再把片子拿出来烘干，清洗过程中，注意用专用镊子拿片子，不可用手直接摸样片。
- 五、除上述方法外，也可以用其它方法达到清洗样片的目的。

## 附录 C

## 硅单晶电阻率标准样片检定原始记录

共 页 第 页

标准样片检定原始记录									
电压读数 /mV 测量次数	正向 (中心)	反向 (中心)	平均值 (中心)	边 1	正向	反向	边 2	正向	反向
				1			1		
1				2			2		
2				3			3		
3				4			4		
4				5			5		
5				平均值			平均值		
6				边 3			边 4		
7				1			1		
8				2			2		
9				3			3		
10				4			4		
平均值				5			5		
				平均值			平均值		
测试结果					测试条件				
标称电阻率 /( $\Omega \cdot \text{cm}$ )		厚度 /mm		重复性 $2\sigma$ (%)		温度	℃	相对湿度	%
单位号		直径 /mm		不均匀 度%		检定 人员		检定 日期	年 月 日
		V/I		中心 电阻率 /( $\Omega \cdot \text{cm}$ )					

## 附录 D

## 硅单晶电阻率标准样片

## 检定证书及检定结果通知书内页格式

## D.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

单片号				
标称电阻率/( $\Omega \cdot \text{cm}$ )				
厚度/ $\mu\text{m}$				
直径/mm				
电压电流比				
测量电流/mA				
重复性 $2\sigma$ (%)				
经络电阻率不均匀度 (距边缘 6mm 以内) (%)				
导电类型				
晶向				
中心电阻率 ( $\Omega \cdot \text{cm}$ ) 修正到 23℃				
扩展不确定度 ( $k=2$ ) (%)				

## D.2 检定结果通知书

要求同上，并指出不合格项目。



## 附录 E

## 硅单晶电阻率标准样片检定结果的计算与处理

E1 标准样片直径测量值的计算与要求

E1.1 取 10 次测量结果的平均值, 作为标准样片直径的实际值

$$D_{\neq} = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} D_i$$

式中:  $D_i$ ——为每次直径的测量值。

E1.2 要求标准样片直径的公差为直径标称值的  $\pm 1\%$ 。

E2 对标准样片厚度值的 9 点测量中, 任何一点的厚度值与中心点厚度值之差应小于或等于  $\pm 1\%$ 。

E3 对标准样片电阻率值的计算与要求

E3.1 先将正反向测量的电压取平均值, 得出 10 次测量的电压值, 按下式求出测量电压的平均值

$$\bar{V} = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} V_i$$

式中:  $V_i$ ——单次测量的电压值。

E3.2 计算出标准样片的  $V/I$  比值, 即电阻  $R$  值

E3.3 标准样片中心点电阻率的实际值按下式计算

$$P_{\alpha(23)} = \frac{\bar{V}}{I} W \times F(W/\bar{S}) \times F(\bar{S}/D) \times F_{SP} \times F_T$$

式中:  $P_{\alpha(23)}$ ——标准样片中心点 23℃ 时电阻率的实际值;

$W$ ——标准样片厚度实际值, cm 为单位;

$F(W/\bar{S})$ ——厚度修正系数;

$F(\bar{S}/D)$ ——直径修正系数;

$F_{SP}$ ——探针间距修正系数。计算公式为:

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

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

$F_T$ ——温度修正系数 (见附录 A)。

$F(W/\bar{S})$  和  $F(\bar{S}/D)$  的值, 可查附录 F 的修正系数表得到,  $F_{SP}$  的值可通过实际测量计算得到。具体方法见 JJG 508—2004 《四探针电阻率测试仪检定规程》。 $F_T$  的值见附录 A。

E3.4 距边缘 6mm 处电阻率标准样片电阻率实际值按下式计算

$$P_{eg} = \frac{\bar{V}}{I} W \times F(W/\bar{S}) \frac{\pi}{\ln 2} \times F_{SP} \times F_T \times F_{eg}$$

式中:  $F_{eg}$ ——距边缘 6mm 得电阻率的修正系数;

$\bar{V}$ ——5点电压的平均值。

各种不同直径的标准样片距边缘6mm处修正系数见附录G。

### E3.5 计算标准样片的径向电阻率不均匀度 $E$

$$E = \frac{\rho_{\max} - \rho_{\min}}{(\rho_{\max} + \rho_{\min})/2} \times 100\%$$

式中： $\rho_{\max}$ ——5个测量点中电阻率的最大值；

$\rho_{\min}$ ——5个测量点中电阻率的最小值。

### E3.6 计算标准样片中心点电阻率的重复性，先按下式计算测量值的标准偏差

$$\sigma' = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\rho_i - \bar{\rho})^2}{n-1}}$$

再计算测量算术平均值的标准偏差  $\sigma_r$

$$\sigma_r = \frac{\sigma'}{\sqrt{n}}$$

电阻率标准样片中心点电阻率的重复性  $\sigma$  按下式计算

$$\sigma = \frac{\sigma_r}{\rho} = \frac{1}{\sqrt{n} \rho} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\rho_i - \bar{\rho})^2}{n-1}}$$

式中： $\bar{\rho}$ ——样片中心点电阻率的平均值；

$n$ ——测量次数；

$\rho_i$ ——任何一次样片中心点电阻率的测量值。

为了方便起见，也可以由电压值  $V$  计算。

$$\sigma = \frac{\sigma_r}{\bar{V}} = \frac{1}{\bar{V} \sqrt{n}} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (V_i - \bar{V})^2}{n-1}}$$

## 附录 F

计算硅单晶电阻率标准样片的各种修正系数表

$W/\bar{S}$	$F(W/\bar{S})$	$\bar{S}/D$	$F(\bar{S}/D)$	$W/\bar{S}$	$F(W/\bar{S})$	$\bar{S}/D$	$F(\bar{S}/D)$
0.500	0.9970	0.0100	4.528	0.655	0.9865	0.0720	4.338
0.505	0.9967	0.0120	4.527	0.660	0.9860	0.0740	4.327
0.510	0.9965	0.0140	4.525	0.665	0.9855	0.0760	4.317
0.515	0.9962	0.0160	4.522	0.670	0.9850	0.0780	4.306
0.520	0.9960	0.0180	4.520	0.675	0.9845	0.0800	4.294
0.525	0.9958	0.0200	4.517	0.680	0.9840	0.0820	4.283
0.530	0.9955	0.0220	4.513	0.685	0.9835	0.0840	4.271
0.535	0.9952	0.0240	4.510	0.690	0.9830	0.0860	4.260
0.540	0.9950	0.0260	4.506	0.695	0.9825	0.0880	4.248
0.545	0.9948	0.0280	4.502	0.700	0.9820	0.0900	4.235
0.550	0.9945	0.0300	4.497	0.705	0.9812	0.0920	4.223
0.555	0.9942	0.0320	4.493	0.710	0.9803	0.0940	4.210
0.560	0.9940	0.0340	4.488	0.720	0.9790	0.0960	4.197
0.565	0.9938	0.0360	4.482	0.730	0.9775	0.0980	4.184
0.570	0.9935	0.0380	4.476	0.740	0.9756	0.1000	4.171
0.575	0.9932	0.0400	4.470	0.750	0.9740		
0.580	0.9930	0.0420	4.461	0.760	0.9724		
0.585	0.9928	0.0440	4.458	0.770	0.9708		
0.590	0.9925	0.0460	4.451	0.780	0.9692		
0.595	0.9922	0.0480	4.444	0.790	0.9676		
0.600	0.9920	0.0500	4.436	0.800	0.9660		
0.605	0.9915	0.0520	4.429	0.820	0.9616		
0.610	0.9910	0.0540	4.421	0.840	0.9572		
0.615	0.9905	0.0560	4.413	0.860	0.9528		
0.620	0.9900	0.0580	4.404	0.880	0.9484		
0.625	0.9895	0.0600	4.395	0.900	0.9440		
0.630	0.9890	0.0620	4.386	0.920	0.9394		
0.635	0.9885	0.0640	4.377	0.940	0.9348		
0.640	0.9880	0.0660	4.368	0.960	0.9302		
0.645	0.9875	0.0680	4.358	0.980	0.9260		
0.650	0.9870	0.0700	4.348	1.000	0.9210		

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 G

不同直径的硅单晶电阻率标准样片  
距边缘 6mm 处的修正系数表 ( $F_{eg}$ )

mm					
直 径	0.0	1.0	2.0	3.0	4.0
20	0.99140	0.99063	0.98995	0.98931	0.98881
30	0.98667	0.98644	0.98623	0.98604	0.98587
40	0.98516	0.98507	0.98500	0.98493	0.98489
50	0.98460	0.98457	0.98454	0.98451	0.98449
60	0.98438	0.98438	0.98437	0.98436	0.98435
70	0.98432	0.98432	0.98431	0.98431	0.98431
直 径	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0
20	0.98834	0.98792	0.98755	0.98923	0.98693
30	0.98572	0.98558	0.98546	0.98535	0.98525
40	0.98481	0.98476	0.98471	0.98467	0.98463
50	0.98447	0.98445	0.98443	0.98441	0.98440
60	0.98434	0.98434	0.98433	0.98433	0.98432
70	0.98431	0.98431	0.98431	0.98431	0.98431

备注：以上数据来自测量标准样片边缘位置时，为了补偿电磁场的变化，通过物理学理论计算得到。