LED 灯具与显示模组纳米防护技术白皮书

文档版本信息

版本号	修订日期	修订内容	修订人	审核人	生效状态
V1.0	2026.7.20	LED 行业专属纳米防护技术白皮书初稿编制完成	捷安纳米研发部	技术负责人	正式生效

保密等级：内部公开

适用对象：LED 灯具/显示模组研发工程师、结构工程师、工艺工程师、品质测试工程师、方案销售顾问、招投标技术评审、终端客户技术对接

应用场景：LED 室内商用照明、户外道路照明、沿海景观亮化、车载背光显示、舞台大屏、高清显示模组项目技术方案输出、产品升级迭代、行业痛点整改、售后降本、国产化纳米防护方案替代

一、摘要

本文档针对 LED 灯具、LED 显示模组全场景应用痛点，围绕室内商用、户外道路、沿海景观、车载背光、舞台大屏等主流应用环境，系统性阐述深圳市捷安纳米复合材料电子纳米防护系列产品的技术原理、架构优势、性能参数、工艺方案与落地价值。针对行业长期存在的**凝露死灯、盐雾腐蚀、芯片硫化、光衰色差、售后维修成本高**五大核心难题，对比传统聚氨酯、丙烯酸厚膜三防漆的散热受阻、透光率衰减、易黄变、工序复杂、返修困难等技术短板，全面介绍捷安纳米超薄、高透、耐黄变、易返修、高防护的纳米防护解决方案。本方案可实现 LED 器件长效环境防护与光学性能保真，有效降低产品故障率与售后运维成本，为 LED 行业防护技术升级、传统三防工艺迭代、产品可靠性提升提供标准化技术支撑与落地依据。

二、行业技术现状与痛点分析

2.1 LED 行业全场景应用环境特征

当前 LED 灯具与显示模组已实现多场景全覆盖，不同工况对防护体系提出差异化严苛要求。室内商用场景存在恒温恒湿交替、密闭空间凝露；户外道路场景长期暴露在高低温骤变、雨水冲刷、紫外线强辐射环境；沿海景观场景高盐雾、高湿度、高腐蚀性气体极易侵蚀器件；车载背光场景面临车辆震动、温差冲击、密闭凝露工况；舞台大屏场景存在长时间高负荷发光、高热积累、频繁启停电压波动、现场粉尘湿气叠加等问题。多场景复杂工况叠加，对 LED 产品的防潮、防腐蚀、耐老化、光学稳定性

LED 灯具与显示模组纳米防护技术白皮书

提出极高的技术要求，传统防护方案已无法适配高端化、长寿命、低运维的行业发展需求。

2.2 行业核心痛点与传统防护方案短板

目前 LED 行业量产端与终端应用长期受五大核心故障痛点制约，同时传统厚膜三防漆存在结构性技术缺陷，成为产品可靠性升级与成本控制的主要瓶颈。

2.2.1 行业五大核心应用痛点

一是凝露死灯，LED 模组密闭腔体、昼夜温差交替极易产生内部凝露，水汽堆积导致灯珠短路、微漏电，引发批量死灯、单点不亮、频闪故障；

二是盐雾腐蚀，沿海、户外滨海场景盐雾离子渗透 PCB 线路与焊盘，造成线路氧化、焊点脱落、模组失效；

三是芯片硫化，空气中硫、氯等腐蚀性气体侵入灯珠内部，引发芯片电极硫化发黑、发光效率骤降；

四是光衰色差，长期高温老化、涂层黄变、器件老化不均，导致整屏亮度衰减、色彩偏移、色块不均，影响显示与照明效果；

五是售后维修成本高，传统防护产品故障后返修难度大、拆装繁琐、良品率低，大面积故障需整体更换模组，人工与物料运维成本居高不下。

2.2.2 传统三防漆技术短板

行业主流聚氨酯、丙烯酸厚膜三防漆采用成膜覆盖防护模式，存在诸多固有缺陷。散热层面，涂层厚度大、导热性差，包裹灯珠与驱动器件后阻碍热量散发，加剧 LED 高温光衰与器件老化；光学层面，厚膜涂层透光率低、长期紫外线照射易黄变、发白，直接导致灯具亮度衰减、显示模组色差偏移；工艺层面，喷涂遮蔽工序复杂，灯珠发光面、接口、端子需人工精准遮蔽，量产工时多、良率低、生产成本高；运维层面，固化后涂层硬度高、附着力强，故障后无法精准除胶返修，只能整体更换模组，返修成本极高；可靠性层面，厚膜涂层应力大，高低温循环后易开裂、起皮，防护性能快速衰减，无法适配长期户外、车载严苛工况。

2.3 行业核心技术刚需与指标要求

结合 LED 照明、显示行业国标、终端头部客户技术规范及场景工况需求，当前行业防护材料已形成明确的硬性技术刚需。核心要求包含：超薄成膜不影响散热、高透光无光学损耗、长期耐黄变保色差、高效防潮防凝露、抗盐雾防腐蚀、抗芯片硫化、高低温循环不开裂；工艺层面需满足简易喷涂、无需复杂遮蔽、适配自动化量产、快速固化；运维层面需支持可返修、可局部补涂、降低售后成本；合规层面需满足环保

LED 灯具与显示模组纳米防护技术白皮书

无卤、RoHS、REACH 认证要求，适配全场景批量落地。以上指标为捷安纳米电子纳米防护系列产品的技术设计与方案落地提供精准对标依据。

三、核心技术总体架构

3.1 技术设计理念

捷安纳米针对 LED 行业专属痛点，确立“超薄防护、光学保真、散热兼容、长效耐候、易修降本、工艺高效”的核心设计理念，摒弃传统厚膜三防漆的防护逻辑，以纳米级分子成膜技术为核心，构建防潮、防腐、抗硫化、耐老化、保光学的一体化精准防护体系，兼顾 LED 器件的散热性能、光学性能、量产工艺性与后期运维性，全方位解决传统防护方案的结构性缺陷。

3.2 整体技术架构体系

捷安纳米电子纳米防护产品采用多层纳米复合架构，由纳米基材层、光学改性层、致密阻隔防护层、静电耗散层四大层级构成，层级配比经过多场景工况优化。纳米基材层具备超高渗透性，可贴合 PCB、灯珠、芯片、焊盘微观缝隙，实现无死角覆盖；光学改性层保障超高透光率与耐黄变性能，杜绝光学衰减与色差偏移；致密阻隔层形成纳米级致密防水、防盐雾、防硫化气体屏障，阻断腐蚀介质侵入。多层结构协同作用，实现薄涂层、高防护、高光学兼容的技术优势。

3.3 核心技术创新点

捷安纳米电子纳米防护系列产品针对 LED 行业痛点实现五大核心技术创新，形成差异化技术壁垒。第一，**纳米超薄成膜技术**，成膜厚度仅微米级，无厚重涂层包裹，完全不阻碍 LED 芯片与驱动散热，从根源降低高温光衰；第二，**高透耐黄变光学改性技术**，采用特殊光学纳米配方，透光率接近基材，长期紫外老化、高温老化无明显黄变，保障 LED 亮度与色彩一致性；第三，**致密分子阻隔防护技术**，有效阻隔水汽、盐雾、硫氯腐蚀性气体，彻底解决凝露死灯、盐雾腐蚀、芯片硫化问题；第四，**可返修轻量化工艺技术**，纳米涂层附着力适中，可通过专用溶剂快速局部除胶、补涂，无需整体更换模组，大幅降低售后维修成本，同时简化量产遮蔽工序，提升生产良率。

四、核心材料技术原理与参数体系

4.1 核心防护技术原理

捷安纳米电子纳米防护产品依托纳米复合材料底层技术原理，实现多维度精准防护。

LED 灯具与显示模组纳米防护技术白皮书

防潮原理：纳米分子致密交联成膜，膜层孔隙率极低，阻断水汽渗透通道，同时平衡腔体内外湿气压差，抑制凝露生成；

防盐雾腐蚀原理：无机-有机复合纳米结构，可抵御盐离子渗透与电化学腐蚀，保护 PCB 线路、焊盘与金属引脚；

抗芯片硫化原理：致密阻隔层隔绝硫、氯有害气体与 LED 芯片电极接触，杜绝硫化发黑失效；

光学保真原理：纳米光学改性配方折射率与空气、基材高度匹配，减少光折射损耗，耐紫外分子结构抑制涂层老化黄变；

耐候防护原理：稳定的纳米交联结构，高低温循环下无开裂、起皮，长效维持防护性能。

4.2 关键性能技术参数

本章节参数均依据国标、行标权威测试得出，对比传统丙烯酸、聚氨酯三防漆，全方位凸显捷安纳米产品性能优势，所有指标适配 LED 全场景应用需求。

参数类别	技术参数名称	测试标准	传统厚膜三防漆	捷安纳米三防漆	参数说明
基础物性	成膜厚度	GB/T 6672	80-200μm	1-5μm（纳米超薄）	超薄成膜，不阻碍 LED 散热
	透光率	GB/T 2410	85%-90%	≥95%	超高透光，无亮度损耗
	硬度	GB/T 531.1	高硬度、固化坚硬	柔性纳米膜层	抗形变，高低温不开裂
	返修性能	企业工艺标准	无法局部返修、除胶困难	可局部除胶、补涂返修	大幅降低售后运维成本
	盐雾防护时长	GB/T 10125	24-48h 易腐蚀失效	≥168h 无腐蚀、无氧化	适配沿海高盐雾场景
	水汽透过率	GB/T 1037	偏高、易透湿凝露	极低水汽透过率	杜绝腔体凝露、死灯故障
	抗硫化性能	行业硫化	抗硫化弱、电极	无硫化发黑、	长效保护 LED

LED 灯具与显示模组纳米防护技术白皮书

参数类别	技术参数名称	测试标准	传统厚膜三防漆	捷安纳米三防漆	参数说明
		加速测试	易发黑	性能稳定	芯片电极
耐候可靠性	紫外耐黄变等级	GB/T 16422.3	3-5 级、易黄变褪色	≥0 级（无明显黄变）	长期保障灯光色彩一致性
	高低温循环稳定性	IEC 60068	50 次循环易开裂起皮	≥500 次循环无异常	适配户外、车载温差工况
	高温老化光衰率	GB/T 7141	1000h 光衰≥15%	1000h 光衰≤3%	大幅延长 LED 产品使用寿命
工艺性能	遮蔽工序要求	量产工艺标准	需全端子、灯珠遮蔽，工序繁琐	免遮蔽	提升量产效率、降低人工成本
	固化速度	企业工艺标准	常温固化慢、量产周期长	常温快速表干、完全固化快	适配自动化批量生产线

4.3 性能对标分析

通过**捷安纳米纳米三防漆、传统聚氨酯三防漆、传统丙烯酸三防漆**三方全维度对标，可清晰凸显本方案的行业差异化优势。防护性能层面，捷安纳米产品兼顾抗盐雾、抗硫化、防凝露多重防护，防护寿命是传统厚膜漆的 3-5 倍，彻底解决传统产品防护单一、后期失效快的问题；光学性能层面，超高透光率+零级耐黄变，完全杜绝 LED 亮度衰减与色差问题，适配高清显示、高端照明场景；散热与可靠性层面，纳米超薄成膜无散热阻碍，低温升、低光衰，高低温循环无涂层开裂脱落，适配全场景严苛工况；工艺层面，简化遮蔽工序、固化速度快、量产良率高，有效降低生产工时与人工成本；运维层面，可局部返修补涂，无需整体更换模组，售后维修成本降低 60% 以上；综合对比，捷安纳米纳米防护方案完美解决传统防护产品的所有结构性短板，是 LED 行业替代传统厚膜三防漆的最优升级方案。

五、工艺实现与生产技术方案

5.1 整体生产工艺流程

捷安纳米 LED 纳米防护工艺适配 LED 灯具、显示模组全量产流程，整体工序简

洁高效，兼容自动化量产。完整工艺流程为：产品前处理（除尘、除油、除湿）→纳米防护液喷涂/浸涂→常温流平→快速表干→完全固化→性能抽检→入库出货。相较于传统三防漆复杂的全遮蔽、多层喷涂、长时间固化流程，本工艺大幅精简工序，缩短生产周期，适配 LED 行业大批量、高效率生产需求。

5.2 关键工艺技术控制要点

为保障批量生产涂层一致性与防护稳定性，核心工艺环节设置标准化管控要点。前处理环节，严格控制工件表面洁净度，无粉尘、油污、水汽残留，保障纳米膜层附着力与贴合均匀性；喷涂环节，控制喷涂气压、喷枪距离、走枪速度，保障纳米涂层均匀覆盖，无漏涂、积涂、流挂现象；固化环节，严格管控常温固化温湿度环境，确保膜层交联充分，发挥最优防护性能；质检环节，重点抽检膜层厚度、透光率、表面均匀性，杜绝不良品流出。同时针对 LED 灯珠、IC、精密线路等薄弱器件，优化喷涂参数，实现精准防护，无器件损伤风险，全面保障批量生产质量稳定性。

5.3 工艺兼容性说明

捷安纳米电子纳米防护产品具备极强的工艺兼容性，可完美适配 LED 行业主流生产设备与加工工艺。兼容自动化喷涂流水线、半自动喷涂设备、浸涂设备，适配规模化量产；兼容 LED 模组后焊、测试、组装全工序，涂层固化后不影响后续装配、贴合、接线作业；适配各类 LED 基材，包括 PCB 板、铝基板、灯珠封装胶体、金属焊盘、塑胶外壳等，无基材腐蚀、发白、变色问题；同时兼容后期模组检修、补涂、返修工艺，局部除胶后可直接重新喷涂，无需二次加工，极大提升产品运维灵活性，完全适配 LED 行业量产与售后全流程需求。

六、可靠性测试与验证体系

6.1 测试依据标准

本次所有可靠性测试严格依据国家、行业及 LED 终端权威标准执行，包含 GB/T 10125 盐雾测试标准、IEC 60068 环境可靠性测试标准、GB/T 16422.3 紫外耐候测试标准、LED 灯具可靠性行业规范、显示模组环境测试通用规范，确保所有测试数据权威、有效、可对标，满足行业准入与终端客户验收要求。

6.2 全维度测试项目与方案

针对 LED 全场景工况，搭建六大维度全维度可靠性测试体系，覆盖产品全生命周期性能验证。一是基础光学测试，包含透光率测试、耐黄变测试、色差一致性测试，验证光学保真能力；二是环境防护测试，包含盐雾腐蚀测试、湿热老化测试、凝露模

LED 灯具与显示模组纳米防护技术白皮书

拟测试、抗硫化加速测试，验证防潮、防腐、抗硫化性能；三是耐候老化测试，包含高低温循环、高温长期老化、紫外老化测试，验证长期服役稳定性；四是散热适配测试，对比防护前后 LED 温升、光衰数据，验证散热兼容性；五是工艺与返修测试，包含批量喷涂良率测试、局部除胶返修测试、多次补涂性能测试，验证量产与运维适配性。所有测试均设置超长测试时长与严苛判定标准，贴合终端实际工况。

6.3 测试结果与失效分析

全维度测试结果表明，捷安纳米电子纳米防护系列产品适配 LED 全场景严苛工况，各项性能指标远超传统三防漆与行业通用标准。纳米超薄涂层无散热阻碍，LED 温升与未防护产品基本一致，长期工作光衰极低；长效抗盐雾、抗硫化、防凝露，可彻底解决行业死灯、腐蚀、发黑故障；零级耐黄变性能保障长期光学一致性，无亮度衰减、色彩偏移；静电泄放性能稳定，无器件击穿失效风险；高低温、湿热、紫外老化后膜层无开裂、起皮、脱落，防护性能无明显衰减。极限工况测试中无功能性失效问题，仅极端超时长老化出现轻微膜层色泽变化，不影响防护与光学性能，整体可靠性完全满足 LED 室内外、车载、舞台等全场景长期服役需求。

七、行业专项落地解决方案

7.1 细分行业适配方案

针对 LED 五大核心应用场景，定制差异化纳米防护落地方案，精准匹配场景痛点。

室内商用照明/显示场景：主打防凝露、保色差，解决密闭空间静电积累、温差凝露、长期使用色差偏移问题，适配商超、写字楼、室内大屏长效稳定运行；

户外道路照明场景：强化耐高低温、抗紫外老化、低光衰性能，适配昼夜温差、强紫外线、雨水冲刷工况，延长路灯使用寿命；

沿海景观亮化场景：采用高抗盐雾、抗硫化专属配方，抵御海风盐雾、腐蚀性气体侵蚀，杜绝模组腐蚀失效、死灯故障；

车载背光显示场景：适配车载震动、温差冲击、密闭凝露工况，兼顾防静电、耐震动、高稳定防护，保障车载显示高清无故障；

舞台大屏场景：聚焦高负荷散热兼容、光学高保真、快速返修，解决长时间高负荷发光光衰快、售后维修繁琐、运维成本高的痛点，适配舞台高频启停、高强度使用需求。

7.2 典型应用技术场景拆解

LED 灯具与显示模组纳米防护技术白皮书

场景一：沿海景观 LED 亮化项目。传统三防漆防护模组使用 6-12 个月即出现焊盘腐蚀、灯珠硫化发黑、批量死灯问题，售后返修率超 20%。采用捷安纳米防护方案后，纳米致密阻隔层有效阻断盐雾与硫化气体侵入，经过 2 年实地工况运行，模组无腐蚀、无硫化、无凝露死灯，亮度与色彩一致性良好，返修率降至 1%以内。

场景二：户外高清显示大屏项目。传统厚膜漆涂层散热差、易黄变，使用 1 年即出现整屏色差、亮度衰减，影响显示效果。本方案超薄高透涂层不影响散热、长效耐黄变，长期运行无光学衰减，画面色彩均匀稳定，大幅降低屏幕运维校准频次。

场景三：车载背光 LED 模组。传统防护方案易因温差开裂失效，本方案柔性纳米膜层，适配车载复杂工况，器件故障率大幅降低，返修效率显著提升。

7.3 方案落地优势总结

捷安纳米 LED 专属纳米防护解决方案，相较于传统三防方案具备六大核心落地优势。一是**解决核心痛点**，彻底攻克凝露死灯、盐雾腐蚀、芯片硫化、光衰色差五大故障难题；二是**光学性能极致**，超高透光、零级耐黄变，保障 LED 产品长期光学一致性；三是**散热性能优异**，纳米超薄成膜，无散热阻碍，从根源降低光衰老化；四是**量产效率提升**，无遮蔽工序、固化快速，适配自动化量产，降低生产成本；五是**售后大幅降本**，可局部返修补涂，无需整体换件，运维成本大幅降低；六是**全场景适配**，可覆盖室内、户外、沿海、车载、舞台全品类 LED 产品，通用性与可靠性极强。

八、合规与质量保障体系

8.1 行业合规认证

捷安纳米电子纳米防护系列产品已完成多项权威合规认证，完全符合 LED 行业准入标准。产品通过 RoHS、REACH 无卤环保认证，无重金属、有害挥发物，绿色环保无污染；通过绝缘、防静电、耐候相关行业检测，电气性能、环境防护性能合规；所有产品配方、生产工艺符合电子行业三防防护规范，可满足国内外 LED 灯具、显示模组出口验收标准与终端项目招投标技术要求。

8.2 质量管控体系

公司建立全流程闭环质量管控体系，保障产品批次一致性与稳定性。原料端，所有纳米基材、功能性改性填料均选用高端合规原料，入厂 100%抽检性能指标；生产端，自动化配比、恒温恒湿生产环境，全程监控配方精度、成膜性能，杜绝批次差异；成品端，每批次产品均完成透光率、防护性能、固化性能、耐候性能抽样检测，合格后方可出库；同时建立产品溯源体系，所有批次可全程追溯，为客户提供稳定、可靠、标准化的防护产品与技术服务。

LED 灯具与显示模组纳米防护技术白皮书

8.3 使用寿命与售后技术保障

捷安纳米防护涂层在 LED 常规工况下长效防护寿命可达 5-8 年，远超传统三防漆 1-3 年使用寿命，大幅提升产品全生命周期价值。公司提供完善的技术售后保障体系，可为客户提供前期工况适配选型、量产工艺调试、现场技术指导、故障技术分析、方案优化升级等全流程技术服务；针对产品使用过程中的工艺、性能问题，提供快速响应技术支持，同时配套专属返修工艺指导，助力客户最大化降低生产与售后成本，实现产品品质长效升级。

九、技术迭代与行业展望

9.1 现有技术迭代空间

结合 LED 行业高端化、高清化、长效化发展趋势，捷安纳米防护技术具备持续迭代升级空间。后续可针对超高功率 LED、Mini/Micro LED 微尺寸器件，迭代超轻薄、超高精度纳米防护配方，适配微间距显示模组防护需求；可研发耐高温、超耐候升级版本，适配极端高温、强紫外户外特种工况；同时可迭代多功能复合防护体系，集成防护、疏水、抗污、自清洁功能，进一步降低户外 LED 产品运维频次。

9.2 行业技术发展趋势预判

当前 LED 行业正加速向小型化、高清化、高功率、长寿命、低运维方向发展，传统厚膜、重防护、低适配的三防漆技术已无法适配行业升级需求。超薄化、高透光、散热兼容、可返修、多功能集成的纳米防护技术，将成为 LED 行业防护方案的主流迭代方向。未来行业将彻底告别传统厚膜防护的弊端，以纳米复合防护技术为核心，实现防护性能、光学性能、工艺性能、运维性能的全方位统一，推动 LED 产品可靠性升级与全生命周期成本下降。

十、结论

深圳市捷安纳米复合材料电子纳米防护系列产品，精准针对 LED 灯具、显示模组全场景六大核心行业痛点，完美解决传统聚氨酯、丙烯酸厚膜三防漆散热差、透光低、易黄变、工序繁、返修难的结构性短板。产品依托纳米超薄成膜、光学保真、多重致密防护、易返修等核心技术优势，实现防潮防凝露、抗盐雾腐蚀、抗芯片硫化、低光衰保色差的一体化长效防护，同时兼具量产工艺简单、适配性强、售后运维成本低、环保合规等多重价值。方案可广泛适配室内商用、户外道路、沿海景观、车载背光、舞台大屏等全品类 LED 产品，有效提升 LED 产品可靠性、使用寿命与市场竞争力，是当前 LED 行业传统三防防护技术升级、国产化替代的最优解决方案，具备极高的行业推广与落地应用价值。

LED 灯具与显示模组纳米防护技术白皮书

附录

附录 1：捷安纳米 LED 防护产品核心性能测试原始数据报表

附录 2：LED 行业防护相关国标、行标清单

附录 3：捷安纳米产品规格书与场景选型参数表

附录 4：LED 全场景典型落地应用案例详情