



中华人民共和国国家标准

GB/T XXXXX—XXXX

碳化硅外延层厚度的测试 红外反射法

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

（预审稿）

（在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上）

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 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。

本文件由全国半导体设备和材料标准化技术委员会（SAC/TC203）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/TC203/SC2）共同提出并归口。

本文件起草单位：

本文件主要起草人：

碳化硅外延层厚度的测试 红外反射法

1 范围

本文件规定了 4H-n 型重掺杂碳化硅衬底（n 型掺杂浓度 $>5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ ）上同质外延层（掺杂浓度 $5 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3} \sim 5 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ ）厚度的红外反射测试方法。

本文件适用于同质碳化硅外延层厚度的测试，测试范围为厚度 $2 \text{ }\mu\text{m} \sim 200 \text{ }\mu\text{m}$ 。

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（正确性与精密度） 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 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

折射率 index of refraction

入射角的正弦相对折射角的正弦的比率。这里的入射角和折射角是指表面法线和红外光束的夹角。对于掺杂浓度 $5 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3} \sim 5 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 碳化硅外延材料，相对空气的比值为 2.55，该值可由斯涅尔（Snell）定律求出。

4 方法原理

碳化硅衬底与外延层因掺杂浓度的不同导致两者具有不同的折射率，因此试样的反射光谱会出现反应外延层厚度信息的连续干涉条纹。当外延层表面反射的光束和衬底界面反射的光束的光程差是半波长的整数倍时，反射光谱中可以观察到极大值和极小值。

当根据反射谱中干涉条纹的极值峰位，试样的光学常数以及入射角可以计算出相应的外延层厚度。

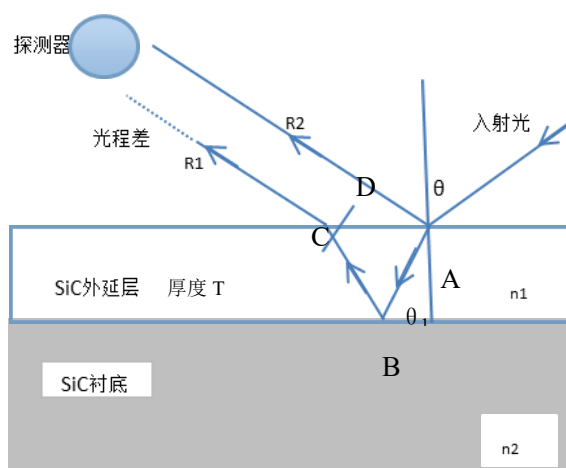


图1 4H碳化硅外延层的厚度检测原理示意图

4H碳化硅外延层的厚度检测原理如图1：入射光由A处入射，经由外延表面AC反射，同时经过折射在衬底和外延界面 B 处反射，由C处射出，和D处的反射光之间的相位差 δ 为

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

式中：

λ ——真空波长，单位为纳米（nm）；

n_1 ——外延层折射率；

Φ_1 ——A点相位移；

Φ_2 ——B 点相位移。

由图可知

$$AB+BC = \frac{2T}{\cos\theta_1} \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$AD = 2T \tan\theta_1 \sin\theta \quad \dots\dots\dots (3)$$

T——外延层厚度，单位为微米（ μm ）；

θ ——入射光的入射角，单位为度（ $^\circ$ ）；

θ_1 ——入射光的折射角，单位为度（ $^\circ$ ）；

由斯涅尔（Snell）定律得式知：

$$\sin\theta = n_1 \sin\theta_1 \quad \dots\dots\dots (4)$$

则级数P定义为

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

若能观察到干涉振幅的两个极值，则干涉条纹极值的级数计算公式为：

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

式中：

λ_1 ——选定的第一个极值处的波长，设为参考波长，单位为纳米（nm）；

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

P_i ——第i个极值所对应的级数；

m —— λ_1 和 λ_i 的级数差；

公式（7）给出了第 i 个极值所对应的外延层厚度的计算公式：

$$T_i = (P_i - 0.5) \cdot \frac{0.001 \cdot \lambda_i}{\sqrt{n_1^2 - \sin^2 \theta^2}} + \frac{\phi_1 - \phi_2}{2\pi} \dots\dots\dots (7)$$

式中：

T_i —第 i 个极值所对应的外延层厚度，单位式微米（ μm ）

$\frac{\phi_1 - \phi_2}{2\pi}$ 由于附加相位移影响主要在小数点后第三位的厚度数值（0.001 μm ），故设附加

相位移为零。因此得出

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

5 干扰因素

5.1 外延层结晶质量不高，表面不够光亮等因素可导致反射率降低或干涉条纹消失，从而影响测试结果的准确性。

5.1 掩模孔材料、孔径大小以及探测器探测到的杂散光可影响测试结果。

5.3 静电、噪音、振动及温湿度稳定性等测试环境可影响测试结果。

6 试验条件

实验室温度为 18~25℃，相对湿度<60%。

7 样品

样品表面应是高度反射的，无大面积的晶格不完整缺陷，以及除自然氧化层外不应该有钝化层。测量前试样表面应进行清洁处理，所使用的清洁处理方法不能影响到试样外延层厚度。

8 仪器设备

8.1 红外光谱仪

8.1.1 本文件选用双光束红外分光光度计或傅里叶变换红外光谱仪。

8.1.2 波长范围 200 nm-25000 nm，本法常用波长范围为 1000 nm-5500 nm。

8.1.3 波长重复性优于 ± 0.05 nm，波长准确度优于 ± 0.1 nm。

8.2 仪器附件

8.2.1 和仪器相匹配的反射附件，入射角不大于30°。

8.2.2 掩模由非反射材料制成，透光孔径不大于 10 mm。

9 试验步骤

9.1 仪器校准

9.1.1 用厚度为 300 μm-500 μm 的聚苯乙烯膜做标样，以标样的 1601.6 cm⁻¹ 或 648.9 cm⁻¹ 峰为测量参考峰，按 GB 6379.2 所确定的仪器波长重复性和精度应分别满足 6.1.3 条和 6.1.4 条的要求。

9.1.2 将反射附件置于光路中，测量100%线，其峰谷值应小于8%。

9.2 选择测试条件

9.2.1 对光栅式分光光度计，参照下列步骤选取最佳扫描速度：

- a) 选取一试样，使其光谱在1000-5500nm的范围内有明显的干涉条纹。
- b) 选择适当的掩膜孔。
- c) 放置试样到测量设备上，用可用的最慢扫描速度记录在1000-5500nm的范围内的极值的谱图。
- d) 记录极小值的位置。
- e) 分步增加扫描速度并记录每一扫描速度下极小值的位置。
- f) 所有容许的扫描速度相对最慢扫描速度所对应的极小值位置有不超过±1 nm的极小值位移变化。

9.2.2 对傅里叶变换红外光谱仪所使用的分辨率应不低于4 cm⁻¹。

9.3 测试

9.3.1 将试样置于孔眼掩模光路上以使目标测量位置对准光束。

9.3.2 通过计算极大值下面或极小值上面满刻度3%处的水平线与反射光谱相交的截距平均值，确定反射光谱中每个极值的波数，该方法减少了极值较宽时难以确定的情况。

10 试验数据处理

10.1 使用公式（9）实现极值的波数与波长的相互转换：

$$\lambda_i = \frac{10000000}{\nu_i} \dots\dots\dots(9)$$

式中：

λ_i ——第*i*个极值波长，单位为纳米（nm）；

ν_i ——第*i*个极值波数，单位为每厘米（cm⁻¹）；

用公式（1）计算得到的极值的级数，并对所得级数进行舍入处理，极大值取整数，极小值取半整数。计算出一个级数后，按波长递增级数递减的顺序求得其余的极值级数。

10.2 用公式（2）计算各个级数下的外延层的厚度，并计算厚度平均值。

11 精密度

本方法进行了多个实验室间重复性和再现性分析,通过3个实验室3台设备的循环测量,根据多个实验室的结果,对于厚度 $2\mu\text{m}$ – $200\mu\text{m}$ 的4H碳化硅外延层,多设备测量再现性的范围在0.21%~2.26%。具体分析结果参见附录A。本方法在3个实验室3台设备均进行了测试分析,每个样品重复测量3次,其中单设备重复性好于3.5%。

12 试验报告

试验报告应包括以下内容:

- a) 实验室和操作人员名称;
- b) 测试日期;
- c) 测试样品编号;
- d) 衬底导电类型;
- e) 外延层导电类型;
- f) 红外仪器的波数范围;
- g) 掩模孔径;
- h) 波数扫描速度;
- i) 试样图示测量位置;
- j) 所用的波长 λ ;
- k) 所用的极大值和极小值级数 P ;
- l) 计算出的厚度 T_i ;
- m) 平均厚度值 T 。

附录 A
(资料性)
测 厚 实 例

A.1 制备的外延试样具有的标称厚度有6.5um, 10um, 55um和200um。N型外延层沉积在N型CMP抛光衬底上。选取9点测试, 4片外延片每片测试3遍, 完成后的数据库来自3台设备总共个432测试值。

A.2 重复性(单设备): 3次重复测试得到的, 其中单设备重复性好于3.5%

A.3 再现性(多设备): 基于3台设备测试4片外延片的数据, 多设备测量再现性的范围在0.21%~2.26%。

表 A.1 重复性测试的单设备重复性

设备编号	试样			
	A-6.5	B-10	C-55	D-200
1	1.94%	0.84%	0.11%	2.24%
2	2.23%	0.91%	0.37%	3.35%
3	1.59%	0.98%	0.15%	1.26%

表 A.2 实验室间平均再现性

试样	A-6.5	B-10	C-55	D-200
均值	6.37	9.98	53.29	193
标准方差	0.12	0.09	0.11	4.37
标准方差/均值	1.88%	0.9%	0.21%	2.26%