

《车规级垂直结构 LED 芯片可靠性评价规范》

征求意见稿 团体标准编制说明

一、任务来源

车载 LED 是汽车外部照明、内饰背光、ADB 矩阵光源等功能的核⼼光电器件，随着智能车灯、自适应远光系统（ADB）快速普及，垂直结构 LED 芯片凭借电流分布均匀、热阻低、散热路径短、可支持大电流密度驱动等优势，在大功率车灯光源中得到大量应用。

当前国内车规 LED 芯片可靠性主要参考 AEC-Q102，该标准面向通用分立光电子器件，未针对垂直结构 LED 芯片特有工艺与失效机理（衬底剥离、共晶键合界面、垂直欧姆接触、键合空洞、衬底界面裂纹等）制定差异化评价体系；国内现有国标、行标缺少专门针对垂直结构 LED 芯片的车规可靠性分级、试验条件、失效判定、DPA 分析的统⼀规范，不同芯片厂、封装厂、整车零部件企业的验证方案、判定阈值不一致，造成验证重复、评价结论不可比，制约国产垂直结构 LED 芯片在车灯领域的规模化装车应用。

为填补国内车规级垂直结构 LED 芯片专用可靠性评价标准空白，统⼀可靠性分级、评价要求、试验方法、失效分析与报告输出要求，降低产业链重复验证成本，支撑国产车规 LED 芯片质量提升与产业化落地，根据《团体标准管理规定》

相关要求，中国西部开发促进会立项本团体标准。本标准项目计划编号为 2026-215-CWDPA。

二、起草单位

本标准由江西兆驰半导体有限公司提出，由中国西部开发促进会归口。本标准由江西兆驰半导体有限公司、中国科学院苏州纳米技术与纳米仿生研究所、晶能光电股份有限公司、昆山迅雷光电子有限公司、佛山市国星半导体技术有限公司共同起草。

三、标准的编制原则

标准起草小组在编制标准过程中，以国家、行业现有的标准为制订基础，结合我国目前的行业现状，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》的规定及相关要求编制。

四、标准编制过程

1、项目调研阶段

2026年3月，起草工作组开展行业调研，梳理国内外AEC-Q102、JEDEC系列、国内车灯及LED相关标准；调研国内垂直结构LED芯片制造、封装、车灯零部件、整车厂的可靠性验证现状；收集垂直结构LED芯片典型失效案例，识别衬底剥离、

共晶键合界面、垂直欧姆接触等特有风险点，确定标准框架、核心技术指标、试验项目清单。

2、项目立项阶段

2026年4月17日，中国西部开发促进会正式立项《车规级垂直结构LED芯片可靠性评价规范》团体标准，明确标准立项获批，正式启动该团体标准的规范化编制流程。

3、标准起草阶段

立项后，成立标准编制工作起草小组，全面统筹标准编制组织工作，同步开展标准起草单位的筹备与征集，经严格征集、评审与筛选，确定标准起草工作组核心成员单位。工作组基于前期调研成果，于2026年8月完成《车规级垂直结构LED芯片可靠性评价规范》团体标准草案稿编写；并于9月28日召开标准专题会议，针对草案稿内容研讨优化，完善标准框架与核心条款。

4、意见征集阶段

2026年10月，中国西部开发促进会发布通知，面向行业公开征集《车规级垂直结构LED芯片可靠性评价规范》团体标准修改意见，广泛吸纳各方专业建议，对标准内容进行全面优化完善。

后续，标准起草工作组将结合意见征集阶段收集的反馈建议，对标准草案稿进行修订完善，并按流程进行送审及报批等工作。

五、标准主要内容

1、范围

本文件规定了车规级垂直结构LED芯片的可靠性分级、可靠性评价要求、可靠性评价方法、评价规则、可靠性评级报告等内容。

本文件适用于车规级垂直结构LED芯片。

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。

GJB 548C 微电子器件试验方法和程序

GB/T 2828.1 计数抽样检验程序 第1部分：按接收质量限（AQL）检索的逐批检验抽样计划

GB/T 2423.1 环境试验 第2部分：试验方法 试验A：低温

GB/T 2423.2 环境试验 第2部分：试验方法 试验B：高温

GB/T 2423.3 环境试验 第2部分：试验方法 试验Cab：恒定湿热

GB/T 2423.22 环境试验 第2部分：试验方法 试验
N：温度变化

GB 4599—2024 汽车道路照明装置及系统

GB/T 10485—2025 道路车辆 外部照明和光信号装置
环境耐久性

GB/T 28046.3—2011 道路车辆 电气及电子设备的环境
条件和试验 第3部分：机械负荷

SJ/T 11394 半导体发光二极管测试方法

IPC-TM-650 印制板测试方法手册（Test Methods
Manual）

国标计划20252958T 车规级LED芯片可靠性评价方法
（制定中）

AEC-Q102-Rev-A 基于失效机理的汽车用分立光电子
半导体应力测试认证（Failure Mechanism Based Stress
Test Qualification for Discrete Optoelectronic
Semiconductors in Automotive Applications）

AEC-Q100-002 静电放电（HBM）敏感性分类

AEC-Q100-003 静电放电（MM）敏感性分类

AEC-Q100-011 静电放电（CDM）敏感性分类

AEC-Q101-001 晶圆目检

J-STD-020 非密封固态表面贴装器件湿度/回流焊敏感度分级 (Moisture/Reflow Sensitivity Classification for Nonhermetic Solid State Surface Mount Devices)

J-STD-002 元件引线、端子、接线片、端子和导线的可焊性测试 (Solderability Tests for Component Leads, Terminations, Lugs, Terminals and Wires)

JESD22-A101 稳态温湿度偏置寿命 (Steady-State Temperature-Humidity Bias Life Test)

JESD22-A102 加速抗潮湿高压锅试验 (Accelerated Moisture Resistance -Unbiased Autoclave)

JESD22-A103 高温贮存寿命 (High Temperature Storage Life)

JESD22-A104 温度循环 (JESD22-A104)

JESD22-A105 功率和温度循环 (Power and Temperature Cycling)

JESD22-A106 热冲击试验 (Thermal Shock)

JESD22-A107 盐雾环境下的测试方法 (Salt Atmosphere)

JESD22-A113 非气密性表面贴装元器件可靠性试验前的预处理 (Preconditioning of Nonhermetic Surface Mount Devices Prior to Reliability Testing)

JEDEC JESD51-1 集成电路热测量方法电气试验方法
(单半导体器件) [INTEGRATED CIRCUIT THERMAL
MEASUREMENT METHOD - ELECTRICAL TEST METHOD (SINGLE
SEMICONDUCTOR DEVICE)]

JEDEC JESD51-14 测量单通道热流半导体器件结-壳热
阻的接口试验方法 (INTERFACE TEST METHOD FOR THE
MEASUREMENT OF THE THERMAL RESISTANCE JUNCTION-TO-
CASE OF SEMICONDUCTOR DEVICES WITH HEAT FLOW TROUGH
A SINGLE PATH)

3、术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

垂直结构LED芯片 vertical structure LED chip

电流沿芯片外延层垂直方向（从P面经有源区到N面）流动的LED芯片结构。其核心工艺特征为：通过衬底剥离技术（激光剥离LLO或化学剥离）去除原有蓝宝石/硅/碳化硅生长衬底，采用底部金属键合或共晶焊接技术将外延层转移至高导热基板（如Si、CuW、AlN等），形成上下电极垂直分布的结构。与横向正装LED相比，垂直结构LED具有电流分布均匀、热阻低、散热路径短、抗ESD能力强、适合大电流密度驱动等优势。

3.2

车规级 automotive grade

产品满足汽车电子委员会(AEC)及整车厂规定的极端环境下的可靠性要求,设计寿命通常不低于15年或15万公里;需通过AEC-Q102全项或对应等级组别可靠性验证,适用于-40℃~150℃宽温域车载环境。车规级芯片须在宽温度范围、高湿度、强振动、电磁干扰等恶劣工况下保持稳定的光电性能,失效率要求达到零缺陷(Zero Defect)目标。

3.3

衬底剥离 substrate removal

将LED外延层从原始生长衬底(蓝宝石/硅/碳化硅)上分离的工艺过程。主要技术路线包括:激光剥离(Laser Lift-Off, LLO),利用紫外激光透过衬底辐照GaN/衬底界面,使界面GaN分解为Ga和N₂实现剥离;化学剥离,通过选择性湿法腐蚀去除牺牲层或衬底。衬底剥离质量直接影响垂直结构芯片的成品率和长期可靠性,剥离后外延层应无裂纹、无残余应力集中、无表面损伤。

3.4

共晶界面 eutectic bonding interface

垂直结构LED中,通过共晶焊接(Eutectic Bonding)工艺在外延层底部与高导热基板之间形成的金属键合界面。常

用共晶体系包括AuSn (Au80Sn20, 熔点约280℃)、AuSi、AuGe等。共晶界面是垂直结构LED的关键可靠性薄弱环节, 其质量以共晶层空洞率 (Void Ratio) 评价: 单个空洞面积不得大于键合总面积的10%, 累计空洞面积不得大于键合总面积的20%。共晶界面失效表现为分层 (Delamination)、空洞聚集合并、界面氧化等。

3.5

垂直欧姆接触 vertical ohmic contact

垂直结构LED中电流从P电极经外延层流向N电极路径上的金属-半导体欧姆接触界面。包括P型GaN与金属反射镜之间的P面欧姆接触, 以及N型GaN与N电极之间的N面欧姆接触。欧姆接触质量通过比接触电阻率 ρ_c (单位: $\Omega \cdot \text{cm}^2$) 表征。垂直欧姆接触劣化 (如金属-半导体界面互扩散、氧化、电迁移) 将导致正向电压 (V_f) 异常升高和串联电阻R激增, 是本文件重点管控的垂直结构专属失效模式。

3.6

结温 junction temperature; T_j

LED芯片PN结有源区 (Active Region) 的实际工作温度。结温是影响芯片光效、峰值波长、正向电压、寿命及可靠性的核心热学参数。结温测量采用正向电压法 (电学法), 依据JEDEC JESD51-1标准, 利用PN结正向电压与温度之间的线性关系 (K系数法) 间接测量。

注：结温计算公式： $T_j = T_a + P_d \times R_{\theta ja}$ ，其中 T_a 为环境温度， P_d 为耗散功率（ $= I_f \times V_f - P_{opt}$ ）， $R_{\theta ja}$ 为结到环境的总热阻。

3.7

L50/L70/L90寿命 L50/L70/L90 service life

指LED输出光通量或光强衰减至初始值的某一百分比时对应的工作时间：L50=50%光衰，L70=30%光衰，L90=10%光衰。L50寿命是车规级LED芯片的核心耐久性指标，本文件要求车规级垂直结构LED芯片的L50寿命不低于100000h（10万小时），对应约11.4年的连续工作时间；L50寿命由高温工作寿命试验（HTOL）通过Arrhenius加速模型外推得到。对于前照灯/ADB等严苛装车位置，建议额外考核L70（光衰30%）与L90（光衰10%）寿命，L90应不低于20000h。

3.8

高温高湿反向偏压试验 high temperature high humidity reverse bias test; H3TRB

条件为85℃/85%RH环境温度湿度下施加额定反向偏压，持续时间1000 h。本试验旨在加速考核芯片在湿热和电应力耦合条件下的抗电化学腐蚀、抗金属迁移（银迁移/铜迁移）及抗湿气渗透能力，是车规级LED最关键的环境可靠性试验

项目之一。对于垂直结构LED，H3TRB重点排查垂直PN结边缘漏电流和衬底界面腐蚀。

3.9

硫化氢腐蚀 hydrogen sulfide corrosion

LED芯片在含硫化氢（ H_2S ）气氛中发生的化学腐蚀现象。汽车尾气、工业排放等环境中的 H_2S 可与芯片电极中的银（Ag）反应生成不导电的硫化银（ Ag_2S ）晶须，导致电极发黑、导电性下降甚至开路失效。本文件规定 H_2S 腐蚀试验条件为：温度 40°C 、相对湿度90%RH、 H_2S 浓度10 ppm、试验时间96 h。试验后芯片电极不得有发黑、腐蚀痕迹，光电参数变化控制在允许范围内。

3.10

热阻 thermal resistance

表征LED芯片散热能力的热学参数，定义为芯片稳态工作时结温与环境温度的差值同耗散功率的比值，单位为 $^\circ\text{C}/\text{W}$ （或 K/W ）。对垂直结构LED芯片，重点管控结到焊点热阻和结到基板热阻。热阻测量采用电学法（正向电压法），依据JEDEC JESD51-1和JESD51-14标准。可靠性试验过程中热阻增幅超过初始值的10%即判定为热性能劣化失效。

3.11

共晶封装 eutectic die attach

使用AuSn等共晶焊料将芯片焊接于基板的贴装工艺，导热导电性好、热阻低、耐温高，是大功率车灯的主流方案。共晶界面质量以空洞率与金属间化合物（IMC）生长管控，关键附加试验为剪切力/空洞率（X-Ray/C-SAM）。

3.12

银胶封装 silver epoxy die attach

使用导电银胶（Ag Epoxy/Ag Paste）将芯片粘接固定于基板/支架的贴装工艺。相较共晶焊料，银胶工艺简单、成本低、应力缓冲好，但热阻较高、耐温上限较低，需重点关注固化质量、空洞率、银迁移与硫化等失效模式。银胶层厚度建议15 μm ~50 μm ，固化度 $\geq 95\%$ 。

3.13

破坏性物理分析 destructive physical analysis;
DPA

在不影响密封性判定前提下对样品开盖/解抛/研磨，检查内部外观、键合与焊接界面的分析方法。用于验证内部结构与工艺一致性，是应力试验后可靠性判定的重要依据，参照AEC-Q系列报告模板及GJB 548要求执行。

3.14

湿度敏感等级 moisture sensitivity level; MSL

按J-STD-020分为MSL1~MSL6，表征非气密封装器件在回流焊前的吸湿敏感程度。本文件要求先完成Pre-condition(吸湿+3次回流)再判定外观与功能，前照灯/ADB组建议MSL1，信号灯/车内组MSL2~3。

3.15

样品形式 sample configuration

为便于芯片级可靠性评价，按封装完成程度分为三类：封装——已完成芯片贴装、引线键合及最终塑封/加盖/点胶保护等完整封装工序的样品；半封装——已完成芯片贴装与引线键合，但未进行最终塑封/加盖/点胶保护的样品；不封胶——仅完成芯片贴装，未进行任何封装保护，可用于裸芯片或芯片+基板状态的样品。。

4、可靠性分级

按照车载应用位置分组划分可靠性等级，明确不同组别对应的试验项目与寿命指标，区分共晶封装、银胶封装两类工艺的适用场景。

5、可靠性评价要求

规定外观结构、热性能、光电参数、寿命等指标限值，明确不同装车场景下的可靠性技术要求。

6、可靠性评价方法

规定试验预处理、测试环境、仪器设备以及各项可靠性应力试验、DPA分析的操作方法。

7、评价规则

规定试验样品要求、失效判定准则、失效分析与整改闭环要求，明确产品合格判定规则。

8、可靠性评价报告

规定可靠性评价报告应包含的试验信息、原始数据、DPA照片、寿命推算结果、失效分析及结论等内容。

六、标准水平分析

6.1 采用国际标准和国外先进标准的程度

经查，国内外无相同类型的标准，故没有相应的国内外标准可采用。

6.2 与国际标准及国外标准水平对比

本标准达到国内先进水平。

6.3 与现有标准及制定中的标准协调配套情况

本标准的制定与现有的标准及制定中的标准协调配套，无重复交叉现象。

6.4 设计国内外专利及处置情况

经查，本标准没有涉及国内外专利。

七、与有关的现行法律、法规和强制性国家标准及相关标准协调配套情况

本标准的制定过程、技术指标的选定、检验项目的设置符合现行法律、法规和强制性国家标准的规定。

八、重大分歧意见的处理经过和依据

无。

九、标准作为强制性或推荐性标准的建议

建议该标准作为推荐性团体标准。

十、贯彻标准的要求和措施建议，包括（组织措施、技术措施、过渡办法）

由于本标准首次制定，没有特殊要求。

十一、废止现有有关标准的建议

无。

《车规级垂直结构LED芯片可靠性评价规范》

团体标准起草组

2026年10月