

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—93

Silicon epitaxial layers—Determination of carrier concentration—
Mercury probe
Voltage-capacitance method

1 主题内容与适用范围

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 $10^{13} \sim 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 。

2 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)及其随电压(V)的变化率(dc/dv)与势垒扩展宽度(x)和其相应的载流子浓度 $[N(x)]$ 有如下关系:

$$N(x) = \frac{C^3}{e\epsilon_0\epsilon A^2} \cdot \frac{1}{\left(-\frac{dc}{dv}\right)} \quad \dots\dots\dots(1)$$

$$x = \epsilon \cdot \epsilon_0 \cdot A/C \quad \dots\dots\dots(2)$$

式中: x ——势垒扩展宽度, μm ;

$N(x)$ ——载流子浓度, cm^{-3} ;

e ——电子电荷, 1.602×10^{-19} , C;

ϵ ——硅的相对介电常数,其值为 11.75;

ϵ_0 ——真空介电常数,其值为 8.859×10^{-14} , F/cm;

A ——汞-硅接触面积, 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 $N(x)$ 。

3 试剂与材料

3.1 氢氟酸($\rho 1.15 \text{ g/mL}$), 化学纯。

3.2 硝酸($\rho 1.45 \text{ g/mL}$), 化学纯。

3.3 去离子水, 电阻率大于 $2 \text{ M}\Omega \cdot \text{cm}$ (25°C)。

3.4 汞, 纯度大于 99.99%。

3.5 氮气, 纯度大于 99.5%。

4 测量仪器

- 4.1 电容仪或电容电桥:量程为 $1\sim 1\,000\text{ pF}$,其精度不低于 1.0 级,测量频率为 $0.1\sim 1\text{ MHz}$,直流电压为 $\pm 200\text{ V}$,高频交流电压不大于 250 mV 。
- 4.2 数字电压表:其精度不低于 0.5 级,输入阻抗大于 $1\text{ M}\Omega$ 。
- 4.3 直流电源:输出电压为 $0\sim 200\text{ V}$,连续可调,电压波动不大于 1%。
- 4.4 直流电流表:量程为 $0\sim 20\text{ }\mu\text{A}$ 。
- 4.5 标准电容 A 和 B : A 和 B 电容量分别为 10 pF 和 100 pF ,在测量频率下其精度不低于 0.25%。
- 4.6 双筒显微镜:带有测微标尺,长 1 mm ,最小分度值为 0.01 mm 。
- 4.7 试样台:能前后、左右移动。
- 4.8 也可选用自动测量仪器。该仪器除满足 4.1~4.4 条各项要求外,还应当符合:
 - a. 低频交流电压的频率要小于测量电容所用的高频交流电压的频率 1%;
 - b. 测量时低频交流电压值不低于 10 倍的高频交流电压值;
 - c. dc/dv 的测量误差最大为 $\pm 2\%$;
 - d. 反向电流密度可到 $30\text{ }\mu\text{A}/\text{mm}^2$,反向电流密度上升速率为 $3\text{ }\mu\text{A}/\text{V}\cdot\text{mm}^2$ 时,测量能正常进行。

5 试验样品

5.1 试样处理

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。

- a. 用氢氟酸腐蚀试样 30 s。
- b. 用去离子水洗净。
- c. 在硝酸中煮沸 10 min。
- d. 用去离子水洗净、甩干。
- e. 在温度 $150\sim 200^\circ\text{C}$ 氮气流里烘干 10 min。
- f. 也可代替本条中 c~e 操作,将试样在温度约 450°C 的电炉上烘烤 10 min。

6 测量步骤

6.1 测量环境

温度为 $23\pm 2^\circ\text{C}$,相对湿度不大于 65%,实验室应有电磁屏蔽,工频电源应有滤波装置,周围无腐蚀气氛及震动,试样应配有遮光装置。

6.2 电容仪的校准

- 6.2.1 把长度适当的屏蔽电缆接到电容仪上(此时电缆应不与标准电容连接),调节电容仪零点。
- 6.2.2 将电缆与标准电容 A 连接,测量并记录电容值(pF),拆除标准电容 A 。
- 6.2.3 将电缆与标准电容 B 连接,测量并记录电容值(pF),拆除标准电容 B 。
- 6.2.4 如果电容仪读数低于 4.5 条要求,电容仪应进行调整。

6.3 欧姆电极的制备

硅外延片背面可用蒸金或镓-铟-锡合金,在大面积圆片时,可用水使外延片衬底与金属底托接触。

6.4 汞探针压力选择

汞探针与硅外延片表面压力大小的选择应使接触点的结直径在 $0.5\sim 1.0\text{ mm}$ 之间。

6.5 测量试样击穿电压

- 6.5.1 按 6.3~6.4 条要求制备欧姆电极和测量电极,借助显微镜调节汞探针和试样间的接触面积。
- 6.5.2 用屏蔽电缆将试样欧姆电极和汞探针分别与数字电压表和直流电流表连接。接通电源,观察试

样反向特性,测量并记录击穿电压的值。

6.5.3 根据反向特性及击穿电压的观察结果,判断肖特基势垒是否形成。

6.5.4 将汞探针电压降到零,使汞探针与试样脱离接触。

6.6 测量势垒电容

6.6.1 将试样台与电容仪连接,根据汞-硅接触方式和试样导电类型选择适当的极性。

6.6.2 电容仪置于大量程,缓慢地使汞探针与试样表面接触,调节接触面积。施加 0.5 V 反向偏压,根据电容仪的读数,选择合适的量程。

6.6.3 使汞探针与试样表面脱离,调节该量程零点。

6.6.4 缓慢地使汞探针与试样表面接触,精确调节接触面积。

6.6.5 施加 0.5 V 的反向偏压,测量势垒电容 C_1 ,并记入下表。

6.6.6 调节反向偏压,使势垒电容值 C_2 降低 4%~6%。测量此时的反向偏压 v_2 与势垒电容 C_2 ,记入下表。

6.6.7 重复 6.6.6 条测量步骤,使势垒电容逐次降低 4%~6%,直到接近击穿或反向电流密度大于 $30 \mu\text{A}/\text{mm}^2$,即停止测量。

6.6.8 测量完毕,将反向偏压降至零,取下汞探针。

U V	C pF	$\bar{C}$ pF	G $\text{V} \cdot (\text{pF})^{-1}$	x μm	$N(x)$ cm^{-2}
U_1	C_1	$\bar{C}_1$	G_1	x_1	$N(x_1)$
U_2	C_2	$\bar{C}_2$	G_2	x_2	$N(x_2)$
U_3	C_3				
$\vdots$					
U_{n-1}	C_{n-1}	$\bar{C}_{n-1}$	G_{n-1}	x_{n-1}	$N(x_{n-1})$
U_n	C_n				

6.7 自动测量

当试样与自动测量仪器接通后,在试样上加入反向直流电压,最小取 0.5 V,此电压 v_1 和相应的电容 C_1 可以测得,并记入表中。连续取测点 (v_i, C_i) ,反向电压升高时,应使其电容值比前一电容值小 4%~6%,至少要取 4 个测量值对。应使反向电流缓慢上升,直至接近击穿,当反向电流密度大于 $30 \mu\text{A}/\text{mm}^2$ 时,停止测量。

7 测量结果的计算

7.1 逐点测量的计算

7.1.1 根据表中的测量值 $v_i, C_i, i = 1, 2, 3, \dots, n$, 可计算得一组值:

$$\bar{C}_i = \frac{1}{2} (C_i + C_{i-1}) \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$G_i = \frac{v_i - v_{i+1}}{C_i - C_{i+1}} \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$x_i = \frac{\epsilon \cdot \epsilon_0 \cdot A}{C_i} \dots\dots\dots (5)$$

$$N(x_i) = \frac{-\bar{C}_i^3 \cdot G_i}{e \cdot \epsilon \cdot \epsilon_0 \cdot A^2} \dots\dots\dots (6)$$

式中： x_i ——第*i*次测量时势垒扩展宽度， μm ；

$N(x_i)$ ——对应于势垒扩展宽度 x_i 处的载流子浓度， cm^{-3} ；

C_i ——第*i*次测量的势垒电容值，pF；

C_{i+1} ——第*i*+1次测量的势垒电容值，pF；

$\bar{C}_i$ ——第*i*次和第*i*+1次测量的势垒电容值的平均值，pF；

G_i ——第*i*次测量时，反向偏压随势垒电容的变化率， $\text{V} \cdot (\text{pF})^{-1}$ ；

$i = 1, 2, 3, \dots, n-1$ ， n 为测量值对的数。

7.1.2 当各个 $N(x_i)$ 值在其平均值周围相对涨落小于 10% 时，则载流子浓度 $N(x_i)$ 取平均值，否则，以 $\lg N(x_i)$ 对 x_i 作图，可得载流子浓度分布曲线。

7.2 自动测量的计算

用 $\lg N(x)-x$ 或 $N(x)-\lg x$ 载流子浓度分布自动记录图可直接表示出测量结果。

8 精密度

载流子浓度在 $10^{13} \sim 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 范围内，本方法多个实验室测量精密度为 $\pm 10\%$ (RIS)。

9 试验报告

9.1 试验报告应包括以下内容：

- a. 试样编号；
- b. 硅外延片中心点载流子浓度；
- c. 硅外延片载流子浓度测量点位置或测量图；
- d. 汞球与硅外延片接触时的结直径；
- e. 本标准编号；
- f. 检测单位、检测者和检测日期。

附加说明：

本标准由中国有色金属工业总公司提出。

本标准由上海市有色金属总公司半导体材料厂负责起草。

本标准主要起草人王才康、殷妙廷、李泽。