

我国后端电子制造装备及其关键零部件发展研究

陈新^{1,2*}, 陈云^{1,2}, 陈杼^{1,2}, 吴小节²

(1. 广东工业大学机电工程学院, 广州 510006; 2. 省部共建精密电子制造技术与装备国家重点实验室, 广州 510006)

摘要: 电子制造产业是我国经济的战略性、基础性、先导性支柱产业, 在当前世界电子制造产业重塑供应链、生态链的变革期, 开展后端电子制造装备及其关键零部件发展研究在支持相关产业高质量发展方面具有重要价值。本文梳理了国内外电子工业后端制造装备产业的发展现状与趋势, 概括了电子器件“高密度、微型化”, 制造过程“高效率、低成本”等国际技术竞争特征, 凝练了我国电子制造装备行业面临的自主基础技术薄弱、市场竞争模式单一、进口依赖严重等问题, 从关键工艺、核心装备及零部件角度着手, 整理出我国亟待重点攻关的12类主要技术领域及其基本内容。为更准确地了解我国电子后端制造产业的过程与状态, 本文选取了4家具有代表性的大、中、小型电子制造企业进行实证分析, 总结了其各自发展战略和发展经验, 明确了坚持创新联动、掌握关键技术、努力创造市场迭代机会等对于企业发展的重要性。最后, 本文从顶层设计、产业布局、市场竞争、企业发展、技术创新、人才培养等层面, 提出了我国电子后端制造装备及其关键零部件的发展建议, 以期为相关行业高质量发展提供参考。

关键词: 后端电子制造; 供应链重塑; 电子制造装备; 多芯片器件集成; 企业案例

中图分类号: TH69 **文献标识码:** A

Back-End Electronics Manufacturing Equipment in China and Their Key Components

Chen Xin^{1,2*}, Chen Yun^{1,2}, Chen Xun^{1,2}, Wu Xiaojie²

(1. School of Electromechanical Engineering, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510006, China;

2. State Key Laboratory of Precision Electronic Manufacturing Technology and Equipment, Guangzhou 510006, China)

Abstract: Electronics manufacturing is a pillar industry of strategic importance for China's economy. As the supply and ecological chains of global electronics manufacturing industry are currently being reshaped, conducting research on back-end electronics manufacturing equipment and their key components becomes extremely important for the high-quality development of the electronics manufacturing industry in China. This study analyzed the development status and trends of the back-end electronics manufacturing equipment industry in China and abroad and summarized the international technological competition characteristics of the industry, that is, the pursuit of high density and miniaturization of electronic devices as well as high efficiency and low cost in the manufacturing process. The electronics manufacturing equipment industry of China faces problems such as weakness in independent and fundamental technologies, a single market competition model, and severe dependence in imports. Additionally, 12 major technical fields and fundamental contents that China needs to focus on were summarized from the aspects of key processes, core equipment, and components. Empirical analysis was conducted on four typical electronics manufacturing enterprises to summarize their

收稿日期: 2022-04-15; **修回日期:** 2022-06-27

通讯作者: *陈新, 广东工业大学机电工程学院教授, 研究方向为数字化设计与制造、精密电子制造装备; E-mail: chenx@gdut.edu.cn

资助项目: 中国工程院咨询项目“电子工业后端制造装备及其关键零部件卡脖子的关键基础和产业链的短板问题实证研究”

(2021-HYZD-08)

本刊网址: www.engineering.org.cn/ch/journal/sscae

development strategies and experiences. The significance of innovation, key technologies, and market iteration for the development of related enterprises were clarified. Furthermore, corresponding countermeasures for the development of China's back-end electronics manufacturing equipment and their components were proposed from the aspects of top-level design, industrial layout, market competition, enterprise development, technological innovation, and talent training.

Keywords: back-end electronics manufacturing; supply chain reshaping; electronics manufacturing equipment; multi-chip device integration; enterprise case

一、前言

电子制造产业是我国战略性、基础性、先导性支柱产业之一，2020年规模以上电子制造业实现营业收入为12.1万亿元（约占全国工业总营业收入的11.4%）[1,2]。近年来，新型冠状病毒肺炎疫情带来的在线办公、居家生活等需求突增，居民对个人计算机、平板电脑、智能手机等电子产品的需求也在大幅增加，电子制造产业的发展仍处于上升期，为此，推动电子制造产业高质量发展，对我国经济稳定、健康发展极为重要。

全球电子制造产业经历了多次大规模产业转移。20世纪60年代，美国因产业结构升级，将包括后端电子制造在内的劳动密集型产业向外转移；20世纪70年代，日本又将该类型产业转移至“亚洲四小龙”国家和地区；20世纪90年代，发达国家开始将该类产业转移至中国大陆；进入21世纪，随着我国劳动力成本上升，电子终端产品制造业开始向印度、越南等具有劳动力成本比较优势的国家转移。尽管电子制造产业发生了多次转移，但发达国家对高端芯片及全产业链高端装备的研发与控制一直在加强。在我国，电子制造产业面临“高端被发达国家控制、中低端向外流出”的不利局面。

近年来，随着第五代移动通信（5G）、人工智能（AI）、高清显示等新技术的加快应用，相关市场蓬勃发展；然而逆全球化思想有所抬头，导致国际电子制造产业链的分工进入深度调整期[3~5]。因此，把握全球供应链、生态链重塑与变革的历史机遇，扎实推进电子制造产业链不断向高端攀升，对我国制造强国建设意义重大。

业界通常将电子制造产业分为前端和后端，前端主要包括芯片设计、晶圆生长与高精度光刻等在内的芯片制造，后端主要指芯片封装、器件加工与终端电子产品制造。对于前端的高端芯片发展，我国已有许多研究，也进行了相关战略布局；而在后

端制造领域，近20多年来，我国一直处于追赶发展过程，但该领域的发展战略研究极少。因此，本文重点对后端电子制造的相关装备及其关键零部件的发展情况进行分析，阐明后端电子制造行业的市场变化情况、区域及企业发展模式，梳理我国相关产业发展态势及面临问题，进而提出行业技术发展方向、开展代表性企业实证分析，进而为后端电子制造企业发展、公共管理部门科学决策等研究提供参考。

二、国际后端电子制造装备产业的发展现状

（一）国际市场变化分析

从技术角度来看，电子制造产业发展主要有两大支撑：一是高端芯片，二是高端制造装备，均具有技术和资金密集、固定成本高、技术迭代快等特点[6,7]。前端制造中的芯片设计工具、高性能光刻机等核心技术基本被西方发达国家垄断；而后端制造领域所需的高端装备的主导者也是美国、欧洲和日本等发达国家和地区。

具体来说，后端电子制造装备门类繁多，业界多以行业类型分类为主，辅以装备特性划分门类。目前，后端电子制造装备主要包括半导体加工与芯片器件封装装备、电真空器件与平板显示器生产装备、电子元件与各类电子组件生产装备、用于芯片集成的电子基板与印制电路板生产工艺与装备、终端电子产品组装整机装备与联装产线、电子器件与电子产品检测及其他装备等。典型后端电子制造装备如图1所示。事实上，随着芯片微型化与互连高密度化，许多前端制造技术如亚微米级光刻、半导体精密制程技术等，越来越多用于高密度封装互连制造，或者说，从微系统角度来看，电子制造产业前后端制造的界限越来越模糊，融合发展趋势越来越明显。

从全产业链来看，近年来全球电子制造设备行业的市场规模保持持续增长态势。2020年，全球电

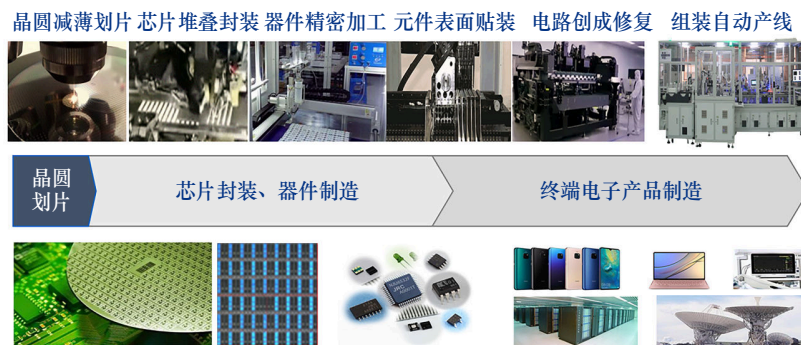


图1 典型后端电子制造装备

子产品制造设备行业的市场规模达到743.5亿美元，同比增长了8.08% [2]。美国2016—2020年的电子产品制造设备行业市场规模分别为100.8亿美元、107.1亿美元、109.2亿美元、119.9亿美元、126.7亿美元，年均增长为5.88%。美国在全球电子产品制造装备行业中扮演着最重要的角色。值得重视的是，近年来印度电子产品制造设备的市场规模保持持续增长态势，2016—2020年电子产品制造设备行业的市场规模分别为44.2亿美元、49.2亿美元、54.5亿美元、60.2亿美元、62亿美元，年均增长为8.83%。

从后端电子制造产业来看，近20多年来，随着多轮产业转移，全球科技水平不断提高，智能手机、高清显示、智能可穿戴终端电子产品呈现出蓬勃发展态势。在2019年的全球电子终端产品（后端制造）全球占比排名中，我国以37.2%的全球占比位居全球第一；美国为12.6%，位居全球第二；韩国为8.8%，超越日本在全球排在第三的位置 [8]。

无论是前端还是后端，美国在技术上占有绝对优势。当下，美国政府加大政策与资金部署力度，吸引产业回归、保护本土产业。2020年，为应对芯片技术的重大变革，推动AI、量子计算、无线通信等新兴技术的发展，美国半导体行业协会（SIA）和半导体研究公司（SRC）发布《半导体十年计划》，呼吁美国政府加大研发资金投入发展全产业链。2021年通过的《美国芯片法案》也激励企业和政府部门进行半导体投资，对购买半导体制造企业实行税收优惠政策。此外，美国还成立了国家半导体技术中心和先进封装制造工程基地等，鼓励美国国防部和能源部扩大半导体投资，以此稳固其电子制造全产业链的主导地位。我国电子终端产品虽然多年位居全球第一，但支撑其持续发展的高端芯片与全产业链高端装备，均存在被西方“卡

脖子”风险。

（二）国际电子制造装备产业发展模式分析

1. 美国“基础研究+链条式集群”的发展模式

美国倡导全方位开展电子信息技术研发，高度重视基础及应用研究，充分发挥企业创新开发的作用，注重相关技术的商品化、产业化、集群化发展。例如，美国应用材料（AMAT）公司是目前全球最大的半导体装备供应商之一，于1967年成立。AMAT公司在早期阶段，专注于薄膜沉积领域的技术及设备研发，形成了技术竞争优势；在成长阶段（20世纪80年代前后），积极响应市场需求，专注更多细分设备的研发，如“针对当时刻蚀工艺速度慢”、精度与一致性差，产量和良率达不到行业要求等严重制约半导体行业发展的难题，建立了专门的等离子刻蚀研发团队，逐渐推出了一系列受行业欢迎的刻蚀设备；到1992年，已成为全球最大的半导体设备制造商。多年来，AMAT公司的研发投入在行业内处于领先水平，拥有的专利技术超过14 300项，专利技术雄厚；此外，还通过外部并购优质企业，不断扩充产品线，以不断提升竞争力。

2. 日本的引进—消化—再创新模式

通过政府强力推动，引进相关设备与技术，越过耗资高、风险大的基础研究环节，直接进入应用到技术开发和产业化阶段，再通过政府持续大力支持基础及应用研究，强化产业发展基础，形成了研发驱动创新、发展较为稳健的产业集群发展模式。例如，1954年成立的日本爱德万测试（Advantest）公司是全球领先的半导体测试设备供应商，创立之初仅是一家电子测量仪器制造商；20世纪70年代初，顺应日本发展本土半导体产业的国家需求，与

日本电子工业发展协会 (JEIDA) 和岩松电气有限公司等合作共同开发集成电路 (IC) 测试设备, 正式进军半导体测试设备领域, 同时进行了前瞻性的产品调整和市场布局, 强化技术研发, 积累技术实力; 随后, 把握半导体产业全球分工转移机会, 积极拓展海外市场, 完成了从崛起到海外扩张的过程, 为其市场地位打下基础。该公司长期坚持高水平的研发投入与前瞻性技术积累储备, 如在日本、美国、欧洲及中国共建立了 12 个研发中心, 为其技术水平提升与升级提供了发展动力。

3. 韩国的政府强力推动模式

韩国电子制造装备产业发展极为迅速, 国家作用十分关键。韩国正确处理政府与市场的平衡点, 即国家根据市场的需求战略性地选择重点技术领域, 形成政府与企业联动的发展模式。韩国政府发挥“战略管理、领导者”的作用, 企业充分发挥“实施者、主力军”作用, 形成了高起点的跳跃式发展产业集群发展模式。

4. 印度的重点带动扩散模式

印度将软件业作为电子制造产业发展的突破口, 将科技资源配置重点向软件倾斜, 出台了一系列政策措施与优惠制度, 同时重视人才工程, 使软件产业实现了高水平的集群化发展。再加上, 印度拥有劳动力成本优势, 电子制造后端产业也正加快集聚, 形成了以软件带动终端产品发展的产业集群发展模式。

三、我国后端电子制造装备产业的发展现状与面临的问题

(一) 发展现状

当前, 我国电子工业已经具有相当规模, 形成了门类齐全的电子元器件科研开发与配套能力, 具有一定水平的系统工程科技攻关能力, 基本满足了战略武器、航天技术、飞机、舰船、火炮控制以及各种电子化指挥系统的需要, 所提供的产品达到了较高技术水平, 其中不少达到了世界先进水平。

一是我国电子终端产品制造设备行业的产量保持持续增长态势。2016—2020 年我国电子产品制造设备的产量分别为 69.39 万台 (套)、78.02 万台 (套)、89.85 万台 (套)、98.74 万台 (套)、103.29 万台 (套), 年均增长为 10.46% [2]。目前, 我国电子

产品制造设备行业的产量相对集中, 主要集中在东部地区, 其中江苏、广东、浙江等地的电子产品制造设备的产量分别以 27.96 万台 (套)、20.19 万台 (套)、14.25 万台 (套) 位居前三, 市场份额分别为 27.07%、19.55% 和 13.8% [2]。从供给来看, 2016 年电子产品制造设备的供给规模为 463.5 亿元, 到 2020 年增长到 716.8 亿元, 同比增长了 8.03%。从需求来看, 受电子产品市场需求增长的影响, 2020 年电子产品制造设备的需求规模达到 1381.1 亿元, 同比增长了 13.02%, 其中半导体设备是推动电子产品制造设备市场增长的重要动力 [2]。

二是我国电子制造产业的技术进步明显。我国依托庞大的市场需求和不断提升的创新水平, 在全球电子制造产业中的地位正不断上升, 正逐步从产业链的低端向中高端攀升, 呈现出由“劳动密集型”向“资本与技术密集型”转型的基本发展态势。近 20 年来, 在国家政策的大力支持下, 我国电子制造产业在竞争中逐步发展, 取得了长足进步, 创造了众多电子终端产品全球第一的业绩, 如智能手机、高清显示、通信产品、5G 网络建设等, 创造了一批走在全球前列的技术与产品, 培育出如华为技术有限公司、中兴通讯股份有限公司、京东方科技集团股份有限公司、TCL 华星光电技术有限公司、小米科技有限责任公司、OPPO 广东移动通信有限公司、维沃移动通信有限公司 (VIVO)、深圳市大疆创新科技有限公司等一批国际知名的电子终端产品先锋企业。

三是电子制造装备产业得到加快发展。制造装备与关键零部件是支撑后端电子制造产业快速稳定发展的重要基础。我国电子制造产业的快速发展与我国电子制造装备产业的技术进步密不可分, 受限于电子制造装备进口技术代差控制与采购成本压力不断增加, 近 10 多年来, 在国家支持装备产业发展的政策支持下, 芯片器件封测与终端电子产品制造领域的大量电子后端制造装备对外依存度已明显降低, 装备自主化与国产替代步伐明显加快, 涌现出如大族激光科技产业集团股份有限公司、中国电子科技集团有限公司、北方华创科技集团股份有限公司、中微半导体设备 (上海) 股份有限公司以及一大批装备类“专精特新”中小型企业, 有力支持了我国电子终端产品制造产业在全球的发展地位。

（二）面临的主要问题

我国电子制造产业虽然取得了长足进步，但其发展仍存在诸多问题 [9]。在高端芯片、高端芯片封装、高密度器件制造以及3C终端电子产品制造等后端制造领域，大多核心工艺、高端装备、制造系统等基本是依靠国外引进建立起来的，而在技术封锁严密、装备代差控制严格、我国行业国际话语权缺失的情况下，我国电子制造行业的强国之路任重道远。

一是基础研究的自主支撑作用薄弱。20世纪，我国国民经济还相对落后，以硅器件为代表的第一/二代半导体器件制造的所有核心制造装备完全依赖进口，很大程度上制约了我国芯片与半导体装备产业的发展 [10]。发达国家通过超前布局与大量投入，形成了深厚的理论基础和长期的技术积累，占据研究前沿。虽然近年来，我国奋力追赶，电子制造装备行业发展迅速，若干细分领域也取得许多重大突破，但发展时间短、规模小、技术积累与人才储备不足、基础技术自主支撑不足，加之西方对我国电子制造产业的打压，致使我国电子装备产业面临严峻考验。

二是市场竞争方式阻碍技术创新。从当前电子产品制造行业的现状来看，由于我国技术基础相对薄弱，电子产品制造企业对核心技术研发的积极性不强，终端产品的同质化造成市场竞争激烈。市场竞争方式则主要以价格竞争为主，特别是核心技术与高端装备多依靠国外进口；国产装备既缺乏人才与资金投入、更缺乏有效的市场迭代机会，导致我国电子制造装备及其零部件，尤其是高端装备的整体竞争力相对薄弱。而装备发展最重要的因素恰恰是市场迭代的机会，因此，加快国产装备发展，亟待我国电子制造产业的市场竞争方式创新。

三是电子制造装备严重依赖进口。制约我国电子制造产业发展的瓶颈主要是高端芯片和高端装备及其关键零部件。目前，我国正大力布局电子制造产业，但在突破芯片技术“卡脖子”的同时，还应重视装备进口依赖问题。为保障国家经济安全，必须打破长期被国际巨头垄断的被动局面，摆脱电子制造装备的严重进口依赖，发展国产高端制造装备、使用具有自主知识产权的国产高端装备，并将其列为国家发展的战略重点，这也是实现我国制造强国的关键 [11]。

四是我国的电子制造强国之路任重道远。近年来，中美贸易摩擦、全球电子制造产业供应链的深度调整、生态链重塑变革等频发，我国电子制造装备产业迎来挑战和机遇。作为电子制造大国，我国除了继续抓好芯片制造等前端技术的追赶工作外，认真分析电子工业后端制造装备及其关键零部件“卡脖子”的关键基础和产业链短板，提出相应的发展战略与技术攻关重点以及实施路径，鼓励科技人员和行业企业攻克核心技术，实现制造装备及其关键零部件的自主可控，对保障我国电子制造产业链的整体安全、支撑我国制造强国建设具有重要的战略意义 [12]。

四、后端电子制造装备产业的技术发展态势

（一）行业技术发展方向

后摩尔时代，芯片自身的高密度化速度趋缓，芯片器件封装制造技术在半导体产业进步中的作用凸显。随着5G、高清显示、AI、超级计算以及现代军事等技术迅猛发展，如5G通信模组、服务器中央处理器（CPU）/图形处理器（GPU）模组、小/微发光二极管（mini/Micro LED）高清显示器件/模组等，电子后端制造行业追求极致的高性价比，多芯片器件集成的高密度、微型化、多层化与制造过程的高精度、高速度、高效率、低成本等技术变革明显加快，因此，后端电子制造的今后发展主要方向为高精度、高效率、高集成 [13~15]。

随着芯片尺寸缩微、I/O密度增加，如多芯片互连载体基板的互连孔群数量、电路密度急剧增加，为防止信号相互干扰、损伤密集电路等，微细孔群阵列加工/微小器件阵列切割等的位置与形貌精度、互连电路的密实性及其与基材的连接强度等品质需求显著提升；由于集成芯片的数量大幅增加，互连孔径大小、分布以及互连电路的线宽、线距、线厚等差异也明显增加；此外，由于追求多芯片互连的高度一致性、高频5G信号高质量传输等，高端基板向较难加工的玻璃等硬脆材料（有良好的介电性能与保形性等）转换的趋势明显。上述需求给多芯片器件高密度集成的加工和制造带来了极大的技术挑战。

近20年来，相关技术指标量级逐步跃升，包括单位面/体积的芯片及元件集成数量量级跃升、互

连填充孔径/电路线宽线距量级缩微、互连电路堆叠层数从单层升到几十层、制造产线换产时间从天降至小时等。因此，后端电子制造装备行业亟需在诸多关键制造环节实现核心工艺、重大装备及关键零部件的技术突破，如海量互连微结构阵列高精高效加工、密集精细互连封装电路创成工艺、高速高精器件装配操作与在线精密检测、高速操作机构结构优化、高速精密运动平台设计制造以及适应多品种快速换产制造的产线智能化柔性化等领域，形成高精度、高效率、高柔性的后端电子制造技术的系统化解决方案。该领域的技术竞争将日益激烈，并成为电子后端制造行业国际竞争的新焦点。

（二）我国亟待突破的核心技术

围绕我国电子制造产业后端制造的核心工艺、关键装备及其关键零部件的发展需求，进行了广泛调研与深入分析，按照 12 个细分领域，收集整理并形成了需要重点攻关的 9 大类技术：刻蚀加工、抛光减薄、晶圆划片与批量转移、互连键合、集成封装、基板制造、信息通信制造、基础零部件、检测及其他。特别地，从多芯片叠层封装的器件高密度集成到电子终端产品制造，一是必须持续坚持重视基础研究，二是要针对“高密度、高精度、高效率”的相关具体技术指标追赶甚至超越国际一流水平。表 1 列出了我国电子产品制造装备产业亟待突破的核心技术（共计 38 项）。

五、我国后端电子制造装备产业的发展经验：典型企业案例分析

为把握我国后端电子制造装备产业的发展过程与状态，本文选取了国内 4 家代表性企业，梳理分析其发展历程与成长经验，以期为我国更多的企业提供参考，助力后端电子制造装备产业的高质量发展。

（一）TCL 科技集团股份有限公司

TCL 科技集团股份有限公司（简称“TCL 科技”），以家电业务起步，成立于 1981 年，重组前的 TCL 科技拥有 4 家上市公司，分别为 TCL 华星光电技术有限公司（华星光电）、通力电子控股有限公司、翰林汇信息产业股份有限公司和 TCL 电子

控股有限公司。其中，华星光电作为 TCL 科技重要的子公司，于 2009 年成立，主要生产制造显示模组。公司的发展战略为把握国际竞争方向、坚持创新驱动、坚持产业链的优化布局，已建立了较为完整的产业链体系；公司主要产品包括非贴合模组、嵌入滤光片（On-cell）、嵌入液晶像素（In-cell）的触摸面板技术和其他贴合模组，而现阶段主要以国际领先轻薄高端 In-cell 贴合模组为主，前沿产业布局较为完整，相关产品创造多个产销全球第一，如 8K 和 120 Hz 高端电视面板市场份额跃居全球第一、55 寸高清面板全球第一等。美国商业专利数据库（IFI Claims）发布的 2018 年美国专利数量排行榜中，华星光电位居 2018 年美国专利授权排行榜全球企业排名第 53 位，在中国大陆企业中排名第 3。

作为显示行业龙头华星光电的发展经验为：坚持国际视野、坚持技术创新、坚持产业链的优化布局，实现重要环节不完全依赖外部供货商的自主生产，提高企业的行业竞争力和抗风险能力。

（二）大族激光科技产业集团股份有限公司

大族激光科技产业集团股份有限公司（简称“大族激光”），是国内种类最多、业绩规模最大的激光加工装备制造制造商。随着我国电子制造产业的快速发展，大族激光抓住我国产业升级机遇，在印制电路板（PCB）、IC 载板、锂电、发光二极管（LED）、光伏、面板、半导体加工、3C 产品组装等领域发力，提出了“激光+X”战略进行横向和纵向整合，即纵向整合是在激光器等上游核心部件上加大创新力度，坚持“产学研”合作，追赶国际一流；横向整合就是抓住我国电子制造产业升级给予的市场迭代机会，在细分领域培养市场竞争力。目前，在诸多细分领域如激光精密打孔机、LED 晶圆划片机、面板端子切割机、面板电路修复机、手机中板器件装配线等一批激光精细加工装备产品已经达到国际领先标准，在国内技术领先与市场优势明显。此外，在新能源领域，大族激光已成功进入宁德时代新能源科技股份有限公司产业链，并持续拓展中航锂电科技有限公司、北京蜂巢世纪科技有限公司等客户，将充分受益于电池扩产；在 Mini LED 切割、裂片、剥离、修复设备已形成系统解决方案，显示面板行业份额稳步提升，半导体和光伏设

备陆续加入龙头企业的供应链，有望迎来高速增长。

近年来，大族激光实现逆势增长，2021年产品

后端销售额达到160亿元，这充分说明坚持核心技术创新与主动融入市场、创造装备产品的市场迭代机会是极其重要的。

表1 我国后端电子产品制造装备领域亟待突破的核心技术

重点领域	研发内容
刻蚀加工	硅基氮化镓射频器件的硅衬底移除工艺 第三代半导体纳米结构湿法刻蚀工艺与装备 玻璃基板激光诱导高精高效刻蚀工艺与装备
抛光减薄	面向半导体晶圆的全链条化学/电化学减薄与抛光技术 7~14 nm 化学机械抛光关键技术与装备 第三代半导体超硬基片多能场复合高效抛光技术与装备 大尺寸晶圆超精密减薄技术及装备
晶圆划片与批量转移	Micro LED激光巨量转移/修复工艺与装备 碳化硅芯片超快激光复合切割关键技术与智能加工装备 12 in 晶圆高精全自动划片关键技术与装备
互连键合	集成电路高速高密度引线键合技术与装备 多层硅-硅键合及其低应力减薄抛光关键装备 高精度热压倒装键合技术与装备
集成封装	三维集成电路高密度互连技术 高温微机电系统（MEMS）器件无引线封装技术与关键装备 超微量高稳定压电喷射点胶技术与装备 系统级封装高密度互连技术及可靠性 高精度高效率芯片扇出封装工艺与核心装备 面向小芯片（Chiplet）的极高密度晶圆级扇出集成技术 大面积高压大功率压接型绝缘栅双极型晶体管（IGBT）封装工艺及质量检测
基板制造	玻璃通孔（TGV）封装用异质基片制备技术及其装备 高密度精细线路倒装封装基板制造技术 高性能陶瓷电路板制备技术 面向高集成封装的陶瓷基相变引线框架（基板）制造技术
信息通信制造 基础零部件	光通信器件高性能制造基础工艺与装备 高速长行程多轴精密运动平台关键技术 极低粒子高真空阀门的研发及产业化 大抽速一体式超高真空磁悬浮复合分子泵 刻蚀（ETCH）/亚常压化学气相沉积（SACVD）高温工艺用薄膜真空规
检测及其他	高密度互连缺陷检测技术与装备 非接触式金属薄膜厚度测量仪 有机发光二极管（OLED）显示器件喷墨打印缺陷自动视觉（AOI）检测装备 氧化铟锡（ITO）系列激光管加工质量智能检测装备研发 硅通孔三维轮廓光学测量技术 非图形晶圆缺陷光学在线检测设备 面向7 nm节点极紫外光刻（EUV）工艺图形晶圆缺陷在线检测技术与设备 国产化高精度电容涂布技术与装备 基于溶液法的屏幕驱动芯片加工工艺

（三）深圳市联得自动化装备股份有限公司

深圳市联得自动化装备股份有限公司（简称“联得装备”），作为面板模组设备的一家龙头企业，近年来向汽车电子、半导体等多领域渗透。自成立以来，联得装备的发展战略是：专注平板显示自动化装备优化和配合行业工艺技术进步，积累深厚的技术储备，贴近市场、与客户一道优化制造工艺、强化技术服务。目前，联得装备已经与富士康科技集团、京东方科技集团股份有限公司、华为技术有限公司、苹果公司、天马微电子集团、蓝思科技股份有限公司、TCL华星光电技术有限公司、芜湖长信科技股份有限公司、立讯精密工业股份有限公司、维信诺公司、比亚迪股份有限公司等众多现代电子制造行业龙头建立了良好的合作关系，积累了稳定优质的客户资源。特别是近年来，在大尺寸电视设备、OLED平板显示模组组装设备、AOI检测设备、汽车电子与光伏太阳能领域以及半导体封装设备等新兴电子制造领域，抓住产业升级需求、与客户一道，结合工艺优化，在装备数字化、自动化、智能化设计领域加大创新力度、集聚研发技术团队，逐步形成了具有自己特色的稳健可持续发展的技术支持平台。此前陆续中标了维信诺公司、京东方科技集团股份有限公司、重庆惠科金渝光电科技有限公司等一批重大项目，未来2年有接近150~200条大尺寸显示模组装备线的扩产任务，预计整体市场将达到300亿元。

联得装备的实践充分说明专注行业技术痛点、贴近客户需求进行技术创新与服务，是细分领域“专精特新”类企业成长的核心策略。

（四）北京中电科电子装备有限公司

北京中电科电子装备有限公司（简称“北京中电科”）的前身是北京半导体专用设备研究所（中国电子科技集团公司第四十五研究所），创立于1958年，是国内专门从事电子元器件关键工艺设备技术、设备整机系统以及设备应用工艺研究开发和生产制造的国家重点科研生产单位。该单位利用长期技术积淀优势，发挥“产学研”合作优势，坚持共性技术持续创新，坚持聚焦电子装备制造产业需求，以光学细微加工和精密机械与系统自动化为专业方向，以机器视觉技术、运动控制技术、精密运动工作台与物料传输系统技术、精密零部件设计优

化与高效制造技术、设备应用工艺研究与物化技术、整机系统集成技术等六大共性关键技术为支撑，围绕集成电路制造设备、半导体照明器件制造设备、光伏电池制造设备、光电组件制造和系统集成与服务等5个相互关联的重点技术领域，开发了电子材料加工设备、芯片制造设备、光/声/电检测设备、化学处理设备、先进封装设备、电子图形印刷设备、晶体元器件和光伏电池等八大类工艺设备和产品，服务于集成电路、光电元器件与组件、半导体照明和太阳能光伏电池四大行业。随着我国电子制造产业升级广泛需求，北京中电科有望在新一轮的电子制造后端装备发展周期中，实现持续快速增长。

北京中电科的发展经验是发挥国家科研院所长期技术积淀优势，强化“产学研”合作，保持共性技术的持续创新，在服务客户的同时，实现企业自身价值。

（五）案例启示

表2总结了上述4家企业的关键成功因素。可以看出，不同企业的发展既有差异，也有共性，各自的关键成功因素对推动我国电子装备制造产业发展具有重要启示：大中小企业都需坚持创新驱动，强化市场作用，努力为装备产品创造市场迭代的机会；同时，作为电子终端产品行业龙头，要注重全产业链的布局优化与协同创新；大型装备龙头企业要重视核心技术长期积淀与细分领域核心竞争力培育；中小型企业要强化细分领域的技术创新与贴近市场的服务，与客户共同创造价值；国有装备企业要充分发挥国家科研力量整合的优势，坚持共性技术的持续创新，主动融入市场等。

六、我国后端电子制造装备产业发展建议

（一）顶层设计层面

充分利用我国科技创新举国体制优势，加强顶层设计和战略规划的统筹性和精准性。一是强化打造电子制造产业国家创新体系。在国家高端芯片战略布局的同时，高度重视从芯片封装、器件制造到3C终端电子产品制造的电子后端制造装备的整体创新布局规划；积极打造贯穿创新链、产业链、资金链的电子装备制造创新生态系统，支持产业链上

表2 4家案例企业的关键成功因素

案例	企业性质	关键成功因素
华星光电	民营企业（千亿元级），显示领域的国际化行业龙头	坚持国际视野，重视全链条布局发展；坚持技术创新，重视知识产权布局
大族激光	民营企业（百亿元级），激光加工装备的行业龙头	发挥国内终端产品市场规模优势，紧贴市场，主动创造装备的市场迭代机会；突出核心技术长期积淀，重视细分技术领域的竞争力培育
联得装备	民营企业（十亿元级），面板模组细分领域的“专精特新”企业	贴近市场，重视市场需求，追求同客户价值共创；专注细分领域技术创新，形成核心竞争力
北京中电科	科研院所改制国有企业，半导体装备行业龙头	依托国家科研力量支撑，坚持“产学研”合作；坚持共性技术的持续创新，主动融入市场

下游企业与科研机构组建产业技术创新联盟，着力突破核心关键技术，提升产业链供应链稳定性安全性。二是进一步完善电子制造装备产业科技安全预警监测系统。建议国家统筹各部门联合建立电子制造装备产业科技安全的预警监测体系，加快研发产业科技安全的预警监测平台和共性技术开发平台；建立国家主导的跨区域联动分布式的产业科技安全预警监测模式。三是谋划关键核心技术布局，统筹建立电子制造装备产业关键核心技术图谱。瞄准世界科技发展前沿，面向国家和产业需求，加强关键技术研究的前瞻布局；依托产业链部署创新链，聚焦电子装备制造核心关键技术领域，梳理优势技术和“卡脖子”技术，通过建立各种清单加强对产业安全、产业“卡脖子”技术问题的动态研判、机制分析和分级管理。四是围绕关键核心技术，依托国家重大重点研发专项。在关键核心技术图谱基础上，聚焦电子装备制造产业“卡脖子”技术，加强战略科技力量、产业共性技术研究体系的建设和完善，组织优质科技资源对关键核心技术问题进行攻坚。五是创新体制机制，提高科技资源组织能力。为科技创新机构对接市场企业，为科学家、发明家与企业家、风险投资家等人员队伍的实质性融合提供更有效的政策支持，真正做到科技链、创新链与产业链、资金链的无缝衔接。

（二）产业协同层面

一是优化电子制造产业布局与产业内分工，用好我国终端电子产品规模宏大的优势，系统推进电子终端产品制造产业与相关装备制造产业的布局优化与集群发展。二是从产业集群层面强调产业链内部专业化协作分工，对细化领域发展重点提供指

引，加强对电子制造工艺与装备技术标准制定和修订，引导产业链有序发展。三是引导大中小企业协同创新，鼓励龙头企业打造产业级工业互联网平台，支持上下游企业资源的高效对接与协同，支持中心企业保持创新创业活力，鼓励更多“隐形冠军和专精特新”装备及其零部件企业特色发展，充分保障本土电子制造产业的丰富度。

（三）市场竞争层面

一是要充分依托和发挥国内市场优势，为集中力量推动电子制造关键核心技术发展提供支撑。二是要高度重视高势能客户引领，加速市场需求的培育。按照“以新应用创造新需求、以新需求带动新技术”的思路，推动电子制造装备市场发展。三是要有备份思维和底线思维，释放部分需求。通过政策调控，给国产高端装备及其关键零部件的市场迭代机会，短期内确保关键时刻可以做到自我内循环，在极端情况下供应链可以正常运转，有效防范化解各类风险挑战；长期坚持打好关键核心技术攻坚战，实施产业基础再造工程，补齐装备链供应链短板，营造国产高端装备的市场迭代机制，从而推动我国电子制造产业的高质量发展。

（四）企业发展层面

培育若干个贯穿全产业链的大型纵向一体化企业或企业间联盟。一是突出央企在攻关电子装备制造“卡脖子”问题的引领作用。二是扶植重点领域龙头企业，依据电子制造装备产业各核心关键环节，建立电子装备制造骨干企业培育库，构建中央与地方联动，省、市、县分级培育的机制。三是支持骨干企业加快技术创新和产业化发展。支持骨

干企业通过国内外并购、重组和战略合作,在全球布局研发中心、生产基地和营销网络,发展成为具有较强国际竞争力的跨国公司。四是培育具有创新引领作用、代表新经济发展的“独角兽”企业,打造行业领域“单项冠军”和“专精特新”企业。

(五) 技术创新层面

创新是产业发展的原动力,只有提升创新能力、掌握自主知识产权,才能从根本上改善我国产业链结构,推动产业环节向上突破,促进本土产业具备更高层次的国际竞争力。一是提升产业链合作水平,围绕产业链安排好创新链,依托创新链带动自身产业链层级跃升。二是利用制度优势以及创新成本优势,以“补链、强链、延链”为目标,聚焦自身在关键环节以及核心零部件方面存在的技术短板开展针对性攻关,逐步降低对美西方的技术依赖。三是完善“产学研用”创新协同机制,构建互利共生的创新生态体系,提升科技成果转化效率,加快创新技术产业化进程。四是发挥国内市场规模优势,在不断吸引国际创新主体进入的同时,倒逼我国企业加快创新发展,推进全产业链布局,在全球经济不振、世界市场低迷的国际环境下,保障国内大循环的畅通。

(六) 人才培养层面

一是要强化人才培养体系建设。当前我国本土半导体产业人才总需求缺口较大,尤其是高端人才不足、领军人员紧缺,必须强化人才培养体系建设,为人才辈出创造条件。二是为支持产业高效发展,构建活跃人才的沃土。面向芯片设计、工艺开发、装备制造、封测等产业链各环节,积极引进培育国际领军人才团队。三是大力培养多学科交叉复合型人才培养。半导体制造属多学科交叉性极强的技术,必须打破目前我国高校专业过于细分的培养模式,优化学科布局,培养更多基础扎实的复合型人才,为产业发展提供人才保障。

利益冲突声明

本文作者在此声明彼此之间不存在任何利益冲突或财务冲突。

Received date: April 15, 2022; **Revised date:** June 27, 2022

Corresponding author: Chen Xin is a professor from the School of Mechanical and Electrical Engineering, Guangdong University of Technology. His major research fields include digital design and

manufacturing, and precision electronic manufacturing equipment. E-mail: chenx@gdut.edu.cn

Funding project: Chinese Academy of Engineering project “Empirical Research on Deficiencies in Key Foundation and Industrial Chain for Back-End Manufacturing Equipment and Key Components” (2021-HYZD-08)

参考文献

- [1] 肖华. 提升电子信息技术标准水平增强服务和推动产业发展的能力[J]. 信息技术与标准化, 2010 (12): 10-11.
Xiao H. Improve the level of electronic information technology standards, and enhance the ability to serve and promote industrial development [J]. Information Technology & Standardization, 2010 (12): 10-11.
- [2] 中国电子信息行业联合会. 中国电子信息行业经济运行报告 2020 [R]. 北京: 中国电子信息行业联合会, 2020.
China Federation of Electronics and Information Industry. Report on economic operation of China's electronic information industry (2020) [R]. Beijing: China Federation of Electronics and Information Industry, 2020.
- [3] 尹佳音. 中国产业转移现状、动因及政策启示 [J]. 现代国企研究, 2021 (Z1): 74-77.
Ying J Y. Status quo, motives and policy implications of China's industrial transfer [J]. Modern SOE Research, 2021 (Z1): 74-77.
- [4] 罗家祥, 胡跃明. 广东省电子信息制造装备产业技术路线图 [M]. 广州: 华南理工大学出版社, 2017.
Luo J X, Hu Y M. Technology roadmap of electronic information manufacturing equipment industry for Guangdong province [M]. Guangzhou: South China University of Technology Press, 2017.
- [5] 杜军钊. 智能制造新技术应用的安全风险分析与建议 [J]. 中国信息安全, 2021 (1): 39-41.
Du J Z. Security risk analysis and suggestions for the application of new technologies in intelligent manufacturing [J]. China Information Security, 2021 (1): 39-41.
- [6] 胡海鹏, 袁永, 王子丹. 中美经贸摩擦背景下全球新兴产业转移机理、特点及应对举措 [J]. 科技和产业, 2021, 21(5): 174-177.
Hu H P, Yuan Y, Wang Z D. Transfer mechanism, characteristics and countermeasures of global emerging industries in the background of economic and trade frictions between China and America [J]. Science Technology and Industry, 2021, 21(5): 174-177.
- [7] 余度. 后疫情时代, 中国是全球产业链转移首选之地 [J]. 中国对外贸易, 2021 (4): 20-21.
Yu D. In the post-epidemic era, China is the first choice for global industrial chain transfer [J]. China's Foreign Trade, 2021 (4): 20-21.
- [8] 参考消息网. 全球电子产业占比排名: 中国 37.2% 超出美国位居第一 [EB/OL]. (2019-07-31)[2022-06-18]. https://news.cnr.cn/native/gd/20190731/t20190731_524712719.shtml.
Reference News. Ranking of the global electronics industry: China 37.2% surpasses the United States and ranks first [EB/OL]. (2019-07-31)[2022-06-18]. https://news.cnr.cn/native/gd/20190731/t20190731_524712719.shtml.
- [9] 刘爽. 数控技术的发展与应用 [J]. 化学工程与装备, 2010 (10):

- 147-148.
Liu S. Development and application of numerical control technology [J]. Fujian Chemical Industry, 2010 (10): 147-148.
- [10] 潘卓伟. 集成电路制造业发展思路研究 [J]. 通讯世界, 2017 (2): 156-157.
Pan Z W. Research on the development ideas of integrated circuit manufacturing industry [J]. Telecom World, 2017 (2): 156-157.
- [11] 张国铭. 智能化时代, 国产集成电路制造装备发展的新机遇 [J]. 集成电路应用, 2018, 35(1): 56-57.
Zhang G M. New opportunities for the development of domestic integrated circuit manufacturing equipment in the time of intelligence [J]. Applications of IC, 2018, 35 (1): 56-57.
- [12] 赵子骏, 张丹, 李晋湘. 大力推进我国高端电子装备智能制造快速发展 [J]. 国防科技工业, 2019 (5): 38-41.
Zhao Z J, Zhang D, Li J X. Vigorously promote the rapid development of intelligent manufacturing of high-end electronic equipment in my country [J]. Defence Science & Technology Industry, 2019 (5): 38-41.
- [13] Chen Y, Chen Y H, Long J Y, et al. Achieving a sub-10 nm nanopore array in silicon by metal-assisted chemical etching and machine learning [J]. International Journal of Extreme Manufacturing, 2021, 3(3): 35104.
- [14] 陈新. 精密微电子封装装备的设计理论与系统开发 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2018.
Chen X. Design theory and system development of precision microelectronic packaging equipment [M]. Beijing: Machinery Industry Press, 2018.
- [15] 陈新, 姜永军, 谭宇韬, 等. 面向电子封装装备制造的若干关键技术研究及应用 [J]. 机械工程学报, 2017, 53(5): 181-189.
Chen X, Jiang Y J, Tan Y T, et al. Progress and application of key technologies on the electronic packaging equipment development [J]. Journal of Mechanical Engineering, 2017, 53(5): 181-189.