**国家标准《碳化硅晶体材料缺陷图谱》**

**编制说明（讨论稿）**

1. **工作简况**

**1 标准编制的目的与意义**

相较于硅，碳化硅具有宽禁带、高击穿电场、高热导率、高电子饱和漂移速率和高抗辐射等性能优点，非常适合大功率、高温、高频、抗辐射等应用场合。近几年，碳化硅基功率器件在各个行业的应用占比逐渐提高，后续降低成本和提高产品良率将是行业的主要发展方向。而影响碳化硅产品良率和成本的主要因素就是生长、加工过程中引入的缺陷，例如，单晶生长时产生的晶锭缺陷、衬底切磨抛时产生的衬底缺陷、外延生长时产生的外延缺陷和器件制造时产生的工艺缺陷等。这些缺陷的存在降低了后续器件对碳化硅材料的利用率。

通过降低碳化硅晶体材料中的缺陷密度来提高材料的利用率，可以进一步降低碳化硅功率器件的制造成本。因此，有必要对碳化硅材料在生产、加工中的缺陷进行识别、检验。按其产生原因和影响程度对SiC 晶体、衬底和外延层缺陷进行归类，分析其产生原因和消除方法，具有重要意义。

目前尚未有碳化硅晶体缺陷图谱相关的标准，制定本标准可规范碳化硅晶体缺陷的定义、特征，规定典型的图谱、缺陷的产生原因以及消除方法，可以用于指导碳化硅材料生产和研究中各种缺陷的识别、检验，也可以给碳化硅器件的生产和研究作为参考。

**2 任务来源**

项目由东莞市天域半导体科技有限公司提出，经国家标准化管理委员会批准立项，列入2021年第二批推荐性国家标准计划及相关标准外文版计划，计划编号为20213238-T-469，项目周期为24个月。项目由东莞市天域半导体科技有限公司牵头起草，归口于全国半导体设备和材料标准化技术委员会材料分会技术委员会管理。

**3 主要工作过程**

1） 立项阶段

2020年东莞市天域半导体科技有限公司根据已经过广泛承认、应用的T/CASAS 004.2—2018《4H 碳化硅衬底及外延层缺陷图谱》和自身的技术积累编制了《碳化硅晶体缺陷图谱》标准建议稿，提交至标委会秘书处。

2020年11月在如皋举行的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年会上，技术委员会委员和来自中电四十六所、芜湖启迪等14家单位的专家对建议稿进行了论证，提出将标准名称“碳化硅晶体缺陷图谱”改为“碳化硅晶体材料缺陷图谱”，会后起草单位采纳了专家的意见，对建议稿进行了修改。

2021年3月与13项标准一同进行了线上立项答辩。答辩时专家提出标准名称应与标准内容范围相一致，名称仅涉及图谱，但范围还涉及产生原因和消除方法、部分缺陷有对应的消除办法部分没有须保持一致这两点意见。

会后起草单位借鉴同行业已发布的缺陷图谱标准的名称和范围，（GB/T 30453-2013《硅材料原生缺陷图谱》、 GB/T 30453-2013《蓝宝石晶体缺陷图谱》），结合本标准特点和目前的技术水平综合考虑，对于专家提出的意见进行部分采纳，对标准的范围进行了修改，删掉了缺陷的消除方法内容，保留缺陷图谱和产生原因，不修改标准名称。

获得立项后，国家标准化管理委员会于2021年8月下达了标准计划。

2）起草阶段

收到标准计划起草任务后，起草单位与第三代半导体产业技术创新战略联盟和北京大学东莞光电研究院，即组织成立了标准编制工作组。2021年9月在芜湖会议上进行了标准编制任务落实，会上专家建议安徽长飞先进半导体有限公司、河北同光晶体有限公司、山东天岳先进科技股份有限公司和江苏卓远半导体公司加入工作组，共同参与标准起草工作。

会后工作组采纳了专家建议，并组织召开了第一次组内工作会，制定了工作计划，开展晶片试验和缺陷图谱的收集工作。2022年1月完成了相关资料的收集与分析，形成初稿。而后对初稿进行了内部意见征求，北大光电研究院、安徽长飞等6家起草单位提出了“增加术语晶锭缺陷”、“修改螺位错的形貌特征描述”、“补充刃位错的产生原因”等18条修改意见，工作组内部讨论后对意见进行了部分采纳。

在经过内部征求意见和多次组内讨论修改后，于2022年2月形成了标准讨论稿。原定于2022年3月在东莞会议上对标准进行讨论，但由于疫情影响现场会议受限，未能举办。

2022年12月编制小组向上海瞻芯电子和绍兴中芯等标准相关企业，发出标准文件进行意见征询，得到了“将结晶缺陷改为晶格缺陷”、“添加台阶聚集的形成原因”等9条修改意见。2023年1月，根据回函情况，经过编制小组讨论研究，对意见进行了部分采纳，并对标准文件再次进行了修改，形成《碳化硅晶体材料缺陷图谱》讨论稿。

**二、标准编制原则和标准主要内容及其确定的依据**

**1 标准编制原则**

标准文件格式按照GB/T1.1-2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的要求和规定编写。

标准文件基于经过广泛应用的T/CASAS 004.2—2018《4H 碳化硅衬底及外延层缺陷图谱》和行业技术水平制定，同时兼顾相关企业实际生产水平和使用单位的意见。

**2 标准主要内容及其确定的依据**

标准文件主要依据经过广泛应用的团体标准《4H 碳化硅衬底及外延层缺陷图谱》，结合从行业内主要生产厂家收集而来的缺陷图谱资料，对碳化硅晶体材料的缺陷形貌和产生原因进行了表述。规定了标准的范围、规范性引用文件、术语和定义、碳化硅晶体材料缺陷图谱及其产生原因4个主要内容。

1）范围

标准文件通过搜集相关资料，结合企业在实际研发和生产中发现的材料缺陷，规定了碳化硅晶体材料缺陷的术语和定义、形貌特征和产生原因，适用于碳化硅单晶晶锭、碳化硅衬底片、碳化硅外延片、碳化硅器件研发、生产制备及性能检测、分析的从业者。

2）规范性引用文件

标准文件引用了GB/T 14264 《半导体材料术语》。

3）术语和定义

标准文件引用了GB/T 14264 《半导体材料术语》中的术语定义同时界定了结晶缺陷、扩展缺陷等11个术语定义。

4）碳化硅晶体材料缺陷

说明了碳化硅晶体材料的晶锭生长、衬底切割、外延生长、工艺制造四道工序产生的36种缺陷的形貌特征和产生原因。

标准文件中的图谱及其产生原因，是根据已被广泛应用的T/CASAS 004.2—2018《4H 碳化硅衬底及外延层缺陷图谱》，结合行业内代表企业广东天域、河北同光、山东天岳、安徽长飞和江苏卓远等公司在实际生产中，对晶片测试得到的图谱和资深技术人员的分析总结，进行充分验证后形成的。

**三、预期达到的社会效益**

电力电子器件（或称功率半导体器件、功率器件）是电力电子技术发展的基础和核心。经过多年的发展，传统硅基功率器件的性能已逼近理论极限，碳化硅基器件相较于硅有着高热导率、高抗辐射等性能，适用于大功率、高频等应用场景。同时碳化硅基器件还具有体积小、散热效率高、运行损耗低、制备污染少等经济和环保效益。近几年我国在多个发展指南文件中多次重点提及要大力支持碳化硅材料的发展，目前国内碳化硅领域也逐步形成了从设备、材料到器件的完整产业链。随着近两年新能源汽车的兴起，吸引了一批企业投资入行碳化硅行业，但作为近几年才发展起来的新领域，碳化硅行业上下游在标准约束和执行上还是存在着大片空白。

碳化硅晶体在生长、加工等环节都会产生缺陷，这些缺陷与其他半导体材料，如硅、锗的缺陷，在形状、类型、起因上都有所不同或完全不同，它们的存在会降低后续器件对碳化硅材料的利用率。本标准对碳化硅晶体从晶锭到器件的各个工艺环节可能产生缺陷的形貌特征和产生原因进行了描述，并标识了对应的缺陷图谱以供查阅。标准内容充分考虑实际生产情况同时结合行业的相关标准，使标准具有充分的先进性和广泛适用性。

碳化硅行业在一些高压材料、器件制备工艺上还处于被国外卡脖子的情况，本标准的实施，可以为国内企业、研究机构等提供实践基础，缩短研究时间，可以帮助推动我国碳化硅行业的更快速、更高质发展，早日实现工艺技术的全面国产化。

1. **标准中涉及专利的情况**

本标准不涉及专利问题。

**五、采用国际标准和国外先进标准的情况**

本标准不涉及国际标准和国外先进标准采标情况。

**六、与有关现行法律、法规和强制性标准的关系**

本标准与有关现行法律、法规和强制性标准相协调，无冲突。

**七、重大分歧意见的处理经过和依据**

本标准制定过程中无重大分歧意见。

**八、标准性质的建议**

建议作为推荐性标准发布实施。

**九、贯彻标准的要求和建议措施**

本标准发布后，建议由归口单位、主编单位组织标准宣贯会，对标准文本进行解读。

**十、废止现行有关标准的建议**

无。