

团 体 标 准

T/CASAS 054—2025

氮化铝抛光片吸收系数测试方法

Test method for the absorption coefficient of AlN polished wafers

2025 - 05 - 20 发布

2025 - 05 - 20 实施

第三代半导体产业技术创新战略联盟 发布

目 次

前言..... II

引言..... III

1 范围..... 1

2 规范性引用文件..... 1

3 术语和定义..... 1

4 原理..... 2

5 测试条件..... 2

6 仪器设备..... 3

 6.1 光源..... 3

 6.2 分光系统..... 3

 6.3 光束整形系统..... 3

 6.4 积分球..... 3

 6.5 光探测器..... 3

 6.6 厚度测量仪器..... 3

7 样品..... 3

8 实验步骤..... 3

 8.1 选取测试点位..... 3

 8.2 厚度测试..... 4

 8.3 透射率测试..... 4

 8.4 吸收系数计算..... 4

9 实验数据处理..... 4

10 实验报告..... 4

附录 A（资料性） 吸收系数测试记录表 6

附录 B（资料性） 氮化铝样品透射谱参考图 7

附录 C（资料性） 氮化铝样品吸收系数参考图 8

参考文献..... 9

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。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由第三代半导体产业技术创新战略联盟（CASA）制定发布，版权归CASA所有，未经CASA许可不得随意复制；其他机构采用本文件的技术内容制定标准需经CASA允许；任何单位或个人引用本文件的内容需指明本文件的标准号。

本文件主要起草单位：中国科学院半导体研究所、奥趋光电技术(杭州)有限公司、北京大学、中国电子科技集团公司第四十六研究所、山东大学、山西中科潞安紫外光电科技有限公司、山西中科潞安半导体技术研究院有限公司、北京大学东莞光电研究院、山东力冠微电子装备有限公司、北京第三代半导体产业技术创新战略联盟。

本文件主要起草人：刘志彬、吴亮、于彤军、程红娟、张雷、徐广源、张童、王新强、宋德鹏、高伟。

引 言

氮化铝(AlN)是直接带隙半导体,具有超宽禁带宽度(6.2 eV)、高热导率[3.2 W/(cm K)]、高表面声波速率($V_L=10.13\times 10^5$ cm/s, $V_T=6.3\times 10^5$ cm/s)、高击穿场强(15.4 MV/cm)和稳定的物理化学性能,是紫外/深紫外发光材料的理想衬底,基于此衬底制作的 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 材料可以实现200 nm~365 nm波段内的连续发光;此外,AlN材料可以制作耐高压、耐高温、抗辐射和高频的电子器件。所以,AlN晶体在深紫外发光器件、高功率微波器件、抗辐照器件等领域具有巨大的市场潜力。

AlN单晶理论上对波长大于200 nm的光几乎完全透过,晶体成透明色。但是,目前生长出的AlN单晶多呈棕色或暗棕色,对深紫外波段(200 nm~300 nm)的光有较强的吸收,从而影响基于AlN单晶衬底的深紫外发光器件性能。这些吸收主要由AlN单晶缺陷所致,包括碳、氧、硅杂质,以及各种点缺陷。同时,这些缺陷会成为深能级施主或受主使得由AlN衬底制备的光电子器件性能下降。

透射率/吸收系数是AlN晶片衬底非常重要的特征参数,一定程度上代表了作为发光器件衬底材料的质量。因此,AlN晶片透射率/吸收系数,特别是特定波长范围的透射率/吸收系数,对AlN衬底晶片的应用具有重要意义。

氮化铝抛光片光吸收系数测试方法

1 范围

本文件描述了氮化铝（AlN）抛光片光吸收系数的测试方法，包括原理、仪器设备、测试条件、样品、测试步骤、结果计算和测试报告。

本文件适用于氮化铝抛光片的光学质量控制和评估。氮化铝外延片可参照使用。

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 32267-2015 分析仪器性能测定术语

3 术语和定义

GB/T 14264、GB/T 32267-2015界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

吸收系数 absorption coefficient

表征吸光物质对指定频率辐射的吸收能力的参数，表达式为：

$$I = I_0 e^{-\alpha l} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

I ——出射光强度；

I_0 ——入射光强度；

α ——吸收系数；

l ——吸收厚度。

注：在光度分析中，以质量浓度（g/L）表示吸光物质浓度的吸收系数成为质量吸收系数，以 α 表示，单位为升每克厘米[L/(g·cm)]；以浓度（mol/L）表示吸光物质浓度的吸收系数称为摩尔吸收系数，以 ϵ 表示，单位为升每摩尔厘米[L/(mol·cm)]；在固体X射线分析中常用质量吸收，以 μm 表示，单位平方厘米每克（cm²/g）。

[来源：GB/T 32267—2015，2.22]

3.2

透射率 transmittance

T

穿过样品的辐射能量同照射到样品的辐射能量的比例。

[来源：GB/T 32267—2015，6.26]

3.3

透射谱 transmittance spectrum

透射率随入射波长变化的曲线。

4 原理

AlN抛光片特定波长的透射率测试基本构成如图1所示。

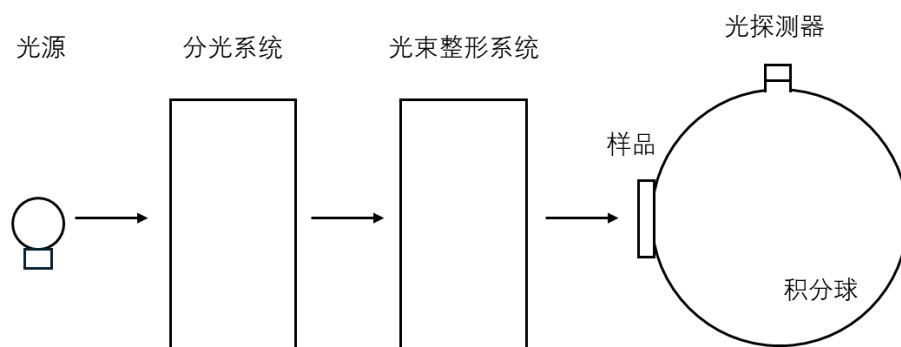


图1 透射率测试装置示意图

当光束经过分光系统、光束整形系统后，垂直入射到样品上，部分被样品介质吸收，部分透过样品继续传播。试验分别测定入射光的辐射强度 I_0 和透射光的辐射强度 I 。计算透射光辐射强度与入射光辐射强度的比值，可以得到透射率。

$$T(\lambda) = I(\lambda)/I(\lambda)_0 \times 100\% \quad (2)$$

式中：

$I(\lambda)$ ——透射光辐射强度；

$I(\lambda)_0$ ——入射光辐射强度；

$T(\lambda)$ ——某波长处的透射率。

由于样品对不同波长的光具有不同的吸收特性，通过改变入射光的波长，记录不同波长下的透射率，绘制出透射率随波长变化的曲线，即透射光谱。

吸收系数试验上用透射法测试光的衰减，与样品厚度、透射率符合以下关系：

$$T(\lambda) = (1 - R(\lambda))^2 e^{-\alpha(\lambda)d} / [1 - R(\lambda)^2 e^{-2\alpha(\lambda)d}] \quad (3)$$

式中：

$T(\lambda)$ ——某波长处的透射率；

$R(\lambda)$ ——某波长处的反射率；

d ——AlN材料厚度，单位（cm）；

$\alpha(\lambda)$ ——AlN材料在某波长处的吸收系数

可得：

$$\alpha(\lambda) = -\frac{1}{d} \ln \left\{ \left[\left(\frac{(1-R(\lambda))^2}{2T(\lambda)R(\lambda)^2} \right)^2 + \frac{1}{R(\lambda)^2} \right]^{1/2} - \frac{(1-R(\lambda))^2}{2T(\lambda)R(\lambda)^2} \right\} \quad (4)$$

式中：

$$R(\lambda) = (n(\lambda) - 1)^2 (n(\lambda) + 1)^{-2} \quad (5)$$

式中：

$n(\lambda)$ ——AlN材料在某波长处的折射率。

$$n(\lambda)^2 - 1 = 2.1399 + \frac{1.3786\lambda^2}{\lambda^2 - 0.1715^2} + \frac{3.861\lambda^2}{\lambda^2 - 15.03^2} \quad (6)$$

5 测试条件

为保证样品测试的一致性 & 准确性，在测试过程中需确保测试环境符合以下条件：

- a) 测试过程中要求无振动、无电磁干扰、良好接地的测试机台；
- b) 温度： $24\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ；
- c) 相对湿度： $20\text{ \%RH} \sim 50\text{ \%RH}$ 。

6 仪器设备

6.1 光源

- 6.1.1 光源需提供目标光谱范围 $190\text{ nm} \sim 800\text{ nm}$ 要求，一般要求为经过计量标定的氙灯和钨卤灯。
- 6.1.2 在每个样品的测试过程中，光源和检测的光学性能应保持恒定。

6.2 分光系统

- 6.2.1 光源和光探测器的探测波长范围应包含 $190\text{ nm} \sim 800\text{ nm}$ ，波长分辨率 $< 1\text{ nm}$ 。

6.3 光束整形系统

- 6.3.1 照射在样品上的光束应基本为单向平行光，任何光线不能偏离光轴 3° 以上。
- 6.3.2 照射在样品上的光斑尺寸要小于积分球的入射窗尺寸。

6.4 积分球

- 6.4.1 积分球的内表面、挡板和标准反射板应具有基本相同的反射率并且表面具有漫反射结构，在整个光波长区具有高反射率。
- 6.4.2 用积分球收集透过光强，只要入射窗口的总面积不超过积分球内反射表面积 4% ，任何直径的积分球均适用。
- 6.4.3 没有样品时，入射光柱的轴线应通过入射窗口的中心。
- 6.4.4 当样品放置在积分球的入射窗前，样品的垂直直线与积分球入射窗的中心连线之间的角度不应大于 8° 。

6.5 光探测器

- 6.5.1 光探测器输出信号在所用光强度范围内与入射光强度成比例，并具有 1% 以内的精度。
- 6.5.2 光探测器应置于与入射窗呈 90° 的球面上，使光不直接投入到光探测器。
- 6.5.3 探测器的法线方向与探测窗口法线方向的夹角不应大于 10° 。

6.6 厚度测量仪器

- 6.6.1 厚度测试可以用测厚仪、螺旋卡尺等，精度优于 $1\text{ }\mu\text{m}$ 。

7 样品

- 7.1 定标样品为空片。
- 7.2 测试样品需要采用表面干净、平整的双面抛光晶片，测试样品尺寸不小于 $5\text{ mm} \times 5\text{ mm}$ 。
- 7.3 测试样品经过丙酮、乙醇、去离子水清洗去除表面脏污，保证表面无灰尘、油污、异物、划痕等。

8 实验步骤

8.1 选取测试点位

若样品尺寸在 $5\text{ mm} \sim 15\text{ mm}$ 之间，测试点位选取样品的中心点。若样品尺寸 $> 15\text{ mm}$ ，测试点位选取样品的中心点，以及在样品相互垂直的路径上从中心到边缘的 $1/2$ 处的 4 个点，如图 2 所示。

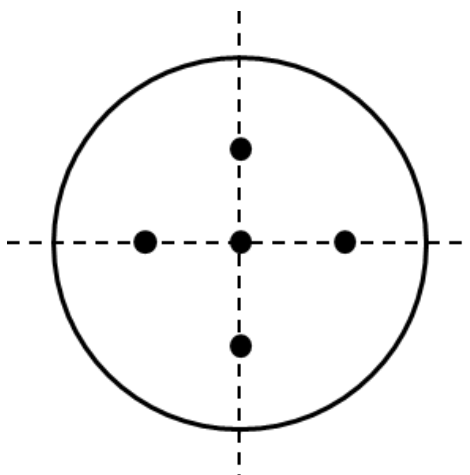


图2 选择测试点位示意图

8.2 厚度测试

以测厚仪，或螺旋卡尺测试厚度，记录厚度，测试数据精度优于 $1\ \mu\text{m}$ 。

8.3 透射率测试

8.3.1 开机，并确保仪器处于正常工作状态。

8.3.2 点亮光源，光输出稳定后，利用进行仪器校准。

8.3.3 将待测样品置于机台特定的载物台上，样品测试点位对准入射窗口；

8.3.4 按照 $190\ \text{nm}\sim 800\ \text{nm}$ 波长范围、 $1\ \text{nm}$ 步进波长，扫描得到测试点位的透射率 $T(\lambda)$ ，作出该点的透射率随着入射波长变化的透射谱。测试案例参见附录 B。

8.3.5 逐个改变测试点位，得出所有测试点位的所有波长的透射率 $T(\lambda)$ ，透射谱可以通过画图获得。

8.4 吸收系数计算

按照公式 (3)，计算得到样品特定波长 λ 、测试点位 i 的吸收系数 $\alpha_i(\lambda)$ ，并画出该点位的吸收系数随入射波长变化曲线。测试案例参见附录 C。

9 实验数据处理

测量结束后，根据实际需求取其实测测量值、平均值、最小值或其中之一，作为样品的测量结果。其中，平均值计算如下：

$$\overline{\alpha_i} = \frac{\sum_{i=1}^N \alpha_i}{N} \dots\dots\dots (7)$$

式中：

$\overline{\alpha_i}$ ——所有测试点位在特定波长下平均吸收系数；

α_i ——特定波长在测试点位 i 的吸收系数；

N ——测量点数。

10 实验报告

参加附录 A，报告至少应包括以下内容：

- a) 送样单位和送样日期；
- b) 样品名称、规格、编号；

- c) 样品状态描述；
- d) 透射谱测试结果；
- e) 吸收系数测试结果；
- f) 测试仪器；
- g) 操作者、测试日期、测试单。

附 录 A

(资料性)

吸收系数测试记录表

吸收系数测试记录表示例参考表A. 1。

表A. 1 吸收系数测试记录表

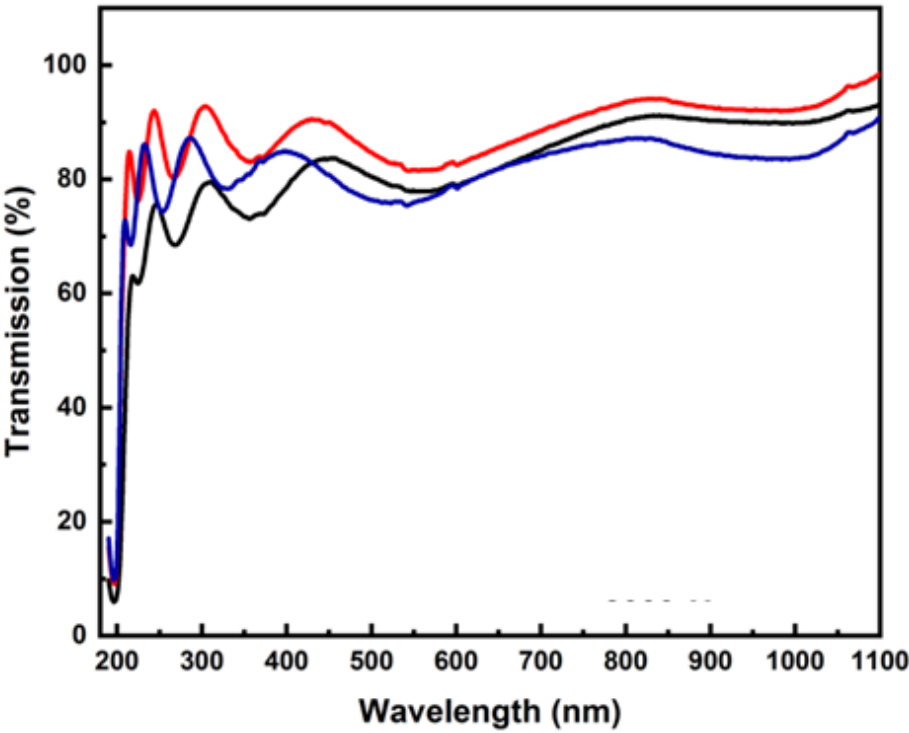
产品名称 型号规格			样品 数量	
检测项目			环境条件	
测试 仪器仪表	型号:		检测依据 标准条款	
	编号:			
测试条件	波长测试范围:			
测试点位	测试结果			
	测试波长	透射率	厚度	吸收系数
1	190nm			
				
	800nm			
.....				
n				

附 录 B

(资料性)

氮化铝样品透射谱参考图

氮化铝样品的透射谱参考图如图B. 1所示



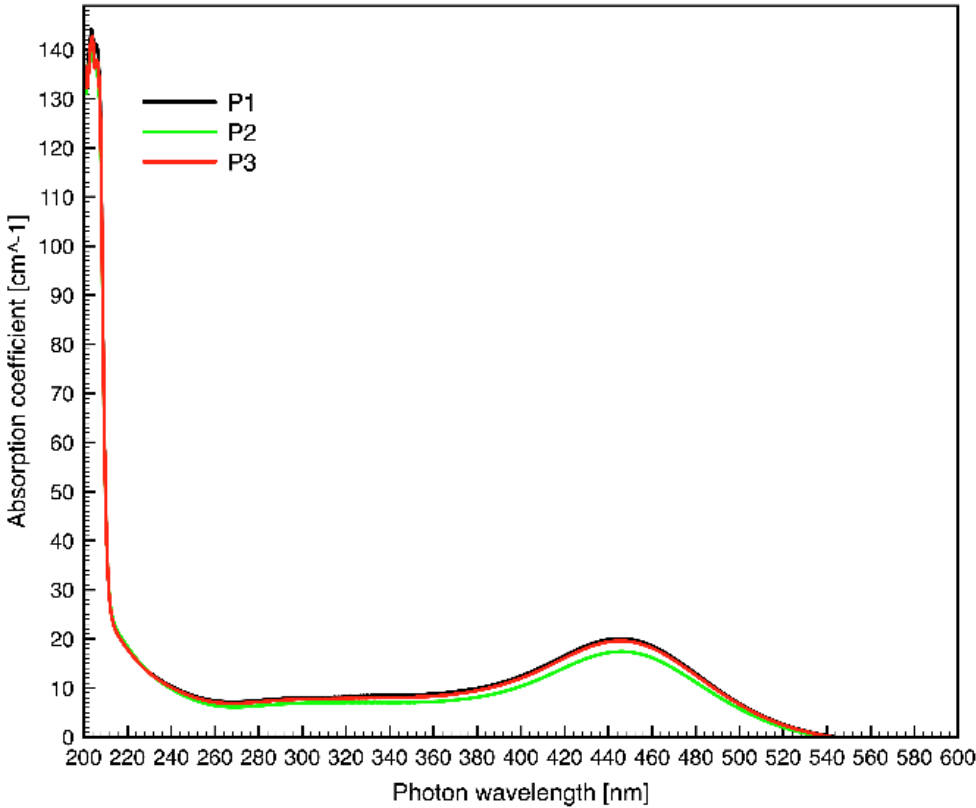
图B. 1 氮化铝样品透射谱图

附 录 C

(资料性)

氮化铝样品吸收系数参考图

氮化铝样品的吸收系统参考图如图C. 1所示。



图C. 1 氮化铝样品吸收系统图

参 考 文 献

- [1] J. PASTRŇÁK and L. ROSKOVCOVÁ, “Refraction index measurements on AlN single crystals”, Phys. Stat. Sol. 14, K5-K8 (1966)
 - [2] R. Dalmaua, S. Kirbya, J. Britta, and R. Schlessa, “Complex Relative Permittivity of UV-C Transparent AlN”, ECS Transactions, 104 (7) 49-56 (2021)
-