《电动汽车用碳化硅场效应晶体管可靠性要求及试验方法》

团体标准编制说明

1. 工作简要过程
2. 任务背景及来源

1 任务来源

随着新能源汽车产业的快速发展，碳化硅（SiC）等宽禁带半导体器件因其高效能、耐高温等优势，逐渐成为电动汽车电驱动系统的核心组件。然而，传统硅基器件的可靠性测试标准已无法满足SiC器件的特殊性能要求，亟需针对性的测试规范。因此，本项目制定碳化硅场效应晶体管可靠性要求及试验方法，以填补行业空白。

《电动汽车用碳化硅场效应晶体管可靠性要求及试验方法》团体标准是由中国汽车工业协会标准法规工作委员会批准立项，文件号为：中汽协函字【2024】335号，计划号为2024-046。

2 编制背景与目标

随着我国新能源汽车渗透率逐年上升，电动化、网联V2X、智能驾驶等技术的快速发展，电子电气系统架构更加复杂，对功率器件芯片提出了更高的要求。因碳化硅（SiC）功率芯片在各项性能表现上有着独特的优越性，应用前景广泛。但在此领域的技术发展和国家标准制定相对滞后，汽车用碳化硅功率芯片技术要求及试验方法没有对应的标准。为此，制定《电动汽车用SiC MOSFET功率芯片技术要求及试验方法》标准，具有深远的意义和目的，主要体现在以下几个方面：

1. 提升汽车芯片性能：通过制定碳化硅功率芯片的技术要求，可以明确芯片的性能指标和评估方法，推动芯片制造商不断提高产品的性能水平，从而满足汽车行业日益增长的性能需求。
2. 确保行车安全：碳化硅功率芯片在汽车电子控制系统中扮演着关键角色，其质量和可靠性直接影响到汽车的行驶安全和稳定性。制定相关试验方法，可以确保芯片在各种恶劣条件下的稳定性和可靠性，从而降低因芯片故障而引发的安全事故风险。
3. 促进碳化硅材料应用：碳化硅作为一种高性能、高可靠性的半导体材料，在功率芯片领域具有广阔的应用前景。制定相关技术要求和试验方法，有助于推动碳化硅材料在汽车行业的应用，促进材料科学的发展和创新。
4. 规范芯片试验流程：通过制定标准化的试验方法，可以规范芯片的测试和评估流程，确保试验结果的准确性和可靠性。这有助于减少不同厂商之间的测试差异，提高行业的整体技术水平。
5. 促进汽车芯片行业标准化：标准化是推动行业健康发展的关键因素之一。制定《汽车用碳化硅功率芯片技术要求及试验方法》标准，可以促进汽车芯片行业的标准化进程，提高行业的整体竞争力和市场规范度。
6. 降低制造成本：通过制定统一的技术要求和试验方法，可以促进芯片制造商之间的合作和技术交流，推动产业链的优化和协同发展。这有助于降低制造成本，提高产品的性价比，为消费者提供更优质的汽车产品。
7. 提升国内芯片产业竞争力：通过制定《汽车用碳化硅功率芯片技术要求及试验方法》标准，可以推动我国芯片产业的技术进步和自主创新，提高国内芯片产业的竞争力和市场份额。这有助于实现我国汽车产业的自主可控和可持续发展。
8. 主要起草单位及任务分工

标准立项后，艾创微联合整车企业、零部件企业、芯片企业、检测公司、测试设备公司、高校等共同制定和完善标准草案。参编单位有：合肥艾创微电子科技有限公司、国家新能源汽车技术创新中心、广电计量检测集团股份有限公司、北汽福田汽车股份有限公司、博世华域转向系统有限公司、北汽福田汽车股份有限公司、辽宁工业大学、北京国联万众半导体科技有限公司、中汽创智科技有限公司、中国汽车工程研究院股份有限公司、中国电子科技集团公司第五十五研究所、重庆长安汽车股份有限公司、北京东土科技股份有限公司、北京微电子技术研究所、北京车和家汽车科技有限公司、上海机动车检测认证技术研究中心有限公司、上海贝岭股份有限公司、飞锃半导体有限公司、上海积塔半导体有限公司等。

其中，牵头单位的主要工作内容：

1. 组织成立标准起草组;
2. 组织并参加标准化起草活动;
3. 协调处理起草工作中出现的问题，根据以往经验，结合起草组各单位建议，完善标准草稿;
4. 组织相关单位，对标准测试相关内容进行试验验证。

起草组成员的主要工作内容：

1. 配合牵头单位成立标准起草组配合牵头单位共同完成标准起草工作;
2. 根据分工，承担标准起草任务：相关单位根据自身经验，反馈汽车用碳化硅功率芯片检测内容和要求;
3. 根据需要，配合开展标准的测试验证工作。
4. 标准研讨情况

标准起草组遵守GB/T 1.1-2020等文件相关规定，结合标准制定工作程序的各个环节，进行了探讨和研究。对国内外的相关标准进行系统研究，对行业现有标准技术文件和研究成果进行归纳整理，对比国内外车规半导体标准的技术要求，进行了必要的试验验证，保证标准研究方向的正确性及可行性。同时标准起草组广泛听取了行业知名专家的意见，组织相关技术人员对标准中各章节的技术指标、内容要求进行多次研讨。具体工作过程如下。

1.3.1 预研

调查研究国内、欧洲、美国和日本等主要汽车生产商的电动汽车用SiC MOSFET器件的技术规范和国内电动汽车用SiC MOSFET器件标准研究制定情况，明确标准定位与差异性，确定电动汽车用SiC MOSFET器件技术规范标准制定的意义和目的，深入调研电动汽车应用场景下的典型工况（如高低温循环、振动、湿度、电气应力等）及其对SiC MOSFET可靠性的影响，拟解决目前行业需求和需要解决的问题。根据调研结果，汇总后形成结论，形成标准框架草案及技术路线图，确定核心章节及验证方案，用于编制标准立项汇报材料以及标准立项建议书，为后续起草奠定技术共识和数据基础。

1.3.2 立项

依据汽车芯片标准体系建设整体设计思路，完成标准正文初稿框架结构内容初版编写，完成标准立项相关材料初版编写；召开内部评审会，听取行业整车企业、芯片企业与零部件企业专家意见并进行修订后，提交立项资料至国家新能源汽车技术创新中心进行立项申报，2024年6月20日由国家新能源汽车技术创新中心组织汽车、芯片等行业专家进行标准立项审查，2024年7月17日，中国汽车工业协会发布标准立项通过公示。

1.3.3 起草

标准立项后，艾创微联合整车企业、零部件企业、芯片企业、检测公司、测试设备公司、高校等共同制定和完善标准草案。参编单位有：合肥艾创微电子科技有限公司、国家新能源汽车技术创新中心、广电计量检测集团股份有限公司、北汽福田汽车股份有限公司、博世华域转向系统有限公司、北汽福田汽车股份有限公司、辽宁工业大学、北京国联万众半导体科技有限公司、中汽创智科技有限公司、中国汽车工程研究院股份有限公司、中国电子科技集团公司第五十五研究所、重庆长安汽车股份有限公司、北京东土科技股份有限公司、北京微电子技术研究所、北京车和家汽车科技有限公司、上海机动车检测认证技术研究中心有限公司、上海贝岭股份有限公司、飞锃半导体有限公司、上海积塔半导体有限公司等。

2024年9月10日，中汽协汽车芯片专委会秘书处组织在合肥组织召开标准起草组启动会暨第一次标准研讨会，会上项目组介绍了标准编制的背景、目的、意义和基本思路，以及标准起草方案，起草组就国创中心编制的了标准框架就标准草案进行了讨论，会上给出了20条意见和建议。起草组经过讨论形成标准研究编写初步分工并确定起草阶段工作计划及下一步工作计划。

2024年12月18日，中汽协汽车芯片专委会秘书处组织起草组单位召开了起草组第二次标准研讨会，标准主笔人介绍了根据第一次会议意见对标准文本的修改情况，以及标准编写整体情况。起草组各编写单位就承担部分的编写思路进行了讲解，起草组全体成员就标准各部分内容进行了讨论，形成改进意见20余项。起草组成员讨论确定下一步工作计划。

2025年3月26日，中汽协汽车芯片专委会秘书处组织通过线上会议组织起草组单位召开了起草组第三次标准研讨会，标准主笔人介绍了标准整体进展，起草组内对标准文本意见的处理情况，起草组对相关意见进行了讨论和确认。艾创微标准主笔人介绍了标准试验验证计划及后续的验证分工，相关单位根据会议要求，会后按期反馈试验报告及进行试验验证等。

1.3.4 试验验证

2025年3月，由牵头单位组织起草组单位，征集标准试验验证参与意向、验证内容，并根据参与意向及验证内容制定试验验证计划及方案。

2025年3月～2024年4月，选取不同型号SiC MOSFET分立器件，依据《电动汽车用碳化硅场效应晶体管可靠性要求及试验方法》进行了主要项目检验，通过分析试验过程以及测试数据，验证了标准内容的合理性和可行性。

1.3.5 征求意见

试验验证后，标准起草组修改标准文本、形成标准征求意见稿和编制说明，于2025年4月提交中国汽车工业协会申请行业公开征求意见。

二、标准编制原则和主要内容

2.1 标准制定原则

1）本标准编写符合 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》的规定起草。

2）本标准无对应的国际或国外标准可供对照及参考。起草过程中，充分考虑与国内外现有相关标准的统一和协调，标准中的指标要求充分考虑了国内当前行业技术水平，草案内容已经过多次充分讨论、修改和完善，并在起草组内多次征求意见。本标准的制定是在对我国电动汽车用SiC MOSFET器件产品开发及应用现状进行调查，对相关国际、国外相关标准的关键技术指标在我国的适用性进行分析研究，并且对相关的试验方法在我国现阶段实施的可行性进行论证分析研究的基础上，结合我国实际情况提出的电动汽车用SiC MOSFET器件技术要求及试验方法；并通过验证试验，对试验方案的可行性进行了验证，确定了适合我国实际情况的电动汽车用SiC MOSFET器件的技术规范。

2.1.1 通用性原则

编写《电动汽车用碳化硅场效应晶体管可靠性要求及试验方法》标准是为了确保该标准能够适用于不同的应用场景、制造商和产品，同时保持技术规范的一致性和可比性。标准提出的指标和要求符合行业发展水平，提供的试验方法可实现、可操作，在行业内具有较高的通用性。

1）中立性和普适性：标准应中立地制定，不偏袒任何特定的制造商或技术。同时，标准应具备普适性，能够涵盖电动汽车行业的主要应用场景和需求。

2）基于国际标准和行业共识：在制定技术规范时，本标准尽量参考和借鉴已有的国际标准和行业共识，以确保标准的兼容性和互操作性。

3）考虑技术进步和未来发展：在制定本标准时，考虑了技术进步对SiC MOSFET性能和需求的影响，为未来的升级和改进留出空间。

4）测试方法和评估标准的统一：为确保SiC MOSFET的性能和质量，制定统一、可重复的测试方法和评估标准。这些方法基于科学原理和工程实践，能够客观、准确地评价SiC MOSFET的性能指标。

2.1.2 指导性原则

1）明确性和精确性：规范应详细阐述SiC MOSFET的可靠性要求和试验方法等，确保读者能够充分理解并按照标准执行。

2）兼容性和互通性：考虑到电动汽车行业的快速发展，该标准应尽可能与现有的国际和行业标准兼容，同时考虑到未来技术发展的可能性，保持一定的前瞻性。

3）安全性和可靠性：SiC MOSFET作为电动汽车中的关键组件，其安全性和可靠性至关重要。应提出严格的测试方法和评估标准，以确保SiC MOSFET在实际应用中能够满足安全和可靠性的要求。

4）可操作性和实用性：标准应易于理解和操作，方便工程师和技术人员在实际生产和使用中遵循。同时，应考虑不同制造商的生产能力和市场需求，制定合理的技术规范，以促进SiC MOSFET的广泛应用和普及。

2.1.3 协调性原则

本标准提出的检验规范，通过与整车企业、零部件企业、芯片企业、检测公司、测试设备公司、高校等多方专家讨论论证，使标准的检验项目和检验要求与各单位的现行情况相协调。

2.1.4 兼容性原则

本标准提出的功能要求、技术指标要求充分考虑了当前技术水平，同时注重实用性和前瞻性，本标准吸取了国内外车用半导体器件相关标准的优秀经验，在标准制定的过程中，将持续收集当前电动汽车用SiC MOSFET存在的各项问题，在现有AEC-Q101和IEC60747-9等标准的基础上，进一步优化性能参数和可靠性指标，以便指导车企、Tier1以及半导体企业的研发、生产。

2.2 标准主要技术内容

本标准规定了电动汽车用碳化硅场效应晶体管的可靠性要求、试验方法，主要涉及可靠性要求、试验方法两个层面。

可靠性要求主要涉及涉及电动汽车用碳化硅场效应晶体管的特性参数、外观和尺寸要求。

试验方法部分主要包括如下几个方面：

环境可靠性试验：主要涉及预处理（PC）、高压蒸煮（AC）、高温存储（HTS）、低温存储（LTS）、温度循环（TC）、温度冲击（TST）、可焊性试验（SD）、盐雾试验（SST）等，验证功率器件的各种环境应力试验条件下的可靠性；

加速寿命可靠性试验：主要涉及高温反偏（HTRB）、高温栅极反偏（HTGB）、高温高湿反偏（H3TRB）、高加速应力试验（HAST）、间歇工作寿命（IOL）、静电放电（ESD）、动态栅偏（DGB）、动态反偏（DRB）、动态高温高湿反偏（DH3TRB）等，验证产品寿命情况。

应用可靠性试验：机械振动（MV）、机械冲击（MS）、晶须实验（WG）等，验证SiC MOSFET的应用可靠性。

2.3 关键技术问题说明

本文件中的试验项目适用于SiC MOSFET在进行可靠性试验前、中、后的功能测试，芯片设计验证、量产筛选、使用方芯片选型等环节的测试可参照使用。本标准计划根据电动汽车的应用特点，对车用SiC MOSFET关注的测试指标进行了筛选和梳理，针对这些指标的测试条件和方法进一步予以明确，同时对SiC MOSFET的可靠性要求和试验方法进行整体梳理，在AEC-Q101基础上根据当前行业实际应用情况和适用性进行修订，同时对于方法进行整体规范，以避免歧义和试验的不一致性，更加准确地体现不同产品的可靠性性能，有利于第三方认证和设计选型等需求。

此检验规范可以进一步打消用户对于国产SiC MOSFET的电动汽车使用疑虑，进一步提升车用国产SiC MOSFET的使用覆盖率，避免国外产品的市场垄断和技术压制。

2.4 标准主要内容的论据

本标准吸取了国内外车用半导体器件相关标准的优秀经验，在标准制定的过程中，将持续收集当前电动汽车用SiC MOSFET存在的各项问题，在现有AEC-Q101和IEC60747-9等标准的基础上，进一步优化性能参数和可靠性指标，以便指导车企、Tier1以及半导体企业的研发、生产。

2.5 标准工作基础

本标准起草组单位由国内知名的整车企业、零部件企业、芯片企业、检测公司、测试设备公司、高校等等组成，涵盖了汽车行业各个主要环节，具备完整的汽车电子知识体系和行业经验，可以为本标准的制定和验证提供强有力的技术和资源支持。通过SiC MOSFET研发方、使用方、检测方等共同参与标准制定，在最大程度上保证了本标准的可操作性、可用性和实用性。

三、采用国际标准和国外先进标准情况

本标准采用国际和国外标准包括：

IEC 60747-8:2021 Semiconductor devices–Discrete devices–Part 8:Field-effect transistors

IEC 60749-34:2010 Semiconductor devices-Mechanical and climatic test methods-Part 34:Power cycling

IEC 60068-2-82:2019 Environmental testing-Part 2-82:Tests-Test Xw1,:Whisker test methods for components and partsused in electronic assemblies

IEC 60749-28:2022 Semiconductor devices-Mechanical and climatic test methods-Part 28:Electrostatic discharge(ESD) sensitivity testing-Charged device model(CDM)-device level

四、主要关键指标及试验验证情况

本规范的试验结果情况如下：

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **序号** | **中文名称** | **简称** | **样品数量** | **批次** | **试验概要描述** | **试验符合性** | **备注** |
| 1 | 预处理 | PC | 462 | 6 | a）初始特性测试：将样品在25 ℃条件下进行参数检测，记录检测结果；b）外部目检：40倍光学放大下进行外部目视检查，记录检测结果；c）内部检视：将样品放置在超声波扫描设备上检查样品封装内部情况，记录检测结果；d）温度循环：-40 ℃到60 ℃进行五个温度循环。e）烘烤：在125(+5/0)℃下至少烘烤24 h；f）湿气渗浸:应在烘烤后2 h内开始本试验，将样品放置在一个干净、干燥且浅的容器中，使样品封装间不会相互接触或重叠，然后放置在温湿度试验箱内，按照GB/T 4937.20-2018规定进行渗浸测试。g）回流焊后的焊接：样品移除温湿度试验箱15 min到4 h之间，按照GB/T 4937.20-2018规定回流焊条件下进行3次循环。h）最终目检和超声波扫描：回流后样品使用40倍光学显微镜检查，并利用超声波扫描显微镜检测，记录结果与初始目检、超声波扫描结果对比。i）最终特性参数检测：样品恢复到25 ℃环境温度下，进行电参数和功能测试，记录结果并对比。 | 符合 | 仅适用于贴片器件 |
| 2 | 高压蒸煮 | AC | 77 | 3 | 1. 温度：Ta = 121 ℃；
2. 湿度：100% RH；
3. 气压：103 kPa；
4. 试验时间：96 h。
 | 符合 |  |
| 3 | 高温存储 | HTS | 77 | 3 | ——温度：Ta = Tstgmax；——时间：≥1000h。 | 符合 |  |
| 4 | 低温存储 | LTS | 77 | 3 | ——温度：Ta = Tstgmin；——时间：≥1000h。 | 符合 |  |
| 5 | 温度循环 | TC | 77 | 3 | ——试验温度：-55 ℃到最高额定结温(不超过150 ℃)；或试验温度为-55 ℃到最高额定结温+25 ℃(不超过175 ℃)；——循环次数：循环次数为1000次（最高结温不超150 ℃）或400次（最高结温+25 ℃，不超175 ℃）在1 h内完成两次循环，且每次循环在最低温度和最高温度下的持续时间均不少于10 min；——最高温度的允许误差范围为-5 ℃～10 ℃，最低温度的允许误差范围为-10 ℃～5 ℃。 | 符合 |  |
| 6 | 温度冲击 | TST | 77 | 3 | 温度：Tstgmin～Tstgmax；——循环数：≥1000 次；——高温存储阶段时间：≥15 min；——低温存储阶段时间：≥15 min；——温度转换阶段时间：＞5 s且＜30 s；——被测样件状态：不带电工作状态。 | 符合 |  |
| 7 | 可焊性试验 | SD | 77 | 3 | ——温度：235℃±5℃；——等级：老化等级3。 | 符合 |  |
| 8 | 盐雾试验 | SST | 77 | 3 | 按照GB/T 4937.13的规定执行 | 符合 |  |
| 9 | 高温反偏 | （HTRB） | 77 | 3 | ——电压：VDS为额定电压的100%，VGS=0 V（如器件不能保证漏源极沟道完全关断，则根据数据手册确定最小负压）；——温度：Ta根据Tjmax和漏电流带来的温度变化确定；——时间：≥1000 h。 | 符合 |  |
| 10 | 高温栅极反偏 | （HTGB） | 77 | 3 | ——电压：VGS为规定的最大电压（包含正和负最大允许值）；——温度：Ta = Tjmax；——时间：≥1000h。 | 符合 | 正负栅压各3个批次 |
| 11 | 高温高湿反偏 | （H3TRB） | 77 | 3 | ——电压：VDS为额定电压的80%，VGS = 0V（如器件不能保证漏源极沟道完全关断，则根据数据手册确定最小负压）；——相对湿度：85 %；——温度：85 ℃；——时间：≥1000 h。 | 符合 |  |
| 12 | 间歇工作寿命 | （IOL） | 77 | 3 | 1. 电流：Ion以实际测试为准；
2. 如温升ΔTj大于等于100 ℃（Tj不超过器件最高额定结温），循环次数为60000/(x+y)次，但不大于15000次；如温升ΔTj大于等于125 ℃（Tj不超过器件最高额定结温），循环不大于7500次；
3. 每次循环导通时器件从环境温度达到Tj所需最短时间应大于等于2 min。每次循环关断时器件从Tj冷却到环境温度所需最短时间应大于等于2 min。

注：x代表器件从环境温度下达到要求的ΔTj所需的最短时间。y代表器件从要求的ΔTj冷却到环境温度所需的最短时间。 | 符合 |  |
| 13 | 静电放电 | （ESD） | 80 | 3 | ——环境温度：25 ℃±5 ℃；——相对湿度：55±10 %。 | 符合 | HBM和CDM模式，每个模式4个静电等级，每个等级10只器件 |
| 14 | 机械振动 | (MV) | 77 | 3 | ——扫频范围：5～200 Hz；——扫描速度：1 otc/min；——加速度：50 m/s2；——交越频率：9.2 Hz；——每轴小时数：30 h；——震动方向：X、Y、Z共3向。 | 符合 |  |
| 15 | 机械冲击 | (MS) | 77 | 3 | ——加速度：500 m/s2；——脉冲时间：6 ms；——冲击次数：10次；——冲击方向：±X、±Y、±Z共6向；——波形：半正弦波。 | 符合 |  |
| 16 | 晶须试验 | （WG） | 77 | 3 | ——试验条件A温度循环，不超过45um·温度：550 -10℃～85+10 0℃时，每小时3个循环；·循环次数：1500次；·检测间隔：每500循环检查一次。——试验条件B温湿度存储：不超过40um·温湿度：55+3 -3℃和85+3 -3%RH；·试验时间：4000 h；·检测间隔：每1000 h检查一次 | 符合 |  |
| 17 | 外观检验 | EV  | All | All | / | 符合 |  |

本规范的试验数据如下：











五、与现行法律、法规和政策及相关标准的协调性

本标准的条目，符合国家有关法律、法规和相关强制性标准的要求，与现行的国家标准、行业标准相协调。

当前无SiC MOSFET可靠性要求及试验方法国家标准，本标准是面向SiC MOSFET分立器件。

六、贯彻标准的要求和措施建议

严格按照本标准提出的可靠性要求及试验方法，对检验工程师进行理论学习和操作培训，保证检验方法操作的准确性。

七、其他需要说明的事项·

无。