



4 point probe 四探针电阻测量仪 4D 280SI

1.0 仪器功能：

4 探针电阻测量仪主要用于测量薄膜的方阻。



2.0 样品材料要求

样品托盘可直接放置 8 寸圆片，小片（至少 1*1cm）需使用胶带粘到 6 寸圆盘上。
厚度 < 1 mm。

3.0 设备培训和参考资料

3.1 本设备需经过使用资格考核。

3.2 考核方法

3.2.1 向平台工程师领取考核表，观摩一般用户或超级用户使用 3 次，请一般用户签名，收集 3 个签名后，即可申请上机考核。



3.2.2 联系超级用户预约上机考核时间以及笔试。（注明：本设备为平台 1 级设备，所有已考核通过用户，使用时长超过 50h，都是超级用户。）

3.2.3 通过上机考核后，请超级用户在考核表上签名。

3.2.4 递回考核表，待使用权限开通。

3.3 培训考核周期：一周。

4.0 常用术语

4.1 LIMS: laboratory information management system。

4.2 Flat/Notch: 硅片平边或缺口。

4.3 Probe Head: 探针头

5.0 安全事项

6.0 技术规格

方块电阻测量范围：0.001 Ω /sq ~ 800 K Ω /sq

精度（精密电阻）：< 0.1%；

重复性（标准电阻）：< 0.2%；

7.0 操作步骤

7.1 LIMS 登入设备，起计算机时。

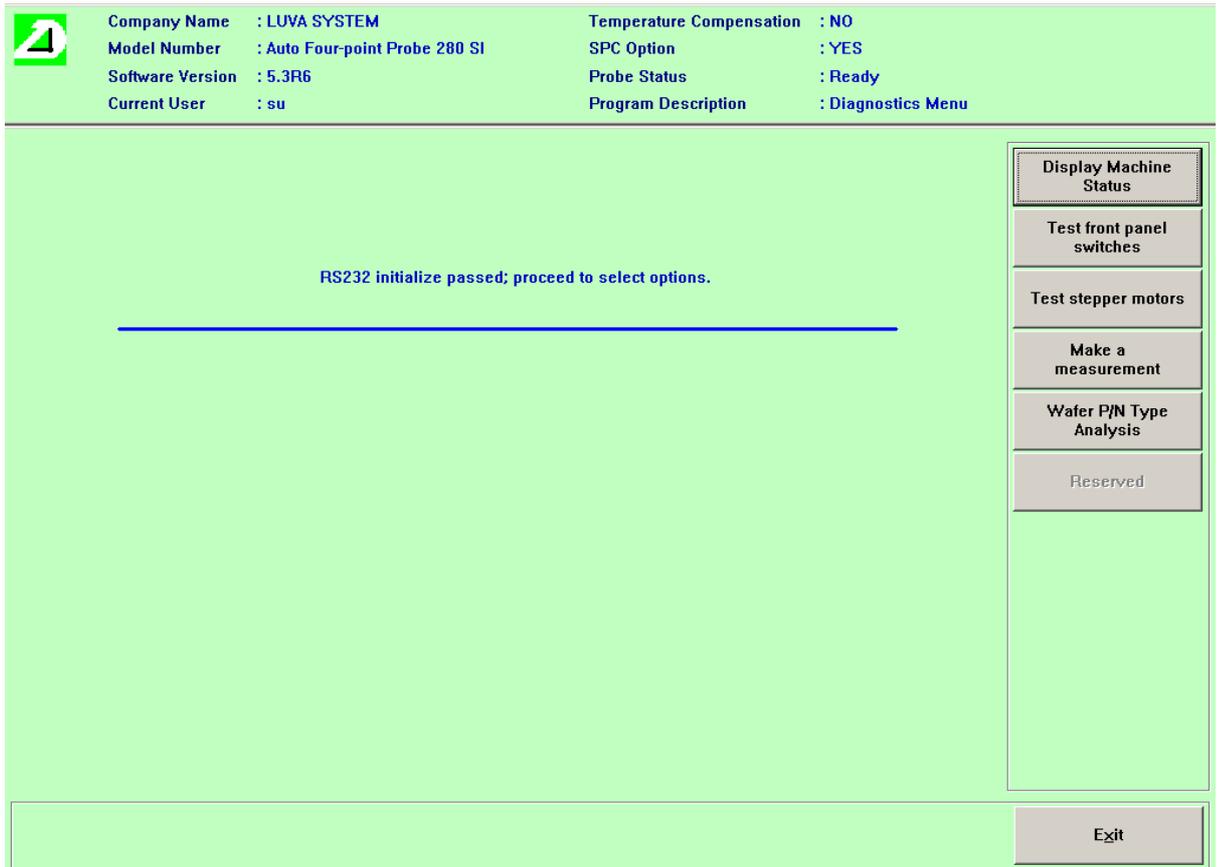
7.2 插上真空泵电源。

7.3 打开设备软件 ，登录账号，用户名 user，密码 user。（若手动测试，请参考附录设备硬件中的手动操作模式）

7.4 检查设备前面板 EXT CONTR 灯是否点亮，点击主界面 Diagnostics



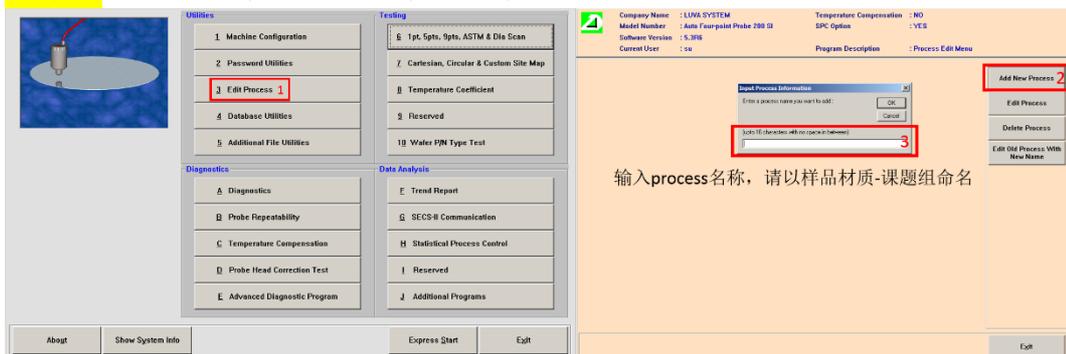
。检查电脑和设备是否通讯正常。



显示 Passed, 则 OK。显示 failed, 则需再次检查, 通讯线是否脱落, EXT CONTR 灯是否亮起, 样品台是否处于 HOME 位置, 不是按 RESET 键重置到 HOME 位置。

7.5 编辑 Process。(根据实际需求, 此步可跳过)

点击 Edit Process/Add a New Process/输入 Process 的名称, 请以样品材质-课题组命名/选择测试类型 (测试类型的介绍详见附件)。





Company Name : LUVA SYSTEM Temperature Compensation : NO
Model Number : Auto Four-point Probe 280 SI SPC Option : YES
Software Version : 5.3R6
Current User : su Program Description : Select Measurement Type

选择测试类型

Select Test Type

- 1 Point Test
- 5 Points Test
- Diameter Scan Test
- Cartesian Map Test **4**
- 9 Points Test
- ASTM/Semi X Test
- Circular Map Test
- Custom Sites Test

Exit

然后弹出 6 个具体的测试界面。依次设置每个界面的主要参数：P/N 类型，膜厚度，wafer 尺寸，测量间距等数据，输入完成后可预览测试（Preview）的点的分布。确认无误后点击 OK 保存。

Company Name : LUVA SYSTEM Temperature Compensation : NO
Model Number : Auto Four-point Probe 280 SI SPC Option : YES
Software Version : 5.3R6
Current User : su Program Description : Set Process Parameters

Enter the process definition in the boxes provided from Page 1 to Page 6 :
Edit Process : 12 Measurement Type : Circular pattern test

Page 1 | Page 2 | Page 3 | Page 4 | Page 5 | Page 6

Layer Type : Layer Type : Type

选择P/N型

Layer Thickness / Resistivity : Micron

膜层厚度，用来计算电阻率

Ind. Site Thickness Edit :

是否每个点的膜层厚度重新输入

Lower Specification Limit : Ohm/sq

数据SPC分析下限

Upper Specification limit : Ohm/sq

数据SPC分析上限

Lower Data Plotting Limit : Ohm/sq

数据画图下限

Upper Data Plotting Limit : Ohm/sq

数据画图上限

Preview

Print

Set Skip List

Set Leak Sites

OK Cancel



	Company Name : LUYA SYSTEM	Temperature Compensation : NO
	Model Number : Auto Four-point Probe 280 SI	SPC Option : YES
	Software Version : 5.3R6	
	Current User : su	Program Description : Set Process Parameters

Enter the process definition in the boxes provided from Page 1 to Page 6 :
Edit Process : 12 Measurement Type : Circular pattern test

Page 1	Page 2	Page 3	Page 4	Page 5	Page 6
--------	--------	--------	--------	--------	--------

OPTIONAL	Operator Name :	
OPTIONAL	Fab Name :	
OPTIONAL	Lot Identification :	
OPTIONAL	Equipment Information :	
OPTIONAL	Device Number :	
FIXED	Probe Head Serial No. :	
FIXED	Probe Head Type :	
FIXED	填写Probe探头类型: A/B	Probe Head Selection : Not Available
FIXED	填写探头校准因子, 或者从探头校准程序自动写入	Probe Head Correction Factor : 1
FIXED	Probe Pin Spacing :	1 mm

Preview
Print
Set Skip List
Set Leak Sites

OK Cancel

	Company Name : LUYA SYSTEM	Temperature Compensation : NO
	Model Number : Auto Four-point Probe 280 SI	SPC Option : YES
	Software Version : 5.3R6	
	Current User : su	Program Description : Set Process Parameters

Enter the process definition in the boxes provided from Page 1 to Page 6 :
Edit Process : 12 Measurement Type : Circular pattern test

Page 1	Page 2	Page 3	Page 4	Page 5	Page 6
--------	--------	--------	--------	--------	--------

FIXED	Wafer Size :	(for rectangular wafer, type W x H) 150 mm
	硅片尺寸100 125 150 200, 特殊尺寸请按照WxH输入	
OMIT	Flat / Notch Wafer :	NOTCH
	硅片形状	
FIXED	Max Test Diameter :	(for rectangular wafer, type W x H) 140 mm
	最大测量直径, 需比Wafer size至少小6mm	
FIXED	Mask Circle Diameter :	0 mm
FIXED	Number of Test Points :	(for rectangular wafer, type W x H) 65 points
FIXED	Gain Control :	AUTO
FIXED	Geometric Correction :	OFF (Enter Correction Factor above)

Preview
Print
Set Skip List
Set Leak Sites

OK Cancel



	Company Name : LUYA SYSTEM	Temperature Compensation : NO
	Model Number : Auto Four-point Probe 280 SI	SPC Option : YES
	Software Version : 5.3R6	
	Current User : su	Program Description : Set Process Parameters

Enter the process definition in the boxes provided from Page 1 to Page 6 :
Edit Process : 12 Measurement Type : Circular pattern test

Page 1	Page 2	Page 3	Page 4	Page 5	Page 6
OMIT	Edge Compensation :		OFF		
FIXED	Temperature Compensation :		OFF		
FIXED	Data Pre-sort Limit :		<small>(0-15, 0=disable)</small> 0	%	
					数据初筛选, 偏离中心值多少的去掉
FIXED	Data Sorting Limit :		<small>(0-6, 0=disable)</small> 3	Sigma	
					数据筛选正态分布区间
FIXED	Save Data on Disk :		YES		
					自动保存测试数据
FIXED	Autodraw Contour Map :		YES		
					每次测试完, 是否自动画图

Preview
Print
Set Skip List
Set Leak Sites

OK Cancel

	Company Name : LUYA SYSTEM	Temperature Compensation : NO
	Model Number : Auto Four-point Probe 280 SI	SPC Option : YES
	Software Version : 5.3R6	
	Current User : su	Program Description : Set Process Parameters

Enter the process definition in the boxes provided from Page 1 to Page 6 :
Edit Process : 12 Measurement Type : Circular pattern test

Page 1	Page 2	Page 3	Page 4	Page 5	Page 6
FIXED	Contour Map Auto Print :		No		
					是否打印, 未配打印机, 选No
OMIT	First Point Auto Range :		AUTO		
FIXED	Contour Interval :		<small>(AUTO or a number of %)</small> 1	%	
					等高线间隔, 画图软件也可以再次修改
FIXED	Carrier Density Calculation :		ON		
					载流子浓度计算, 原厂未给出公式, 不推荐使用
FIXED	Ohm-cm Calculation :		ON		
					电阻率计算, 测出的方阻乘以输入的厚度
OMIT	Statistical Process Control :		OFF		
					SPC控制, 选择ON后可以使用SPC功能
FIXED	Polynomial Correction :		OFF		

Preview
Print
Set Skip List
Set Leak Sites

OK Cancel



Company Name : LUYA SYSTEM Temperature Compensation : NO
 Model Number : Auto Four-point Probe 280 SI SPC Option : YES
 Software Version : 5.3R6
 Current User : su Program Description : Set Process Parameters

Enter the process definition in the boxes provided from Page 1 to Page 6 :
 Edit Process : 12 Measurement Type : Circular pattern test

Page 1 Page 2 Page 3 Page 4 Page 5 Page 6

FIXED Correction Constant : 0
 校准常数，填0，在测出的方阻加上输入的常数值

FIXED Auto SECS-II Data Transfer (serial) : OFF

OMIT Notch Reference Pattern :

FIXED Set Max Current Range : (-1:high to 4:low)

OMIT Measure Leakage Current : NO

FIXED Auto Data File Save : NO
 自动导出文件存储，选No

Preview
 Print
 Set Skip List
 Set Leak Sites

OK Cancel

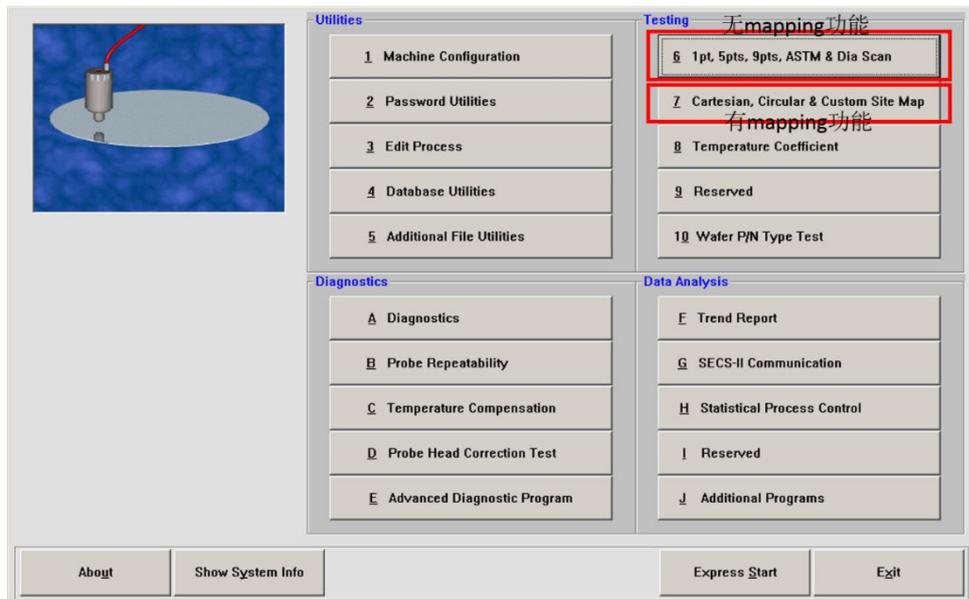
7.6 放样。

7.6.1 插入对应尺寸位置的 PIN 针，4 寸以上的位置，需手动将 PIN 针空位向左旋转 90 角度。

7.6.2 样品厚度确认，先手动进样，检查 head 是否与样品接触。若接触，需将 head 稍微向上固定。并重新校准。测试完毕后，需再重新固定在最低位置。

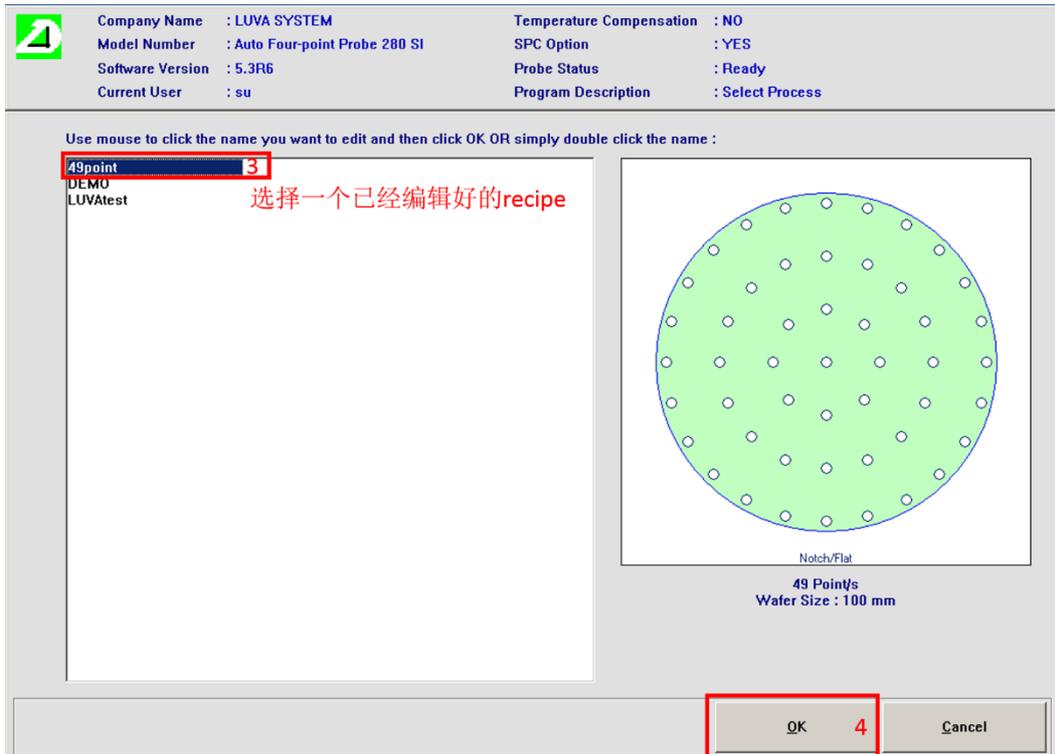
7.7 选择 Process。

7.7.1 在 Testing 目录下，1 点和 5 点测试点击第一个按钮，circle 或者其他测试点击第二个按钮。

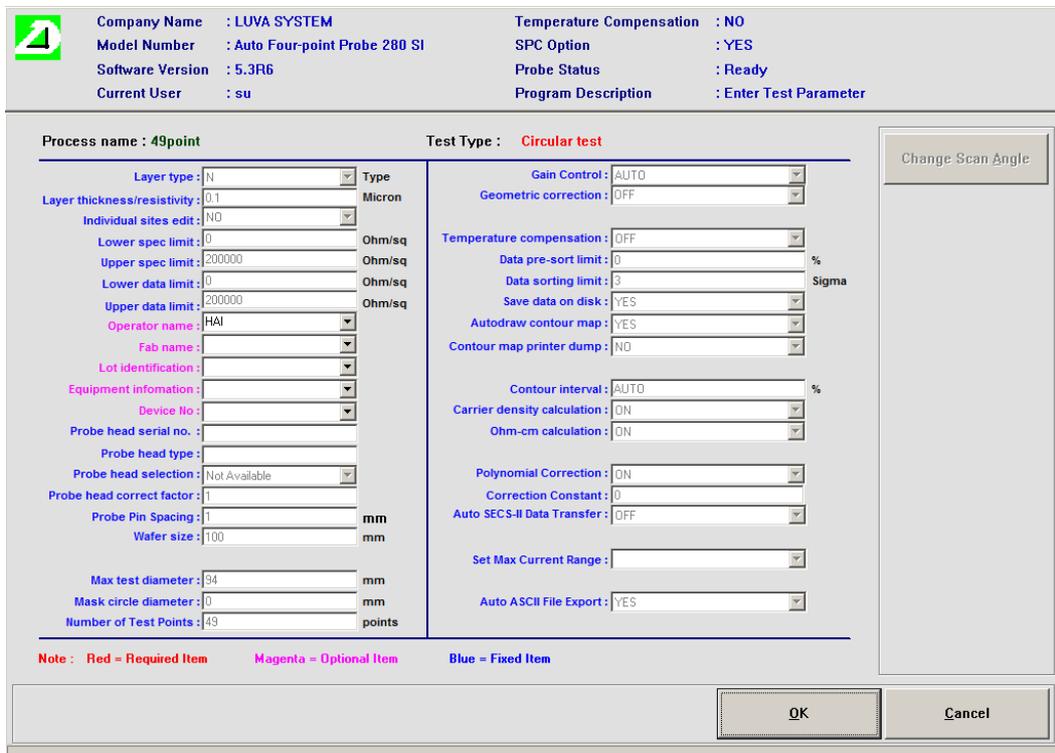




- 7.7.2 弹出的测试界面点击 Start Measurement。
- 7.7.3 选择一个已经编辑好的 recipe， 点击 ok。



- 7.7.4 弹出具体的测试参数， 确认后点击 ok。



- 7.7.5 弹出的对话框输入样品名（不要超过 16 个字符，不能有空格）， 点击 ok。



	Company Name : LUVA SYSTEM	Temperature Compensation : NO
	Model Number : Auto Four-point Probe 280 SI	SPC Option : YES
	Software Version : 5.3R6	Probe Status : Ready
	Current User : su	Program Description : Enter Wafer ID

Please enter Wafer identification below : [Press F2 for name same as previous]

Previous Wafer ID :

(Up to 16 characters no space)

Enter Wafer ID :

7.7.6 等待测试完成，如 process 中勾选自动 mapping，则会自动弹出，否则需要点击右侧 Contour Map 按钮。

	Company Name : LUVA SYSTEM	Temperature Compensation : NO
	Model Number : Auto Four-point Probe 280 SI	SPC Option : YES
	Software Version : 5.3R6	Probe Status : Ready
	Current User : su	Program Description : Test Pattern Confirm

Flat

Process : 49point Wafer Size : 100 mm
 Number of test points : 49
 Wafer ID : zc-1 Test No : 4

Is this test pattern OK?

Test Result Unit in :

No	Result	Status

Mean :
Std. Deviation :

Mean Within Spec Message

7.8 取样品和保存数据。



测试结束后，点击右侧 Save Data 保存为 txt 文件（不包含坐标点信息），Export Data 保存为 excel 文件（包含坐标点信息）。

- 7.9 LIMS 登出设备，结束收费。记录本次实验测试点数，用于判定探头使用寿命的状况以及是否需要清洁判定，正常探头使用次数为 250000，或者 2000 次 mapping。

8.0 问题排除

8.1 问题：通讯异常

可能原因：连接故障，连接线松掉，COM 口被篡改

解决方法：请查看连接线是否正常，Machine Configuration 界面里 COM port 是否与电脑硬件的 COM 口编号一致。

8.2 问题：无法测出结果

可能原因：探头类型不合适，薄膜太薄方块电阻太小或方块电阻过大超出量程，薄膜太硬导致无法接触进 sample 表面，

解决办法：更换探头

8.3 问题：测试报错，如下图：



可能原因：几何校正开，导致边缘测不出来报错；High gain, low gain 和 auto 的问题。

解决办法：关闭几何校正，软件使用自动反而报错，尝试用 high gain 或者 low gain 来测试。

9.0 附录



9.1 方块电阻和体电阻以及电阻率的关系

(<https://wenku.baidu.com/view/b2b8c88002d276a200292e89.html>)

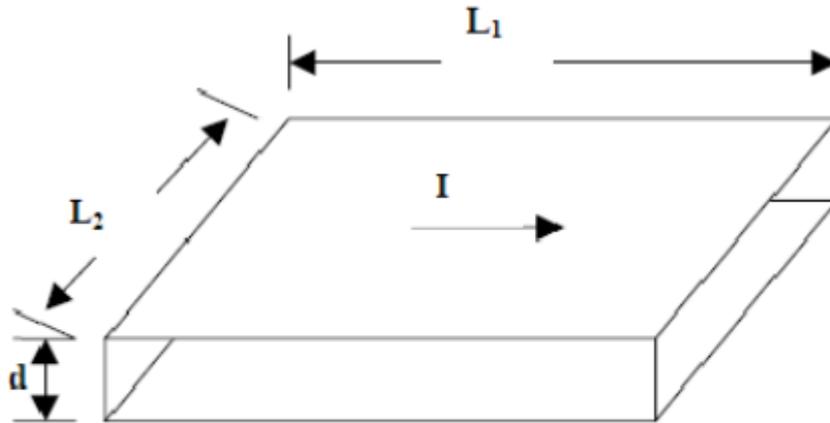


图2.3 方块电阻示意图

Fig. 2.3 Diagram of block resistance

图示为电流平行流过膜层的情形，其中 d 为膜厚， I 为电流， L_1 为在电 流方向的膜层长度， L_2 为在垂直于电流方上的膜层长度。

则该层的电阻为：

$$R_s = \frac{\rho L_1}{d L_2}$$

式中 ρ 为导电膜的电阻率，对于给定的膜层， ρ 和 d 可以看成是定值。当 $L_1=L_2$ 时，即为正方形的膜层，其电阻值均为定值 ρ/d 。这就是方块电阻的定义。

$$R_{\square} = \frac{\rho}{d}$$

式中的 R_{\square} 单位为欧姆/□ (Ω/\square)。由此可以看出方阻的特点：对于给定的材料，其阻值不随采用的正方形的大小变化，仅与薄膜材料的厚度有关。

9.2 四探针测量方块电阻的原理以及几何修正

(<https://wenku.baidu.com/view/69b06187227916888586d702.html>)

四探针测试法如图 2.4 所示，在半径无穷大的均匀试样上有四根等间距为 S 的探针排列成一直线。由恒流源向外面两根探针 1、4 通入小电流 I ，测量中间两根探针 2、3 间的电位差 U ，则由 U 、 I 、 S 的值求得样品的电阻率 ρ 。

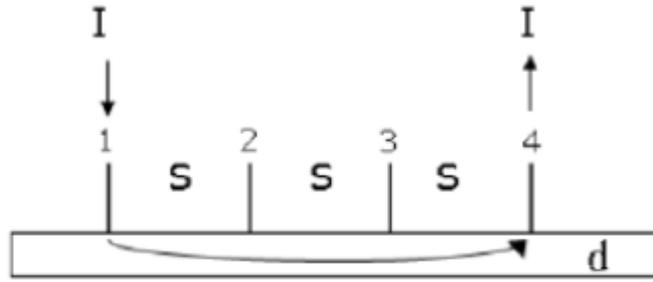


图2.4 四探针测试法示意图

Fig. 2.4 Schematic diagram of four-probe method

当电流 I 由探针 1 流入样品时，若将探针与接触点看成点电源，则等势面是以点电源为中心的圆柱面，在距离探针 r 处的电流密度为：

$$J = \frac{I}{A} = \frac{I}{2\pi r \cdot d}$$

由微分欧姆定律 $J=E/\rho$ 可得出距探针 r 处的电场强度为

$$E = J \cdot \rho = \frac{\rho}{d} \cdot \frac{I}{2\pi r}$$

用直线四探针法测量电阻率时，电流 I 从探针 1 流入，探针 4 流出，则探针 2 和 3 的电位差为：

$$U_{23} = U_2 - U_3 = \int_s^{2s} 2E dr = \frac{\rho}{d} \cdot \frac{I}{\pi} \int_s^{2s} \frac{dr}{r} = \frac{\rho}{d} \cdot \frac{I}{\pi} \cdot \ln 2$$

根据方阻的定义可以得到：

$$R_{\square} = \frac{\rho}{d} = \frac{\pi}{\ln 2} \cdot \frac{U_{23}}{I}$$

上式为四探针法测无穷大薄层的方块电阻的公式，为准确测量要求样品厚度 d 远比探针间距 s 小，样品尺寸远远大于探针间距。且各边界与探针的距离大于探针的间距。实际上当样品厚度及任意探针与样品最近边界的距离至少大于四倍探针间距时即可认为满足上述条件。不满足上述条件时，采用如下修正公式：

$$R_{\square} = C \cdot \frac{U_{23}}{I}$$

C 为修正因子，与薄层的几何尺寸有关。

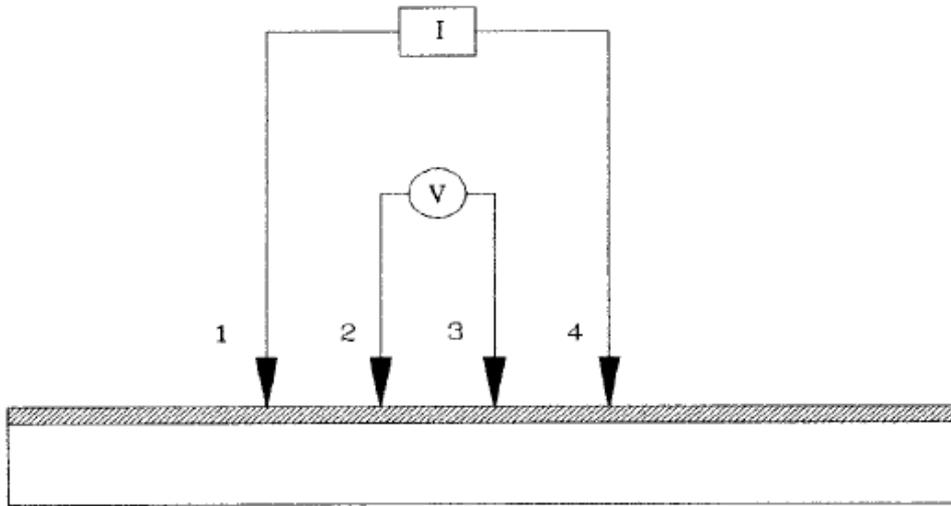
本设备的几何校正过程如下：

- 1、 电流源为 1 和 4, 2 和 3 测的的电压为 $V1$;
- 2、 电流源为 1 和 3, 2 和 4 测的的电压为 $V2$;

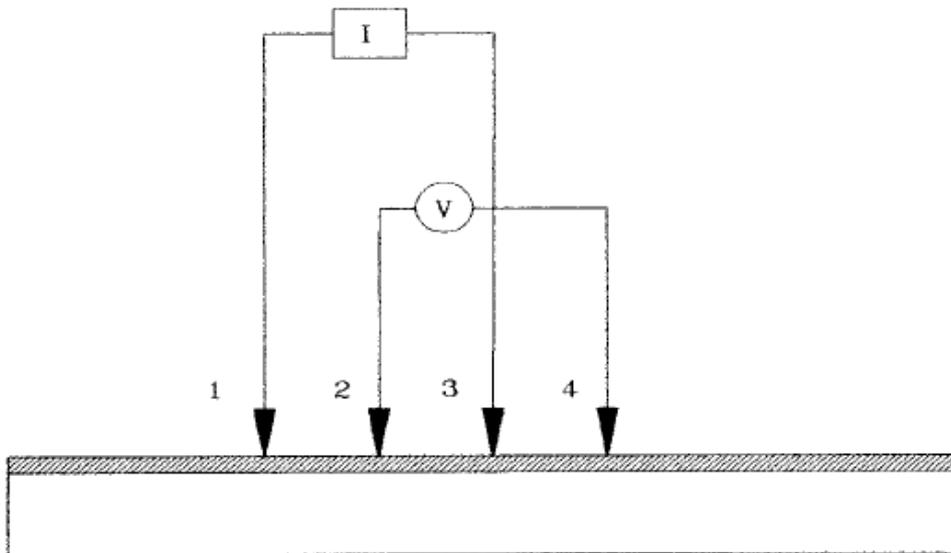
无限大样品， $V1$ 和 $V2$ 的比值满足： $V1/V2 = \ln 4 / \ln 3 = 1.262$

几何校正开时，会使用输入的校正系数使得比值仍在 1.262。

Tips: 薄膜较厚 ($>0.3\text{mm}$)，样品不是圆形，样品尺寸很小或者由于 $V1/V2$ 超出 range 导致的 Bad Contact 报错时，几何校正应该关闭。



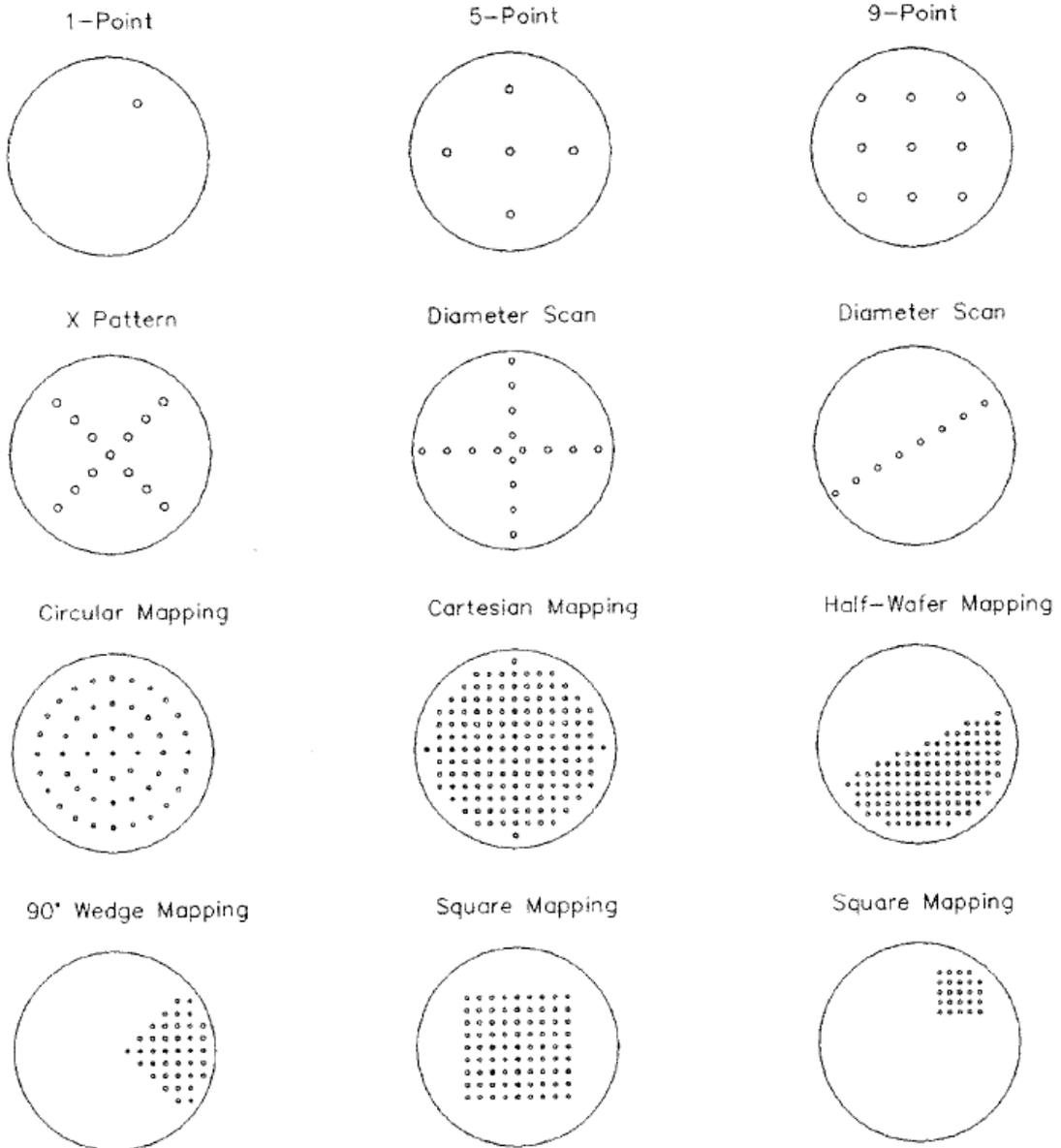
First Configuration Measurement



Second Configuration Measurement



9.3 常用测试方法点分布图



9.4 High Gain 和 Low Gain 的选择



(Ohms/sq)	(Best Gain)	(Ohms/sq)	(Best Gain)
0 to .175	LOW	175 TO 700	HIGH
.175 TO .70	HIGH	700 TO 1750	LOW
.70 TO 1.75	LOW	1750 TO 7000	HIGH
1.75 TO 7.0	HIGH	7000 TO 17.5K	LOW
7.0 TO 17.5	LOW	17.5K TO 70K	HIGH
17.5 TO 70	HIGH	70K TO 175K	LOW
70 TO 175	LOW	175K TO 800K	HIGH

9.5 常用 probe head 类型和测试的薄膜以及更换

Type	Application	Material	Tip Radius @ Contact Area Radius	Force
Type-A	Metal films, ITO, amorphous Si, poly silicon, SOI, bulk substrates	Tungsten Carbide	25 um or 45um	90-200g
Type-B	General Purpose: medium to thick epitaxial layers, diffused layers, metal films, implants 2-10 microns	Tungsten Carbide	100um	90-200g
Type-M	epitaxial, diffused and ion implanted layers (500 A to 5 um), especially very shallow ion implanted layers	Tungsten Carbide	300um @ 120um	90-200g
Type-N	Very shallow implants	Tungsten Carbide	500um	90-200g
Type-C	III-V compound semiconductors, e.g. GaAs, InAs	Osmium	100um	60-150g
Mercury	Ultra shallow implants, ultra thin layers	Mercury		~0
Custom	Customized tips	Various	Various	

平台提供的有 Type A 一个用于，Type B 2 个，待机状态请安装 Type B，测试比较厚的薄膜(例如原生厚晶圆)和比较硬的材料可以更换为 Type A，使用完毕后请更换为 Type B。

更换方法请可前往 \\10.15.45.200\SPST-Softmanolab\SOP-只放原厂和最终版\4 point probe_四探针电阻测量仪_4D 280SI 观看视频。

9.6 设备硬件界面和手动操作

二次菜单切换 先点击需要的二级菜单按钮，点击 PAUSE (connect special function)，再点击 RESET (activate special function)，此时二次菜单功能灯点亮，再点击 PAUSE (取消 PAUSE 键功能) 退出调节二级菜单功能。

a. 选择 1 PT，STAGE MOVEMENT 中前后，左旋和右旋按钮把样品置于探针下方，然后点击 START，屏幕中间显示出方块电阻。

b. 选择 5 PT，机台默认 5 点位置如下表（五点的位置已确定，不能改变）

wafer size (mm)	100	125	150	200



Center shift distance (mm)	32	40	48	64
-------------------------------	----	----	----	----

机台依次测出 5 点值后，通过 5 PT DISPL SELECT 在屏幕中查看 5 点的数据。

9.7 Software 界面简介

- 一、 Main 界面
- 二、 Process 界面
- 三、 校准界面
- 四、 重复性测试界面

10.0 注意事项

如果被测导电薄膜材料表面上不干净，存在油污或材料暴露再空气中时间过长，形成氧化层，会影响测试精度；

由于探针有少子注入及探针移动存在，所以在测量中可以进行正方两个方向电流测量，然后取其平均值以减小误差；

电流选择适当，太小会影响测试精度，太大会引起发热或非平衡载流子注入；

对于高阻及光敏感性材料测试时，光电导效率会影响测量，请关闭测试盒盖。

11.0 原厂 SOP 请参考软纳米平台云盘：\\10.15.45.200\SPST-Softmanolab\SOP-只放原厂和最终版\4 point probe_四探针电阻测量仪_4D 280SI Model 280 Manual_V53 原厂使用手册