

工艺筑基、质量托底、场景牵引——“十五五”智能传感器产业高质量发展路径浅析

九三学社中央科技委副主任、中国传感器与物联网产业联盟常务副理事长 郭源生

《电子信息制造业“十五五”规划》(以下简称《规划》)明确部署加快智能传感器创新与应用,将MEMS等智能传感器工艺能力提升、全流程质量体系建设作为重点任务,直击我国智能传感器产业发展核心要害。当前我国智能传感器产业已形成完整产业链,消费、环境监测领域国产化取得显著成效,但仍面临MEMS工艺稳定性不足、产品谱系不完善、系统解决方案能力偏弱、产用对接存在产业化“死亡峡谷”等结构性短板,根源集中体现为认知惯性偏差、产学研机制割裂、产业链协同松散、政策扶持重心错位。面向“十五五”,产业发展需转向工艺筑基、质量托底、谱系供给、场景落地的系统性升级思路,通过MEMS微纳工艺与异质异构集成攻关、构建全链条质量管控体系、完善谱系化产品供给,依托“六网”等重点场景推进产用融合,健全标准、创新联合体、人才与资本配套机制。同时要警惕盲目扩产、重指标轻量产的误区,梯度推进本土化发展,夯实我国新型工业化与新质生产力所需的感知产业底座。

智能传感器:数字时代的感知根基与产业底座

全球新一轮科技革命与产业变革持续深化,人工智能、具身智能、智能制造、低空经济等新赛道加速落地迭代,物理世界与数字世界的交互边界持续消融。智能传感器作为物理信号向数字信号转换的核心接口,是各类数字化、智能化系统不可或缺的“感知器官”,承担着采集物理环境真实数据信号、识别环境参数变化、支撑智能决策、保障装备安全运行的核心功能。在整个电子信息产业体系中的战略价值持续抬升。没有高可靠的感知能力,数字系统无法获取真实物理世界数字信息,AI大模型、工业自动化、高端智能装备等所有智能化应用,都将失去真实数据源头,沦为无源之水、无本之木。

“十五五”时期,是我国推进新型工业化、加快发展新质生产力的关键五年。工业和信息化部、国家发展改革委联合印发《规划》,将加快智能传感器创新与应用,作为筑牢产业基础能力板块的独立重点任务,与集成电路、核心电子元器件、光子产业等底层基础赛道并列部署。这一安排并非简单在产业目录中新增条目,而是国家针对我国电子信息产业底层短板作出的系统性顶层设计,释放出集中力量攻坚传感产业瓶颈、夯实制造业底层基础能力的明确政策导向。

经过十余年持续培育,我国传感器产业市场规模稳居全球前列,产品品类覆盖范围持续拓宽,产业体量保持稳步增长。但不可回避的现实矛盾长期存在,行业呈现“大而不强、全而不优、优而无量”的结构性格局问题。在高端工业控制、汽车电子、高端医疗装备、航空航天等可靠性要求严苛的场景,国产传感器在长期工作稳

定性、批次一致性、复杂工况下的可靠性短板突出,已经成为制约产业链供应链自主安全、高端装备国产化落地最突出的瓶颈之一。大量国产整机装备在系统架构、软件算法层面实现突破之后,最终受限于感知元器件的性能短板,难以完成全链条自主化,直接拖累重大装备自主可控的整体进程。

通读《规划》,其中关于智能传感器创新与应用部署,清晰勾勒出产业发展双向演进的长期趋势:产业前端聚焦敏感材料、敏感元件、MEMS芯片与核心微纳工艺创新,夯实器件底层物理能力,系统性提升器件在复杂工况下的可靠性与长期稳定性;产业后端面向网络化、智能化、场景适配化方向演进,强化多传感系统集成与行业融合应用,把单一器件的硬件性能转化为面向行业的系统价值。

这条发展主线可以拆解为三层相互支撑的内在逻辑:技术攻关主线,着力提升MEMS等智能传感器工艺能力,重点突破传感器可靠性核心技术,从微纳制造工艺源头解决器件性能衰减问题;质量体系主线,健全设计、制造、封测全流程质量管控机制,系统性提升产品稳定性、一致性,把实验室单点指标转化为规模化量产下稳定可控的工程能力;产业升级主线,推动主流传感器产品向高端市场迈进,增强谱系化供给、系统级应用能力,促进传感器在重点行业场景深度融合落地,打通从元器件研发、量产到行业应用的完整价值闭环。

规划不再孤立看待传感器芯片单品本身,而是将微纳工艺、全链条质量管控、谱系化产品供给、行业场景应用作为有机整体统筹部署,体现出国家层面对传感产

业发展规律认知的深化,标志着我国传感产业的扶持思路,从单点技术攻关,转向全产业链体系化能力建设。

进入“十五五”,我国智能传感器产业发展逻辑必须实现根本性转变:产业发展重心不再单纯追求市场规模扩张,要围绕工艺筑基、质量托底、谱系供给、场景落地四个维度协同推进。工艺是底层根本,决定传感器器件的物理性能极限;质量是产业生命线,决定产品能否实现稳定、可控的批量交付;谱系化供给支撑多元化、全场景的差异化需求,补齐产品体系短板;系统级场景应用,是传感技术与产品实现价值释放的最终落脚点。

当前国内传感产业存在突出结构性痛点,大量实验室样品单项指标表现优异,但规模化量产之后一致性不足,形成“样品强、量产弱,能用但不好用”的行业困境。供给侧的可靠性短板造成产品“不能用、不好用”,需求侧出于安全风险、验证成本考量形成“不敢用、不愿用”的市场壁垒,供需两端相互牵制,构成制约国产高端传感器规模化落地的核心堵点。落实《规划》部署,核心任务就是打通这一产业化堵点:以MEMS等微纳工艺攻关夯实器件底层能力,以全流程质量管控体系解决一致性与可靠性难题,以平台化、谱系化产品建设完善产品供给能力,依托重点行业特别是“六网”建设场景牵引产用深度融合。通过全链条协同创新,推动我国传感产业从单点技术突破迈向全链条体系能力跃升,从元器件单品追赶转向系统化感知能力整体跃升,进而迈向智能超感单元,为我国新型工业化和新质生产力培育筑牢坚实可靠的感知底座。

现实审视:产业阶段性成效与深层次结构性矛盾

历经多年持续投入,我国智能传感器产业已经积累了扎实的发展基础,呈现规模成型、链条完整、主体成长、本土化提速的发展态势。MEMS等成熟赛道实现规模化突破,消费电子、环境监测等领域基本实现本土化发展,本土企业部分产品已经形成稳定批量出货能力,消费端形成充分、良性的市场竞争格局。

从产业链维度看,国内已经构建起覆盖敏感材料研发、芯片设计、晶圆制造、封装测试、系统集成的完整产业链条,长三角、珠三角、环渤海等区域产业集群持续培育成型,上下游配套主体数量不断丰富,初步具备了全链条协同创新与联合验证的基础条件。

一是质量管控碎片化。设计端缺少可靠性前置仿真与失效机理预判,大量可靠性缺陷等到制造、封测环节,甚至终端使用阶段才集中暴露;制造端不同企业制程管控标准不统一,工艺管控水平差距悬殊;封测环节测试规范各行其是,同类产品测试条件、判定标准不统一,产品质量缺少横向对比、统一评价的基础。

二是可靠性验证体系不完善。面向车规、工业级等严苛场景的耐久性、环境适应性、长期老化测试能力不足,难以满足高端行业严苛的市场准入门槛。

三是行业统一评价标准、公共第三方检测校准平台供给不足。企业单独搭建全套可靠性验证平台投入巨大,中小企业独立开展全维度可靠性验证,不仅资金压力大,测试周期漫长,还会严重拖累产品迭代速度。

产品供给短板:产品谱系残缺,系统级解决方案能力薄弱。

一是单品零散开发居多,平台化产品体系偏少,同类产品重复研发,缺少谱系化、系列化产品布局。很多企业针对单一客户的定制需求单独开发单品,难以基于一套成熟工艺底座衍生多量程、多规格系列产品,造成研发资源分散,规模化成本优势难以发挥。

二是多数企业仅停留在硬件元器件供货层面,缺少标定算法、温度漂移补偿、多传感融合、边缘信号处理一体化交付能力。下游整机厂商需要投入大量人力物力开展二次开发,本土企业难以从单一元器件供应商,升级为感知系统解决方案服务商,无法匹配下游整机系统一体化开发需求。

产用对接短板:技术创新与产业化应用之间存在“死亡峡谷”。

一是下游整机企业对国产传感器长期稳定性存疑,高端装备对器件失效零容

《规划》部署有着安全价值、质量价值、生态价值等三重价值内涵。

安全价值:筑牢电子信息制造业产业链供应链安全底座。

高端智能传感器是工业设备、汽车电子、航空航天、能源装备、重大基础设施数字化转型的核心基础元器件。大量高端装备的安全运行高度依赖传感器实时采集的信号,一旦感知器件供给受限或性能失效,将直接影响装备安全与系统整体稳定运行。只有真正解决稳定性、一致性、可靠性短板,实现高端传感器稳定批量供给,才能完成核心器件自主可控,降低外部供应链断供风险。

MEMS工艺属于微纳制造领域通用底层技术与能力,它的突破价值并不局限于传感器单一品类。这套微纳加工、异质集成、薄膜制备工艺体系,还能辐射带动光电子、微流控芯片、射频器件、微型执行器等多个半导体细分赛道协同升级,是支撑整个微纳产业集群持续发展的底层制造底座,MEMS工艺能力提升将带动我国微纳制造整体水平跃升。

质量价值:产业范式从“有没有”向“好不好”转型。

“十四五”阶段,我国传感产业重心更多解决有无的问题,重点实现产品从0到1的单

实施路径:落实《规划》部署五大行动方向

落实《规划》部署有着五大行动方向。

一是攻坚MEMS核心制造工艺,搭建自主可控工艺平台体系。依托国家重大工程与专项部署,聚焦MEMS刻蚀、薄膜沉积、晶圆键合、结构释放工艺等关键节点,组织产业链上下游开展跨主体联合攻关。同步布局异质异构集成工艺平台,面向具身智能、多参数一体化感知等未来需求,推进硅基、光纤、陶瓷等多种材料体系的异质集成技术研发,突破不同材料、不同功能器件一体化单片集成的技术瓶颈,支撑多功能、多参数一体化智能传感器开发。布局建设一批国家级MEMS中试平台,支撑新工艺、新产品快速验证迭代,降低中小企业新品试产门槛,缩短从工艺开发到样品验证的周期。

推行工艺-装备-材料一体化协同攻关,打通国产MEMS设备、特种工艺耗材在产线的验证、试用通道,建立国产设备材料在MEMS产线的小批量验证机制,以器件工艺需求牵引装备与材料的迭代升级。鼓励龙头企业沉淀标准化工艺模块,搭建企业工艺知识库,把成熟MEMS工艺固化为可复用工艺IP,减少同类产品重复工艺开发,缩短新品开发周期,降低试产成本。

二是构建设计-制造-封测全流程质量管控体系。在设计阶段前置可靠性工程,引入多物理场仿真、失效机理预判,提前识别温度、应力、疲劳等潜在失效风险,从源头规避稳定性问题,实现可靠性设计前置,把失效管控关口前移至器件设计环节。制造环节推行数字化制程管控,依托MES系统实现全程程参数可追溯,对薄膜厚度、刻蚀深度、键合应力等关键参数实施闭环管控,严格管控不同批次产品的一致性水平。封测环节建立分级测试体系,区分消费级、工业级、车规级、航天级差异化测试规范,针对不同等级产品制定对应的老化、环境、可靠性测试项目内容和指标体系,推动分级认证落地,形成国内统一的传感器分级评价机制。

布局国家级、区域级公共可靠性验证与校准平台,面向全行业开放老化试验、高低温循环、振动冲击、长期稳定性测试能力,降低中小企业可靠性测试与认证成本,补齐行业公共检测基础设施短板。

三是推进谱系化产品布局,提升系统级供给能力。引导龙头企业搭建平台化传感产品架构,基于统一工艺底座衍生多量程、多规格系列产品,构建完整产品谱系,减少低水平重复开发。依托平台化架构,快速衍生同系列不同规格器件,提升产品谱系化供给能力,满足下游整机多样化选型需求,解决下游用户“选品难、品类不全”的痛点。

推动硬件、标定算法、信号处理、多源融

点国产化突破,补齐国内产品品类空白。进入“十五五”,产业正式迈入质量优先的新阶段,质量管控模式发生根本性转变:由传统终端抽样检测,向前端设计、制造、封测全流程前移。可靠性不再是产品研发完成后附加的可选指标,而是进入工业、车规、医疗高端市场的前置准入门槛。产业发展目标,从“能不能把样品做出来”转向“能不能稳定批量供货,用户愿不愿意长期使用”。这标志着我国传感器产业,从单点元器件国产化追赶,迈向体系化工程化自主可控的范式跃迁。

生态价值:构建技术-产品-市场正向循环,培育新质生产力。

高可靠、高一致性的国产传感器实现规模化落地,将直接赋能下游智能制造、机器人、智慧交通、智慧城市等万亿级产业转型升级,为各行各业数字化转型提供基础感知能力。反过来,下游大规模场景应用,会持续积累海量真实工况数据,倒逼上游工艺迭代、良率提升与成本优化,形成“工艺迭代-产品成熟-场景应用-数据反馈-工艺再优化”的正向循环。传感技术的产业化落地,能够持续催生新装备、新场景、新业态,打通物理世界数字化的最前端环节,是培育新质生产力的重要一环。

实施路径:落实《规划》部署五大行动方向

合软件一体化协同开发,将补偿算法、多传感融合、边缘预处理嵌入感知单元,推动企业从单一元器件供应商,向感知系统解决方案服务商转型,提升系统级交付能力。

实施分类施策:消费类成熟赛道稳住产能、扩大国产供给,巩固国产化成果;工业、车载、能源、医疗等高可靠赛道集中资源重点攻坚,优先突破市场刚需强、卡脖子特征明显的高端传感器品类,梯度推进高端市场替代。

四是依托重点行业场景牵引,推动产用深度融合落地。立足国家提出的“六网”建设部署,工业互联网、能源互联网、交通网、空天地一体化网络、城市感知网络、民生服务网络,是数字化感知需求最集中、场景最丰富、数据积累最充分的载体,也是国产传感器规模化验证、迭代升级的核心试验场。结合智能制造、智能网联汽车、智慧城市、能源装备、高端医疗装备五大方向,设立国产智能传感器示范工程。面向六大网络场景,布局一批国产传感器规模化示范应用项目,在真实工况下持续验证产品性能、积累长期服役数据。

建立整机+传感器企业联合验证机制,组建上下游联合攻关小组,共同定义工况边界、制定测试标准、开展联合验证。对率先批量采信国产高端传感器的下游企业,落实首台(套)等政策激励,分担应用试错成本,打消下游用户对于可靠性风险的顾虑。

搭建基于真实工况的公共验证场景,复刻高温、高湿、强振动、强电磁干扰等极端及复杂工况,建立标准化工况数据库,缩短产品验证周期,降低下游导入风险,跨越创新成果产业化的“死亡峡谷”。

五是完善配套制度保障,培育良性产业生态。加快完善智能传感器国家标准、行业标准体系,统一可靠性、环境适应性、长期老化评价规范,建立统一的产品分级评价体系,解决不同企业测试标准不统一、产品性能无法横向对比的痛点。

组建并强化国家级智能传感器创新联合体,打通产学研用壁垒,协同攻克可靠性、MEMS共性工艺、失效分析等共性难题,集中力量解决单个企业无力承担的基础技术短板,推动创新资源整合共享。

优化人才培养体系,完善高校、科研院所、企业联合培养机制,补齐MEMS工艺工程师、可靠性工程、失效分析、传感器标定等紧缺人才缺口,构建覆盖基础研究、工艺开发、质量管控、系统应用的多层次人才梯队。

引导资本市场转变投资逻辑,从追逐短期概念型项目,转向支持工艺升级、质量体系建设、工程化验证等长周期产业环节,鼓励长期资本深耕传感产业底层能力建设,建立适配基础元器件产业规律的投融资生态。