



中华人民共和国国家标准

GB/T XXXXX—XXXX

半导体单晶材料透过率测试方法

Test method for transmittance of semiconductor single crystal materials

(讨论稿)

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会 发布

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

本文件主要起草人：

半导体单晶材料透过率测试方法

1 范围

本文件利用红外光谱仪、紫外可见近红外分光光度计测量半导体单晶材料的透过率。
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 21186 傅里叶变换红外光谱仪
- SJ20387 红外探测器用蓝宝石窗口性能试验方法
- 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

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 $0.78\mu\text{m}\sim 300\mu\text{m}$ ，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 $0.78\mu\text{m}\sim 2.5\mu\text{m}$ ，波数为 $12820\text{cm}^{-1}\sim 4000\text{cm}^{-1}$ 。

注2：中红外区 middle infrared region

波长范围为 $2.5\mu\text{m}\sim 25\mu\text{m}$ ，波数为 $4000\text{cm}^{-1}\sim 400\text{cm}^{-1}$ 。

注3：远红外区 far infrared region

波长范围为 $25\mu\text{m}\sim 300\mu\text{m}$ ，波数为 $400\text{cm}^{-1}\sim 33\text{cm}^{-1}$ 。

3.4 可见光区 visible region

波长范围为 $0.4\mu\text{m}\sim 0.78\mu\text{m}$ ，即波长范围为 $400\text{nm}\sim 780\text{nm}$ 。

3.5 紫外光区 ultraviolet region

分三个区域：近紫外（ $0.3\mu\text{m}\sim 0.4\mu\text{m}$ ）；中紫外（ $0.2\mu\text{m}\sim 0.3\mu\text{m}$ ）；真空紫外（ $0.01\mu\text{m}\sim 0.2\mu\text{m}$ ）。常规分光光度计的紫外波长范围为 $0.2\mu\text{m}\sim 0.4\mu\text{m}$ ，即波长范围为 $200\text{nm}\sim 400\text{nm}$ 。

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

测试样品的光谱。

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

当一定频率的红外光、可见光、紫外光通过半导体单晶时，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，入射光透过样品后的光通量与入射初始光通量的百分比来表征透过率。

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。在仪器光路没有配置偏振片减偏的情况下，会造成透过样品的光通量发生损失，影响透过率测试数值的准确性。

5.2 测试设备本身波长（或波数）的示值误差和重复性、透射比重复性等因素，都会影响透过率测试数值的准确性。平行光附件可以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 朗伯-比耳定律是光吸收的基本定律，适用于所有电磁辐射和所有吸光物质；当光线通过一定厚度的半导体材料时，产生吸收和折射损失会使透射光强度衰减，半导体材料的厚度因素会影响其透过率数值。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 样品表面粗糙会造成很厉害的散射，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。

6 试验条件

6.1 测试环境温度为 $24^{\circ}\text{C}\pm 4^{\circ}\text{C}$ ，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

7.1.1 光谱范围为 $400\text{ cm}^{-1}\sim 4000\text{ cm}^{-1}$ ($2.5\mu\text{m}\sim 25\mu\text{m}$)，透射比重复性应不大于 0.5%，仪器分辨率为 4 cm^{-1} 。

7.1.2 依据 GB/T 21186 规定波数准确度和波数重复性，对于优于 0.5 cm^{-1} （含 0.5 cm^{-1} ）分辨率的仪器应小于设定分辨率的 1/2；对低于 0.5 cm^{-1} 分辨率的仪器应不超过 $\pm 1\text{ cm}^{-1}$ 。

7.2 紫外、可见、近红外分光光度计

7.2.1 光谱范围为 $4000\text{ cm}^{-1}\sim 50000\text{ cm}^{-1}$ ($0.2\mu\text{m}\sim 2.5\mu\text{m}$)，透射比重复性应不大于 0.5%。

7.2.2 波长准确度和重复性，在不同波段有所不同，准确度一般为 $\pm 0.3\text{ nm}\sim \pm 2.0\text{ nm}$ ，重复性一般为 $\pm 0.1\text{ nm}\sim \pm 2.0\text{ nm}$ 。

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 晶片样品

8.1.1 晶片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。

7.1.2 晶片样品参考SJ20387，需双面机械抛光，表面粗糙度一般应不大于 $10\mu\text{m}$ ；两面平行度偏差应不大于 $\pm 0.03\text{mm}$ ，测试表面洁净。

8.2 晶块样品

8.2.1 晶块样品参考SJ 21447，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，需双面机械抛光，表面粗糙度一般应不大于 $0.001\mu\text{m}$ ，测试表面洁净。

8.2.2 透光面不平行度视实际产品而定，一般应不大于 $20''$ 。

8.3 透过率均匀性测量点选取方案

8.3.1 晶片样品的测试点的数量和选点方式，应根据测试样品的尺寸和均匀性精度要求来确定。把晶片样品放在样品微动台装置上，根据样品大小调整样品光阑孔径，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。

8.3.1.1 五点方案

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，距各边缘 $10.0\text{mm}\pm 1.0\text{mm}$ ，其中边缘点1和店所在直径与主参考面垂直平分线的夹角为 30° 。

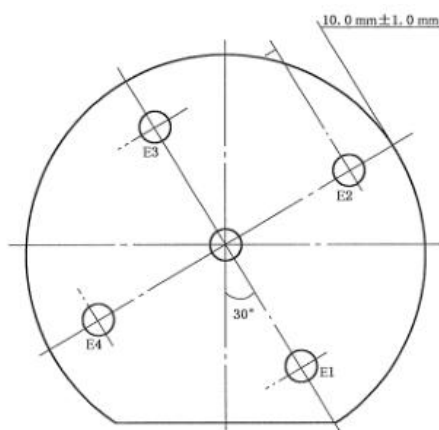


图1 晶片样品5点测试选点位置示意图

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，间距1.0mm、2.0mm，依次到距测试样品中心小于0.25mm，不能再选取为

止。

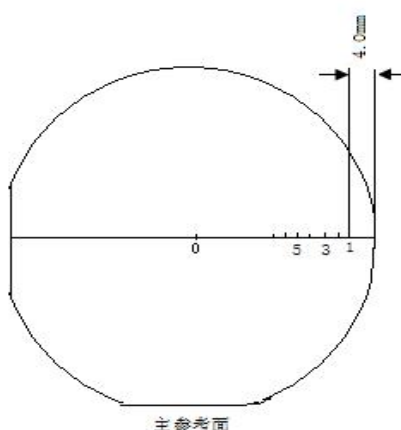


图2 晶片样品线扫描测量选点位置示意图

8.3.1.3 面扫描方案

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

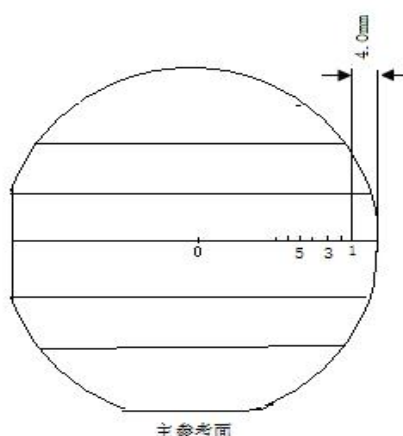


图3 晶片样品面扫描测量选点位置示意图

8.3.2 晶块样品

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 $L/3$ 的四个点，其中 L 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 $(0, L/3)$ 、 $(-L/3, 0)$ 、 $(0, -L/3)$ 、 $(L/3, 0)$ ，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。

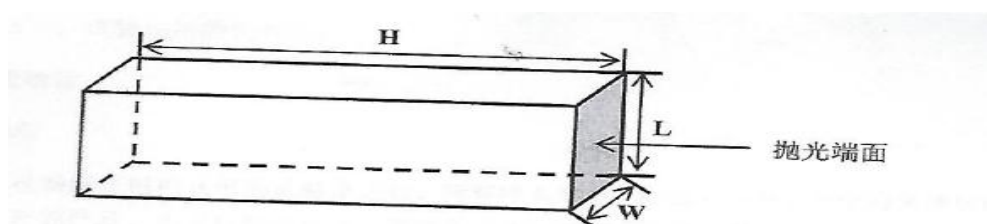


图4 晶块样品选点位置示意图

9 试验步骤

9.1 仪器检查

9.1.1 通过测量确定 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射光谱。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射光谱。画出测试波长范围内透射光谱的 100%基线，如果在这个范围内基线要求没有达到 $100\pm 0.5\%$ ，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。

9.1.2 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 $1600\text{ cm}^{-1}\sim 2000\text{ cm}^{-1}$ 波数范围内扣除空气背景的背景样品光谱图，在此波数范围内透光率应为 $53.8\%\pm 2\%$ 。

9.1.3 每年必须由计量单位分别依据 JJF1319 和 JJG 178 校对测试仪器的波数或波长准确度、重复性和透射比重复性等指标。

9.1.4 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。

9.2 测试过程

9.2.1 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。

9.2.2 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。

9.2.3 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。

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

9.3 透过率均匀性测试

根据 8.3 确定一种选点方式，每点按照 9.2 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)

$$T = \frac{I}{I_0} = (1-r)^2 e^{-\kappa l} \times 100\% \dots\dots\dots (1)$$

式中：

T -透过率，%；

I -透射光辐射强度，cd；

I_0 -入射光辐射强度，cd；

κ -测试样品的吸收系数， mm^{-1} ；

l -测试样品的厚度，mm；

r -反射系数。

10.2 透过率均匀性计算，见公式 (2) 和公式 (3)

$$\bar{T} = \frac{\sum_{i=1}^n T_i}{n} \dots\dots\dots (2)$$

$$RSD = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (T_i - \bar{T})^2}{n-1}}}{\bar{T}} \times 100\% \dots\dots\dots (3)$$

式中：

\bar{T} ——透过率的平均值；

T_i ——每次测量透过率的结果；

n ——采样点的总数；

RSD——相对标准偏差，%。

11 精密度

12 试验报告

试验报告应包括以下内容：

- a) 试验样品名称、编号和数量；
 - b) 试验样品类型、厚度及测试区域大小；
 - c) 试验环境条件；
 - d) 试验设备信息；
 - e) 测试透过率不均匀性的选点方案；
 - f) 透过率或透过率不均匀性测试结果；
 - g) 本文件编号；
 - h) 测试者；
 - i) 测试日期。
-