ICS 77.040

CCS H21

GB/T XXXXX—XXXX



中华人民共和国国家标准

XXXX - XX - XX发布

XXXX - XX - XX实施



半导体单晶材料透过率测量方法

Test method for transmittance of semiconductor single crystal materials

（预审稿）

1. 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/TC 203）和全国半导体设备和材料标准化技术委员会材料分会（SAC/TC 203/SC2）共同提出并归口。

本文件起草单位：中国电子科技集团公司第四十六研究所等。

本文件主要起草人：李静等。

半导体单晶材料透过率测量方法

1范围

本文件测试半导体单晶材料在0.2μm~300μm范围内的透过率。

本文件适用于半导体单晶材料透过率的测定。

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 14264半导体材料术语

GB/T 13962 光学仪器术语

GB/T 14144硅晶体中间隙氧含量径向变化测量方法

GB/T 11073硅片径向电阻率变化的测量方法

GJB29199A 红外光学用锗规范

FL6134 GJB1926 砷化镓单晶材料规范

SJ 21447 CdSe-N-T01型红外固体激光器用硒化镉单晶材料规范

JJG 178 紫外、可见、近红外分光光度计检定规程

JJF1319 傅里叶变换红外光谱仪校准规范

FL6134 Q/UK 20249 FZSi75NP3-BP01型硅片详细规范

Q/HIT 30005 VB60-ZGP型磷锗锌晶体材料详细规范

Q/UK 20272 PVT CdS T/N1-BP01型硫化镉单晶抛光片详细规范

3术语和定义

GB/T 14264和GB/T 13962界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

光轴面optical axis plane

与晶体光轴垂直的平面。

3.2

透过率 transmittance

光线通过样品时透过的光通量与起始光通量的百分比。

3.3

红外光区infrared region

红外光是一种波长介于可见光和微波区之间的电磁波谱。红外光的波长范围为0.78μm~300μm,分为三个区域：近红外区、中红外区、远红外区。

注1：近红外区near infrared region

波长范围为0.78 μm~2.5μm，波数为12820cm-1~4000cm-1。

注2：中红外区 middle infrared region

 波长范围为2.5μm~25μm，波数为4000cm-1~400cm-1。

注3：远红外区 far infrared region

 波长范围为25μm~300μm，波数为400cm-1~33cm-1。

3.4

可见光区[visible region](https://www.baidu.com/link?url=Sgw0cf8lyTmDQ0YLppSPiVK1z8_59P70MtdZNolN4PcLdTL2J-WS1GFqeMR3xobApGOiASR3P9ww4WRnJ9sU04BEI3_m-0NgID2oDGiBTnrhXOmKYGYd4_hpFuDDOSd7&wd=&eqid=f78ff588001f299200000002616d81e6" \t "_blank)

 波长范围为0.4μm~0.78μm。

3.5

紫外光区[ultraviolet region](http://www.baidu.com/link?url=gdVSLaKeZHvr9Rlv_xoFJOK3iXNDu1LCmvcyI8XtZevxcqQ4JKfXesqjFiHpiQtYUrDph-39P_NiqEZycXGUDOMw8CR2qcUuYljf2PWYuJXr72jzoCPzaHN7FNpAZ-K8" \t "_blank)

分三个区域：近紫外（0.3μm~0.4μm）；中紫外（0.2μm~0.3μm）；真空紫外（0.01μm~0.2μm）。常规分光光度计的紫外波长范围为0.2μm~0.4μm。

3.6

透过率均匀性transmittance homogeneity

样品一定区域内透过率分布情况，单一测试区域尺度为毫米量级到微米量级，根据实验测试结果由相关公式计算得出透过率均匀性数值。

3.8

背景光谱 background spectrum

在红外光谱仪中，无样品存在的情况下使用单光束测量获得的谱线，

注：通常包括空气或吹扫氮气等信息。

3.9

样品光谱 sample spectrum

用测试样品的光谱扣除背景光谱后获得的谱线。

注：在用双光束仪器，将样品放置于样品光路，参比光路空着时获得；在用傅立叶变换红外光谱仪及单光束光谱仪时，用测试样品的光谱扣除背景光谱后获得。

4 方法原理

测试半导体单晶材料在0.2μm~300μm范围内的透过率，由于材料的本征吸收，表面散射、以及其内部存在的晶格点阵缺陷、自由载流子对入射光的吸收，导致入射光能量出现损失，光强度降低。采集对应波长光强，得到测试样品谱图，扣除背景光谱后得到测试样品的透过率谱图。

5干扰因素

5.1具有光学各向异性的双折射晶体，非偏振入射光通过双折射晶体时会发生偏光化，入射光会分解为两种振动方向互相垂直且传播速度不等的偏光。可以用偏振片减少透过样品的光通量损失，提高透过率测试数值的准确性。

5.2红外光谱仪光源是聚焦光，由于折射，样品表面反射等因素，会影响透过率测试精度。可以用平行光附件减少测试设备聚焦光源带来得测试误差，提高样品透过率的测试精度。

5.3样品厚度越厚折射损失越大，影响其透过率测试的准确性，本文件规定测试样品厚度不超过10mm。

5.4样品表面平行度，会影响检测器收集样品透过信号的准确性。

5.5样品表面粗糙度会造成散射，影响其透过率测试的准确性，通过降低样品表面粗糙度可以减少散射损失。

5.6测试设备本身波长（或波数）的示值误差和重复性、透过比重复性等因素，都会影响透过率测试数值的准确性。每年必须依据JJF1319和JJG178校对测试仪器的波数或波长准确度、重复性和透过比重复性等指标。

5.7在测试过程中，需监测水蒸汽（3600cm-1~4000cm-1）和二氧化碳（2300 cm-1~2400cm-1）吸收带，保持测试环境干燥。如果测试环境湿度超过了仪器的使用要求，可以用氮气或干燥空气对仪器光路进行充分吹扫,降低仪器内部的相对湿度。

6 试验条件

6.1测试环境温度为24℃±4℃，相对湿度不大于60%

6.2测试实验室应清洁、无机械冲击、振动、电磁干扰、腐蚀性气体。

7仪器设备

7.1红外光谱仪

光谱范围为400 cm-1~4000cm-1（2.5μm ~25μm），仪器分辨率为4 cm-1。

7.2 紫外、可见、近红外分光光度计

光谱范围为4000 cm-1~50000cm-1（0.2μm ~2.5μm）。

7.3 量具设备

采用精度优于0.01mm的量具测量待测样品尺寸和厚度。

7.4 样品架

如果测试样品较小，则将它安放在一个有小孔的架子上以阻止任何红外光线从样品的旁路通过。样品架应垂直或基本垂直于红外光束的轴线方向。

8样品

8.1制备光学窗口、光学透镜、探测器的晶片样品

8.1.1测试样品厚度一般不超过10mm，厚度差应不大于0.01mm；晶片尺寸大小应满足测试设备样品架规格要求。

8.1.2测试样品均需双面机械抛光，制备光学窗口、光学透镜的晶片表面粗糙度一般应不大于10nm；制备探测器的晶片表面粗糙度一般应不大于1nm，两面平行度偏差应不大于±0.03mm，测试表面洁净。

8.2制备激光器的晶柱样品

8.2.1测试样品厚度一般不超过10mm，整个样品厚度差应不大于0.01mm。样品尺寸大小应满足测试设备样品架规格要求，双面需机械抛光，表面粗糙度一般应不大于1nm，测试表面洁净。

8.2.2通光面不平行度视实际产品而定，一般应不大于10″。

8.3透过率均匀性测量点选取方案

8.3.1根据晶片样品的实际用途，从下面三种选点方案中确定一种方案来测量晶片样品透过率均匀性，把晶片样品放在样品微动台装置上，根据样品大小调整光阑孔径。

8.3.1.1点扫描方案

如图1所示，在测试样品上选取五个测量点，一个中心点和四个边缘点。中心点位置选在任意两条至少成45°相交的直径交点上，偏离试样中心不大于1.0mm。四个边缘点的位置，分别选在两条相互垂直的直径上，从距各边缘4.0mm第一点起,其中边缘点1和点3所在直径与主参考面垂直平分线的夹角为30°。



图1 晶片样品5点测试选点位置示意图

8.3.1.2 线扫描方案

计算机自动控制大尺寸微动台装置，移动精度为0.1mm，按照测试区域精确调整测量位置，实现直径50mm—300mm晶片样品上线扫描测试。根据测试样品直径大小选取不同数目的测量点（一个中心点和多个等间距点），如图2所示。中心点的位置，选在任意两条至少成45°相交的直径交点上，偏离测试样品中心不大于1.0mm。各等间距点的位置，选在与主参考面平行无副参考面一侧的半径上，从距边缘4.0mm的第一点起，点间距可以分别设置为1.0mm或者2.0mm,依次测量各点至距测试样品中心小于0.25mm，不能再测量为止。



图2 晶片样品线扫描测量选点位置示意图

8.3.1.3 面扫描方案

从距样品边缘4.0mm的第一点起，以固定点距6mm和线距10mm进行全晶片扫描。测试点数以晶片尺寸和均匀性精度要求来确定。

图3 晶片样品面扫描测量选点位置示意图

8.3.2 晶柱样品

保证测试光斑不叠加的情况下，根据样品大小调整样品光阑孔径。测量点取中心点和距中心H/3的四个点，其中H为晶柱样品长方形短边测试面的长度。以中心点为原点（0,0），其余四点的坐标位置分别为（0，H/3）、（-H/3,0）、（0，-H/3）、(H/3,0)，选点位置示意图见图3所示。如果样品尺寸太小，测试光斑有叠加情况，需要根据实际情况调整测试点数。



图4 晶柱样品选点位置示意图

9 试验步骤

9.1开机稳定半小时以后，设置仪器的分辨率、波数或波长范围、扫描次数等测试参数。

9.2测量仪器100%基线的噪声水平。对双光束仪器，在样品及参比光路都空着的情况下记录透过光谱。对单光束仪器，在样品光路空着的情况下先后两次记录的光谱之比获得透过光谱。画出测试波长范围内透过光谱的100%基线，如果在这个范围内基线要求没有达到100±0.5%，则要修改测试参数满足基线要求，否则对仪器要进行调整或维修以达到此标准。

9.3检查红外光谱仪中刻度的线性度，测试厚度为2 mm的双面抛光本征区熔硅单晶片在1600 cm-1～2000 cm-1 波数范围内扣除空气背景的样品光谱图，在此波数范围内透光率应为53.8%±2%。

9.4 对于单光束仪器，需要在仪器光路空着时，测试仪器的背景光谱。将测试样品放入样品室，保证仪器光束通过样品的中心位置，然后测试样品光谱；具有光学各向异性的双折射晶体，测试时让仪器入射光垂直于被测样品的光轴面。

9.5在测试样品的同一位置重复测试三次，取透过率测试结果的平均值，保留4位有效数位。

9.6透过率均匀性测试，根据8.3确定一种选点方式，每个测量点按照9试验步骤的测试过程进行测量，并记录。

10 测量结果计算

10.1 透过率计算见公式（1）

………………………（1）

式中：

T-透过率；

I-透过光辐射强度，W.sr-1;

I0-入射光辐射强度，W.sr-1；

κ-测试样品的吸收系数，mm-1;

L-测试样品的厚度，mm；

r-反射率。

10.2透过率均匀性变化（ROV）

10.2.1依据GB/T 14144和GB/T 11073, 晶片样品点扫描方案和晶柱样品扫描方案的透过率均匀性变化（ROV）计算见公式（2）。

  ………………………………………………(2)

式中：

——四个边缘点透过率的平均值;

To——中心点透过率数值。

10.2.2晶片样品线扫描方案透过率均匀性变化（ROV）计算见公式（3）。

 …………………………………………….(3)

式中：

Tmax——测得的最大透过率数值;

Tmin——测得的最小透过率数值;

To——中心点透过率数值。

10.2.3晶片样品面扫描方案透过率均匀性变化（ROV）计算见公式（4）。

 ……………… ………(4)

式中：

——所有点透过率的平均值;

Ti——每次测量透过率的结果;

n——采样点的总数；

# 11试验报告

试验报告应包括以下内容：

* 1. 试验样品名称、编号和数量；
	2. 试验样品类型、厚度及测试区域大小；
	3. 试验环境条件；
	4. 试验设备信息；
	5. 测试透过率不均匀性的选点方案；
	6. 透过率或透过率不均匀性测试结果；
	7. 本文件编号；
	8. 测试者；
	9. 测试日期。