

《耐低温碳纳米管晶体管制备工艺技术与性能 评价规范》

(征求意见稿)

编制说明

一、工作简况

(一) 任务来源

本项目根据中国欧洲经济技术合作协会 2025 年团体标准制定计划,项目名称为《耐低温碳纳米管晶体管制备工艺技术与性能评价规范》的任务而进行制订。

(二) 起草单位及主要起草人

本文件起草单位: 。

本文件主要起草人: 。

(三) 标准制定目的和意义

从产业角度分析,制定《耐低温碳纳米管晶体管制备工艺技术与性能评价规范》团体标准的目的和意义主要体现在以下几个方面:

1. 目的

制定《耐低温碳纳米管晶体管制备工艺技术与性能评价规范》团体标准,核心目的是建立覆盖碳纳米管材料筛选、低温工艺设计、器件结构制备、性能测试评价全流程的技术规范,明确各类工艺的适用条件、核心参数范围及质量控制要点。当前低温碳纳米管晶体管在柔性电子、传感探测、低功耗计算等领域展现出巨大潜力,但制备工艺缺乏统一的技术规范指导,导致器件性能指标差异显著,严重制约了技术成熟度与产业化进程。通过细化碳纳米管纯度与手性控制、低温界面处理、电极欧姆接触、钝化处理等关键环节要求,为研发机构提供科学可重复的工艺实施依据,为生产企业提供稳定可靠的质量管控标准,为应用端提供客观公正的器件选型依据,从根本上解决标准缺失与技术碎片化问题,推动该领域从实验室研究向标准化、工程化制造转型。

2. 意义

该标准的制定对低温碳纳米管晶体管产业突破发展瓶颈具有重大战略意义。首先,

它快速响应了柔性可穿戴设备、低温传感器阵列、后道集成兼容等应用场景对高性能低功耗器件的迫切需求，重点解决低温条件下碳纳米管定向排列密度控制、金属接触势垒优化、界面态密度抑制等关键技术痛点，显著提升器件的均一性、稳定性与批次重复性。其次，作为市场驱动的自律性标准，将优化行业创新生态，减少低水平重复试错，降低企业研发与制造成本，增强器件产品市场认同度和议价能力。再者，标准为第三方检测认证与产学研对接提供了法定技术依据，强化了产业链上下游的技术契约关系，有效规避因性能虚标引发的商业纠纷与应用风险。长远来看，该标准将推动我国碳纳米管电子器件制造技术抢占国际前沿制高点，支撑新一代信息技术产业创新发展，创造显著的经济效益与科技战略价值。

综上，制定《耐低温碳纳米管晶体管制备工艺技术与性能评价规范》团体标准，对规范制备工艺与评价体系，解决器件性能离散与产业化瓶颈，降低研发成本，增强市场认同，抢占柔性电子领域国际技术制高点，支撑新一代信息技术产业创新发展，创造重大战略与经济价值具有重要意义。

（四）主要工作过程

1. 前期准备工作

项目立项前，标准编制小组查阅、研读相关国内外文献，广泛搜集相关的材料。同时，标准编制小组安排相关人员，多次与相关行业人员进行调研、交流，广泛征求标准制定方面的意见和建议。

2025年11月11日日本团体标准由中国欧洲经济技术合作协会正式立项，立项名称为：《耐低温碳纳米管晶体管制备工艺技术与性能评价规范》。

2. 标准起草过程

2025年11月，团体标准立项通知公告后，标准编制小组首先组织了标准制定工作会议，各编写人员根据工作计划分工和编写要求开展了相关工作。在标准起草期间，编制小组主编单位及参编单位组织了数次内部研讨会和专家咨询会，经过多次修改，于2025年11月完成了标准初稿及编制说明的撰写工作。

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，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。

(二) 标准主要内容与确定依据

1. 标准主要内容

1.1 范围

本文件适用于工作温度范围为 77K（液氮温度）至 298K（室温）的碳纳米管场效应晶体管（CNTFET）的研发、制造和质量评价。

1.2 规范性引用文件

GB/T 2900.60 电工术语 半导体器件

GB/T 4589.1 半导体器件 第1部分：总则

GB/T 4937.1 半导体器件 机械和气候试验方法 第1部分：总则

GB/T 11499 半导体器件 测试方法

GB/T 14847 重掺杂衬底中轻掺杂外延层厚度的红外反射测量方法

GB/T 25915.1 洁净室及相关受控环境 第1部分：按粒子浓度划分空气洁净度等级

GB/T 32281 滚动轴承 滚针

GB/T 35000 半导体器件 机械冲击和振动试验方法

GB/T 40568 半导体材料 拉曼光谱测试方法

IEC 60747（所有部分） 半导体器件（IEC 60747, Semiconductor devices）

IEC 60749（所有部分） 半导体器件 机械和气候试验方法（IEC 60749, Semiconductor devices - Mechanical and climatic test methods）

IEC 61340-5-1 静电学 第5-1部分：电子器件的静电防护 通用要求（IEC 61340-5-1, Electrostatics - Part 5-1: Protection of electronic devices from electrostatic phenomena - General requirements）

1.3 术语和定义

GB/T 2900.60 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

1.4 原材料要求

对低温碳纳米管晶体管的原材料进行规定。

1.5 工艺流程与关键参数

对低温碳纳米管晶体管的工艺流程与关键参数进行规定。

1.6 工艺控制要求

对低温碳纳米管晶体管的工艺控制要求进行规定。

1.7 性能评价指标

对性能评价指标进行规定。

1.8 评价方法

对评价方法进行规定。

1.9 评价结果

对评价结果进行规定。

2. 确定标准主要内容的依据

依据相关法规和标准要求，如 GB/T 11499 《半导体器件 测试方法》、GB/T 32281 《滚动轴承 滚针》、和 GB/T 40568 《半导体材料 拉曼光谱测试方法》，确保低温碳纳米管晶体管制备与评价的合规性与本质安全性；深度立足于柔性电子与传感领域的技术现状与工艺成熟度，系统性覆盖溶液沉积、气相生长、转印组装等主流制备路线并预留未来技术发展空间；依托国内重点研发机构与骨干企业多年来的系统性试验验证数据与工程应用反馈，确保各项性能指标与工艺参数具备科学依据与可重复性；最终通过广泛调研统筹产业链上下游企业的现有研发能力、设备条件与检测水平，在标准技术先进性与广泛适用性之间实现精准平衡，切实推动低温碳纳米管晶体管从实验室研究向标准化、工程化制造跨越。

三、主要试验[或验证]情况分析、技术经济论证、预期经济效果

本标准在制定过程中，重点针对制备工艺开展了系统的试验验证与性能评价。试制涵盖不同基底材料与器件结构类型的碳纳米管晶体管样件，完成了开关电流比、载流子迁移率、亚阈值摆幅、阈值电压稳定性等核心指标的循环测试。验证数据表明，在优化的低温工艺参数窗口内，器件开关比可稳定达到较高量级，迁移率与亚阈值摆幅等参数表现出良好的一致性。通过对比不同纯化与分离技术处理的碳纳米管薄膜，证实高半导体性含量与定向排列度对器件性能均一性具有决定性影响。所有试验结果均满足标准设定指标且批次间离散度可控，充分验证了制备工艺规范与性能评价方法的科学性与可重复性，为标准条款的量化设定提供了坚实的数据支撑。

本标准的技术要求在确保先进性与可靠性的同时，充分考虑了国内研发机构与生产企业的现有条件与经济承受能力。通过优化工艺参数区间与固化关键控制点，多数

单位无需大规模更新设备即可实现标准达标，仅需对溶液处理洁净度、沉积环境温湿度控制或转印对准精度进行适度升级，投入相对有限。标准实施后，器件制备良品率预计显著提升，有效降低材料损耗与重复研发成本。同时，明确的性能分级评价方法与测试流程，可减少产学研合作中的技术沟通成本与质量争议。相较于国外类似技术指南，本标准在核心性能指标接轨的前提下，适度精简评价项目，既保证质量控制有效性，又避免过度检测带来的资源浪费，实现了技术前瞻性与经济可行性的有机平衡，具备在相关领域推广实施的条件。

标准发布实施后，预计将产生显著的经济效益与产业推动作用。在柔性电子领域，符合本标准的低温碳纳米管晶体管可为可穿戴设备、电子皮肤等产品提供高性能、低功耗的核心器件支撑，替代部分传统硅基薄膜晶体管方案，有效降低终端产品制造成本。在传感探测领域，器件稳定性与一致性的提升将大幅缩短传感器阵列的校准周期，提高系统集成效率。同时，产品可靠性的提升将减少售后维护与质量纠纷成本。长远来看，该标准将助力我国在下一代柔性电子与传感技术领域抢占国际竞争制高点，支撑新一代信息技术产业创新发展，创造可观的综合经济效益与战略价值。

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、检验项目设置等符合现行法律、法规和强制性国家标准的规定。

五、重大分歧意见的处理经过和依据

无。

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、知识产权情况说明

本文件不涉及必要专利等知识产权情况。

八、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。

九、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）

本标准首次制定，没有特殊要求。

十、其他应予说明的事项

无。

《耐低温碳纳米管晶体管制备工艺技术与性能评价规范》团体标准编制组

2025年11月