



# 团 体 标 准

T/CASAS 069—2026

## 半导体晶片激光刻字深度的测定 白光干涉法

Measurement of laser marking depth of semiconductor wafer — White light interference method

2026 - 05 - 06 发布

2026 - 05 - 06 实施

## 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.....	1
5 试验条件.....	2
6 仪器设备.....	2
7 样品.....	2
7.1 样品要求.....	2
7.2 激光刻字要求.....	2
7.3 样品制备与处理.....	2
7.4 测量区域选择.....	3
8 试验步骤.....	3
8.1 准备工作.....	3
8.2 低倍数深度均匀性评估.....	3
8.3 高倍数单点深度精确测量.....	3
9 试验数据处理.....	3
9.1 数据处理流程.....	3
9.2 深度值提取步骤.....	3
9.3 结果表示.....	4
9.4 异常值处理.....	4
10 精密度和测量不确定度.....	4
10.1 精密度.....	4
10.2 测量不确定度来源.....	4
10.3 测量不确定度的评估.....	4
11 试验报告.....	5
附录 A （资料性） 碳化硅晶片激光刻字深度测量结果示例.....	6
参考文献.....	8

## 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：山东大学、广州南砂晶圆半导体技术有限公司、山东中晶芯源半导体科技有限公司、杭州海乾半导体有限公司、河北同光半导体股份有限公司、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：陈秀芳、徐现刚、张木青、孔令沂、李青璇、牛爽、赵轩伊、谢雪健、吴载炎、黄俊、高伟、徐瑞鹏。

## 引 言

在半导体制造行业中，晶片上的激光刻字是关键标识和追踪手段，用于标识晶片批次、型号及工艺参数。刻字深度直接影响标识的持久性、可读性以及晶片的结构完整性。过浅的刻字可能导致标识磨损失效，而过深的刻字则可能引入微裂纹或应力集中，损害晶片性能。因此，精确测量激光刻字深度是保证产品质量和可靠性的核心环节。然而，现有测量方法各有局限，难以满足半导体晶片激光刻字深度测量的高精度、无损伤等要求。其中，扫描电子显微镜（SEM）虽能实现高分辨率成像，但属于破坏性测量，会直接损毁样品，无法用于量产晶片的在线检测，通常仅作为特定场景下的验证手段；其操作复杂，在深度测量方面精度有限，且真空环境对样品放置有严格要求，整体效率较低。台阶仪属于接触式测量，探针与晶片表面接触可能造成划伤，尤其对碳化硅、氮化镓等脆性半导体材料，易引发表面损伤或残余应力，且测量速度慢，不适用于批量检测。激光共聚焦显微镜虽为非接触式，但在纳米级深度测量时，受光学系统轴向分辨率限制，其精度通常不如白光干涉法，并且面对表面反光率差异较大的刻字区域时，测量稳定性也容易受影响。此外，现有测量方法缺乏统一标准，导致行业内测量结果参差不齐，影响了数据的可比性与质量控制的一致性。针对这一问题，本文件聚焦于采用“白光干涉法”（White Light Interferometry, WLI）作为测量手段。白光干涉法是一种非接触式光学测量技术，其利用宽带光源产生干涉条纹来分析表面形貌。该方法通过垂直扫描样品表面，捕捉干涉条纹的变化，进而重建三维表面高度信息。在微纳米尺度测量中，白光干涉法具有独特优势，尤其适用于半导体晶片这类对测量精度要求极高的表面。

目前，国内尚无晶片激光刻字深度的测量标准，本文件的制定填补了国内空白，满足了半导体产业对晶片激光刻字深度的检测需求。

# 半导体晶片激光刻字深度的测定 白光干涉法

## 1 范围

本文件描述了半导体晶片激光刻字深度的白光干涉检测方法，包括原理、试验条件、仪器设备、样品、试验步骤、试验数据处理、精密度和测量不确定度以及报告。

本文件适用于采用白光干涉技术对包括切割片、研磨片和抛光片在内的半导体晶片(含硅、碳化硅、氮化镓、氮化铝等)的激光刻字深度的测量。

## 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

JF 1059.1 测量不确定度评定与表示

## 3 术语和定义

GB/T 14264界定的术语和定义适用于本文件。

## 4 原理

白光干涉法基于低相干光源的干涉原理。如图 1 所示，宽谱白光光源经准直匀化后，通过分光棱镜进入Mirau干涉物镜。物镜内的分束器将光分为两束，一束照射固定参考镜，另一束照射样品表面。两束反射光返回后发生干涉，携带表面高度信息的光束被CCD探测器接收。由于白光相干长度很短，仅在参考光与样品反射光的光程差接近零时，才会产生高对比度的干涉条纹。通过压电扫描器纵向扫描物镜，获取一系列干涉图像，利用算法分析光程差变化，最终重构出样品表面的三维形貌，从而测定刻字深度。

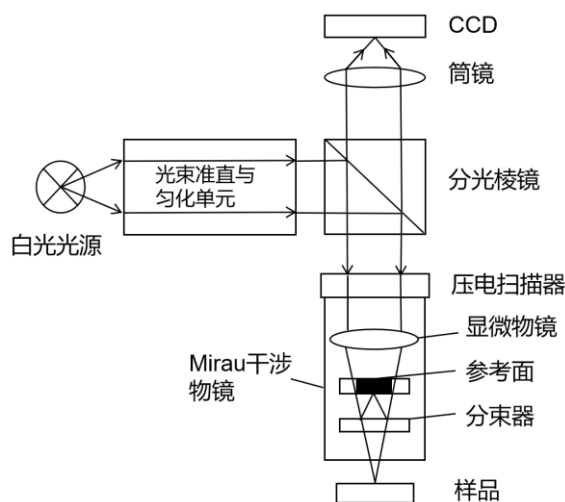


图1 白光干涉法原理示意图

## 5 试验条件

实验室环境应满足以下要求：

- a) 环境温度：(22±1)℃。
- b) 相对湿度：低于70%。
- c) 洁净度：实验室环境宜清洁（万级及以上），避免灰尘落在光学元件或样品表面。

## 6 仪器设备

白光干涉显微镜主要由以下部件构成：

- a) 白光光源：通常采用发光二极管（LED），提供宽光谱、低相干性的照明光束。
- b) 准直匀化单元：用于将白光光源发出的光处理成平行、均匀的照明光束，以确保干涉场的均匀性。
- c) 分光棱镜：将入射的照明光束分束，分别导向参考光路和样品光路；并将两路返回的反射光重新合束以产生干涉。
- d) Mirau干涉物镜：显微镜的核心干涉组件，内部集成有分束器和固定的参考镜。它使照射样品表面的物光与照射内部参考镜的参考光产生干涉。
- e) 压电扫描器：一种高精度轴向驱动装置，轴向位移分辨率应优于1 nm，用于精确控制干涉物镜或样品台沿光轴方向（Z向）进行步进扫描，以获取不同高度下的干涉图像序列。
- f) 筒镜：用于将干涉物镜出射的携带干涉信息的光束聚焦。
- g) CCD探测器：高分辨率的图像传感器，用于接收并记录由筒镜聚焦后的干涉条纹强度分布图像，其灰度等级应不低于12 bit以精确捕捉光强微小变化。

## 7 样品

### 7.1 样品要求

样品应符合以下要求：

- a) 类型：硅（Si）、碳化硅（SiC）、氮化镓（GaN）、氮化铝（AlN）等半导体晶片的切割片、研磨片或抛光片。
- b) 状态：表面无肉眼可见的划痕、崩边、污染物或明显翘曲。待测刻字区域应清晰。

### 7.2 激光刻字要求

激光刻字应符合以下要求：

- a) 尺寸：单个刻字特征尺寸不小于10 μm，以确保有足够的横向像素点用于精确的形貌重建和边缘识别。
- b) 深度：在1 μm至200 μm范围内。超出此范围需评估方法适用性与不确定度。
- c) 形貌：刻字区域应具有相对规则的凹坑或沟槽形貌，底部与侧壁较清晰，避免过多熔融物堆积或严重微观裂纹导致边界模糊。

### 7.3 样品制备与处理

样品制备与处理过程：

- a) 清洁：使用无尘布蘸取高纯度异丙醇或乙醇擦拭晶片表面，特别是刻字及周围区域，去除松散污染物。顽固污染物可采用合适的半导体清洗工艺处理。清洁后于洁净环境下干燥。

- b) 放置：将晶片平稳置于仪器样品台中央，刻字区域朝上并保持水平。小样品或碎片应使用合适夹具固定。

#### 7.4 测量区域选择

测量区域选择要求：

- a) 代表性：评估均匀性时，应在晶片表面或同批次样品中选择多个（ $\geq 2$ 处）分布位置的刻字。  
 b) 完整性：区域应完整包含目标刻字特征及周围足够面积的未刻字平整表面，用于建立基准平面。  
 c) 避让缺陷：应避开明显划痕、污染点或刻字不完整区域。

### 8 试验步骤

#### 8.1 准备工作

- 8.1.1 开启气浮隔振系统（如配备）。  
 8.1.2 将晶片置于样品台中央，移动样品台使激光刻字区域位于物镜下方。  
 8.1.3 为快速定位和初步调焦，可先选用较低倍数（如 10 倍）的共聚焦物镜及共聚焦模式进行观察。若样品表面整体平整度良好，可启动自动调平功能。  
 8.1.4 沿 Z 轴移动物镜，使样品表面大致处于焦平面附近。调节照明亮度以获得适宜对比度。  
 8.1.5 调节 Z 轴微调旋钮，同时在监视器中观察干涉条纹。当出现一组对比度最高、最清晰的零级干涉条纹时，表明参考光与样品光的光程差接近零，对焦完成。

#### 8.2 低倍数深度均匀性评估

- 8.2.1 切换至 20 倍干涉物镜及干涉模式，参照 8.1.4 和 8.1.5 进行精确对焦。  
 8.2.2 设置合适的 X、Y 轴扫描范围，确保包含所有待评估的刻字。  
 8.2.3 选择相干扫描干涉（CSI）模式，启动扫描，获取多个刻字区域的三维形貌数据。  
 8.2.4 测量完成后，在分析软件中对每个刻字特征进行深度测量，初步了解刻字深度的分布范围，并选定具有代表性（如深度接近平均值、形貌规则）的刻字特征进行后续高精度测量。

#### 8.3 高倍数单点深度精确测量

- 8.3.1 切换至 50 倍干涉物镜及干涉模式，参照 8.1.4 和 8.1.5 进行精确对焦；  
 8.3.2 根据 8.2 的初步结果，设置合适的 Z 轴扫描范围，确保能完整覆盖刻字深度；  
 8.3.3 选择相干扫描干涉（CSI）模式，启动扫描，获取目标刻字特征的高分辨率三维形貌数据。

### 9 试验数据处理

#### 9.1 数据处理流程

基本流程包括：数据加载、形貌复原、测量区域定义、基准面建立、深度计算及结果统计。

#### 9.2 深度值提取步骤

- a) 数据加载与复原：将原始干涉图像序列导入分析软件，选用适当的算法（如“restore”算法）进行三维形貌重建（三维形貌图示例参见附录A）。  
 b) 定义测量区域：在三维形貌图上，界定包含目标刻字及其周围参考表面的区域。  
 c) 建立基准平面：选取刻字周围未受影响的平整表面作为参考区，使用软件平面拟合功能（如最小二乘法）建立基准平面。

d) 剖面分析与深度计算（测量结果示例参见附录A）：

- 1) 通过刻字最深点作一剖面线。
- 2) 提取该剖面线上各数据点相对于基准平面的高度值。
- 3) 刻字深度（D）按公式（1）计算，即剖面线上各点高度值的算术平均值。

$$D = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Z_i \dots\dots\dots (1)$$

式中：

- D —— 刻字深度，单位为微米（ $\mu m$ ）；
- n —— 剖面线上有效数据点的数量；
- Z<sub>i</sub> —— 剖面线上第 i 点相对于基准平面的高度值，单位为微米（ $\mu m$ ）；

e) 均匀性评估：如需评估刻字深度均匀性，应在样品的不同代表性位置重复步骤a)~d)，测量多个刻字特征的深度。分别记录各测量值，并计算其最大值（D<sub>max</sub>）、最小值（D<sub>min</sub>）、算术平均值（ $\bar{D}$ ）和标准偏差（s）。

### 9.3 结果表示

测量结果应以如下方式表示：

- a) 单点深度：D = XX  $\mu m$ 。
- b) 深度均匀性：应报告平均深度（ $\bar{D}$ ）、标准偏差（s）、最大深度（D<sub>max</sub>）和最小深度（D<sub>min</sub>）。
- c) 应在报告或附图中注明基准平面的拟合区域以及用于深度计算的剖面线位置。

### 9.4 异常值处理

如发现显著偏离其他测量值的异常数据，应核查原始三维形貌图。若确认该异常由非刻字本身因素（如表面污染物或局部缺陷）引起，可予以剔除，并在试验报告中说明剔除的原因及数量。

## 10 精密度和测量不确定度

### 10.1 精密度

在满足第5章试验条件下，于重复性测量条件下，对同一激光刻字区域进行不少于3次独立测量，其结果的相对标准偏差（RSD）应不大于2%，此精密度指标对应的典型深度范围为1  $\mu m$ ~200  $\mu m$ 。

注：重复性测量条件指在同一实验室，由同一操作者使用同一设备，在短时间间隔内对同一试样进行测量。

### 10.2 测量不确定度来源

采用本方法测量激光刻字深度时，主要不确定度来源包括：

- a) 环境引入分量(u<sub>env</sub>)：如温度波动导致的光机结构热变形、振动引起的干涉光路扰动等。
- b) 样品与方法引入分量(u<sub>samp</sub>)：如基准平面拟合不确定度、刻字形貌（底部粗糙度、侧壁陡直度）影响、样品放置倾斜等。
- c) 操作者引入分量(u<sub>oper</sub>)：如调焦的细微差异、测量区域及剖面线选择的主观性等。

### 10.3 测量不确定度的评估

测量不确定度评估应依据JJF 1059.1等计量技术规范进行。合成标准不确定度(u<sub>c</sub>)由各分量合成得到。扩展不确定度(U)按公式（2）计算：

$$U = k \cdot u_c \dots\dots\dots (2)$$

式中：

- U —— 扩展不确定度；

k —— 包含因子，通常取 $k=2$ ，对应约95 %的置信水平。

注：在满足本文件要求，且刻字深度在 $1\ \mu\text{m}\sim 200\ \mu\text{m}$ 范围内、形貌较为规则时，本方法的扩展不确定度（ $k=2$ ）典型水平可参考如下：

—— 深度 $\leq 100\ \mu\text{m}$ 时，U通常 $\leq 5\ \mu\text{m}$ 。

——  $100\ \mu\text{m} < \text{深度} \leq 200\ \mu\text{m}$ 时，U通常 $\leq 10\ \mu\text{m}$ 。

实际不确定度应根据具体仪器、环境、样品及操作进行评估和报告。

## 11 试验报告

报告至少应包括以下内容：

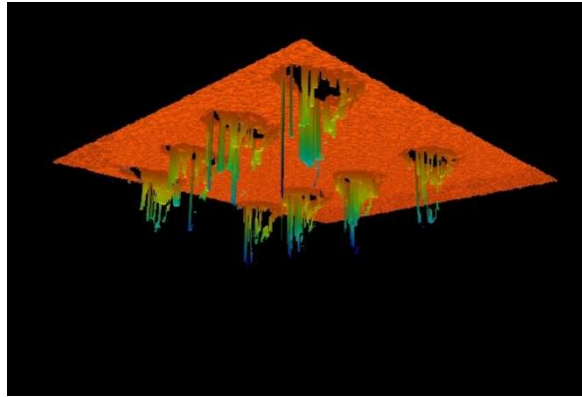
- a) 送样单位；
- b) 送样日期；
- c) 样品名称；
- d) 样品规格；
- e) 样品编号；
- f) 仪器型号与品牌；
- g) 检测位置；
- h) 测试条件；
- i) 报告编号；
- j) 测试结果；
- k) 异常现象说明；
- l) 操作者；
- m) 测试日期；
- n) 测试单位。

## 附录 A

(资料性)

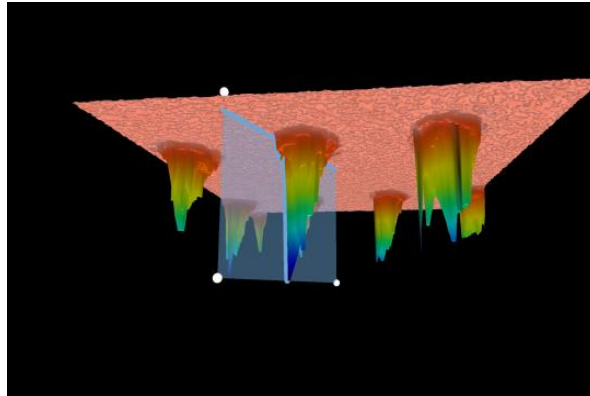
### 碳化硅晶片激光刻字深度测量结果示例

碳化硅晶片激光刻字孔三维形貌实测图如图A.1所示。



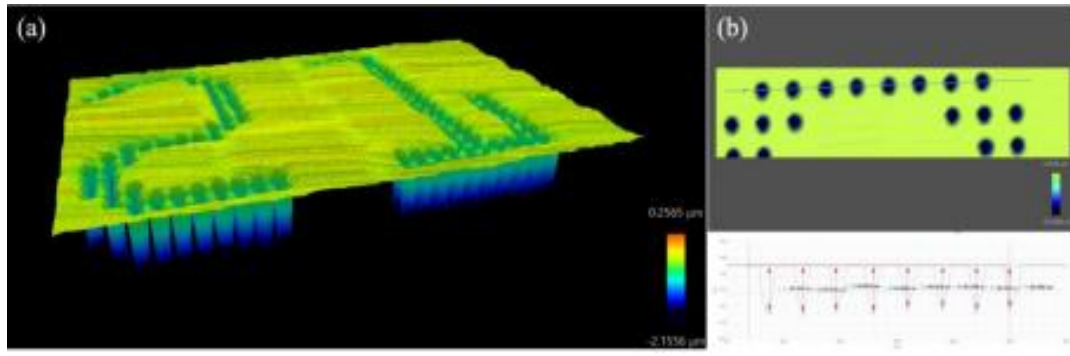
图A.1 碳化硅晶片激光刻字孔三维形貌实测图

碳化硅晶片激光刻字孔三维形貌复原图（采用“restore”算法）如图A.2所示。



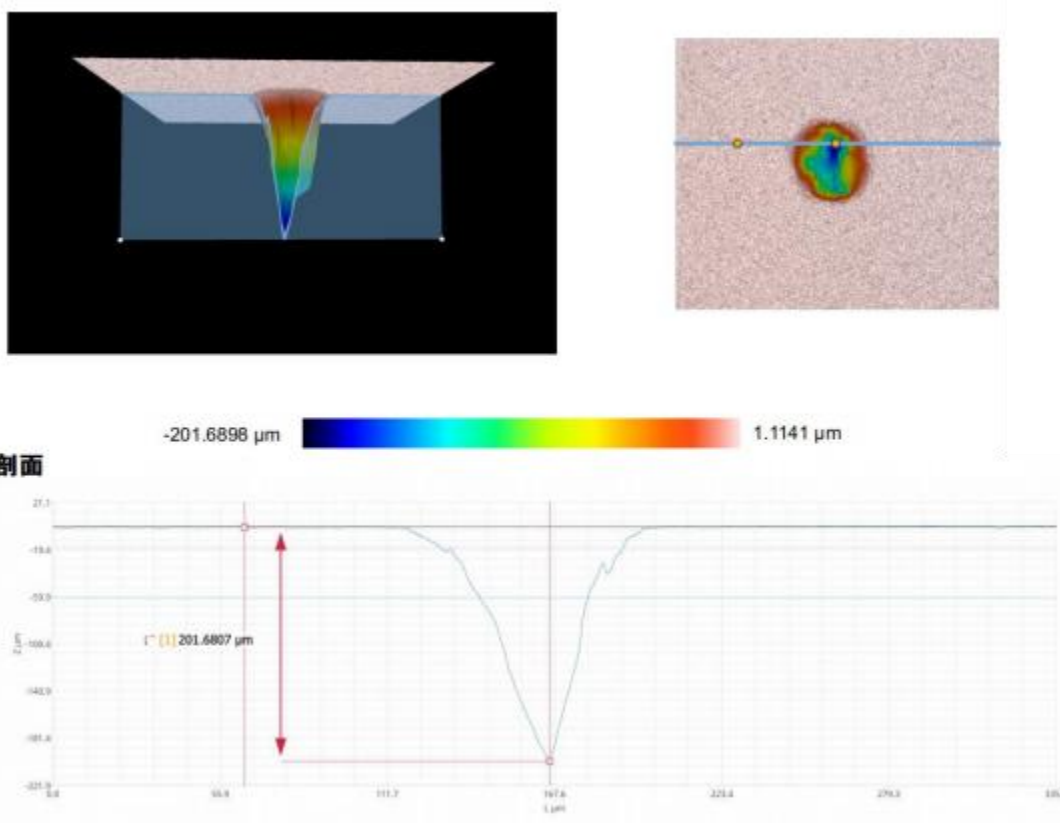
图A.2 碳化硅晶片激光刻字孔三维形貌复原图（采用“restore”算法）

20倍物镜下碳化硅晶片的激光刻字深度测量结果示意图如图A.3所示。



图A.3 20倍物镜下刻字深度测量结果示意图 (a) 刻字孔三维形貌图, (b) 二维平面测量图

50倍物镜下碳化硅晶片的激光刻字深度测量结果示意图如图A.4所示。



图A.4 50倍物镜下测量结果示意图

### 参 考 文 献

- [1] Haitjema H .International comparison of depth-setting standards[J].Metrologia, 1997, 34(2):161-167.
  - [2] 张超,袁群,张佳乐,等.白光显微干涉三维形貌测量中的移相误差校正方法[J].红外与激光工程, 2022(007):051.
  - [3] 董一帆,万新军,孟涵,等.快速稳定的白光干涉测量法 [J].激光与光电子学进展, 2017.
-

