

《耐低温碳纳米管晶体管制备工艺技术与性能评价规范》

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》项目的任务而进行制订。

（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

制定本团体标准旨在面向深空探测、量子信息、航空航天与极端环境电子装备产业，解决耐低温碳纳米管晶体管无标可依、工艺不统一、性能评价不一致的突出问题。

当前碳纳米管器件已实现高纯度材料与低温兼容工艺突破，但产业化过程中存在制备流程差异大、关键工艺参数不统一、低温电学与可靠性指标缺乏统一判定依据等痛点，导致产品一致性差、上下游对接成本高、难以进入批量供应链。

本标准以产业需求为导向，规范材料选型、低温制备、掺杂调控、器件集成与后处理等关键工序，统一低温阈值电压、迁移率、开关比、漏电流及环境稳定性等评价方法，为研发、中试、量产与验收提供统一技术依据，稳定产品一致性，降低验证与迭代成本，推动实验室成果快速走向工程化与市场化，同时填补我国在极端环境碳基电子器件标准领域的空白，支撑关键核心器件自主可控与产业链安全。

2. 意义

制定本标准对我国碳基电子与极端环境装备产业高质量发展具有重要支撑意义。

一是规范产业秩序，统一工艺与评价体系，减少低水平重复研发，提升产品一致性与可靠性，助力形成有序竞争格局。

二是加速成果转化，将先进制备与评价技术固化为通用规范，降低产学研协同门

槛，推动碳纳米管器件快速进入航天、量子计算、低温传感等高端应用场景。

三是提升产业链竞争力，助力我国在碳基芯片领域实现换道超车，增强关键器件自主可控能力，支撑国家重大科技工程实施。

四是完善标准体系，填补极端环境电子器件团体标准空白，形成与国标、行标互补的多层次标准格局，提升我国在全球碳基电子领域的规则话语权与技术引领力，为产业规模化、高端化、国际化发展奠定坚实基础。

（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示后，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

本文件适用于柔性或刚性衬底上的耐低温碳纳米管晶体管器件的实验室制备和小批量生产。

1.2 规范性引用文件

GB/T 24491 多壁碳纳米管

1.3 术语和定义

定义了耐低温碳纳米管晶体管制备工艺技术与性能评价规范的相关术语和定义。

1.4 制备工艺流程

对耐低温碳纳米管晶体管器件制备工艺流程进行规定。

1.5 制备工艺要求

对耐低温碳纳米管晶体管器件制备工艺要求进行规定。

1.6 性能评价指标

对耐低温碳纳米管晶体管器件的性能评价指标进行规定。

1.7 评价方法

对耐低温碳纳米管晶体管器件的评价方法进行规定。

1.8 评价结果

对耐低温碳纳米管晶体管器件的评价结果进行规定。

2. 确定标准主要内容的依据

本标准主要内容依据国内外碳纳米管电子器件相关技术成果、低温电子器件应用需求及现有标准体系综合确定。制备工艺部分基于单壁 / 多壁碳纳米管材料特性、微纳加工成熟路线，结合低温工况下薄膜成型、图形化、电极沉积与环境控制要求确定，关键参数参考实验室研发与小批量试生产数据。性能评价指标依据常温与低温（4.3 K~300 K）环境下器件电学稳定性、结构可靠性及航天、量子信息等领域实际使用要求设定，指标限值经试验验证合理可行。评价方法采用行业通用测试手段，符合半导体器件检测规范，确保数据可重复、可比对。本标准同时衔接 GB/T 24491 等现有国家标准，兼顾技术先进性、产业实用性与标准通用性，可为耐低温碳纳米管晶体管研发、制备、检验与应用提供统一技术依据。

三、主要试验情况分析、技术经济论证、预期经济效益

（一）主要试验情况分析

本标准编制过程中开展了多组耐低温碳纳米管晶体管制备与性能验证试验。试验覆盖原料选型、薄膜制备、图形化、电极沉积、低温循环等关键环节，采用单壁与多壁碳纳米管为原料，在硅基及柔性衬底上完成样品制备。通过常温与 4.3 K~300 K 低温循环测试，系统验证了开关比、载流子迁移率、接触电阻、亚阈值摆幅等核心指标的稳定性。试验结果表明，规范工艺参数可显著提升器件均匀性与低温可靠性，指标

满足航天探测、量子装备等极端环境使用要求。试验数据充分、可重复性强，所确定的工艺要求与评价指标科学合理，能够支撑实验室研发与小批量生产，为标准条款提供了完整可靠的试验依据。

（二）技术经济论证

本标准聚焦耐低温碳纳米管晶体管产业化痛点，规范制备流程与评价体系，具有显著技术经济性。技术层面，统一原料、工艺、环境及测试要求，减少工艺迭代次数，提升器件良率与一致性，降低研发与验证成本。经济层面，标准可打通上下游供应链，简化样品送检、性能比对、客户认证流程，缩短产品入市周期。相较于无标生产，标准化制备可将不良率降低 15%以上，单器件综合成本下降 10%~20%。同时，标准推动碳基器件在航天、低温传感、量子计算等高端领域落地，提升国产器件附加值与市场竞争力，实现技术突破与经济效益协同提升。

（三）预期经济效果

本标准实施后将有效推动耐低温碳纳米管晶体管规模化应用，带来良好经济效果。短期内可规范行业研发与生产，提升产品合格率与交付效率，降低企业重复验证投入。中期将促进产业链协同，带动材料、设备、检测等相关环节发展，形成新的经济增长点。长期可支撑我国在碳基电子与极端环境器件领域实现换道超车，扩大高端装备出口，提升国际市场份额。预计标准实施三年内，相关企业年均新增产值可观，带动上下游产业持续增长。同时，标准助力关键核心器件自主可控，保障国家重大工程供应链安全，实现技术进步、产业升级与经济效益同步提升。

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