

国家标准《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》 编制说明

一、 工作简况

1、 立项目的和意义

碳化硅（SiC）作为典型的宽禁带半导体材料，与硅（Si）相比，具有击穿电场高、导热率高、饱和电子漂移速度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。当前，全球半导体产业正处于深度变革，化合物半导体成为产业发展新的关注点，我国正加紧产业布局，抢占发展的主动权。

SiC 外延片是在碳化硅单晶抛光片上经过化学气相沉积反应生长一层导电类型、载流子浓度、厚度和晶格结构都符合要求的碳化硅单晶薄膜，SiC 同质外延片中存在的缺陷是衡量 SiC 外延片质量的重要参数，也直接影响 SiC 基功率半导体器件的成品率和可靠性，准确识别 SiC 外延片中的缺陷，对于 SiC 外延片的制备、使用有重要的意义。关于 SiC 外延片中的缺陷分类及其检测方法，在我国目前均无统一的标准，需制定国家标准，规范 SiC 外延片的缺陷分类及其检测方法，指导 SiC 外延片的生产和使用，促进国内 SiC 半导体材料和 SiC 基功率半导体器件的发展。

2、 任务来源

《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》标准制定是2021年第4批国家标准计划项目，计划项目批准文号：国标委发【2021】41号，计划项目代号：20214649-T-469。归口单位为全国半导体设备和材料标准化技术委员会（TC 203）归口，执行单位为全国半导体设备和材料标准化技术委员会材料分会（TC 203/SC2），承办单位为中国电子科技集团公司第十三研究所，项目周期为18个月。

3、 主要工作过程

3.1、起草阶段

项目立项之后，成立了标准修订小组，落实了标准主要内容、涉及范围、检测和参与单位、时间节点等工作。编制组由半导体材料的设计人员、工艺人员、检验试验管理人员和标准化人员组成；编制组首先对 IEC 63068-1 Ed1.0:2019 进行翻译和研究，同

时对收集的 SiC 外延材料相关的标准和资料进行分析，在草案的基础上对标准的内容进行进一步的完善，形成《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 1 部分：缺陷分类》讨论稿。

2022 年 6 月开始，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、深圳市晶扬电子有限公司、深圳创智芯联科技股份有限公司。形成讨论组，对标准翻译草稿进行多轮次线上会议讨论。

2023 年 2 月，在徐州半导体标准年会进行第一次标准工作会议（讨论会），对本标准进行第一次会上讨论。共有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北大光电研究院、广东天域半导体股份有限公司、松山湖实验室、中电化合物半导体有限公司等单位 45 位专家参加了会议，与会专家对标准的讨论稿认真地进行了逐字逐句的讨论，对本标准的技术要点内容和文本质量进行了充分的讨论，会议对本标准的范围、规范性引用文件、术语和定义、标准内容进行了相应修改建议。根据徐州会议的要求，编制组针对修改建议，对讨论稿进行再次修订。同时开始组织巡回测试工作，中国电科十三所进行实验验证报告，中国电科四十六所、安徽长飞先进半导体有限公司和山东天岳先进科技股份有限公司进行标准复验工作，形成实验报告和复验报告，于 2023 年 3 月完成了征求意见稿及编制说明。

3.2、征求意见阶段

2023 年 3 月，编制组将征求意见稿及编制说明提交至标委会，并在广东东莞由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组织的第二次标准工作会议（预审会）上进行征求意见。在东莞会议，参加会议的主要有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北大光电研究院、浙江大学、之江实验室、广东天域半导体股份有限公司、松山湖实验室、中电化合物半导体有限公司、北京天科合达半导体股份有限公司等单位共 28 名专家。与会专家对本标准的标准技术内容和文本质量等方面进行了充分的讨论，形成了修改建议，具体见意见汇总表（提出单位为预审会）。根据预审会的意见，编制组对征求意见稿进行了修改及相关内容的补充和完善，同时开始组织巡回测试工作。

2023 年 3 月，编制组根据预审会会议意见以及巡回测试试验结果，将修改后的征求意见稿发至行业主要相关的单位广泛征求意见。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在国家标准化管理委员会的“国家标准化业务管理平台”上挂网，

向社会公开征求意见，未收到反馈意见。同时，标委会通过工作群、邮件向委员单位征求意见，并将征求意见资料在 www.cnsmq.com 网站上挂网征求意见。征求意见的单位包括主要的生产、经销、使用、科研、检验等，征求意见单位广泛且具有代表性。

3.3、审查阶段

2023 年 4 月 27 日，由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组织，在四川乐山市召开《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 1 部分：缺陷分类》（国家标准）审定会，共有 XXX 等 XXX 个单位 XXX 位专家（具体见半导体材料标准审定会参加专家名单）参加了本次会议。

3.4 报批阶段

编制组根据审定会专家意见，对标准文本的内容作了进一步的完善，形成了标准报批稿，标委会秘书处对标准报批材料进行了审查确认，现上报国家标准化管理委员会审批。

4、 标准主要起草单位及人员所做的工作

中国电子科技集团公司第十三研究所作为本标准的主要承办单位，是国内最早开展 SiC 同质外延材料生长研究的单位之一，多年从事各种材料的研制工作。目前已实现 SiC 外延材料工程化生产，形成了碳化硅外延工艺生产和测试平台，掌握了设计仿真、缺陷表征、参数检测以及稳定性控制的全套外延生产技术，SiC 外延片产品掺杂浓度不均匀性、厚度不均匀性、缺陷等典型指标达到国内领先水平，技术力量雄厚，测试分析手段丰富，拥有多台套国际先进、全系列的半导体外延材料测试设备，具备制定本标准的技术实力，在标准制定过程中同时也牵头组织了标准的试验验证工作，为标准技术内容的确定奠定了技术基础。

本标准其他起草单位有之江实验室、浙江大学、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、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、厦门柯尔自动化设备有限公司。

其中安徽长飞先进半导体有限公司、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参与了实验和复验、标准的不同部分的翻译工作。之江实验室、浙江大学、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、厦门柯尔自动化设备有限公司对标准的讨论稿进行校准和修订工作。

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、郑隆结参与了标准复验或是完善标准文本质量。

二、 标准编制原则及确定标准主要内容的依据

1、 编制原则

本标准等同采用 IEC 63068-2 Ed1.0:2019《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》。标准编写符合 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》、GB/T 1.2-2020《标准化工作导则 第2部分：以 ISO/IEC 标准化文件为基础的标准化文件起草规则》的规定。

2、 标准主要内容的确定依据

除编辑性修改外，标准的结构和内容与 IEC 63068-2: 2019 保持一致。本标准包含了范围、引用文件、术语和定义和光学检测方法四章内容，其中检测方法中对测试的原理、条件、参数设置、程序、评价和报告等内容进行详细的规定。具体说明如下：

1) 范围：商用碳化硅（SiC）同质外延片产品上缺陷的光学检测方法。

2) 规范性引用文件：本标准没有规范性引用文件，按照 GB/T 1.1 的编写要求，保留该章编号和标题的设置。

3) 术语和定义：给出了光学检测、光学成像、照明等术语定义，本文件中术语主要参考 IEC 标准原文翻译，尽量和 IEC 原文保持一致。

4) 光学检测方法：规定了具有表面形态特征的缺陷的光学检测方法。其中包括测试原理、测试条件、测试参数设置和测试数据处理方法。

5) 附录 A 为资料性附录：介绍了反射照明下通过明场差分干涉获得的 4H-SiC 同质外延片缺陷的典型图像和特征。

3、 试验情况

本标准中规定的碳化硅缺陷的光学检测方法。

参加巡回测试的厂家有：中国电子科技集团公司第十三研究所、安徽长飞先进半导体有限公司、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。其中中国电子科技集团公司第十三研究所进行了实验验证，使用光学和光致发光检测方法对 SiC 外延片样品进行测试，各类缺陷统计和各种缺陷的典型图像和 IEC 标准中一致。

完成验证该标准的内容验证。实验报告见附件。

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、安徽长飞先进半导体有限公司、浙江大学/之江实验室、中电化合物等单位分别进行了复验验证。复验验证报告见附件。

三、标准水平分析

本标准等同采用 IEC 63068-2 Ed1.0:2019 《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》。

本次标准的制定对碳化硅同质外延片制备技术的提高，规范碳化硅外延片产业的发展起到巨大的推动作用，同时实现了与国际标准的接轨。本标准为推荐性国家标准，达到了国际一般水平。

四、与现行法律、法规、强制性国家标准及相关标准协调配套情况

目前国内无碳化硅同质外延片无损检测相关标准。本标准与现行的法律、法规及国家标准、国家军用标准、行业标准没有冲突，不涉及知识产权纠纷。

目前 SiC 已发布的 SiC 材料和器件相关国家标准主要包括：

第三代半导体产业技术创新战略联盟标准 T/CASA004.1《4H 碳化硅衬底及外延层缺陷术语》

第三代半导体产业技术创新战略联盟标准 T/CASA004.2《4H-SiC 衬底及外延层缺陷图谱》。

本标准等同采用 IEC 63068-2 Ed1.0:2019，对缺陷的分类和检测方法进行补充，是对上述标准的补充和配套。

五、重大分歧意见的处理经过和依据

编制组根据起草前确定的编制原则进行了标准起草，标准起草小组前期进行了充分的准备和调研，并做了大量调查论证、信息分析和试验工作，标准在主要技术内容上，行业内取得了较为一致的意见，标准起草过程中未发生重大分歧意见。

六、标准作为强制性标准或推荐性标准的建议

建议本标准将作为推荐性国家标准实施。

七、废止现行有关标准的建议

无替代或废止现行相关标准。

八、贯彻国家标准的要求和措施建议

本标准的实施与现有的其他标准没有冲突之处。本标准的制定和推广，有利于规范行业的发展，有利于国内半导体材料、符合大尺寸半导体样品的质量监控与品质提升的需求，有利于提高国内半导体样品的国内与国际市场竞争能力，实现高端半导体材料的民族自主可控。标准发布后建议组织标准宣贯推广会，促进标准的实施。

九、其他需要说明的事项

本标准作为推荐性国家标准供大家使用，若对结果有疑义，以供需双方商议的测试方法为准。

标准编制组

2023 年 4 月

附件：

国家标准《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》

试验报告

1 测试目的

《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1部分：缺陷分类》标准制定是2021年第4批国家标准计划项目，计划项目批准文号：国标委发【2021】41号，计划项目代号：20214653-T-469。归口单位为全国半导体设备和材料标准化技术委员会（TC 203），执行单位为全国半导体设备和材料标准化技术委员会材料分会（TC 203/SC2），承办单位为中国电子科技集团公司第十三研究所

编制组依据该标准涉及的测试产品种类，邀请了国内具有同一测试水平的厂家，以及下游芯片器件厂家的碳化硅外延片检验部门参与巡回测试，收集各厂家相关测试技术的测试条件、测试结果等数据，作为该国家标准等同采用的基础数据。

2 测试方案简介

- 2.1 样品信息：6英寸SiC同质外延片；中国电科十三所提供6英寸n型碳化硅外延片，除测试及运输时间外，测试片均应保存在氮气柜中。
- 2.2 检验项目：缺陷总数、缺陷类型及各类缺陷图像。
- 2.3 检验依据：《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。
- 2.4 检验设备：符合标准测试要求的表面缺陷检测系统，包括光学显微系统和光致发光成像功能。

参与本次巡回测试的几家单位在国内SiC衬底或外延相关领域均具有代表性及影响力，具体见表1。

表1 试验单位信息

参与单位	简称	联系人
中国电子科技集团公司第十三研究所	中电科十三所	芦伟立
中国电子科技集团公司第四十六研究所	中电科四十六所	刘立娜
山东天岳先进科技股份有限公司	天岳	张红岩
安徽长飞先进半导体有限公司	长飞先进	钮应喜
浙江大学、之江实验室	浙江大学、之江实验室	殷源
中电化合物半导体有限公司	中电化合物	金向军

说明：目前各家表面缺陷测试设备缺陷分类程序，由于没有统一的标准，缺陷名称及分类没有统一的程序，导致试验报告中缺陷分类统计可能存在偏差，这也是本次标准制定的重要意义之一。各家试验单位的测试报告缺陷分类可能存在不一致。针对本次标准中的各类缺陷，各家单位试验均能检测到各类缺陷，试验报告中均给出了各类缺陷的明场光学图像和光致发光图像示例。复验结果良好。

3 各实验室基础数据

3.1 中国电子科技集团公司第十三研究所检验报告

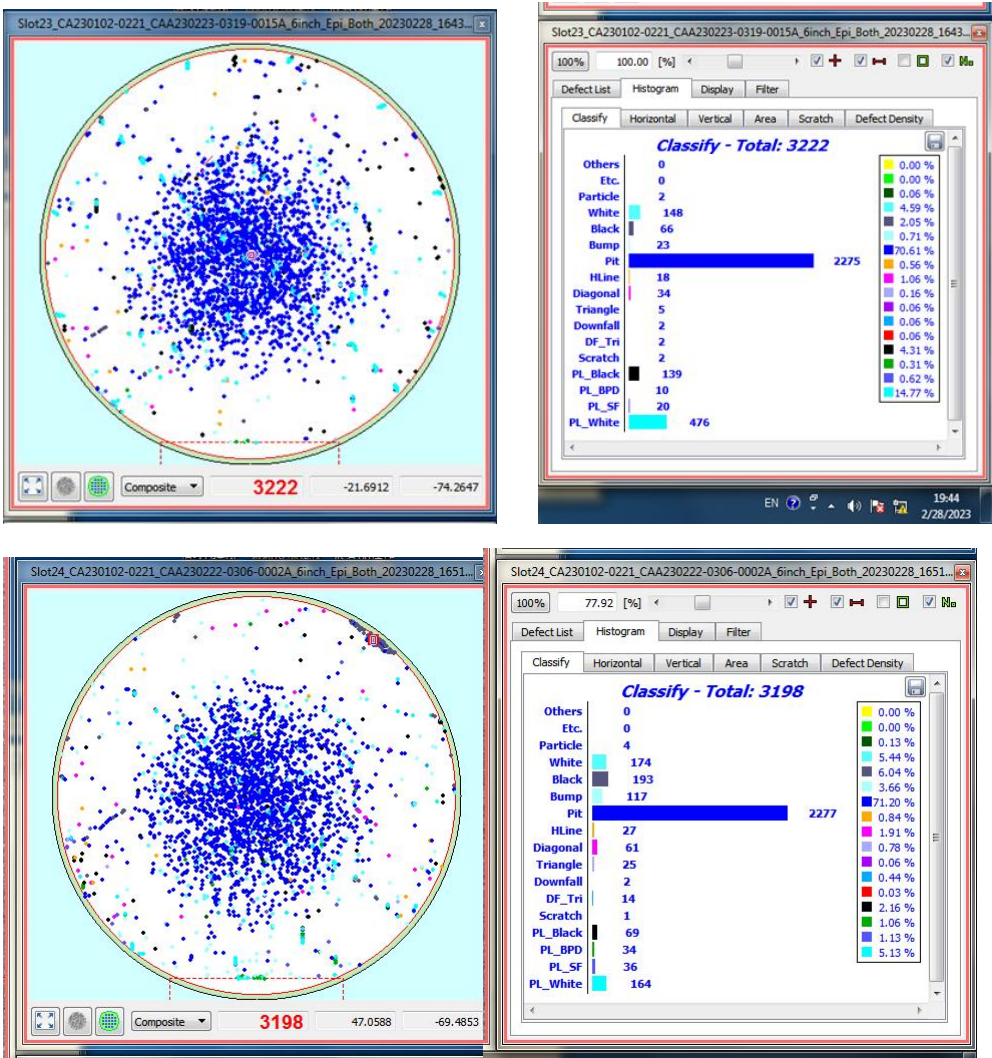
- 一、测试单位：中国电子科技集团公司第十三研究所
- 二、测试条件：测试设备 Lasertec SICA88 表面检测系统，包括光学测试和光致发光测试功能
- 三、测试样品：

6 英寸 SiC 同质外延片

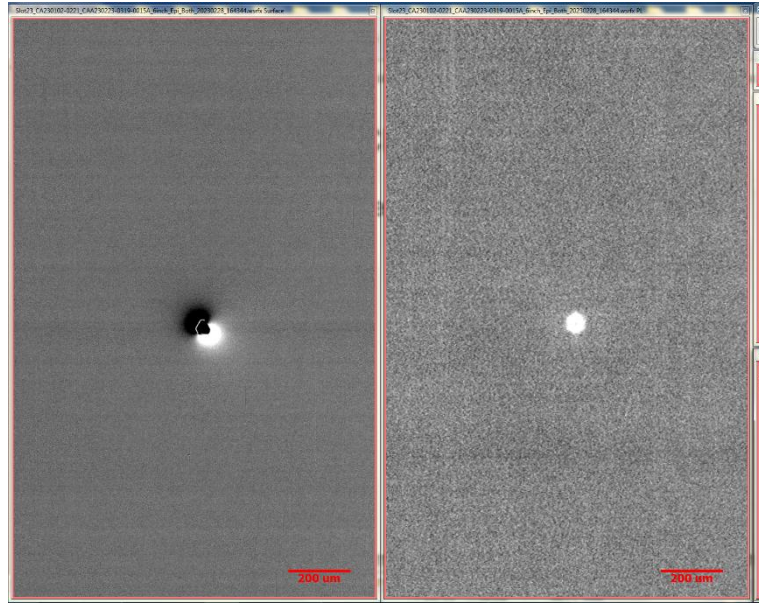
外延样品编号：SC6X644107-22，SC6X644107-17

四、测试结果

缺陷总数及分类：

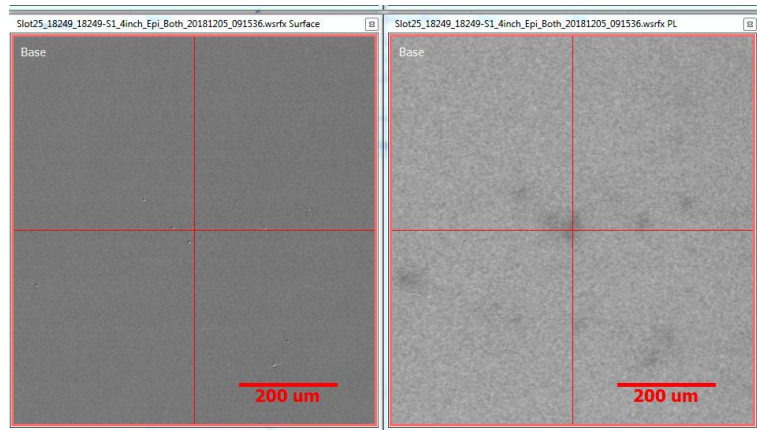


1. 微管

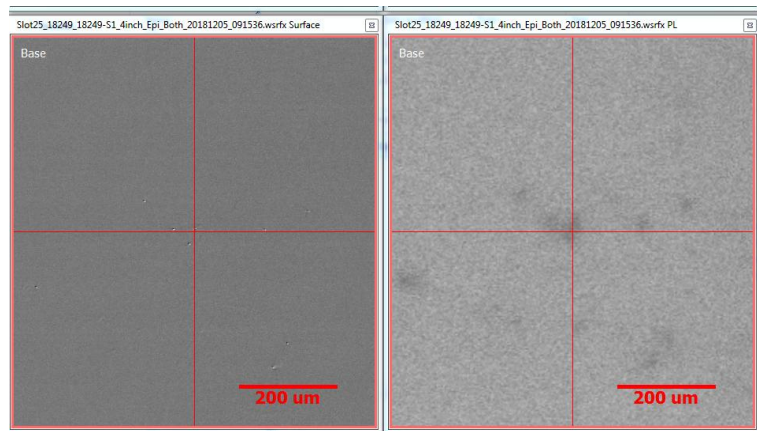


微管典型图像

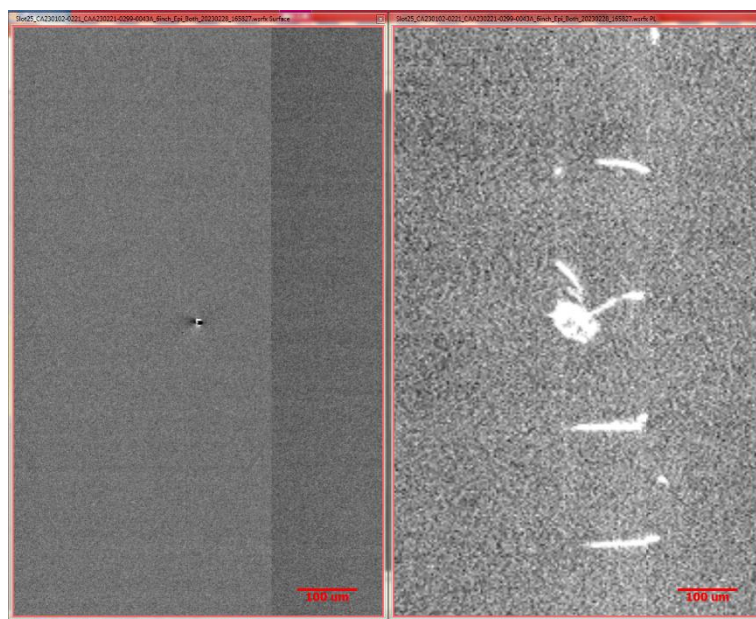
2. 穿透型螺位错 TSD



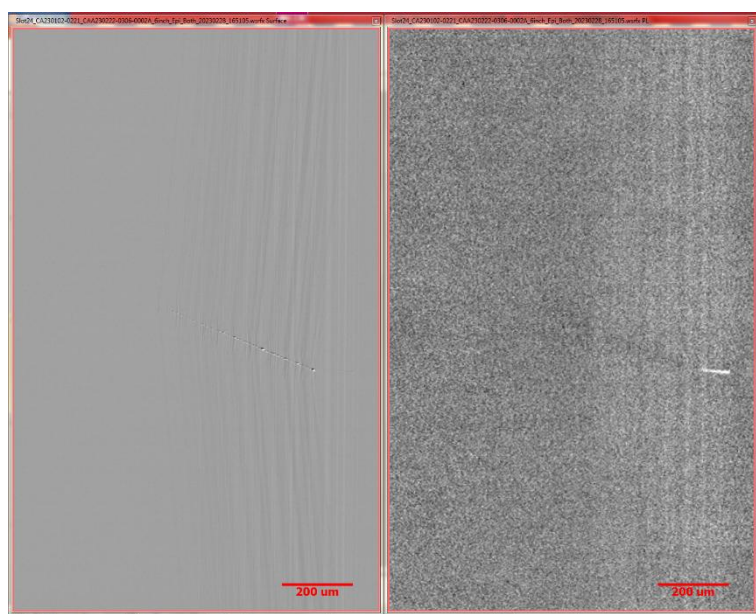
3. 穿透型刃位错 TED



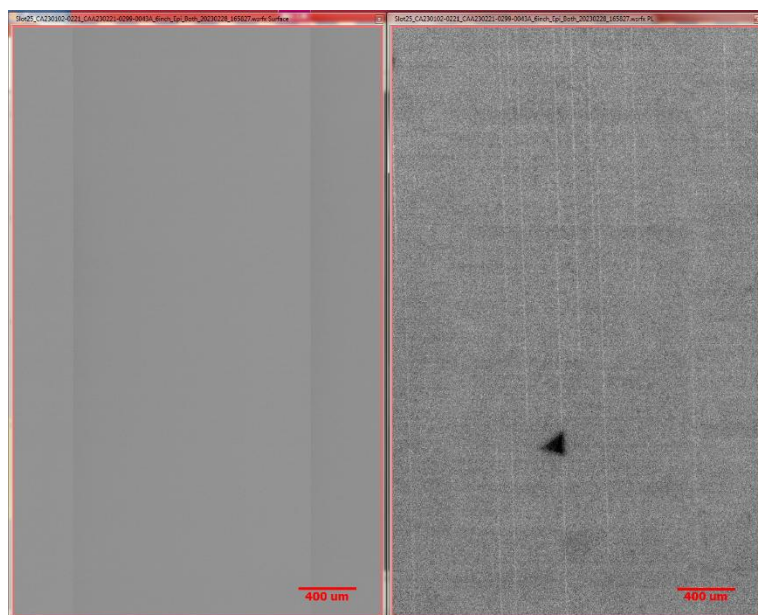
4. 基平面位错 BPD



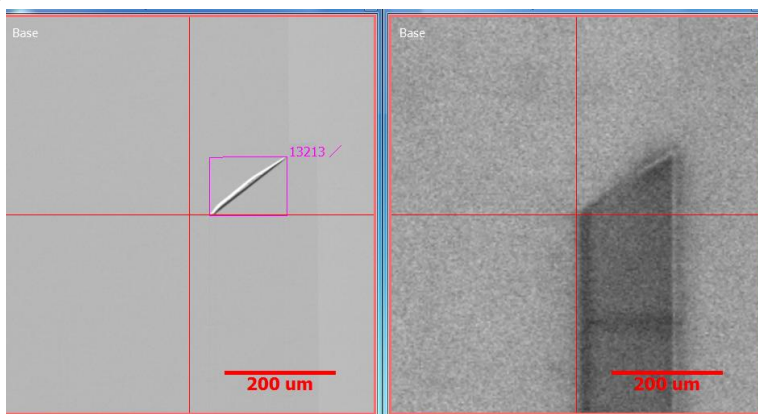
5. 划痕痕迹



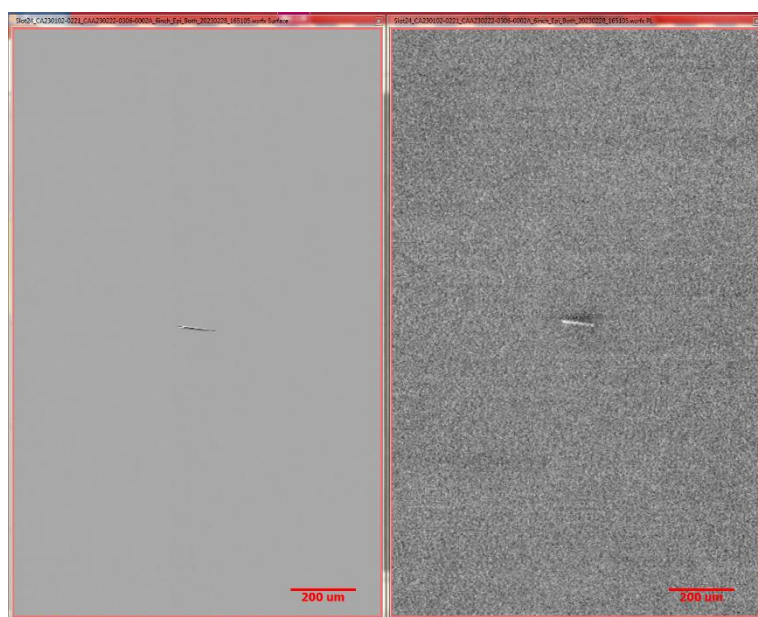
6. 堆垛层错



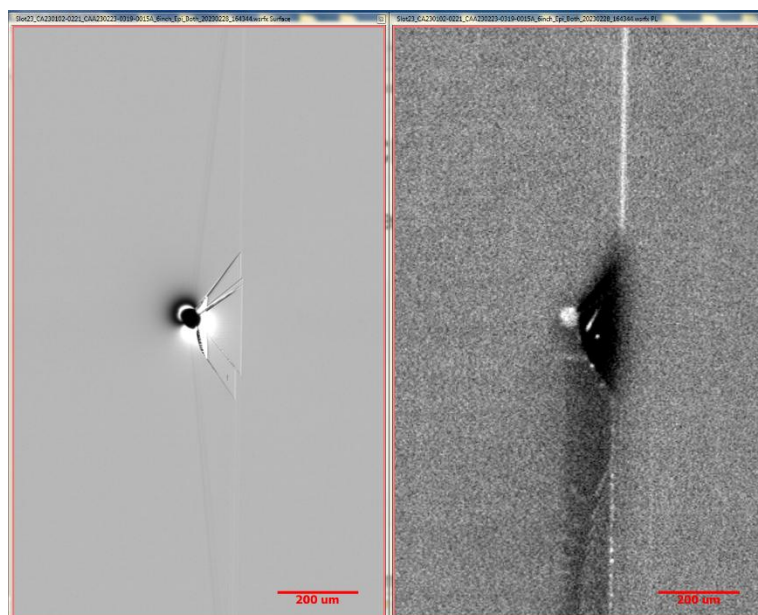
7. 延伸堆垛层错



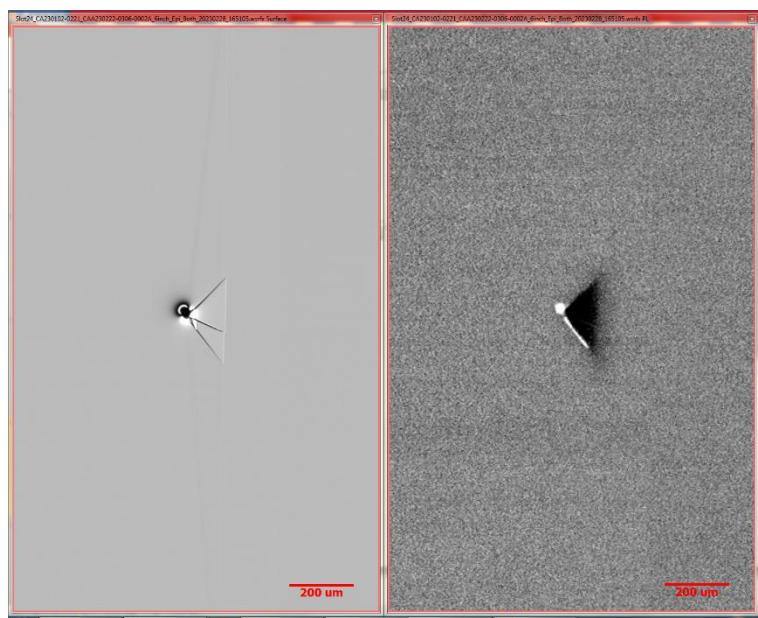
8. 复合堆垛层错



9. 多型包裹体

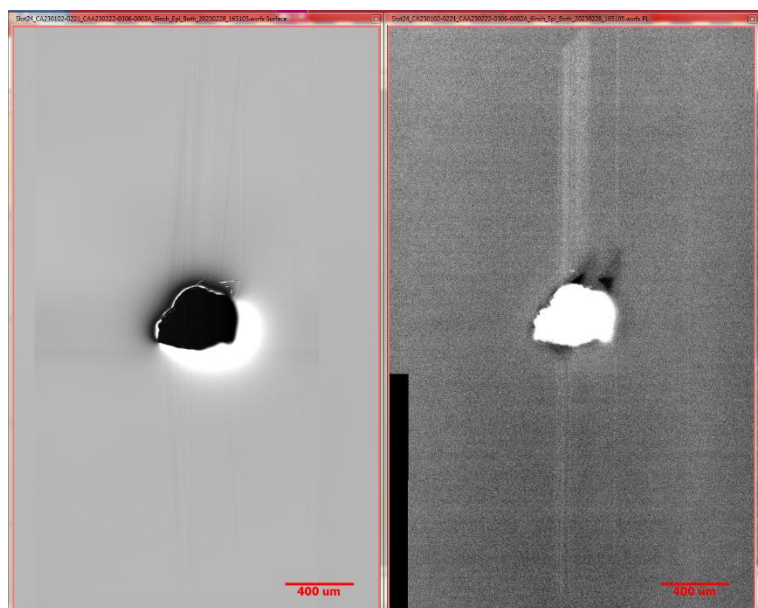


多形包裹体示例 1

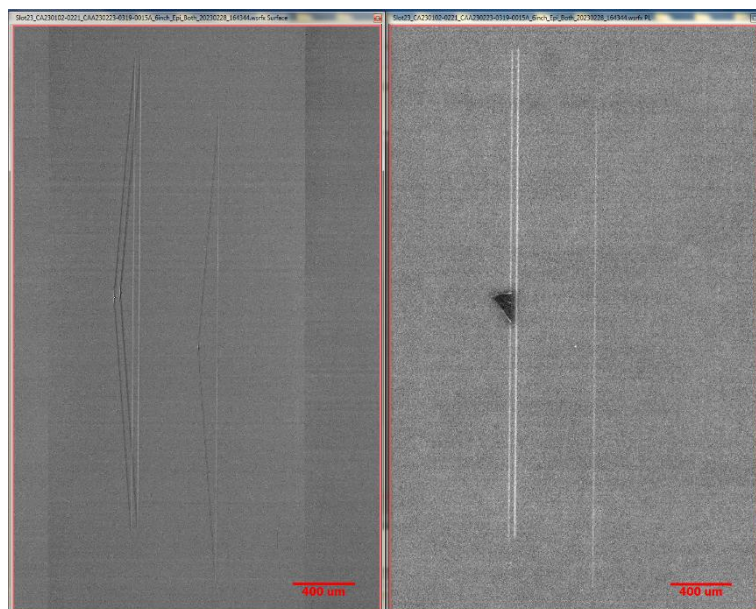


多形包裹体示例 2

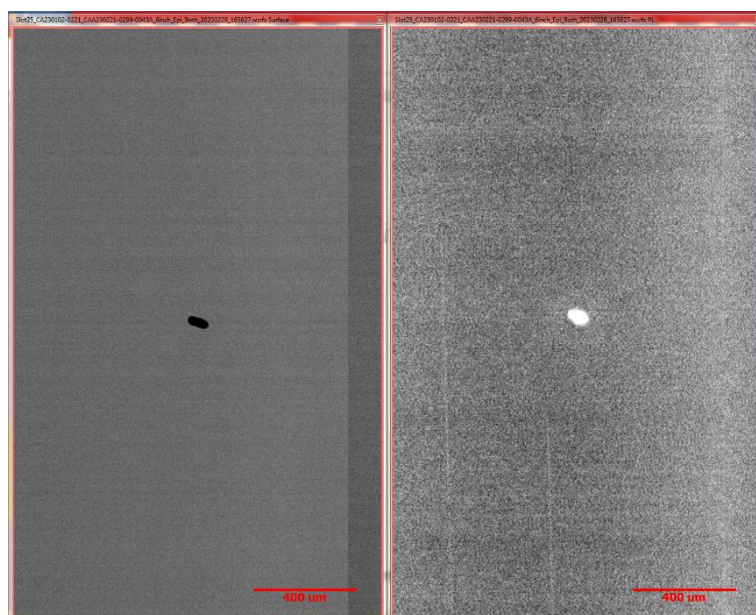
10. 颗粒包裹体



11. 台阶聚集簇



12. 表面颗粒



测试单位： 中国电子科技集团公司第十三研究所
测试日期： 2023.3.1

中国电子科技集团公司第四十六研究所
检验报告

报告编号：K23230313-01
7 页

第 1 页 共

受检单位	中国电子科技集团公司第十三研究所	联系人	芦伟立
受检单位地址	河北省石家庄市鹿泉区经济开发区昌盛大街 21 号十三所产业园 B7 厂房	电话	18032292267
样品信息	6 英寸 SiC 同质外延片	检测地点	河西区洞庭路 26 号
样品数量	1 片	样品接收日期	2023.3.11
样品标识	SC6X644107-22/	检测日期	2023.3.11~2023.3.12
检验项目	缺陷总数、缺陷类型		
检验依据	《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 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。		
检验设备	Lasertec 表面检测系统		
声明事项	1、报告无编制、审核、批准人签字无效，无“检验报告专用章”无效。 2、未经本实验室批准不得复制（全文复制除外）报告。 3、若对检验报告有异议，应于收到报告之日起十五日内向本实验室提出，逾期不予受理。 4、检验结果仅适用于收到的样品，不对客户提供的信息负责。		

批准：_____； 审核：_____； 编制：_____

签发时间：_____

中国电子科技集团公司第四十六研究所

检验报告

报告编号：K23230313-01

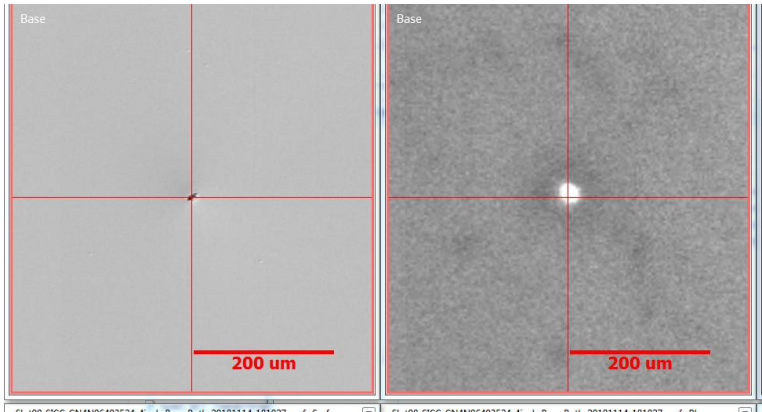
共 7 页

第 2 页

检验项目	检验数据	备注
缺陷总数(个)	3185	
缺陷类型	微管	见附图
	TSD	
	TED	
	BPD	
	划痕	
	堆垛层错	
	延伸堆垛层错	
	复合堆垛层错	
	多形包裹体	
	颗粒包裹体	
	台阶聚集簇	
	表面颗粒	

缺陷类型：

1、微管



图一 微管典型图像

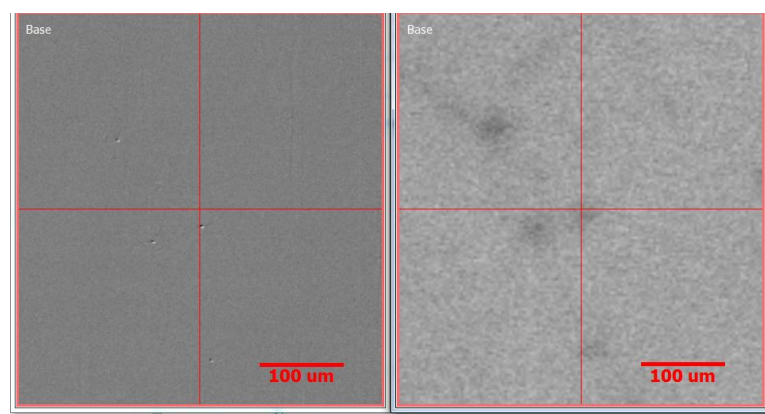
2、TED

中国电子科技集团公司第四十六研究所

检验报告

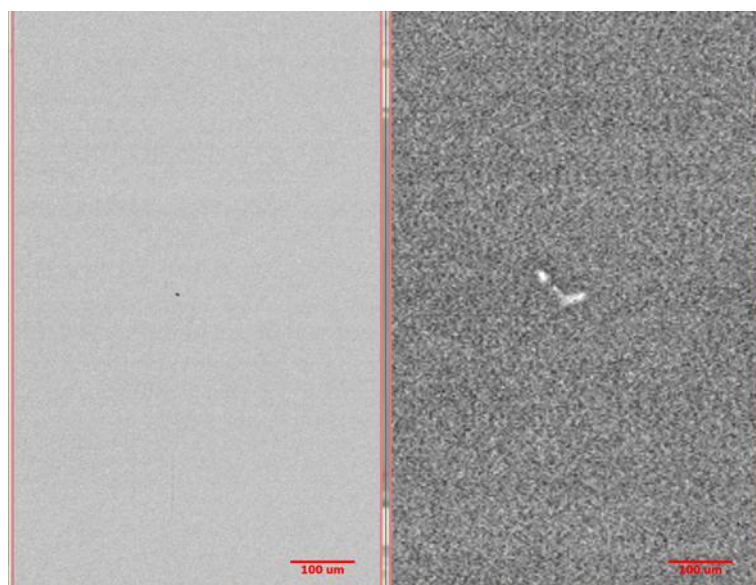
报告编号: K23230313-01
共 7 页

第 3 页



图二 TED 典型图像

3、BPD



图三 BPD 典型图像

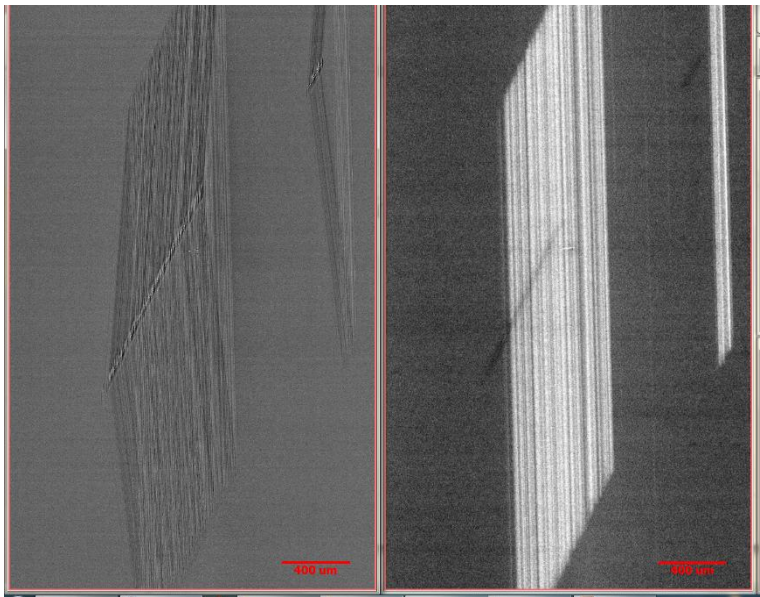
4、划痕痕迹

中国电子科技集团公司第四十六研究所

检验报告

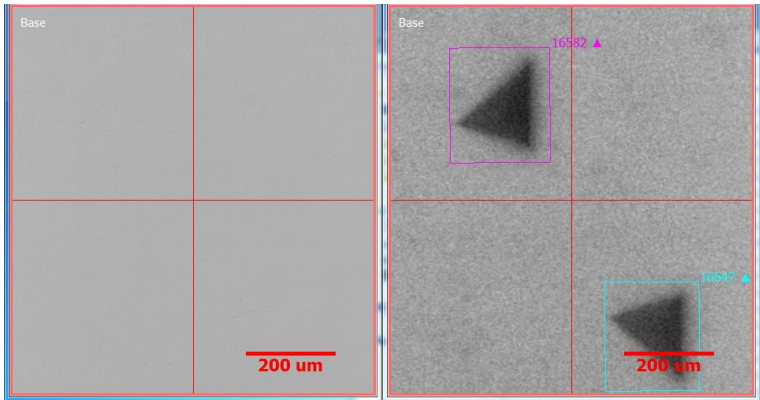
报告编号：K23230313-01
共 7 页

第 4 页



图四 划痕典型图像

5、堆垛层错



图五 堆垛层错图像

6、延伸堆垛层错

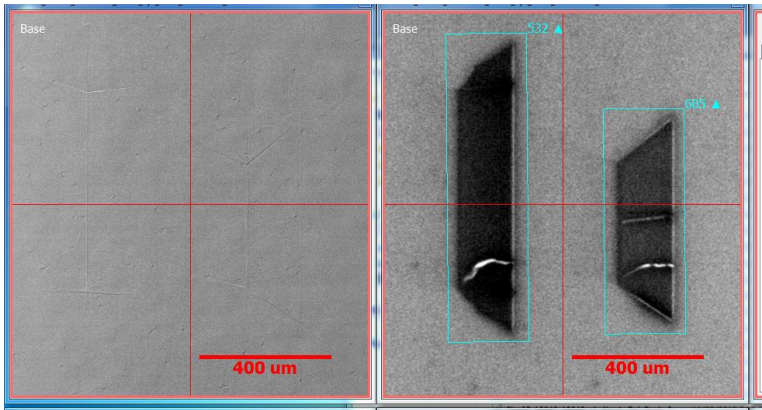
中国电子科技集团公司第四十六研究所

检验报告

报告编号：K23230313-01

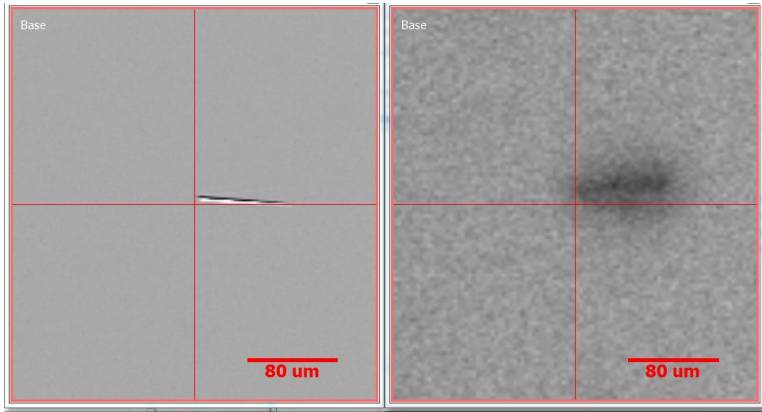
共 7 页

第 5 页



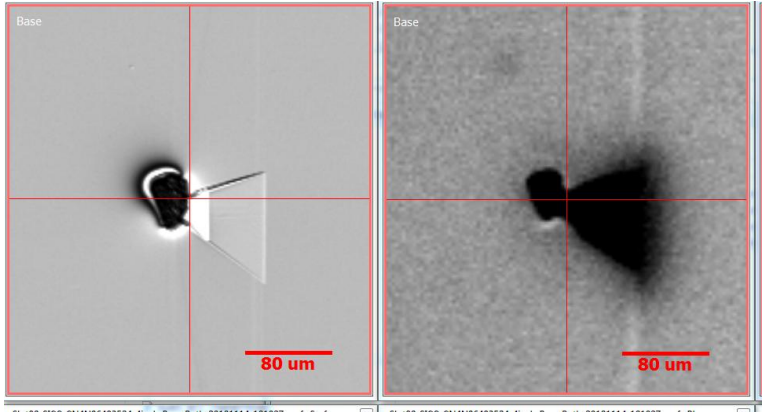
图六 延伸堆垛层错图像

7、复合堆垛层错



图七 延伸堆垛层错图像

8、多型包裹体



图八 多型包裹体图像

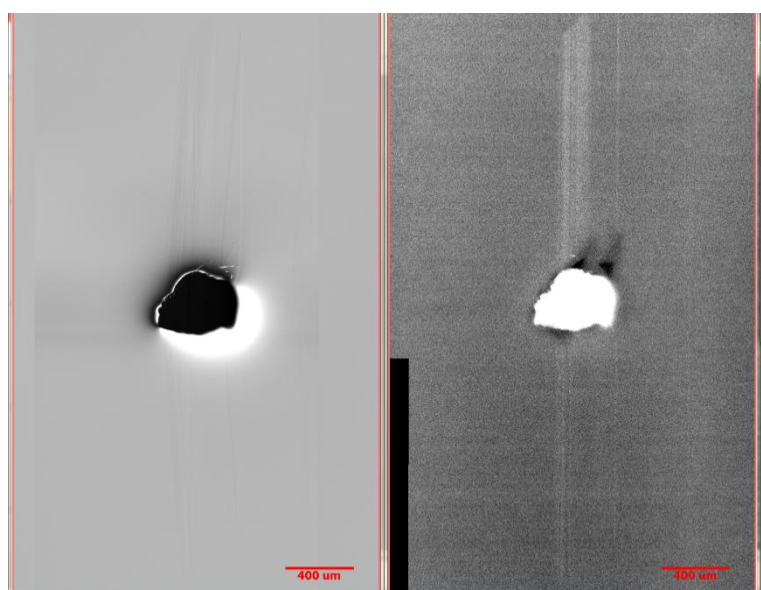
中国电子科技集团公司第四十六研究所

检验报告

报告编号: K23230313-01
共 7 页

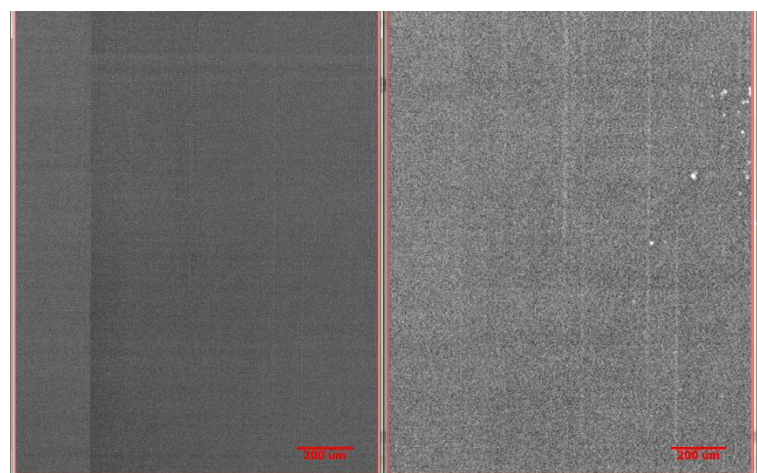
第 6 页

9、颗粒包裹体



图九 颗粒包裹体图像

10、台阶聚集簇



图十 台阶聚集簇图像

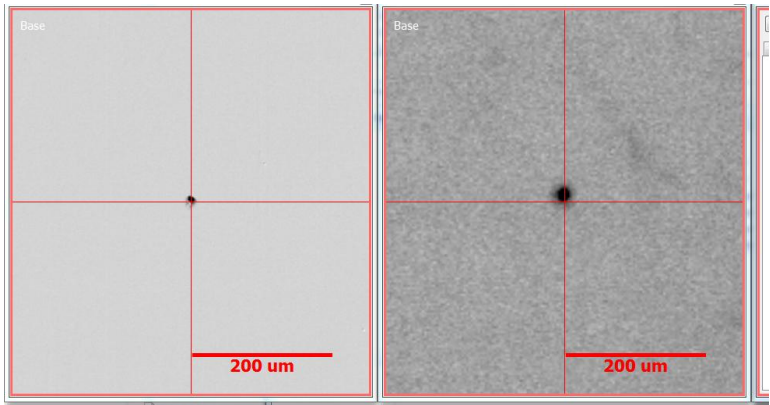
中国电子科技集团公司第四十六研究所

检验报告

报告编号：K23230313-01
共 7 页

第 7 页

11、表面颗粒



图十一 表面颗粒图像

-----报告结束-----

3.3 山东天岳先进科技股份有限公司

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

实验报告

一、 测试单位：山东天岳先进科技股份有限公司

二、 测试设备：表面缺陷检测仪 Candela 8520

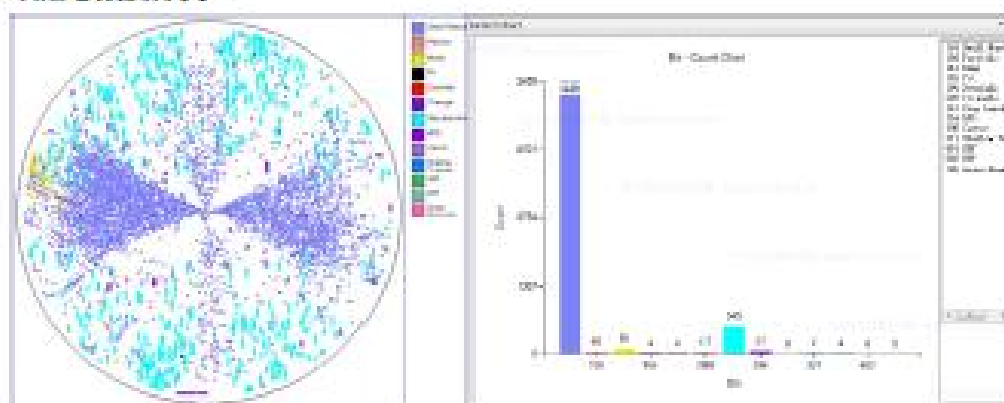
三、 测试样品：

6 英寸 SiC 同质外延片；

外延层厚度：11 μ m

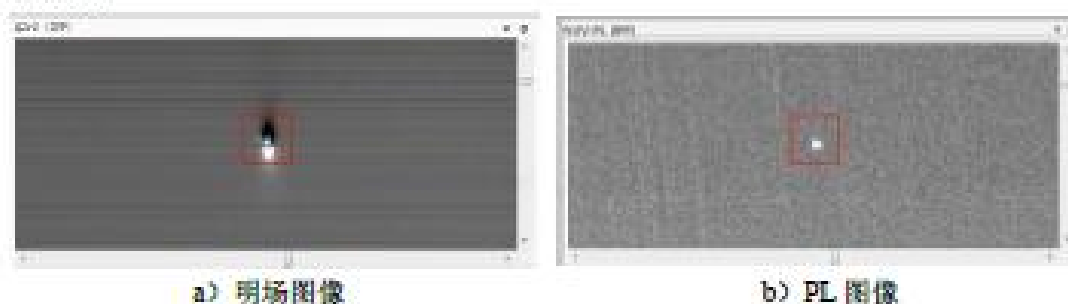
四、 测试结果：

缺陷总数及分类：

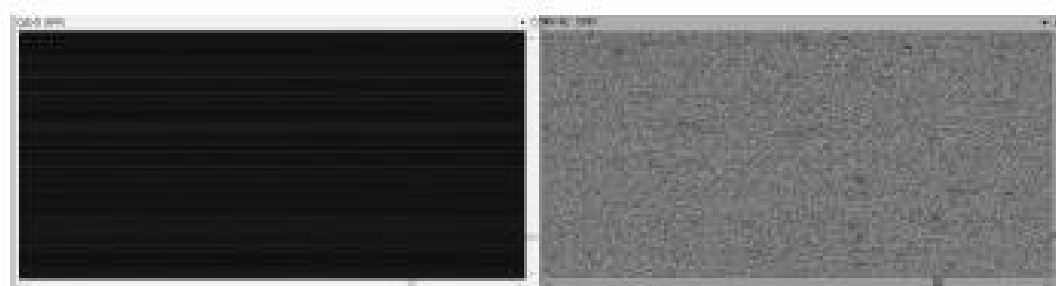


通过缺陷测试系统，包括光学测试和光致发光测试方法，测试判定后该外延片缺陷总数6245个。

1. 微管：



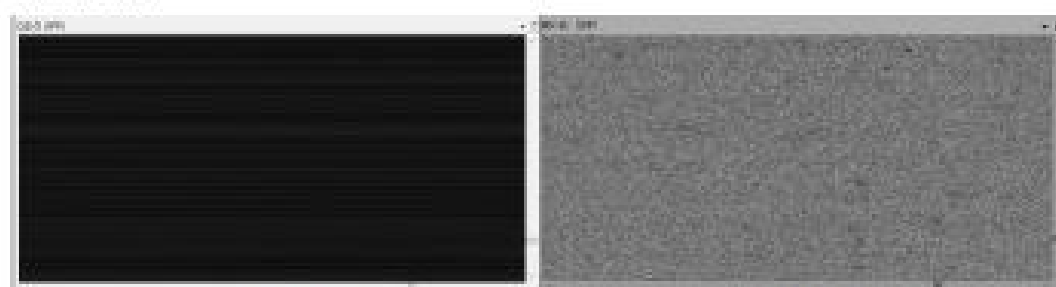
2. 螺旋螺位错



a) 明场图像

b) PL 图像

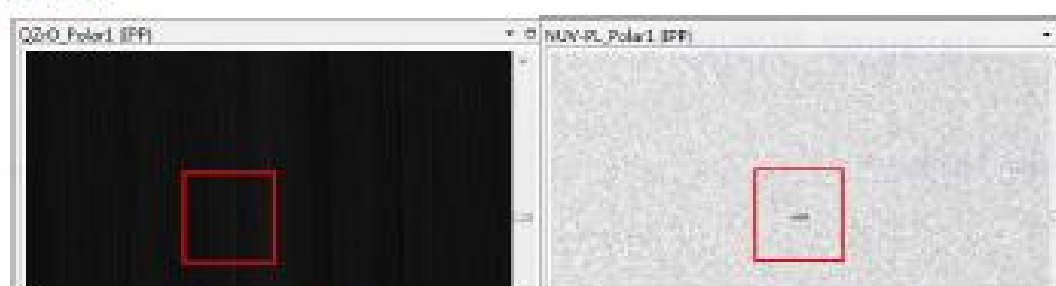
3. 螺旋刃位错



a) 明场图像

b) PL 图像

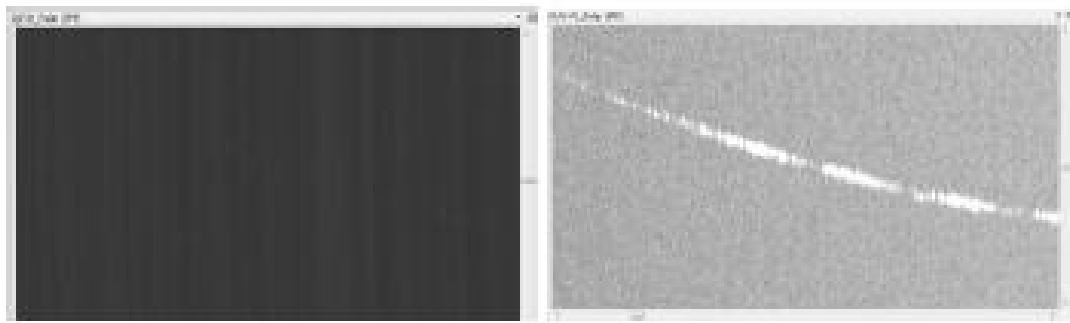
4. 基面位错



a) 明场图像

b) PL 图像

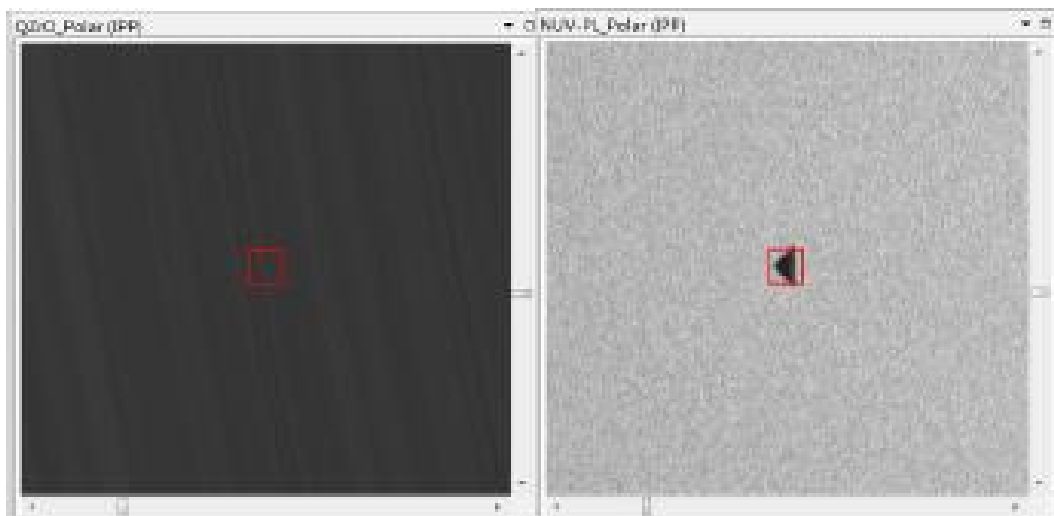
5. 划痕



a) 明场图像

b) PL 图像

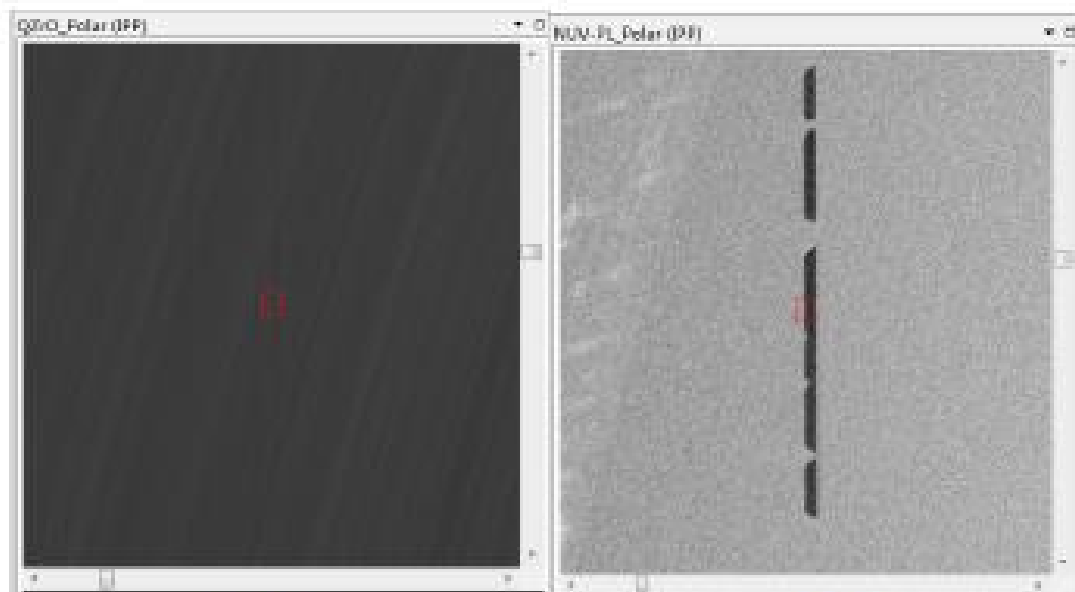
6. 堆垛层错



a) 明场图像

b) PL 图像

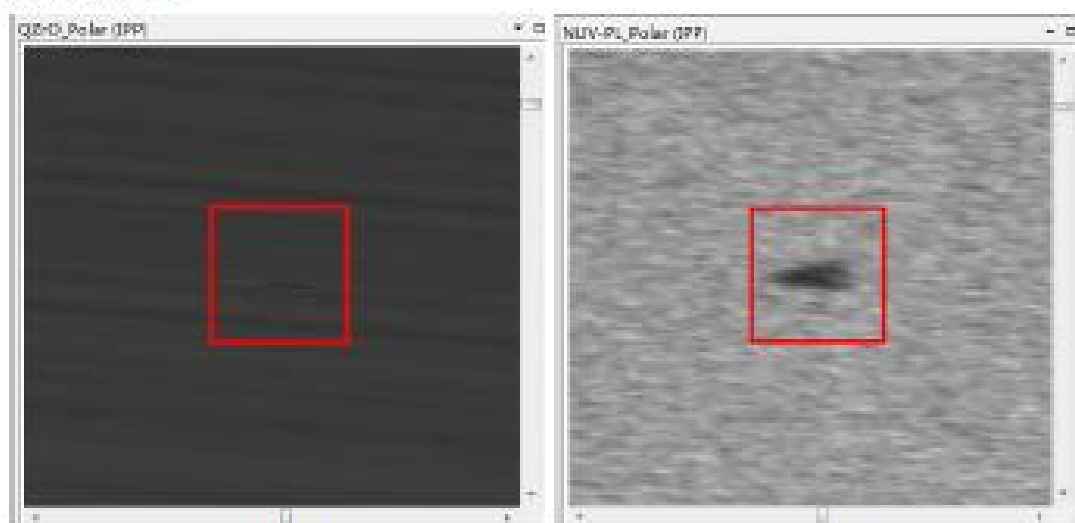
7. 延伸堆垛层错



a) 明场图像

b) PL 图像

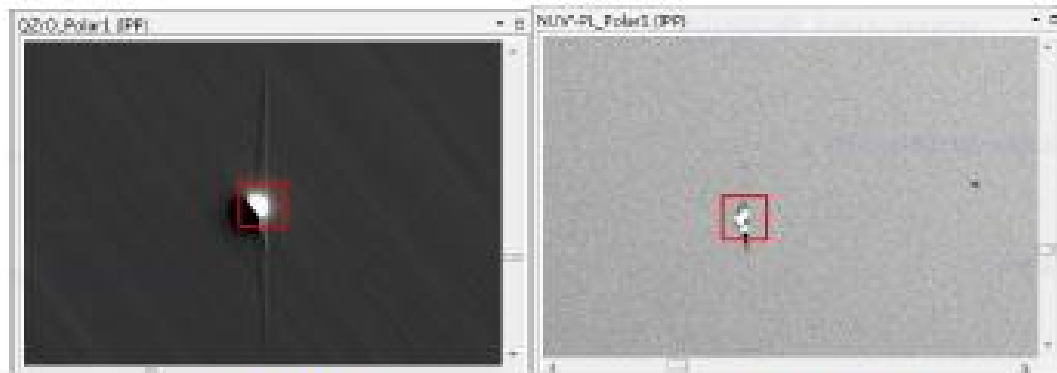
8. 复合堆垛层错



a) 明场图像

b) PL 图像

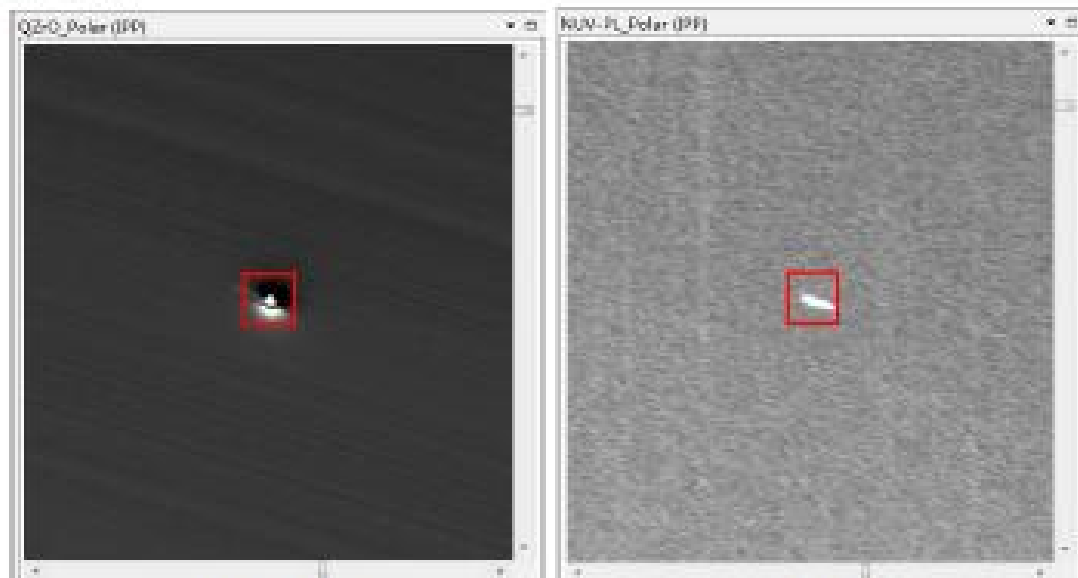
9. 多型包裹体



a) 明场图像

b) PL 图像

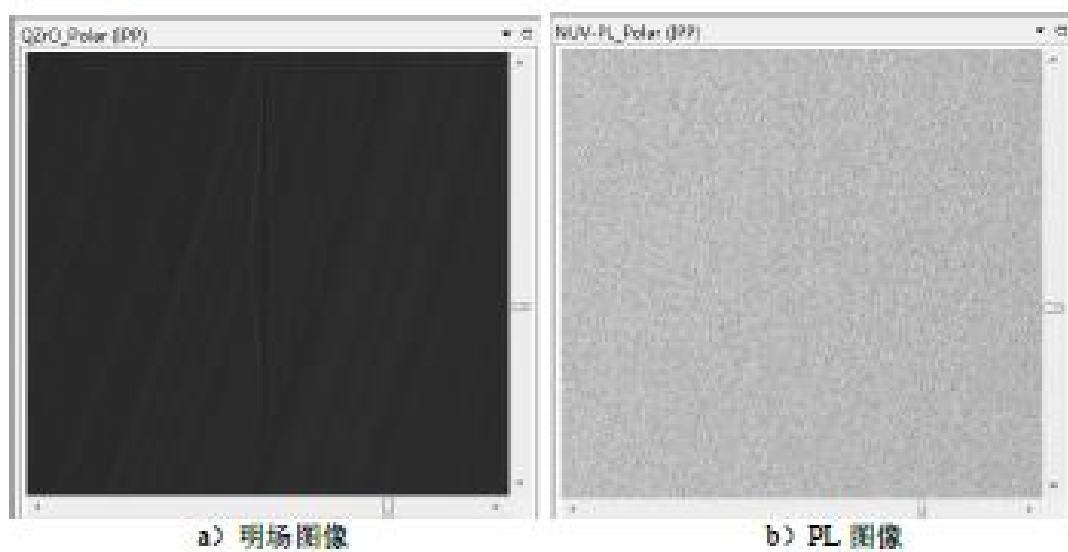
10. 颗粒包裹体



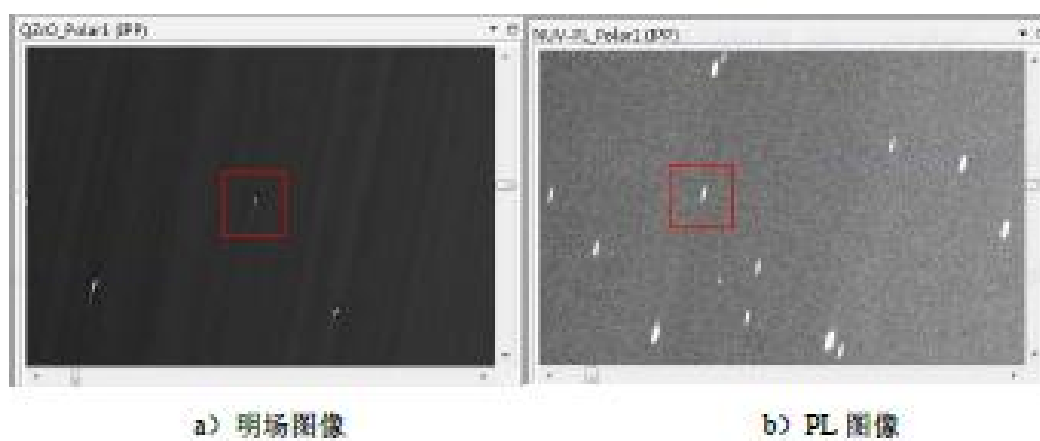
a) 明场图像

b) PL 图像

11. 台阶聚集簇



12. 表面颗粒



2023 年 3 月 3 日

山东天岳先进科技股份有限公司

3.4 浙江大学、之江实验室

一、测试单位：浙江大学/之江实验室

二、测试设备（浙江大学）：表面缺陷检测仪 Lasertec SICA82

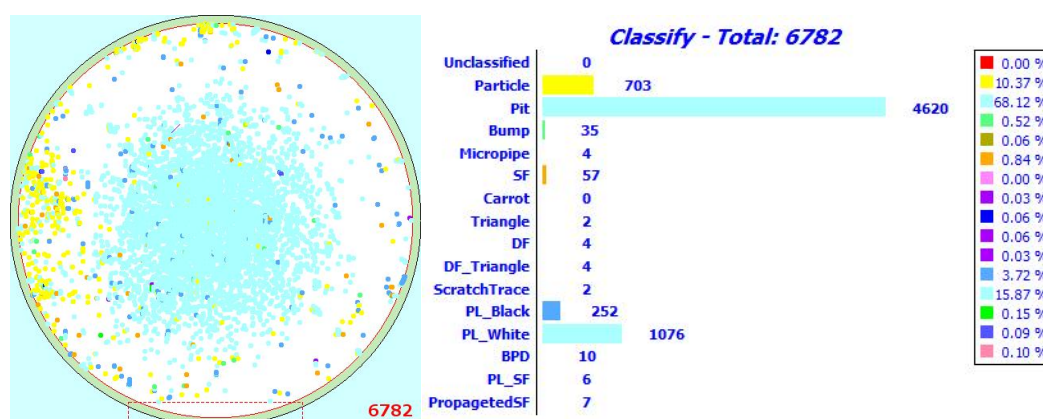
三、测试样品：SC6X644107-22

6英寸4H-SiC同质外延片；

四、测试结果：

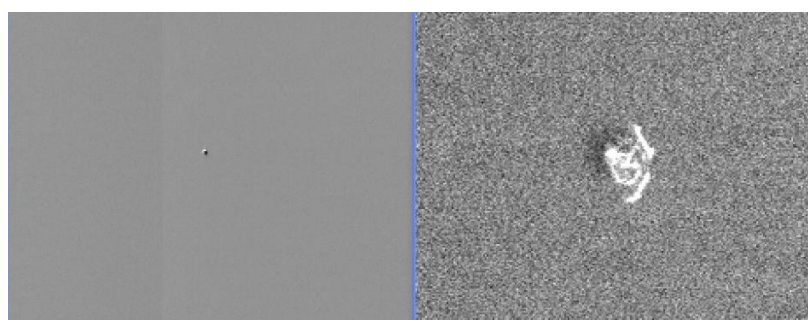
缺陷总数及分类：

经缺陷检测设备对 6 英寸 4H-SiC 同质外延片的光学表面显微测试和光致发光内部测试，测试结果如下图，显示了该外延片缺陷总数为 6782 和各类缺陷的分布统计。



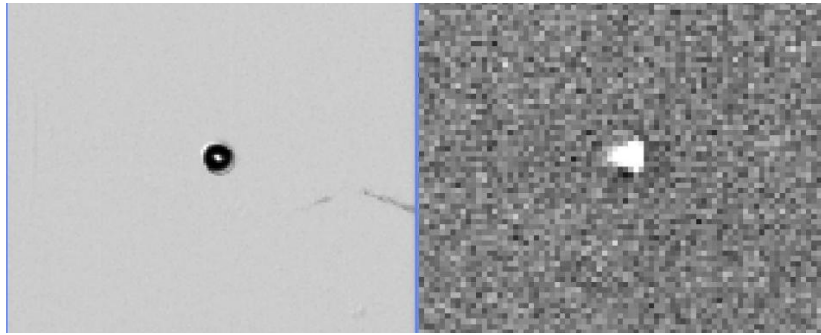
以下为标准相关缺陷的检测结果：

1. 微管：



a) 明场图像

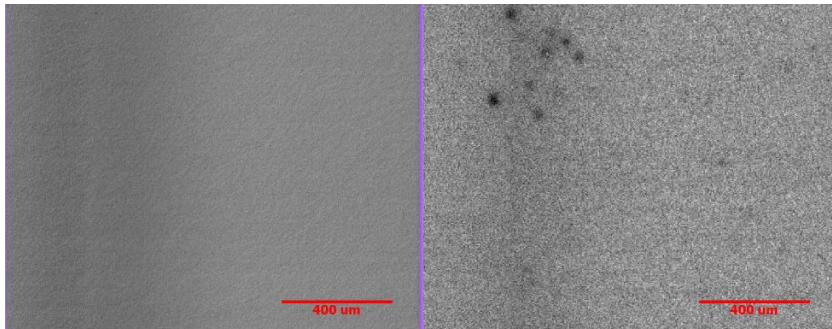
b) PL 图像



a) 明场图像

b) PL 图像

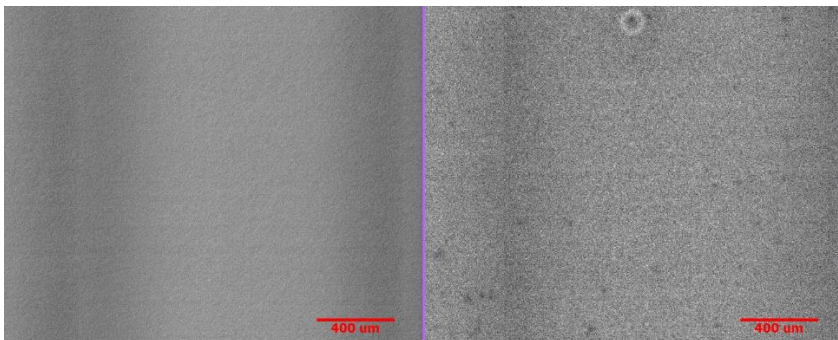
2. 穿透型螺位错 TSD:



a) 明场图像

b) PL 图像

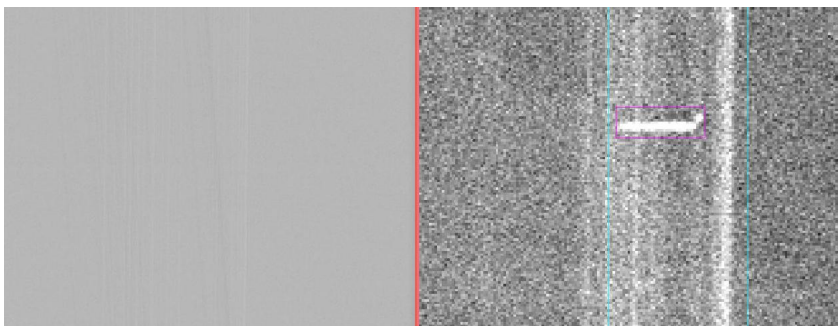
3. 穿透型刃位错 TED:



a) 明场图像

b) PL 图像

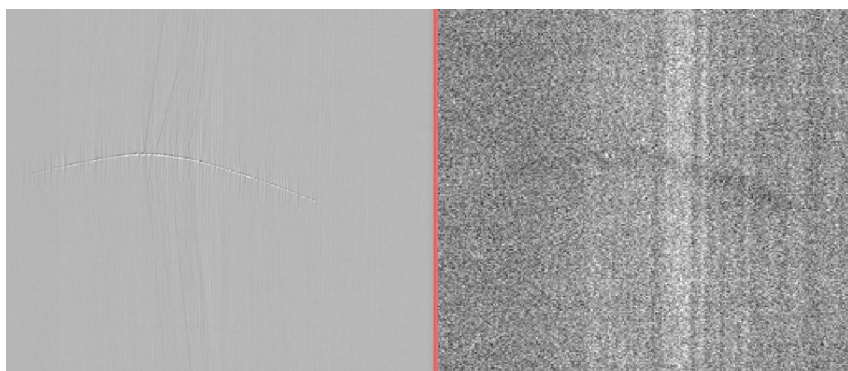
4. 基平面位错 BPD:



a) 明场图像

b) PL 图像

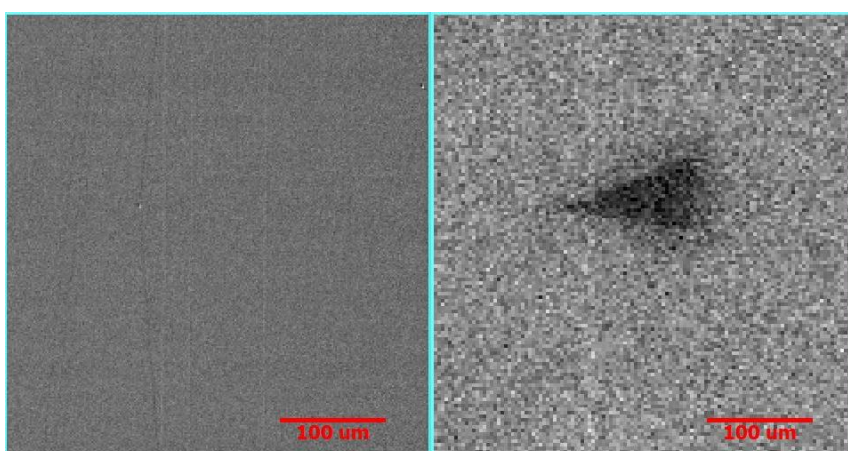
5. 划痕痕迹:



a) 明场图像

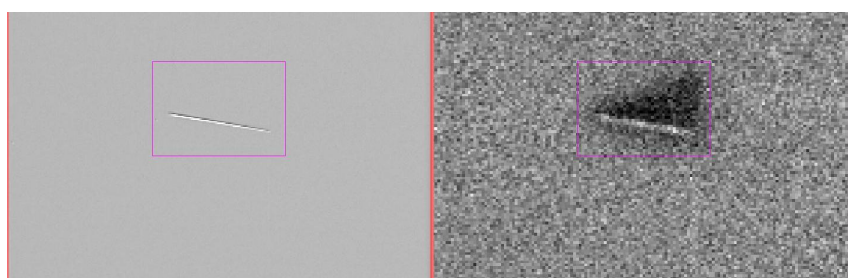
b) PL 图像

6. 堆垛层错:



a) 明场图像

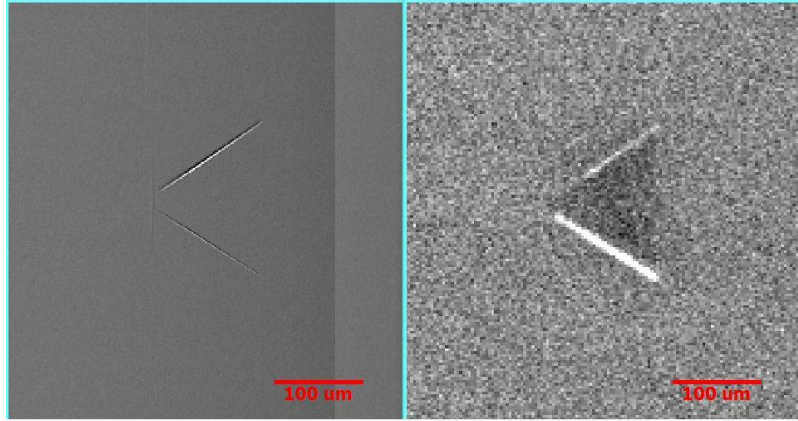
b) PL 图像



a) 明场图像

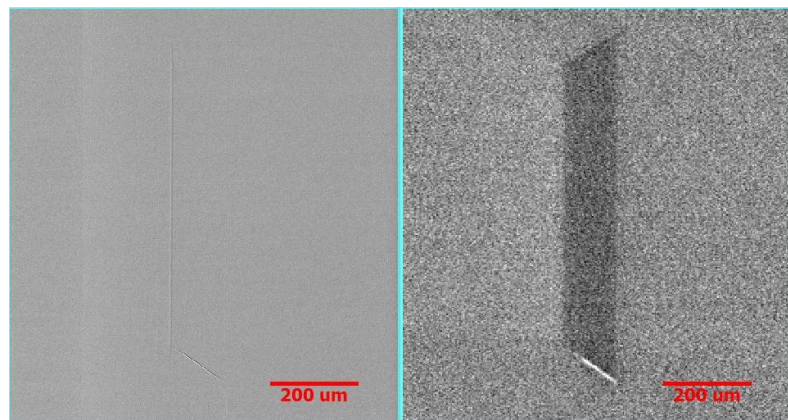
b) PL 图像

7. 延伸堆垛层错:



a) 明场图像

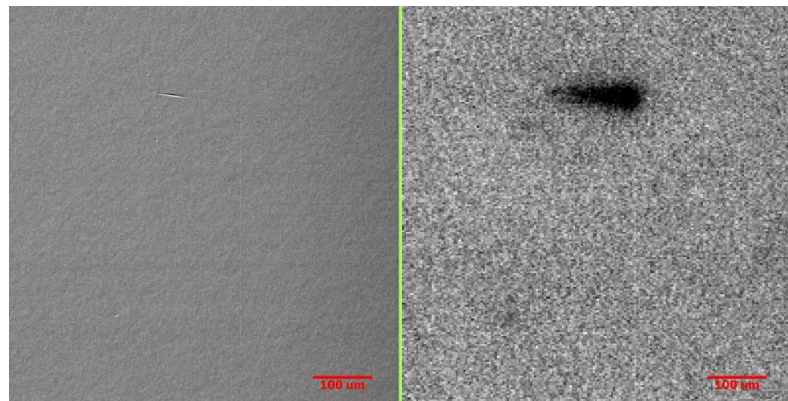
b) PL 图像



a) 明场图像

b) PL 图像

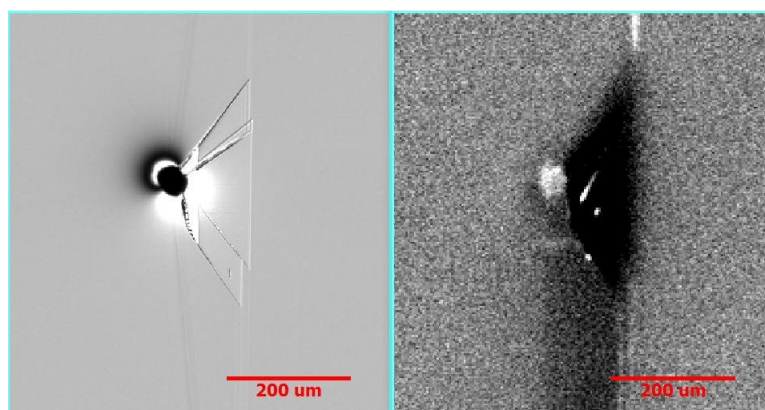
8. 复合堆垛层错:



a) 明场图像

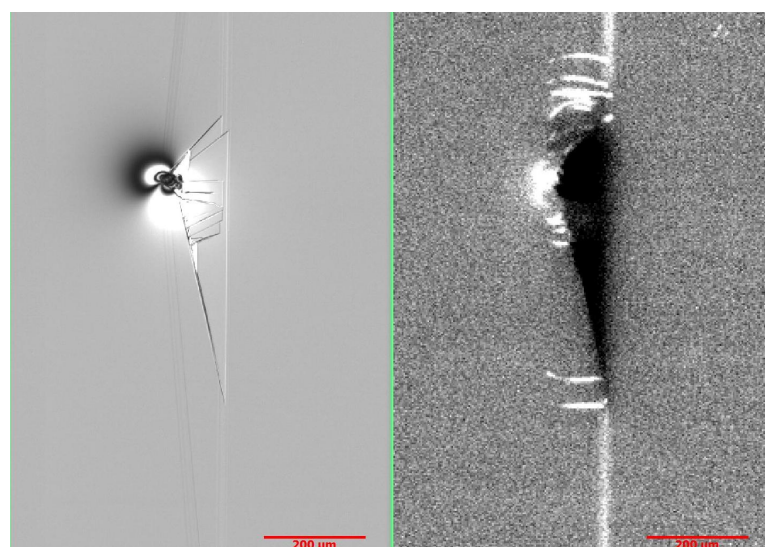
b) PL 图像

9. 多型包裹体:



a) 明场图像

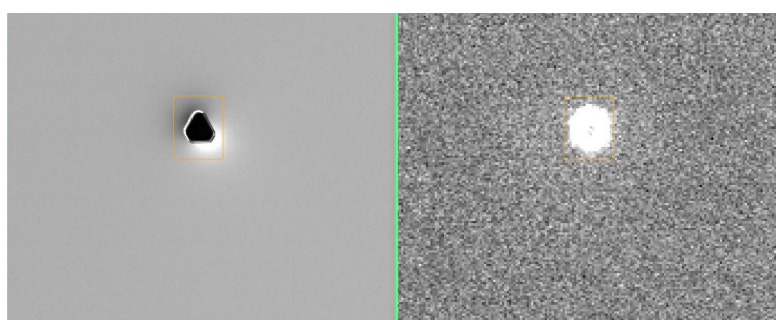
b) PL 图像



a) 明场图像

b) PL 图像

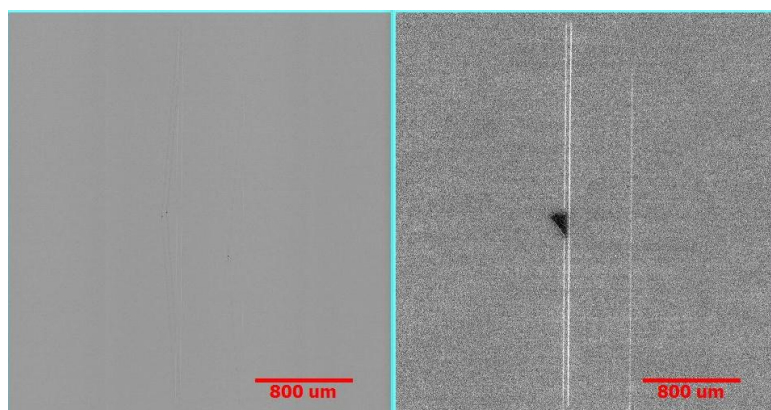
10. 颗粒包裹体:



a) 明场图像

b) PL 图像

11. 台阶聚集簇:



a) 明场图像

b) PL 图像

12. 表面颗粒:



a) 明场图像

b) PL 图像

2023 年 4 月 17 日
浙江大学光电学院&之江实验室

3.5 中电化合物半导体有限公司

样品测试中

3.6 安徽长飞先进半导体有限公司

测试报告整理中