



中华人民共和国国家标准

GB/T XXXXX.2—/IEC 63068-2: 2019

半导体器件 功率器件用碳化硅同质外延片缺陷的无损 检测识别判据 第2部分：缺陷的光学检测方法

Semiconductor device-Non-destructive recognition criteria of defects in silicon
carbide homoepitaxial wafer for power devices
- Part 2: Test method for defects using optical inspection

(IEC63068-2: 2019, IDT)

(征求意见稿)

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 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	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 光学检测方法	6
4.1 概述	6
4.2 原理	7
4.3 测试条件	7
4.4 参数设置	8
4.5 步骤	9
4.6 评价	9
4.7 精度	9
4.8 测试报告	10
附录 A	11
参考文献	24

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。

本文件是GB/T XXXX《半导体器件 功率器件用碳化硅同质外延片缺陷的无损检测识别判据》的第2部分。GB/T XXXX已经发布了以下部分：

- 第1部分：缺陷分类；
- 第2部分：缺陷的光学检测方法；
- 第3部分：缺陷的光致发光检测方法。

本文件等同采用IEC 63068-2:2019《半导体器件 功率器件用碳化硅同质外延片缺陷的无损检测识别判据 第2部分：缺陷的光学检测方法》。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布结构不承担识别专利的责任。

本文件由全国半导体设备和材料标准化技术委员会（SAC/TC203）与全国半导体设备和材料标准化技术委员会材料分技术委员会（SAC/TC203/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十三研究所、中国电子科技集团公司第四十六研究所、山东天岳先进科技股份有限公司、之江实验室、浙江大学、安徽长飞先进半导体有限公司、中电化合物半导体有限公司、鹰眼在线电子科技有限公司、深圳市恒运昌真空技术有限公司。

本文件主要起草人：芦伟立、房玉龙、李佳、王健、张冉冉、李丽霞、杨青、殷源、张建峰、李振廷、徐晨、钮应喜、刘立娜、宋生、金向军、周翔、乐卫平。

引 言

碳化硅（SiC）作为典型的宽禁带半导体材料，与硅（Si）相比，具有击穿电场强度高、导热率高、饱和电子漂移速率高和本征载流子浓度低等优越的物理性能，非常适合在大功率、高温和高频环境下应用，因此广泛应用于新一代功率半导体器件中。SiC基功率半导体器件相对于硅基器件，具有更快的开关速度、低损耗、高阻断电压和耐高温等性能。

SiC功率半导体器件尚未全面得以应用，主要由于成本高，产量低等问题。其中一个严重的问题之一是SiC外延材料的缺陷问题。目前商用SiC外延材料产品仍存在多种缺陷，急需建立一个SiC同质外延片质量评定标准。

本系列标准由5部分组成。本文件名称为《半导体器件 功率器件用碳化硅同质外延片缺陷的无损检测识别判据 第2部分：缺陷的光学检测方法》，确立了商用SiC同质外延片产品缺陷的光学检测方法。

- 第1部分：缺陷分类；
- 第2部分：缺陷的光学检测方法；
- 第3部分：缺陷的光致发光检测方法；
- 第4部分：缺陷的光学和光致发光同步检测方法。
- 第5部分：缺陷的X射线形貌检测方法。

半导体器件

功率器件用碳化硅同质外延片缺陷的无损检测识别判据

第 2 部分：缺陷的光学检测方法

1 范围

本文件规定了在商用碳化硅（SiC）同质外延片产品上缺陷的光学检测方法和标准。主要是通过给出这些缺陷的光学图像示例，为SiC同质外延晶圆上缺陷的光学检测提供检测和分类的依据。

本标准主要讨论缺陷的无损表征方法，因此有损表征例如湿法腐蚀等不包含在本标准中。

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

光学检测 optical inspection

在光学图像传感器中利用光学成像对晶片进行形态检测，在非接触测试方法下扫描晶圆表面以获得缺陷的特征，例如缺陷的大小和形状。

3.2

光学成像 optical imaging

利用光源照明、光学部件、光学图像传感器和计算机系统捕捉、处理和分析缺陷图像的技术。

3.3

照明 illumination

为观察缺陷及其周围状态而使用的光照。

3.4

反射光照明 reflective illumination

通过将光照射到晶片表面上观察缺陷反射光。

3.5

定向光 directional lighting

从特定方向入射到晶片的照明。

3.6

散射光 diffused lighting

从随机方向入射到晶片的照明。

3.7

明场检测 bright-field observation

光学图像传感器检测缺陷反射和散射光线的图像采集方法。

3.8

暗场检测 dark-field observation

光学图像传感器仅检测缺陷散射光线的图像采集方法。

3.9

差分干涉对比检测 differential interference contrast observation

通过在晶片表面上相邻点之间照射两个正交偏振光，利用光路差异产生对比度的图像捕获方法。

3.10

偏振光检测 polarized light observation

通过照射偏振光使缺陷路径中的极板极化，使用光学图像传感器检测图像的一种方法。

3.11

光学成像传感器 optical image sensor

将光学图像转换成数字数据的装置。

3.12

光学部件 optical component

组成光学系统并用来捕获光学图像的透镜、反射镜、滤光器等部件。

3.13

图像采集 imaging capturing

建立晶片缺陷的二维原始数字图像的过程。

3.14

原始数字图像 original digital image

由光学图像传感器拍摄的未进行任何图像处理的数字化图像。

注：原始数字图像通过网格划分成像素，并为每个像素分配一个灰阶。

3.15

电荷耦合器件 charge-coupled device; CCD

将探测的光学信号转变为电学信号的光敏集成电路芯片。

注：CCD 可细分为多个元素，每个元素对应原始数字图像的一个像素。

3.16

像素 pixel

给定一个灰度数字值表示原始数字图像中的最小单位。

3.17

分辨率 resolution

原始数字图像每单位长度（或面积）的像素数。

3.18

灰阶 grey level

灰度的亮度等级。

注：亮度等级经常由灰度等级的正整数表示。

3.19

灰度 grey scale

从黑色到白色的灰色调范围。

示例：

8 位灰度有 2 的 8 次方 (=256) 个灰阶值。灰阶值 0（第 1 阶）对应黑色，灰阶值 255（第 256 阶）对应白色。

3.20

图像处理 imaging processing

对原始数字图像的软件操作（处理），为后续图像分析做准备。

注：例如，图像处理可以用来消除图像捕获（采集）过程中产生的错误，或将图像信息压缩为基本信息。

3.21

二进制图像 binary image

每个像素都被指定为 0（黑）或 1（白）的图像。

3.22

亮度 brightness

光学图像指定部分的平均灰度值。

3. 23

对比度 contrast

光学图像两个指定部分的灰阶差。

3. 24

阴影校正 shading correction

用于校正晶片表面照明不均匀的软件方法。

3. 25

阈值化 thresholding

从灰度图像中创建二进制图像的过程，此过程将值大于给定阈值的像素精确的显示为白色，并将其他像素设置为黑色。

注：建立二进制图像，在原始灰度图像中每个像素的灰度由0（黑色）和1（白色）替代，取决于灰度大于或小于或等于阈值。

3. 26

边缘检测 edge detection

在给定数字图像中分离和定位缺陷和表面边缘的方法。

3. 27

图像分析 image analysis

通过软件在处理后的图像中提取图像信息。

3. 28

图像评估 image evaluation

通过缺陷分类方案将一个或多个特征图像的分析结果关联起来的过程。

3. 29

参考晶片 reference wafer

已通过评估的用于参数设置、检查缺陷光学检测过程的再现性和重复性的晶片。

3. 30

测试晶片 test wafer

用于评估缺陷的 SiC 同质外延片。

3.31

晶向 crystal direction

通常用 $[u\ v\ w]$ 表示, 描述 a, b, c 晶轴基本矢量的矢量方向。

注: 4H-SiC 属于六方晶系, 常用 $[u\ v\ t\ w]$ 来表示晶向。

[来源: ISO 24173: 2009, 3.3, 有修改]

3.32

缺陷 defect

晶体的不完美部分。

3.33

微管 micropipe

沿近似垂直基面方向延伸的中空管。

3.34

穿透型螺位错 threading screw dislocation; TSD

在近似垂直基面方向穿透晶体的螺位错。

3.35

穿透型刃位错 threading edge dislocation; TED

在近似垂直基面方向穿透晶体的刃位错。

3.36

基平面位错 basal plane dislocation; BPD

平行于基面的位错。

3.37

划痕 scratch trace

由衬底表面的机械损伤而产生的密集有位错线。

3.38

堆垛层错 stacking fault

晶面的叠加序列异常造成的单晶材料中的平面晶体缺陷。

3.39

延伸堆垛层错 propagated stacking fault

从衬底向外延层表面延伸的堆垛层错。

3.40

复合堆垛层错 stacking fault complex

由一个基面堆垛层错和一个棱柱面堆垛层错组合而成的层错。

3.41

多型包裹体 polytype inclusion

和同质外延材料晶型不同的体缺陷。

3.42

颗粒包裹体 particle inclusion

存在于同质外延层中的微米级的颗粒。

3.43

台阶聚集簇 bunched-step segment

由台阶聚集组成的表面形貌粗糙形貌。

3.44

表面颗粒 surface particle

外延结束后沉积在外延层表面的颗粒。

4 光学检测方法

4.1 概述

具有表面形态特征的缺陷应采用光学检测法检测。以下列出了沿 $[11\bar{2}0]$ 晶向斜切角为 4° 的 $n/n+$ 型4H-SiC同质外延片中的缺陷：

- 晶片表面上的六边形或圆形大孔的单个缺陷，例如，微管（图 A.1）；
- 单个微小缺陷在晶片表面呈现直径小于 $50\ \mu\text{m}$ 的凹坑，如穿透型螺位错（TSD）（图 A.2）、穿透型刃位错（TED）（图 A.3）；
- 沿各个方向延伸的单个线性缺陷，如划痕（图 A.4）；
- 在晶片表面提供针状特征的单个平面缺陷，其沿斜切方向延伸，如复合堆垛层错（图 A.7）；
- 在晶片表面上提供隐约轮廓特征的单个平面缺陷，沿对角线方向延伸至斜切方向，如堆垛层错（图 A.5）和延伸堆垛层错（图 A.6）；

- 导致晶片表面出现三角形特征的单个立体缺陷，沿斜切方向延伸，如多形包裹体（图 A. 8）；
- 单个立体缺陷，如颗粒包裹体（图 A. 9）、表面颗粒；
- 在晶片表面上具有钝角三角形或梯形特征的单个表面缺陷，例如台阶聚集簇（图 A. 10）。

无表面形态特征的缺陷应采用其他测试方法进行评估，如光致发光图像和 X 射线形貌术。这些缺陷包括没有表面形态特征的基平面位错（基平面位错（BPD）、穿透型螺位错（TSDs）、穿透型刃位错（TEDs）、堆垛层错和延伸堆垛层错。

4.2 原理

晶片表面缺陷的原始数字图像生成一个灰度图像（或彩色图像）。将此图像转换为二进制图像（阈值），根据此图可检测缺陷的形状和尺寸，并可在规定范围内计算缺陷的分布和数量。

首先，捕获缺陷的光学图像并将其转换为数字格式。通过光学图像传感器，例如电荷耦合器件，捕获光学图像。然后，通过计算图像的灰度来处理所获得的数字图像。通过一种特定的图像分析方案，将图像信息简化为一组适用于应用的数值。

注：沿斜切方向延伸的面缺陷和体缺陷的大小和同质外延层厚度相关。这些缺陷的细节和光学图像尺寸的检测方法分别在 4.6.2 和附录 A 中描述。

4.3 测试条件

4.3.1 照明

4.3.1.1 观察类型

不同的晶片表面条件和缺陷类型需要一个最佳的光学和照明装置，以获得要分析的图像中的明显表面特征。因此，应准备一个适用的光学和照明组合装置。常用的照明和观察类型如下：

- a) 照明类型如下：
 - 1) 定向照明；
 - 2) 散射照明；
 - 3) 定向照明和散射照明结合。
- b) 观察类型如下：
 - 1) 明场观察；
 - 2) 暗场观察；
 - 3) 差分干涉对比观察；
 - 4) 偏振光观察。

所有类型的观察都可以在反射照明下进行。任何观察都应消除晶片背面的影响。

4.3.1.2 一致性和稳定性

应优化光源和聚焦光学器件的组合，以实现晶片表面上光照强度的一致性。在适当的范围内调整晶片表面每个检测点的光照强度，以便清晰地检测到缺陷，光照强度一致性可以使用硬件和/或软件来实现。保证光照强度和光谱功率分布在测试周期中稳定不变。

4.3.2 晶片位置和聚焦

晶片应位于笛卡尔坐标系 (X-Y) 或圆柱坐标系 (R-θ) 的平面上。第三轴 (Z) 是图像采集系统的光轴。Z 轴垂直于平面，其与平面的交点应为焦点。图像捕获光学器件的前端和晶片表面的距离是固定的，与晶片的厚度无关，因此聚焦和放大率相互不产生影响。

4.3.3 图像采集

光学系统通常由光源、聚焦光学 (器件)、光学数字传感器、照明几何调整系统、晶片支架和不透光外壳组成。为了捕捉到明显的缺陷图像，光学系统的分辨率应远小于缺陷的大小。原始数字图像的推荐灰度范围是每个像素的 256 个灰度级 (8 位)。图像信息直接在光学数字传感器单元数字化。该系统还应使用暗盒或机架外壳，避免受到外部光源干扰。

为了保证图像采集过程的重复性和再现性，应定期进行参数校准。使用指定的参考晶片来执行校准，例如硅或碳化硅晶片。

4.3.4 图像处理

图像处理涵盖了许多功能，如亮度、对比度、边缘检测、阴影校正和反演等。

不同的软件解决方案应该采用不同的数学算法进行相似处理。不同的图像处理算法所产生的处理后的图像也不会完全相同，使用参考晶片来进行参数设置，以确保测试结果具有可比性。

4.3.5 图像分析

图像分析有两种方法：二进制 (黑/白) 分析和灰度分析。采用阈值程序能够从灰度图像获得二进制图像。

为成功检测测试晶片中的缺陷应使用适当的算法进行图像分析。

4.3.6 图像评价

图像分析的结果是与特定应用相关的一组值，根据缺陷分类方案将这组值转换成一个或多个特征值。

4.3.7 文档

记录照明、图像采集、图像处理和图像分析的相关参数：

- a) 照明：使用的光源和照明的形状特征；
- b) 图像捕捉：原始数字图像和图像采集系统的详细信息 (制造商、产品名称、光学元件、分辨率)、图像尺寸、灰阶范围；
- c) 图像处理和图像分析：使用的程序 (包括滤波器的细节) 以及所用软件的详细信息 (制造商和产品名称)。

4.4 参数设置

4.4.1 概述

测试晶片应与参考晶片进行对比分析。

参数设置的目的是为了固定图像采集参数,使图像分析能够通过参考晶片来识别测试晶片的缺陷的表面特征。进行观察比较以确认参考晶片和测试晶片之间检测到的缺陷具有相关性。

在结构上参考晶片宜与测试晶片相似,最好在同一实验室或工厂使用相同的设备和工艺获得参考晶片和测试晶片。

4.4.2 参数设置过程

使用一组参考晶片进行如下描述的参数设置。

使用选定的光学成像系统对测试晶片上的每个缺陷进行成像。测试晶片上的缺陷图像应与参考晶片上的缺陷图像进行视觉比较。

4.5 步骤

准备用于光学成像的测试晶片,方法如下。

使用一个参数优化的光学成像系统创建测试晶片的图像。一旦确定了合适的阈值,数字化的图像就能在分析时提供与缺陷表面特征有关的对比度。

4.6 评估

4.6.1 概述

与人工评估缺陷相比,光学检查可以直接确定任何缺陷的尺寸和形状(见附录A)。

图像分析的结果是缺陷检测的记录数据。测试晶片的去边应小于5 mm。

4.6.2 面缺陷和体缺陷的平均宽度

已知的同质外延层厚度 d ,单位为微米,斜切角为 4° ,可以使用以下公式计算除颗粒包裹体和表面颗粒外的面缺陷和体缺陷的平均宽度 l

$$l = \frac{d}{\tan(4^\circ)}$$

例如,同质外延层厚度为 $10\mu\text{m}$ 和 $30\mu\text{m}$ 的上述缺陷的平均宽度 l 分别约为 $145\mu\text{m}$ 和 $430\mu\text{m}$ 。

当面缺陷和体缺陷成核于外延生长过程中时,缺陷宽度小于上述公式的计算值。

4.6.3 评估过程

如果识别出的目标缺陷是延伸缺陷或表面缺陷,则所有这些缺陷的数量应逐项计算。

生成缺陷图,显示晶片整个表面所检测到的缺陷的位置,晶片的定向平面或缺口的位置也应在图中注明。缺陷图的坐标原点应该是晶片的中心。

4.7 精度

目前尚无关于该测试方法精度的信息。

4.8 测试报告

测试报告应至少包含以下信息：

- a) 检验结果：
 - 1) 缺陷分布图；
 - 2) 检测到的每种缺陷的总数；
 - 3) 所有检测到的缺陷的位置；
- b) 鉴定测试晶片所需的所有信息（制造商、商品名、批次、晶片规格等）；
- c) 参考标准文件；
- d) 图像采集系统（制造商、商品名等）；
- e) 照明类型（光源类型及配置）；
- f) 使用的图像采集设置，包括以下详细信息：
 - 1) 原始数字图像；
 - 2) 图像采集系统；
 - 3) 分辨率、图像大小；
 - 4) 灰度；
- g) 图像处理和分析的细节，包括所有使用的处理程序；
- h) 测试结果，4.6 中的规定（“评价”）；
- i) 程序中的任何偏差；
- j) 测试过程中的异常情况；
- k) 测试日期和时间；
- l) 测试人员姓名。

附录 A

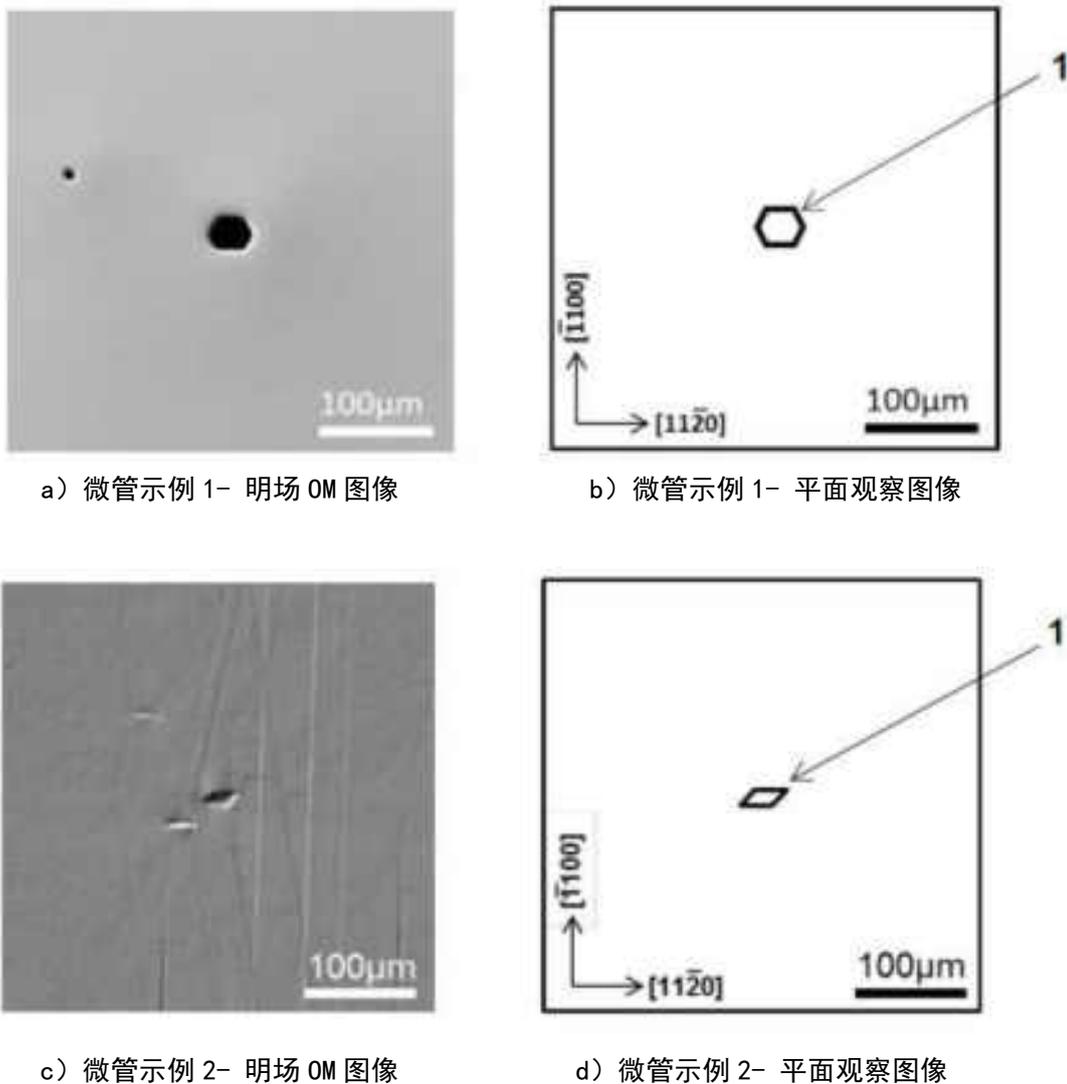
(资料性)
缺陷的光学检测图像

A.1 概述

附录 A 给出了 4H-SiC 同质外延片 (外延层厚度 $10\ \mu\text{m}$) 缺陷的典型图像和特征。通过明场差分干涉获得反射照明下的对比观察 (光源: Hg-Xe 灯)。像素图像的分辨率为 $2\ \mu\text{m}$ 。图 A.1 到图 A.10 中, 左边分图为明场 OM 图像, 右边分图为平面观察图像。

A.2 微管

4H-SiC 外延层表面中微管的典型形貌特征: 空洞或者多种类型的凹坑 (见图 A.1)。



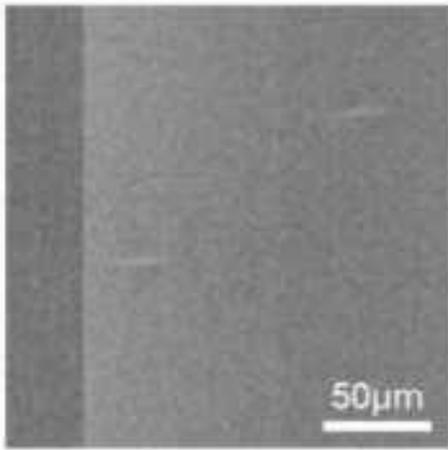
标引序号说明:

1——微管。

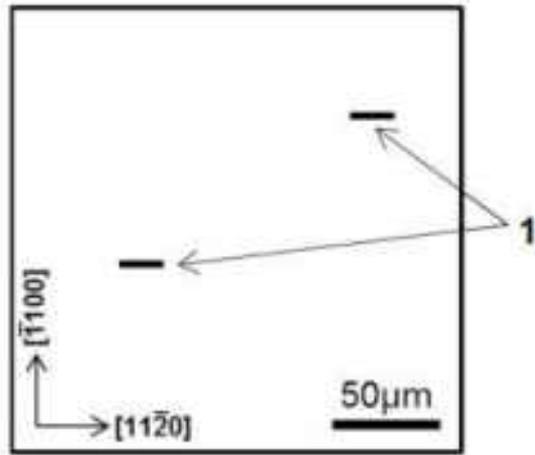
图 A.1 微管

A.3 穿透型螺位错 (TSD)

4H-SiC 外延层中穿透型螺位错 (TSD) 的典型形貌特征: 多种类型的凹坑 (见图 A.2)。无明显表面特征的 TSDs 可使用光致发光方法检测。

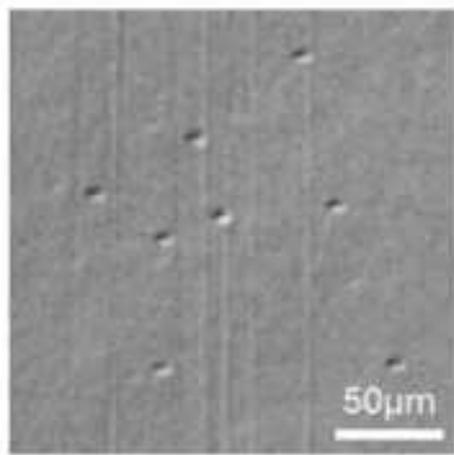


1) 光学显微镜明场图像

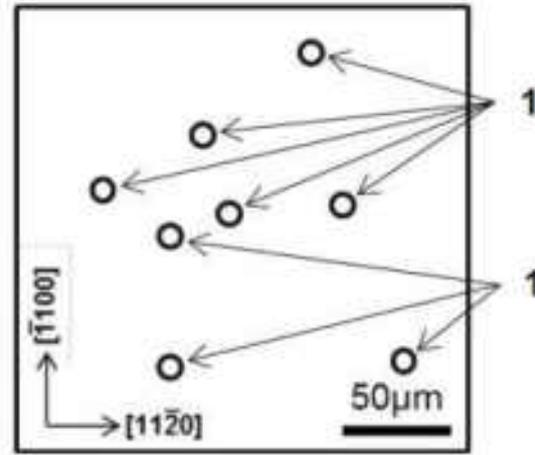


2) 平面示意图

a) TSD 示例 1



3) 光学显微镜明场图像



4) 平面示意图

TSD 示例 2

标引序号说明:

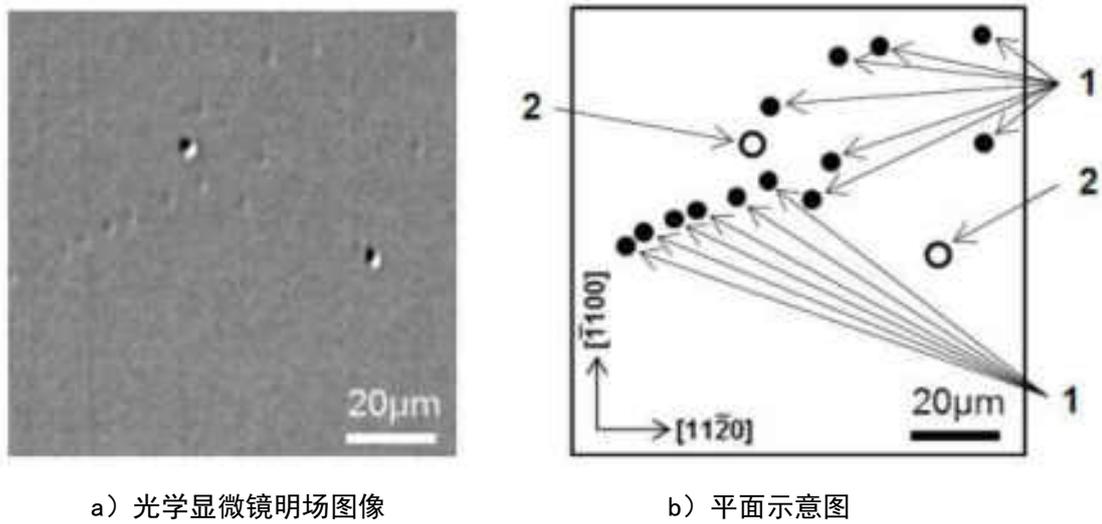
1—— TSD。

图 A.2-穿透型螺位错 (TSD)

A.4 穿透型刃错位 (TED)

4H-SiC 外延材料中的穿透型刃错位 (TED) 有时候具有典型的形貌特征：多种类型的凹坑。无明显表面特征的 TED 使用光致发光方法检测。

注：一般 TSD 和 TED 会同时出现，因此图 A.3 1) 和 2) 中包括 TSD 和 TED。



a) 光学显微镜明场图像

b) 平面示意图

标引序号说明：

1 —— TED；

2 —— TSD。

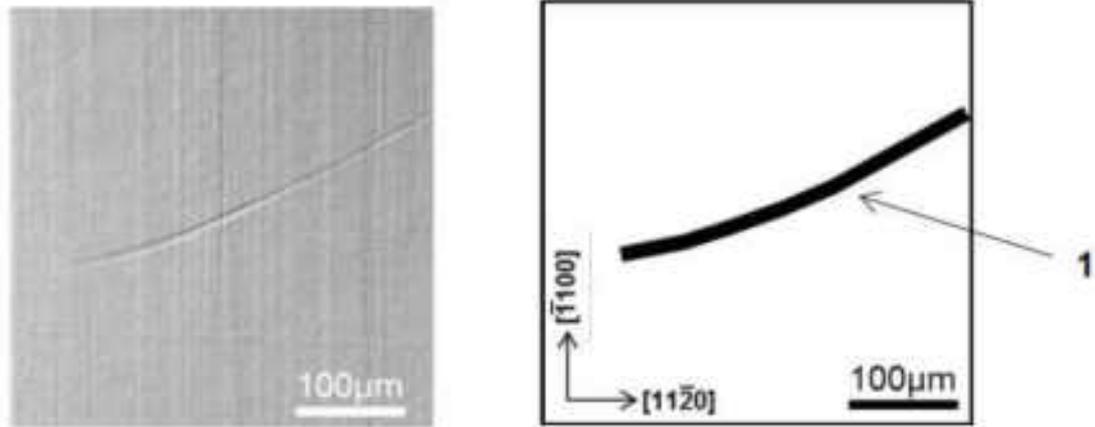
图 A.3-穿透型刃错位 (TED)

A.5 基平面位错 (BPD)

4H-SiC 外延材料中的基平面位错 (BPD) 没有典型的表面形貌特征。基平面位错 (BPD) 可以使用光致发光方法检测。

A.6 划痕

4H-SiC 外延材料中的划痕具有典型的表面形貌特征：随机分布的划痕。



a) 光学显微镜明场图像

b) 平面示意图

标引序号说明：

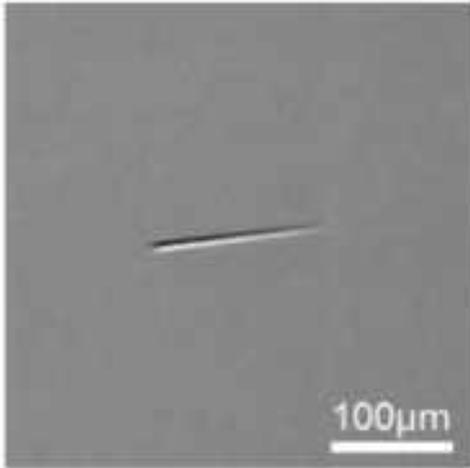
1 ——划痕。

图 A.4 划痕

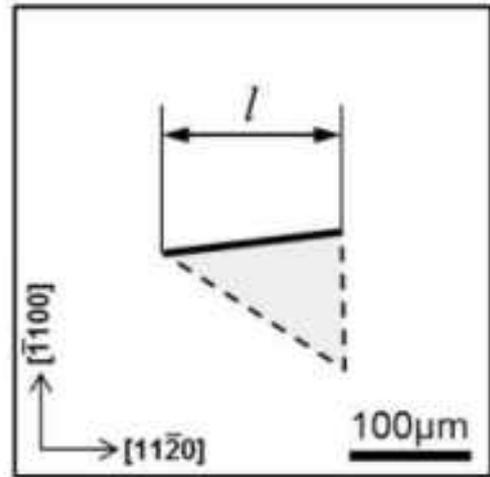
A.7 堆垛层错

4H-SiC 外延材料中的堆垛层错具有典型的形貌特征：隐约的三角形形貌。无明显表面特征的堆垛层错使用光致发光方法检测。

注：外延材料中堆垛层错的宽度 l 与外延层厚度 d 呈正比。

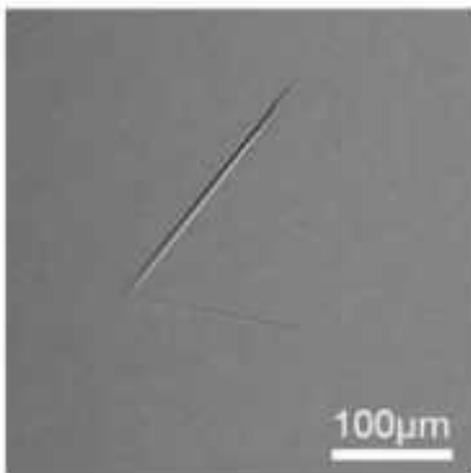


1) 光学显微镜明场图像

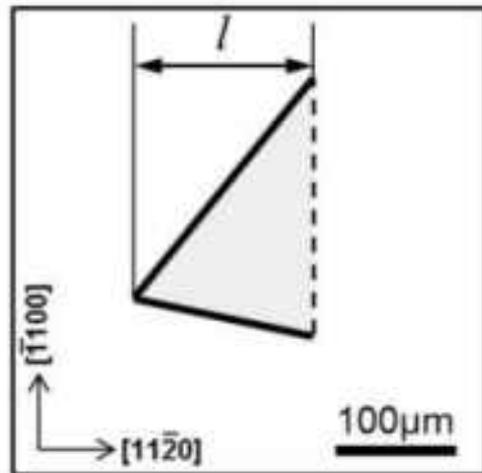


2) 平面示意图

a) 堆垛层错示例 1



1) 光学显微镜明场图像



2) 平面示意图

b) 堆垛层错示例 2

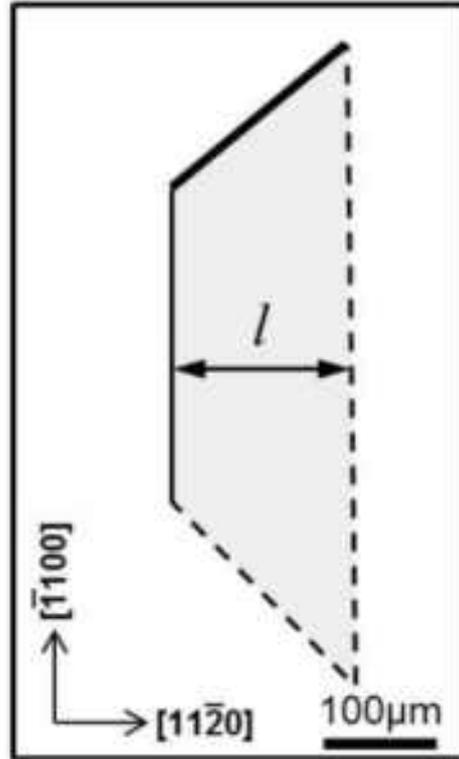
图 A.5-堆垛层错

A. 8 延伸堆垛层错

4H-SiC 外延材料中的延伸堆垛层错具有典型的形貌特征：隐约的与斜切方向垂直的梯形。无明显表面特征的延伸堆垛层错可使用光致发光方法检测。

注 1：该类缺陷的宽度 l 与外延层厚度 d 呈正比。

注 2：该类缺陷又称为“条状堆垛层错”。



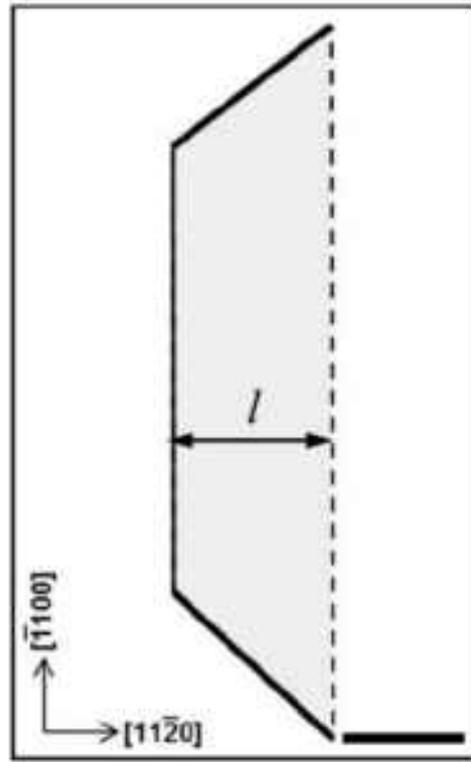
1) 光学显微镜明场图像

2) 平面示意图

a) 延伸堆垛层错示例 1



1) 光学显微镜明场图像



2) 平面示意图

b) 延伸堆垛层错示例 2

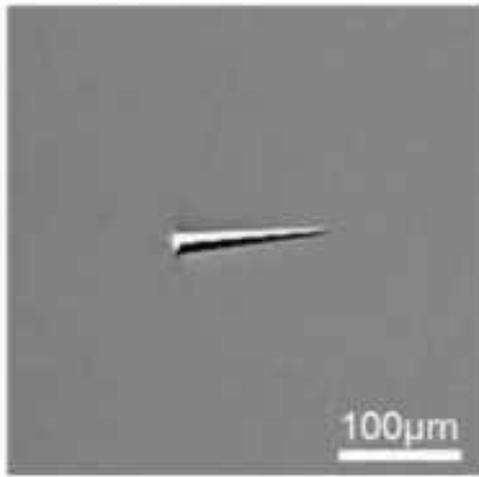
图 A. 6-延伸堆垛层错

A.9 复合堆垛层错

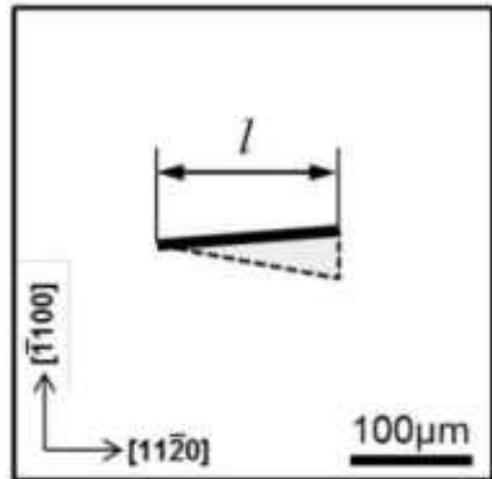
4H-SiC 外延材料中的复合堆垛层错具有典型的形貌特征：与斜切方向平行的针状形貌。无明显表面特征的复合堆垛层错使用光致发光方法检测。

注 1：该类缺陷的宽度 l 与外延层厚度 d 成正比。

注 2：该类缺陷又称为“胡萝卜缺陷”。

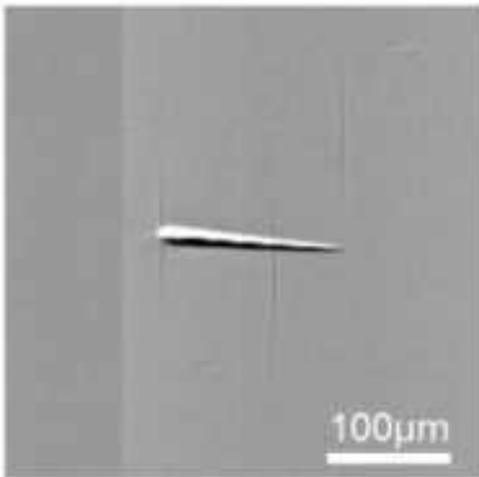


1) 光学显微镜明场图像

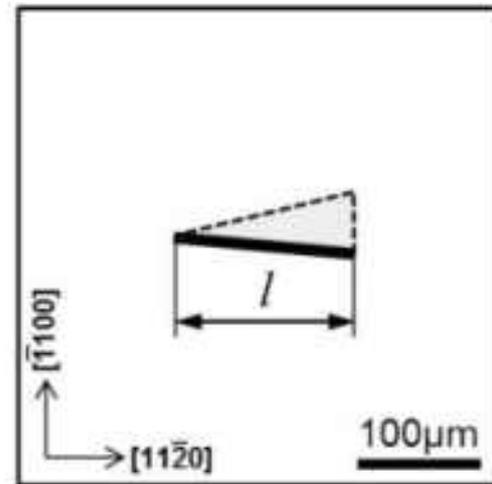


2) 平面示意图

a) 复合堆垛层错示例 1



1) 光学显微镜明场图像



2) 平面示意图

b) 复合堆垛层错示例 2

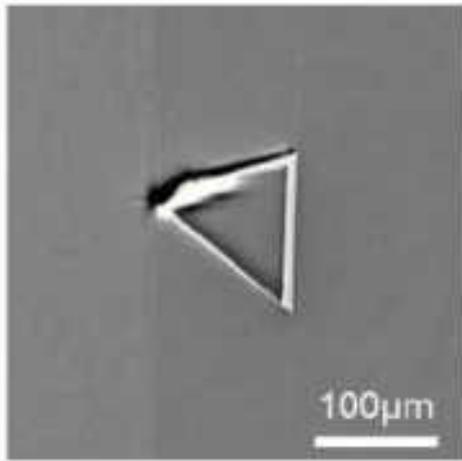
图 A. 7-复合堆垛层错

A. 10 多型包裹体

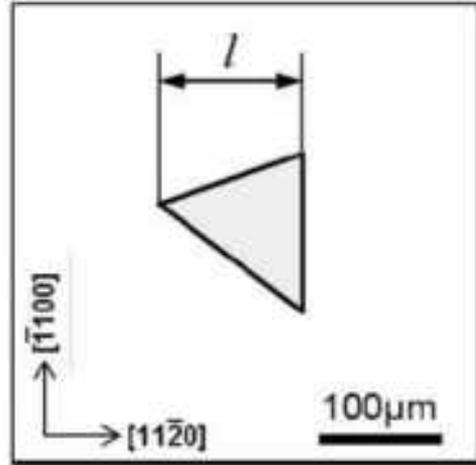
4H-SiC 外延材料中的多型包裹体具有典型的形貌特征：沿斜切方向延伸的多种形貌的三角形。

注 1：该类缺陷的宽度 l 与外延层厚度 d 呈正比。

注 2：该类缺陷又称为三角形多型，三角形缺陷或彗星型缺陷。

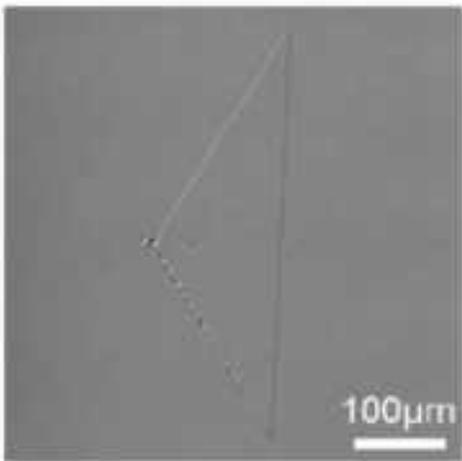


1) 光学显微镜明场图像

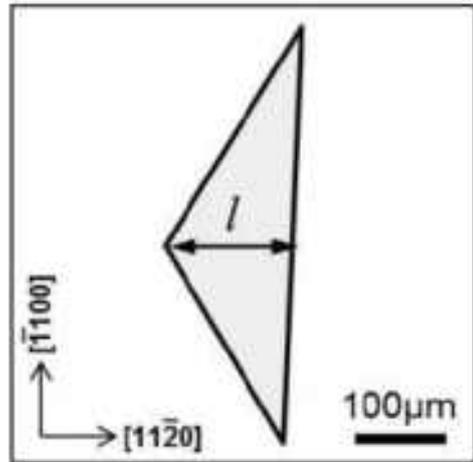


2) 平面示意图

a) 多型包裹体错示例 1

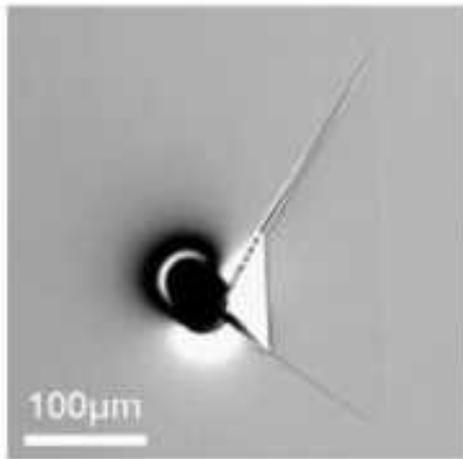


1) 光学显微镜明场图像

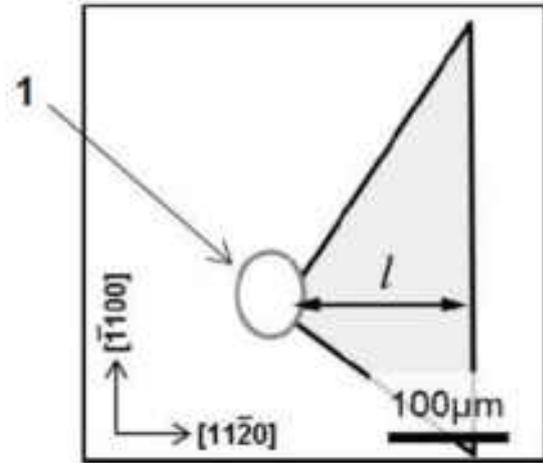


2) 平面示意图

b) 多型包裹体示例 2



1) 光学显微镜明场图像



2) 平面示意图

c) 多型包裹体示例 3

标引序号说明:

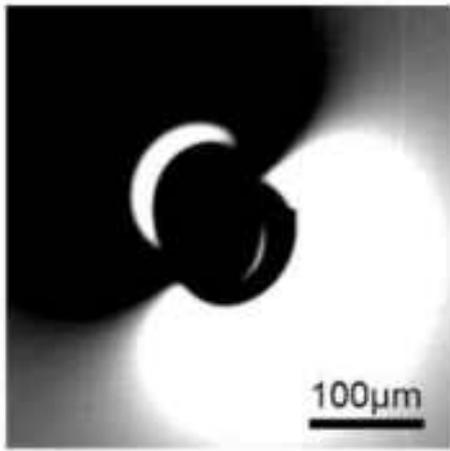
1——颗粒。

图 A. 8-复合堆垛层错

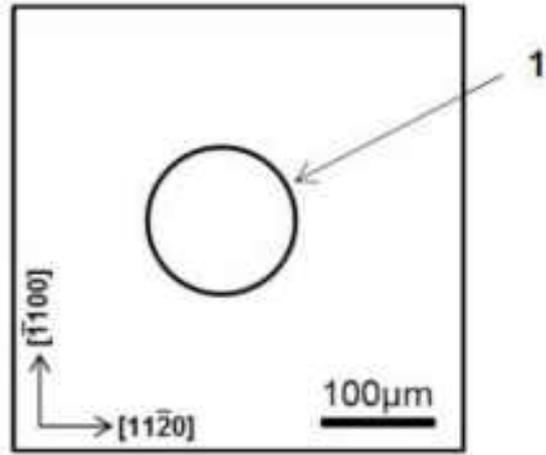
A. 11 颗粒包裹体

4H-SiC 外延材料中的颗粒包裹体具有典型的形貌特征：不同尺寸的颗粒。

注：该类缺陷又称为“掉落物”。

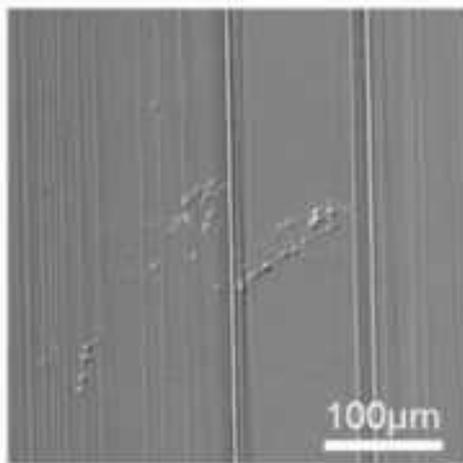


1) 光学显微镜明场图像

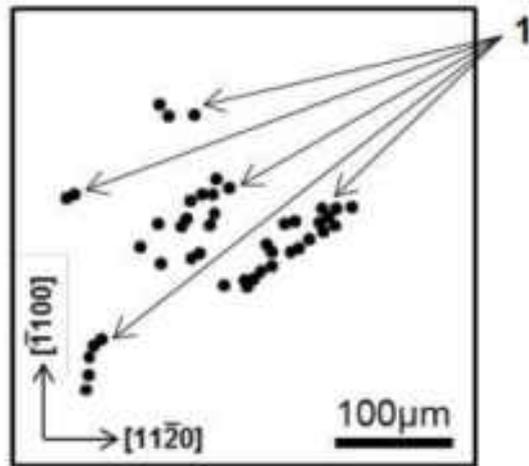


2) 平面示意图

a) 颗粒包裹体示例 1



1) 光学显微镜明场图像



2) 平面示意图

b) 颗粒包裹体示例 2

标引序号说明：

1 —— 颗粒。

图 A. 9-颗粒包裹体

A.12 台阶聚集簇

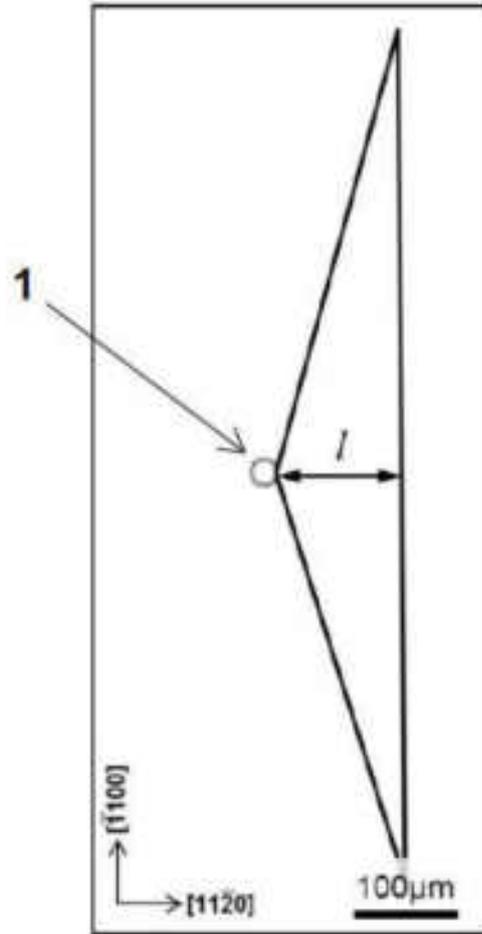
4H-SiC 外延材料中的台阶聚集簇具有多种类型的形貌特征。

注 1：该类缺陷的宽度 l 与外延层厚度 d 呈正比。

注 2：台阶聚集簇高度从几纳米到几十纳米不等。



1) 光学显微镜明场图像

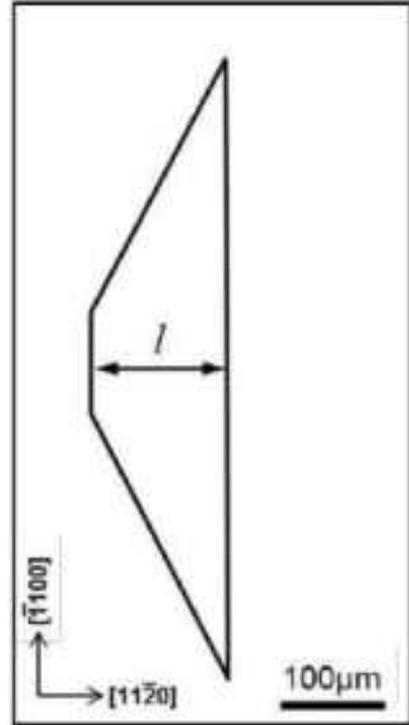


2) 平面示意图

a) 台阶聚集簇示例 1



1) 光学显微镜明场图像



2) 平面示意图

b) 台阶聚集簇示例 2

标引序号说明:

1 —— 颗粒。

图 A. 10-台阶聚集簇

参考文献

- [1] ISO 24173, Microbeam analysis – Guidelines for orientation measurement using electron backscatter diffraction.
-