

ICS 77.040.01

H 17

T

中关村天合宽禁带半导体技术创新联盟团体标准

T/IAWBS XXX-XXXX

代替 T/IAWBS XXX-XXXX

4H 碳化硅同质外延层厚度的红外反 射测量方法

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

(草案)

(根据不同阶段填写草案、征求意见稿、评审稿或报批稿)

XXX-XX-XX 发布

XXX-XX-XX 实施

中关村天合宽禁带半导体技术创新联盟

标准化委员会

发布

目 录

前 言	II
引 言	III
1. 范围.....	4
2. 规范性引用文件.....	4
3. 术语与定义.....	4
4. 测试方法原理.....	5
5. 干扰因素.....	6
6. 试样要求.....	6
7. 测量仪器及环境.....	6
7.1 红外光谱仪.....	6
7.1.1 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。	6
7.2 仪器附件.....	6
8. 测量步骤.....	7
8.1 仪器校准.....	7
8.2 选择测量条件.....	7
9 计算.....	7
10. 测量精度与偏差.....	8
11. 试验报告.....	8
试验报告应包括以下内容：	8
附录 A	9

前 言

本标准依据 GB/T 20004 制定，并按照 GB/T 1.1-2009 给出的规则起草。

本标准由中关村天合宽禁带半导体技术创新联盟标准化委员会归口。

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。

引 言

碳化硅外延层厚度是决定功率器件性能指标的重要因素，也是一个重要的材料验收参数。但是到目前为止，还没有碳化硅外延层厚度的测试方法标准。

为了满足我国碳化硅行业上下游的需求，结合碳化硅外延片特有的性质编制了本标准。

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。

本标准适用于同质的 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。

3. 术语与定义

下列属于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 为周期性排列的六角结构，4H-SiC 堆垛结构见图 1 所示。

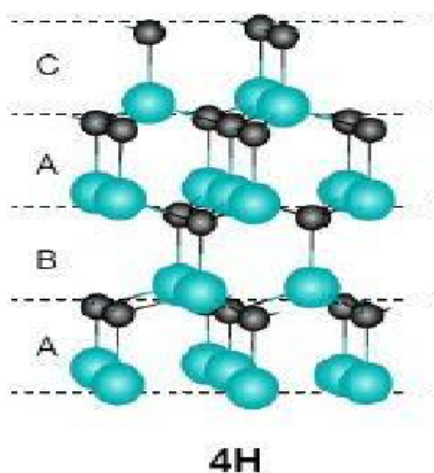


图2 4H-SiC堆垛结构示意图

3.1 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. 测试方法原理

4.1 4H 碳化硅外延层的厚度检测原理

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应外延层厚度信息的连续干涉条纹。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。如图2

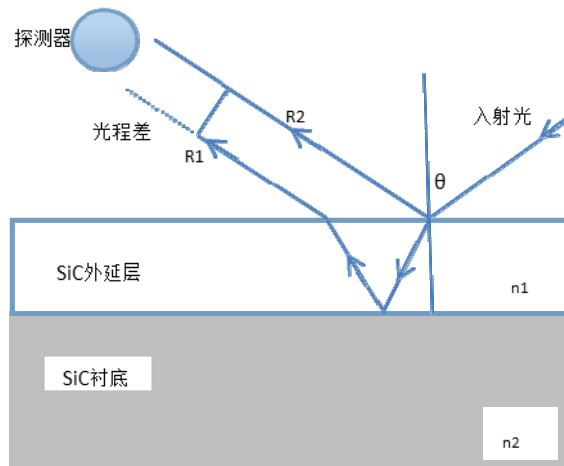


图2 4H碳化硅外延层的厚度检测原理示意图

由于附加相移影响主要在小数点后第三位的厚度数值（0.001 μm ），故假设附加相移为零。

公式（1）给出了干涉条纹极值的级数的计算公式：

$$P_i = \frac{m\lambda_1}{\lambda_1 - \lambda_i} + 0.5 \dots\dots\dots(1)$$

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（2）给出了第 i 个极值所对应的外延层厚度的计算公式：

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

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 ($n_1=2.55$)；

θ ——入射光的入射角，单位为度 ($^\circ$)；

本方法在一定的级别的洁净环境中进行，建议优于万级无尘室环境。

注：本标准涉及的方法通常选用波长 (1500-25000) nm 的平行光光源。

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。

5.2 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。

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. 试样要求

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。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。

7. 测量仪器及环境

7.1 红外光谱仪

7.1.1 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。

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

7.1.3 波长重复性优于 ± 0.05 nm。

7.1.4 波长准确度优于 ± 0.1 nm。

7.2 仪器附件

7.2.1 和仪器相匹配的反射附件，入射角不大于 30° 。

7.2.2 掩模由非反射材料制成，透光孔径不大于 10 mm。

7.2.3 实验室温度为 $18\sim 25^\circ\text{C}$ ，相对湿度 $< 60\%$ 。

8. 测量步骤

8.1 仪器校准

8.1.1 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。

8.1.2 将反射附件置于光路中，测量100%线，其峰谷值应小于8%。

8.2 测量条件的选择

8.2.1 对光栅式分光光度计，参照下列步骤选取最佳扫描速度。

8.2.1.1 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。

8.2.1.2 选择适当的掩膜孔。

8.2.1.3 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。

8.2.1.4 记录极小值的位置。

8.2.1.5 分步增加扫描速度并记录每一扫描速度下极小值的位置。

8.2.1.6 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。

8.2.2 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} 。

8.3 测量

8.3.1 将试样置于孔眼掩模光路上以使目标测量位置对准光束。

8.3.2 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。

8.3.3 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。

9 计算

9.1 使用公式（3）实现极值的波数与波长的相互转换：

$$\lambda_i = \frac{10000000}{\nu_i} \dots\dots\dots(3)$$

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。

9.2 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。

10. 测量精度与偏差

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密程度为 $0.018T \pm 0.25 \mu\text{m}$ ，*T* 为外延层的平均厚度，单位为微米。

11. 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

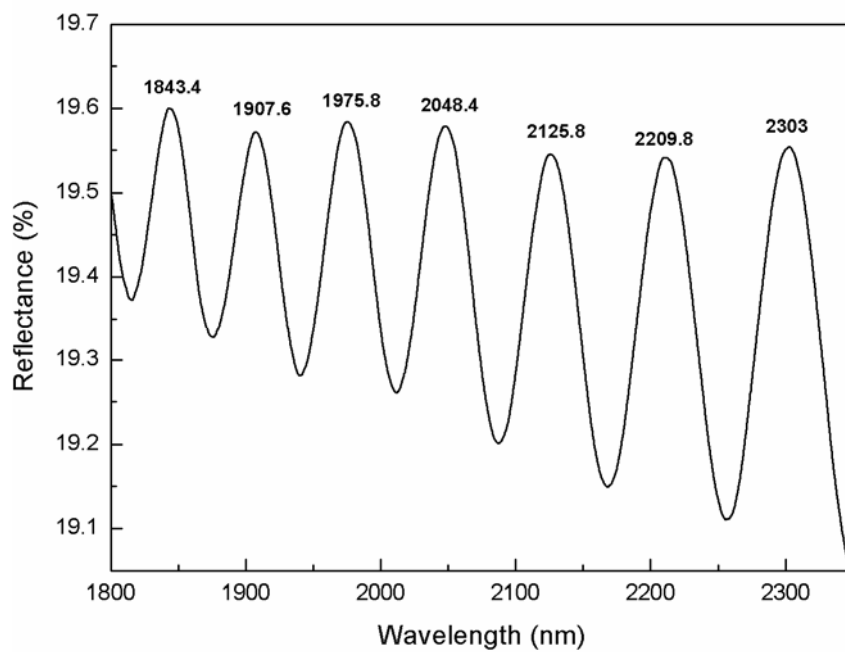


图 A.1 n/n⁺-4H-SiC外延片样品反射光谱图