

柔性盖板开启“精准工程化”时代

——“智能手机柔性盖板玻璃”系列报道之二

本报记者 谷月

不等厚柔性玻璃(UFG)的魅力,在于其“按需分配”厚度的精准设计,但这种“不均”的结构,也为其制造环节带来了诸多技术挑战。当市场聚焦苹果公司或将带来的产业变局时,全球玻璃产业正全力将这一创新理念转化为可靠的终端产品。从成型工艺到化学强化,从组件协同到产业化落地,每一次突破都标志着柔性盖板产业向“精准工程化”迈出了坚实一步。



“一次成型”是UFG规模化量产的关键

制造出一片厚度一致、超薄柔韧、清透无瑕的均质超薄柔性玻璃(UTG)已非易事,更何况要打造厚度连续渐变的UFG,难度可谓呈几何级数增长。

在向《中国电子报》记者解读UFG与UTG的制造工艺差异时,中建材玻璃新材料研究总院首席专家张冲表示,UTG为整体等厚结构,UFG的核心优势是厚度精准可控,通过定制化模具与梯度温控工艺,实现“弯折区薄、非弯折区厚”的一体化成型。

彩虹集团有限公司总经理杨国洪向《中国电子报》记者进一步分析指出,UTG可采用一次成型(如狭缝下拉、微浮法、溢流下拉法等)或二次成型(玻璃原片减薄)工艺制造,而UFG因不同区厚度存在差异,现阶段难以实现一次成型,需通过化学蚀刻、机械抛光、激光烧蚀等二次加工方式,对目标区域进行精准减薄,相对来说,生产难度更大。

杨国洪坦言,UFG依赖“二次加工”路径,该方式普遍存在效率低、良率低、成本高

等问题,其中化学蚀刻工艺还面临环境污染的挑战,这也是当前UFG难以快速量产的核心痛点。

据行业测算,目前基于二次加工工艺的UFG良率普遍低于50%,相较于UTG 80%以上的良率确实有待提升,加之生产核心设备定制成本高、工艺效率低、耗材贵,生产成本居高不下。未来1~2年,UFG的成本控制将是核心突破方向,短期内仍将聚焦高端市场。

康宁相关负责人在采访时也提及,其超薄可弯折玻璃(相当于不等厚柔性玻璃)在装上终端设备前,同样需要经历复杂的多步骤后端精加工过程,除了离子交换外,还包括切割、清洗和蚀刻玻璃,并同时保持玻璃表面几乎无瑕,这也从侧面印证了可弯折玻璃制造的技术难度。

业内人士认为,如果无须二次减薄,直接拉制出预设厚度的玻璃带,便可大幅提升效率、降低成本、减少良率损耗。因此,能否“一次成型”成为UFG规模化量产的关键突

未来1~2年,UFG的成本控制将是核心突破方向,短期内仍将聚焦高端市场。

破口。

“目前有三种前沿的一次成型方案处于探索阶段。”杨国洪详细介绍了这三种工艺路线。

一是热成型/重力沉降法,可一次成型复杂结构,适合大规模生产,但对模具精度、温度场均匀性要求极高,超薄玻璃在高温下极易变形,厚度控制难度大,且难以获得如化学蚀刻般光滑的表面。

二是溢流下拉法,效率极高,理论上可通过精密控制玻璃带流动参数调节厚度,但目前仅能在实验室模拟实现,若要应用于连续大面积生产,仍面临工艺、设备、检测等多方面挑战,彩虹集团已在此领域开展初期模拟与仿真分析。

三是3D打印法,可以通过程序控制不同区域的材料沉积量,实现任意复杂结构,但打印产品易产生孔隙和杂质,玻璃密度与光学性能不及传统直接成型玻璃,工艺尚不成熟,距离商业化应用仍有较远的距离。

尽管面临诸多挑战,但未来5到10年,直接成型的UFG玻璃有望逐步进入市场。

分区域强化无疑增加了生产复杂度与成本,遮蔽材料无残留应用、整体应力平衡等细节,仍需企业持续优化。

目前该方案已完成技术验证,据悉,包括康宁、凯盛科技、彩虹集团在内的电子玻璃生产企业正全力提升工艺效率与产品良率,推动其适配规模化生产。

据杨国洪预判,尽管直接制造UFG的工艺面临诸多挑战,但随着市场需求扩大及成本降低诉求的提升,未来5到10年,直接成型的UFG玻璃有望逐步进入市场,这与当前UTG领域从二次成型向一次成型工艺进化的趋势高度一致。

UFG的产业化之路,是一场贯穿材料科学、精密制造、产业链协作的攻坚战。

有业内人士认为,苹果公司之所以敢于大规模采用UFG,源于其强大的供应链整合能力,可主导上下游联合开发、统一标准,快速解决协同难题。对国内供应链而言,建立早期联合开发机制、加强协同联动,是推动UFG规模化重要前提。

UFG的产业化之路,是一场贯穿材料科学、精密制造、产业链协作的攻坚战。尽管前路挑战重重,但这场攻坚战本身,正推动中国高端制造向更精微、更系统、更协同的方向进化。

无论苹果公司的折叠屏最终是否采用UFG,行业对更精细化技术的探索都在推动柔性盖板正式迈入“精准工程化”时代。

ISLE 2026在深圳举行 全方位展示行业创新成果

本报讯 记者杨鹏岳报道:3月5日至7日,ISLE 2026(国际智慧显示及系统集成展)在深圳举行。本届展会上,来自全球的线上线下超1000家展商全方位展示了从核心器件到终端应用的行业创新成果。

中国光学光电子行业协会理事长应明炯在开幕致辞中表示,中国已经是全球最大的LED显示制造及应用市场,而且已成为LED显示技术创新发展的引领者。

近年来COB、MIP等封装技术的发展,不断推动LED显示向更小点间距和更高分辨率发展;Mini/Micro LED显示将进入规模化发展的新阶段,其发展推动产业链向高端化、绿色化转型;在智慧城市、车

载显示、数字商业等增量市场,LED显示从功能实现迈向体验革新,为全球用户创造更高价值。

2026年是我国“十五五”规划的开局之年,更是LED行业抢抓机遇,奠定长远发展格局的关键之年。AI与显示的融合为行业发展提供了新方向,全球化多场景跨界融合,将推动行业发展进入新的发展阶段。ISLE不仅是全球视听行业的专业采购平台,更成为“技术展示+贸易对接+趋势交流”一体化解决平台。多场专题论坛题材涵盖智慧视听、智慧建筑、大数据、人工智能等前沿领域,为参会者带来一场思想碰撞的盛宴,助力企业决策,推动产业进步。

(上接第1版)

全国人大代表、天能控股集团董事长张天任表示,建议推动锂电储能行业招标标准从“价格导向”转向“价值与安全导向”,建议相关部门研究完善储能项目招标投标相关规范,将全生命周期成本、长期可靠性承诺、安全冗余配置等级等核心价值指标纳入评分,并联合行业协会制定可量化实施细则与安全技术门槛,引导资本与竞争聚焦于技术创新与长期价值,切实扭转“劣币驱逐良币”的局面。

作为智能经济的关键基础材料,玻璃新材料的创新突破为电子信息技术迭代提供了硬件支撑。全国人大代表、中国工程院院士、中国建材集团首席科学家彭寿表示,未来五年,电子信息材料产业要进一步强化创新驱动,推动电子信息材料向基础研究—应用研究—前沿研究体系化发展;进一步强化产业链条,加速提升高端装备等产业基础能力,加速推进新型显示、新能源汽车、柔性电子等泛半导体产业发展;进一步强化主体培育,培育具备高端连接能力、自主可控能力和领先竞争力的标杆企业。

业内人士表示,“十五五”时期,现代化产业体系建设路径更加清晰,已进入传统产业升级、新动能加速产业化的阶段,构建起“既有厚度又有锐度”的梯次发展格局。

壮大新根基

加快未来产业培育

如果说新兴产业是当下的“新支柱”,未来产业就是明天的“新根基”。政府工作报告指出,培育发展未来能源、量子科技、具身智能、脑机接口、6G等未来产业。这些领域不仅具有极高的技术门槛,更拥有改变人类生产生活方式的长远潜力。

2026年被业界视为具身智能从技术验证向商业化落地的关键年。春节期间,多款人形机器人产品成为春晚的“科技主角”,从“人机共舞”的灵动身姿,到“人机共话”的温情互动,再到“人机共演”的剧情融合,充分彰显了我国具身智能的技术实力和创新能力。

工业和信息化部数据显示,2025年,我国人形机器人整机企业突破140家,发布产品超330款。全国政协常委、中国电子学会理事长徐晓兰感慨道:“过去10年,见证我国人形机器人从技术攻关到产业领跑,从单点突破到生态成型,成长为全球的引领者,我倍感欣慰、倍感自豪。”

然而,当下的人形机器人“能歌善舞”大多是因为接受了预编程与完整物理空间的特定训练。全国政协委员、芜湖机器人产业发展集团董事长许礼进指出,具身智能真正走进人类生活必须具备全域物理空间感知、自主决策与实时交互能力,这些是当前亟待突破的核心技术瓶颈。

“要重点支持高算力芯片、世界模型、高质量数据获取等关键技术的研发,并推动基础底层软硬件技术开源社区建设,从而促进技术快速迭代与创新。”许礼进表示。全国人大代表、广东拓斯达科技股份有限公司董事长兼总裁吴丰礼也认为,要进一步推动构建国家级工业数据基础设施,聚焦具身智能的工业数据,从加快标准制定、完善法律法规、加强政策激励、丰富场景应用以及强化人才支撑五个维度协同发力。

具身智能最终要运用到生产和生活场景中,需将核心技术突破与实际需求相结合,持续提升在场景中的智能化水平。徐晓兰表示,挖掘工业、农业、服务业、特种等领域需求,推动央企率先开放场景、开展示范应用,加快人形机器人重点应用落地。

想象一堂沉浸式互动课,师生虽隔千里,却能共处同一虚拟空间,不仅能看到对方的微表情与手势,甚至连握手瞬间的温度与质感都能精准传递。这正是6G描绘的未来图景。

随着6G被写入政府工作报告,它不再是遥远的科技概念,而是国家战略层面的“新质生产力底座”,即将从实验室走向千家万户。

相比5G时代,6G应用的连接对象、交互体验、服务模式变了。“6G不再是单一的通信技术,而是空地一体、通感算智深

度融合的复杂体系,这是与前几代移动通信最本质的区别。”全国人大代表,中兴通讯党委书记、高级副总裁苗伟在接受记者采访时表示。

目前,我国已启动第二阶段6G技术试验,面向典型场景及性能指标开展6G原型样机的测试。后续,基于前两个阶段的研究成果,我国将加强产业能力储备,为开展系统组网试验的第三阶段、研发6G预商用设备、开展6G关键产品测试奠定基础。

6G是支撑智能体时代到来、服务人与智能体共生发展的国家新一代综合性数智基础设施,将全面服务于应急救援、低空经济、具身智能等领域,推动数字经济向智能经济跃升。“未来,要以AI智能体终端应用创新驱动网络智能化演进,以网络能力适度超前部署支撑未来应用生态,促进新场景开拓、新市场创造,引领产业跨越式发展,为6G领先找到一条确定性路径,掌握未来发展主动权。”苗伟表示。

“我国未来产业发展已从政策布局走向全面推进,在全球竞争中呈现局部领跑、多点并跑格局。”全国人大代表、中国电子信息产业发展研究院院长张立在接受记者采访时表示,从全球竞争格局看,我国在部分关键赛道已跻身第一梯队,具有较强国际竞争力。6G领域实现全球领先,引领国际标准制定,量子科技领域自主研制的超导和光子原型机达到国际先进水平,量子通信建成万公里级国家骨干网络,专利占全球半数以上,具身智能领域人形机器人专利量全球第一,全球销量占比超80%,氢能产业规模居世界前列,可控核聚变托卡马克装置屡获突破,脑机接口非侵入式专利保有量世界领先。

激活动力源

依托机制创新促成长

新兴产业和未来产业从来不是“速成品”,它需要基础科学耐得住寂寞的深耕、高能级科研设施的硬核支撑,以及长周期资金与人才的持续浇灌。“强化原始创新—加速技术孵化—早期市场培育—产业化—产业集群”的全链条路径已成产业培育共识。

政策蓝图已经绘就,“十五五”时期的产业跃迁,注定是一场从“播撒种子”到“蔚然成林”的壮阔征程。跨越这一从量变到质变的鸿沟,核心引擎在于机制创新。市场是检验新质生产力的试金石,产业培育需要畅通从“实验室”到“大市场”的价值链路。李乐成在今年两会“部长通道”上表示,通过“造场景”激发新兴产业,未来产业的创新活力。对此,张立建议,要创新协同转化机制,推动从“给政策”向“供场景”转变,鼓励企业牵头组建创新联合体,让科研聚焦市场需求;探索“场景合伙人”制度,由政府、企业、资本共同打造“超级场景IP”,让我国最丰富的工业场景优势落地生根。

产业结构调整,有部分产业尚需较大的资本投入。“安徽已组建200亿元省新质生产力投资平台,专注投早、投小、投硬科技,为未来产业发展注入资本活水。”全国人大代表、安徽省发展和改革委员会主任陈军介绍道。张立建议:“创新长效投入机制,解决不敢投的痛点,亟须构建政府引导+风险共担的投入体系。”全国人大代表、TCL创始人李东生也呼吁,要为集成电路等重资产、长周期高科技产业开辟资本市场“绿色通道”,以更好地推动资本市场,支持先进制造业发展。

产业培育也需要涵养宽容失败的土壤,产业人士纷纷呼吁要通过机制创新为试错“兜底”。张立表示,创新生态培育机制,对未成功但具有重要信息价值的项目,适度给予失败补偿,鼓励团队再出发,引导全社会形成鼓励探索、宽容失败的共识,建立未来产业“失败案例数据库”,引导更多前沿成果跨越“死亡之谷”。

“十五五”飒然而至,当新兴产业的“新支柱”越筑越牢,未来产业的“新根基”越扎越深,机制创新的“动力源”越激越活,下一个五年乃至十年,中国产业将以更昂扬的姿态,在全球竞争的赛道上,跑出“新质生产力”的加速度,为中国式现代化注入源源不断的澎湃动能。

直接制造UFG面临诸多工艺挑战

即便成功实现一次成型,UFG独特的厚度梯度结构仍会对其后续关键工艺——化学强化环节带来前所未有的挑战。

化学强化通过离子交换在玻璃表面形成应力层,是提升玻璃强度的关键步骤,直接决定UFG的耐用性与使用寿命。然而,UFG弯折区(30~50微米)与非弯折区(100~120微米)的理想强化参数(如温度、时间、盐液配方)差异显著,若采用统一强化工艺,必然导致一侧强度不足、一侧应力过剩,进而出现翘曲、脆裂等问题,无法满足终端产品使用需求。

对此,杨国洪表示,平衡UFG“局部

柔韧性”与“整体刚性”的核心,在于分区进行强化:强化非等厚区时,用PET膜或耐高温油墨遮蔽等厚区;强化等厚区时,同样遮蔽非等厚区,避免过度钢化引发各类问题。

关于渐变区应力控制,杨国洪表示,其关键是让应力分布平缓无突变,业内解决方案包括多次混盐强化、“整体强化—局部蚀刻—整体蚀刻”等,可兼顾表面效果与应力平衡。

张冲进一步指出,优化厚度渐变曲线、改良退火工艺与材料配方,也能够实现应力控制与性能平衡。

尽快完善生态才能迈向产业化

当材料与工艺逐步突破,UFG要真正走向终端产品时,还面临一个更复杂的系统性课题——生态协同。

“UFG、柔性OLED与超薄铰链等系统组件之间势必要紧密协同。”张冲认为,只有上述三者的精密耦合才能实现良好体验,在设计之初需要提前匹配弯折轨迹、装配间隙等核心参数,任何环节脱节都会影响使用效果。

使用而言,UFG的厚度渐变曲线需与铰链轨迹、OLED中性层提前仿真匹配。杨国洪表示,UFG非等厚区厚度精度需控制在±5μm,才能适配精密铰链;弯折区梯度过渡易引发干涉损伤,厚度差过大则会

导致OLED受力不均,影响显示与使用寿命。因此,在柔性玻璃精细化设计时,可通过降低两侧等厚区厚度,将厚度差缩小至20微米,用OCA光学胶填充凹陷,简化结构,降低适配难度,同时提升屏幕平整度与触感。

“UFG产业化需玻璃、盖板、面板、铰链、终端厂商深度协同,因此,建立联合开发机制、打破壁垒至关重要。”一位供应链人士指出。传统串行开发模式已不适用UFG,上下游并行协同、打破技术与信息壁垒,成为其规模化应用的关键。此外,核心设备定制成本高,也制约产能释放,需设备与材料厂商联合攻关,降低成本。