



中华人民共和国国家标准

GB/T 14146—2009
代替 GB/T 14146—1993

硅外延层载流子浓度测定 汞探针电容-电压法

Silicon epitaxial layers-determination of
carrier concentration-mercury probe voltages-capacitance method

2009-10-30 发布

2010-06-01 实施

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局
中国国家标准化管理委员会 发布

前 言

本标准代替 GB/T 14146—1993《硅外延载流子浓度测定 汞探针电容-电压法》。

本标准与 GB/T 14146—1993 相比,主要有如下变动:

- 测量范围由原 $10^{13} \text{ cm}^{-3} \sim 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 改为 $4 \times 10^{13} \text{ cm}^{-3} \sim 8 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$, 并增加了对外延层厚度的测试要求和抛光片的测试适用性;
- 增加了引用标准;
- 增加了干扰因素;
- 试剂中氢氟酸($\rho 1.15 \text{ g/mL}$)改为氢氟酸(分析纯), 删除硝酸($\rho 1.4 \text{ g/mL}$), 增加双氧水(分析纯), 去离子水电阻率由大于 $2 \text{ M}\Omega \cdot \text{cm}$ 改为大于 $10 \text{ M}\Omega \cdot \text{cm}$;
- 对“测量仪器及环境”, “样品处理”, “仪器校准”, “测量步骤”的内容进行了全面修改;
- 删除“测量结果的计算”;
- 增加了重复性和再现性;
- 增加了附录“硅片接触良好测试”的判定指标。

本标准的附录 A 为规范性附录。

本标准由全国半导体设备和材料标准化技术委员会提出。

本标准由全国半导体设备和材料标准化技术委员会材料分技术委员会归口。

本标准起草单位:南京国盛电子有限公司、宁波立立电子股份有限公司、信息产业部专用材料质量监督检验中心。

本标准主要起草人:马林宝、唐有青、刘培东、李静、金龙、吕立平。

本标准所代替标准的历次版本发布情况为:

- GB/T 14146—1993。

硅外延层载流子浓度测定 汞探针电容-电压法

1 范围

本标准规定了硅外延层载流子浓度汞探针电容-电压测量方法。

本标准适用于同质的硅外延层载流子浓度测量。测量范围为： $4 \times 10^{13} \text{ cm}^{-3} \sim 8 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 。

本标准测试的硅外延层的厚度必须大于测试偏压下耗尽层的深度。

本标准也可适用于硅抛光片的载流子浓度测量。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单(不包括勘误的内容)或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

GB/T 1550 非本征半导体材料导电类型测试方法

GB/T 1552 硅、锗单晶电阻率测定 直排四探针法

GB/T 14847 重掺杂衬底上轻掺杂硅外延层厚度的红外反射测量方法

3 方法原理

汞探针与硅外延片表面接触，形成一个肖特基势垒。在汞探针与硅外延片之间加一反向偏压，结的势垒宽度向外延层中扩展。结的势垒电容(C)及其电压(V)的变化率(dC/dV)与势垒扩展宽度(x)及其相应的载流子浓度 $[N(x)]$ 有如式(1)和式(2)关系：

$$N(x) = \frac{C^3}{\varepsilon \varepsilon_0 e A^2} \times \frac{1}{\left(-\frac{dC}{dV}\right)} \quad \dots\dots\dots(1)$$

$$x = \varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot A / C \quad \dots\dots\dots(2)$$

式中：

x ——势垒扩展宽度，单位为厘米(cm)；

$N(x)$ ——载流子浓度，单位为每立方厘米(cm^{-3})；

C ——势垒电容，单位为法(F)；

e ——电子电荷， 1.602×10^{-19} ，单位为库仑(C)；

ε ——相对介电常数，其值为 11.75；

ε_0 ——真空介电常数，其值为 8.859×10^{-14} ，单位为法每厘米(F/cm)；

A ——汞-硅接触面积，单位为平方厘米(cm^2)。

只要测得 C 、 dC/dV 和 A ，便可由式(1)和式(2)计算得到势垒扩展宽度 x 处的 $N(x)$ 。

4 干扰因素

4.1 硅片表面和汞的沾污，毛细管的沾污或损伤会造成测试误差和测试不良。

4.2 C-V 汞探针测量中的肖特基接触不良，常表现为漏电流大。不良的肖特基接触虽可得到载流子浓度，但会产生较大的测试误差。

4.3 在电容测试中，测试的交流信号大于 $0.05 V_{\text{max}}$ 可能会导致误差。

4.4 确定补偿电容的标准片在电压应用范围内的浓度一致性不好,会导致补偿电容的的错误,进而影响测试浓度的准确性。

5 试剂与材料

- 5.1 氢氟酸(分析纯)。
- 5.2 双氧水(分析纯)。
- 5.3 去离子水,电阻率大于 $10\text{ M}\Omega\cdot\text{cm}(25\text{ }^{\circ}\text{C})$ 。
- 5.4 汞,纯度大于 99.99%。
- 5.5 氮气,纯度大于 99.5%。

6 测量仪器及环境

6.1 本标准选用自动测量仪器。

6.1.1 精密电压源:能提供 0 V 到 $\pm 200\text{ V}$ 连续变化的输出电压,精度高于 0.1% 。各级电压峰值变化不大于 25 mV 。

6.1.2 精密电容器:在 1 MHz 的测量频率下有高于 0.25% 的准确度。

6.1.3 数字伏特计:读值至少具有 4 位有效数字,测试电压范围 $\pm 1\text{ V}\sim\pm 200\text{ V}$ 或更大,每级变化为 10 V 或更小,灵敏度高于 1 mV ,满量程时精度好于 0.5% ,满量程时额定再现性好于 0.25% ,输入阻抗大于 $100\text{ M}\Omega$ 。

6.1.4 监控汞探针接触的正反向电流-电压特性装置:能提供反向 0.1 mA 时 200 V 和正向 1 mA 时 1.1 V ,灵敏度高于 $10\text{ }\mu\text{A}/\text{级}$ 。

6.2 测量环境

温度 $18\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 25\text{ }^{\circ}\text{C}$,温度波动小于 $\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$,相对湿度不大于 65% 。工频电源应有滤波装置,周围无腐蚀性气氛及震动。

7 样品处理

通常对试样进行直接测量。若不能进行正常测量时,可对试样表面进行处理。

- 7.1 用 HF: 去离子水($1:0\sim 1:10$)处理 30 s ,用去离子水冲 10 min 。
- 7.2 对 p 型片,直接测量,或在 $120\text{ }^{\circ}\text{C}\pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 烘烤 30 min 。
- 7.3 对 n 型片,在 $70\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 90\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的双氧水:去离子水($1:1\sim 1:5$)中煮 10 min 。
- 7.4 用去离子水冲 10 min ,甩干或用氮气吹干。

8 仪器校准

8.1 电容仪校准

8.1.1 电容器:电容器数量不小于 2 个,电容器间额定标准电容值的最小倍数不小于 10(其值满足样品的测试范围)。在 1 MHz 的测试频率下,精密度好于 0.25% 。

8.1.2 电容仪设备要求:电容仪测量范围 $1\text{ PF}\sim 1\text{ }000\text{ PF}$,每级间倍数小于 10,测试频率 $0.9\text{ MHz}\sim 1.1\text{ MHz}$,测试时交流信号不大于 $0.05\text{ V}_{\text{rms}}$ 。测量时连接屏蔽电缆。

8.1.3 校验精度:电容仪测试电容器的精度不大于 1% (满量程)。

8.1.4 校验程序

8.1.4.1 将连接了屏蔽电缆的电容仪调零。

8.1.4.2 将一个电容器通过屏蔽电缆连接电容仪,测试 1 MHz 频率下,得到电容值。

8.1.4.3 依次测量所有的电容器。

8.1.4.4 如测试值与标准值偏差不大于 1% ,测试重复性不大于 0.25% ,电容仪合格。如超出范围,按

要求调整设备。

8.2 补偿电容的校准

8.2.1 测试补偿电容用片：载流子浓度小于 $1 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$ ，电压应用范围内纵向载流子浓度分布的偏差 $\leq 2\%$ 的硅片。

8.2.2 将此硅片置于测试台上，并形成可靠的测试接触。

8.2.3 设定一大概的补偿电容值，(如未知，则设为 0) 开始测试载流子浓度，并观察测试曲线的斜率。如斜率为正，按 0.1 PF 的步进逐步增大补偿电容值，直至斜率第一次为负后再按 0.02 PF 的步进逐步减小补偿电容值，直至斜率刚好有改变的现象，此时得到系统的补偿电容。如斜率为负值，按 0.02 PF 的步进减小补偿电容，直至斜率第一次为正后再按 0.1 PF 的步进逐步增大补偿电容值，直至斜率刚好有改变的现象。此时得到系统的补偿电容。

8.3 确定汞探针有效接触面积

8.3.1 已知装汞毛细管直径，由式(3)计算得到汞探针的标定接触面积：

$$A = \frac{\pi d^2}{400} \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中：

A ——汞探针管的标定面积，单位为平方厘米(cm^2)；

d ——汞探针管的标定直径，单位为毫米(mm)。

8.3.2 用测试系统测量多个已知标定浓度为标准片的浓度值，通过式(4)计算每个标准片测量的汞探针的有效接触面积：

$$(A_{\text{eff}})_k = A \sqrt{\frac{(N_{\text{avg}})_k}{(N_{\text{ref}})_k}} \quad \dots\dots\dots (4)$$

式中：

$(N_{\text{ref}})_k$ ——第 k 个标准片的标定浓度，单位为每立方厘米(cm^{-3})；

$(N_{\text{avg}})_k$ ——第 k 个标准片的测量浓度，单位为每立方厘米(cm^{-3})；

A ——汞探针管的标定面积，单位为平方厘米(cm^2)；

$(A_{\text{eff}})_k$ ——由第 k 个标准片的测量值计算得到的有效接触面积，单位为平方厘米(cm^2)。

将 $(A_{\text{eff}})_k$ 取平均值得到汞探针的接触面积 A_{eff} 。

8.3.3 用取得的 A_{eff} 载入测试程序测量各标准片，其平均载流子浓度偏差应在 2% 之内。如超过，则对标片重新进行表面处理，取得 A_{eff} 值。

8.4 低电阻电极的制备

硅片背面低电阻接触可由金属托盘与硅片背面通过真空吸力紧密接触形成。

9 测量步骤

9.1 按 GB/T 1550 测定外延片的导电类型，按 GB/T 14847 测定外延层的厚度和按 GB/T 1552 测定外延片的电阻率。

9.2 将待测硅片置于测试台上，汞探针接触硅片正面形成肖特基接触，并做好另一电极的低电阻接触。

9.3 在测试程序中载入补偿电容值，面积，测试电压。

9.4 测试电压的选择：

9.4.1 硅片表面施加反向电压形成表面耗尽区域。

9.4.2 电压的范围应至少包含取 5 个测量的 C-V 对值，以计算得到至少 5 个浓度-深度值，形成浓度分布曲线。

9.4.3 电压应小于最大的平区电压和击穿电压。

9.5 开始测试，得到硅片表面载流子浓度分布曲线和平均载流子浓度。

9.6 测量结果须满足如下三个条件,见附录 A:

串联电阻 R_s 小于 $1\text{ k}\Omega$;

相角 θ 范围 $-87^\circ \sim -90^\circ$;

反向漏电流密度 J_r 小于 $3\text{ mA} \cdot \text{cm}^{-2}$ 。

10 精密度

本方法的精密度经过三个试验室巡回测试得到,使用浓度 $1 \times 10^{14}\text{ cm}^{-3} \sim 1 \times 10^{16}\text{ cm}^{-3}$ 的 n 型硅片样品共 6 片,测试前经表面处理。

单实验室测定重复性:小于 0.5%;

多实验室测定再现性:小于 $\pm 5\%$ 。

11 试验报告

试验报告应包括以下内容:

- a) 试样编号;
- b) 硅外延片载流子浓度测量点位置或测量图;
- c) 硅外延片对应于测试点位置的载流子浓度;
- d) 汞探针与硅外延片接触时的有效接触面积;
- e) 本标准编号;
- f) 检测单位,检测者和检测时间。

附 录 A
(规范性附录)
硅片接触良好测试

用以下 3 个指标评价测试时测试系统与硅片接触是否良好,符合以下 3 个指标的测试为有效测试:

A.1 串联电阻 R_s

测试时,系统与硅片接触形成的二极管回路串联电阻,应小于 1 k Ω 。确定方法如下:

- a) 电容仪调零。
- b) 硅片至测试台上,汞探针接触硅片表面,接触可靠。
- c) 如电容仪能测量相角 θ , 电容 C , 则 R_s (k Ω) 按式 (A. 1) 计算:

$$R_s = -\frac{10^3}{\tan\theta \times (2\pi fC)} \quad \text{..... (A. 1)}$$

式中:

R_s ——系统串联电阻,单位为千欧姆(k Ω);

θ ——测试时的相角,单位为度($^\circ$);

C ——测试时的电容,单位为皮法(PF);

f ——测试时的频率,单位为兆赫(MHz)。

- d) 如电容仪能测量电容 C , 电导 G_m , 则 R_s 按式 (A. 2) 计算:

$$R_s = \frac{G_m}{G_m^2 + (2 \times 10^{-3} \pi f C)^2} \quad \text{..... (A. 2)}$$

式中:

G_m ——测试时的电导;

f ——测试时的频率,单位为兆赫(MHz);

C ——测试时的电容,单位为皮法(PF)。

- e) 相角 θ :

θ 应满足在 $-87^\circ \sim -90^\circ$ 。可由式 (A. 3) 得到。

$$\theta = \tan^{-1} \left[-\frac{10^3}{2\pi f R_s C} \right] \quad \text{..... (A. 3)}$$

A.2 反向漏电流密度 J_r

测试时,系统与硅片接触形成的二极管回路的反向漏电流。各应用电压下均应满足反向漏电流密度 J_r 小于 $3 \text{ mA} \cdot \text{cm}^{-2}$ 且反向漏电流的上升速率 $\Delta J_r / \Delta V$ 小于 $0.3 \text{ mA} \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2}$ 。

- a) 系统连接监控汞探针接触的正反向电流-电压特性装置;
- b) 硅片至测试台上,汞探针接触硅片表面,接触可靠;
- c) 从 1 V 开始施加电压,逐步增加电压至希望的值,按式 (A. 4) 计算反向电流密度 J_r 和式 (A. 5) 计算反向漏电流随反向电压增长的速率 $\Delta J_r / \Delta V$ 。

$$J_{ri} = \frac{I_{ri}}{A_{\text{eff}}} \quad \text{..... (A. 4)}$$

$$\frac{\Delta J_r}{\Delta V} = \frac{J_{r(i+1)} - J_{ri}}{V_{(i+1)} - V_i} \quad \text{..... (A. 5)}$$

式中:

I_{ri} ——为反向偏压 V_i 下的电流,单位为毫安(mA);

A_{eff} ——汞探针的接触面积,单位为平方厘米(cm^2);

$\frac{\Delta J_r}{\Delta V}$ ——电流密度随反向偏压增长的速率;

J_{ii} ——电压 V_i 下的电流密度,单位为毫安每平方厘米(mA/cm^2);

$J_{i(i+1)}$ ——电压 $V_{(i+1)}$ 下的电流密度,单位为毫安每平方厘米(mA/cm^2)。

中 华 人 民 共 和 国
国 家 标 准
硅外延层载流子浓度测定
汞探针电容-电压法
GB/T 14146—2009

*

中国标准出版社出版发行
北京复兴门外三里河北街16号
邮政编码:100045

网址 www.spc.net.cn
电话:68523946 68517548

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷
各地新华书店经销

*

开本 880×1230 1/16 印张 0.75 字数 13 千字
2010年1月第一版 2010年1月第一次印刷

*

书号: 155066·1-39566 定价 16.00 元

如有印装差错 由本社发行中心调换
版权专有 侵权必究
举报电话:(010)68533533



GB/T 14146—2009