

# 中华人民共和国国家标准

GB/T 42905—2023



## 碳化硅外延层厚度的测试 红外反射法

Test method for thickness of silicon carbide epitaxial layer—  
Infrared reflectance method

2023-08-06 发布

2024-03-01 实施

国家市场监督管理总局 发布  
国家标准化管理委员会

## 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。

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和材料标准化技术委员会(SAC/TC 203)与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(SAC/TC 203/SC 2)共同提出并归口。

本文件起草单位：安徽长飞先进半导体有限公司、安徽芯乐半导体有限公司、河北普兴电子科技有限公司、广东天域半导体股份有限公司、南京国盛电子有限公司、浙江芯科半导体有限公司、布鲁克(北京)科技有限公司、中国科学院半导体研究所、有色金属技术经济研究院有限责任公司。

本文件主要起草人：钮应喜、刘敏、袁松、赵丽霞、丁雄杰、吴会旺、仇光寅、李素青、李京波、张会娟、赵跃、彭铁坤、雷浩东、闫果果。



# 碳化硅外延层厚度的测试 红外反射法

## 1 范围

本文件描述了采用红外反射法测试碳化硅外延层厚度的方法。

本文件适用于 n 型掺杂浓度大于  $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  的碳化硅衬底上同质掺杂浓度小于  $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$  的同质碳化硅外延层厚度的测试,测试范围为  $3 \mu\text{m} \sim 200 \mu\text{m}$ 。

## 2 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 6379.2 测量方法与结果的准确度(正确度与精密度) 第 2 部分:确定标准测量方法重复性与再现性的基本方法

GB/T 14264 半导体材料术语

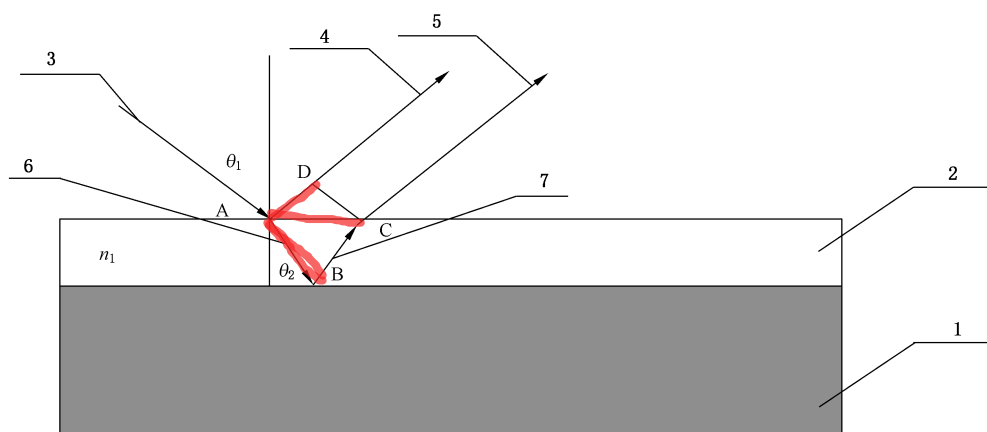
## 3 术语和定义

GB/T 14264 界定的术语和定义适用于本文件。

## 4 方法原理

碳化硅衬底与外延层光学常数的差异导致试样的反射光谱会出现连续极大极小特征谱的光学干涉现象,根据反射谱中干涉条纹的极值波数、外延层与衬底光学常数和红外光束在试样上的入射角,计算出相应的外延层厚度。碳化硅外延层的厚度检测原理示意图见图 1。





标引序号说明：

- 1 —— 碳化硅衬底；
- 2 —— 碳化硅外延层；
- 3 —— 空气到外延层的入射光；
- 4 —— 外延层表面的反射光；
- 5 —— 外延层到空气的折射光；
- 6 —— 空气到外延层的折射光；
- 7 —— 外延层和衬底界面的反射光；
- $\theta_1$  —— 入射光的入射角；
- $\theta_2$  —— 入射光的折射角。

$$\frac{2d}{\cos \theta_2} =$$

图 1 碳化硅外延层的厚度检测原理示意图

## 5 干扰因素

- 5.1 环境中水蒸气和二氧化碳气氛会形成吸收峰,对干涉光谱产生影响,进而影响测试结果,可采用高纯氮气吹扫去除水蒸气和二氧化碳的影响。
- 5.2 温度变化会导致仪器的光学强度发生漂移影响测试结果。
- 5.3 环境中若振动过大会影响光程差,进而影响测试结果。
- 5.4 样品表面粗糙度过大、缺陷多造成晶格不完整,导致反射率降低,会影响测试结果。
- 5.5 衬底和外延层之间的掺杂浓度差过小,会影响干涉条纹。

## 6 仪器设备

- 6.1 傅立叶变换红外光谱仪,仪器波数范围  $360 \text{ cm}^{-1} \sim 7\,800 \text{ cm}^{-1}$ 。
- 6.2 仪器相匹配的反射附件,入射角不大于  $30^\circ$ ,推荐入射角为  $15^\circ$ 。
- 6.3 可旋转的样品台。

## 7 样品

样品应具有良好的光学表面,不应有大面积的钝化层和大面积的晶格不完整缺陷。测试前应保持样品表面清洁,样品表面粗糙度( $R_a$ )小于  $5 \text{ nm}$ 。

## 8 测试条件

- 8.1 温度:  $(22 \pm 2)^\circ\text{C}$ 。  
8.2 相对湿度:  $(45 \pm 10)\%$ 。

## 9 试验步骤

### 9.1 仪器校准

- 9.1.1 用厚度小于  $50\ \mu\text{m}$  的聚苯乙烯膜做标样,以标样在  $1\ 601.34\ \text{cm}^{-1}$  峰为测试参考峰,按照 GB/T 6379.2 所规定的仪器波数,波长重复性应小于  $0.5\ \text{cm}^{-1}$ ,波长精度应满足  $\pm 0.5\ \text{cm}^{-1}$ 。  
9.1.2 将反射附件移入光路,打开反射附件。  
9.1.3 用至少两片已知厚度且包含待测样片厚度的校准片对仪器进行校准,调整斜率和截距,测试值和校对片标定值的偏差不宜大于  $3\%$ 。

### 9.2 测试

- 9.2.1 将样品置于测试设备上,使其在  $360\ \text{cm}^{-1} \sim 7\ 800\ \text{cm}^{-1}$  的波数范围内有明显的干涉条纹,且至少两个干涉周期。  
9.2.2 记录在  $360\ \text{cm}^{-1} \sim 7\ 800\ \text{cm}^{-1}$  的波数范围内极值的谱图。  
9.2.3 记录极大值或极小值的位置。

## 10 试验数据处理

- 10.1 根据图 1,入射光由 A 处入射,一部分光线经外延表面 AC 反射,另一部分光线经折射后在衬底和外延界面 B 处反射,由 C 处射出,与 D 处的反射光的相位差( $\delta$ )按公式(1)进行计算。

$$\delta = \left[ \frac{2\pi(L_{AB} + L_{AC})}{\lambda} \right] n_1 - \left[ \frac{2\pi L_{AD}}{\lambda} \right] + \Phi_1 - \Phi_2 \dots\dots\dots (1)$$

式中:

$\delta$  —— 反射光的相位差;

$L_{AB}$  —— A 点到 B 点的距离,单位为纳米(nm);

$L_{AC}$  —— A 点到 C 点的距离,单位为纳米(nm);

$\lambda$  —— 真空波长,单位为纳米(nm);

$n_1$  —— 外延层折射率,SiC 的折射率为 2.55;

$L_{AD}$  —— A 点到 D 点的距离,单位为纳米(nm);

$\Phi_1$  —— A 点的相位移;

$\Phi_2$  —— B 点的相位移。

- 10.2 根据图 1,A 点到 B 点的距离( $L_{AB}$ )与 A 点到 C 点间的距离( $L_{AC}$ )应满足公式(2)。

$$L_{AB} + L_{AC} = \frac{2T}{\cos\theta_2} \dots\dots\dots (2)$$

式中:

$L_{AB}$  —— A 点到 B 点的距离,单位为纳米(nm);

$L_{AC}$  —— A 点到 C 点的距离,单位为纳米(nm);

$T$  —— 外延层厚度,单位为微米( $\mu\text{m}$ );

$\theta_2$  ——入射光的折射角,单位为度( $^\circ$ )。

10.3 根据图 1, A 点到 D 点的距离( $L_{AD}$ )按公式(3)进行计算。

$$L_{AD} = 2T \tan \theta_2 \sin \theta_1 \dots\dots\dots (3)$$

式中:

$L_{AD}$  —— A 点到 D 点的距离,单位为纳米(nm);

$T$  ——外延层厚度,单位为微米( $\mu\text{m}$ );

$\theta_1$  ——入射光的入射角,单位为度( $^\circ$ );

$\theta_2$  ——入射光的折射角,单位为度( $^\circ$ )。

10.4 根据斯涅尔(Snell)定律,入射光的入射角( $\theta_1$ )和入射光的折射角( $\theta_2$ )应满足公式(4)。

$$\sin \theta_1 = n_1 \sin \theta_2 \dots\dots\dots (4)$$

式中:

$\theta_1$  ——入射光的入射角,单位为度( $^\circ$ );

$n_1$  ——外延层折射率, SiC 的折射率为 2.55;

$\theta_2$  ——入射光的折射角,单位为度( $^\circ$ )。

10.5 级数( $P$ )按公式(5)进行计算。

$$P = \frac{\delta}{2\pi} \dots\dots\dots (5)$$

式中:

$P$  ——级数;

$\delta$  ——反射光的相位差。

10.6 若能观察到干涉振幅的两个极值,则干涉条纹极值的级数按公式(6)进行计算。

$$P_i = \frac{m\lambda_1}{\lambda_1 - \lambda_i} + 0.5 \dots\dots\dots (6)$$

式中:

$P_i$  ——第  $i$  个极值所对应的级数;

$m$  —— $\lambda_1$  和  $\lambda_i$  的级数差;

$\lambda_1$  ——选定的第 1 个极值处的波长,设为参考波长,单位为纳米(nm);

$\lambda_i$  ——第  $i$  个极值处的波长,且满足  $\lambda_1 > \lambda_i$ ,单位为纳米(nm);

0.5 ——光束从空气绝缘界面反射情况,为常数。

10.7 第  $i$  个极值所对应的外延层厚度按公式(7)进行计算。

$$T_i = (P_i - 0.5) \cdot \frac{0.001\lambda_i}{\sqrt{n_1^2 - \sin^2 \theta_1}} + \frac{\Phi_1 - \Phi_2}{2\pi} \dots\dots\dots (7)$$

式中:

$T_i$  ——第  $i$  个极值所对应的外延层厚度,单位为微米( $\mu\text{m}$ );

$P_i$  ——第  $i$  个极值所对应的级数;

0.5 ——光束从空气绝缘界面反射情况,为常数;

$\lambda_i$  ——第  $i$  个极值处的波长,且满足  $\lambda_1 > \lambda_i$ ,单位为纳米(nm);

$n_1$  ——外延层折射率, SiC 的折射率为 2.55;

$\theta_1$  ——入射光的入射角,单位为度( $^\circ$ );

$\Phi_1$  ——A 点相位移;

$\Phi_2$  ——B 点相位移。

10.8 由于相移影响主要在小数点后第三位的厚度数值,当附加相位移为零时,第  $i$  个极值所对应的外延层厚度按公式(8)进行计算。

$$T_i = (P_i - 0.5) \cdot \frac{0.001\lambda_i}{\sqrt{n_1^2 - \sin^2\theta_1}} \dots\dots\dots (8)$$

式中：

$T_i$  ——第  $i$  个极值所对应的外延层厚度,单位为微米( $\mu\text{m}$ )；

$P_i$  ——第  $i$  个极值所对应的级数；

0.5 ——光束从空气绝缘界面反射情况,为常数。

$\lambda_i$  ——第  $i$  个极值处的波长,且满足  $\lambda_1 > \lambda_i$ ,单位为纳米( $\text{nm}$ )；

$n_1$  ——外延层折射率,SiC 的折射率为 2.55；

$\theta_1$  ——入射光的入射角,单位为度( $^\circ$ )。

11 精密度

取厚度分别为 6.5  $\mu\text{m}$ 、10  $\mu\text{m}$ 、55  $\mu\text{m}$ 、200  $\mu\text{m}$  的碳化硅外延片样品在 5 个实验室进行巡回测试,每个样品分别测试 3 次。单个实验室碳化硅外延层厚度测试的相对标准偏差不大于 1%。多个实验室碳化硅外延层厚度测试的相对标准偏差不大于 5%。

12 试验报告

试验报告应至少包括下列内容：

- a) 测试日期；
- b) 测试样品编号；
- c) 试样测试点位置；
- d) 所用的极大值和极小值级数( $P_i$ )；
- e) 厚度( $T_i$ )；
- f) 平均厚度值( $T$ )；
- g) 测试人员；
- h) 本文件编号。

