

ICS 29.045
H 80/84



团 体 标 准

T/IAWBS 007-2018

4H 碳化硅同质外延层厚度的红外反射测量方法

Test method for thickness of 4H silicon carbide homo-epitaxial layers by
infrared reflectance

全国团体标准信息平台

2018-12-06 发布

2018-12-17 实施

中关村天合宽禁带半导体技术创新联盟 发布

目 次

前 言.....	
1 范围.....	
2 规范性引用文件.....	
3 术语和定义.....	
3.1 4H 碳化硅 4H Silicon Carbide.....	
3.2 干涉 Interference.....	
4 方法提要.....	
5 测试仪器.....	
5.1 红外光谱仪.....	
5.2 仪器附件.....	
6 干扰因素.....	
7 测试环境.....	
8 试样.....	
9 测试程序.....	
9.1 仪器校准.....	
9.2 测试条件的选择.....	
9.3 测量.....	
10 计算.....	
11 精度度.....	
12 测试报告.....	
附 录 A（资料性附录）测厚实例.....	
参考文献.....	

前 言

本标准按照 GB/T 1.1-2009 给出的规则起草。

请注意本文件中的某些内容可能涉及专利，本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本标准由中关村天合宽禁带半导体技术创新联盟归口。

本标准起草单位：中关村天合宽禁带半导体技术创新联盟、东莞市天域半导体科技有限公司、全球能源互联网研究院、瀚天天成电子科技（厦门）有限公司、中国电子科技集团公司第二研究所、西安电子科技大学、中国科学院半导体研究所。

本标准主要起草人：张新河、钮应喜、王英民、贾仁需、张峰、刘丹、陈志霞、闫果果、陆敏、郑红军、彭同华、林雪如、陈鹏、刘祎晨。

全国团体标准信息平台

4H 碳化硅同质外延层厚度的红外反射测量方法

1 范围

本标准规定了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 $5 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$ - $5 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$)厚度的红外反射测量方法。

本标准适用于2-100微米的碳化硅外延层。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅所注日期的版本适用于本文件。凡是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 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

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 4H 碳化硅 4H Silicon Carbide

碳化硅的一种常见晶体结构。

SiC 晶体所属的晶系结构包括:六角密堆积的纤锌矿结构、菱形结构和立方密堆积的闪锌矿结构,以它们英文字母的首个字符简称,则依次为 C、H、R。以常见的 3C-SiC、4H-SiC、6H-SiC 为例,3C 表示有三层 Si-C 原子层周期性排列成立方结构,4H 表示以四层 Si-C 原子层组成六角结构,6H 表示由 6 层 Si-C 为周期排列的六角结构,4H-SiC 堆垛结构见图 1 所示。

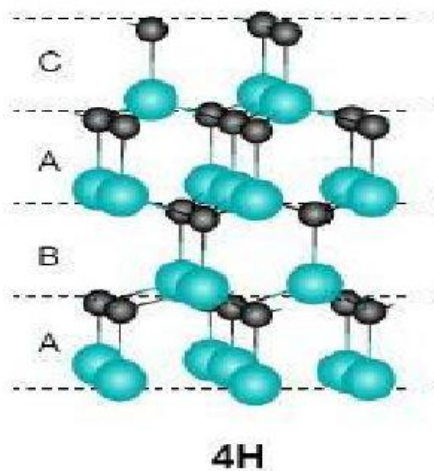


图 1 4H-SiC 堆垛结构示意图

3.2 干涉 Interference

一种光学现象。指当波长相同的两列光的光程差满足一定条件时，两光叠加使得在某些地方的光强始终相互加强，出现干涉极大值，而在某些地方的光始终相互抵消，出现干涉极小值。

4 方法提要

4H 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映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极小值。

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。

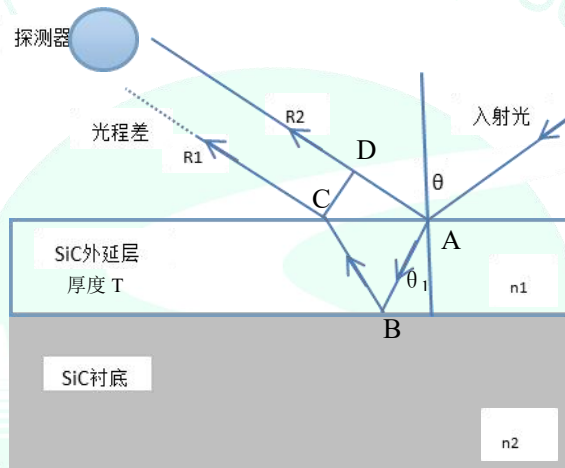


图2 4H碳化硅外延层的厚度检测原理示意图

4H 碳化硅外延层的厚度检测原理如图 2：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

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

其中

λ 为真空波长，单位为纳米 (nm)；

n_1 为外延层反射率；

Φ_1 为 A 点相位移；

Φ_2 为 B 点相位移。

由图可知

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

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

T 为外延层厚度，单位为微米 (μm)；

θ 为入射光的入射角，单位为度 ($^\circ$)；

θ_1 为入射光的折射角，单位为度 ($^\circ$)；

由斯涅尔(Snell)定律得式知

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

则级数 P 定义为

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

若能观察到干涉振幅的两个极值，则干涉条纹极值的级数的计算公式为：

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

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：

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

式中：

T_i ——第 i 个极值所对应的外延层厚度，单位为微米 (μm)；

n_1 ——4H 碳化硅外延层的折射率 ($n_1=2.55$)；

$$\frac{\phi_1 - \phi_2}{2\pi}$$

由于附加相位移影响主要在小数点后第三位的厚度数值 ($0.001\mu\text{m}$)，故设附加相位移为零。因此得出

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

5 测试仪器

5.1 红外光谱仪

5.1.1 本标准选用双光束红外分光光度计或傅里叶变换红外光谱仪。

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

5.1.3 波长重复性优于 ± 0.05 nm。

5.1.4 波长准确度优于 ± 0.1 nm。

5.2 仪器附件

5.2.1 和仪器相匹配的反射附件，入射角不大于 30° 。

5.2.2 掩模由非反射材料制成，透光孔径不大于 10 mm。

6 干扰因素

6.1 外延层结晶质量不高，表面不够光滑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。

6.2 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。

6.3 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。

7 测试环境

7.1 实验室温度：18~25℃；

7.2 相对湿度<60%；

7.3 局部洁净环境，建议优于万级无尘室环境；

7.4 光学平台。

8 试样

试样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。碳化硅外延片应用无水乙醇浸泡并使用超声波清洗机清洗，确保外延片表面清洁。

9 测试程序

9.1 仪器校准

9.1.1 用厚度为 300-500 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 7.1.3 条和 7.1.4 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 测试条件的选择

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。

9.2.1.1 选取一试样，使其光谱在 1000-5500 nm 的范围内有明显的干涉条纹。

9.2.1.2 选择适当的掩膜孔。

9.2.1.3 放置试样到测量设备上，用可用的最慢扫描速度记录在 1000-5500 nm 的范围内的极值的谱图。

9.2.1.4 记录极小值的位置。

9.2.1.5 分步增加扫描速度并记录每一扫描速度下极小值的位置。

9.2.1.6 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 测量

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 峰值振幅与噪音振幅比小于 5，则不能用于计算外延层厚度。

9.3.3 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 计算

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 精度度

根据多个实验室的结果，对于厚度2-100 μm 的4H 碳化硅外延层，本测量方法的测量精度为 $0.018T \pm 0.25 \mu\text{m}$ ， T 为外延层的平均厚度，单位为微米。

12 测试报告

测试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

(资料性附录)

测厚实例

A.1 计算步骤

按图 A.1 所示典型的 n/n⁺-4H-SiC 外延片样品反射光谱图计算外延层厚度。反射附件的入射角 $\theta=5^\circ$ 。这里以第2个极值处的厚度计算为例，其他极值处的厚度计算以相同方法获得。

A.1.1 选定参考波长：设 $\lambda_1 = 2303 \text{ nm}$ ；

A.1.2 计算其他极值处的外延层厚度：

从图A.1可以得出： $\lambda_2 = 2209.8 \text{ nm}$ ； $m = 1$ ；

将以上数据带入公式（1），得： $P = 25.2$ ；取 $P = 25$ ；

将数据带入公式（2），得： $T = 10.62 \text{ }\mu\text{m}$ 。

A.2 计算结果

将样品厚度计算结果列于表A.1中：

表 A.1

i	λ_i/nm	P_i	$T_i/\mu\text{m}$
1	2303	-	-
2	2209.8	25	10.62
3	2125.8	26	10.64
4	2048.4	27	10.65
5	1975.8	28	10.66
6	1907.6	29	10.67
平均值	-	-	10.65

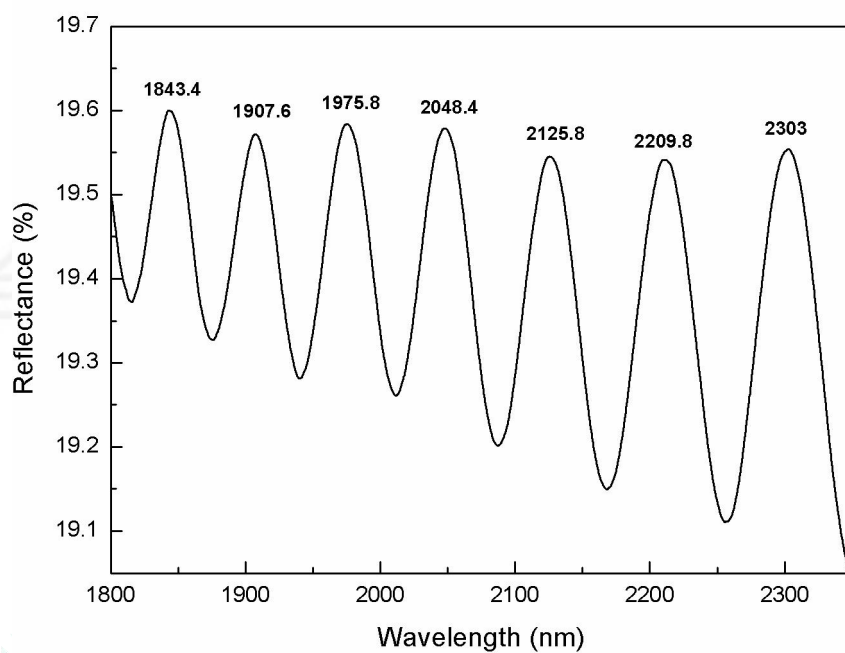
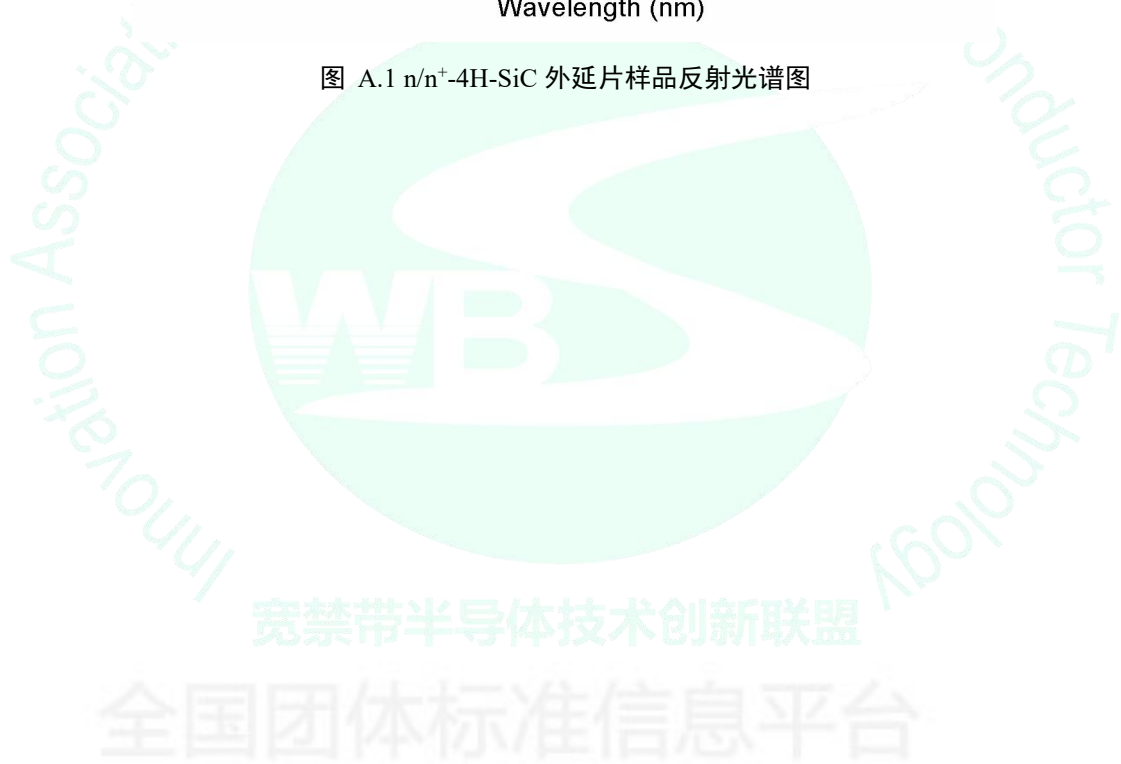


图 A.1 n/n^+ -4H-SiC 外延片样品反射光谱图



参考文献

1. GB/T 14847-2010 重掺杂衬底上轻掺杂硅外延层厚度的红外反射测量方法 (Test method for thickness of lightly doped silicon epitaxial layers on heavily doped silicon substrates by infrared reflectance)

