



# 中华人民共和国国家标准

GB/T 47625—2026/ISO 22278:2020

## 精细陶瓷 平行光束 X 射线衍射法测定 单晶薄膜(晶圆)结晶质量

Fine ceramics—Test method for crystalline quality of single-crystal thin film  
(wafer) using XRD method with parallel X-ray beam

[ISO 22278:2020, Fine ceramics (advanced ceramics, advanced technical  
ceramics)—Test method for crystalline quality of single-crystal thin  
film (wafer) using XRD method with parallel X-ray beam, IDT]

2026-05-25 发布

2026-12-01 实施

国家市场监督管理总局 发布  
国家标准化管理委员会

## 目 次

前言 .....	III
引言 .....	IV
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	1
4 基本原理 .....	3
5 仪器装置 .....	3
5.1 示意图 .....	3
5.2 X射线发生器 .....	4
5.3 X射线反射镜 .....	4
5.4 单色器 .....	4
5.5 样品台 .....	5
5.6 测角仪 .....	5
5.7 探测器 .....	5
5.8 仪器校准 .....	5
6 样品制备 .....	5
7 测试方法和步骤 .....	5
7.1 光学器件对准 .....	5
7.2 样品对准 .....	6
7.3 调整测角仪初始位置 .....	7
7.4 测角仪( $\Phi$ 和 $\chi$ 轴)的微小位置调整和 $\omega$ 扫描 .....	9
7.5 单晶薄膜(晶圆)结晶质量测量方法 .....	16
8 数据分析 .....	18
9 测试报告 .....	18
附录 A (资料性) SiC 单晶薄膜(晶圆)上对称和非对称衍射的晶面间距 $d$ 、 $2\theta$ 、 $\chi$ 值(倾角)和相对理想强度示例 .....	20
附录 B (资料性) 单晶薄膜(晶圆)上对称衍射和非对称衍射的晶面间距 $d$ 、 $2\theta$ 、 $\chi$ 值(倾角)和相对理想强度计算方法 .....	22
B.1 概述 .....	22
B.2 晶面间距 $d$ 和 $2\theta$ 的计算方法 .....	22
B.3 单晶测量峰 $\chi$ 值(倾角)的计算方法 .....	23
B.4 确定相对理想强度和结构因子的方法 .....	24
附录 C (资料性) 实验室间测试结果 .....	25
参考文献 .....	27

## 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。

本文件等同采用 ISO 22278:2020《精细陶瓷(先进陶瓷、先进技术陶瓷) 平行光束 X 射线衍射法测定单晶薄膜(晶圆)结晶质量》。

本文件做了下列最小限度的编辑性改动：

- 为与现有标准协调,将标准名称改为《精细陶瓷 平行光束 X 射线衍射法测定单晶薄膜(晶圆)结晶质量》；
- 增加了“ $\varphi$  角”的定义(见附录 B)；
- 增加了七大晶系的晶格参数约束条件(见附录 B)。

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。

本文件由中国建筑材料联合会提出。

本文件由全国工业陶瓷标准化技术委员会(SAC/TC 194)归口。

本文件起草单位：深圳职业技术大学、深圳市速普仪器有限公司、昆明理工大学、季华实验室、中材新材料研究院(广州)有限公司、中材高新材料股份有限公司、上海超硅半导体股份有限公司、山东工业陶瓷研究设计院有限公司、中国质量标准出版传媒有限公司、绍兴芯纪源电子科技有限公司、京隆科技(苏州)有限公司、深圳市东汇精密机电有限公司、深圳市防伪溯源协会。

本文件主要起草人：赵升升、张小波、包亦望、谭晓逸、白敬胜、万德田、王增辉、王红英、宋小平、王邃、王洪升、裴郁、吴春生、李俊克、张萌、王陶、张亚萍、何彩梅、张旭亮、招刚、骆丽平。

## 引 言

单晶体在众多领域中有重要应用,如制作珠宝的合成宝石,固态激光器的激光晶体等。在某些应用中,陶瓷材料被制备成单晶体。当单晶体作为薄膜生长的基体时,其晶体完整性很重要,如蓝宝石上生长镓薄膜或单晶体上生长超导薄膜。宽禁带半导体如碳化硅(SiC)和氮化镓(GaN)由于其优异的特性(例如,高临界电场下,击穿电压比硅至少高 10 倍或导通电阻比硅小 100 倍),在电子领域应用中引起了广泛关注,使其成为未来高功率、高频半导体器件的优势替代材料。在光学应用中,单晶体材料能最大限度减少能量的散射或吸收,如红宝石和钇铝石榴石(YAG)作为激光晶体,石英和蓝宝石作为光学窗口。单畴单晶的压电材料可获得最优性能,如石英。此外,陶瓷单晶的光学、电学、磁性或机械性能还应用于其他多个领域。

自 1990 年晶圆商业化以来,单晶晶圆的直径在不断增加,在过去的 15 年中,晶体缺陷已大大减少。商用器件已有应用,但广泛的使用取决于生产商制造大型、廉价、无缺陷材料的供应能力。

迄今为止,测定单晶薄膜缺陷的方法有很多种,测量大面积(如 2 inch、4 inch、6 inch)单晶薄膜的结晶质量(平均晶体缺陷程度)最典型的方法是平行光束 X 射线衍射法(XRD),但该方法操作过程易产生较大误差。例如,分析结果会受用户测试过程、条件或样品预处理的影响而产生很大差异,因此制定一个通用的测定方法标准是非常必要的。

# 精细陶瓷 平行光束 X 射线衍射法测定 单晶薄膜(晶圆)结晶质量

## 1 范围

本文件描述了采用平行光束 X 射线衍射法测定单晶薄膜(晶圆)结晶质量的方法。

本文件适用于所有块体或外延层结构的单晶薄膜(晶圆)使用光束 X 射线衍射法的结晶质量的测定。

## 2 规范性引用文件

本文件没有规范性引用文件。

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**单晶 single-crystal**

所有区域具有相同原子排列的晶体材料。

### 3.2

**斜切角 off-cut angle**

单晶薄膜中特定晶面与单晶表面形成的夹角。

注：在单晶薄膜(晶圆)的外延生长过程中,斜切角是决定薄膜生长行为的关键条件。

### 3.3

**化学机械抛光 chemical mechanical polishing;CMP**

通过化学溶液或研磨颗粒组成的浆料产生的化学作用和研磨机的机械作用相结合,使样品表面平整的工艺。

### 3.4

**布拉格衍射方程 Bragg diffraction**

入射光的波长  $\lambda$ 、晶面间距  $d$ 、入射光线与衍射晶面间的夹角  $\theta$  的关系。

注：见公式(1)：

$$2d \cdot \sin\theta = n \cdot \lambda \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中：

$d$  —— 晶面间距,单位为纳米(nm)；

$\theta$  —— 入射光线与衍射晶面间的夹角,单位为度( $^{\circ}$ )；

$\lambda$  —— 入射光的波长,单位为纳米(nm)；

$n$  —— 衍射级数(整数)。

### 3.5

**平行光束 parallel X-ray beam**

通过使用索拉狭缝、分析晶体或 X 射线反射镜,对入射光线或衍射光线进行准直后获得的入射光线。