《AI 交换机用 112G/224G SerDes 通道超低损耗树脂技术要求》

编制说明

一、工作简况

（一）起草单位及主要起草人

本文件起草单位：胜宏科技(惠州)股份有限公司、中南大学、清融新材料科技（嘉兴）有限公司、惠州市特创电子科技股份有限公司、湖南维胜科技电路板有限公司、泰州市旺零绝缘材料厂、四川格纯电子材料有限公司、山东圣泉电子材料有限公司

本文件主要起草人：

（二）标准制定目的和意义

当前 AI 算力爆发推动数据中心交换机向 800G/1.6T 演进，112G/224G SerDes 作为核心接口技术，其信号传输质量直接决定系统可靠性。在极端速率下，传统 FR-4 环氧树脂体系因高频损耗大已无法满足信号完整性要求，背板与交换板卡必须采用超低损耗树脂体系（如改性聚苯醚、碳氢树脂等），其介电常数与损耗因子须达到极低水平方可支撑高速传输。

目前国内尚无针对 AI 交换机用 112G/224G SerDes 通道超低损耗树脂的专项技术要求。现有标准适用场景最高仅至 10Gbps，或针对特定树脂体系，均无法覆盖 112G/224G 极端速率下的超低损耗场景。由于专项标准缺失，各企业在介电性能、热学性能、吸湿性及工艺适配性等核心指标上缺乏统一规范，产品内控指标参差不齐。

技术要求缺失导致部分产品质量不达标，引发信号眼图闭合、误码率升高乃至链路中断，威胁 AI 数据中心通信安全；同时使交换机厂商选型验证及品控成本攀升，严重制约国产超低损耗树脂进口替代进程。因此，本标准将统一明确超低损耗树脂的关键技术要求与试验方法，填补国内专项标准空白，为国产材料在 AI 交换机高端场景中的应用提供支撑，助力核心材料自主可控发展。

（三）主要工作过程

2026 年 9 月 24 日通过腾讯会议召开了本团体标准的立项评估会。本次会议确定了本标准的框架结构，收集了与会各单位对标准草案（初稿）的修改意见或建议，明确了工作组各单位的工作分工，以及会后的具体工作安排。

2026 年 9 月 27 日本团体标准由中国互联网协会正式立项，立项名称为：《AI 交换机用 112G224G SerDes 通道超低损耗树脂技术要求》。

2026 年 10 月 29 日通过腾讯会议线上召开了本团体标准的第一次讨论会。编制组就本团体标准第一次讨论后的修改情况、意见采纳情况进行了综合阐述。与会专家及代表对该项团体标准的架构图、系统关系等进行了进一步的深入讨论和修改，编制组认真听取和记录了与会代表提出的问题和调整建议。

二、标准编制原则和依据

（一）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，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。

标准采用性能型而非配方型思路，不限定 PPE/PPO、氰酸酯、活性酯固化环氧、烯烃类等具体树脂化学组成，凡满足性能指标的技术路线均可采用；同时按 "树脂材料—层压材料—高速通道"三级建立评价要求，并按 ULL-112、ULL-224、ULL-224E 划分材料等级。

（三）标准主要内容与确定依据

一、适用范围

本文件规定了 AI 交换机用 112 G/224 G SerDes 通道超低损耗树脂的技术要求、试验方法、检验规则以及标志、包装、运输和贮存。

本文件适用于 AI 交换机用 112 G/224 G SerDes 通道超低损耗树脂的生产、检验、交付和使用。

本文件所述超低损耗树脂包括用于半固化片、树脂膜、覆铜箔层压板及多层印制电路板介质层的热固性树脂体系，包括但不限于改性聚苯醚（PPE/PPO）、氰酸酯、活性酯固化环氧、烯烃类热固性树脂及其复合体系。

二、指标确定依据

（1）速率与评价频率的对应关系 本文件规定 112G SerDes 采用 PAM4 调制时主

要 Nyquist 频率约为 28 GHz，224G 约为 56 GHz；附录 A 规定 112G 基础测试频率为 1、10、20 GHz、关键评价频率为 28 GHz，224G 基础测试频率为 1、10、20、28、40、50 GHz、关键评价频率为 56 GHz，并明确 224G 材料不宜仅采用 10 GHz 的 Dk/Df 作为等级判定依据。 确定依据：频率点由 PAM4 信号速率与 Nyquist 频率的对应关系推算确定，即 112 Gb/s÷4 电平 ×2≈28 GHz、224 Gb/s÷4×2≈56 GHz，属于物理关系而非人为设定；1 GHz、10 GHz 作为传统覆铜板评价基准点沿用行业惯例；高频 Dk/Df 测试方法依据 IEC 61189-2-721:2015（SPDR 法，适用于 1～20 GHz），20 GHz 以上依据经实验室间验证的高频谐振腔（split-cylinder resonator）、传输线（TRL）等等效方法，该方法体系与 IPC-TM-650 的介电测试方法框架一致。

（2）Dk 指标 本文件规定 ULL-112：Dk@10 GHz≤3.30、Dk@28 GHz≤3.30、Dk@40 GHz≤3.35；ULL-224：Dk@10 GHz≤3.20、Dk@28 GHz≤3.20、Dk@40 GHz≤3.25、Dk@56 GHz≤3.30；224G 用树脂 10 GHz～56 GHz 范围内 Dk 变化率宜≤5%，高性能等级宜达到 Dk@10 GHz≤3.10。 确定依据：以 AI 交换机 112G/224G 通道对介质时延与阻抗一致性的要求为出发点，参照当前超低损耗覆铜板（低极性 PPE/PPO、氰酸酯、活性酯体系）的典型 Dk 水平确定分级台阶，即常规超低损耗级取 3.20～3.35、高性能级取 3.10；Dk 随频率上升的允许放宽量（每频段约 0.05）依据材料极化弛豫导致的介电色散规律确定；等级划分与附录 D 的 ULL-112/ULL-224/ULL-224E 三级指标保持一致。

（3）Df 指标 本文件规定 ULL-112：Df@10 GHz≤0.0020、Df@28 GHz≤0.0025、Df@40 GHz≤0.0025；ULL-224：Df@10 GHz≤0.0015、Df@28 GHz≤0.0015、Df@40 GHz≤0.0018、Df@56 GHz≤0.0020；并推荐 224G 产品达到 Df@10 GHz≤0.0010、Df@28 GHz≤0.0012、Df@56 GHz≤0.0015。 确定依据：介质损耗是 112G/224G 通道插入损耗的主要来源，指标按 "112G 用常规超低损耗、224G 用更低损耗" 的材料分层确定；0.0015～0.0025 的限值区间对应目前低极性 PPE/PPO、活性酯固化环氧、烯烃类树脂体系可实现并批量稳定的 Df 水平；推荐值（0.0010～0.0015）对应附录 C 超高性能级通道插入损耗（112G≤0.8 dB/in、224G≤1.0 dB/in）的材料需求；指标形成同时

参考了附录 E 所列公开专利所揭示的低介电树脂技术路线，即日本活性酯（JP5152445B2、JP2022001612A）、美国改性 PPE（US20140044918A1、US9957389B2）、中国台湾含磷多酚活性酯（TW201623377A）、韩国 PPE / 氰酸酯 / 活性酯复合体系（KR101556658B1、KR102964634B1），上述专利仅作为资料性技术路线依据，不作为规范性引用文件。

（4）Dk/Df 温度特性 本文件规定在 －40 ℃～125 ℃范围内测试，ULL-112 的 Dk 相对 25 ℃变化率≤5%、ULL-224≤4%；Df 变化率 ULL-112≤20%、ULL-224≤15%。 确定依据：温度范围依据 AI 交换机实际工作与存储环境确定（机房环境温度与器件结温叠加），并覆盖 GB/T 2918 规定的标准试验环境之外的极端工况；变化率限值按 224G 对阻抗与损耗稳定性要求更严于 112G 的原则分级；测试方法采用 DMA、SPDR 变温测试等，与 GB/T 1634《塑料 负荷变形温度的测定》的温度扫描思路一致。

（5）体积电阻率、表面电阻率与介电强度 本文件规定体积电阻率≥1.0×10^{15} Ω·cm、表面电阻率≥1.0×10^{14} Ω；固化树脂及层压材料介电强度≥25 kV/mm，224G 等级宜≥30 kV/mm。 确定依据：电阻率指标沿用高速覆铜板行业通用判定水平，测试方法依据 GB/T 31838.2—2019《固体电气绝缘材料体积电阻率和表面电阻率试验方法》；介电强度测试依据 GB/T 1408.1《绝缘材料 电气强度试验方法 第 1 部分：工频下试验》，并与 GB/T 4722《印制电路用刚性覆铜箔层压板试验方法》的层压板耐电压试验方法衔接；224G 加严至 30 kV/mm 对应高层数板层间绝缘裕量需求。

（6）热性能（Tg、Td、CTE、耐热性、阻燃） 本文件规定 ULL-112 的 Tg≥180 ℃（优选≥200 ℃）、ULL-224 的 Tg≥200 ℃（优选≥220 ℃）；ULL-112 的 Td（5% 失重）≥350 ℃（优选≥380 ℃）、ULL-224≥380 ℃（优选≥400 ℃）；Z 向 CTE ULL-112≤55 ppm/℃、ULL-224≤50 ppm/℃；260 ℃回流焊 3 次后无分层、起泡、裂纹，Df 变化率≤10%（224G 宜≤8%）；阻燃等级达到 UL 94 V-0。 确定依据：Tg 按无铅回流焊（峰值 260 ℃）与多次压合工序的热历史确定，180 ℃为满足 3 次回流焊的最低门槛、200 ℃以上对应高层数板多次压合需求；Td 采用 5% 失重温度作为判据，与 TGA 通用评价方式一致；CTE 限值依据 Z 向膨胀对层间对准与孔壁可靠性的影响确定，测

试采用热机械分析法（TMA）；耐热性试验条件（260 ℃、3 次）依据无铅焊接工艺的行业通用回流曲线确定，试验方法引用 GB/T 4722 中的耐热性方法；阻燃等级依据 GB/T 2408《塑料 燃烧性能的测定 水平法和垂直法》与 GB/T 5169.16—2017（对应 UL 94 V-0 判定），氧指数可作为辅助评价依据 GB/T 2406.1。

（7）物理性能（固含量、黏度、树脂含量、吸水率、密度） 本文件规定固含量偏差 ULL-112 为规定值 ±3.0%、ULL-224 为 ±2.0%；黏度偏差 ±20%（ULL-112）、±15%（ULL-224）；树脂含量偏差 ULL-112≤±3%、ULL-224≤±2%；吸水率 ULL-112≤0.20%、ULL-224≤0.15%；密度为规定值 ±0.05 g/cm³；液态树脂黏度由供需双方按树脂形态、溶剂体系和加工方式约定。 确定依据：各项偏差按产品形态（树脂溶液、半固化片、固化物）分别设定，检测方法优先采用 GB/T 4722 中适用方法及 IPC-TM-650 相应方法；吸水率指标直接关联 Df 在高湿环境下的漂移，其限值与 5.8 高温高湿老化后 Dk/Df 变化率限值形成闭环；224G 各项偏差收紧（±2.0%、±15%、±2%）依据高频通道对介质厚度与树脂含量均匀性的更高敏感度确定。

（8）机械性能 本文件规定固化树脂拉伸强度≥50 MPa、弯曲强度≥80 MPa、弯曲模量≥2.5 GPa；标准铜箔厚度下 ULL-112 剥离强度≥0.8 N/mm、ULL-224≥0.7 N/mm，85 ℃/85% RH、168 h 后保持率≥80%；冲击强度≥10 kJ/m²，湿热处理后保持率≥70%。确定依据：拉伸、弯曲性能依据 GB/T 1040《塑料 拉伸性能的测定》、GB/T 9341《塑料 弯曲性能的测定》测试；铜箔剥离强度依据 GB/T 4722—2017 中 7.2 规定的方法测定，采用标准评价板并记录铜箔类型、厚度与表面处理方式，保持率按处理后与初始值之比计算；80 MPa 弯曲强度、2.5 GPa 弯曲模量对应高层数板压合后的抗翘曲与钻孔加工需求；湿热后保持率 80% 依据 CAF 与层间附着力失效阈值确定。

（9）化学性能 本文件规定耐化学试剂试验后不应出现明显溶胀、开裂、分层或表面腐蚀，Df 变化率≤10%；耐水解经 121 ℃、100% RH、168 h 后无分层、起泡、裂纹，吸水率≤0.50%、Df 增加率≤15%、剥离强度保持率≥80%；CAF 在 85 ℃、85% RH、规定电压、规定时间内不应发生贯通型 CAF，绝缘电阻≥1.0×10^{8} Ω。 确定依据：耐化学试剂性依据 GB/T 4722—2017 中 6.2 规定的方法，采用与 PCB 制造工艺

相关的酸碱及有机溶剂,23 ℃±2 ℃浸泡 24 h;耐水解采用高压蒸煮试验(PCT)121 ℃饱和水蒸气 168 h，条件与 IPC-TM-650 的 PCT 方法一致；CAF 试验采用规定孔间距的 PCB 试验样板，在 85 ℃±2 ℃、85%±5% RH 下施加直流偏压持续 1000 h，方法开发可参考 IEC 61189-5-503:2017，绝缘电阻判据 1.0×10^{8} Ω 为行业通用失效阈值。

（10）环境适应性 本文件规定高温高湿老化条件 85 ℃±2 ℃、85%±5% RH，处理后 Dk 变化率≤5%、Df 变化率≤10%、Tg 下降≤10 ℃、铜箔剥离强度保持率≥80%，且无分层起泡裂纹；热循环 - 40 ℃～125 ℃、1000 次（224G 宜 - 55 ℃～150 ℃、1000 次），回流焊峰值 260 ℃、3 次，试验后无分层裂纹、Df 变化率≤10%、剥离强度保持率≥80%。 确定依据：恒定湿热试验依据 GB/T 2423.3—2016《环境试验 第 2 部分：试验方法 试验 Cab：恒定湿热试验》，温湿度条件与 CAF、PCT 试验条件保持体系一致；温度变化（热循环）试验依据 GB/T 2423.22—2012，温度区间按 AI 交换机实际运行环境与焊装热历史确定；回流焊采用模拟回流焊方法，峰值 260 ℃±5 ℃对应无铅焊料工艺，3 次对应双面回流加返修的热暴露次数。

（11）加工工艺性 本文件规定压合后介质厚度偏差≤±5%（224G 宜≤±3%）；应测定起始固化温度、峰值固化温度、凝胶时间、最低熔融黏度和固化反应焓，固化度≥95%（224G 宜≥97%）；加工后不应出现严重毛刺、树脂 smear 异常、孔壁裂纹、分层或玻纤明显拔出。 确定依据：流变与固化行为采用 DSC、DMA、旋转流变仪和热机械分析仪测定,DSC 方法依据 GB/T 1634 及塑料 DSC 通用方法体系(GB/T 19466 系列）；固化度 95%、97% 的判定依据树脂体系完全固化的典型转化率水平；介质厚度偏差限值依据高层数板压合后阻抗控制精度要求确定，224G 因阻抗容差更窄而收紧至±3%；钻孔、铣边的加工缺陷判据依据 IPC-TM-650 的机械加工评价方法。

（12)有害物质限量 本文件规定树脂材料中有害物质限量应符合 GB 26572—2025 的相关要求；有害物质测定按 GB/T 39560 系列标准中适用的方法进行，无卤要求时溴、氯含量按 GB/T 39560.302—2024 等适用方法检测，限值由供需双方约定。 确定依据：限量要求直接引用强制性国家标准 GB 26572—2025《电器电子产品有害物质限

制使用要求》，测试方法引用 GB/T 39560 系列（电子电气产品中某些物质的测定），与欧盟 RoHS 指令的管控物质与限值体系对应；无卤限值由供需双方结合客户与法规最新版本确定，不在本文件统一规定具体数值。

（13）试验方法与检验规则 本文件规定试样在 23±2 ℃、50%±5% RH 条件下放置 24 h，树脂固化试样按供方规定固化制度制备；检验分出厂检验和型式检验，抽样按 GB/T 2828.1—2012 或供需双方确认的方案执行，生产过程稳定性评价可按 GB/T 2829—2025 执行；全部项目合格判为合格，不合格项目加倍取样复验，复验仍不合格判该批不合格，安全环保及法规强制性项目不得通过复验降低判定要求。 确定依据：试样状态调节引用 GB/T 2918《塑料 试样状态调节和试验的标准环境》，23 ℃/50% RH 为标准环境条件；组批原则按同一型号、同一配方、同一工艺、连续生产条件划分，与 GB/T 2828.1 的批的构成要求一致；出厂检验、型式检验的分类与触发条件（新产品定型、原料或工艺重大变化、停产 6 个月以上恢复、周期性质量评价）沿用电工电子材料类产品检验规则的通用框架；复验规则采用加倍取样复验，安全环保项目不放宽，与 GB/T 2828.1、GB/T 2829—2025 的判定逻辑一致。

（14）标志、包装、运输和贮存 本文件规定包装应标明产品名称、型号、SerDes 等级、批号、生产日期、净含量、保质期、生产单位、执行标准编号及储存条件；运输包装标志符合 GB/T 191—2025 和 GB/T 6388—1986，涉及危险化学品时安全标签符合 GB 15258—2009；推荐贮存温度 5 ℃～25 ℃、相对湿度≤70% RH，密封避光，液态树脂定期检查黏度、固含量及外观。 确定依据：包装储运图示标志依据 GB/T 191—2025《包装储运图示标志》、GB/T 6388—1986《运输包装收发货标志》；化学品安全标签依据 GB 15258—2009《化学品安全标签编写规定》；贮存温湿度依据半固化片与树脂溶液的储存稳定性要求确定，保质期由生产企业通过稳定性试验确定。

三、国内外情况简要说明

国内层面：现行相关标准主要为通用试验方法标准，包括 GB/T 4722《印制电路用刚性覆铜箔层压板试验方法》、GB/T 31838.2—2019《固体电气绝缘材料体积电阻率和表面电阻率试验方法》、GB/T 1408.1《绝缘材料 电气强度试验方法》、GB/T 2408

《塑料 燃烧性能的测定 水平法和垂直法》、GB/T 2918《塑料 试样状态调节和试验的标准环境》、GB/T 1634《塑料 负荷变形温度的测定》、GB/T 1040、GB/T 9341、GB/T 13557 等，以及 GB 26572—2025 有害物质限量强制要求。上述标准可支撑单项性能测试，但均为材料通用方法，未针对 112G/224G SerDes 通道建立"树脂材料 — 层压材料 — 高速通道"的分级评价体系，尤其缺少 28 GHz、56 GHz 关键频点的 Dk/Df 限值、通道插入损耗分级和 CAF、回流焊等可靠性组合判据，行业内企业多依据客户规范或自身企业标准交付，指标口径不统一，不利于上下游比对。

国际层面：IEC 61189-2-721:2015 规定了 SPDR 法相对介电常数和损耗角正切的测试方法（适用 1～20 GHz），IEC 61189-5-503:2017 提供了 CAF 试验方法参考；IPC-4101F:2026 给出刚性及多层板基材的分类与性能评价框架，IPC-TM-650 提供介电、热、机械、可靠性试验方法体系；UL 94 给出阻燃分级；JIS C 6480:1994、JIS C 6481:1996 给出覆铜板分类与试验方法。上述文件多为基材规格或测试方法，未按 112G/224G SerDes 速率定义材料等级，也未规定 56 GHz 关键频点的强制限值。IEEE 802.3ck、OIF CEI-112G/CEI-224G 等接口规范提出通道损耗预算要求，但不直接规定树脂材料指标，只能作为通道损耗换算的参考。

本文件与现有标准相比的特点：一是首次面向 AI 交换机 112G/224G SerDes 通道建立树脂材料分级要求，以 28 GHz、56 GHz 作为关键评价频率，避免仅用 10 GHz Dk/Df 判定材料等级；二是采用性能型标准，不限定树脂化学组成，避免对特定技术路线形成排他性；三是同时规定通道插入损耗推荐等级与标准评价板，把材料本征介电性能与高速通道实际损耗区分开；四是在低损耗指标之外补充高温高湿、PCT、CAF、热循环与回流焊要求，覆盖高层数板的核心失效模式；五是附录 D 形成 ULL-112、ULL-224、ULL-224E 三级材料谱系，便于按通道速率选材。

本标准达到国内先进水平。

四、与有关的现行法律法规和强制性国家标准的关系

本标准的制定过程、技术要求的选定、试验方法的确定、检验项目设置等均符合现行法律法规和强制性国家标准的规定。

本标准在技术内容上与国家标准协调配套，无冲突存在。

五、重大分歧意见的处理经过和依据

本文件在制定过程中未出现重大分歧意见。

六、废止现行有关标准的建议

本标准不涉及对现行标准的废止。

七、其他应予说明的事项

无。

团体标准编制组

2026 年 11 月