9ICS 77.040

CCS H 21



中华人民共和国国家标准

GB/T 6616—XXXX

|  |
| --- |
| 代替GB/T 6616-2009 |

半导体晶片电阻率及半导体薄膜薄层电阻的测试 非接触涡流法

Test method for measuring resistivity of semiconductor wafers or sheet resistance of semiconductor films with a noncontact eddy-current gauge

|  |
| --- |
|  |
| (送审稿) |

XXXX - XX - XX发布

XXXX - XX - XX实施



前  言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件代替GB/T 6616—2009《半导体硅片电阻率及硅薄膜薄层电阻测试方法 非接触涡流法》，与GB/T 6616—2009相比，除结构调整和编辑性改动外，主要技术变化如下：

1. 更改了非接触涡流法测试的适用范围和详细规范了（见第1章，2009年版的第1章）；
2. 增加了规范性引用文件GB/T 25915.1（见第2章）
3. 删除了规范性引用文件GB/T 1552(见第2章)；
4. 增加了“术语和定义”（见第3章）；
5. 更改了测试环境温度和环境区域洁净度的要求（见第4章，2009年版的6.1）；
6. 更改了“干扰因素”（见第5章，2009版的5）
7. 更改了“标准片”标称值的范围（见7.2.1，2009年版的4.2.1）；
8. 更改了“标准片和参考片的其他要求”（见7.2.3,2009年版的4.2.3）；
9. 增加了“样品”（见第8章）；
10. 更改了“试验步骤”，分为五点法和二点法（见9,2009年版的6）
11. 增加了“试验数据处理”（见第10章）；

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由全国半导体设备与材料标准化技术委员会（SAC/TC 203）和全国半导体设备与材料标准化技术委员会材料分会（SAC/TC 203/SC2）共同提出并归口。

本文件起草单位：。

本文件主要起草人：。

本文件及其所代替文件的历次版本发布情况为：

——1995年首次发布为GB/T 6616—1995；

——2009年第一次修订为GB/T 6616-2009；

——本次为第二次修订。

半导体晶片电阻率及半导体薄膜薄层电阻的测试 非接触涡流法

1. 范围

本文件规定了用非接触涡流法测试硅、砷化镓、碳化硅单晶等材料的电阻率，以及在衬底上制备的薄膜薄层电阻，其衬底薄层电阻至少为薄膜的1000倍以上。本方法也适用于其它半导体材料。

本文件适用于测量直径或边长大于25mm、厚度为0.1mm～1mm的单晶片，其中可测试的单晶电阻率范围为0.001Ω·cm～200Ω·cm，适用于薄膜的薄层电阻测试范围为2Ω/□～3.0×103Ω/□。

1. 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 14264 半导体材料术语

GB/T 25915.1 洁净室及相关受控环境 第1部分：按粒子浓度划分空气洁净度等级

1. 术语和定义

GB/T 14264界定的术语和定义适用于本文件。

1. 原理

将晶片试样平插入一对共轴涡流探头（传感器）之间的固定间隙内，与振荡回路相连接的两个涡流探头之间的交变磁场在晶片上感应产生涡流，则激励电流值的变化是晶片电导的函数。通过测量激励电流的变化即可测得试样的电导。当试样厚度已知时，便可计算出试样的电阻率，见公式1。

*R* = == (1)

式中：

*ρ*——试样的电阻率，单位为欧姆厘米（Ω·cm）；

*G*——试样的薄层电导，单位为西门子(S)；

*R*——试样的薄层电阻，单位为薄层电阻欧姆（Ω/□）；

*t*——试样中心的厚度，单位为厘米（cm）；

*δ*——电导率，单位为西门子每厘米（S/cm）。

1. 干扰因素
	1. 如果晶片表面被沾污或表面有损伤，会造成测试结果误差。
	2. 如果测试环境的温度、湿度和光照强度的不同会影响测试结果。
	3. 如果测试设备附近有高频电源，会产生一个加载电流引起电阻率值误差，所以必须提供屏蔽保护和电源滤波装置。
	4. 涡流法必须把晶片放在有效区域内（即被整个探头覆盖）。
	5. 如果测量时间过长，涡流会在晶片上造成升温，建议测量时间小于1s。

5**.**6用于测试碳化硅和砷化镓单晶时，由于大部分用硅片作为校准片和参考片，测量温度非23℃时，用硅电阻率温度系数换算存在一定的测量误差。

5.7 在测量过程中，参考片与测试片之间的温度差异会引入测量误差。

5.8 测量过程中，晶片厚度的误差可能对测量值引起误差。

5.9 测量过程中，由于测试值为有效区域电阻，对于晶片电阻率均匀性测试值存在一定误差。

1. 试验条件

环境温度为23℃±2℃，相对湿度不大于60%，测量环境应有电磁屏蔽，电源应有滤波，环境区域至少应符合GB/T 25915.1中定义的7级洁净室要求。

1. 仪器设备
	1. 电学测量装置

7.1.1 涡流传感器组件

由可供半导体晶片插入的具有固定间隙的一对共轴线探头、放置晶片的支架（需保证晶片与探头轴线垂直）、晶片对中装置及激励探头的高频振荡器等组成。选择一个能穿透5倍晶片或薄膜厚度能力的高频振荡器，该传感器可提供与晶片电导成正比的输出信号。涡流传感器组件的结构见图1。



图1 涡流传感器组件示意图

7.1.2 信号处理器

用模拟电路或数字电路进行电学转换，把薄层电导信号转换成薄层电阻值。当被测试样为晶片时，通过晶片的厚度再转换为电阻率。处理器应具有显示薄层电阻或电阻率的功能。当试样未插入时应具有电导清零的功能和具有用已知校准样片去校准仪器的功能。

* 1. 标准片和参考片

7.2.1标准片

电阻率标准片的标称值分别为0.01Ω·cm、0.1Ω·cm、1Ω·cm、10Ω·cm、25Ω·cm、100Ω·cm、200Ω·cm。选择合适的电阻率标准片用于校准测量设备。电阻率标准片与待测片的厚度偏差应小于25%。

注：标准片是有证标准样片或可溯源的校准参考片。

7.2.2 参考片

用于检查测量仪器的线性。参考片可以是用于校准设备的标准片也可以是其它电阻率均匀的硅片，参考片电阻率的值与表1指定值之偏差应小于25%。其厚度与晶片试样的厚度偏差应小于25%。

表1 检查仪器线性的参考片的电阻率值推荐量程

|  |  |
| --- | --- |
| 测量范围/Ω·cm | 参考片的电阻率/Ω·cm |
| 0.001-0.999 | 0.01 |
| 0.03 |
| 0.10 |
| 0.30 |
| 0.90 |
| 0.1-99.9 | 0.90 |
| 3 |
| 10 |
| 30 |
| 90 |

7.2.3 标准片和参考片的其他要求

仪器线性检查5点法标准片和其它参考片至少应有5片，数值范围应跨越仪器的全部范围。表1给出了检查方法应用中典型仪器量程的推荐值；仪器线性检查2点法中待测试样的电阻或薄层电阻范围较窄的，标准或其它参考样品数量为2个。其值的电阻率范围至少应与待测试样的电阻率范围相同。

* 1. 测厚仪与温度计

非接触式碳化硅片厚度测量仪或其它测厚装置。

温度计，最小分辨力为0.1°C。

1. 样品
	1. 样品为硅、砷化镓、碳化硅单晶材料或在其衬底上通过扩散、外延或离子注入工艺制备的薄膜。
	2. 样品可以为P型或N型，可以是圆形或其他形状，样品表面应无裂纹、孔隙或其他结构不连续的层。
	3. 样品边长或直径不小于25mm，厚度为(0.1~1.0)mm。制造薄膜的衬底，通过中心点测量的有效薄层电阻至少为薄膜的1000倍。
2. 试验步骤
	1. 方法Ⅰ 五点法

9.1.1 仪器的校准

# 9.1.1.1 测量环境温度T，温度为（23±2）°C，温度精确到±0.1℃。

9.1.1.2 使用硅单晶电阻率标准或参考试样，或者两者同时使用。

9.1.1.3 按公式（2）将电阻率标准片或参考片23°C时的标定值*ρ(23)*换算成温度T时的电阻率值*ρ(T)*。

 *ρ*(*T*)=*ρ*(23)［1+*CT*(*T*-23)］………………………………………（2）

式中：

*T*——环境温度，单位为摄氏度(°C)；

 *CT*——硅单晶电阻率温度系数，单位为每摄氏度(/°C)，具体温度系数见附录A；

 *ρ*(23) ——23°C时的电阻率，单位为欧姆厘米（Ω·cm）；

 *ρ*(*T*) ——环境温度T时的电阻率，单位为欧姆厘米（Ω·cm）。

9.1.1.4 将标准片或参考片正面向上放在支架上，插入上下两探头之间。其中心偏离探头轴线不大于1.0mm。比较*ρ(T)*值与实际测量值，对仪器进行校正。

9.1.2 仪器线性检查

9.1.2.1 根据试样电阻率的范围选择一组（5片）电阻率参考片。每块参考片在输入厚度后，由支架插入上下探头之间，其中心偏离探头轴线不大于1mm，依次测量每块参考片在环境温度下的电阻率值。

9.1.2.2 根据式（2）将每块参考片在环境温度T时测得电阻率值*ρ*(*T*)换算成23℃的电阻率值*ρ*(23)。

9.1.2.3 选择适当的比例，作为电阻率测量值与标定值的关系图，在图中标上5个参考片的数据点，见图2。

9.1.2.4 分别按式（4）、式（5）计算出各参考片的电阻率允许偏差范围的最大值和最小值。在图2中画出2条直线分别对应于各参考片电阻率的最大值和最小值。

 最大值=标定值+5%标定值+1数字……………………………………（3）

 最小值=标定值-5%标定值-1数字………………………………………（4）

9.1.2.5 如果5个数据点全部位于两条直线之间，那么仪器在全量程范围内达到线性要求，可进行测量。

9.1.2.6 如果5个数据点位于两条直线之间的数据不足3点，应对设备重新调整和校正，并重复9.1.2步骤，以满足测量的线性要求。

9.1.2.7 如果只有3个或4个数据点位于两条直线之间，则在由这些相邻的最高点和最低点所限定的量程范围内，仪器可以使用。



图2 线性检查图

9.1.3 测量

测量过程应按以下要求进行：

1. 用温度计测量室内温度；
2. 开机预热，待晶片温度与环境温度平衡后方可进行测量；
3. 输入晶片试样的厚度值，如果测量薄膜的薄层电阻，可输入薄膜加上衬底的总厚度；
4. 将晶片试样正面向上放在支架上，插入上下探头之间，晶片中心离探头轴线偏差不大于1mm；
5. 如电阻率测试环境温度为23°C，直接记录电阻率显示值*ρ’*(23)；如电阻率测试环境温度不是23°C，则根据当时测试环境测量值*ρ*(*T*)，将显示值换算成23°C时的电阻率值*ρ’*(23)并记录。

9.1.4 试验数据处理

被测晶片试样所要求的电阻率值*ρ’*(23)，可由公式(2)计算得出。

9.2 方法Ⅱ 两点法

9.2.1 仪器的校准

# 9.2.1.1 测量环境温度T，温度为（23±2）°C，温度精确到±0.1℃。

9.2.1.2 选择两个标准片或参考样片，其数值跨越待测样品的范围。

9.2.1.3 将标准片或参考片正面向上放在支架上，插入上下两探头之间。硅片中心偏离探头轴线不大于1.0mm。

9.2.1.4 测量当前环境下两个样片的电阻率，并记录。

9.2.1.5 在图3中标出两个样片当前温度T时的电阻率值*ρ(T)*和23°C标定值*ρ(23)*的点并连接。

9.2.2 测量

9.2.2.1 测量体电阻试样时，将试样的测量值定位在图的纵坐标上，将测量的水平线与图3中的标定线相交，将标定交点上方的垂线延伸到实际的横坐标上（见图4），记录横坐标交点处的数值，作为样品的实际值。

9.2.2.2 校准电阻率大于0.1Ω·cm的试样时，硅电阻率的温度系数随着电阻率的增大而逐渐变化（见附录A）。

9.2.2.3 对于电阻率范围内包含电阻率非单调温度系数的标定试样，将测量值定位在纵坐标之前，先用附录A中的系数将校正后的实测值修正为23°C。



图3 两片标片(参考片) 电阻率值*ρ(T)*和23°C标定值*ρ(23)*示意图



图4 测试片电阻率值*ρ(T)*和实际值示意图

1. 精密度

用非接触涡流法对不同测试样片进行测试，每个样品重复测10次，测试结果的重复性和再现性用相对标准偏差表示，具体如下：

1. 试验报告

试验报告应至少包括以下内容：

1. 样品编号及信息；
2. 电阻率标准片及参考片代号；
3. 环境温度；
4. 测试电流；
5. 厚度，cm；
6. 试样电阻率*ρ’*(*T*)，Ω·㎝；
7. 温度修正后的电阻率*ρ’*(23)，Ω·㎝；
8. 本文件编号及方法名称；
9. 测试者；
10. 测试日期。

附录A

（资料性附录）

表A-1 21℃～25℃范围硅的电阻率温度系数

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 电阻率Ω·cm | 电阻率温度系数*CT*℃-1 | 电阻率Ω·cm | 电阻率温度系数*CT*℃-1 |
| n型 | p型 | n型 | p型 |
| 0.0006 | 0.00200 | 0.00160 | 0.40 | 0.00656 | 0.00613 |
| 0.0008 | 0.00200 | 0.00160 | 0.50 | 0.00678 | 0.00639 |
| 0.0010 | 0.00200 | 0.00158 | 0.60 | 0.00696 | 0.00659 |
| 0.0012 | 0.00184 | 0.00151 | 0.80 | 0.00720 | 0.00687 |
| 0.0014 | 0.00169 | 0.00149 | 1.0 | 0.00736 | 0.00707 |
| 0.0016 | 0.00161 | 0.00148 | 1.2 | 0.00747 | 0.00722 |
| 0.0020 | 0.00158 | 0.00148 | 1.4 | 0.00755 | 0.00734 |
| 0.0025 | 0.00159 | 0.00145 | 1.6 | 0.00761 | 0.00744 |
| 0.0030 | 0.00156 | 0.00137 | 2.0 | 0.00768 | 0.00759 |
| 0.0035 | 0.00146 | 0.00127 | 2.5 | 0.00774 | 0.00773 |
| 0.0040 | 0.00131 | 0.00116 | 3.0 | 0.00778 | 0.00783 |
| 0.0050 | 0.00096 | 0.00094 | 3.5 | 0.00782 | 0.00791 |
| 0.0060 | 0.00060 | 0.00074 | 4.0 | 0.00785 | 0.00797 |
| 0.0080 | 0.00006 | 0.00046 | 5.0 | 0.00791 | 0.00805 |
| 0.010 | -0.00022 | 0.00031 | 6.0 | 0.00797 | 0.00811 |
| 0.012 | -0.00031 | 0.00025 | 8.0 | 0.00806 | 0.00819 |
| 0.014 | -0.00026 | 0.00025 | 10 | 0.00813 | 0.00825 |
| 0.016 | -0.00013 | 0.00029 | 12 | 0.00818 | 0.00829 |
| 0.020 | 0.00025 | 0.00045 | 14 | 0.00822 | 0.00832 |
| 0.025 | 0.00083 | 0.00073 | 16 | 0.00824 | 0.00835 |
| 0.030 | 0.00139 | 0.00102 | 20 | 0.00826 | 0.00840 |
| 0.035 | 0.00190 | 0.00131 | 25 | 0.00827 | 0.00845 |
| 0.040 | 0.00235 | 0.00158 | 30 | 0.00828 | 0.00849 |
| 0.050 | 0.00309 | 0.00208 | 35 | 0.00829 | 0.00853 |
| 0.060 | 0.00364 | 0.00251 | 40 | 0.00830 | 0.00857 |
| 0.080 | 0.00439 | 0.00320 | 50 | 0.00830 | 0.00862 |
| 0.10 | 0.00486 | 0.00372 | 60 | 0.00830 | 0.00867 |
| 0.12 | 0.00517 | 0.00412 | 80 | 0.00830 | 0.00872 |
| 0.14 | 0.00540 | 0.00444 | 100 | 0.00830 | 0.00876 |
| 0.16 | 0.00558 | 0.00471 | 120 | 0.00830 | 0.00878 |
| 0.20 | 0.00585 | 0.00512 | 140 | 0.00830 | 0.00879 |
| 0.25 | 0.00609 | 0.00548 | 160 | 0.00830 | 0.00880 |
| 0.30 | 0.00627 | 0.00575 | 200 | 0.00830 | 0.00882 |
| 0.35 | 0.00643 | 0.00596 |  |  |  |

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_