**国家标准《碳化硅外延片表面缺陷的测试 激光散射法》**

**编制说明（送审稿）**

**一、工作简况**

**1、立项目的和意义**

基于碳化硅材料的电力电子器件作为新兴的第三代半导体器件的杰出代表，以其优越的综合性能表现正在受到越来越多的关注，在电网应用中具有明显的优势。与传统的硅器件相比较，碳化硅器件工作电压、工作频率可以达到硅器件的10倍，电流密度达到硅器件的4倍，功率损耗和装置体积可减小50%以上，可在200℃高温工作，可靠性更高，性能优势明显。碳化硅器件在新能源光伏逆变器、新能源汽车、以及智能电网领域具有良好的应用前景。

在产业链中，碳化硅外延片处于碳化硅衬底和碳化硅器件之间，主要通过化学气相沉积法进行生长。由于碳化硅特殊性，其缺陷类型也不同于其他晶体，主要有滴落物、三角形缺陷、胡萝卜缺陷、台阶聚集等，这些缺陷都会对后端器件的电学性能造成影响，比如使器件提前击穿，产生较大的漏电流等。

碳化硅外延片缺陷是影响器件性能的关键因素之一，也是衡量碳化硅外延片质量的重要参数，精确测量对于材料制备有重要的意义，促使行业健康发展。

**2. 任务来源**

根据《国家标准化管理委员会关于下达2020年第三批推荐性国家标准计划的通知》（国标委发[2020]48号）的要求，国家标准《碳化硅外延片表面缺陷的测试 显微可见光法》由安徽长飞先进半导体有限公司（原芜湖启迪半导体有限公司）牵头起草，计划编号20203728-T-469。 要求完成时间2022年。

标准编制过程中，行业内专家认为原标准名称不够准确，一致同意将原标准名称改为《碳化硅外延片表面缺陷的测试 激光散射法》，由秘书处行文上报至国标委。

**3.主要起草单位简况**

芜湖启迪半导体有限公司成立于2018年1月31日，公司于2022年更名为安徽长飞先进半导体有限公司，公司专注于第三代半导体外延晶圆、芯片及模块封测的研发与生产。2018年获批芜湖市首批重点研发创新平台，连续两年考核为优秀。2020年初平台被认定国家双创示范基地支撑关键领域创新平台。公司现有员工142人，其中研发人员96人，研发人员占比达67.6%。公司投入14.5亿建设了从碳化硅外延-芯片-模块封测的垂直一体化生产线，拥有世界先进碳化硅外延设备，具备材料、芯片的全套测试能力。

安徽长飞先进半导体有限公司2018年营业收入1000万元，研发投入1004.4万元；2019年营业收入725.24万元，研发投入1946.4万元。公司建有研发准备金制度和科研项目管理制度，目前已承担芜湖市科研项目3项。2018年-2020年投入5000万元进行碳化硅外延、器件核心技术的研发，已开发出4款碳化硅功率器件样品，开发了碳化硅 MOSFET器件的部分关键工艺技术，开发了一款碳化硅MOSFET样品（1200V，120mΩ）。

公司与清华大学微电子所共同建立了第三代半导体功率与射频器件联合实验室，与西安电子科技大学芜湖研究院签订了战略合作框架及人才实训基地共建协议。公司成立以来，已申报专利63项（发明专利38项），现有授权专利22项（发明专利3项）。公司实验室具备温度冲击、高加速寿命、功率循环、机械冲击、低温反向偏压等功率器件、模块的可靠性测试能力，正在申请CNAS认证。

**4.主要工作过程**

**4.1起草阶段**

项目立项后成立了专门的《碳化硅外延片表面缺陷的测试 激光散射法》起草工作组，并制定了相关工作计划。根据工作计划进度安排，标准编制组收集查阅了国内外相关政策、标准、文献，经过组内多次研讨，确定了标准的框架和主要内容，并于2020年11月形成了标准的草案稿，上报给全国半导体设备与材料标准化技术委员会材料分会（SAC/TC203/SC2）。2021年9月13号，由全国半导体设备与材料标准化技术委员会材料分会组织，在安徽芜湖召开《碳化硅外延片表面缺陷的测试 显微可见光法》工作会议，与会专家对标准的讨论稿认真地进行了逐字逐句的讨论，对该标准的技术要点内容和文本质量进行了充分的讨论，并提出了相应修改意见。会后编制组根据专家意见对标准稿件进行修改。形成征求意见稿，并发函各相关单位征求意见。2022年6月17号，由全国半导体设备与材料标准化技术委员会材料分会组织，通过网络视频会议召开了《碳化硅外延片表面缺陷的测试 激光散射法》预审会议，与会专家对标准的讨论稿认真地进行了逐字逐句的讨论，对该标准的技术要点内容和文本质量进行了充分的讨论，并提出了相应修改意见，并建议从方法原理上对该检测方法进行命名，并讨论通过了将“显微 可见法”修改为“激光散射法”。会后编制组根据专家意见对标准稿件进行修改。

**二、标准编制原则及确定主要内容的依据**

**1. 标准编制原则**

标准的编写格式按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》的统一规定和要求进行编写。

1. **标准的主要内容和依据**
	1. **标准的主要内容和适用范围**

本标准规定了同质碳化硅外延片表面缺陷的无损光学测量方法。

本标准适用于同质的超过（含）2微米厚的碳化硅外延层。

**2.2 标准主要内容与确定依据**

**2.2.1 本标准原理提要**

本方法利用扫描表面检查系统产生的激光束在待测碳化硅外延片表面进行整面扫描，并收集和确定来自表面的散射光、反射光的信号强度和位置，与预设的已知缺陷的散射光、反射光的信号相比较，得到碳化硅外延片表面的一系列不同直径尺寸和方向的缺陷总数和分布。具体测试原理图见图1。



**2.2.2 试样要求**

测量前试样表面确保无外来颗粒物影响。

**2.2.3 测试程序**

测量条件的选择：选择晶片尺寸、半径、转速、分辨率、衬底类型及选择通道。选取一试样，选择相应的chunk和transfer ring。放置试样到测量设备上，选择半径37000-38000作为light train，收集各个缺陷的特征信号，同时对各个通道信号的阈值进行设定，然后对各个缺陷的进行命名，最后对各个缺陷进行定义。标准的主要内容和依据

**3. 试验情况**

本标准采用设备自动识别缺陷类型，计算缺陷密度。参加缺陷测试设备自动识别缺陷类型，计算缺陷密度的巡回测试单位有：芜湖米格测试有限公司，东莞天域半导体材料有限公司、中科院半导体所、浙江芯科半导体有限公司。

A企业测试数据

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 测量次数 | 掉落物 | 三角形 | 浅三角形 | 胡萝卜 | 梯形缺陷 | 表面台阶聚集 |
| 1 | 6 | 27 | 40 | 6 | 15 | 26 |
| 2 | 6 | 28 | 39 | 7 | 13 | 24 |
| 3 | 7 | 31 | 40 | 7 | 14 | 25 |
| 平均值 | 6.33333 | 28.66667 | 39.66667 | 6.66667 | 14.00000 | 25.00000 |
| 标准差 | 0.57735 | 2.08167 | 0.57735 | 0.57735 | 1.00000 | 1.00000 |
| 相对偏差 | 9.12% | 7.26% | 1.46% | 8.66% | 7.14% | 4.00% |

B企业测试数据

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 测量次数 | 掉落物 | 三角形 | 浅三角形 | 胡萝卜 | 梯形缺陷 | 表面台阶聚集 |
| 1 | 6 | 25 | 41 | 6 | 15 | 24 |
| 2 | 7 | 30 | 40 | 6 | 16 | 25 |
| 3 | 7 | 29 | 42 | 7 | 14 | 23 |
| 平均值 | 6.6667 | 28.0000 | 41.0000 | 6.3333 | 15.0000 | 24.0000 |
| 标准差 | 0.57735 | 2.64575 | 1.00000 | 0.57735 | 1.00000 | 1.00000 |
| 相对偏差 | 8.66% | 9.45% | 2.44% | 9.12% | 6.67% | 4.17% |

C企业测试数据

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 测量次数 | 掉落物 | 三角形 | 浅三角形 | 胡萝卜 | 梯形缺陷 | 表面台阶聚集 |
| 1 | 7 | 33 | 43 | 7 | 16 | 26 |
| 2 | 7 | 32 | 42 | 8 | 15 | 23 |
| 3 | 8 | 35 | 44 | 7 | 16 | 25 |
| 平均值 | 7.3333 | 33.3333 | 43.0000 | 7.3333 | 15.6667 | 24.6667 |
| 标准差 | 0.57735 | 1.52753 | 1.00000 | 0.57735 | 0.57735 | 1.52753 |
| 相对偏差 | 7.87% | 4.58% | 2.33% | 7.87% | 3.69% | 6.19% |

D企业测试数据

|  |  |
| --- | --- |
| 测试项目 | 外延层缺陷 |
| 测量 | 掉落物 | 三角形 | 浅三角形 | 胡萝卜 | 梯形缺陷 | 表面台 |
| 次数 | 阶聚集 |
| 1 | 7 | 33 | 42 | 7 | 16 | 24 |
| 2 | 8 | 33 | 42 | 8 | 15 | 24 |
| 3 | 8 | 35 | 43 | 7 | 16 | 25 |
| 平均值 | 7.67 | 33.67 | 42.33 | 7.33 | 15.67 | 24.33 |
| 标准差 | 0.5774 | 1.1547 | 0.5774 | 0.5774 | 0.5774 | 0.5774 |
| 相对 | 7.53% | 3.43% | 1.36% | 7.87% | 3.69% | 2.37% |
| 偏差 |

E企业测试数据

|  |  |
| --- | --- |
| 测试项目 | 外延层缺陷 |
| 测量 | 掉落物 | 三角形 | 浅三角形 | 胡萝卜 | 梯形缺陷 | 表面台 |
| 次数 | 阶聚集 |
| 1 | 8 | 34 | 43 | 7 | 16 | 24 |
| 2 | 7 | 33 | 42 | 8 | 16 | 25 |
| 3 | 8 | 34 | 43 | 8 | 16 | 25 |
| 平均值 | 7.67 | 33.67 | 42.67 | 7.67 | 16.00 | 24.67 |
| 标准差 | 0.5774 | 0.5774 | 0.5774 | 0.5774 | 0.0000 | 0.5774 |
| 相对 | 7.53% | 1.71% | 1.35% | 7.53% | 0.00% | 2.34% |
| 偏差 |

从试验数据看，单个相对标准偏差最大值为9.12%，编制组确定单个测试单位测试的重复性不大于10%。

再现性测试结果

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 单个测试单位重复性（每个样品重复测试3次） | 测试单位 | 掉落物 | 三角形 | 浅三角形 | 胡萝卜 | 梯形缺陷 | 表面台阶聚集 |
| 安徽长飞 | 6.33333 | 28.66667 | 39.66667 | 6.66667 | 14 | 25 |
| 米格 | 6.6667 | 28 | 41 | 6.3333 | 15 | 24 |
| 半导体所 | 7.666666667 | 33.66667 | 42.33333 | 7.333333 | 15.66667 | 24.33333 |
| 芯科 | 7.666666667 | 33.66667 | 42.66667 | 7.666667 | 16 | 24.66667 |
| 东莞天域 | 7.3333 | 33.3333 | 43 | 7.3333 | 15.6667 | 24.6667 |
| 平均值 | 7.133332667 | 31.46666 | 41.73333 | 7.066654 | 15.26667 | 24.53334 |
| 标准差 | 0.605521997 | 2.873242 | 1.382428 | 0.547729 | 0.795827 | 0.380061 |
| 相对偏差 | 8.49% | 9.13% | 3.31% | 7.75% | 5.21% | 1.55% |

从试验数据看，单个相对标准偏差最大值为9.13%， 因此分析得出，该检测方法的再现性相对偏差不大于10%。

1. **标准水平分析**

本标准预计达到国际一般水平。

**四、标准中涉及专利的情况**

本标准中未涉及专利问题。

1. **预期达到的社会效益等情况**

本标准是我国碳化硅外延片测试方法国家标准，在标准制定过程中，调研了我国主要的碳化硅外延片生产企业，参照国内其他行业的标准，使制定的标准具有充分的先进性、科学性、广泛性和应用性，完全满足国内外客户、市场需求，有利于提高我国碳化硅外延片产品的质量。

**六、采用国际标准和国外先进标准的情况**

本标准修订过程中未采用国际标准或国外先进标准。

**七、与现行相关法律、法规、规章及相关标准协调配套情况**

本标准属于半导体材料标准体系中的标准，本标准修订时，要求全面、准确、科学、合理。标准的格式和表达方式等方面完全执行了现行的国家标准和有关法规，符合GB/T1.1-2020的有关要求。本标准与现行的相关法律、法规、规章及相关标准协调一致。

**八、重大分歧意见的处理经过和依据**

在本标准修订过程中没有出现重大分歧意见。

**九、标准性质的建议说明**

本标准建议作为推荐性国家标准发布实施。

**十、贯彻标准的要求和措施建议**

 1、首先应在实施前保证标准文本的充足供应，使每个碳化硅外延片生产企业都能及时获得本标准，这个是保证新标准贯彻实施的基础。

2、该标准的制定，不仅与材料生产企业有关，而且与相关科研院所、检测机构有关。对于标准使用过程中出现的疑问，起草单位有义务进行解释。

3、可以针对标准使用的不同对象，有侧重点的进行标准培训和宣贯，以保证标准的贯彻实施。

**十一、废止现行有关标准的建议**

无。

**十二、其它应予说明的事项**

无。

标准编制组

2022年8月