

编者按

随着现代科学技术的发展，在信息技术、新材料、新能源等领域，特别是交叉融合方向，正涌现出一批能够改变科技、经济、社会格局的颠覆性技术。柔性电子就是在学科高度交叉融合基础上产生的颠覆性技术，能够突破经典硅基电子学的局限，为电子器件设计集成、能源革命、医疗技术等领域的变革等提供创新引领，是引领未来产业发展的重要技术之一。本期刊发的这组文章，结合当前柔性电子的发展前景和宁波实际情况，梳理分析了宁波发展柔性电子的重要意义和产业基础，并就如何聚焦“中国柔都”建设目标、加快柔性电子产业发展提出对策建议。



柔性电子的内涵特点与发展机遇

1、柔性电子产业链

柔性电子是指在柔性可延展的塑料或薄金属基板上制作有机或无机材料电子器件的电子技术，通过卷对卷输送柔性基板完成材料制备、沉积、图案化和封装工序。相较于传统CMOS电路中的刚性系统，柔性电子突破了经典硅基电子学的局限，实现产品处于一定范围内弯曲、折叠、扭转、压缩、拉伸时，仍具有高效光电性能、高可靠性和集成度。

柔性电子产业链上游包括产品制造所需的主要材料与设备，有发光材料、柔性基板、镀膜设备等。中游以柔性电子器件生产制造为主，主要有柔性显示屏、柔性电路板、柔性传感器等。下游应用领域主要有电子类产品、航空军工类产品、医疗设备、汽车产品等，目前柔性电子终端产业化应用主要集中在智能手机、液晶电视、平板电脑、车载产品等领域。

2、柔性电子的特点

一是柔性电子制造工艺高效且成本低。传统半导体电子产业采用光刻技术存在制造设备庞大，用料浪费大，成本高的问题。柔性电子采用印刷的方式替代传统半导体产品、组件及线路的光刻制造技术，相较于光刻技术，卷对卷印刷方式可实现印制上去的面积等同于使用的面积，其使用率在90%以上，大大降低了原材料的浪费。

二是柔性电子技术应用领域可广泛拓展。柔性电子是在柔性基底材料上形成电路的技术，突破传统电子应用限制，可拓展至多个行业领域。在人机接口、智能机器人、仿生假肢等智能化系统中应用潜力较大。还可应用于医疗健康领域的柔性皮肤、“物联网”工程、航空、深海探测领域的可穿戴设备，军事国防中的隐身技术、单兵通信，服装纺织领域中的智能纺织品，消费电子领域的柔性显示、柔性电路板、柔性电池、柔性压力传感器和柔性玻璃等。

三是柔性电子技术可深度融合多领域前沿技术，推动产业革新。柔性电子整合了电子电路、电子组件、平面显示、纳米技术等技术，横跨半导体、封测、材料、化工、印刷电路板、显示面板等产业，可协助塑料、印刷、化工、金属材料等传统产业转型，提升产业附加值。随着机械、光电技术的不断发展，柔性电子深入交叉融合人工智能、材料科学、印刷电路、健康科学、微纳制造、能源科学等科学技术，进而引领信息科技、健康医疗、再生能源等领域的变革，带动万亿规模市场，柔性电子技术发展将为产业结构和人类生活带来革命性变化。

3、柔性电子的发展机遇

一是新基建带动万亿柔性电子

市场需求。新基建的兴起，为硬件设备产业带来了新的市场。特别是在新基建聚焦的公共交通、新能源汽车、工业互联网等领域，大量智能终端将取代人工服务，成为直面大众、带来便利生活的服务窗口，这些智能服务窗口对人机交互提出了更高的需求。不同于人工服务的主动性，智能终端必须覆盖更多场景，但当前人机交互主要界面所使用的传统刚性显示屏，由于体积、重量、形态、能耗等因素而受到很多场景限制。具有轻、薄、柔、艳、低能耗等特点的柔性电子器件，有效地解决了现有矛盾。

二是5G广泛推广支撑柔性电子产品应用场景拓展。5G具有高速度、低时延、高可靠等特点，5G的商业化落地将推动柔性电子产品向智能交通、智能家居、智慧医疗和工业互联网等应用场景拓展。在智能移动终端领域，5G的商用化推动半导体显示面板出货量的增加。在智能交通、智能家居及可穿戴领域，5G技术的服务对象将是人机物的全面互联，全柔性显示屏、全柔性传感器等作为显示终端及人机交互接口将长期受益于智能交通、智能家居等产业发展。在智慧医疗、工业互联网等领域，随着柔性电子技术成熟，医疗设备及工业设备对柔性电子产品的需求有望推动柔性电子市场的进一步扩张。

三是国家持续出台相关政策支持柔性电子行业发展。2016年至2020年，国务院、工信部、发改委等国家部门围绕柔性显示技术出台各类政策文件。2018年8月，工业和信息化部、国家发改委发布《扩大和升级信息消费三年行动计划（2018—2020年）》，提出要加快新型显示产品发展，支持企业加大技术创新投入力度，突破柔性面板等量产技术来带动产品创新。2020年9月，国家发改委等四部门联合发布《关于扩大战略性新兴产业投资培育壮大新增长点增长极的指导》，提出加快新一代信息技术产业提质增效，其中聚焦重点产业投资领域包括新型显示器件的核心技术攻关。

四是柔性可折叠屏迎来市场发展双重契机。一方面，有机发光原材料价格下降，推动柔性显示屏成本下降。目前，有机发光材料约占柔性显示屏原材料成本的60%，随着磷光OLED发光材料专利保护的失效，磷光发光材料供应厂商增多，促使柔性显示屏的生产成本下降。另一方面，柔性折叠屏逐步成为新一代电子产品的主流配置。柔性显示屏既能满足下游应用终端企业屏幕产品差异化设计需求，也能满足消费者对电子产品使用舒适感的需求，即将广泛应用在智能手机、车载显示、可穿戴设备、电视机等领域。三星、华为、OPPO等企业纷纷发布折叠屏旗舰机，显示器制造企业LG发布世界首款可卷曲电视。随着全面屏向曲面屏、折叠屏和弯折屏等多元化方向发展，将不断带动柔性电子行业的发展。

聚焦『中国柔都』目标

加快柔性电子产业发展

市工业和智能经济研究院



宁波柔性电子企业——寰采星科技签约现场



宁波发展柔性电子产业的意义和基础

1、宁波发展柔性电子产业的意义

一、培育柔性电子产业是打造宁波制造业发展的新动能。当前我市正加快推动“三城三高地”目标建设，柔性电子产业作为具有高技术、高附加值、高成长性的前沿产业，当前正处于技术的突破期、应用的推广期和产业的成长期，培育柔性电子产业，加速柔性电子领域国产替代，助力宁波孵化柔性电子领域单项冠军企业，做大做强新兴产业，有利于提升宁波数字经济产业竞争力，打造宁波制造业发展的新动能。

二、发展柔性电子产业是带动宁波制造业优化升级的新引擎。柔性电子产业以柔性材料为基础，结合微纳加工与集成技术，设计制造可实现逻辑放大、滤波、数据存储、信号反相、数字运算、传感等功能的新一代柔性电子元器件，可实现与电子信息、医疗保健、纺织服装、智能装备等产业的深度融合，柔性电子技术的突破将带动制造业内根本性材料、组件和应用终端的全产业链变革，推动宁波制造业全产业链的优化升级。

三、深入开展柔性电子研究是驱动宁波创新发展的新支点。习近



宁波致力打造“中国柔都”的对策建议

为加快抢占柔性电子产业排头兵的位置，依托西北工业大学宁波研究院等，吸收国内外柔性技术先进团队，加速核心技术创新研发，积极推动柔性电子器件产业发展，提前完成柔性电子产业布局，把宁波打造成“中国柔都”——中国柔性电子产业之都。须聚焦“中国柔都”建设目标，从柔性电子产业培育、技术研发、招商引智、政策支持等方面发力施策。

1、加快产业培育，壮大柔性电子产业规模

一是通过“技术—材料—器件”路径培育柔性电子产业。结合柔性电子产业发展趋势，聚焦有机电子、纳米电子、生物电子、塑料电子等领域，推动柔性光电器件加工制备技术、具有柔性功能的材料与器件的研发，以先进技术积累支撑产业发展。重点在消费电子、医疗健康、可穿戴设备等领域开发柔性电路板、柔性传感器、柔性显示屏、柔性电池等具有市场化前景的柔性电子终端器件，实现产业技术研发与应用的良好互动格局。发挥宁波制造业优势，推进柔性电子信息产品的开发和普及应用，提升产品智能化水平，提高产业附加值。

二是打造柔性电子智能制造产业园。遵循细分产业发展规律，积极强化产业准入、培育区域品牌、完善基础设施、搭建公共服务平台，打造集研发、标准制定、生产、产品应用为一体的柔性电子产业园区，引进和培育一批柔性电子相关企业，扩大产业下游应用的影响力。积极鼓励柔性电子行业龙头企业，通过资本运作、产业链协作、内部创新成果溢出、外部创新创业孵化等多种形式，在宁波建设具有地方特色的专业园。

2、突破关键核心技术，构建协同创新体系

一是加强柔性电子核心技术攻关。依托西北工业大学宁波研究院柔性电子技术研究中心、中科院宁波材料所、浙江省石墨烯制造业创新中心等高端研发机构编制柔性电子关键技术发展路线图，围绕柔性电子重点领域的关键核心技术、共性技术，择优遴选实施主体，推动一批关键核心技术实现产业化。支持有基础、有实力的柔性电子相关

重点企业，与产业链上下游及设计、材料、工艺、制造装备、实验检测装备等相关行业企业及高校、科研机构等，开展联合技术攻关。提升科技成果转化效率，通过制定相关行业标准、提前谋划产业布局等，推进产业市场有序运行，发挥好市场配置资源的决定性作用。

二是推动建设高水平创新载体。依托浙江大学、宁波大学和西北工业大学等高水平大学设立协同创新平台，设立宁波柔性电子技术创体综合平台，建设从基础到应用及成果转化的印刷及柔性显示技术创体综合平台。围绕甬江科创大走廊建设，积极对接国内一流科研机构来宁波建立研究院、实验室等分支机构，开展前瞻性和关键技术研发以及产业化。鼓励重点骨干企业建设一批高水平的企业技术中心、工程（技术）研究中心、重点实验室、工程实验室、产业技术研究院、产业创新服务综合体等研发机构和创新载体，主动融入产业创新的重点领域和关键环节。

三是完善创新服务体系。以柔性电子行业创新需求为导向，鼓励支持国内外知名高校、科研院所等机构、深化产学研协同创新攻关，构建多形式、多层次的自主创新服务体系。进一步深化科技成果转化体制机制改革，建设众创空间、孵化器、加速器创业载体以及中小企业公共技术服务平台、标准化技术平台等创新服务平台，提升创新服务能力和科技创新实效。推动重大科技设施、高校实验检测平台向集群企业开放，实现创新资源共用共享。

3、聚焦项目人才引进，打造产业发展的积聚效应

一是强化重大项目招引。聚焦柔性显示、柔性电池、柔性电子皮肤等重点和培育方向，细化招商名录和产业地图，建立重大项目信息库，通过产业链招商、精准招商等多种形式，重点在柔性显示、柔性电池、柔性电路板、柔性传感器、智能纺织品等市场前景好、带动性强的项目开展国内外招商。注重柔性电子产业链完善、技术水平提升和未来市场需求，针对柔性电子材料、关键器件等重点发展领域，积极谋划技术成熟或有待提高的技术研发和产业化项目，推动宁波在柔性电子核心技术创新研发、成果转化、标准制定、材料及智能制造等

纳米电子材料与器件研究。

二是在柔性射频识别、柔性显示和柔性电池领域拥有优势企业。我市已培育寰采星科技、柔印电子、柔创纳米科技等一批创新型科技企业。寰采星科技是宁波“专精特新”培育重点关注企业，打破长期以来的国外技术垄断，主攻半导体显示的关键核心材料，研发精密金属掩模版，2021年入选浙江省重点技术创新项目计划名单。柔印电子研发出高性能的纳米银导电浆料、纳米铜导电浆料，实现了在纸基上高性能易碎型射频识别电子标签的制造。柔创纳米科技主要产品是用于柔性电子和可穿戴设备的柔性锂电池、用于锂电池和超级电容的耐高温纳米纤维隔膜等，已经进入小批量产业化生产阶段。

三是宁波在柔性电子器件下游应用具有广阔空间。随着柔性显示技术的不断成熟，以及柔性传感器、柔性电路板、柔性电池等新型器件的开发，各类柔性电子终端产品将深入医疗、纺织服装、航空航天等领域，并融合人工智能、新材料、信息传输与处理等前沿技术，对我市节能与新能源汽车、纺织服装、机器人、集成电路、智能家电等特色产业链具有融合带动作用，有助于提升相关装备与系统的智能化水平，提升产品附加值，推动产业链升级。

方面走向该领域的前沿。

二是引进培育多层次产业人才。围绕柔性电子重点领域，多途径、多形式引进高层次人才和紧缺人才。依托骨干企业、产业基地、重大科研或工程项目，发挥甬江引才工程等人才政策作用，引进国际国内一流人才（团队）。大力引进北京、西安等地柔性电子研究机构在宁波设立分院或开展联合办学，培养基础研究、产业技术、资本投资、园区运营等各类专业人才。在现有高校基础上，创建柔性电子学院，鼓励柔性电子企业设立硕士、博士工作站和博士后流动站，建立柔性电子产业人才培养体系。

4、加大政策支持力度，优化产业发展环境

一是强化顶层设计和政策资源支持。将柔性电子列入宁波“十四五”发展规划，建立长效跟踪机制，推动科技创新和技术储备，完善组织管理，明确近期、中期、远期目标。积极谋划出台支持宁波柔性电子前沿探索、基础研究、应用攻关、产业转化全过程的相关政策，着力降低柔性电子颠覆性技术产业布局的准入门槛，引导更多企业参与颠覆性技术创新，建立健全优先使用自主创新成果的激励机制和风险容错机制。

二是加大产业金融支持力度。加大原始创新研发资金的投入力度，强化我市天使投资、创业投资等创投基金的引导作用，完善基金决策机制，加强对柔性电子领域创新型、技术含量高且具有良好市场前景项目的支持引导，扶持创新中心、测试评价和产业孵化平台等建设。积极推进金融机构与重点企业的协调沟通机制，鼓励金融机构在提高授信额度、延长贷款期限、降低融资成本等方面支持柔性电子企业发展。

三是深入开展国内外交流合作。聚焦柔性电子产业发展趋势，加强与长三角重点城市产业合作，注重推动资源共享、互利共赢，形成柔性电子制造领域长三角一体化发展格局。支持市内企业与国内外高端科研院所、优势企业加强对接合作，开展国际学术交流合作项目，促进协同创新和集成创新。引导市内企业加强国际产能合作，主动走出去参与国际竞争，加快提升产业发展层级。



柔性可折叠屏