公司代码:688301
转债代码:118025

公司简称:奕瑞科技
转债简称:奕瑞转债

奕瑞电子科技集团股份有限公司 2025 年年度报告摘要

第一节 重要提示

1、本年度报告摘要来自年度报告全文,为全面了解本公司的经营成果、财务状况及未来发展规划,投资者应当到 www.sse.com.cn 网站仔细阅读年度报告全文。

2、重大风险提示

公司已在报告中详细描述可能存在的相关风险,敬请查阅“第三节管理层讨论与分析”之“四、风险因素”部分内容。

3、本公司董事会及董事、高级管理人员保证年度报告内容的真实性、准确性、完整性,不存在虚假记载、误导性陈述或重大遗漏,并承担个别和连带的法律责任。

4、公司全体董事出席董事会会议。

5、立信会计师事务所(特殊普通合伙)为本公司出具了标准无保留意见的审计报告。

6、公司上市时未盈利且尚未实现盈利

□是 √否

7、董事会决议通过的本报告期利润分配预案或公积金转增股本预案

公司 2025 年年度利润分配及资本公积转增股本方案为:公司拟向全体股东每 10 股派发现金红利 10.00 元(含税)。截至 2026 年 3 月 29 日,公司总股本 211,449,155 股,扣除回购专用证券账户中的股份数 93,904 股,以此计算合计拟派发现金红利 211,355,251.00 元(含税)。本年度公司拟派发现金红利占合并报表中归属于上市公司普通股股东的净利润的比率为 32.52%。2025 年度,公司以现金方式回购股份的金额为 9,506.63 万元,公司合计拟派发现金红利及股份回购金额占合并报表中归属于上市公司普通股股东的净利润的比率为 47.14%。公司拟以资本公积向全体股东每 10 股转增 4 股。截至 2026 年 3 月 29 日,公司总股本 211,449,155 股,扣除回购专用证券账户中的股份数 93,904 股,以此计算合计转增 84,542,100 股,转增后公司总股本将增加至 295,991,255 股(具体以中国证券登记结算有限责任公司登记为准)。

如在上述利润分配及资本公积转增股本方案公告披露之日起至实施权益分派股权登记日期间,因可转债转股/回购股份/股权激励授予股份回购注销/重大资产重组股份回购注销等致使公司总股本发生变动的,公司拟维持每股分配(转增)比例不变,相应调整分配(转增)总额。

上述利润分配及资本公积转增股本方案已经公司第三届董事会第二十五次会议审议通过,尚需公司 2025 年年度股东会批准。

母公司存在未弥补亏损

□适用 √不适用

8、是否存在公司治理特殊安排等重要事项

□适用 √不适用

第二节 公司基本情况

1、公司简介

1.1 公司股票简况

√适用 □不适用

公司股票简况				
股票种类	股票上市交易所及板块	股票简称	股票代码	变更前股票简称
A股	上海证券交易所科创板	奕瑞科技	688301	不适用

1.2 公司存托凭证简况

□适用 √不适用

1.3 联系人和联系方式

项目	董事会秘书	证券事务代表
姓名	下智	陈昭瑛、张晓东
联系地址	上海市浦东新区环桥路 999 号	上海市浦东新区环桥路 999 号
电话	021-50720560-8311	021-50720560-8311
电子信箱	ir@mayguo.com	ir@mayguo.com

2、报告期公司主要业务简介

2.1 主要业务、主要产品或服务情况

公司是一家以全产业链技术发展趋势为导向、技术水平与国际接轨的数字化 X 线核心部件 / 综合解决方案以及硅基微显示背板供应商。目前,公司主营业务主要包括:

1. 数字化 X 线核心部件及综合解决方案的研发、生产、销售与服务

公司持续深耕数字化 X 线探测器、高压发生器、组合式射线源、球管等核心部件及综合解决方案产品,相关产品广泛应用于医学诊断与治疗、工业无损检测以及安全检查等领域。公司通过向全球知名客户提供更安全、更先进的 X 线技术,助力下游客户切实提升医学诊疗水平、工业检测精度与安检准确率,有效赋能终端环节提高生产效率、降低运营成本,持续巩固公司在全球市场的领先地位。

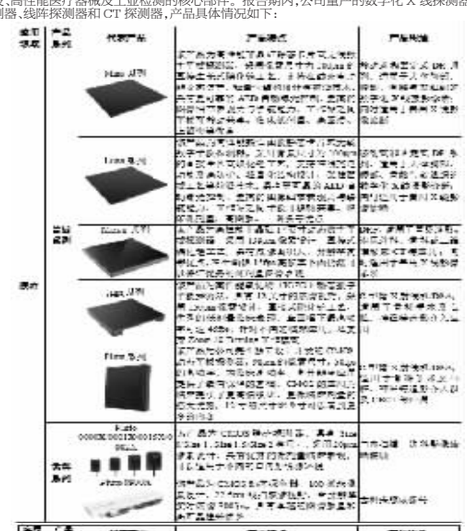
2. 硅基微显示背板的研发、生产和销售

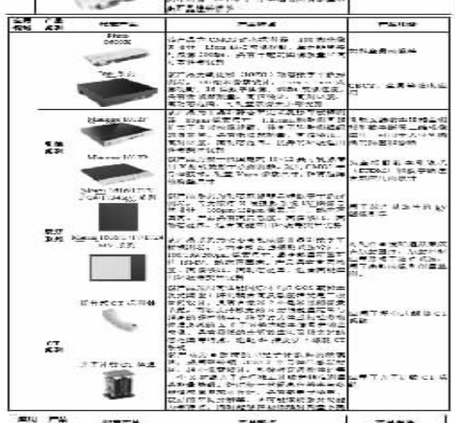
基于深厚技术积淀,公司新增硅基微显示背板的研发、生产和销售作为主营业务。公司生产的硅基微显示背板目前主要用于制造高分辨率的硅基 OLED 微显示屏,最终应用于 AI 眼镜、VR 头显、无人机 FPV 等智能终端设备。通过精准卡位下一代智能终端设备的核心供应链,公司正致力于将微显示背板业务打造和培育为全新的营业收入及利润增长点。

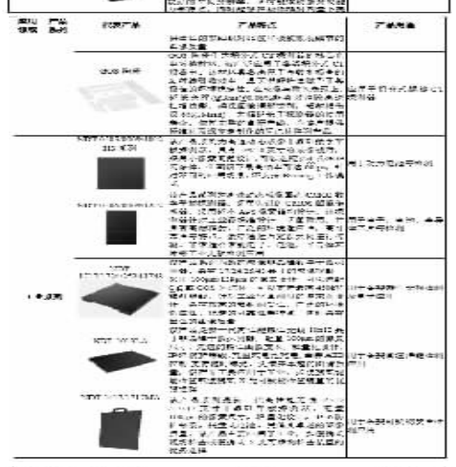
目前,公司主要产品介绍如下:

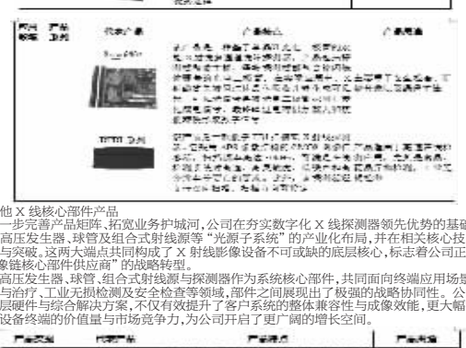
1、数字化 X 线探测器产品

报告期内,公司核心产品为数字化 X 线探测器,是全球为数不多的、掌握全部主要核心技术的数字化 X 线探测器生产商之一。数字化 X 线探测器是典型的高科技产品,属于“中国制造 2025”重点发展的高科技、高性能医疗器械及工业检测的核心部件。报告期内,公司量产的数字化 X 线探测器产品包括平板探测器、线阵探测器和 CT 探测器,产品具体情况如下:





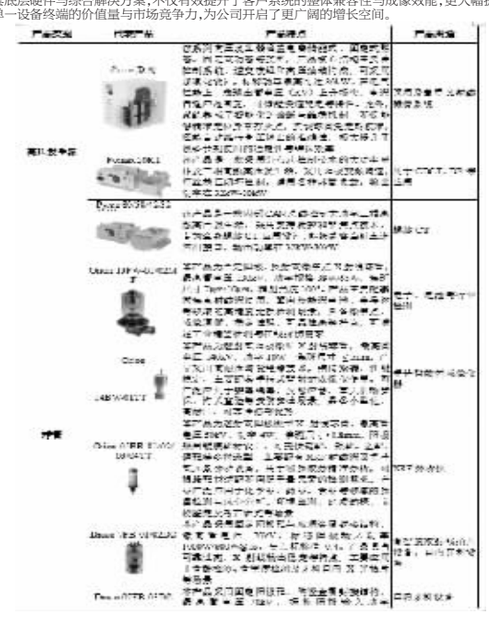




2、其他 X 线核心部件产品

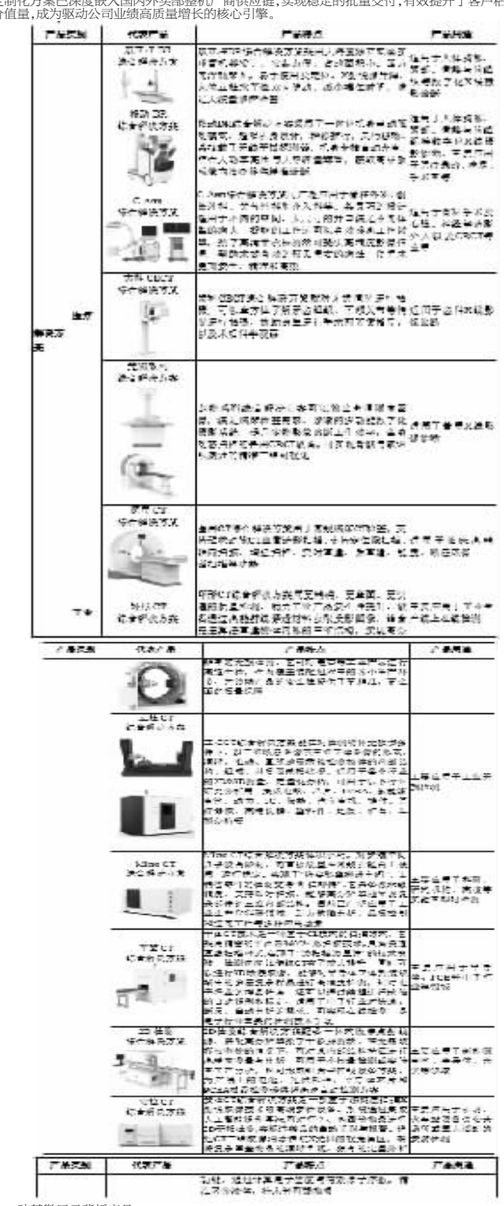
为进一步完善产品矩阵、拓宽业务护城河,公司在夯实数字化 X 线探测器领先优势的基础上,已全面深化对高压发生器、球管及组合式射线源等“光源子系统”的产业化布局,并在相关核心技术上取得显著进展与突破。这两大端点共同构成了 X 射线影像设备不可或缺的底层核心,标志着公司正加速完成向“全影像链核心部件供应商”的战略转型。

由于高压发生器、球管、组合式射线源与探测器作为系统核心部件,共同面向终端应用场景,因此在医学诊断与治疗、工业无损检测及安全检查等领域,部件之间展现出了极强的战略协同性。公司通过提供成套底层硬件与综合解决方案,不仅有效提升了客户系统的整体兼容性与成像效能,更大幅提高了公司在单一设备终端的价值量与市场竞争力,为公司开启了更广阔的增长空间。



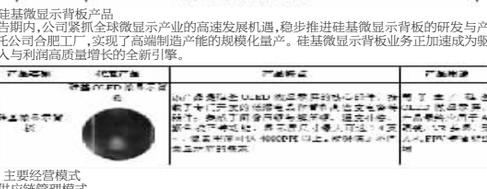
3、综合解决方案产品

公司凭借在 X 线核心部件领域的深厚技术壁垒与垂直产业链整合能力,深化了“综合解决方案提供商”战略,实现了从联合预研到规模化量产的端到端全方位支持,大幅缩短了下游客户整机研发周期及成本。目前,集硬件、软件、应用在内的 X 线综合解决方案已实现大规模商业化放量,针对 DR、C 型臂、胃肠、骨龄、齿科 CBCT、医用螺旋 CT 及兽用等医疗高壁垒领域,以及工业无损检测(NDT)赛道,目前公司工业产品已在环形 CT、立柱 CT、Micro CT、平面 CT、2D 检测、安防 CT 等领域完成布局,相关定制化方案已深度嵌入国内外头部整机厂商供应链,实现稳定的批量交付,有效提升了客户粘性与设备价值量,成为驱动公司业绩高质量增长的核心引擎。



4、硅基微显示背板产品

报告期内,公司紧抓全球微显示产业的高速发展机遇,稳步推进硅基微显示背板的研发与产业化工作。依托公司合肥工厂,实现了高端制造产能的规模化量产。硅基微显示背板业务正加速成为驱动公司营业收入与利润高质量增长的全新引擎。



2.2 主要经营模式

1、供应链管理模式

在采购流程上,为提高生产效率、加强成本控制,公司建立了采购管理体系。公司定期组织各部门召开产供销会议,讨论评估客户订单和预测,形成公司“n+1+2”生产和物料需求预测规划;针对交期较长的原材料,公司提前制定物料预测需求,并和供应商形成需求联动。公司常用原材料通常维持一定的周转库存量,当实际库存数量低于周转库存量时,采购部门重点跟进厂商交付,确保生产正常进行;对于低值易耗品,公司综合考虑其采购周期和使用数量,维持合适的库存量。为进一步合理规划库存,计划部每月进行原材料库存分析,根据“ABC-XYZ”分析方法制定原材料供应策略。

公司从供应商的市场地位、供应能力、经营管理水平等方面评估供应商的综合实力,通过选择、评估、导入流程,建立合格供应商名录,定期对供应商的绩效进行评估和反馈,推动供应商的持续改进。报告期内,公司与主要原材料供应商保持紧密的合作关系,并通过战略合作方式保证稳定的供应量和有竞争力的采购价格。同时,公司与核心供应商除签署常规的购销合同外,还签订了保密协议或约定保密性条款。协议中对保密内容、保密期限、知识产权归属、双方权利义务、违约责任等进行了细致的约定,充分保障公司合法权益,有效降低公司核心技术泄密风险。

2、生产模式

公司主要根据客户的订单需求进行生产计划安排,计划过程主要通过 SAP 系统进行完成,生产过程通过 MES 系统控制,并始终根据 ISO13485、MDSAP、ISO9001 国际质量管理认证体系对所有生产环节进行质量管控,按照精益生产的理念规划生产过程,提高效率,降低成本。生产过程包括编制生产订单、物料准备、批量生产、入库检验等环节。计划部对客户合同 / 订单进行评审,评审内容包括产品型号、特性、交期等,如合同 / 订单符合公司的生产能力和技术支持能力,计划部根据订单数量、物料需求及交付速度、产品库存情况、订单交付周期编制生产计划和物料计划。然后生产部根据生产计划领取物料并组织批量生产工作。生产完成后,质检部对每一件产成品进行入库检验,然后由发货员依据客户订单要求安排发货,同时商务部门根据产品序列号建立并保存每一批产品的信息档案,制成可追溯的销售记录。

为确保产品质量与交付效率,针对市场需求情况,公司按计划进行投产,遵循如下管控阶段:(1)小批量试产:基于公司设计规范,协同客户完成产品导入,并进行初步打样与试制验证。(2)风险量产:试产样品通过严格的验证后进入该环节,核心聚焦于生产工艺优化、良率拉升及初期产能储备。(3)规模化量产:当各项技术与交付指标全面达标后,转入以客户采购订单为直接驱动的批量生产阶段。公司实行精细化排产与全周期进度跟踪,确保高质量、高效率的订单交付。

3、销售模式

目前,公司采用直销为主、经销为辅的销售模式,下游客户主要为 X 线影像设备品牌厂商及微显示解决方案提供商,下游厂商将公司产品及相关配件组装成整机后,再向终端市场销售。由于公司产品的质量和性能在很大程度上决定了最终产品的质量、稳定性及安全性,因此公司客户通常对 X 线核心部件、综合解决方案或硅基微显示背板产品质量、稳定性、可靠性具有严格的要求与标准,同时对产品售后服务要求较高。直销模式有助于公司与客户更好的交流,及时了解客户需求,集中公司资源为客户提供更好的产品与服务,培养长期稳定的合作关系。一直以来,公司通过参与国内外大型行业展会和学术会议,以及直接拜访客户或邀请客户来访等方式,挖掘潜在客户并提升公司品牌知名度。此外,由于在不同国家或地区均存在一定的经销商网络和换修市场,因此,经销模式是对公司直销模式的有益补充。报告期内,公司销售模式以直销为主、经销为辅。

4、研发模式

公司基于质量体系要求(包括但不限于 ISO13485、MDSAP、ISO9001 及公司质量体系管理要求),凭借多年来成功研发产品的经验,以行业发展和应用需求研究为基础、以自主项目为驱动,开展有计划的新技术研发和新产品开发项目。

公司的项目管理部门,负责组织产品经理、技术经理进行产品研发前的项目商业论证、产品需求确认和项目立项的论证和许可工作。公司的研发部门负责产品的研发工作,按照“研究一代”+“预研一代”+“开发一代”的模式开展研发工作。

“研究一代”是指研发中心根据行业发展规律以及技术发展趋势,对全球相关的技术进行先进技术研究。研发中心与多家全球知名公司、研究机构及高校等进行合作交流,进行相关的可行性研究工作。

“预研一代”是指在研究的先进技术中,若干技术已具备可应用的前景(包括成本可控、技术路线可行、工艺路线成熟、关键供应商合格等),在技术可行性通过后,对先进技术进行“模块”级别的独立开发工作,将其转换为关键技术的开发。

“开发一代”是指由项目管理部组织的项目立项通过后,正式开始产品的开发工作,集合所有关键技术的开发成果,快速迭代开发中成熟的研发样机;根据公司的项目开发流程,研发样机研发成功后,进行小批量的中试验证工作,这个阶段开始进行小批量的工艺验证、可采购性验证、可靠性验证以及医疗器械相关的安规、型式检验的验证工作;在通过中试验证后,产品开始进入推广期,以市场样机的方式提供给客户进行系统集成和系统确认工作,在通过所有的系统验证和系统确认工作后,产品开发进入批量量产阶段;此外,在开发过程中,面对不同客户的定制需求和性能改进升级的要求,公司将对产品进行技术改进,衍生出子型号满足不同客户或不同市场的需求。

2.3 所处行业情况

(1). 行业的发展阶段、基本特点、主要技术门槛

(1.1)所属行业

公司主要生产的数字化 X 线核心部件 / 综合解决方案以及硅基微显示背板是高科技产品的代表,属于高端装备制造行业。公司主要产品之“数字化 X 线核心部件 / 综合解决方案”,根据《中国上市公司协会上市公司行业统计分类指引》,所处行业为“C35 专用设备制造业”;根据国家统计局颁布的《国民经济行业分类》(GB/T4754-2017),所处行业为“C35 专用设备制造业”。公司主要产品之“硅基微显示背板”,根据《中国上市公司协会上市公司行业统计分类指引》,所处行业为“C39 计算机、通信和其他电子设备制造业”;根据国家统计局颁布的《国民经济行业分类》(GB/T4754-2017),所处行业为“C3976 光电子器件制造”。

(1.2)产业链概况

公司是一家以全产业链技术发展趋势为导向、技术水平与国际接轨的数字化 X 线核心部件 / 综合解决方案以及硅基微显示背板供应商。公司主要从事:1、数字化 X 线探测器、高压发生器、组合式射线源、球管等核心部件及综合解决方案的研发、生产、销售与服务;2、硅基微显示背板的研发、生产和销售。目前,相关产业链如下图所示:

在 X 线影像产业链,公司上游为 X 线核心部件的原材料,其中各 X 线核心部件的重要原材料具有较高的技术壁垒,对 X 线核心部件的性能、质量、产业化都有着重要影响。数字化 X 线探测器的原材料主要包括传感器、芯片、闪烁体;高压发生器的原材料主要包括高压油箱、外壳部件、电路板;球管的原材料主要包括阳极靶材、轴承、阴极部件。X 线核心部件制造商需要与上游供应商保持紧密关系,或增强其上游整合及自主可控能力,以确保原材料的稳定供应。公司主要产品包括数字化 X 线探测器、高压发生器、球管、组合式射线源等在内的 X 线核心部件及综合解决方案,持续沿产业链进行多元化拓展,提供多样化的产品矩阵,从而构建垂直整合的产业链优势,并充分发挥业务间协同优势。公司下游主要为医疗及工业领域不同应用场景内的 X 线影像设备品牌厂商。未来,中游 X 线核心部件技术的不断进步以及 X 线综合解决方案的不断优化,将为 X 线影像设备带来更广泛的下游应用场景,以及更广阔的细分行业市场空间。

在 CMOS 产业链,公司上游为 CMOS 传感器、硅基微显示背板等生产所需的主要原材料,主要包括硅片、光刻胶、电子特气、电子化学品等;这些基础原材料的技术工艺或纯度直接影响了产品生产良率与性能,具备较高的技术门槛,因此公司高度重视供应链的稳定性与核心材料的自主可控能力。公司主要产品包括 CMOS 传感器、PD、ASIC 芯片、硅基微显示背板等;其中,CMOS 传感器、PD 及 ASIC 芯片主要用于生产 X 线探测器,硅基微显示背板主要用于对外销售。公司依托自身光电技术优势在这一环节进行深度布局,不仅实现了核心材料工艺的自主掌握,更充分发挥了制造端的协同效应。公司下游为微显示解决方案提供商,由其将微显示背板进一步加工、封装为完整的高分辨率微显示屏。这些微显示屏广泛应用于 AI 眼镜、VR 头显、无人机 FPV 等下一代智能终端设备。未来,硅基微显示背板在像素密度、功耗等底层工艺技术的持续突破,将有力支撑下游终端设备向更轻量化、更高清化方向发展,为公司在新兴的微显示细分市场中打开广阔的增量空间。

(1.3)X 线行业发展概况

①X 线影像设备市场概况

随着 X 线技术的进步、下游应用场景的不断拓展以及 X 射线影像设备的市场渗透率持续加深,全球 X 线影像设备市场保持着快速、稳定增长。根据下游应用场景,X 线影像设备可以分为医疗和工业两类。

医疗领域方面,随着全球老龄化程度持续加深、慢性病患者人数不断增长以及全球国民健康需求不断增加,全球各级医疗机构对 X 线影像设备的需求持续放量。根据灼识咨询数据显示,全球医疗 X 线影像设备市场规模(除 CBCT)已从 2015 年的 217.6 亿美元增加到 2020 年的 287.1 亿美元,年复合增长率为 5.70%,预计到 2030 年,市场规模将达到 476.1 亿美元,2021 年至 2030 年的年复合增长率为 4.79%。

2015-2030 年全球医疗 X 线影像设备市场规模(除 CBCT)

注:X 线影像设备市场规模统计口径为 CT、XR 和 PET/CT 市场规模之和

数据来源:灼识咨询

随着 X 线核心部件的技术升级与价格下降,促使 X 线医疗影像设备厂商能够不断研发、推出新的符合更多应用场景且具有更高性能的产品,其中最为典型的是 X 线影像设备在齿科和兽用领域的应用,为全球医疗 X 线影像设备市场增长持续注入新的动力。以 CBCT 为例,根据 Global Market Insights 数据,2022 年全球 CBCT 市场规模为 13.0 亿美元,预计到 2032 年将增长至 22.0 亿美元,年均复合增长率为 5.40%。

2022-2032 全球 CBCT 设备市场规模

数据来源:Global Market Insights

工业领域方面,随着全球传统工业整体向高端制造转型,以及三维 X 射线成像、TDI、实时 AI 判图等新 X 线技术的出现,X 线影像设备在工业铸件、管道焊缝、电路板等传统无损检测以及新能源电池检测、半导体封装检测以及食品安全检测等新工业应用领域得到了更广泛的应用,全球工业用 X 线影像设备的市场规模将继续扩大,据 QY Research 数据显示,2023 年全球工业 X 射线检测系统市场规模为 12.8 亿美元,预计到 2030 年将达到 17.1 亿美元,2023-2030 年间年均复合增长率为 4.26%。

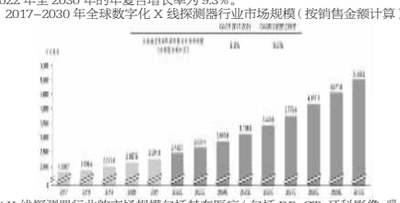
2023-2030 年全球工业 X 线影像设备市场规模

数据来源:QY Research

②数字化 X 线探测器市场概况

根据弗若斯特沙利文数据,随着技术的进步、下游应用场景的拓展以及 X 射线影像系统的市场渗透率持续加深,全球数字化 X 线探测器行业以销售额计算的市场规模已从 2017 年的 18.1 亿美元增长至 2021 年的 22.8 亿美元,年复合增长率为 6.0%。未来,更广泛的下游应用场景将为数字化 X 线探测器行业的发展注入新的动力,全球数字化 X 线探测器行业的市场规模将继续扩大,预计到 2030 年将达到 50.3 亿美元,2022 年至 2030 年的年复合增长率为 9.3%。

2017-2030 年全球数字化 X 线探测器行业市场规模(按销售金额计算)



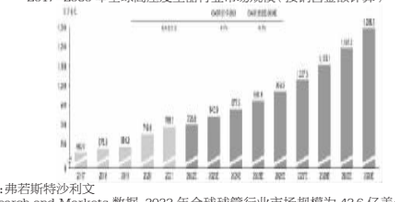
注:数字化 X 线探测器行业的市场规模包括其在医疗(包括 DR、CT、牙科影像、乳腺摄影、C 型臂、肿瘤和兽用)和工业(包括电池检测、芯片和电子制造检测、铸造检测、管道检测、资源分类、食品检测、安全检测和其他)领域的应用。

数据来源:弗若斯特沙利文

③其他 X 线核心部件市场概况

X 线影像设备主要包含数字化 X 线探测器、高压发生器、球管三大核心部件,三大核心部件汇集了 X 线影像设备绝大部分核心技术,成本占比超过 70%。根据弗若斯特沙利文数据,全球高压发生器行业的市场规模按销售额计已从 2017 年的 6.5 亿美元增长到 2021 年的 7.9 亿美元,年复合增长率为 4.9%,预计到 2030 年,市场规模将达到 13.0 亿美元,2022 年至 2030 年的年复合增长率为 6.3%。

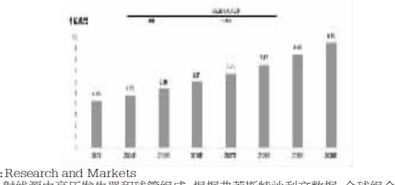
2017-2030 年全球高压发生器行业市场规模(按销售金额计算)



数据来源:弗若斯特沙利文

根据 Research and Markets 数据,2023 年全球球管行业市场规模为 42.6 亿美元,预计到 2030 年,市场规模将达到 95.3 亿美元,2023 年至 2030 年的年复合增长率为 12.18%。

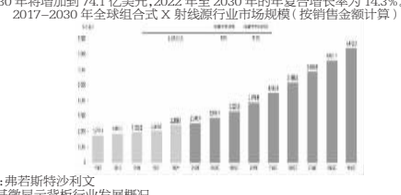
2023-2030 全球球管行业市场规模



数据来源:Research and Markets

组合式 X 射线源由高压发生器和球管组成,根据弗若斯特沙利文数据,全球组合式 X 射线源行业的市场规模按销售额计算,已从 2017 年的 17.5 亿美元增加到 2021 年的 23.9 亿美元,年复合增长率为 8.1%,预计 2030 年将增加到 74.1 亿美元,2022 年至 2030 年的年复合增长率为 14.3%。

2017-2030 年全球组合式 X 射线源行业市场规模(按销售金额计算)



数据来源:弗若斯特沙利文

(1.4)硅基微显示背板行业发展概况

硅基 OLED 微显示屏凭借高分辨率、高对比度、广视场角、低能耗等诸多性能优势以及良好的可量产性已逐渐成为 AI 眼镜、VR 头显、无人机 FPV 等智能终端设备的主要显示方案。根据弗若斯特沙利文报告,全球硅基 OLED 微显示屏销售额由 2020 年的 3.9 亿元人民币增长至 2024 年的 12.7 亿元人民币,年均复合增长率达 34.3%,2025 年开始预计将以 107.88%的年复合增长率在 2030 年达到 679.3 亿元人民币。

2019-2030 年硅基 OLED 微显示屏市场规模 /

数据来源:弗若斯特沙利文

硅基微显示背板为硅基 OLED 微显示屏核心生产原料,其市场空间及需求量也将随硅基 OLED 微显示屏的需求增加而快速提升。从价值量角度来看,硅基微显示背板价值量约为硅基 OLED 微显示屏的 30%左右,并且屏幕尺寸越大、集成功能越复杂,单片晶圆产出的微显示屏数量越少,背板的价值量越高。

(1.5)所属行业的基本特点

目前,在 X 线影像领域,全球各 X 线核心部件市场供给相对集中。数字化探测器行业,国外巨头主要包括万睿视、Trixell、滨松光子和 DT,本土企业主要包括公司和康众医疗;球管行业,全球巨头主要包括万睿视、Dunlee 和滨松光子,以及多使用自研自产的球管的海外主要 CT 设备商如 GE、西门子、飞利浦等;高压发生器行业,国外巨头包括 Spellman、CPI、EMD 和 Dunlee,以及多使用自研自产的高压发生器的海外主要 X 线影像设备品牌厂商如 GE、西门子、飞利浦等,本土企业主要包括公司和博思得。根据弗若斯特沙利文统计,在数字化 X 线探测器、球管、高压发生器领域,全球前五大供应商市场份额均在 50%左右,除数字化 X 线探测器外,其他 X 线核心部件领域均以海外厂商为主。以公司为代表的国内 X 线核心部件厂家,拥有较高的产品竞争力与完善的售后服务支持,同时具备各细分应用领域的产品和技术布局,凭借自主创新能力和本土化服务优势已打破或正在打破国外品牌的市场垄断。

在微显示领域,硅基微显示背板是硅基 OLED 微显示屏的核心材料,全球硅基 OLED 微显示屏主要供应商为视涯科技与索尼。目前硅基 OLED 微显示屏生产商生产所需的背板来源主要分为自产和外购两种模式。其中,采用自产模式的厂商以索尼为主,其余厂商主要采用外购模式,比如向台积电等晶圆代工厂采购。目前,国内外暂无规模化专业生产硅基 OLED 微显示背板特色工艺的工厂,硅基 OLED 微显示背板产品的生产主要由晶圆代工厂改造部分工艺后进行生产。同时,国内现具备规模产能的背板代工厂数量较有限,产品供给端集中的行业特征导致能够保障供应链安全稳定的背板供应商的选择较少。公司搭建的硅基 OLED 微显示背板特色工艺平台,在工艺制程、技术积累等方面契合视涯科技下游终端产品特定客户需求,特定客户在保障供应链安全稳定及自主可控的前提下,经综合评估最终指定公司为视涯科技背板供应商,由视涯科技向公司采购终端产品生产所需的硅基 OLED 微显示背板,公司通过与视涯科技及核心大客户建立深度的产能绑定与战略合作,已成功切入微显示背板赛道并实现业务卡位,未来有望凭借竞争优势进一步拓宽客户渠道,在微显示背板这一高壁垒细分市场中构筑护城河,并最终确立行业主导地位。

(1.6)所属行业的主要技术门槛

(1.6.1)数字化 X 线探测器主要技术门槛

公司主要生产的数字化 X 线探测器等核心部件是高科技产品的代表,属于高端装备制造行业,作为整机的核心部件,对整机的产品质量及性能起到决定作用。

数字化 X 线探测器研发周期通常较长,企业需经过多年的研发积累逐步形成核心技术及工艺,新进入者很难在短期掌握关键技术,生产出符合市场需求的产品。进入行业的主要技术壁垒如下:

① TFT SENSOR 的设计难

TFT SENSOR 为采用非晶硅、IGZO 及柔性基板技术路线的数字化 X 线探测器的核心部件,主要通过 TFT-LCD 的显示面板产线进行生产。但 TFT SENSOR 在设计上与 TFT-LCD 存在很大差异,且对 TFT 器件的要求远高于 TFT-LCD。

TFT SENSOR 需要装有 PIN 结构的光电二极管,该光电二极管的反向漏电流要求保持在 10-15 安培左右,以降低散弹噪声及漏电流对有效信号的影响,同时光电转换效率需要达到 65%以上,以提高图像质量和降低 X 线剂量,而 TFT-LCD 并不需要 PIN 结构的光电二极管;TFT SENSOR 保持像素信号时需要关态电流足够小,TFT-LCD 关态电流一般要求为 10-12 安培,而 TFT SENSOR 要求为 10-14 安培;TFT SENSOR 读取像素信号需要开态电阻足够低,阻值要求小于 TFT-LCD 的 2-5 倍。

国外厂商在 TFT SENSOR 上的技术发展多年,并曾对国内形成垄断。新进入者需要体系化完善相关设计技术,并研发设计数字化 X 线探测器所需要的多层掩膜版,并最终完成量产级别产品的设计。

② TFT SENSOR 的量产难

TFT SENSOR 的量产不仅需要由内厂商具有自主知识产权,还需要业内厂商与面板厂通力配合,在满足传感器设计要求的前提下结合生产工艺不断进行调试。TFT SENSOR 需要 10 道左右的光罩才能完成,而 TFT-LCD 一般只需要 5 道左右,量产过程中产品良率控制难度较大。同时,面板厂主要聚焦于基于 TFT-LCD 工艺的显示面板的研发、生产和销售,产品大多涉及手机、笔记本电脑、电视等消费电子类产品,缺乏聚焦医疗产品的研发工艺团队。因此,全球范围内同时具有 TFT SENSOR 自主知识产权、并完善 TFT SENSOR 的供应链,使之具备量产能力的厂商数量非常有限。

③ CMOS SENSOR 设计难

可见光 CMOS 图像传感器是为弱光环境设计的,其噪声低增益高,为提高强光环境下的动态范围,通常采用多帧采集或者大小像素的 HDR 模式,而 X 线探测器使用的 CMOS 图像传感器需要单帧就能覆盖高亮和低暗的大动态范围,满阱电子需要从常规的 1-2Me 提升至 20Me,设计难度较高。同时,将高精度 16bit 的高速 ADC 集成在 CMOS SENSOR 上,并保证低功耗高线性度,对设计具有一定挑战性。此外,X 线的能量在 40keV-450keV,会对 CMOS 中的 Active Pixel 放大器和光电二极管形成辐照损伤,引起漏电流大幅增加等问题,需要特殊的辐射加固技术以减少 CMOS SENSOR 受到的 X 线辐射损伤。

④ CMOS 拼接技术难

消费电子使用的可见光 CMOS 图像传感器芯片尺寸通常在 26mm*36mm 以下,需要将整片晶圆切割成多个晶粒使用。而大尺寸 CMOS 探测器则相反,目前常见的晶圆有 6 寸、8 寸、12 寸,而大尺寸 CMOS 探测器感光面积远大于单片晶圆,需要通过特殊的曝光拼接工艺和特殊的叠层设计,将多个切割好的晶粒进行拼接。对于更大尺寸(如 1417 或 1717)的探测器,甚至要对晶粒做三边拼接,拼接缝精度需要精准控制在 1 个像素,精度过大会引起图像拉伸,过小则会引起图像压缩,在此基础上还需保证平整度。因此,将小尺寸的 CMOS 图像传感器拼接成大面积的 X 线探测器的技术难度较大。

⑤ 闪烁体的量产难

闪烁体是将 X 光转换为可见光的关键材料,闪烁体原材料性能和闪烁体制备工艺对光转化率、余辉、空间分辨率等性能有着至关重要的影响,闪烁体生产工艺门槛较高,且量产良率控制难度较大。因此,大部分业内厂商通过外购方式获取闪烁体,自建闪烁体镀膜及封装产线的厂家数量较为有限。同时,闪烁体生产所需要的镀膜设备和封装设备均是定制设备,无成熟的商业标准产品,新进入者需与设备公司合作研发,不断迭代工艺技术,并最终使镀膜和封装技术达到可量产程度。

⑥ 多学科交叉运用及影像链集成要求高

数字化 X 线探测器行业作为将精密机械制造业与材料工程、电子信息技术和现代医学影像等技术相结合的高新技术行业,综合了物理学、电子学、材料学和临床医学、软件学等多种学科,与传统制造业相比具有更高的技术含量。同时,数字化 X 线探测器的影像链要求原始影像满足多种指标,且最终输出图像可完美校正自身各种物理伪影,对从探测器设计到系统软件的编程整个影像链集成要求极高。新进入者需要系统性的构建研发、中试和验证体系,基于长时间的研发和生产实践,积累相关专利技术和技术诀窍。

(1.6.2)高压发生器及组合式射线源主要技术门槛

高压发生器及组合式射线源是 X 射线系统中应用功能最复杂涉及技术领域最广的子系统。产品设计制造需要企业同时具有深厚的行业专有技术和特种工艺长期积累以及强大的融合当代最新电力电子技术和新材料技术的研发实力、研发和生产制造特殊专业人才团队和基础设施的长期建设、行业技术标准和市场准入门槛使得新进入者难以快速掌握关键技术和工艺并被业内领军系统企业客户所接受。主要技术壁垒如下:

① 特种高压电子设计技术和制造工艺难

用于 X 射线高压发生器和组合式射线源的特种高压绝缘设计与工艺、低成本真空密封设计与工艺、高压加载工况的复杂电磁兼容设计技术都属于需要系统性长周期试错积累以及高强度持续投入,才有可能掌握关键核心技术和工艺诀窍,打破国外少数行业巨头的技术垄断。

② 跨行业融合当代电力电子技术最新科技成果难

当代最新电力电子技术是与半导体技术快速发展同步的,半导体技术的细分领域功率半导体器件 IGBT、MOSFET、SiC 的最先进技术工艺仍然由国际巨头垄断,国产企业刚刚起步,研发高端 X 线影像所需的高压电源产品面临带动上游功率半导体器件选择最优技术路线打破国外垄断的艰巨挑战,需要有本行业和跨行业的深厚技术积累和对科技发展趋势的准确把握;同时与先进功率半导体器件相配套的特种电源电力电子电路设计需要具有高频模拟/数字电路、嵌入式控制算法与软件设计丰富经验的研发人才系统化高效协同合作;不具备跨学科领域的人才和技术储备积累、不具备强大技术管理和研发投入实力的企业很难越过这个门槛。

③ 相关负载 X 射线管的应用技术难

高压发生器组合式射线源的设计必须要基于对 X 射线管技术及其在不同影像系统应用技术场景的深刻理解,结合热物理分析、有限元分析、球管阳极热容量跟踪管理、球管灯丝控制及保护技术、加载到 X 射线管上的高压精度、稳定性、纹波,射线源焦点位置、焦点尺寸控制调整,直至高压输出建立时间关断时间的控制,各项关键性能指标和产品可靠性都对 X 线影像系统最终的图像质量影响极大。新进入者很难快速完成上述多学科跨领域的高技术人才、技术、工艺和相关供应链的综合能力积累。

(1.6.3)球管主要技术门槛

球管是 X 射线系统、荧光光谱仪等仪器设备的核心器件,X 线球管的质量和性能在很大程度上决定了整个设备的成像质量、稳定性及安全性,且研发周期较长,不仅需要深厚的物理学、材料科学、真空电子学和精密工程技术基础,还要求企业具备持续的技术创新能力和严格的质量控制体系。因此,企业必须经过多年的技术研发和市场经验积累,逐步形成自己的核心技术和独特的生产工艺。目前进入该行业的主要技术壁垒如下:

① 球管产品设计难

球管产品涉及核物理、电磁仿真、材料科学、真空科学、精细加工等多学科交叉,技术壁垒非常高,对设计人员,需具备多个门类的科学知识,能够融会贯通,并掌握 X 射线产生机理及应用、零件加工所涉及的工艺方法、部件装配焊接所涉及的材料及工艺、产品在制造过程中真空的获取与维持;同时在产品开发时,还需利用绘图软件生成二维、三维模型,再结合热学、力学、电磁学等仿真软件多方面开展模拟计算,保证产品开发可靠性。同时,根据不同使用环境,对于球管产品本身的设计要求多而复杂:焦点尺寸达到纳米级满足工业 CT 细致无损检测,靶盘采用大热容满足高功率参数运行,轴承采用液态金属满足高效率散热,陶瓷采用特殊处理满足高耐压抗打火要求等,同时还涉及高低温试验、振动试验、寿命试验、灯丝通断试验等一系列可靠性验证,X 射线管在不同领域呈现差异化较大,产品在满足技术要求设计前提下,需考虑材料选择、散热结构、工艺处理等多方面因素,因此在产品设计上较为复杂,难度高。

② 球管产品工艺与真空度获得难

线管在研制及生产过程中涉及的工艺多而复杂,涉及表面处理、真空钎焊、激光焊、氢弧焊、部件装配、真空排气、高压老炼与测试等;同时还涉及多种金属和陶瓷材料:无氧铜、镍铜合金、不锈钢、钨铼合金、铍片、氧化铝、氧化锆、氧化铍、聚四氟乙烯、钼组玻璃等,任何工艺处理不当或材料选用不妥都会影响产品可靠性。

同时,X 射线管为真空器件,工作时对管内真空环境要求苛刻,且工作电压高,此类产品失效模式为打火、击穿、漏气等,因此对于工序环境及装配细节要求较高,在作业时需注意管内多余物的控制,除了对关键零部件在体式显微镜下检查外,电阻焊、激光焊等特种工艺处理后还需将多余炸点去除,防止后期测试环节管内打火,因此对作业环境和装配细节要求较高。为保证在高电场强下,产品能够正常工作,零件的处理和部件焊接同样是关键环节,根据需求选择合适的表面处理工艺和部件焊接工艺,大部分部件焊接还涉及气密性要求。

球管真空度通过排气工艺获得,在此过程中通过将管芯温度缓慢上升至 500℃甚至更高,使得内部金属材料膨胀出现放气,再通过真空泵将管内气体排除,在此过程中还需对热丝、阴极进行加电处理,以使产品正常工作时电子发射处于最佳状态,而往往在真空获得过程中,由于产品体积、排气管口径、选用材料等因素影响,排气工艺需经过长期且多轮优化改进,排气工艺设置不合理则会导致管内真空度差,易发生打火甚至击穿现象,此外若零件材料存在瑕疵开裂、金属陶瓷结构存在焊接质量、管芯内部存在死空间、管芯内部存在放气材料、封离口处未处理好等因素,均会导致产品真空度差、漏气等异常情况,因此真空度的获得与产品设计、工艺手段、过程控制均息息相关。

③ 球管产品量产难

球管产品整体工艺复杂、工艺链条长、制作周期长、设计要求高、测试标准高,量产过程中需各项工艺保持非常高的成功率,对于整体产线的合理布局与设计变得非常困难,同时现阶段内无法完全实现全自动化流程,大部分部件装配仍依靠手工完成,且零部件尺寸较小,必须进行精密装配,因