

VRAR 性能提升落地加速，关注硬件供应链迭代机遇

—— VRAR 行业深度研究系列报告（硬件篇）

要点

当前时点研究 VR/AR 硬件市场具备投资价值：1) 元宇宙初期，VR/AR 硬件作为载体和入口将率先发力；2) 未来三年，VR 处于硬件性能迭代期，AR 因零部件技术取得突破有望逐渐落地，细分行业增长明确；3) VR/AR 作为下一代智能终端，长期有望替代现有硬件和渗透各应用场景，市场潜力可期。

长期看好 VR/AR 硬件替代空间，预判发展阶段以挖掘投资机会。1) VR/AR 长期将渗透各场景，VR 定位媒介载体，对应 C 端泛娱乐为主的沉浸场景，有望渗透上亿级别出货量的休闲硬件；AR 定位生产工具，应用广泛，长期有望取代智能手机成为下一代计算平台，出货量上限或高达十亿级。2) VR/AR 落地进程上存在差异，2022-25 年期间，VR 步入性能迭代期，催生硬件投资机会，零部件技术路径选择成关键；AR 尚未产品定义，光波导等技术研发加速，2025 年重磅产品发布后 AR 有望开启 C 端渗透，近三年关注核心零部件发展水平。

市场空间：全球 VR 头显出货量 2026 年有望超 4000 万台，AR 眼镜 2025 年后迎来高增。中短期 3-4 年内，VR 头显受新品刺激和性能升级逻辑的驱动，预计 2023 年和 2026 年出货量相继突破 1500 万台和 4000 万台；AR 眼镜暂限于 B 端，3 年内预计出货 100-200 万台，2025 年后有望作为手机配件崛起。

VR 性能迭代和 AR 商用落地驱动上游零部件技术迭代。VR 围绕更强沉浸和交互体验升级，AR 除光学外可复用 VR 前沿技术，但面临轻量化限制。核心零部件整体迭代路径和终局技术清晰：1) 光学上，VR 和 AR 分别向超短焦和光波导升级；2) Micro LED 为终极显示方案，Micro OLED 和 LCOS 分别作为 VR 和 AR 过渡期方案；3) 芯片在算力和功耗的平衡中迭代，中短期自研定制趋势增强，未来或向云 XR 演进；4) 感知交互升级重心在于更丰富的功能，手势识别、眼动追踪等即将搭载上机。迭代技术多面临技术和量产制造瓶颈，当前尚未落地或仅为小批量产，推高成本。

围绕迭代技术梳理产业链，关注厂商的量产布局和研发实力。预判短中长期零部件技术选择，发掘相关优势公司，中短期内关注产线建设和客户订单情况，长期重视终极技术研发实力。**战略布局 VR/AR 领域的龙头公司具备先发优势：**1) 海外巨头 Meta、苹果等全产业链布局，引领全行业发展；2) 光学厂商舜宇、歌尔等，显示龙头京东方、TCL 科技等和芯片龙头高通等凭借丰富经验，紧跟各零部件迭代趋势，有望收获 VR/AR 出货量红利；3) 惠及零部件上游，LED 芯片厂商三安光电、偏振片厂商三利谱和传感器厂商欧菲光等受益。

投资建议：1) 中短期，关注新品发布和体验升级下增长明确的 VR 硬件；2) 长期，更具市场潜力的 AR 逐步渗透，VR 若应用破圈将抬高出货上限；3) 整体来看，中短期持续关注零部件研发进度和整机性能水平，长期看好 VR/AR 在元宇宙时代的渗透替代逻辑，首次覆盖，给予 VR/AR 行业“买入”评级。

重点推荐：舜宇光学科技。关注：苹果、Meta、谷歌、微软、高通、歌尔股份、三利谱、苏大维格、京东方 A、TCL 科技、长信科技、三安光电、欧菲光

风险分析：VR/AR 设备及技术迭代进度不及预期，VR/AR 下游应用拓展不及预期，国内政策监管。

重点公司盈利预测与估值简表

证券代码	公司名称	收盘价(股 价货币)	EPS (财报货币)			PE (X)			投资评级
			2021	2022E	2023E	2021	2022E	2023E	
META.O	Meta	96.47	14.65	10.12	11.19	7	10	9	中性(维持)
2382.HK	舜宇光学科技	86.50	4.63	2.84	3.82	17	28	21	买入(维持)

资料来源：Wind, Bloomberg, 光大证券研究所预测，股价截止 2022-11-08

注：舜宇光学科技股价单位为港元、eps 单位为人民币元；Meta 股价和 eps 单位均为美元；汇率 1 港币=0.9233 人民币

海外 TMT 行业
买入（维持）

VR/AR 行业
买入（首次）

作者

分析师：付天姿

执业证书编号：S0930517040002

021-52523692

futz@ebsecn.com

联系人：王贇

yunwang@ebsecn.com

联系人：赵越

zhaoyue1@ebsecn.com

投资聚焦

2021 年元宇宙“元年”带动载体 VR/AR 重回风口，看好作为下一代智能终端的长期增长逻辑。终端层面，Meta、苹果、索尼等新品迭出，Pico、创维等国内公司积极布局催生国产化趋势，龙头动向激发市场对 VR/AR 及其零部件产业链的投资热情；零部件层面，技术进步是核心驱动力，VR 头显因体验升级有望加速放量，光波导等 AR 关键技术量产取得进展，促进 AR 眼镜商业落地进程。

我们和市场的差异化观点

- 1) 市场规模方面：市场担心 VR/AR 出货量可能不及预期。我们由智能手机发展历程类推 VR/AR，对比硬件技术、内容应用和生态构建，推断 VR 和 AR 分别处于硬件性能迭代期和发展初期（尚未产品定义），预估出货规模和放量时点。短期，相对于市场的悲观预期，我们看好 Pico、索尼 2023 年的 VR 产品放量，同 Meta 共同助力 VR 头显出货量维持较高增速；中期，考虑巨头研发推动产品迭代、硬件提升逐步落地、内容生态不断完善，我们认为 3 年内 VR/AR 出货量增长驱动力依然强劲，有望在 25 年后实现更大规模出货；长期，通过应用场景渗透和替代现有消费电子产品的测算逻辑，判断 VR/AR 终局市场规模尚具潜力。VR/AR 仍是消费电子中的黄金赛道，相关厂商与零部件供应商将持续受益。
- 2) 产业链方面：市场较为缺少对零部件技术方案选择的推演预判。我们细致拆解 VR/AR 设备，根据价值和重要性将零部件分成光学、显示、芯片和感知交互四类；综合分析性能参数和制造难度，预判各零部件技术演变路径以及具体迭代时点；并更进一步将技术方案与应用场景的需求相联系，前瞻性判断各技术路径的设备搭载情况（如 B/C 端、低/中/高档）。
- 3) 重点公司方面：围绕四类零部件的迭代方向梳理全产业链，在转型禀赋、研发进度、产线建设和客户订单等维度综合对比各厂商实力，重点挖掘 VR/AR 硬件设备及其上游供应链的众多受益公司，推荐舜宇光学科技等。

股价上涨的催化因素

- 1) 23 年前后 VR 硬件厂商新品陆续发布，25 年前后 AR 新品有望推出。Meta、苹果、索尼、Pico 等重磅产品密集发布，有望刺激 VR/AR 硬件加速放量。
- 2) 光学、显示等零部件和交互等技术模块取得进展，技术性能和落地量产持续突破。一方面，硬件技术带动产品体验升级，助力 VR/AR 设备长期稳健增长；另一方面，技术升级驱动零部件价格上涨，提升 VR/AR 及其供应链的市场规模。
- 3) 互联网厂商逐渐重视内容建设，有望建立 VR/AR 硬件和内容的良性循环。硬件体验升级帮助拓展应用场景和内容空间，内容改善同时提升硬件需求，VR/AR 生态建设逐步完善，有望进一步扩张市场规模。

投资观点

整体看好元宇宙时期 VR/AR 替换和渗透逻辑，预判出货量仍有较大增长空间。中短期，因技术受限 AR 难以 C 端渗透，应关注增长确定性较高的 VR 硬件，并持续追踪 AR 光波导技术进展；长期，AR 有望 C 端商业落地，较大市场发展潜力驱动 AR 出货量高速增长，VR 出货量有望因内容生态建立继续突破。首次覆盖给予 VR/AR 行业“买入”评级。

推荐：舜宇光学科技：光学龙头，光学零部件全面布局，拥有 Meta Quest Pro 等订单，且客户潜力仍待发掘；关注：海外科技巨头：苹果、Meta、谷歌、微软、高通；国产 VR/AR 产业链：歌尔股份、三利谱、苏大维格、京东方 A、TCL 科技、长信科技、三安光电、欧菲光。

目 录

1、 纵观 VR/AR 前景：VR 性能迭代放量加速，AR 蕴藏潜力蓄势待发	8
2、 VR：硬件基本成熟，零部件技术方案迭代加快头显放量	11
2.1、 产业链与相关公司梳理	12
2.2、 VR 现状：硬件、应用和资本共同发力，看好 VR 行业维持较快发展	15
2.2.1、 硬件：形态和技术路径统一，尚存优化空间激发市场潜力	16
2.2.2、 应用：VR 游戏已进入良性循环，积极激发新媒体需求	19
2.2.3、 巨头布局进行产业链延伸，软硬件协同发展打造良性生态	20
2.3、 光学：超短焦基本成熟，厂商布局加速量产制造	22
2.3.1、 超短焦方案性能优越，量产制造暂存掣肘	23
2.3.2、 技术预判：短期两方案共存，中长期超短焦逐步取代路径已明晰	25
2.3.3、 公司梳理：重点布局超短焦，制造和偏振片成为竞争关键	25
2.4、 显示：Fast LCD 先行、Micro OLED 过渡，Micro LED 有望 25 年铺开	26
2.4.1、 Fast LCD 助力 C 端渗透，但显示性能存在很大提升空间	27
2.4.2、 过渡期新技术已量产，Micro OLED 因显示优越最受期待	28
2.4.3、 Micro LED 全面优越，量产突破后有望成为现实终极技术	30
2.4.4、 公司梳理：龙头布局全面，部分公司深耕特有新技术领域	30
2.5、 芯片：算力与交互是关键，高通迭代&厂商自研并进	33
2.5.1、 竞争格局预判：VR 龙头品牌自研入局，国产趋势有望在后期出现	33
2.5.2、 手机芯片巨头高通技术优势突出，多年深度布局 XR 芯片	35
2.5.3、 VR 整机龙头战略意识强，Meta 和苹果布局自研芯片	37
2.5.4、 国产芯片尚未针对 VR 重点布局，展望中长期国产化发展前景	38
2.6、 感知交互：技术繁多，巨头推动手势识别、眼动追踪等前沿技术逐步落地	40
2.6.1、 公司梳理：感知交互细分领域多，科技巨头作为核心厂家推进发展	41
2.6.2、 追踪定位 inside-out 方案成主流，头手 6DoF 成熟商用	41
2.6.3、 手部交互兼顾动作捕捉和触觉反馈，裸手+控制器方案预计共存互补	43
2.6.4、 眼动追踪提升视觉和交互表现，将成为待出 VR 新标配	46
2.6.5、 声音交互方面，语音输入成熟，沉浸声场效果仍需提升	48
3、 AR：光波导开始量产，AR 蓄势待发	49
3.1、 产业链与相关公司梳理	50
3.2、 AR 现状：应用潜力广阔，技术与商业落地远落后于 VR	54
3.2.1、 应用：AR 定位新生产力工具，B 端需求相对明确，C 端高价值应用待开发	54
3.2.2、 硬件：AR 眼镜 C 端渗透率低，2025 年有望完成产品定义	55
3.3、 光学：光波导发展趋势清晰，三大技术路径持续技术迭代和制造精进	58
3.3.1、 光波导解决视场角和轻薄矛盾，成 C 端渗透关键	58
3.3.2、 技术性能：阵列光波导显示效果突出，体全息具备潜力	60
3.3.3、 量产：表面浮雕或为中短期出货主力，最优方案体全息仍受材料掣肘	63
3.3.4、 技术选择：中短期阵列和表面浮雕共存，长期体全息成为主流之选	66
3.3.5、 公司梳理：国内公司凭借光学技术积累和制造优势切入阵列和表面浮雕	66
3.4、 显示：显示方案选择与光学深度绑定，理想屏幕 Micro LED 成布局热点	68
3.4.1、 VR 驱动 Micro OLED 产业链建立，成为自由曲面和 BirdBath AR 标配显示屏	69
3.4.2、 光波导搭配显示屏由 LCOS/DLP 转向终极 Micro LED	69
3.4.3、 Micro LED 乘 C 端 AR 崛起之风，相关厂商收割红利	71
3.5、 芯片：低要求下多元芯片选择和国产化机会，AR 云发展助力 AR 一体机远景	72
3.5.1、 高通骁龙 XR 是主力芯片，物联网芯片、国产芯片等其他芯片方案仍存	72
3.5.2、 定制芯片与云 AR 双路径发展，云 AR 或成终极方案	73
3.6、 感知交互：复用 VR 交互，但需优化算法和传感器以应对 AR 轻薄化硬件限制	74
4、 重点公司分析	76
5、 风险提示	86

图目录

图 1: 复盘智能手机发展, 硬件是变革早期驱动力, 并预判 VR/AR 发展阶段和发展路径	8
图 2: 2018-2026 年 VR 全球出货量及预测.....	10
图 3: 梳理汇总 VR 硬件的当前技术瓶颈和未来技术预判	12
图 4: VR 一体机的零部件组成和价值占比.....	12
图 5: VR 图像显示原理示意图, 光学模组和显示屏为核心	13
图 6: VR 整机设计应兼顾沉浸感、交互性、舒适性和经济性.....	13
图 7: 产业链成熟, 帮助 VR 头显价格逐渐降低.....	17
图 8: VR 头显搭载更多传感器, 感知交互向丰富多元趋势演进	17
图 9: VR 整机设备性能指标达到“部分沉浸”要求	18
图 10: 《半衰期:爱莉克斯》拉动 Steam 平台活跃 VR 用户占比.....	20
图 11: 各平台 VR 游戏内容丰富度提升.....	20
图 12: 垂直视角 (A) 和水平视角 (B) 示意图	23
图 13: 枕形畸变 Pincushion 和桶形畸变 Barrel 示意图.....	23
图 14: 超短焦折叠过程会损耗光路, 光学效率理论最高值 25%	24
图 15: 像素密度提升帮助改善纱窗效应.....	26
图 16: 高刷新率帮助画面流畅	26
图 17: AMOLED 相比 Fast LCD 填充系数低, 纱窗效应明显.....	27
图 18: Fast LCD 屏幕结构示意图	27
图 19: Mini LED 屏幕结构示意图.....	28
图 20: 为更佳色彩效果, QLED 在 Mini LED 基础上改良.....	28
图 21: Micro OLED 屏幕结构示意图	29
图 22: Micro OLED 像素尺寸缩小至原有的 1/10.....	29
图 23: Micro LED 屏幕结构示意图.....	30
图 24: Micro LED 制造中的巨量转移过程挑战重重	30
图 25: 22Q1 手机芯片厂商布局。高通定位中高端, 联发科和 UNISOC 中低端; 苹果、华为和三星自研芯片.....	34
图 26: 骁龙 XR2 和骁龙 835 性能参数对比	36
图 27: 骁龙 XR2 搭载功能更丰富.....	36
图 28: 高通邀请企业 AR/VR 解决方案提供商加入 Qualcomm XR 企业计划	37
图 29: 苹果 M1 芯片性能强大, 跑分结果为高通骁龙 865 的 2.6 倍.....	38
图 30: 瑞芯微发布 AIoT 芯片 RK3588, 适用于 VR/AR.....	39
图 31: 全志科技发布 VR9 芯片解决方案.....	39
图 32: VR 感知交互过程示意图, 需传感器、芯片和算法等多方共同参与.....	40
图 33: outside-in 定位追踪原理示意图, 需外置基站.....	42
图 34: inside-out 定位追踪原理示意图, 多种传感器融合定位	42
图 35: 6DoF 实现“三维转动 三维平移”	43
图 36: 当前 VR 全身动捕布局较少, 内容应用多忽略腿部动作.....	43
图 37: 手势识别原理是通过摄像头捕捉手部骨架关键点, 使用算法判断手部姿态	44
图 38: Meta 手部追踪 2.0 追踪连续性加强, 移动丢失率降低	44

图 39: Meta 手部追踪 2.0 在手部遮挡时, 识别效果提升	44
图 40: VR 手柄向独立 6DoF 方向发展, 自带摄像头	45
图 41: 微软 VR 手柄通过控制各模块力度, 模拟抓握物体触感	45
图 42: 触觉手套上遍布上百个执行器捕捉信息和传递触觉	45
图 43: 佩戴肌电手环可进行打字操作, 动作捕捉性能优秀	46
图 44: 苹果发布最新肌电手环相关专利	46
图 45: 眼动追踪应用领域广泛, 成为核心交互技术	47
图 46: 眼动追踪采用“角膜反射法+红外相机阵列+算法矫正”技术方案	47
图 47: 常规耳机声道(左图)和沉浸声场(右图)的对比	49
图 48: 梳理汇总 AR 硬件的当前技术瓶颈和未来技术预判	49
图 49: AR 头显的零部件组成和价值占比	50
图 50: AR 图像显示原理示意图, 光学模组将显示屏光线反射、衍射入眼	50
图 51: AR 在 C 端的应用案例展示	55
图 52: 2016-2023 年 AR 头显全球出货量及预测	57
图 53: 自由曲面方案原理示意图	59
图 54: BirdBath 方案原理示意图	59
图 55: 光波导方案原理示意图	60
图 56: 光波导不受视场角和体积的平衡限制, 成为未来主流	60
图 57: 光波导方案存在多种技术路径	60
图 58: 锯齿光波导原理示意图	61
图 59: 列阵光波导原理示意图	61
图 60: 一维衍射光栅(左)与二维衍射光栅(右)结构示意图	62
图 61: 利用转折光栅(左)和二维光栅(右)实现二维扩瞳	62
图 62: 单层衍射光栅导致色彩不均, 需采用三层光栅叠合	63
图 63: 衍射光波导因对色彩有选择作用, 导致色散现象严重	63
图 64: 表面浮雕光波导原理示意图	63
图 65: 体全息光波导原理示意图	63
图 66: 阵列光波导加工流程示意图, 镀膜和胶合	64
图 67: 表面浮雕光栅的制造流程, 复用光刻、刻蚀、纳米压印等半导体工艺	65
图 68: 体全息光栅工艺流程示意图, 无需制备母版	65
图 69: LCOS 是 LCD (液晶) 与 CMOS (硅片) 的有机结合	70
图 70: DLP 核心为 DMD 芯片, 广泛应用于投影设备	70
图 71: JBD 单红色 Micro LED 实现量产突破, 全彩宣布研发	71
图 72: Micro LED 尚未规模量产, OPPO Air Glass 限量发售	71
图 73: 歌尔与高通合作, 发布 AR 参考设计	73
图 74: Rokid 携手安谋科技, 定制高集成、高性能、强交互、低功耗、小体积的 AR 定制芯片	73
图 75: Magic Leap 2 搭载 18 个传感器, 其中含 9 个摄像头	75
图 76: 三星 AR 眼镜镜腿处配备触控屏, 支持触点、滑动操作	75
图 77: 微软 HoloLens 2 仅可识别几个特定手势, 对 AR 眼镜进行对应操作	75
图 78: SLAM 捕捉 3D 特征点(点云)越多, 渲染效果越真实	76

表目录

表 1: 虚拟现实 (VR) 和增强现实 (AR) 行业发展情况对比总表.....	9
表 2: 长期内容生态建立后, VR 硬件出货量空间有望超亿台.....	11
表 3: VR 硬件产业链与重点公司梳理.....	13
表 4: VR 硬件产业链的重点公司汇总表.....	14
表 5: 近期发布的热门 VR 头显性能参数汇总, VR 头显形态、功能和技术方案趋于统一.....	16
表 6: 近期发布或待出的重点 VR 头显性能参数整理.....	19
表 7: VR 的应用场景梳理.....	20
表 8: 苹果 iPhone 连点成线完善生态布局 (部分).....	21
表 9: 巨头在 VR 产业链的布局.....	22
表 10: VR 光学模组中, 菲涅尔透镜和超短焦的方案对比.....	23
表 11: 超短焦方案大幅减少头显厚度、重量和体积.....	24
表 12: VR 光学方案菲涅尔透镜和超短焦的参数对比.....	25
表 13: VR 光学相关重点公司的研发水平和制造情况.....	26
表 14: 四类显示技术对比, Micro OLED 和 Micro LED 性能优越.....	29
表 15: VR 微显示屏相关公司的研发和量产情况 (部分).....	32
表 16: 部分芯片厂商推出 VR/AR 适配芯片.....	34
表 17: 2021 年新发布 VR 头显芯片, 高通成为主流选择.....	35
表 18: 高通芯片持续迭代, 算力和编解码能力持续爬坡, 交互功能日益丰富.....	36
表 19: 国产 VR 芯片与高通骁龙 XR2 的性能参数对比, 差距明显.....	39
表 20: 交互感知技术琐碎复杂, 海内外科技巨头积极布局各细分赛道.....	41
表 21: 定位追踪方案与相应技术路径梳理与对比.....	42
表 22: 手部交互技术 (手势识别、手柄、触觉手套、肌电手环) 对比.....	46
表 23: 巨头在眼动追踪领域积极布局, 收购和自研动作活跃.....	48
表 24: AR 硬件产业链的重点公司汇总表.....	51
表 25: AR 硬件产业链的重点公司汇总表.....	52
表 26: AR 在 B 端的应用及案例.....	55
表 27: 近期 AR 眼镜产品参数梳理, 分体式、一体式形态共存, 技术路径和搭载功能各异.....	56
表 28: 巨头在 AR 领域积极战略布局, 针对核心光学和显示零部件表现活跃.....	57
表 29: 梳理 AR 光学方案, 光波导显示性能突出, 但受制造方面限制.....	58
表 30: AR 光波导各技术路径梳理, 阵列光波导显示效果优越, 衍射光波导眼动范围自由.....	61
表 31: 阵列、表面浮雕、体全息三类光波导的制造能力对比, 现阶段表面浮雕突出, 体全息理论值优秀.....	64
表 32: AR 光学中, 光波导相关重点公司的研发水平和制造情况.....	68
表 33: Micro OLED 成为 BirdBath 和自由曲面两种光学方案的标配显示屏.....	69
表 34: AR 显示方案性能梳理, 光波导搭配的显示屏将从 LCOS/DLP 向显示性能优越的 Micro LED 演进.....	71
表 35: 高通骁龙芯片承担主力, AR 眼镜尝试的芯片方案更加多元.....	72
表 36: 巨头在 AR 云领域积极布局.....	74
表 37: 感知交互技术发展迅猛、丰富多元, 但现阶段 AR 眼镜搭载功能相对局限.....	74
表 38: VR/AR 硬件行业重点公司梳理.....	77
表 39: VR/AR 硬件行业重点上市公司盈利预测及估值汇总表.....	80

表 40: Meta 盈利预测与估值简表.....	81
表 41: 舜宇光学科技盈利预测与估值简表	83

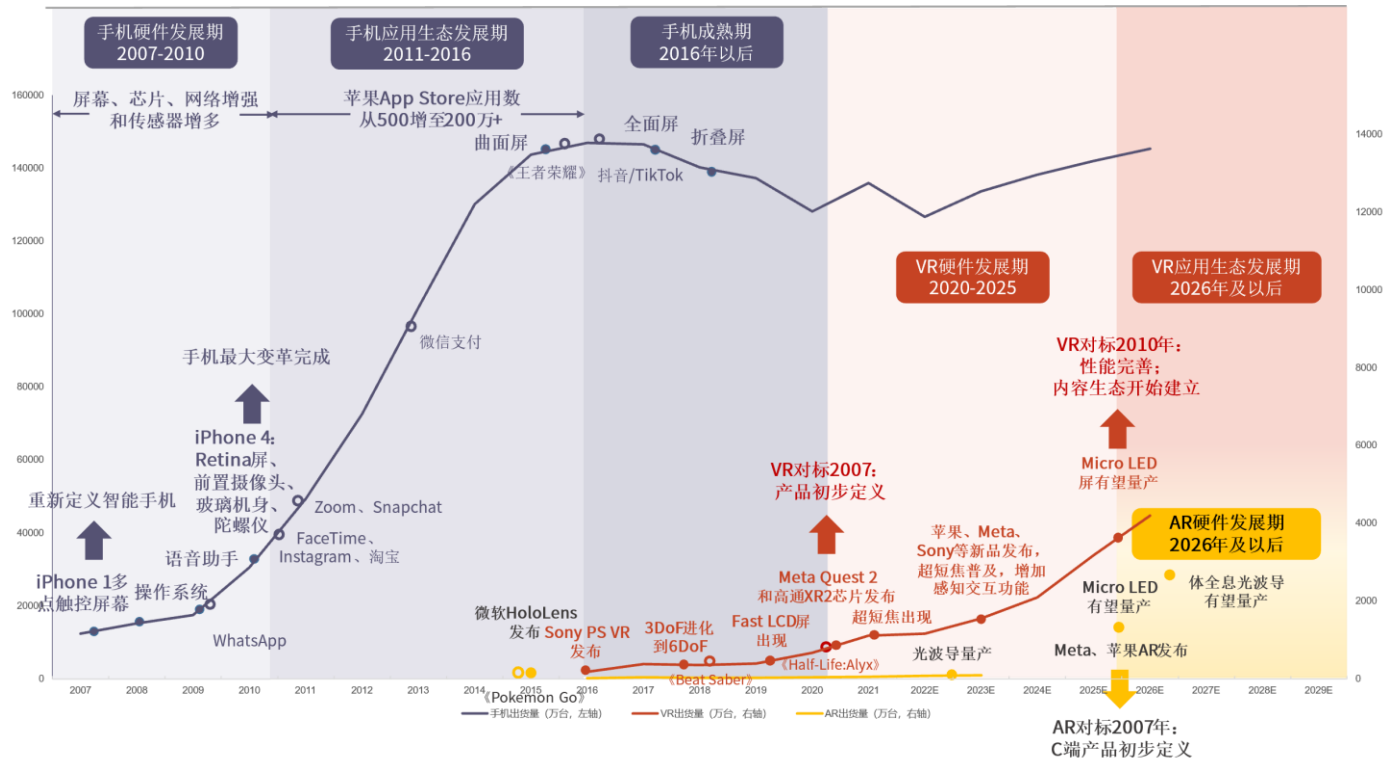
1、纵观 VR/AR 前景：VR 性能迭代放量加速，AR 蕴藏潜力蓄势待发

VR/AR 行业 2021 年以来重回风口，我们从 VR/AR 作为元宇宙入口领衔发力及 VR/AR 各有发展机会两方面，认为当前时间节点关注 VR/AR 具备重大意义：

巨头持续加码元宇宙，VR/AR 作为元宇宙第一流量入口，潜力值得关注。2021 年成“元宇宙元年”，大事件频出，市场关注度大幅提升。海外，“Facebook 更名为 Meta”、“微软收购暴雪”体现巨头深耕元宇宙硬件及内容的决心；国内，“字节跳动收购 Pico”有望开启国产 VR 一体机终端大规模推广的序幕。VR/AR 作为元宇宙时代信息的入口和载体，有机会成为下一代互联网的智能终端，抢先布局硬件具备战略意义。

硬件突破驱动应用需求产生，VR/AR 硬件将是元宇宙率先起势的领域。复盘智能手机的发展历程，其前期主要由硬件技术进步推动，设备性能提升和功能增加，才能给内容和应用的创新带来更多可能。2007 年 iPhone 1 多点触控屏幕帮助摆脱物理键限制，重新定义智能手机，移动游戏、视频等新兴应用开始逐步盛行。我们认为，只有 VR/AR 硬件出现并成熟，实现二维屏幕到三维空间的跃进，才能在此基础上开发游戏、社交、办公等多元应用和生态，开启元宇宙序幕。

图 1：复盘智能手机发展，硬件是变革早期驱动力，并预判 VR/AR 发展阶段和发展路径



资料来源：电子发烧友，IT之家，电科技，新浪财经，腾讯研究院，亿欧，手机出货数据来自 IDC 预测，VR 出货数据来自光大证券研究所预测，AR 出货数据由 VR 陀螺预测

表 1: 虚拟现实 (VR) 和增强现实 (AR) 行业发展情况对比总表

	虚拟现实 (VR)	增强现实 (AR)	混合现实 (MR)
呈现效果			
呈现方式	打造纯粹虚拟世界	生成虚拟信息叠加至真实场景； 强调虚拟和现实的融合	AR 2.0，虚拟与现实有机融合（虚拟人出现在现实物体后，被正确遮挡）
关键特性	沉浸性、交互性	虚实融合、轻量化	虚实融合、沉浸性、交互性
设备形态	高度封闭头显	光线穿透的非封闭设备，以眼镜等轻薄形式为主	-
应用场景	游戏、流媒体等泛社交娱乐场景，针对大段休闲时间，以 C 端为主	生产、信息传递等与现实相关的 B 端和 C 端场景，针对包含碎片时间在内的大部分时间	所有场景
产品定位	下一代媒介载体和流量入口	下一代生产力工具和计算平台	VR 和 AR 成熟后的融合设备
市场潜力	中短期替代游戏机等娱乐电子产品，销量有望 4000 万台+；长期通过测算应用场景，销量或达上亿级别	早期定位为手机配件，伴随手机出货； 10+年后一体式，有望取代手机实现十亿级出货	-
硬件发展阶段	基本成熟，C 端已渗透，重点在功能和性能迭代	未完成产品定义，C 端待渗透，零部件仍需突破	待 VR 和 AR 均成熟后
硬件重要节点	2023 年 Meta 和苹果新品发布，爆款和性能升级； 2025 年芯片、显示、交互等成熟，性能迭代完成	2025 年，光波导、显示等零部件成熟，Meta 和苹果 预期发布 AR，有望进行产品定义和 C 端渗透； 2032-2037 年，有望出现 AR 一体机，取代手机	-
目前局限	软件生态未完全建立，缺少需求	零部件（如光波导）不成熟，硬件初级尚未产品定义	-

资料来源：人民网，全景智慧城市，光大证券研究所整理

虚拟现实 (Virtual Reality, VR) 与增强现实 (Augmented Reality, AR) 均有望成为元宇宙入口，但存在诸多差异。

- 1) 应用：VR 强调虚拟沉浸，与现实世界隔绝，适用于大段休闲时间的泛娱乐和泛社交场景，如游戏、视频、直播、展览、教育培训等；AR 强调虚实融合和可移动性，可帮助解放双手，用于与现实相关的大多数场景，如工业生产、医疗、信息提示等；
- 2) 市场潜力：VR 因沉浸、交互特性定位为媒介载体，有望对游戏机、投影仪、电视等娱乐电子设备进行取代，进而渗透至健身、医疗、教育等场景进行辅助，我们预期长期出货量有望达 4000 万台到数亿台；AR 因连接现实应用更广泛，最终一体机形式有望取代手机成为新一代生产力工具，因此更具市场发展潜力；
- 3) 硬件：两者诸多技术互通，但 AR 光学系统更复杂，且轻量化要求与性能矛盾更大，尚待零部件迭代，目前苹果、Meta 等海外巨头皆尚未完成产品定义，仍处于硬件发展早期阶段；VR 发展基本成熟，目前聚焦硬件性能升级和软件生态建立。

我们认为，VR 和 AR 在当下各具发展机遇：VR 进入硬件性能爬升阶段；更具潜力的 AR 有望 2025 年完成 C 端的产品定义，开启 C 端渗透序幕。

- 1) VR：中短期（2022-2025 年）为 VR 硬件性能爬升期，VR 头显将增加多样化功能并增强性能以提升用户体验，2025 年有望达到硬件成熟期。

2020 年，Meta Quest 2 完成产品定义和 C 端渗透。此后，VR 硬件聚焦功能增多和性能升级，驱动上游零部件和技术模块迭代、采用新技术路径；

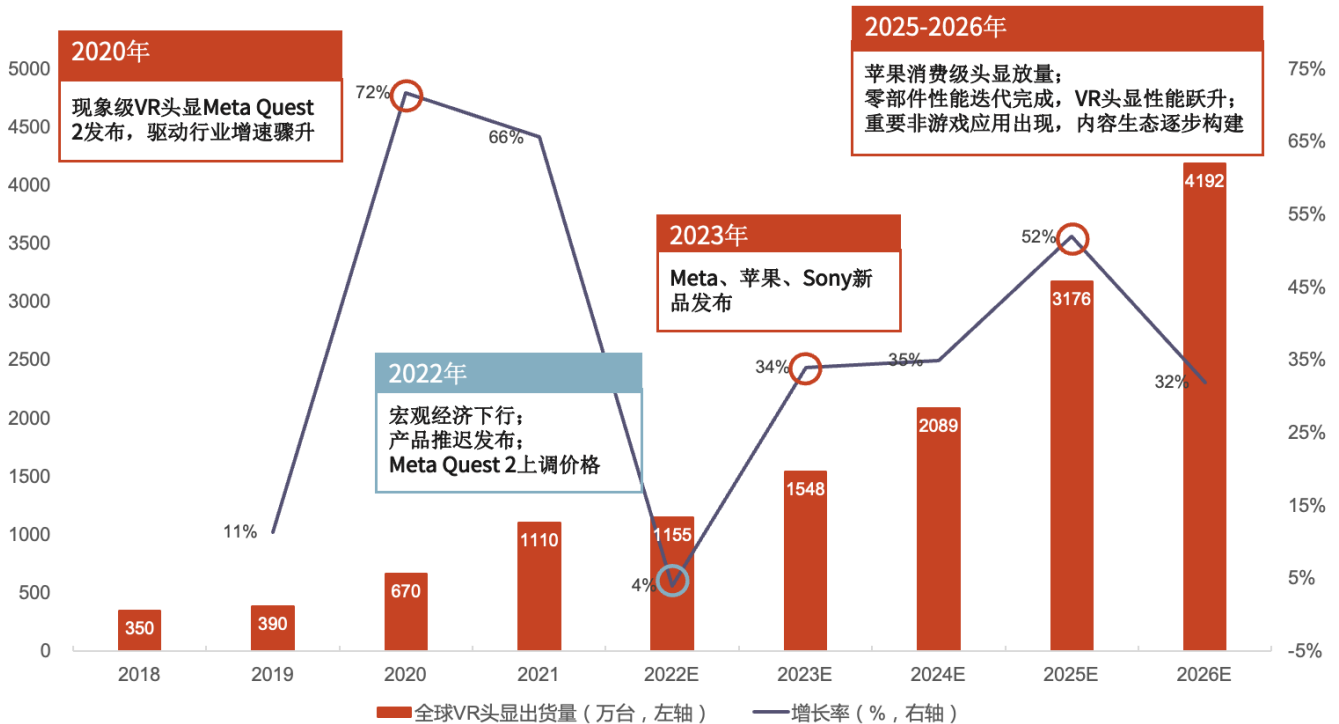
2022 年，受新品推迟发布和 Meta 上调价格等短期因素影响，出货增长暂缓；

我们预计，2023 年，随着 Meta、苹果、索尼等众多重磅 VR 头显的发布，市场有望再次活跃，推动全行业技术升级和出货量持续提升；

2025 年，随着 Micro LED 显示技术、更高性能 XR 芯片和重要感知交互功能等的成熟，VR 设备走向成熟，硬件性能迭代基本完成；

2025 年后，VR 发展重心转移至内容端，进入应用生态发展期，更多内容和场景的出现提升市场需求，出现下一增长拐点。

图 2：2018-2026 年 VR 全球出货量及预测



资料来源：IDC，VR 陀螺，光大证券研究所预测

根据上述各年的 VR 驱动因素，预测 VR 在中短期 3-4 年的出货量数据。VR 出货量整体增长趋势受硬件性能迭代、内容生态改善等因素推动，各年出货预测则参考待出新品数量、新品突破水平以及具体发售时间等因素。一方面预测增长率，参考 2020 年 Meta Quest 2 头显带动 VR 行业，给予多产品待出的 2023 年和 2025 年较高增速；另一方面统计各 VR 头显品牌当前销量和布局，分别预测各品牌未来出货水平。两个维度进行交叉验证和数据调整，得到 2022 年-2026 年中短期阶段相对合理的 VR 出货量预测。

VR：长期（2026 年后）有望对游戏机、电视机等当下的电子设备形成替代效应，出货量潜力空间或在上亿级。现阶段 VR 应用场景主要集中于游戏，也出现少量视频、直播应用。未来，VR 应用有望向社交、办公等领域拓展渗透，并为教育、医疗、工业设计等提供辅助支持。应用场景拓展驱动长期 VR 出货量进一步增长。

我们认为，未来 VR 头显将对游戏机、电视机等当前硬件设备进行替代，同时对相应的应用场景进行渗透。因此，针对各应用场景，我们参考游戏机、

电视机当前出货量，以及社交、健身、设计等应用的覆盖用户数量，结合设备使用年限（即换机频率），测算 VR 硬件的需求上限；参考 VR 头显当前渗透率和传统硬件设备渗透率水平，分别假设远期 VR 硬件对各行业应用的渗透率。通过详细测算，VR 出货量有潜力从 4-5 千万增长至上亿级。

表 2：长期内容生态建立后，VR 硬件出货量空间有望超亿台

	替代设备/应用场景基数	假设	预测长期渗透率	场景对应出货量
游戏	家用游戏机 2021 年全球出货量 4800 万台	-	60%+	3000+万台
视频与直播	电视机 2021 年全球出货量 2.1 亿台	-	50%+	10000+万台
社交	2022Q3 全球社交媒体用户突破 45 亿人	重度社交活跃用户占比 1/3	2%+	3000+万台
办公（虚拟会议）	全球视频会议室数量在 702 万间（增长中）	每间会议室可配备多台（暂估 2 台）VR 设备；设备使用年限为 3 年	40%+	180+万台
健身	2019 年全球付费健身用户 1.84 亿人（增长中）	设备使用年限为 3 年	10%+	600+万台
教育	2020 年中国多媒体教室数量为 429 万台	以中国人口比例推至全球应用，全球应有多媒体教室 2000+万间；假设每间教室 30 台设备；设备使用年限为 3 年	10%+	2000+万台
工业设计	全球全职设计师人数在 9000 万人	设备使用年限为 3 年	5%+	150+万台
医疗	全球医生数量在 1000 万人左右	设备使用年限为 3 年	20%+	70 万台

资料来源：Ampere Analysis, Hootsuite, 热点科技, Frost & Sullivan, 中国教育和科研计算机网, 艾媒网, 波士顿资讯, 维基网, VRPinea, 澎湃新闻, 金融界, 新浪 VR, 36 氪, 电科技, 钛媒体, 前瞻产业研究院, 光大证券研究所测算

2) 高移动性、解放双手，AR 具备相比 VR 更大的市场潜力。AR 具备虚实融合、赋能现实的特性，使其定位为未来的生产力工具和计算平台，可适用于大多数 B 端和 C 端场景；同时 AR 眼镜作为轻量化穿戴设备，具备移动性和解放双手作用。硬件发展初期预计将以手机配件形式发行，可类比 TWS 耳机和智能手表等可穿戴设备；未来一体机成熟后，将取代手机，拥有十亿级出货量的广阔市场空间。

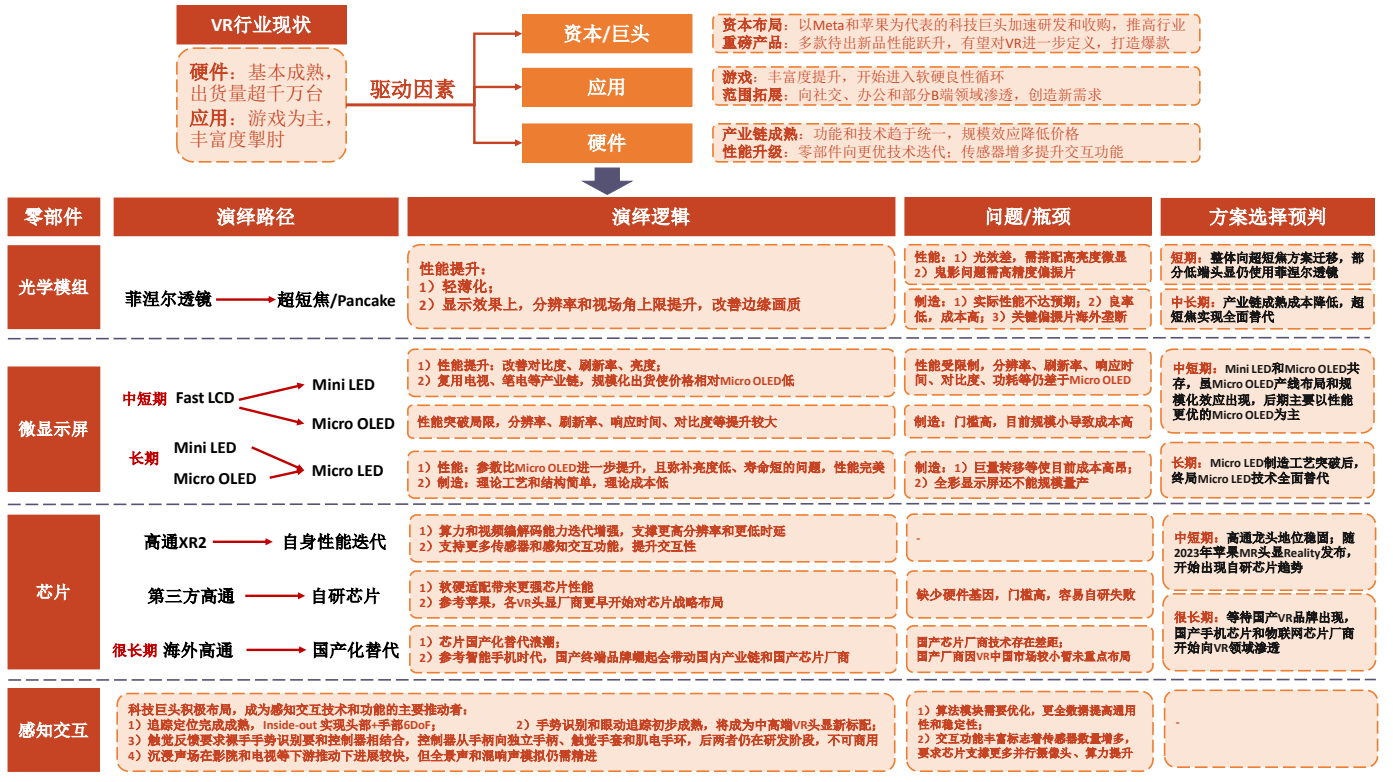
AR 短期受限于零部件不成熟，2025 年后有望完成 C 端产品定义、向 C 端渗透。AR 硬件因光波导等零部件技术和轻量化要求掣肘，尚未推出相对成熟能大规模放量的 C 端产品。我们认为，2022-2025 年为 AR 零部件加速研发、技术积累阶段，光波导、显示、交互等众多技术模块有望取得突破实现量产。2025 年前后，苹果和 Meta 预计将推出 AR 眼镜，两者市场地位和技术积累强，有望完成 AR 眼镜的产品定义，开启 C 端渗透序幕，AR 进入硬件成长期。

VR/AR 行业长期战略意义突出，行业增速相对明确，我们下文分别分析 VR/AR 行业的发展现状，详细拆分产业链核心零部件，并从技术性能和量产制造两个角度比较各种技术方案，**预判短期、中期和长期各零部件的技术路径选择**。梳理 VR/AR 行业上下游产业链，对比各厂商技术水平和产线布局，**挖掘可能抢占行业发展红利的重点关注公司**。

2、VR：硬件基本成熟，零部件技术方案迭代加快头显放量

2020 年 Meta Quest 2 发布后，因高性价比和良好均衡性能，VR 头显在 C 端开始加速渗透，2021 年出货量超千万台，产业链各零部件方案选择趋于统一，VR 完成产品定义、基本成熟。VR 市场的升温引来更多上游零部件厂商和下游内容生产者的加入，一方面在硬件端实现性能跃升，搭载功能增多和零部件技术升级；另一方面在内容端实现应用场景拓展、内容丰富度提升，软硬协同发展走向良性生态循环。因此，未来 VR 头显有望快速放量。

图 3：梳理汇总 VR 硬件的当前技术瓶颈和未来技术预判



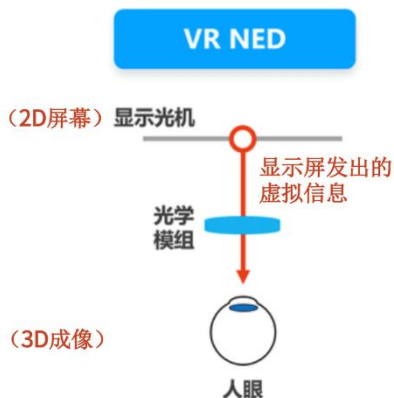
2.1、 产业链与相关公司梳理

图 4：VR 一体机的零部件组成和价值占比



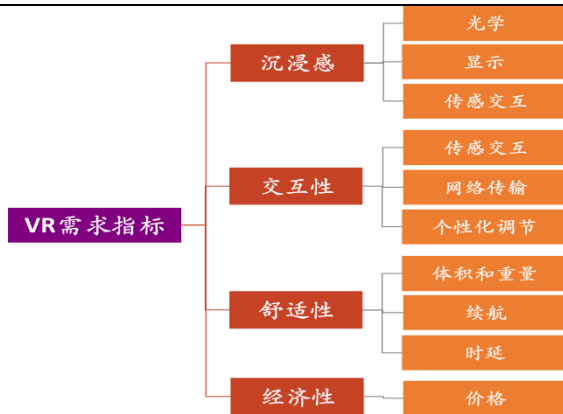
VR 芯片成本占比近半，光学和显示承担图像呈现功能。以 Pico neo 3 VR 一体机为例，芯片独立计算和存储，算力和编解码要求高，占总成本的 45%。显示屏发出图像光线，由光学模组放大后耦入人眼，两者分别占总成本的 3%和 18%。目前光学使用菲涅尔透镜（成本 5 美元），若切换至超短焦（成本约 30-40 美元）有望将光学占比提升至 10%以上。感知交互成本主要来自于摄像头，与光学产业链有部分重叠。除零部件性能迭代外，VR 需兼顾沉浸感、交互性、舒适性和经济性，工程化设计实现全局最优。

图 5: VR 图像显示原理示意图，光学模组和显示屏为核心



注：NED 是近眼显示（Near-Eye Display）的简称
资料来源：VR 陀螺

图 6: VR 整机设计应兼顾沉浸感、交互性、舒适性和经济性



资料来源：中国信通院，光大证券研究所整理

因 Pico、创维等国产品牌出货量预计快速提升，以及中国上游厂商在光学、显示等的技术和产线优势增强，VR 产业链上的相关国产公司关注度走高。我们对 VR 硬件产业链进行梳理，发掘重点关注公司如下表。

表 3: VR 硬件产业链与重点公司梳理

	海外上市公司	国内 H 股、台股上市公司	国内 A 股上市公司	非上市公司
整机设计	Meta(Quest)、苹果、索尼、爱奇艺	港股：小米集团 台股：HTC	创维数字	国内：字节跳动(Pico)、华为、大朋、NOLO、Arpara
代工组装	-	台股：广达集团、和硕	歌尔股份、立讯精密、欣旺达、闻泰科技	龙旗科技
光学模组及零部件 (菲涅尔/超短焦)	3M(偏振片)、Kopin	H 股：舜宇光学科技、丘钛科技 台股：大立光电、玉晶光电、扬明光学	歌尔股份、三利谱(偏振片)、欧菲光、兆威机电 (步进电机)	国内：惠牛科技、耐德佳、鸿蚁光电
微显示屏 (LCD/Mini LED/Micro OLED/Micro LED)	夏普、索尼、三星、LGD、JDI、eMagin、Micro OLED、Kopin	台股：友达光电	京东方、TCL 科技、长信科技、鸿利智汇、隆利科技、维信诺； 华灿光电 (芯片)、三安光电 (芯片)	国内：JBD、视涯科技、国兆光电、湖畔光电 (芯片&面板)、昆山梦显 海外：Plessey
感知交互	解决方案 (追踪定位、手势交互、眼动追踪、语音交互等)	高通、巨头自研 (苹果、Meta、索尼、微软、谷歌)、tobii	科大讯飞	国内：七鑫易维、云知声、诺亦腾、傲意科技、凌感科技 海外：OptiTrack、Ultraleap、Xsens、Thalnic
	摄像头模组	索尼、夏普	H 股：舜宇光学科技 台股：大立光电、扬明光学、玉晶光电	国内：金国光
	传感器模组	意法半导体、德州仪器、TDK、威世科技	-	国内：纵慧芯光(VCSEL)、水木智芯(惯性) 海外：博世
	声学模组	苹果、谷歌、三星、索尼、楼氏电子、飞利浦	H 股：瑞声科技	歌尔股份、立讯精密、国光电器
主控 SoC 芯片	高通、三星	台股：台积电	全志科技、瑞芯微	华为海思
其他结构件	-	-	东山精密、蓝思科技、信维通信、长盈精密、领益智造、科森科技、安洁科技、中石科技	-

注：红色标注字体为所在领域的细分龙头/主要供应商
资料来源：光大证券研究所整理

表 4: VR 硬件产业链的重点公司汇总表

产业链	公司名称	股票代码	具体产品	公司情况
全面布局	Meta	META.O	整机: VR Quest (2022Q1 市占率 90+%) 显示: Micro LED 芯片: SoC 芯片; 专用 AI 芯片 感知交互: 全面布局 生态: 操作系统 (暂停); 应用商店; 开发工具平台; 内容生产商	1) 定义消费级 VR 头显; 2) All in 元宇宙, 全产业链延伸, 深耕关键零部件技术; 3) 借助补贴和生态构建, 打造从操作系统、开发工具、应用开发、应用商城的软件生态, 推动行业软硬件良性循环
	苹果	AAPL.O	整机: MR 头显 Reality (2023 待出) 显示: Micro LED 芯片: 自研 SoC 芯片 (M1/2) 感知交互: 全面布局 生态: 操作系统; 内容生产商	1) 待出 VR 头显性能跃升; 2) 零部件积累最深厚, 软件生态可复用, 软硬适配经验; 3) 硬件基因, VR/AR 可与原先产业链复用协同; 设计和创新实力, 拥有强大品牌效应和粉丝群体
多方面布局	微软	MSFT.O	生态: 操作系统; 开发工具; 内容生产商 感知交互: 大部分布局	软件布局为主, 积极打造内容应用和解决方案
	谷歌	GOOG.O	显示: Micro LED 感知交互: 大部分布局 生态: 开发工具平台; 内容生产商	收购布局硬件零部件和技术模块公司, 但布局相对混乱、未成体系, 整体布局更偏向内容开发和内容生产
	华为	-	整机: 华为 VR Glass 芯片: 华为海思 XR 芯片 生态: 操作系统; 开发工具平台	聚焦软硬件底层技术, 目前因制裁等原因, VR 等非重点业务进度暂缓
	字节跳动	-	整机: Pico 品牌 生态: 应用商店; 开发工具平台; 内容生产商	效仿 Meta, 并购获得硬件入口, 聚焦内容生态布局
	小米集团	1810.HK	整机: VR 一体机 感知交互: 部分布局 生态: 分发渠道; 内容生产商	依赖自身 AIoT 的技术布局, 主要以硬件和技术积累为主, 内容生态较弱
	索尼	SONY.N	整机: PS VR 系列 显示: Mini LED、Micro OLED、Micro LED 感知交互: 部分布局 生态: 应用商店; 内容生产商	定位 VR 为“多媒体终端”, 开发游戏、影视、直播等内容; 海外显示龙头, Micro OLED 凭借成熟量产形成垄断态势
整机品牌	爱奇艺	IQ.O	整机: 奇遇系列 感知交互: 追踪定位 生态: 应用商店; 内容生产商	硬件、内容、技术等均有布局, 核心优势在于爱奇艺的强大影视资源, 自研 VR 观影内容和分发热门 VR 游戏
	宏达电	2498.TW	整机: HTC Vive 系列 生态: 应用商店; 内容生产商	由手机全面转型 VR, 整机基础上自研和合作构建内容生态
	创维数字	000810.SZ	整机: Pancakexr 系列和 S802 4K、S6 Pro、V901 等	由 B 端进军 C 端, 发布首款消费级 6DoF 短焦 VR 一体机
	大朋 VR	-	整机: P 系列和 E 系列多款 VR 一体机	2021 年出货份额第三 (市占率 4%), 积极布局海外市场
	NOLO	-	整机: Sonic、CV1、X1 等一体机 感知交互: 6DoF 追踪定位	以 6DoF 追踪定位开发套件切入 VR 一体机市场
代工组装	Arpara	-	整机: VR 头显 生态: 内容生产商 (arparaland 社交平台)	虚拟现实设备产品品牌初创公司
	歌尔股份	002241.SZ	光学: 菲涅尔透镜、超短焦 代工组装: Meta VR 代工 用于感知交互的 摄像头模组 和 声学模组	组装代工龙头, Meta Quest 2 代工厂, 向上延伸至 VR 光学模组、摄像头和扬声器等零部件领域, 大量募资积极研发
	广达集团	2382.TW	代工组装: 以近眼显示器的关键光机模块为主的 VR 头显整合与制造	以重要电脑代工厂商切入 XR 代工赛道
	和硕	4938.TW	代工组装: 3M 与和硕推出超短焦光学模组的 VR 参考设计 VX6	以重要电脑代工厂商切入 XR 代工赛道
	立讯精密	002475.SZ	代工组装: 整机智能制造 用于感知交互的 声学模组	作为 iPhone 代工厂 (果链), 有望切入 XR 代工赛道
	欣旺达	300207.SZ	代工组装: 头显与相关外设 (手柄、电池等) 感知交互: 触觉交互	针对 VR 头显和感知交互领域进行工程创新
	闻泰科技	600745.SH	代工组装: VR 一体式头显	合作高通, 从手机切入 VR 一体机代工领域
光学模组	龙旗科技	-	代工组装: VR 设备的设计、研发、制造和服务	AIoT 领域 ODM 厂商, 战略布局 VR/AR
	舜宇光学科技	2382.HK	光学: 菲涅尔透镜、超短焦 用于感知交互的 摄像头模组 代工组装: XR 一体机代工潜力	1) 光学龙头, 相关零部件全面布局, 积极研发新技术方向; 2) 拥有大额客户订单, 且客户拓展仍有潜力待发掘
	玉晶光电	3406.TW	光学: 菲涅尔透镜、超短焦 用于感知交互的 摄像头模组	台湾地区光学龙头, 切入 Meta、苹果、Sony 等供应链
	扬明光学	3504.TW	光学: 菲涅尔透镜、超短焦 用于感知交互的 摄像头模组	台湾地区光学龙头, 切入 Meta 等供应链
	3M	MMM.N	光学: 超短焦、超短焦中的核心材料反射式偏振膜	对超短焦核心材料反射式偏振膜实现垄断态势
	三利谱	002876.SZ	光学: 超短焦中的核心材料反射式偏振膜	国产偏振片龙头, 切入 VR 超短焦模组, 对接国产替代需求
	冠石科技	605588.SH	光学: 超短焦中的核心材料反射式偏振膜	国产偏振片企业, 拥有 10 条偏光片产线, 可用于超短焦中
	兆威机电	003021.SZ	提供用于调节瞳距的 步进电机	已向 Pico 4 供应步进电机, 有潜力进入苹果 MR 供应链
	惠牛科技	-	光学: 超短焦	降低鬼影和杂散光技术强, 已向国产品牌创维等供应
	耐德佳	-	光学: 超短焦	21 年初启动 VR 超短焦研发, 已融资用于扩建产能
微显示屏	鸿蚁光电	-	光学: 超短焦	将偏振旋光技术引入折叠光路技术中, 创造出旋光空导专利
	三星	005930.KS	显示: Fast LCD、Mini LED、Micro LED 芯片代工	海外显示龙头, Micro LED 领域领先
	夏普	6753.T	显示: Fast LCD、Mini LED、Micro LED	海外显示龙头, Meta Quest 的 Fast LCD 供应商
	LGD	LPL.N	显示: Fast LCD、Mini LED、Micro OLED、Micro LED	海外面板龙头, 有潜力向苹果 MR 头显供应 Micro OLED
	JDI	6740.T	显示: Fast LCD、Micro LED	海外面板龙头, 作为 iPhone LCD 厂商向 VR 领域切入
	京东方	000725.SZ	显示: Fast LCD、Mini LED、Micro OLED、Micro LED	国产面板龙头, 全方面布局 XR 各阶段技术, 并投资扩产线
	TCL 科技	000100.SZ	显示: Fast LCD、Mini LED、Micro LED	国产面板龙头, 全方面布局 XR 各阶段技术, 并投资扩产线
	长信科技	300088.SZ	显示: Mini LED	有潜力获得大额 Meta Quest 3 订单

	鸿利智汇	300219.SZ	显示: Mini LED	中短期因 VR 头显采用 Mini LED 受益, 已小批量供货
	隆利科技	300752.SZ	显示: Mini LED	中短期因 VR 头显采用 Mini LED 受益, 已小批量供货
	维信诺	002387.SZ	显示: AMOLED、Micro LED	主营业务为 VR 淘汰方案 AMOLED, 积极布局 Micro LED, VR 显示产品待推出
	三安光电	600703.SH	显示: Mini/Micro LED 芯片	芯片价值量高, 受益于下游显示屏出货量提升和国产替代
	华灿光电	300323.SZ	显示: Mini/Micro LED 芯片	芯片价值量高, 受益于下游显示屏出货量提升和国产替代
	友达光电	2409.TW	显示: AMOLED、Fast LCD、Mini LED、Micro LED	推出针对 VR 的 AMOLED、Fast LCD 和 Mini LED 显示屏
	Kopin	KOPN.O	光学: 超短焦 显示: Fast LCD、Micro OLED、Micro LED	作为微显示屏厂商, 积极结合显示模组和超短焦光学方案
	eMagin	EMAN.A	显示: Micro OLED	在 Micro OLED 领域存在先发优势, 早期多供应军事领域
	Micro OLED	-	显示: Micro OLED	在 Micro OLED 领域存在先发优势, 早期多供应军事领域
	Plessey	-	显示: Micro LED	专门针对 VR/AR, 提供纯绿色/蓝色、高亮度 Micro LED
	JBD	-	显示: Micro LED	芯片研发和产能制造两手抓, 红光 Micro LED 量产有突破
	视涯科技	-	显示: Micro OLED	中短期因 VR 采用 Micro OLED 受益, 已拥有客户订单
	国兆光电	-	显示: Micro OLED	Micro OLED 厂商, 其中 VR 是一种下游应用领域
	湖畔光电	-	显示: Micro OLED	Micro OLED 厂商, 其中 VR 是一种下游应用领域
	昆山梦显	-	显示: Micro OLED	Micro OLED 厂商, 中短期因 VR 采用 Micro OLED 受益
主控芯片	高通	QCOM.O	芯片设计: 适用于 XR 的芯片, 包括骁龙 XR1、XR2、845 等	XR 芯片霸主地位, 性能远高其他厂商, 生态构建强大
	台积电	TSM.N	芯片代工: 制造 XR 芯片	最大芯片代工厂, 制程先进能提供最优的芯片制造能力
	瑞芯微	603893.SH	芯片设计: 推出 RK3588 和 RK3399 两款可用于 VR 的 SoC 芯片	AIoT 芯片公司, VR 是其两款芯片的一种应用领域
	全志科技	300458.SZ	芯片设计: VR 专用芯片 VR9	智能应用处理器 SoC 芯片设计公司, VR 是一种应用领域
感知交互	大立光电	3008.TW	用于感知交互的 摄像头模组 光学: 超短焦	潜在苹果 MR Reality 和 Meta VR 头显摄像头供应商; 潜在苹果 MR Reality 二代光学模组供应商
	联创电子	002036.SZ	用于感知交互的 摄像头模组	提供 VR/AR 等配套光学镜头和摄像头模组
	欧菲光	002456.SZ	用于感知交互的 摄像头模组 光学: 超短焦	光学龙头, 在布局 VR 摄像头模组同时研发超短焦等光机
	韦尔股份	603501.SH	摄像头模组 用于捕捉图像的核心零部件 CMOS 图像传感器	CMOS 图像传感器龙头, 受益于下游 VR 带动摄像头需求
	丘钛科技	1478.HK	用于感知交互的 摄像头模组 光学: 超短焦	发展 6DoF、透视等摄像头模组, 受益于感知交互功能增多
	瑞声科技	2018.HK	用于感知交互的 声学模组 和 触控反馈 (触控马达等)	以声学 and 触控等传感器, 由手机和笔电开始切入 VR
	国光电器	002045.SZ	用于感知交互的 声学模组 代工组装: VR 整机代工	作为 VR 主要声学模组供应商, 向下延伸布局整机代工
	Tobii	TOBII.SS	用于感知交互的 眼动追踪 模块 (微型相机和红外 LED 照明)	眼动追踪龙头, 搭载 Sony PS VR 2、Pico 等众多 VR 品牌
	七鑫易维	-	用于感知交互的 眼动追踪 解决方案	国产眼动追踪龙头, 搭载 HTC、创维等众多 VR 品牌
	科大讯飞	002230.SZ	用于感知交互的 语音交互 解决方案	智能语音和人工智能公司, 技术模块和内容可搭载至 VR 中
	云知声	-	用于感知交互的 语音交互 解决方案	人工智能语音技术公司, 语音技术模块可用于 VR 语音交互
	Optitrack	-	用于感知交互的 追踪定位 技术 (高速追踪相机和配套软件)	全球最大的追踪技术提供商之一, VR/AR 为主要应用领域
	Ultraleap	-	用于感知交互的 手势识别 技术模块 (配套软硬件)	手部交互和触觉模拟厂商, 为 Pico 等 VR/AR 厂商提供支持

资料来源: Wind, IDC, Counterpoint, 光大证券研究所整理
注: 股票代码为“-”的是海内外的非上市公司

我们将针对光学模组、微显示屏、芯片和感知交互四大核心部分, 分析技术路径、制造工艺和优劣比较, 探讨技术路径选择和发掘重点受益公司。

2.2、VR 现状: 硬件、应用和资本共同发力, 看好 VR 行业维持较快发展

2020-2021 年 VR 高速放量, 2022 年出货量因产品周期、宏观经济影响, 增速放缓。根据 IDC 数据, 2021 年全球 VR 出货量达 1095 万台, 同比增速 63%, 年出货量首次突破千万, 迎来行业进入复苏阶段的拐点。其中, Oculus Quest 2 出货量为 880 万台, 占比 79%。然而, 市场对 2022 年 VR 出货量相对悲观, 预计其可能难以保持高增速, 据 36 氪 22M6 披露, Meta 对原有出货量预期调低 10%-20%。主要原因包括全球宏观经济恢复不及预期, 以及 Meta 因核心广

告业务衰退打算削减成本从而影响对 VR 的补贴、硬件投入和研发项目，以及多款备受瞩目产品发布时间推迟至 2023 年及以后。

VR 产业并不会“昙花一现”，我们仍对 VR 中长期发展保持乐观。考虑到：1) **硬件：性能提升带来更佳体验，产业链成熟实现更多供应**；2) **内容：丰富度和应用场景拓展带来更强需求**；3) **巨头布局进行产业链延伸，生态体系逐步完善**，随着软硬件螺旋上升相互推动，VR 产业将持续稳健发展至成熟阶段。

2.2.1、硬件：形态和技术路径统一，尚存优化空间激发市场潜力

表 5：近期发布的热门 VR 头显性能参数汇总，VR 头显形态、功能和技术方案趋于统一

品牌名称		Meta	Pico	HTC	HTC	华为	爱奇艺
产品名称		Oculus Quest 2	Neo 3	Vive Focus 3	Vive Flow	VR Glass 6DoF	奇遇 Dream Pro
产品形态		一体式	一体式	一体式	手机分体式	分体式	一体式
处理器		高通骁龙 XR2	高通骁龙 XR2	高通骁龙 XR2	高通骁龙 XR1	无，手机作为计算单元	高通骁龙 XR2
网络	延迟率						<=20ms
显示	屏幕	FAST-LCD	FAST-LCD	FAST-LCD	FAST-LCD	FAST-LCD	FAST-LCD
	双眼分辨率	3664x1920	3664x1920	4896*2448	3200x1600 (3.2K)	3200x1600 (3K)	3664x1920
	像素密度		773ppi			1058ppi	538ppi
	刷新率	72Hz/90Hz	120Hz	90Hz	75Hz	70Hz/90Hz	72Hz/90Hz
光学	光学方案	菲涅尔透镜	菲涅尔透镜	菲涅尔透镜	超短焦	超短焦	双非球面
	视场角	100°	98°	120°	100°	90°	93°
交互	头部	6DOF	6DOF	6DOF	6DOF	6DOF	6DOF
	手柄	双手 6DOF	双手 6DOF	双手 6DOF	双手 6DOF	双手 6DOF	双手 6DoF
	手势识别	支持	不支持	支持		支持	不支持
	眼动追踪	不支持	不支持	搭配 Droomon F2 配件	支持	不支持	不支持
	摄像头数量	4	4	4	2		4
	空间定位	inside-out	inside-out	inside-out (7m x 7m)	inside-out	Inside-out	Inside-out
存储	RAM	6GB	6GB	8GB	4GB	8GB	8GB
	ROM	64GB/256GB	256GB	128GB	64GB		128GB/256GB
舒适性	瞳距范围	三档调节	54-73mm	57-72mm	支持	55-71mm	
	屈光度调节				0-600°	0-700°	
	电池容量 (mAh)	3640	5300	26.6Wh	外部电源	无	5500
	重量(克)	503	390		189	166	348
连接方式		Wi-Fi	Wi-Fi	USB/蓝牙/Type-C/Wi-Fi	USB/蓝牙/Wi-Fi	USB/Type-C	Wi-Fi
操作系统		Android 10	Android 10	Android 10	Android 10	Windows 10/HarmonyOS 2	安卓底层
官方价格		299 美元/399 美元	2499 元起	9888 元	3888 元	3999 元	2499 起
发售日期		2020-09-17	2021/5/10	2021/5/12	2021/9/3	2021/11/17	2022/5/9

注：红色标注字体表示头显采用相同的形态、功能或技术方案
资料来源：各公司官网，VR 陀螺，光大证券研究所整理

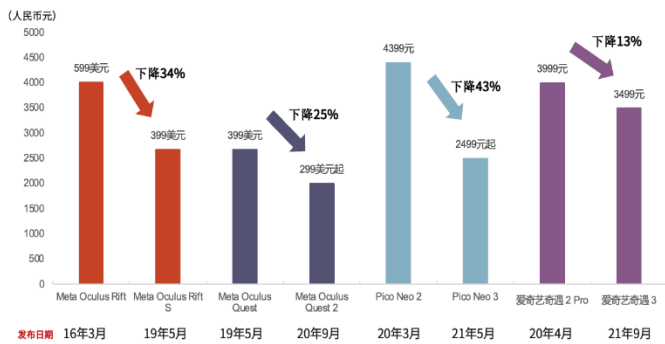
制造：功能和技术路径趋于统一，供应链成熟助力成本下降。

1) **产品形态**：除智能终端厂商如索尼和华为仍对原有分体式 VR 产品系列迭代，具备独立算力、显示和交互的一体式 VR 头显成为 VR 主流形态；

- 2) **产品功能**：当前产品交互功能趋同，普遍搭载 4 个摄像头、采用 inside-out 空间定位技术以及头部和双手 6DoF 追踪位移；支持瞳距和屈光度调节，适配不同脸型和近视人士；同时，一体化头显采用 Wi-Fi 6 连接技术，实现无线串流功能；
- 3) **技术方案**：处理器、光学透镜、显示屏等核心元器件方案基本统一。高通骁龙 XR2 成为主力芯片；菲涅尔透镜光学+Fast LCD 显示方案成熟支持大规模量产，超短焦光学+Micro-OLED/LED 显示的技术迭代方向清晰。Oculus Quest 2 的畅销使其他厂商效仿采用其零部件，推动供应链完善。

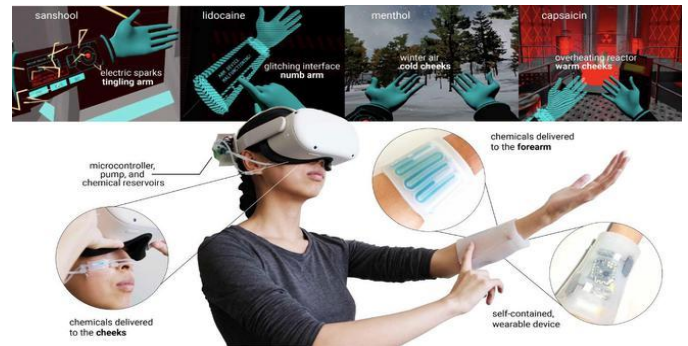
我们认为，以上趋同趋势，在供应端，有助于上游核心零部件规格统一，促进产业链逐步成熟，有利于降低零部件及整机成本的生产成本；在需求端，成本降低助力新头显价格持续下降，有望进一步提升消费级市场渗透率。

图 7：产业链成熟，帮助 VR 头显价格逐渐降低



资料来源：VRcompare, 天极网, 电科技, 36 氪, 光大证券研究所

图 8：VR 头显搭载更多传感器，感知交互向丰富多元趋势演进



资料来源：VRPinea

技术：VR 头显性能仍有优化空间，体验升级有望加速出货，市场潜力可观。

VR 头显的沉浸感、交互性和舒适性仍待提升，眩晕和疲劳问题突出。VR 输入输出系统模拟真实五感知，促使人在虚拟世界产生身临其境感。一方面，分辨率、视场角等视觉感受应趋向人眼级别；另一方面，刷新率和网络时延尽可能小，保证交互实时精确，实现视觉和用户的行动、操作的匹配。设备笨重、低真实度、流畅度差以及动作和视觉的割裂均导致眩晕症和视觉疲劳。

为提升用户体验和解决尚存问题，各技术仍在积极研发和迭代：

- 1) **核心零部件迭代现有性能参数**。当前，已量产 VR 头显达到“部分沉浸”要求，仍有较大提升空间。芯片提升帮助加快计算速度、降低响应时间，光学和显示零部件综合视觉效果和轻薄外形持续改进，5G 通信网络和电池续航等外部技术的升级也对 VR 头显舒适性的提升至关重要；
- 2) **听觉、嗅觉、触觉等五感交互技术的需求，从另一个方向驱动零部件数量增加和性能增强**。现有 VR 头显更关注视觉，若想实现颠覆性的 3D 传播，需实现全感 VR，增加空间追踪定位、眼动追踪、手势识别、面部识别、语音输入和沉浸声场等交互功能。软件方面，苹果、Meta 等巨头积极研发相关算法；硬件方面，更丰富的感知交互功能要求更多传感器和更强算力芯片的参与，目前芯片可搭载 7 颗摄像头，苹果在研 MR 硬件或将采用自研芯片，支持更多摄像头数量。

图 9：VR 整机设备性能指标达到“部分沉浸”要求

技术体系		技术指标	初步沉浸 (EI)	部分沉浸 (PI)	深度沉浸 (DI)	完全沉浸 (FI)
沉浸体验	便捷性	重量	越轻越好，目标在220g以内			
		移动性	有线连接	有线/无线并存	无线连接	
	近眼显示	单眼屏幕分辨率	接近1K	1.5K - 2K	3K - 4K	≥ 8K
		视场角 (FoV)	90° - 100°	100° - 120°	140°左右	200°
		角分辨率 (PPD)	≤ 15	15 - 20	30左右	60左右 (人眼极限)
		可变焦显示	否	否	是	是
	屏幕	屏幕刷新率	≤ 72Hz	72Hz - 90Hz	90Hz - 120Hz	≥ 120Hz
	渲染处理	渲染计算	2K / 60 FPS	4K / 90 FPS	8K / 120 FPS	16K / 240 FPS
		渲染优化	/	/	注视点渲染	
	交互体验	网络传输	MTP时延	20 ms	20 ms	20 ms
感知交互		追踪定位	Outside-in	Inside-out		
		手柄/头部定位	3DoF	6DoF		
		眼动交互	/	/	眼动追踪	
		声音交互	/	沉浸声	个性化沉浸声	
		触觉交互	/	触觉反馈		精细化触觉反馈
		移动交互	/	虚拟移动 (行动重定向等)		高性能虚拟移动

标紫 技术实现大规模量产

标红 获得技术专利/仅小批量试产/技术距离理想效果仍有较大差距

资料来源：中国信通院，VR 陀螺，光大证券研究所

多款重磅 VR 产品待出，期待 2023 年后出货量快速增长。2023 年左右，多款 VR 头显待出，产品性能跃升。光学和显示方面，技术方案由菲涅尔透镜+Fast LCD 向超短焦+Mini LED/Micro OLED 演进；交互方面，手势追踪、眼动追踪和面部追踪等功能成为标配，并探索触觉反馈。重点关注 Meta Quest Pro 和 Apple MR 这两款高端头显，有望带动全行业技术升级，更优性能助力出货量可持续增长。同时，Meta Quest 3 和 Pico 4 作为爆款续作也可能拉高出货量。

VR 头显国产化趋势显现，Pico 等国产 VR 品牌崛起带动国产产业链。Pico 已成为自 Meta Quest 后的第二大 VR 整机厂商，2021 年出货量超 50 万台，据 AR 圈 22M5 披露，2022 年目标出货 180 万台。国产 VR 厂商也在积极布局出海。根据 Counterpoint 数据，大朋 VR 20Q4 在新加坡、马来西亚、日本的业务占比超 30%，同时 Pico 已进军欧洲消费市场，开始向英国、德国、法国等市场销售。国内消费电子厂商也向 VR 领域延伸布局，如创维数字 (000810.SZ) 于 22 年 7 月 25 日发布采用超短焦光学的 PANCAKEXR VR 一体机。国产 VR 品牌的崛起利好国内产业链的建立，惠及零部件等上游厂商。

表 6：近期发布或待出的重点 VR 头显性能参数整理

	Pico	Meta	Sony	Apple	Meta	
产品名称	4 / 4 Pro	Quest Pro	PS VR 2	MR 头显	Quest 3	
产品形态	一体式 VR	一体式 VR	分体式 PS VR	一体式 MR	一体式 VR	
处理器	高通骁龙 XR2	高通骁龙 XR2 + Gen1		2 个处理器，高阶处理器采用苹果 M1/M2	高通骁龙 XR2 Gen 2	
显示	显示屏	两块 FAST-LCD	两块 Mini LED (QLED)	2 个 OLED	2 个 Micro OLED	两块倾斜 21° 的 LCD
	刷新率	90Hz	90Hz	90Hz/120Hz		120Hz+
	单眼分辨率	2160x2160	1800x1960	2000x2040	4K	
光学	光学方案	2P 超短焦	2P 超短焦	菲涅尔透镜	3P 超短焦	超短焦
	视场角	105°	106° (水平)、96° (垂直)	110°	105°-140°	
交互	摄像头	5	10 (头显) +6 (手柄)	5	15	7
	追踪方案	inside-out	inside-out	inside-out	inside-out	inside-out
	自由度	头手 6DoF	头手 6DoF	头手 6DoF	头手 6DoF	头手 6DoF
	触觉反馈	控制器的线性马达负责振动	控制器有多个触觉致动器实现压力、振动等触觉反馈	头显震动		
	彩色透视	支持	支持		支持	支持
	手势追踪	支持	支持		支持	支持
	眼动追踪	4 不支持, 4 Pro 支持	支持	支持, Tobii 提供	支持	不支持
	面部追踪	4 不支持, 4 Pro 支持	支持	支持		不支持
存储	RAM	8GB	12GB		8GB/16GB	12GB
	ROM	128GB/256GB	64GB/256GB		256GB/512GB/1T	512GB
舒适性	重量	586g	722g			
	电池容量	5300mAh	5000mAh			
	瞳距调节	62mm-72mm 无级调节	55-75mm 调节			可调节
发布日期预测	2022 年 9 月	2022 年 10 月	2023Q1	2023 年 Q1	2023 年 Q3	
产品定位	消费级, Pico Neo 3 续作	高端工业级	消费级 (针对游戏场景)	高端工业级	消费级, Quest 2 续作	
价格预测	2499 元起; Pro 3799 元	1499 美元	549.99 美元	超 2000 美元		
关注重点	有望凭借硬件性能和内容生态, 成为首款国内爆款 VR 头显	不计成本采用一系列先进技术, 有望实现较高体验	配合发布 20 款+游戏, 内容生态强大, 有望成为爆款游戏类 VR 头显	1) 号召力强: 苹果产品高完成度的风格有望希望全市场关注, 大批果粉支持; 2) 硬件性能颠覆: 蛰伏八年, 芯片、屏幕和摄像头等性能参数超过市面产品	爆款产品 Oculus Quest 2 的续作产品	

注：空白项是指 VR 头显的相关性能参数信息暂未披露

资料来源：IT 之家，天极网，VRPinea，映维网，ETNews，36 氪，网易科技，VR 陀螺，极果，青亭网，光大证券研究所整理

2.2.2、应用：VR 游戏已进入良性循环，积极激发新媒体需求

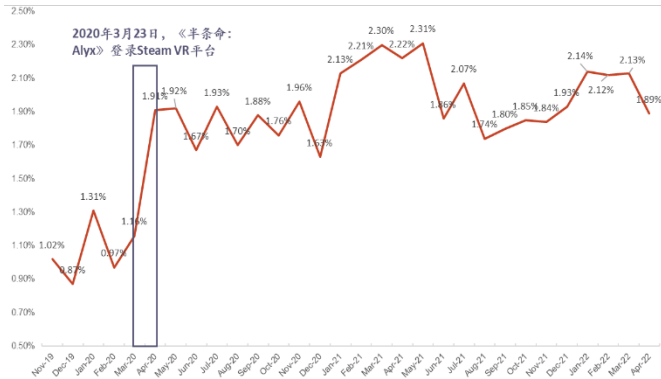
当前 VR 头显出货量受内容短板的掣肘，应用程序的丰富度提升和 VR 应用场景的拓展能为 VR 硬件创造更多需求；另一方面，硬件性能提升利好应用形式和范围的拓展。硬件和软件协同发展，双螺旋推动。

VR 虚拟视觉、高沉浸和强交互的特性使其适配游戏、流媒体、社交、办公等 C 端文娱场景和工业设计等少数 B 端应用，定位下一代媒介形式与流量入口。

游戏内容生产进入良性循环，优质 VR 游戏拉动效果明显。标杆性游戏《半衰期：爱莉克斯》带动硬件出货量，该游戏上线后 Steam 平台 VR 接入数量一个月内新增 95 万，增至 270 万台。VR 头显用户保有量提升，游戏开发者开始盈利，截至 22 年 2 月，Oculus Quest 营收超 10 亿美元，其中 8 款游戏销售额超

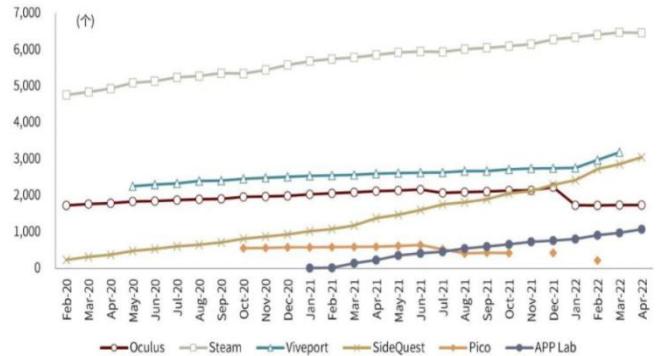
2000 万美元。目前 VR 游戏头部效应突出，短期优质内容主要来源知名 IP 的 VR 化续作，随着硬件-内容良性循环的建立，看好未来游戏丰富度进一步提升。

图 10:《半衰期:爱莉克斯》拉动 Steam 平台活跃 VR 用户占比



资料来源:青亭网,光大证券研究所

图 11:各平台 VR 游戏内容丰富度提升



资料来源:钛媒体

VR 应用场景拓展至社交、办公等，逐步激发新需求。因变现能力强和沉浸交互特性适配，VR 应用短期内多集中在游戏、影视、直播等文娱领域。Meta 因自身社交产品积累，积极拓展社交和办公领域应用，建立 Horizon 虚拟平台，虚拟形象有望帮助 VR 向演唱会、观影、办公、购物等诸多日常场景延伸。B 端需求散点化，但 VR 能够帮助教育和商业展示等场景降本增效，需求明确。我们认为，随着硬件性能提升，VR 将解锁创新性玩法，在更多应用场景中创造出新需求，如表情重塑和手势识别让虚拟会议更贴近真实会议场景，相对传统二维会议存在效益提升。

表 7: VR 的应用场景梳理

应用场景	商业落地	举例	中国市场规模
游戏	VR 增强游戏沉浸感和互动性，手势追踪、全身动捕、空间定位等提供不同的游戏操作体验	《Beat Saber》、《Half Life: Alyx》	-
影视	在全景视频、影视作品中提升内容交互性和沉浸体验	《Wolves in the Walls》获艾美奖	10 亿
直播	体育赛事、演唱会等大型活动进行 VR 直播，抖音、快手、哔哩哔哩、爱奇艺、斗鱼等平台也增设 VR 直播板块或功能	中国全运会 5G+VR 直播观赛	64 亿
社交	虚拟空间中，用户以虚拟形象进行三维全景交流，常配置破冰小游戏	Facebook Horizon、VR Chat、RecRoom、BigScreen	-
办公	打造虚拟办公场景，允许用户将办公桌、笔记本电脑、键盘以透视的形式融合到 VR 办公场景中，并配置虚拟白板，实现更好地远程会议和交流	Oculus Infinite Office、Horizon Meeting、Horizon Workrooms	-
旅游	与景点、展览等构建虚拟三维立体的旅游环境，实现足不出户观赏	武功山风景名胜推出 VR 旅游	-
零售	线上对顾客展示立体商品，展示更多商品信息	贝壳和链家推出 VR 看房	-
教育	进入中小学、高校课程和职业培训等领域，虚拟环境下打造“实操”机会	华中科技大学 5G+VR 在线虚拟直播	22 亿 (2021)
工业制造	帮助仿真设计和制造测试，运营维护可视化实现产品全周期监测	英伟达 Omniverse 平台，1.7 个用户体验版落地应用	-
医疗	提供手术培训和手术模拟等培训功能，辅助诊断、术中导航和全息图像等辅助功能以及术后康复、精神障碍恢复等服务功能	VRHealth 发布产品帮助改善自闭症患者、老年痴呆症患者的协调能力和认知水平	-

资料来源:赛迪研究院,思宇研究院,小娱科技,新浪 VR,前瞻产业研究院,光大证券研究所整理

2.2.3、巨头布局进行产业链延伸，软硬件协同发展打造良性生态

复盘苹果在智能手机时代占据主导地位的原因：

1) 以科技创新为导向引领市场风向：苹果 2007 年突破电容触屏和多点触控技术，确立触摸屏标准，重新定义了智能手机。之后，苹果通过自研和收购

技术，坚持每年迭代出新，将前置摄像头、屏幕指纹解锁、语音助力、NFC 手机支付、面部解锁、全面屏等发扬光大，引领技术发展；

- 2) **软硬件适配实现最优性能**：2010 年，iPhone 4 首次搭载自研 A4 处理器，并每年对制造工艺和性能进行升级。针对软件和系统打造适配芯片，节省成本，提高性能，GeekBench 跑分测试中，A 芯片位居第一；
- 3) **iOS+AppStore 构建软件生态护城河**：建立封闭 iOS 操作系统，整合硬件提升运行流畅度；严格审核管理，相比开源安卓平台应用质量和安全性更高，并将开发者锁定在 iOS 生态系统中，成长为世界最大的软件销售渠道之一，2021 年 AppStore 开发者分红超 600 亿美元，以 **App Store 抽成** 为主的服务收入成为目前苹果收入和毛利率的重要拉动力。

表 8：苹果 iPhone 连点成线完善生态布局（部分）

发布时间	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
产品名称	iPhone	iPhone 3G	iPhone 3Gs	iPhone 4	iPhone 4s	iPhone 5	iPhone 5s	iPhone 6 系	iPhone 6s 系	iPhone 7 系	iPhone X
硬件	屏幕	发布触摸屏，重新定义智能机	位色由 18 升级到 24，色彩显示更优	ppi 提升至 326		屏幕由 3.5 英寸增至 4 英寸		bigger than bigger 大屏化概念			全面屏
	芯片			基于三星定制 A4 芯片	自研设计 A5 芯片	自研架构设计的 A6 芯片	64 位 A7	A8	A9	A10	A11 仿生芯片
	其他			前置摄像头			按压式指纹解锁		3DTouch 交互	Home 键按键震动	面部解锁；手势操作交互
软件	操作系统		iOS 2	iOS 4，应用程序可多任务处理	iOS 5 iCloud 云备份，实现多终端互联	iOS 6	iOS 7 推出 AirPods 终端文件互传	iOS 8，各产品打通，实现“连续性”	iOS 9	iOS 10，开始与第三方应用交互	iOS 11
	应用服务		AppStore 应用商店	推出语音助手 (Siri 前身)	FaceTime 聊天	Siri 语音助理	推出 Apple Maps		NFC 功能，推出 ApplePay	实时唤醒 Siri 语音交互	

资料来源：中关村在线，天极网，太平洋电脑网，光大证券研究所整理

效仿苹果成功经验，诸多 VR 厂商注重软件和硬件协同布局。各厂商凭借自身基因，VR 布局由原有优势领域开始进行产业链上下游延伸：

- 1) 苹果 (AAPL.O)、华为凭硬件基因，注重硬件底层零部件和技术模块的积累和整合，开展软硬适配，发展操作系统、内容生产工具等软件底层技术；
- 2) 软件服务起家的巨头中，国外厂商微软 (MSFT.O) 和谷歌 (GOOG.O) 对硬件有所涉足但目前较为局限，更多围绕原有业务开展 VR 化尝试；腾讯 (0700.HK) 凭借社交和游戏生态、百度集团 (9888.HK) 凭借智能云 AI 技术，提供 VR 内容应用和解决方案。各公司均积极布局云计算、大数据、人工智能等新型基础设施，未来将有助于 VR 业务的开展；
- 3) Meta (META.O) 和字节跳动通过收购抢占硬件入口，分别拥有全球和中国最大头显厂商 Oculus 和 Pico。其中，Meta 针对硬件和软件全产业链布局，围绕硬件逐步建立软件生态。字节跳动或跟随 Meta 路线开展布局；

我们认为，1) **海外厂商，建议关注 Meta (META.O) 和苹果 (AAPL.O)**：Meta 为当前绝对龙头，21 年硬件出货量占比超 80%，软件生态通过补贴、收购和自研逐步建立；苹果凭借智能手机地位和深厚硬件积累，待出产品或颠覆现有市场格局；2) **国内厂商，看好腾讯 (0700.HK)，建议关注字节跳动 (未上市)**：字节跳动率先抢占硬件入口，或效仿 Meta 实现 VR 布局；腾讯依靠原有游戏、文娱优势和社交生态导流，看好发展潜力。

表 9：巨头在 VR 产业链的布局

公司	战略思路	硬件生态			软件生态	
		整机	零部件	技术模块	操作系统	内容服务
Meta (META.O)	All in 元宇宙，效仿苹果全面布局	收购 Oculus，发布 Quest 2，22M10 发售 Quest Pro	1) 研发 XR 专用 AI 芯片； 2) 收购 Micro LED、脑机接口、变焦显示、手柄、光学等相关公司	收购 3D 建模、手势识别、计算机视觉、空间音效、面部识别、眼动追踪等技术公司	开发专用 XROS (传已解散)	1) 内容开发 ：收购代码平台和引擎公司；2) 应用软件 ：收购游戏、视频和健身制作商；推出社交平台 Horizon 和企业级解决方案；3) 分发渠道 ：推出封闭 Quest Store 和开源 App Lab
苹果 (AAPL.O)	底层硬件技术积累深厚，蓄势待发	MR 产品待出	1) 自研 A 系列和 M 系列处理器； 2) 收购 Micro LED、图像传感器、激光传感器、体全息光波导等公司； 3) 申请 HMD、触觉反馈手套等诸多专利；	收购面部识别、空间感知、室内定位、动作捕捉、面部识别、眼动追踪、图像识别、计算机视觉、音频识别等技术公司	RealityOS 操作系统正在研发中	应用软件 ：收购 XR 直播、虚拟形象、虚拟会议等制作商
微软 (MSFT.O)	以软件内容为中心布局	1) 发布 MR 头显 HoloLens； 2) 拥有 XBOX 系列游戏机	-	收购语音识别相关公司	自研 MR 操作系统 Windows Holographic	1) 内容开发 ：推出 MR 开发工具 MRTK；2) 应用软件 ：收购社交、游戏、营销等公司；推出 XR Mesh 协作应用、产科培训等解决方案；原有 XBOX、Teams 平台融入 MR 内容
谷歌 (GOOG.O)	硬件布局较少，布局未成体系	1) 发布 VR 盒子 Cardboard； 2) 收购 VR 设备制造商	投资 Micro LED、光场相机、全景相机等相关公司；投资脑机接口公司	收购眼动追踪、图像识别等技术公司	拥有 Android 操作系统	1) 内容开发 ：投资 3D 建模公司； 2) 应用软件 ：投资社交、游戏、全景、3D 音频、3D 地图等制作商；原有应用 YouTube、Chrome 支持 VR
腾讯 (0700.HK)	专注内容，游戏和社交为核心	-	-	投资计算机视觉、手部追踪等技术公司	-	1) 内容开发 ：投资 3D 建模、引擎、Roblox 等公司；2) 应用软件 ：投资和自研游戏、社交、音乐、音频流媒体等公司；推出虚拟偶像、虚拟形象；3) 分发渠道 ：推出 Pico Store
字节跳动	抢夺硬件入口，聚焦内容应用，或效仿 Meta 路径	收购 VR 设备厂商 Pico	-	投资计算机视觉公司	-	1) 内容开发 ：投资引擎和 UGC 代码平台；2) 应用软件 ：收购游戏、视频直播公司；投资视频会议、教育、数字孪生等公司；开发社交平台 Pixsoul
华为	聚焦软硬件底层技术，道阻且长	发布华为 VR Glass	1) 发布海思 XR 芯片； 2) 徕卡实验室研发光学 VR 技术；	-	拥有自研 HarmonyOS 操作系统，未来用于 VR	内容开发 ：推出 VR SDK、VR Engine、3D 模型、Reality Studio 等工具；
阿里巴巴 (9988.HK)	聚焦云计算基础技术，VR 布局尚浅	1) 成立子公司布局 VR 设备； 2) 投资 MR 设备制造商	1) 投资 AI 芯片厂商	-	-	应用软件 ：投资游戏、娱乐公司；推出 VR 购物 Buy+
百度 (9888.HK)	百度智能云支撑内容应用技术	-	投资 Micro-LED、芯片、类脑芯片、激光雷达等相关公司	投资计算机视觉、视觉定位、动作捕捉等技术公司	-	1) 内容开发 ：内容创作平台、SDK、3D 重建技术；2) 应用软件 ：投资游戏、视频、全景内容等公司；希壤平台提供企业级解决方案；推出虚拟数字人和直播平台

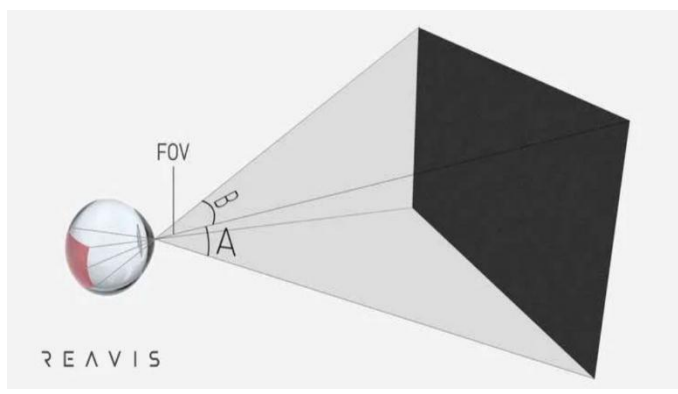
资料来源：VR 陀螺，青亭网，智东西，36 氪，电科技，光大证券研究所整理

2.3、光学：超短焦基本成熟，厂商布局加速量产制造

光学模组实现近距离成像，是 VR 与手机等 2D 屏幕的主要区别。以下性能指标被光学模组决定，影响沉浸感和舒适性，成为选择光学方案的关键考量：

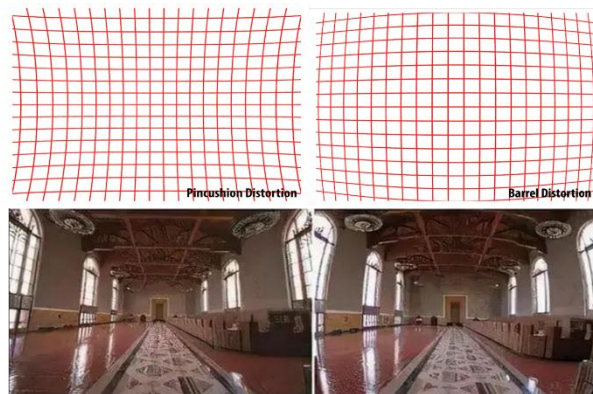
- 1) **视场角 FOV，即视野范围**。视场角是最为关键的 VR 参数之一，人类双眼视场角最大可达 200°，为实现完全沉浸 VR 头显的视场角应接近人眼；
- 2) **光学效率**。光线穿过透镜、反射、折射直至入眼的过程，未被损耗的比例；
- 3) **透镜厚度**。舒适性需求要求头显轻薄化，对透镜的厚度和重量带来要求；
- 4) **成像质量**。出现图像畸变（变形，与实物不符导致失真感）和杂光现象（除成像光线，其他非成像光线在光学系统上面扩散，导致光斑）等问题。

图 12: 垂直视角角 (A) 和水平视角角 (B) 示意图



资料来源: 睿维视 ReaVis

图 13: 枕形畸变 Pincushion 和桶形畸变 Barrel 示意图



资料来源: 光虎视觉, 光大证券研究所

2.3.1、超短焦方案性能优越, 量产制造暂存掣肘

表 10: VR 光学模组中, 菲涅尔透镜和超短焦的方案对比

	菲涅尔透镜	超短焦/折叠光路
原理	由一环环从小到大的同心圆组成, 等距同心圆的齿纹对特定光谱的光进行折射反射, 从而将光线聚焦至焦点, 因此菲涅尔透镜能把光线调整成平行光耦出至人眼	使用偏振膜将光路压缩、将距离“折叠”到其自身, 使光线可以在更窄的空间内穿越同样的距离, 以使得整体 VR 设备变轻薄
原理图	<p>透镜侧面效果 透镜正面效果</p> <p>传统透镜 菲涅尔透镜 菲涅尔透镜</p>	
产品	Pico Neo 3、Oculus Quest 2	华为 VR Glass、arpara 5K VR、HTC Vive Flow、Pico 4、Meta Quest Pro
技术优势	1) 量产可实现较高视角角 (100°); 2) 支持 IPD 瞳距调节	1) 减少厚度, 降低重量 2) 理论上, 可实现大视角角; 3) 高透过率, 改善图像质量
技术劣势	1) 镜片较厚, 导致头显体积较大和重量较重, 考虑到芯片、传感器等其他必要零部件, 采用菲涅尔透镜的 VR 产品重量普遍超过 300g; 2) 成像质量降低, 特别是边缘画质下降; 3) 无法调节屈光度	1) 制造工艺问题导致视角角和轻薄冲突 2) 多次反射折射导致①损耗光路, 光学效率差; ②杂光和鬼影现象;
量产能力	设计和制造工艺成熟, 具备量产能力	量产良率较低, 实际效果低于理论上限, 需要制造工艺优化: 1) 需要偏振膜来消除折返过程中造成的重影, 但偏振膜在材料、耐热性、精密加工等方面技术门槛高; 2) 精度要求高, 需考虑注塑精度、杂散光、光轴对准调焦、脏污等问题, 多片镜片贴合难度大, 生产良率较低
成本	低	高, 因为 1) 光路复杂, 光路设计能力要求高; 2) 镀膜技术要求高

资料来源: VR 陀螺, 青亭网, 中国信通院, 赛迪研究院, VRPinea, 澎湃新闻, 金吉滤光片, 光大证券研究院整理

超短焦方案技术领先, 相比菲涅尔透镜帮助性能提升, 具体表现在 1) 更加轻薄, 增强舒适性; 2) 拉高 FOV、分辨率上限; 3) 改善成像质量。

传统透镜-菲涅尔透镜-超短焦的技术路径, VR 轻薄化趋势明显。现阶段 VR 头显多采用菲涅尔透镜和短焦两种方案, 传统透镜已被淘汰。菲涅尔透镜减去传统透镜除边缘齿纹以外的冗余光学元件, 实现减重和体积缩小。超短焦方案使

光线在镜片、延迟片、反射式偏振片中多次折返后耦出，将光路压缩至 2-3 片偏振片这一更窄空间内，打破菲涅尔透镜对焦距的要求，帮助头显重量降至 200g 以内，厚度缩减至传统终端的三分之一，大幅提升佩戴舒适性。

表 11: 超短焦方案大幅减少头显厚度、重量和体积

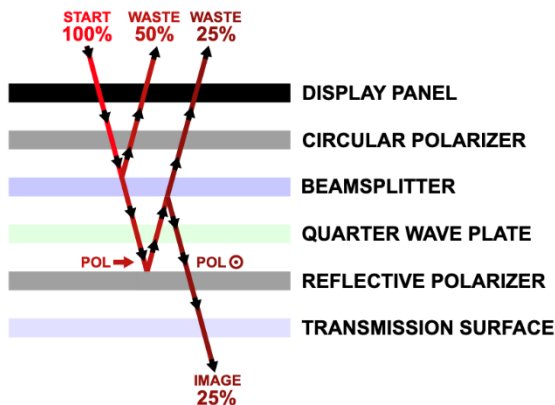
	Meta	arpara	arpara	华为
产品名称	Oculus Quest 2	AIO 5K VR 一体机	5K VR 头显	VR Glass
产品形态	一体式	分体式	分体式, 无计算模块和电池	分体式
产品示意图				
选择方案	菲涅尔透镜 + Fast LCD	超短焦 + Micro OLED	超短焦 + Micro OLED	超短焦 + Fast LCD
主机厚度	142.5mm	-	30mm	26.6mm
整机厚度	503g	380g	200g	166g

资料来源: VRCompare, 各公司官网, 光大证券研究所整理

提升视场角、分辨率的理论上限, 改善成像质量, 技术潜力可观。超短焦方案能在轻薄外观的同时, 获得更清晰的画面以及更大视场角, 分辨率理论无上限, 视场角理论上限也由菲涅尔透镜的 140° 提升至 200°。目前 2P 超短焦方案视场角为 95°-100°, 未来 3P 超短焦方案将进一步提升超过现有菲涅尔透镜水平。同时, 超短焦方案没有边缘画质模糊和画面畸变等缺陷, 成像效果更佳。

超短焦性能上限优于菲涅尔透镜, 技术迭代后仍有较大提升空间, 因此超短焦取代菲涅尔透镜的技术发展路径清晰。但超短焦也有缺陷待解决: 1) 每次光路折叠将损失 50% 能量, 低光效特点需搭配高亮度显示屏, 如 Micro OLED/LED 显示; 2) 多次反射折射, 导致杂光和鬼影问题, 需使用高精度反射式偏振片。

图 14: 超短焦折叠过程会损耗光路, 光学效率理论最高值 25%



资料来源: Meta

超短焦目前量产制造方面仍在爬坡期, 实际性能、量产能力、制造成本仍距市场预期有提升空间, 多应用于高端和企业级 VR 头显。光路设计复杂, 目前制造工艺导致视场角和轻薄冲突, 实际表现距离理想性能存在差距; 另一方面, 偏振膜门槛高, 在材料、耐热性、精密加工上存在问题, 多片镜片贴合难度大、精度要求高, 导致量产良率低, 成本相比菲涅尔透镜高近 10 倍。3P 等多片式超短焦方案能提升性能, 但对产能、成本和良率等制造工艺提出更大挑战。菲涅尔透镜制造工艺成熟, 能以低廉价格大规模量产, 存在一定制造端的优势。

2.3.2、技术预判：短期两方案共存，中长期超短焦逐步取代路径已明晰

综合技术性能和制造能力，我们对 VR 光学模组的技术路径选择进行预判：

- 1) **短期**：超短焦方案理论性能优秀，但受限于材料、镀膜和加工精度等制造问题，实际效果欠佳，产能和成本面临挑战。我们认为，**短期，部分中低端 C 端产品仍采用菲涅尔透镜；中高端和企业级产品将搭载先进的超短焦技术**，目前已出现华为 VR Glass、HTC VIVE Flow 和创维 PANCAKEXR 等规模量产的超短焦成熟 VR 头显，头部厂商 Pico 和 Meta 的最新产品也已公布将使用 pancake 方案；
- 2) **中长期**：随着制造改善、重要产品采用超短焦，**看好未来产业链成熟和规模效应降低成本，渗透至 VR 全品类，实现对菲涅尔透镜的全面替代。**

表 12：VR 光学方案菲涅尔透镜和超短焦的参数对比

	菲涅尔透镜	超短焦/折叠光路
可变焦显示	支持	支持
分辨率上限	单眼 4K	无上限，视网膜级别
视场角 (FOV) 上限	~140°	~220°
光学效率	80%-90%	12.5%
图像质量	较差，边缘画质较差，图像畸变	较好，但存在鬼影现象和杂光问题
镜片厚度	较厚，头显整机常超过 300g	较薄，头显整机重量可控制到 200g 内
设备重心	远离头部	靠近头部
量产能力	成熟	1) 制造良率低 2) 当前量产性能远低于理论值，需要工艺优化
制造成本	较低	较高
挑战	1) 镜片厚度难以缩短； 2) 成像质量较差	1) 光学设计复杂，技术门槛高，制造成本高； 2) 制造工艺需要改良，实际效果不如理想； 3) 光效差，鬼影和杂光问题待解决

资料来源：未来智库，MDPI，映维网，VR 陀螺，光大证券研究所整理

2.3.3、公司梳理：重点布局超短焦，制造和偏振片成为竞争关键

超短焦因优越性能和未来潜力，成为市场布局重点。菲涅尔透镜市场格局稳定，舜宇光学、歌尔股份和玉晶光电等把握千万级订单。因 Meta、苹果、Pico 等核心 VR 品牌的待出产品均采用超短焦技术，VR 光学市场迅速向超短焦方案迁移，吸引三类厂商加快布局：1) **光学厂商**利用光学积累，精细处理偏振光片；2) **组装厂商**如歌尔从整机向上游关键光学零部件延伸；3) 反射式偏振片在技术上维持偏振态消除鬼影，在制造上技术门槛高、良率低，因此成为 Pancake 中高价值量的关键部件，**偏振片厂商**将成为 Pancake 主要受益者。

VR 光学国产产业链完善，多家重点厂商为中国大陆、中国台湾和中国香港的上市公司，Pico、创维等国产 VR 品牌进一步推动国产化趋势。除关注大视场角和低鬼影等技术性能，目前**超短焦方案**聚焦于制造领域的产能和良率等能力，我们认为：

- 1) **看好光学龙头维持地位，获取 VR 品牌大额订单。**玉晶光电 (3406.TW)、扬明光学 (3504.TW) 和舜宇光学科技 (2382.HK) 等老牌光学厂商和歌尔股份 (002241.SZ) 等组装厂商凭借光学积累，以较高良率大规模量产，以优秀制造水平赢得包括 Meta Quest、苹果 Reality、Pico Neo 等主要 VR 厂商订单，中短期光学模组出货量将稳定在高水平；

- 2) 国内偏振片厂商积极切入，有望以国产化替代逻辑获取高价值量。虽 3M (MMM.N) 等海外厂商目前垄断偏振片，但国产偏振片厂商如三利谱 (002876.SZ)、冠石科技 (605588.SH) 等积极对 Pancake 偏振片布局，未来有望对接旺盛的国产替代需求。

表 13: VR 光学相关重点公司的研发水平和制造情况

技术	产品	公司名称	研发水平	量产制造	客户
菲涅尔透镜	透镜	舜宇光学科技 (2382.HK)	技术成熟，可实现大视场角 (96°)	已量产，2021 年 VR/AR 业务营业收入为 13.4 亿元	Meta Quest 2、Pico、HTC
	透镜	歌尔股份 (002241.SZ)	技术成熟，可实现大视场角 (95°)	已量产	Meta Quest 2; Pico Neo 3
	透镜	玉晶光电 (3406.TW)	技术成熟，是主要菲涅尔透镜供应商		Sony PS VR 2 (预测)
超短焦方案	透镜	玉晶光电 (3406.TW)	主要超短焦镜头供应商；高良率	2021Q3 花费 12.6 亿台币设立茂晶光电 (厦门) 用于扩建产线	苹果 MR 头显 Reality (预测)；
	透镜	舜宇光学科技 (2382.HK)	光学积累深厚；精密标定强	已量产	Meta Quest Pro(预测) Meta Quest 3(预测)
	透镜	扬明光学 (3504.TW)	高良率		苹果 MR 头显 Reality (预测)
	透镜	歌尔股份 (002241.SZ)	Pancake 光学进一步研发中，现有 100° 和 80°FOV 两款产品	2019 年率先实现大规模量产；Pancake 自动组装精度行业领先	Pico 4; Meta Quest 3(预测)
	透镜	惠牛光电	降低鬼影度 (~3%); 屈光度可调	3 万/月	创维 PANCAKEXR, 3Glasses
	透镜	鸿蚁光电	100°视场角	可量产	
	透镜	耐德佳	2021 年初启动研发; 95°视场角	可批产; 22H1 完成 B+轮融资提升产能	
	透镜	Kopin (KOPN.O)	95°视场角; 塑料材质轻薄和低成本，成像效果好		
	偏振片	3M (MMM.N)	掌握核心材料反射式偏振膜，实现垄断		
	偏振片	三利谱 (002876.SZ)	国产偏振片龙头，切入偏光片在 Pancake 的应用，对接国产替代需求	未量产。认证接近尾声，已采购生产设备来安装调试，预计 22H2 小批量供货	
	偏振片	冠石科技 (605588.SH)	国产偏振片厂商	未量产。10 条产线，产能可达 3500 万片/年 (不可全用于反射式偏振膜)	

注：红色标注字体为高出出货量 VR 头显客户

资料来源：各公司官网，映维网，青亭网，集微网，智东西，飞鲸投研，新浪财经，科创板日报，澎湃新闻，艾邦 AR/VR 网，yahoo 股市，长桥海豚投研，速途元宇宙研究院，览富财经网，光大证券研究所整理

2.4、显示：Fast LCD 先行、Micro OLED 过渡，Micro LED 有望 25 年铺开

显示屏影响沉浸感，其中清晰度和视觉暂留等相关指标最为重要：

- 1) 清晰度指标：图像清晰将提高沉浸感，指标①分辨率，即水平像素和纵向像素的数量，理想应达到 8K 或 12K 以上；②像素密度 (ppi)，VR 显示屏面积有限，反映每英寸面积像素数的像素密度比分辨率更重要，800ppi 将有效缓解“纱窗效应”，达到 2000ppi 以上才可呈现肉眼般的清晰度；

图 15: 像素密度提升帮助改善纱窗效应



资料来源：VR 科技网

图 16: 高刷新率帮助画面流畅



资料来源：中关村在线

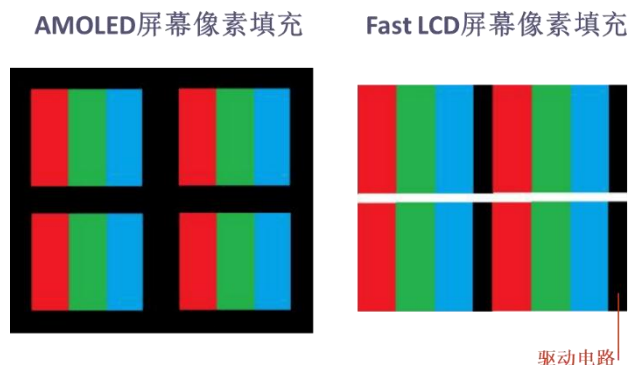
- 2) **视觉暂留指标**：视觉暂留（Persistence）是视网膜产生的视觉在光停止后，仍保留一段时间的现象，又称“余晖效应”，是致使眩晕的原因之一。低余晖技术包括①**提高刷新率**，帮助减少动画中各静态图片的重影，画面变化流畅，理想指标为 **150-240Hz**；②**降低响应时间**，液晶对输入信号转暗或转亮的时间应尽可能短。显示屏的延迟由两者的短板项决定；
 - 3) **对比度**：是屏幕最白和最黑亮度的比值，决定屏幕呈现的色彩饱和程度；
 - 4) **亮度**：亮度高有利于提升对比度，丰富图像细节，电视屏亮度多在 200-500nit，日光下应达到 700nit。但 VR 的入眼亮度由屏幕亮度和光学效率决定，因此，若采用光效低的光学方案，应搭配高亮度的显示屏；
 - 5) **功耗**：低功耗的显示屏，可减少散热，延长续航时间，提升舒适性需求。
- 除以上重要指标外，显示屏的**色域、寿命、重量和厚度**等也可做辅助参考。

2.4.1、Fast LCD 助力 C 端渗透，但显示性能存在很大提升空间

我们认为，Fast LCD 是目前 C 端 VR 头显大规模量产的主流显示技术，但性能仅处于初级水平，仍需研发新的显示技术促进体验升级。

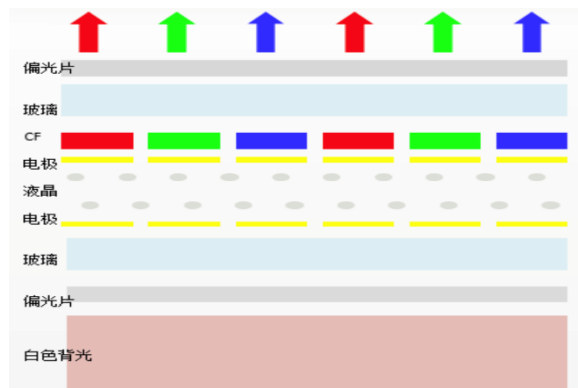
Fast LCD 因低成本和良好性能助力 VR 的消费级渗透。早期 VR 沿用其他消费级设备的 AMOLED 屏幕，但存在纱窗效应和高成本问题。2019 年，Fast LCD 因制造成熟，大幅降低成本，进入 VR 厂商视野。Fast LCD 显示性能良好，双眼分辨率提升至 4K，有效缓解“纱窗现象”；铁电液晶材料和超速驱动技术，将刷新率提升至 90Hz。2020 年，Meta Quest 2 采用 Fast LCD，爆款产品促进产业链整合，近两年 VR 显示屏方案选择趋于统一。

图 17：AMOLED 相比 Fast LCD 填充系数低，纱窗效应明显



资料来源：arpara，光大证券研究所

图 18：Fast LCD 屏幕结构示意图



资料来源：Display 技术

Fast LCD 下层为背光源，电流操控中层的液晶分子改变背光源光线照在上层彩色滤光片的比例，产生色彩。**Fast LCD 的显示原理致使诸多显示性能较差：**

- 1) **亮度低，功耗大**：背光源永远全亮，和滤光片带来的能量损耗，使屏幕亮度低、功耗大。Fast LCD 难以满足低光效的超短焦方案所需的亮度；
- 2) **对比度差**：背光源特性使屏幕无法呈现纯黑，对比度差，存在漏光现象；
- 3) **刷新率低**：工作原理导致刷新率远低于 OLED 等方案，且难以提升；
- 4) **清晰度受限**：驱动电路放置于像素间隙，像素间隔限制分辨率和 ppi 提升。

2.4.2、过渡期新技术已量产，Micro OLED 因显示优越最受期待

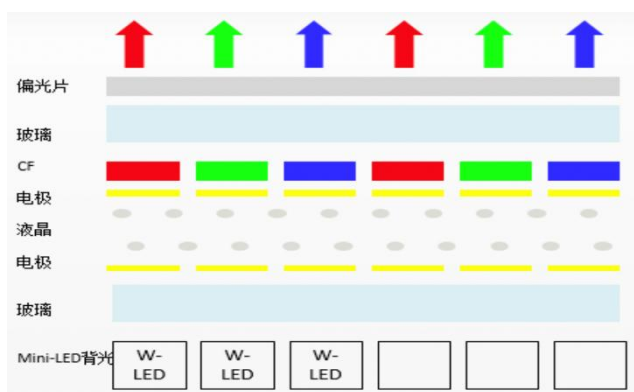
显示厂商大力研发投入，涌现出多种显示方案，其中可分为基于 Fast LCD 进行背光源改造的 Mini LED 和 QLED，以及自发光的 Micro OLED，均搭载 VR 头显实现规模量产，成为过渡期的显示技术。

Mini LED 将背光源分区调控，有效改善对比度、刷新率和亮度。Mini LED 将 Fast LCD 的整块 LED 背光源改为数万个 LED 灯珠，各区域可单独控光，提升对比度，实现 HDR 效果，画面质量媲美 AMOLED。同时，亮度和刷新率大幅提升，目前最高可实现局域亮度 2000 Nit。京东方、鸿利智汇等多家公司进行量产，Pimax、Varjo、创维等已推出搭载 Mini LED 的 VR 设备，Meta Quest Pro 也采用 Mini LED 背光。

Mini LED 仍有 LCD 固有缺陷，良率提升使原本高昂的成本快速下降。LCD 存在可视角度差和色域窄的固有缺陷。实际制造时，受限于 LED 灯珠尺寸，背光分区数量少，出现屏幕模块化、黑白画面不均等问题。同时数万灯珠导致良率处于爬坡阶段，模组打件和检测费用高，推高成本。目前 Mini LED 整体良率提升至 90%，随着制造工艺的不断完善，预计每年成本降低 20%-30%。

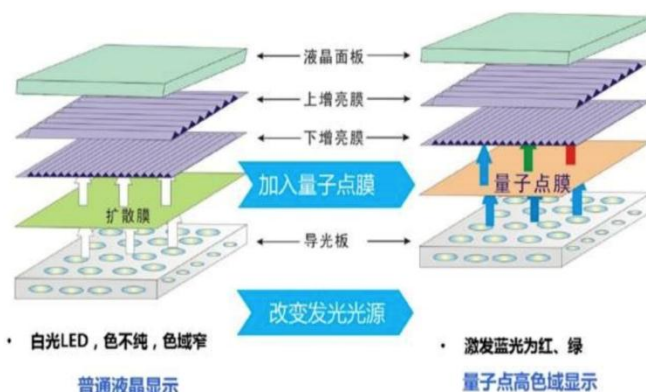
QLED 是 Mini LED 的高色域版本，多用于高端设备。QLED 将 Mini LED 的白光 LED 背光源转换成蓝光，并加入量子点强化膜，产生纯净的红、绿、蓝光，大幅减少亮度损失，并拉高色域至 110% 以上，色彩效果鲜艳饱和。但量子点膜增加成本，常用于高端 VR 上。

图 19: Mini LED 屏幕结构示意图



资料来源: Display 技术

图 20: 为更佳色彩效果, QLED 在 Mini LED 基础上改良

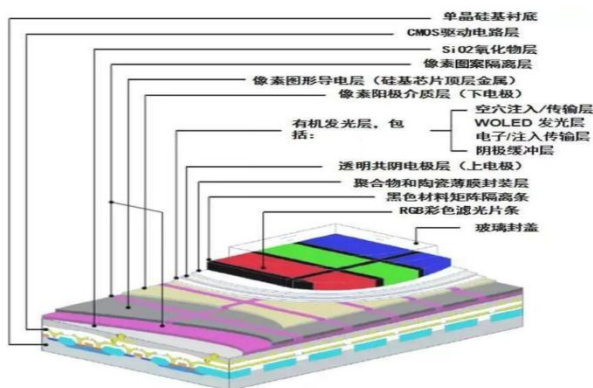


资料来源: IT 之家

Micro OLED 融合硅晶圆和 OLED 优势，将像素点置于硅晶圆上，硅晶圆作为驱动背板。全然不同于 LCD 的显示原理，使其突破 LCD 局限，显示性能跃升：

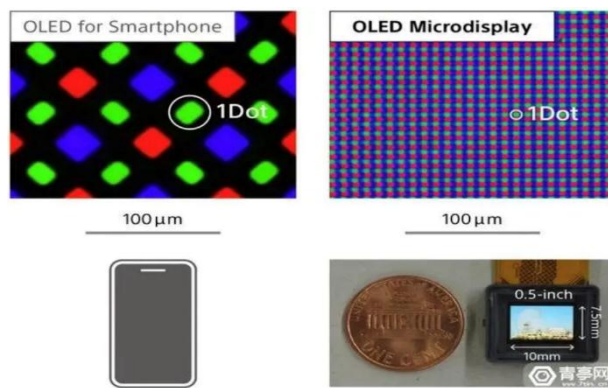
- 1) **高清晰度：**硅晶圆帮助像素尺寸缩小至原来的 1/10，同时取消驱动电路，像素密度提升明显，ppi 高达 3000+，HTC、松下等已推出 5K VR 头显；
- 2) **高刷新率：**OLED 材料使响应时间小于 $1\mu\text{s}$ ，刷新率进一步提升；
- 3) **功耗低：**OLED 自发光，各像素点独立开关光线，功耗相比 LCD 降低 20%；
- 4) **高对比度：**自发光实现高色域和对比度，arpara5K 头显对比度高达 10M:1；
- 5) **轻薄：**单晶硅为基底将减少器件的外部连线，相比其他方案减重 50+%。

图 21: Micro OLED 屏幕结构示意图



资料来源: 科技新报

图 22: Micro OLED 像素尺寸缩小至原有的 1/10



资料来源: 青亭网

制造工艺复杂且门槛高，但可复用半导体和 OLED 成熟产业链。Micro OLED 融合 CMOS 与 OLED 的制造工艺，CMOS 采用光刻技术，由晶圆代工厂制造；OLED 因有机材料易受水和氧气影响的材料特性，真空镀膜机和金属遮罩封装至关重要。半导体制造设备一次性投入大，制作工艺复杂，推高了企业进入门槛和制造成本，但 OLED 和 CMOS 产业链成熟，不存在产能和良率问题。

对比 Mini LED 和 Micro OLED 两方案，Micro OLED 在核心显示参数均有更好表现。然而，Mini LED 落地场景更为广泛，覆盖笔电、电视、车载等众多领域，厂商布局快速制造水平，良率和产能更优；Micro OLED 专注小尺寸领域，市场相对局限，规模化水平偏低。但随着 Meta、苹果等 VR/AR 龙头厂商的重视，有望吸引众多显示屏厂商投入和布局。

我们认为，中短期阶段（2022-2025 年），随着搭载 Micro OLED 屏幕的新产品发布以及 VR/AR 出货量持续提升，规模效应将逐渐体现，Micro OLED 将凭借其更优性能成为继 Fast LCD 后的过渡期主要显示技术。

表 14: 四类显示技术对比，Micro OLED 和 Micro LED 性能优越

性能指标	Fast LCD	Mini LED	Micro OLED	Micro LED
发光源	背光源	背光源	自发光	自发光
双眼分辨率	3K	较高，有可能实现 8K	高，轻松实现 8K	很高，8K 以上
像素密度 (ppi)	低	-	较高 (>3000ppi)	高 (>5000ppi)
刷新率	低 (90Hz)	中等 (120Hz-160Hz)	高	高
响应时间	毫秒 ms	毫秒 ms	微秒µs	纳秒 ns
对比度	低 (~5,000:1)	高	很高 (>10M:1)	很高 (>10M:1)
亮度	低 (<1000 nit)	中 (1000-3000 nit)	1000-6000nit	理论上，100000nit (全彩)，1000000nit (蓝/绿/红单色)
功耗	高	较高	较低	很低 (LCD 的 10%)
色域	75%	80%-110%，QLED 最高可达 157%	>100%	140%
寿命	较长	较长	中等 (<10,000 小时)	长 (>100,000 小时)
制造难度	低	灯珠尺寸限制分区数量；提升良率 (已达 90%)	工艺复杂投资巨大，门槛很高	巨量转移、后续检测等缓解仍在研究突破中
量产能力	大规模量产	已量产	初步量产	单绿色大规模量产，全彩显示处于研究阶段
制造成本	低	中，随良率提升价格下降迅速	较高	很高，但理论制造成本低

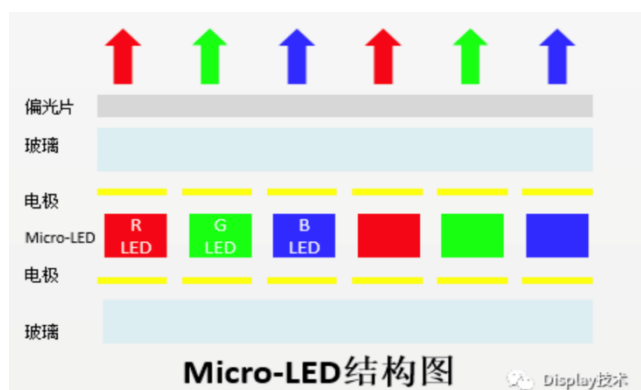
资料来源: VR 陀螺, 中国半导体照明网, 中关村在线, 动点科技, 科技发烧迷, IT 之家, 电子工程专辑, 快科技, CINNO, arpara 官网, 光大证券研究所整理

2.4.3、Micro LED 全面优越，量产突破后有望成为现实终极技术

Micro LED 补齐 Micro OLED 短板，各性能指标理想。Micro LED 采用全新显示原理，将背光源薄膜化、微小化、阵列化，缩小像素尺寸至 50 微米以下，单独驱动无机材料自发光。这使 Micro LED 在具备 Micro OLED 高分辨率、高 PPI、高刷新率和高对比度等优点的同时，拥有无机物特性，将响应时间、功耗、色域等性能进一步提升，并有效改善 Micro OLED 亮度低、寿命短的缺陷。

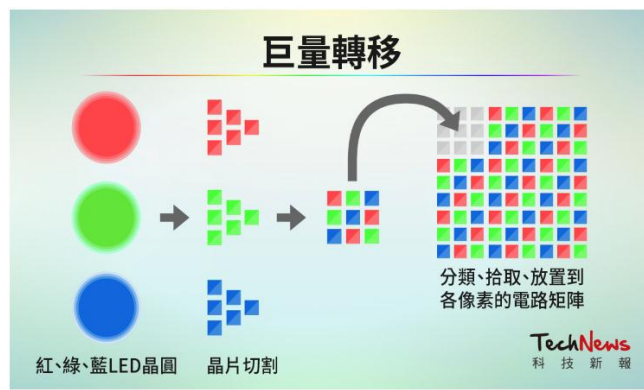
Micro LED 制造工艺面临技术瓶颈，尚处研发阶段，短期难以规模量产。一方面，**成本高昂。**巨量转移问题，即微米级 LED 在硅晶圆上制造后移植到屏幕基板上的过程，要求高精度和高转移速率，造成产能和良率很低；封装测试、检测、维修面临挑战，均推高制造成本。另一方面，**无法彩色显示。**仅单绿色具备规模量产能力，目前市面上屏幕仅显示绿色图像。22 年上半年，JBD 宣布难度最高的单红色量产取得突破，待单红色规模量产，全彩 Micro LED 仍需 2 年研发量产技术，预计 2025 年有望看到可规模量产的全彩 Micro LED。

图 23：Micro LED 屏幕结构示意图



资料来源：Display 技术

图 24：Micro LED 制造中的巨量转移过程挑战重重



资料来源：科技新报

虽制造量产难度高，Micro LED 理论制造成本低廉。一方面，结构简单，系统设计和集成难度小；另一方面，制造流程简单，不同于 LCD 或 OLED，Micro LED 无需对大基板进行光刻或蒸镀，也不需复杂制程来转换颜色和防止亮度降低。待巨量转移和全彩显示等问题解决后，未来制造成本有望骤降。

我们认为，Micro LED 的卓越性能和理论低廉成本使其成为行业公认的终极显示技术，市场空间潜力值得期待。**看好长期阶段（2025 年后）Micro LED 突破制造限制后，对 Micro OLED 实现取代，推动消费端 VR 头显的放量。**

2.4.4、公司梳理：龙头布局全面，部分公司深耕特有新技术领域

显示厂商集中在日韩、中国台湾和中国大陆，国产厂商呈现壮大趋势。各厂商针对 Micro OLED、Mini LED 和 Micro LED 三类新兴技术积极投入：

- 1) **Fast LCD：多为老牌厂商，竞争围绕产能和成本。**京东方因物美价廉和扩大产能，市占率第一；VR 方面，夏普因 Meta Quest 2，收入大幅提升；
- 2) **Mini LED：旺盛需求促进产能和销量高速增长，但 VR 非重点应用。**作为过渡期显示技术，三星、夏普、索尼等海外厂商积极布局，但多针对电视和车载。国产厂商京东方、TCL 科技、长信科技、鸿利智汇等覆盖 VR，其中长信和京东方有潜力获得 Meta Quest 3 和 Pro 的订单，获得 VR 红利；

- 3) **Micro OLED：小尺寸适配 XR 产品，索尼龙头地位明显，国产公司受吸引入局。**小尺寸，故适配热成像取景器、XR 等。海外的索尼、eMagin、Kopin 等存在先发，其中索尼因成熟量产成垄断态势；但因无法广泛应用于电视、笔电等，盈利差，三星、夏普等龙头未入局。国产厂商京东方积极扩产，视涯科技、湖畔光电、昆山梦显等初创公司被 XR 等吸引入局；
- 4) **Micro LED：各终端终极显示方案，海内外厂商布局火热，但量产未成熟。**Micro LED 有望成为电视、笔电、VR/AR、车载等的终极显示方案，海外龙头三星、夏普、JDI 和国内龙头京东方、TCL 科技均高度重视。国内 JBD 表现活跃，已实现绿色规模量产，并开始研发全彩微显。但制造水平距离全彩规模量产仍有一定差距，市面少数 Micro LED 的 VR 多为概念产品。

综合考虑未来 VR 显示方案路径预判和现阶段各厂商布局方向，我们认为：

- 1) **显示龙头厂商依赖技术和资金支持，保持稳定地位。**国内外显示龙头在通用型显示方案（LCD、Mini LED、Micro LED）布局全面且深入。其中，**夏普（6753.T）**作为 Meta Quest 2 最大 LCD 供应商享受红利；三星、夏普、**JDI（6740.T）**等利用自身积累在 Micro LED 取得领先，其中**三星（005930.KS）**技术最为成熟；国内厂商**京东方（000725.SZ）、TCL 科技（000100.SZ）**各类技术均进行研发和产线建设，先发优势使其有望获得国产化替代红利；
- 2) **部分厂商以在某一技术的突出布局和表现，后续进展值得关注。**Mini LED 领域，长信科技、**鸿利智汇（300219.SZ）、隆利科技（300752.SZ）**针对 VR 深入布局，有潜力获得订单，其中**长信科技（300088.SZ）**有潜力获得 Meta Quest 3 微显示屏订单，出货量有望飞涨，但**过渡期 Micro OLED 将成为最后主流，三家竞争力可能会逐渐减弱。**Micro OLED 领域，**LGD（LPL.N）**和**索尼（SONY.N）**有望随苹果 MR Reality 头显起飞，而国产视涯科技等也将持续发力；**JBD**针对最重要技术 Micro LED，研发和量产制造均位居前列，待技术最终落地，有望向笔电、电视、XR 等迅速出货；
- 3) **LED 芯片是显示屏中技术难度和价值量最高的零部件，相关厂商有望受益。**不同于海外龙头大多拥有自研芯片技术，国内龙头京东方、TCL 科技、长信科技等均是面板厂商，需采购芯片。国产 LED 芯片厂商**三安光电（600703.SH）、华灿光电（300323.SZ）**在 Mini/Micro LED 均积极布局且实现芯片量产，有望获益。

表 15: VR 微显示屏相关公司的研发和量产情况 (部分)

技术	公司名称	环节	研发技术	制造产能	VR 客户/搭载头显
Fast LCD	夏普 (6753.T)	全链		广州线产能 90k/月, 21 年投资扩产能至 120k/月, 三年内产能逐渐释放	Meta Quest 2 (最大独家供应商) , Pico Neo 3, Pico 4
	京东方 (000725.SZ)	面板	业内首发玻璃基电镀厚铜工艺, 良率迅速提升; 发布 VR/AR 专用的三款面板	拥有北京、福州、合肥等多条产线, 各产线积极扩产能, 全球市占率超 20%, 位居第一	爱奇艺, 小米 VR, 华为 VR Glass, Pico Neo 3, Pico 4
	JDI (6740.T)	面板	发布适用于 VR 的 3240x3240、2.27 英寸面板		Pico Neo 3, Pico 4
	TCL 科技 (000100.SZ)	面板	两款适用于 VR 的面板, 分辨率 2280x2280 (2.1 英寸) 和 2160x2160 (1.77 英寸), 120Hz	华星光电 t6 和 t7 两条产线设计产能均为 90k/月, 将陆续扩产能至 105k/月, 三年内产能逐渐释放	创维 PANCAKEXR
Mini LED	京东方 (000725.SZ)	面板	与华灿光电共同开发 Mini LED 主动式玻璃基; 发布 VR 专用的 3.2 英寸、1200ppi 的面板	2021 年 12 月首款玻璃基 Mini LED 实现量产交付	Meta Quest Pro (预计)
	长信科技 (300088.SZ)	面板			Meta Quest 3 (预计)
	TCL 科技 (000100.SZ)	面板	在透明和柔性上取得突破	投资 150 亿元对 t3 项目建设扩产, 预计 2023 年 H1 实现量产, 应用笔电、车载、VR 等领域	VR 客户仍在推进中
	鸿利智汇 (300219.SZ)	面板		一期投产, 设计年产值约 6 亿元, 用于 VR; 二期装修中, 设计年产值约 40 亿元, 主要用于电视	向国外 VR 客户批量供货, 其他客户小批量供货和打样
	隆利科技 (300752.SZ)	面板		22M5 投资 8.5 亿元建设产线, 设计年产能 262.08 万件, 2 年后建设完成	向 Varjo 和北美知名 VR 企业交付
	友达光电 (2409.TW)	面板	22 年 5 月发布 2.9 英寸 1688ppi 面板	投资 2.39 亿人民币建立厦门厂, 扩充产能	
	三安光电 (600703.SH)	芯片		21M9 投资 120 亿元建设湖北产线, 预计 GaN 芯片 161.6 万片/年, GaAs 芯片 17.6 万片/年, 泉州产线 21 年量产已超百万片。主要用于电视和电脑, 22 年月订单超 2 亿, 出货金额逐月爬坡	三星等国际龙头、TCL; 苹果 MR Reality (预测)
华灿光电 (300323.SZ)	芯片	与京东方共同开发了 Mini LED 主动式玻璃基技术	19 年率先大批量生产和销售; 22M1 和 M6 分别投资 15 和 4.92 亿元建设芯片研发和产线项目		
Micro OLED	索尼 (SONY.N)	全链	自 09 年研发, 像素缩至几微米, 面积 6.5cm ² ; 发布搭载 Micro OLED 的 VR 原型机	19 年前实现成熟量产, 搭载超 50% 的 AR, 处于行业龙头地位, 凭借其成熟量产能力实现垄断	苹果 MR Reality (预测); Nreal (AR)
	LGD (LPL.N)	面板		订购 Sunic System 沉积设备为供应苹果准备	苹果 MR Reality (预测)
	京东方 (000725.SZ)	面板	发布 VR 专用的 0.39" 和 0.71" 的两款微显, 最高实现 5644ppi	云南创视界兴建两条产线用于 XR, 8 英寸产线 2019 年完工, 年产能 200 万片; 12 英寸产线预计 2024 年完工, 设计年产能 523 万片	
	视涯科技	全链		2017 年投资 20 亿元建设生产基地, 设计产能 9k 片/月, 于 2019 年 11 月正式投产	arpara AIO 5K VR
	Kopin (KOPN.O)	全链	ColorMax 实现高色彩; 双堆叠结构, 提升电流效率、降低功耗; 发布 0.49 英寸 720p 微显;	可量产	松下 VR Glass
	eMagin (EMAN.A)	-	技术位于全球领先水平; 2022H1 发布超薄 VR 专用 4K 显示屏	全球首家实现批量生产	主要应用于军事领域
Micro LED	三星 (005930.KS)	全链	110 英寸电视发布并销售, 售价超 100 万元/台	2022 年 5 月投资 2.46 亿元建设电视产线, 产能为 46 台/月	
	JBD	全链	红光量产技术取得突破, 逐渐实现红光量产; 宣布开发 0.22 英寸单面板彩色 Micro LED	大规模量产。投资 6.5 亿元的合肥工厂初步建成; 出货量累计超百万, 应用 AR/VR、车载领域	
	夏普 (6753.T)	全链	推出 0.38 英寸、1053ppi 全彩和 0.13 英寸、3000ppi 蓝色单色样品, 专注 AR/VR		
	京东方 (000725.SZ)	面板	2021 年展示样品, 采用玻璃基主动式驱动方式, 峰值亮度超过 1500 nit, 对比度达 100M:1	技术尚未成熟, 距离大规模量产还需较长时间	
	友达光电 (2409.TW)	面板	发布 2000nit 亮度、透明度 60%、分辨率 1280x720 的 17.3 英寸微显, 应用于车载和电视	用于车舱和电视。21 年 65 亿元投资昆山厂, 月产能 3.6 万片; 22 年投资千亿美元, 25 年投产	
	JDI (6740.T)	面板	2019 年底发布 1.6 英寸, 265ppi 样品	量产时间未定, 预计先量产 10 英寸的屏幕	
	TCL 科技 (000100.SZ)	面板	与三安光电办联合实验室		
	三安光电 (600703.SH)	芯片	与 TCL 科技办联合实验室; 研发出 10x20 微米晶圆, 进一步微缩制程; 继续研究巨量转移	增募 79 亿元, 湖北三安的产能正在释放中	
华灿光电 (300323.SZ)	芯片	高良率 (99.99%); 全彩化; 深度研究巨量转移	高精度和洁净产线, 量产 4 和 6 英寸产品, 已有有实际订单		

注: 红色标注字体为高出货量 VR 头显客户

注: 制造产能的部分产线并不用于或并不仅用于 VR/AR 产品。

注: 全链是指厂商既具备显示芯片自研能力, 又具有面板等产线

资料来源: 各公司官网, 各公司公告, 中关村在线, 行家说 Display, AR 圈, CNPP, 维深 Wellsenn XR, LEDinside, Micro Display, 天极网, 青亭网, 环球网, IT 之家, VR 游戏, 新浪 VR, 界面新闻, 数艺网, 每日经济新闻, 集微网, 电科技, 赛迪智库, CINNO, 证券之星, 云南网, 科创板日报, 智东西, 光大证券研究所整理

2.5、 芯片：算力与交互是关键，高通迭代&厂商自研并进

特有功能和更高性能要求，促使主控芯片向 XR 专用芯片发展。主控芯片 SoC 是 VR 产品实现运行控制和数据处理的核心，早期 VR 产品多采用移动消费级芯片，但 XR 设备对芯片有更多特有需求，手机芯片无法完全满足：

- 1) **更高算力以支撑高品质图像处理**：手机分辨率多在 1080p，然而因近眼显示大视场角，VR 设备需在双眼 4K 以上才能有效缓解“纱窗效应”，这对运算能力提出更高要求；VR 画面渲染负载、刷新率与时延要求比传统手机高数倍，这对芯片的视频渲染能力提出更高要求，要求精细化渲染；
- 2) **丰富交互功能**：要求搭载目前手机没有的眼球追踪、手势交互、空间定位、动作追踪等众多复杂交互功能；
- 3) **多传感器信息融合**：VR 头显要求搭载多摄像头，芯片要对信息融合处理；
- 4) **功耗和散热**：考虑到 VR 头显的舒适体验，在保持芯片高算力的同时，需要兼顾功耗和散热，以实现较好时间续航能力。

2.5.1、竞争格局预判：VR 龙头品牌自研入局，国产趋势有望在后期出现

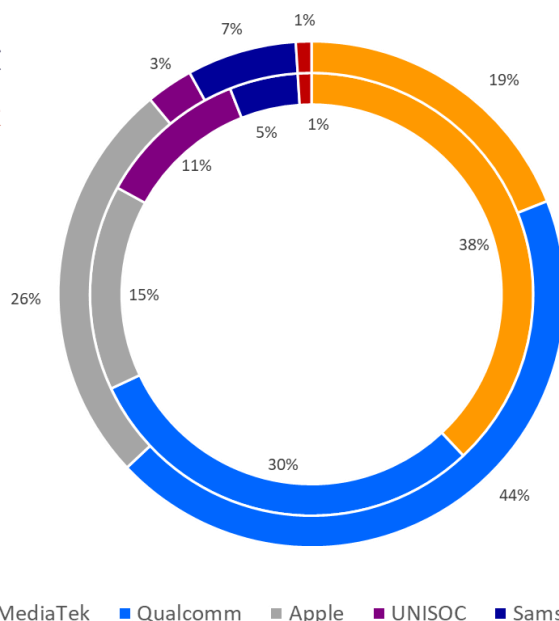
考虑到手机芯片与 VR 芯片存在一定复用性，且 AR/VR 被认为是智能手机后的下一代计算平台，我们参照智能手机芯片的发展预判 VR 芯片的未来。

手机芯片厂商格局稳定，自研和第三方芯片提供商同时存在。初期手机芯片市场，以第三方芯片提供商供应为主，高端机使用高通，中低端机使用联发科。苹果、华为等凭借高端手机销量在芯片领域获得话语权，先后推出自研处理器芯片并搭载自身手机产品出货。**国产化趋势逐步显现**，随着国产手机厂商地位的稳固，国产芯片渗透率提升，紫光展锐份额不断增加，同时国产手机厂商如 OPPO、Vivo 和小米等跟随华为步伐，针对关键场景自研芯片。

图 25：22Q1 手机芯片厂商布局。高通定位中高端，联发科和 UNISOC 中低端；苹果、华为和三星自研芯片

内圆环：按照芯片出货量判定的市场份额

外圆环：按照芯片收入判定的市场份额



MediaTek: Redmi K50、Redmi Note10 Pro、Vivo X80、荣耀70 Pro+、OPPO K9x等机型

Qualcomm: Redmi K40S、Redmi K30 Pro、OPPO K9s、OPPO Ace2、VIVO iqoo Neo3、OnePlus 8T等机型

Apple: 全部iPhone系列机型

UNISOC: Realme C31、诺基亚G21、荣耀畅玩20等机型

Samsung Exynos: 部分三星机型如 Galaxy F13，和少量其他品牌机型如 Vivo X60

Hisilicon: 部分华为机型如Mate 40 系列手机

■ MediaTek ■ Qualcomm ■ Apple ■ UNISOC ■ Samsung Exynos ■ Hisilicon

资料来源：Counterpoint，公司官网，品阅网，IT168，和讯网，IT之家，中关村在线，热点科技，光大证券研究所整理

目前，VR 头显出货量保持增长趋势，部分科技厂商在 XR 芯片领域抢先布局。其中苹果、高通、三星、华为海思均为手机芯片龙头，瑞芯微和全志科技则从 AIoT 芯片延伸至 VR 芯片领域。

表 16：部分芯片厂商推出 VR/AR 适配芯片

研发公司	主攻方向	最新产品
苹果	AR	A16 Bionic/M1
高通	VR/AR	骁龙 XR2 + Gen 1
全志科技	VR	VR9
华为海思	VR	XR 芯片
瑞芯微	VR/AR	RK3588

资料来源：各公司官网，智东西，光大证券研究所整理

参考手机芯片的发展路径，以及各厂商的技术实力和生态建设，我们预判：

- 1) **龙头 VR 头显制造商自研芯片。**VR 头显相比手机具有更复杂交互功能和更大个性化设计潜力，预计自研芯片将带来更强的软硬件适配能力，各厂商更具动力自研专用芯片；同时 XR 龙头具备抢先布局 XR 芯片的战略意识，目前 Meta (META.O)、苹果 (AAPL.O) 等巨头均有推出或在研 VR 专用芯片，预计未来 VR 芯片自研占比或高于智能手机时代；
- 2) **第三方芯片制造商供应其他头显品牌，高通或将保持领先地位。**因 VR 芯片多在手机芯片基础上改造而成，看好独立手机芯片供应商凭借技术优势切入 VR 芯片市场。目前高通 (QCOM.O) 占据绝对龙头，后续关注联发科 (2454.TW) 等巨头动向。但由于先发优势和客户粘性等，预计高通在第三方厂商中地位稳固；
- 3) **待中国 VR 市场逐渐被开发，国产芯片将向 VR 专用芯片渗透。**目前因 VR 市场规模较小，国产芯片厂商未做重点布局。等待未来国产 VR 品牌崛起后，包括芯片在内的上游零部件也将逐步实现国产化替代。国产芯片厂商中，手机芯片制造商华为海思和紫光展锐具备天然技术优势；AIoT 芯片厂商如

瑞芯微（603893.SH）和全志科技（300458.SZ），因战略布局早、性价比高和应用场景广泛，也有望进一步发展。

2.5.2、手机芯片巨头高通技术优势突出，多年深度布局 XR 芯片

高通（QCOM.O）芯片产品众多，覆盖低中高全产品线，成为当前绝对对龙头。高通骁龙 820、骁龙 835、骁龙 845 为手机芯片，并伴随具备交互功能的 VR 开发套件，多应用中低端 VR 一体机上。因高通看好 XR 产品大力布局，相继发布 VR 专用芯片骁龙 XR1 芯片和 XR2，其中骁龙 XR1 芯片定位中低端，目标是拉低价格打入消费级市场，性能表现弱，仅在几年前搭载松下 MeganeX 和大朋 VR 一体机 P2 消费版等少数中低端产品；而高端旗舰芯片骁龙 XR2 性能明显提升，成为目前中高端一体机的首选。

表 17：2021 年新发布 VR 头显芯片，高通成为主流选择

芯片方案	产品	产品形式	价格
高通骁龙 XR2	爱奇艺奇遇 3	一体式	3499 元
	Pico Neo 3	一体式	2499 元起
	arpara 5K VR 一体机	一体式	3999 元起
	HTC Vive Focus 3	一体式	1300 美元
	Pimax Reality	一体式	2399 美元
高通骁龙 845	NOLO Sonic	一体式	1999 元起
	大朋 P1 Ultra 4K	一体式	3899 元起
高通骁龙 821	创维 S802 4K	一体式	1499 元

资料来源：VR 陀螺，光大证券研究所整理

高通积极迭代出新，参数逐年提升。高通两款专用 VR 芯片对手机芯片进行改良，弱化通信功能，强化图形处理、交互等能力，并对底层 CPU、GPU 等优化降低功耗。刨除中低端定位的骁龙 XR1，性能每年提升明显，一方面，更新 CPU、GPU 架构，采用更小制程，实现算力提升，以提供更强的图形处理和视频渲染能力；另一方面，融入计算机视觉算法，提供丰富复杂的交互功能。最终在骁龙 XR2 实现大幅跃升，成为支撑 VR 一体机的关键基础。**制程工艺上从三星转向技术更优的台积电**，以保证芯片的出货量和高质量。

表 18: 高通芯片持续迭代, 算力和编解码能力持续爬坡, 交互功能日益丰富

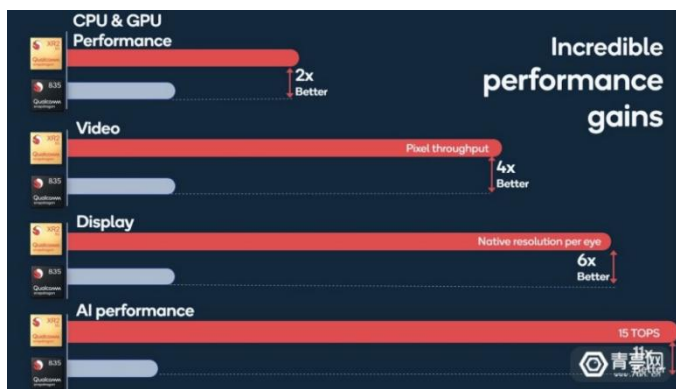
芯片	高通骁龙 820	高通骁龙 835	高通骁龙 845	高通骁龙 XR1	高通骁龙 XR2	高通骁龙 888	高通骁龙 8 Gen1
芯片类型	手机芯片可用于 VR	手机芯片可用于 VR	手机芯片可用于 VR	AR/VR 专用芯片	AR/VR 专用芯片	手机芯片	手机芯片
发布时间	2015 年 11 月	2016 年 11 月	2017 年 12 月	2018 年 5 月	2019 年 12 月	2020 年 12 月	2021 年 12 月
制程	14nm	10nm	10nm	10nm	7nm	5nm	4nm
CPU	2x Kryo @2.15 GHz 2x Kryo @1.60 GHz	4x Kryo 280 Gold @2.45GHz 4x Kryo 280 Silver @1.90GHz	4x Kryo 385 Gold @2.80GHz 4x Kryo 385 Silver @1.80GHz	2x Kryo Gold @2.50 GHz 6x Kryo Silver @1.70 GHz	1x Kryo 585 Prime @2.84 GHz 3x Kryo 585 Gold @2.42 GHz 4x Kryo 585 Silver @1.80 GHz	1x Kryo 680 Prime @2.84 GHz 1x 3x Kryo 680 Gold @2.42 GHz 4x Kryo 680 Silver @1.80 GHz	1x Kryo Prime @3.00 GHz 1x 3x Kryo Gold @2.50 GHz 4x Kryo Silver @1.80 GHz
GPU	Adreno 530 @0.62 GHz	Adreno 540 @0.71 GHz	Adreno 630 @0.70 GHz	Adreno 610	Adreno 650 @0.25 GHz	Adreno 660 @0.84 GHz	Adreno 730 @0.82 GHz
FP32 算力	476 GFLOPS	567 GFLOPS	737 GFLOPS	273 GFLOPS	1376 GFLOPS	1720 GFLOPS	2236 GFLOPS
AI 算力	-	1.3 TOPS	3 TOPS	1.8 TOPS	15 TOPS	26 TOPS	27 TOPS
摄像头	-	-	-	-	7 路并行摄像头	-	-
通讯	-	-	-	-	5G	5G	5G
功耗	100W	100W	100W	10W	10W	10W	6W
视频编解码	4K@30fps	4K@60fps	4K@60fps、720p@480fps	4K@60fps	8K@60fps、4K@120fps	8K@30fps、4K@120fps	8K@30fps、4K@120fps
头显自由度	头部 3DoF	头部 6DoF	头部 6DoF	头部 3DoF/6DoF	头部 6DoF	-	-
交互	-	inside-out 空间定位、注视点渲染、即时定位、地图构建手势识别	室内空间定位 6DoF、地图构建、视觉聚焦、边界系统	高级视觉处理功能、双耳声打造全景声	定制双 ISP, See-through、眼球追踪、表情追踪、语音输入、局部渲染、地图构建等算法	-	-
代工厂	三星	三星	三星	台积电	台积电	三星	三星

资料来源: 高通官网, CPU Monkey, 芯参数, VR 陀螺, 青亭网, 驱动之家, 快科技, 数评时代, DoNews, VentureBeat, GadgetVersus, Android Authority, 光大证券研究所整理

高通骁龙 XR2 芯片成为 VR 一体机的绝对主力芯片, 得益于 1) 性能强大; 2) 骁龙 XR2 平台打造完善开发者生态。

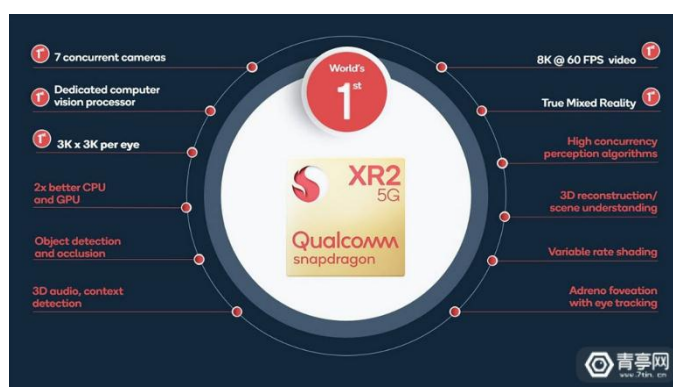
骁龙 XR2 性能强大, 相比前代众多产品提升显著。骁龙 XR2 在 CPU 和 GPU 性能、视频处理能力、显示分辨率输出能力、AI 算力等方面实现数倍提升。视觉方面, AI 算力达到 15 TOPS, GPU 以 1.5 倍像素填充率和 3 倍纹理速率, 实现高效高品质的图形渲染, 支持视频 8K 和 4K 高帧率输出。交互方面, 支持 7 路并行摄像头, 高精度实时追踪用户的头部、嘴唇和眼球, 并支持 26 点手部骨骼追踪, 搭载更多硬件加速模块支撑更复杂算法, 因此具备眼动追踪、表情追踪、语音输入、3D 建模、注视点渲染等众多新型复杂交互功能。

图 26: 骁龙 XR2 和骁龙 835 性能参数对比



资料来源: 青亭网

图 27: 骁龙 XR2 搭载功能更丰富



资料来源: 青亭网

长期重视生态建设，融合算法模块和加强战略合作，降低应用开发难度。高通相继推出骁龙 XR1 平台和骁龙 XR2 5G 平台，在软件算法、空间计算、用户感知、空间感知等方面，提供底层软件、算法、整套设计等支持，降低开发者难度，如 XR2 平台融合头部 6DoF 功能。推出 XR HMD 加速器计划、XR 眼镜适配计划、XR 企业计划等生态建设计划，其中 HMD 加速器计划旨在吸引零部件厂商或者技术合作伙伴共同研发设计，实现各厂商技术的整合和融通，如眼动追踪厂商七鑫易维与高通底层框架打通，将自身功能集合到芯片平台上。

图 28：高通邀请企业 AR/VR 解决方案提供商加入 Qualcomm XR 企业计划



资料来源：映维网

高通骁龙下一代 XR 芯片在研，参考最新手机芯片参数，看好其性能得到大幅提升。2022 年 10 月发布的 Meta Quest Pro 高端 VR 头显搭载新一代芯片高通骁龙 XR2 + Gen1 芯片。游戏巨头 Valve 公司在研 VR 一体机项目，相比之前分体式设备增加内置处理器，根据泄露的代码，该处理器来自高通，架构为四大核+八小核，超过现有骁龙 XR2 的八核处理器，或为高通下一代 XR 芯片。骁龙 XR2 运算能力与手机芯片骁龙 865 相当，目前高通已推出骁龙 888 和骁龙 8 Gen1 等迭代产品，在运算能力上实现近一倍提高，看好下一代 VR 专用芯片性能实现大增。根据资深 XR 行业分析师 Brad Lynch，下一代芯片高通骁龙 XR 2 Gen 2 将基于尚未发布的高端手机芯片高通骁龙 8 Gen 2，Meta Quest 3 和 Pico 5 有望搭载。

2.5.3、VR 整机龙头战略意识强，Meta 和苹果布局自研芯片

苹果 (AAPL.O) 凭借高端手机龙头的地位，首款产品有望搭载自研系列芯片，算力高于高通现有产品。优秀的软硬件结合度一直是苹果的亮点，在 MR 设备上也有望有所展现。苹果 MR 设备有可能采用 M1 作为高端处理器，再额外配置一个专门处理传感器数据的低端处理器。M 系列芯片性能强大，目前高通骁龙 XR2 性能与手机芯片骁龙 865 相当，尚不及苹果 M1 的一半，而 M2 芯片配置 10 核 GPU、16 核核心神经引擎、媒体处理引擎和 ProRes 视频引擎，运算能力和硬件加速编解码能力进一步提升，苹果 M1 和 M2 超越高通 XR2 成为最强 VR 芯片。

图 29：苹果 M1 芯片性能强大，跑分结果为高通骁龙 865 的 2.6 倍



资料来源：VR 陀螺，光大证券研究所

Meta (META.O) 自研芯片进展不顺，近期继续搭载高通处理器芯片。此前 Meta 有意效仿智能手机时代的苹果，为其 AR/VR 产品开发专用处理器，代号为巴西利亚项目，以摆脱对高通芯片的依赖，并实现更优性能和个性化功能。但 22M10 发布的 Meta Quest Pro 和待发布 Meta Quest 3 等 Meta 近期 VR 头显均搭载高通处理器芯片，预计 Meta 处理器芯片的研发距离实际落地仍需更长时间。同时，Meta 在专用于 AI 处理的定制加速器芯片 RISC-V 上取得进展，集成至一款 VR 原型机上，但尚未量产发售。

考虑到苹果芯片全自用的先例，预计以上厂商自研芯片未来不会对外售卖，但苹果、Meta 等作为未来 XR 设备的主要供应商，未来有可能降低第三方芯片的市场份额，对高通在 VR 芯片的霸主地位提出挑战。

同时，因高通、苹果和 Meta 自研芯片仅在设计领域，不具备制造能力，需要代工厂参与，这要求芯片设计厂商具备较高供应链能力。一方面，VR 芯片制程小质量高，对代工厂制造要求高，倾向于台积电代工，但台积电现有产能紧张或无法承受，三星或承担部分订单。另一方面，制造材料价格提升和产能紧缺使台积电涨价，推高 VR 头显成本。我们认为高通 (QCOM.O)、苹果 (AAPL.O) 和 Meta (META.O) 等大型客户在台积电 (TSM.N) 和三星 (005930.KS) 的产能预定和订购价格优惠上相比小型芯片厂商存在较大优势。

2.5.4、国产芯片尚未针对 VR 重点布局，展望中长期国产化发展前景

国产芯片性能仍较落后，实际搭载 VR 机型很少。目前，全志科技、瑞芯微、华为海思等国内芯片厂商，逐步把业务扩展至 VR 一体机的主控芯片领域，然而性能与高通芯片差距明显。较差性能导致国产 XR 芯片仅搭载早期几款中低端 VR 一体机，如采用全志 VR9 的电信天翼小 v 一体机，仅满足低端观影等简单功能，近几年新推出 VR 产品基本不使用国产芯片。

表 19: 国产 VR 芯片与高通骁龙 XR2 的性能参数对比, 差距明显

	高通骁龙 XR2	华为海思 XR 芯片 Hi3796C V300	瑞芯微 RK3588	全志 VR9
发布时间	2019 年 12 月	2020 年 5 月	2021 年 4 月	2017 年 6 月
制程	7nm	-	8nm	28nm
CPU	2x Kryo Gold @2.5 GHz 6x Kryo Silver @1.8 GHz	8 核 “1+3+4” 大小核架构 Cortex-A73	4x Cortex-A76 @2.4GHz 4x Cortex-A55 @1.8GHz	4x Cortex-A53
GPU	Adreno 650	ARM Mali-G52 MC6 GPU	ARM Mali Odin MP4	ARM MaliT760
GPU FP32 浮点算力	1376 GFLOPS	426 GFLOPS	610.6 GFLOPS	210 GFLOPS
AI 算力	15 TOPS	9 TOPS	6 TOPS	-
摄像头	7 路并行摄像头	-	最多 6 个摄像头输入	-
通讯	5G	-	-	-
功耗	10W	-	-	-
视频编解码	8K@60fps、4K@120fps	8K@120fps、8K@60fps、 4K@60fps、1080p@60fps	8K@30fps、8K@60fps、 4K@60fps	6K@30fps、4k@60fps
头显自由度	头部 6DoF	-	-	手柄 3DoF、头部 6DoF
交互	定制计算机视觉处理器, 集成 See-through、眼球追踪、表情追踪、语音输入、局部渲染、地图构建 (SLAM) 算法	语音交互、眼球跟踪、地图构建 (SLAM)、即时渲染、手势识别	人脸解锁能力	支持 AI 语音控制、outside-in 空间定位系统
代工厂	台积电	-	格罗方德、中芯国际	多家代工厂

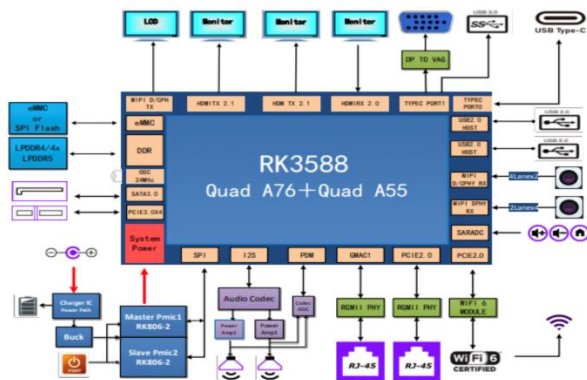
资料来源: 各公司官网, CPU Monkey, VR 陀螺, 网易、集微网, 品阅网, 半导体行业观察, GadgetVersus, 估股, ChipGuider, 中国电子报, 光大证券研究所整理

国产芯片是中国“卡脖子”环节, 且目前国内 VR 市场规模小, 国产芯片厂商并未重点布局 VR 领域, 导致国产 VR 芯片在设计能力和制程工艺上均无竞争力。但芯片国产化替代浪潮下, 随着 AIoT 和 VR 等下游市场规模的增长和国产芯片进步, 我们看好未来国产芯片向 VR 主控芯片领域不断渗透。

瑞芯微 (603893.SH) 作为 AIoT 芯片供应商, VR 领域仅为延伸布局。2016 年推出 RK3399 后, 2021 年底的新一代顶级旗舰芯片 RK3588 发布, 性能相较上一代在视觉处理和视频编解码上提升明显, 具备 8K 视频输出能力。然而, 此款芯片主要针对智慧大屏、智能座舱、高端平板等 AIoT 场景, VR 仅为小众应用之一, 因此在 VR 头显的关键交互功能上着力不多, 性能受限。

全志科技 (300458.SZ) 发布 VR 专用芯片, 但迭代产品迟迟未至。2017 年 6 月, VR 专用芯片 VR9 发布, 提供趋于高通 XR1 的渲染能力, 性能功耗比优秀, 并集成 AI 语音、头部手柄追踪定位等交互功能, 已搭载 Pico、多咪观影机和 Emdoor VR 等多款 VR 产品。但 VR 头显发展迅速而全志再未推出新芯片, 许多功能如 outside-in、3DoF 等已被淘汰, 难以满足最新 VR 头显的要求。

图 30: 瑞芯微发布 AIoT 芯片 RK3588, 适用于 VR/AR



资料来源: 公司官网

图 31: 全志科技发布 VR9 芯片解决方案

资料来源: 中国物联网

华为海思发布 XR 芯片, 但美国制裁导致后续应用前景尚不明朗。2020 年 5 月, 海思正式发布 XR 芯片平台, 推出高端 8K+VR/AR 芯片 Hi3796C V300。凭借编

解码能力积累，此芯片解码能力一流，支持 8K 超高清视频的传输，并提供最高 9TOPS 的 NPU 算力，成为最先进的国产 VR 芯片。然而因华为被美国制裁事件影响，XR 芯片被迫搁置，未能实际量产出货，未来应用前景迷茫。

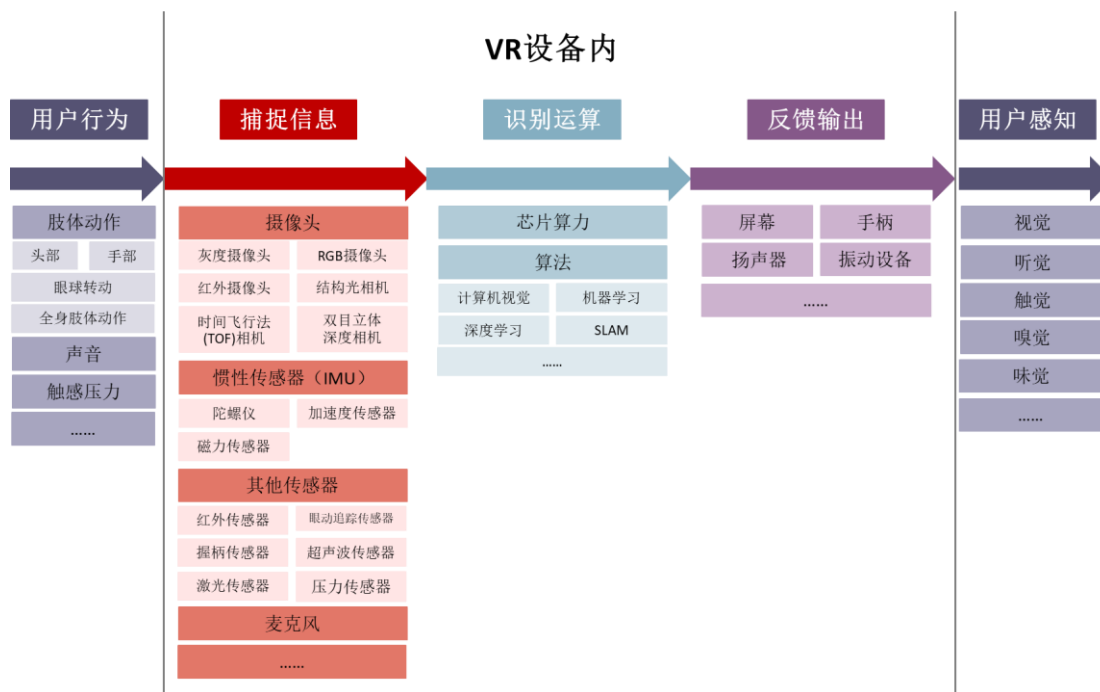
国产芯片受制程限制严重。华为受美国制裁，只能与国内代工企业中芯国际合作。中芯国际已基本实现 28nm 和 14nm 制程的量产，向 7nm 先进技术进行研发突破，但仍与台积电差距较大，或难以支持高端 XR 芯片的量产。瑞芯微和全志科技等国产芯片厂商虽不受制裁，但因规模小导致可选代工厂水平受限。

2.6、感知交互：技术繁多，巨头推动手势识别、眼动追踪等前沿技术逐步落地

感知交互提供多维感官体验，突破二维屏幕限制，交互性和沉浸感升级促进内容创作范围的拓展。相比二维手机屏幕，VR 可同时接收肢体动作、听觉、触觉、嗅觉等多维信息，感知交互方式的增多可实现更高的交互性和沉浸感。同时，iPhone 4 “超大屏幕+多点触控”取代传统手机的单一按键交互，引发内容创作和手机出货量的增加，而 VR 具有更多维度感知的加持，将同智能手机交互升级一样，生成更新和丰富的 VR 内容，打破现有内容创作限制。

感知交互需要传感器、芯片和算法三方参与，与众多技术协同发展。VR 交互流程需要利用含摄像头在内的传感器精准实时捕捉用户行为，多传感器融合和校准后，使用芯片强大算力支撑算法打造多维感知效果，最后利用屏幕等设备呈现给用户。感知交互与近眼显示、渲染计算、内容制作、网络传输等关键领域的技术协同发展，其技术效果主要依赖：1) 传感器（精度、响应速度、覆盖范围、价格、体积等）；2) 芯片运算能力（能否支撑众多复杂算法）；3) 算法精度（改进算法模型本身、足够多高精度数据集）。

图 32：VR 感知交互过程示意图，需传感器、芯片和算法等多方共同参与



资料来源：光大证券研究所绘制

2.6.1、公司梳理：感知交互细分领域多，科技巨头作为核心厂家推进发展

感知交互的细分领域众多，部分技术不成熟。感知交互覆盖肢体动作、视觉、听觉、触觉、嗅觉等感官，技术种类名目繁多。其中，追踪定位已成熟落地，部分技术仍存难点等待突破，触觉等非视听技术、以及终极方案神经感知和脑机交互等研究尚浅甚至尚未涉及，距离实际商用差距遥远。

繁杂技术吸引初创工作室入场，行业技术进步依赖巨头积极研发布局。感知技术细分赛道众多，市场规模有限，且多数处于前沿研究阶段尚未落地，因此参与玩家主要为：

- 1) 国外初创企业涌现，择一赛道持续深耕，代表企业如 Tobii (TOBII.SS)；
- 2) 国内缺乏技术牵头人，企业研发投入力度和战略敏感性不足，发展不及海外成熟，技术水平稍有落后；
- 3) 巨头积极布局，成为行业领导者。感知交互与众多领域协同发展，各技术需要整合集成至整机发挥作用，故巨头具备优势；同时因感知交互能大幅提升头显体验，巨头投资并购活动密集，并投入大量资金用于自身实验室研究工作，提前开展专利布局，其中 Meta (META.O) 和苹果 (AAPL.O) 基本实现全领域布局。

表 20：交互感知技术琐碎复杂，海内外科技巨头积极布局各细分赛道

感知交互技术	发展现状	Meta (META.O)	苹果 (AAPL.O)	微软 (MSFT.O)	谷歌 (GOOG.O)	腾讯 (0700.HK)	百度 (9888.HK)
追踪定位	技术基本成熟，已成为 VR 头显标配。手柄向自带摄像头的独立手柄方向发展		√ (WIFISLA、PrimeSens、Indoor. 10、Faceshift、IKinema、FLYby Media)				√ (xPerception)
手部	裸手手势识别	√ (Pebbles) √	√	√		√ (Ultraleap、Leap Motion)	
	触感手套	√	√	√			
	肌电手环	√ (CTRL-Labs) √	√		√ (North 前身 Thalmic Labs) √		
眼动追踪	技术初步成熟，性能和成本改善，近几年将实现大规模落地，注视点渲染+眼动交互有望成为 VR/AR 新标配	√ (The Eye Tribe) √	√ (SenseMotoric Instruments) √	√	√ (Eyefluenc) √	√	
声音	沉浸声场	√ (Two Big Ears) √	√	√	√ (Dysonics、Synaptics)		
	语音输入		√ (Shazam)	√ (Nuance Communications)			
脑机交互	终极交互技术之一。距离成熟遥遥无期，研发相对延后。IBM、高通、Facebook 等巨头纷纷涌入；	√ (CTRL-Labs) √		√	√ (Neuralink) √	√	√ (博睿康)

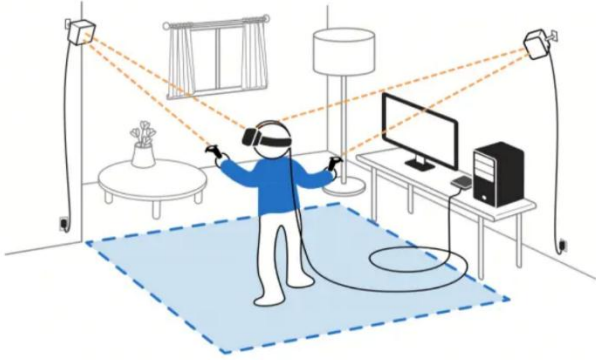
资料来源：德勤，青亭网，映维网，VR 陀螺，新浪 VR，AI 科技界，93913 虚拟现实网，光大证券研究所整理
注：√表示巨头在此领域有收购/投资活动 () 为具体被投企业名称，√表示巨头在此领域有自研成果/专利申报

接下来，我们针对几大重点技术具体分析，研究其技术路径和现有性能水平。

2.6.2、追踪定位 inside-out 方案成主流，头手 6DoF 成熟商用

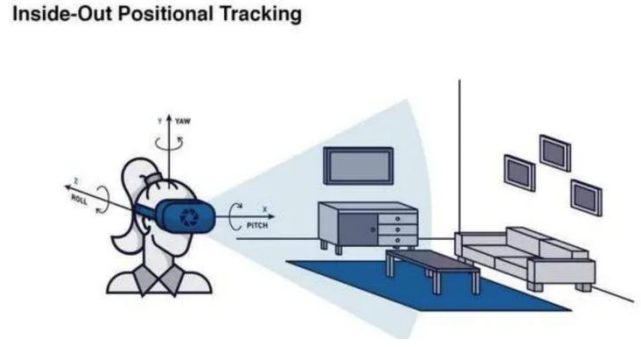
追踪定位是 VR 设备最基础的交互技术，目前已基本成熟，搭配摄像头+IMU（惯性测量单元）的 inside-out 方案可实现头手 6DoF，成为消费级 VR 一体机的标配。

图 33: outside-in 定位追踪原理示意图, 需外置基站



资料来源: 电子发烧友

图 34: inside-out 定位追踪原理示意图, 多种传感器融合定位



资料来源: 游侠网

价格成为消费级渗透关键, 驱动定位技术由 outside-in 向 inside-out 演进。追踪定位原理是“信号源+传感器”, 其中 outside-in 需设外置基站作信号源, inside-out 则将信号源和传感器集成至头显处。无额外基站的 inside-out 方案具备价格优势和便捷性, 成为主流方案。多传感器融合和算法升级, 帮助 inside-out 性能趋近 outside-in。不同于 outside-in 在激光、红外和可见光等技术路径中择一使用, inside-out 集成黑白、RGB、深度相机等摄像头, 使用超声、激光、电磁、惯性等多种传感器融合定位, 加上 SLAM 算法的日渐精进, 帮助提高精度和降低功耗, 效果趋近 outside-in, 实现头手 6DoF 效果。

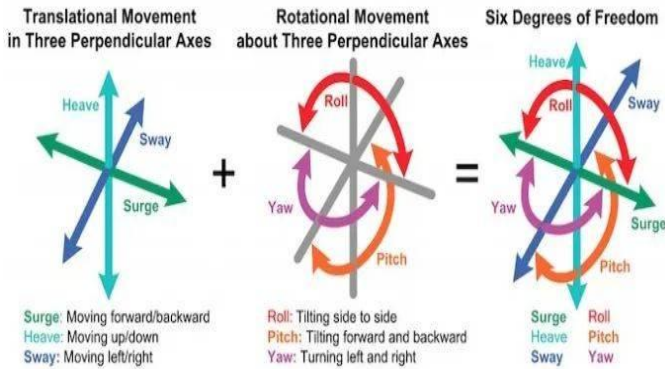
表 21: 定位追踪方案与相应技术路径梳理与对比

	outside-in		inside-out	
方案原理	多个外置定位基站发出光线信号生成三维空间信息, 并由头显和手柄的感应器接收处理, 利用三角定位算法计算用户位置		VR 头显上安装摄像头, 利用光学采集环境中的特征点进行匹配, 通过 SLAM 算法定位各摄像头以计算用户的空间位置	
方案优势	1) 精确度高; 2) 可在黑暗中运行		1) 使用空间不受限; 2) 无部署成本, 价格便宜	
方案劣势	需事先放置定位器, 导致: 1) 增加设备成本; 2) 受空间范围限制; 3) 遮挡物会丢失或影响精度; 4) 安装调试复杂, 移动后需重新安置校准		1) 精准度低, 但随着摄像头数量以及算法复杂度的增加, 定位精准度可接近 outside-in 水平; 2) 追踪范围不可脱离摄像头范围, 受遮挡物影响; 3) 无法在黑暗中运行	
技术路径	激光	红外线	可见光	搭载摄像头, 以及惯性传感器 IMU (陀螺仪、加速计等), 使用 SLAM 算法
路径优势	1) 精准度高; 2) 可移动范围大; 3) 低延迟; 4) 可应用于遮挡情况	1) 耐用性好; 2) 成本偏低; 3) 抗遮挡性强	价格便宜	-
路径劣势	1) 成本更高; 2) 稳定性差; 3) 耐用性差	可移动范围小	性能最差: 1) 精准度低; 2) 抗遮挡性差; 3) 环境限制高; 4) 可移动范围小	-
代表产品	HTC Vive	Oculus Rift	Sony PS VR	Meta Quest 2

资料来源: 中关村在线, 超能 VR, arpara 官网, 光大证券研究所整理

定位技术实现 6DoF 对 3DoF 的全面替代, 三维空间交互能力增强。早期 VR 设备仅达到 3DoF (自由度) 水平, 仅识别用户在 X、Y、Z 三轴上的旋转。定位技术进步帮助 VR 摆脱标识图束缚, 可检测用户在三轴方向上的位移, 实现 6DoF, 即“三维转动 三维平移”。6DoF 可以模拟几乎所有的头部动态并标定用户身高, 大幅提升 VR 的空间交互能力, 原先 3DoF 只适合观影、直播等简单特定场合, 6DoF 则可用于调动身体动作的游戏、社交场合。

图 35: 6DoF 实现“三维转动 三维平移”



资料来源: Tobii Pro

图 36: 当前 VR 全身动捕布局较少, 内容应用多忽略腿部动作



资料来源: 93913 虚拟现实网

实现头部和手部 6DoF, 全身追踪技术仍待研究。因高通 XR2 集成头部 6DoF 视觉追踪算法, 故头显自带头部 6DoF 功能。手柄 6DoF 需自研, 有视觉、超声波、电磁波等方案, 视觉方案可在追踪头手时共用摄像头, 自 Meta Quest 2 推出后成为主流。但 inside-out 方案置于头显的摄像头, 受视角限制无法覆盖腿部, 厂商偏好选择算法拟合腿部姿势的技术路径以维持低成本, 而非复用 outside-in 方案。目前腿部应用场景少, 重视程度低, 未来内容应用需要更多腿部交互时, VR 座舱、万向跑步机、全身动捕等技术才会开始重点布局。

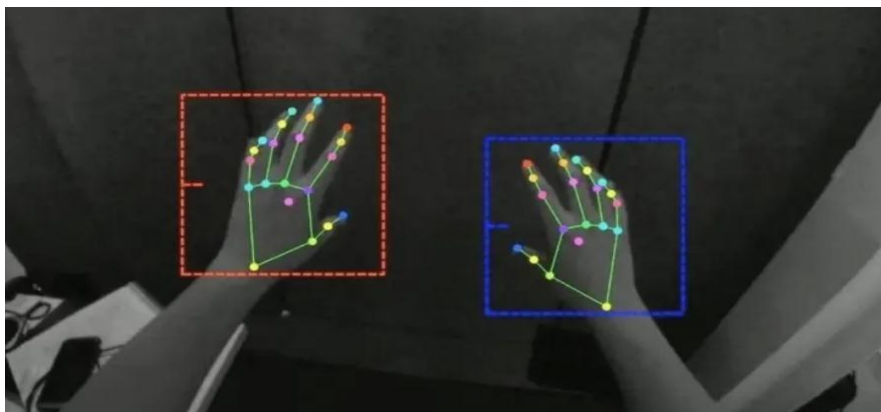
2.6.3、手部交互兼顾动作捕捉和触觉反馈, 裸手+控制器方案预计共存互补

手部作为最重要的信息输出器官, 众多交互模式围绕人手设计, 如 PC 阶段的键盘鼠标。目前 VR 的主要手部交互方案是手柄, 但 1) 裸手手势交互; 2) 独立触觉手柄; 3) 触觉手套; 4) 肌电手环等多种技术路径也在积极研究中。

现有手柄方案存在动作受限制和额外配件成本等问题, 各大厂商入局裸手手势识别技术, 有望在虚拟世界自然流畅地使用双手, 做出复杂丰富的手部姿态。裸手手势识别的原理是使用视觉方案识别出手部骨架的 21 或 26 个关键点, 输出 21/26*3 维的矢量, 由算法计算分析出手部位置和姿态。这一过程与面部识别技术相近, 需要使用硬件 (摄像头) 和软件 (算法) 共同完成:

- 1) **硬件:** 手部关键点的识别需要摄像头, 包括黑白摄像头、RGB 摄像头、3D 深度摄像头 (光飞时间 TOF、结构光、双目视觉) 等。目前手机的人脸识别和手势识别功能多采用 3D TOF, 但 TOF 延迟高 (40-50ms)、视场角小 (~90°)、功耗和体积重量大, **黑白/RGB 摄像头成为 VR 设备手势识别功能的主流硬件选择;**
- 2) **软件:** 更高精度追踪需要算法迭代, 提升方法包括: ①识别更多关节, 如 Leap Motion 以及 Oculus 收购的 NimbleVR 可识别 22 个关节 26 自由度的手部运动信息; ②改进算法模型实现更优预测; ③足够多的高精度数据用于训练模型, 需要海量各异的人手运动数据以提高模型通用性。

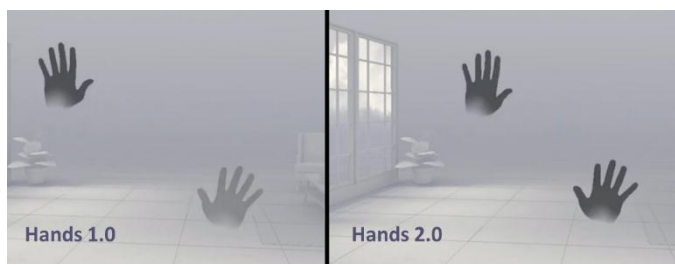
图 37：手势识别原理是通过摄像头捕捉手部骨架关键点，使用算法判断手部姿态



资料来源：青亭网

巨头积累专利技术实现技术突破，裸手交互已搭载头显落地应用。计算机视觉和机器学习助力手势识别的迭代。Meta 对现有 Quest 2 搭载的手势识别更新 2.0 版本，在追踪连续性、手部遮挡时补全轨迹和姿态、捏抓和戳识别上实现阶跃式优化；并提出新算法思路，仅捕捉手部与目标对象距离等低维数据，使用 ManipNet 自回归模型拟合对应的手指姿态细节。微软则针对选择难题，提出速度作为触发条件、速度低于阈值才触发对物体的交互的新算法。

图 38：Meta 手部追踪 2.0 追踪连续性加强，移动丢失率降低



资料来源：新浪 VR

图 39：Meta 手部追踪 2.0 在手部遮挡时，识别效果提升

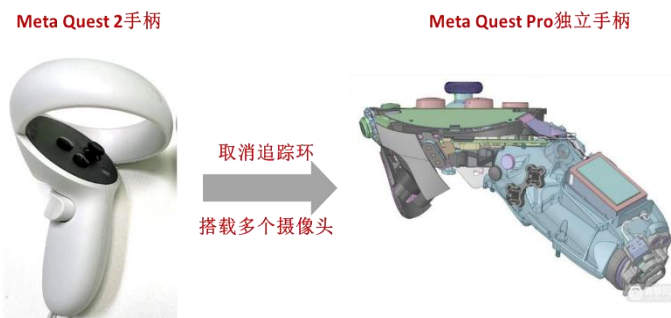


资料来源：新浪 VR

目前裸手手势交互技术初步成熟，现有硬件和算法已达到基本要求，各厂商针对精度、时延、遮挡问题进一步提升。但手势识别存在重大缺陷，缺少介质参与，其无法实现包括压力、握力、纹理等触觉反馈。因此厂商并未放弃对手部控制器的研究，除进一步改良手柄外，厂商开始改变控制器形态，出现触觉手套、肌电手环等新 VR 手部配件方案，探索新的交互模式。

手柄方面，向自带摄像头的独立手柄方向迭代，有望解决视觉盲区问题。Meta Quest 2 的手柄交互，是利用 VR 头显处的摄像头，捕捉手柄追踪环上的定位点确认手柄位置。大体积追踪环使得手柄笨重，且头显上摄像头覆盖角度受限，存在遮挡现象。Meta Quest Pro 的手柄取消了追踪环，在手柄顶部/底部各安装 1/2 个摄像头，使手柄具备独立 6DoF 能力，360°全方位追踪，解决视觉追踪盲区问题，同时手柄可作为外置基站构成 outside-in 模式，卡梅隆大学基于独立手柄开发全身追踪系统力求实现全身动捕（含腿部）。

图 40: VR 手柄向独立 6DoF 方向发展, 自带摄像头



资料来源: Meta 官网, 青亭网, 光大证券研究所

图 41: 微软 VR 手柄通过控制各模块力度, 模拟抓握物体触感



资料来源: 青亭网

手柄除追求更优定位外, 增加触觉反馈功能, 推出振动、抓握等简单交互。现有 VR 手柄复用游戏手柄技术, 利用线性振动马达提供振动。各厂商正加紧研究利用触觉传感器提供更丰富的触觉反馈, 如 Meta Quest Pro 新搭配的独立手柄, 通过三个线性马达, 在提供食指追踪、拇指压力感应等新功能的同时, 增强触觉反馈的复杂性、真实感和精确性; 索尼 PS5 专用 VR 手柄搭载自适应扳机, 模拟拉弓和射击等的按压张力, 并可提供不同纹理触感, 模拟环境变化; 微软最新 VR 手柄 X-Rings 则被分成 5 个子模块, 分别控制各子模块收紧或松开的力度, 模拟握持不同形状物体的触觉感受。

触觉手套提供目前更优的触觉反馈和手部追踪效果, 但现存难点使其距离实际商用落地差距甚远。触觉手套上搭载数百个小而密的执行器, 保障了手势识别的准确、灵活和流畅。同时, 触觉手套是目前最能模拟细微触觉的设备之一, Meta、苹果、微软等均发布相关专利, 实现对压力、纹理、振动、脉冲、皮肤拉伸等触觉感知的模拟。但现有手套厚重且昂贵, Meta 等厂商目前正在研究微流体处理器、柔性纤维材料等技术, 使触觉手套在精准定位和触觉反馈的同时, 具备普通手套的便携、耐磨、轻薄、柔软等特性, 向消费级落地改进。

图 42: 触觉手套上遍布上百个执行器捕捉信息和传递触觉

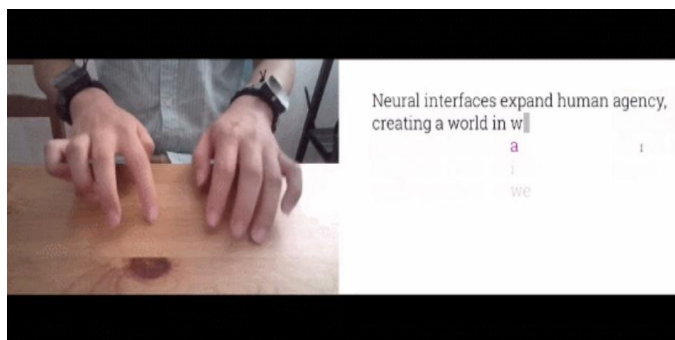


资料来源: VR 陀螺

肌电手环兼具高性能和低功耗, 被认为是未来交互技术之一。肌电手环利用神经传感, 摆脱了视觉方案的缺陷, 无视视觉盲区问题, 且处理数据量大幅减少 (进而算力需求和功耗小), 和脑机交互被认为是终局技术。但肌电手环尚未做出较成熟产品, 触觉研究也处于早期阶段。目前肌电手环准确性和稳定性低, 需大量训练数据集打磨形成可量产的通用产品。苹果、Meta 和谷歌等巨头入局, 苹果已将部分肌电手环功能集成至智能手表上, 如握拳实现选择操作。肌电手

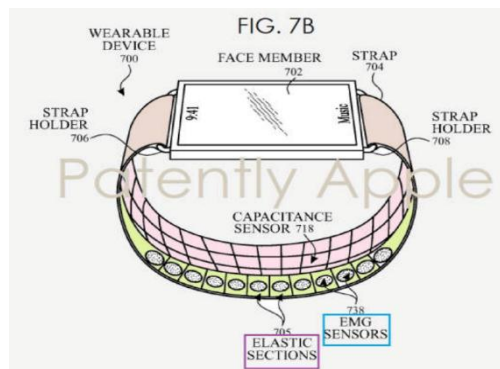
环相关的触觉研究尚浅，目前 Meta 发布利用气动风箱和触觉制动器产生压力、挤压和振动等简单触觉的思路，但仍处实验室研究阶段。

图 43：佩戴肌电手环可进行打字操作，动作捕捉性能优秀



资料来源：VR 陀螺

图 44：苹果发布最新肌电手环相关专利



资料来源：VR 陀螺

人手作为最重要的操作工具，围绕其设计的交互技术众多。我们认为，裸手手势交互作为人真实自然的手部操作，适合社交娱乐等类真实场合，是必然的发展趋势。但裸手与非裸手交互并非替代关系，因为裸手难以实现触觉反馈，借助介质在很多场景下是必要的，如射击游戏的扣动扳机。因此未来将呈现裸手+控制器等外设协同发展、共存互补的趋势，但未来控制器形式很有可能不再是手柄，而是向手套、手环等其他形式进化。

表 22：手部交互技术（手势识别、手柄、触觉手套、肌电手环）对比

指标	裸手交互		非裸手交互		
	手势识别	手柄	触觉手套	肌电手环	
原理	计算机视觉	计算机视觉	执行器	神经接口	
精准度	低	偏低	高	高	
时延	高	偏高，ms 级	低	低	
触觉模拟	无	少，目前仅有振动	好	较少，多为挤压和振动	
环境因素影响	大，存在遮挡问题	大，存在遮挡问题	无影响	无影响	
成本	低	较低	高	-	
算力需求与功耗	高（因为数据量很大）	较高	-	低（因为数据量小）	
研究进展	初步成熟	基本成熟	实验室阶段	实验室阶段，部分简单功能集成至智能手表	
是否商用	大规模商用	大规模商用	无	无	

资料来源：光大证券研究所根据青亭网、新浪 VR、VR 陀螺等公开信息整理

2.6.4、眼动追踪提升视觉和交互表现，将成为待出 VR 新标配

眼睛兼具视觉和交互传达作用，眼动追踪应用领域众多。眼动追踪可定位瞳孔进而锁定用户注视的对象，一方面可优化视觉效果，提高沉浸感（对 VR 更关键）；另一方面可针对眼神进行交互，提高交互性（对 AR/VR 均关键）：

- 1) **视觉-注视点渲染**：VR 显示理想需达到 12K 分辨率，芯片算力难以支撑，并可能伴随功耗高、续航差、发热等问题。注视点渲染模拟人眼注视中心点清晰、周边模糊的特性，仅对注视中心区域进行高精度渲染，合理分配算力，根据 tobii 眼动追踪的测试结果，眼动追踪可实现帧率提升（78%）、渲染时间缩短（3.6 倍）和能耗降低（10%）。有效解决 VR 一体机算力和高分辨率的矛盾，是 VR 厂商积极布局的主要原因；
- 2) **视觉-瞳距自调节**：定位瞳孔，计算用户瞳距实现自动调节，减少眼睛疲劳；

- 3) **交互-眼动交互**：确定 VR 显示屏上的用户目标对象，发出指令完成操作，起到电脑上鼠标控制“光标”的作用，此交互模式更灵活、快捷；
- 4) **交互-向虚拟形象 (Avatar) 提供眼神交流**：捕捉瞳孔位置和注视点，为虚拟形象提供更生动真实的眼神交流和表情呈现，更好实现情绪传达；
- 5) **用户行为分析**：判断注视点，分析用户行为，优化、定制产品和游戏制作。

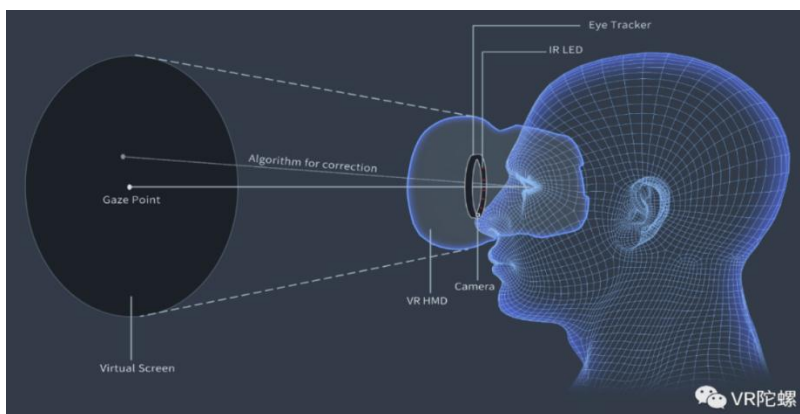
图 45：眼动追踪应用领域广泛，成为核心交互技术



资料来源：93913 虚拟现实网，VR 陀螺，青亭网，映维网，虹软科技，87870 虚拟现实网，光大证券研究所绘制

瞳孔角膜反射法成为眼动追踪主流技术路径，精度、通用性和成本待优化。眼动追踪有三种技术方案，主流技术为主要玩家 Tobii 和七鑫易维采用的瞳孔角膜反射法，即发射红外光在用户眼角膜形成闪烁点，眼动摄像头捕捉瞳孔和闪烁点，并通过算法计算两者距离、进而估算用户注视点。目前眼动追踪主要技术难点在于 1) 精度低；2) 个体和环境差异挑战模型通用性，导致稳定性和一致性差；3) 需配置额外光源、算法模块和摄像头，拉高 VR 头显成本。

图 46：眼动追踪采用“角膜反射法+红外相机阵列+算法矫正”技术方案



资料来源：VR 陀螺

虽技术突破面临困难，随着科技巨头和 VR 头显厂商重点布局，眼动追踪技术在技术指标和制造成本上持续改善，未来将作为成熟技术成为 VR 头显标配。

巨头因重要战略作用积极布局眼动追踪领域，收购和自研以提升技术性能表现。虽 Tobii 和七鑫易维等头部公司已实现量产落地，巨头很早便开始对关键眼动追踪技术进行自研，均在 2016-2017 年收购相关初创公司，并利用其技术持续深入研发，近几年频频发布相关专利，分别通过改进算法和硬件来提升精度、降低功耗和成本以及增强针对不同人眼的适配性，并且在注视点渲染、视觉调节、眼动交互、面部重塑等下游应用领域产生一定研发成果。

表 23：巨头在眼动追踪领域积极布局，收购和自研动作活跃

	苹果 (AAPL.O)	Meta (META.O)	微软 (MSFT.O)	谷歌 (GOOG.O)
专利	2021 年 4 月，因人而异针对眼动追踪数据进行校准，提高精度	2022 年 1 月，提出使用激光多普勒干涉法的眼动追踪方法，减少附加光学组件，降低设备成本、重量、运算量和功耗	2019 年 8 月，提出采用硅光电倍增管传感器并基于低分辨率和低功耗 MEMS 的眼动追踪系统，可大幅降低功耗（85%+）和减少设备成本	2018 年 11 月，眼动追踪结合机器学习，感知和判断用户情绪，进而生成适配面部表情
	2021 年 4 月，提出专用于 AR/VR 的眼动追踪算法，与追踪定位技术深度结合，实现可变焦显示和屈光度调节	2022 年 3 月，提出基于事件摄像头的全新闪烁检测算法，增强闪烁信号，从而降低功耗	2021 年 8 月，提出包含眼动追踪和自适应光学元件的显示器，通过注视点渲染节省资源，从而降低设备的重量和成本	
	2021 年 4 月，利用 XR 显示屏发射闪烁式光线，即用显示屏取代红外线光源，可能可以提升精度			
	2021 年 7 月，提出新眼动追踪系统，该系统可配置为独立实体，也可集成至 XR 设备中			
	2022 年 3 月，提出可集成至 AR/VR 头显上的眼动追踪方案，由场景相机和眼动摄像头构成			
	2022 年 5 月，优化眼球追踪的校准程序，提升对不同人眼的适配性			
收购	SensoMotoric Instruments (2017)	The Eye Tribe (2016)		Eyefluence (2016)

资料来源：VR 陀螺，青亭网，电科技，映维网，93913 虚拟现实网，光大证券研究所整理

待出 VR 新品均可能搭载集成眼动追踪功能，规模效应有望降低制造成本。早期部分 VR 头显会推出额外眼动追踪版本，需购买额外外设配件实现眼动追踪功能，如 Pico Neo 3 Pro Eye。近一年待出的 Meta Quest Pro、索尼 PSVR 2、苹果 MR 一体机均将搭载眼动追踪功能，并且都直接集成至 VR 头显上，为眼球追踪的消费级落地揭开序幕。高出货量促进眼动追踪相关设备大规模量产，促使制造成本降低，形成产品力上升、成本下降的良性循环。

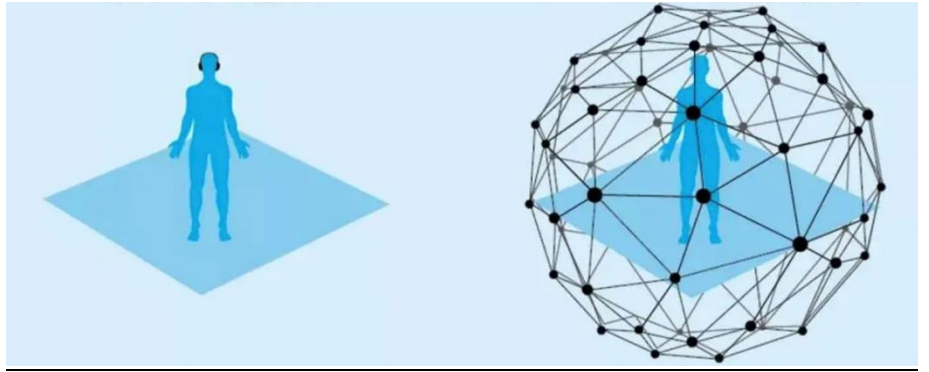
2.6.5、声音交互方面，语音输入成熟，沉浸声场效果仍需提升

除动作、视觉和触觉外，听觉也是提升 VR 设备沉浸感和交互性的重要感官。

从输入方面来说，语音输入技术成熟，帮助解放用户双手，拓展内容创作边界。语音识别作为成熟的 AI 应用，科大讯飞 (002230.SZ) 等龙头公司已提供成熟解决方案，并成功普及 AIoT 设备，正确率和精度已经达到很高水平。目前的主要问题是将此技术较好地融入内容创作中，实现与具体应用的高效交互。

从输出方面来说，沉浸声场帮助生成全景声，实现听音辨位。佩戴头显致使 3D 全景声被“压扁”，这会出现因声音高低位置而导致的辨位失真问题。Meta、微软、谷歌、苹果、高通和英伟达对沉浸声场积极投入，结合人体头部 3D 扫描，实现 VR 中声音的私人定制。同时游戏等应用需要对房间声学中早期反射和混响进行逼真模拟，Meta 的技术能在内存和算力可承受范围内，根据环境的几何形状自动精准生成混响声。沉浸声场和混响声模拟帮助声音具备空间感，保持与动作、视觉、触觉等其他感官的一致性。

图 47：常规耳机声道（左图）和沉浸声场（右图）的对比



资料来源：雷欧尼斯公司官网

3、AR：光波导开始量产，AR 蓄势待发

AR 虚实结合的特性，以及从手机配件到取代手机成为下一代计算平台的产品定位，使其相比 VR 更具市场潜力，吸引厂商战略布局。但虚实叠加和轻薄形态，导致零部件要求更高、性能和体积功耗的矛盾更突出，至今未有成熟产品面市。考虑到 2025 年光波导和 Micro LED 显示方案有望成熟落地，以及苹果和 Meta 预计发布 AR 眼镜产品，或能完成产品定义，开启 C 端渗透序幕。

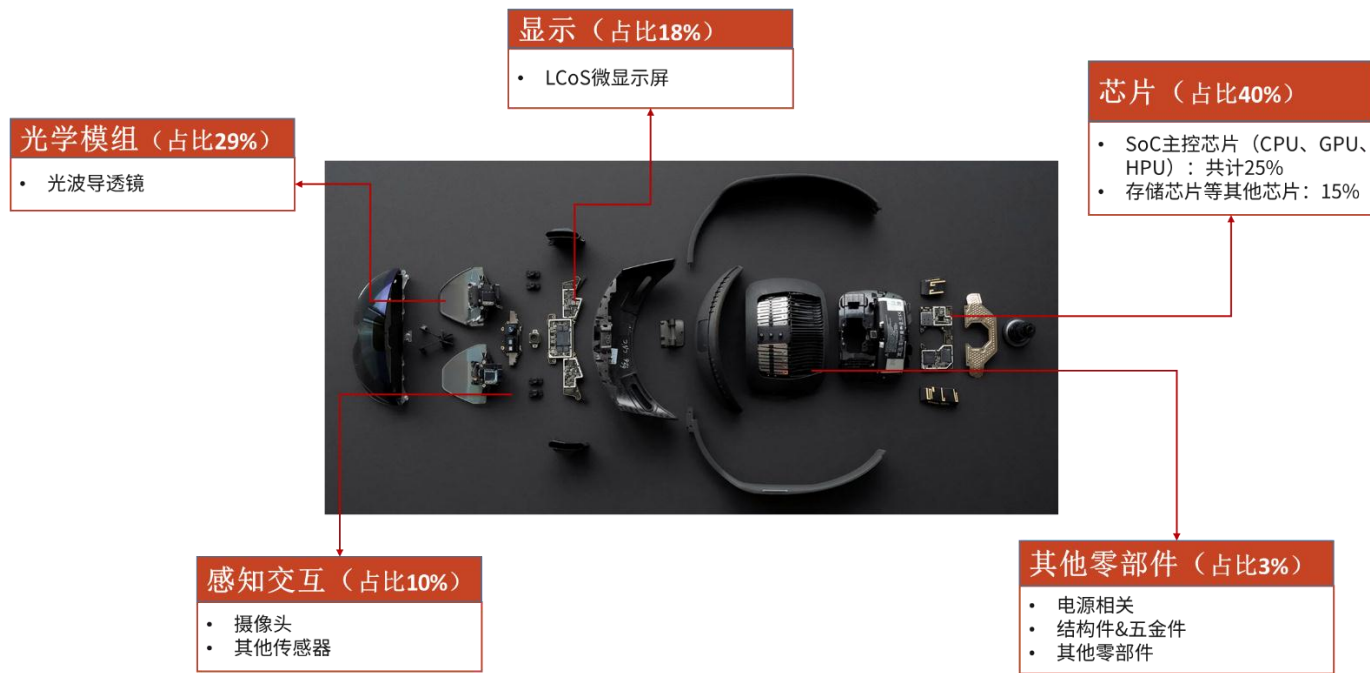
图 48：梳理汇总 AR 硬件的当前技术瓶颈和未来技术预判



资料来源：光大证券研究所绘制

3.1、 产业链与相关公司梳理

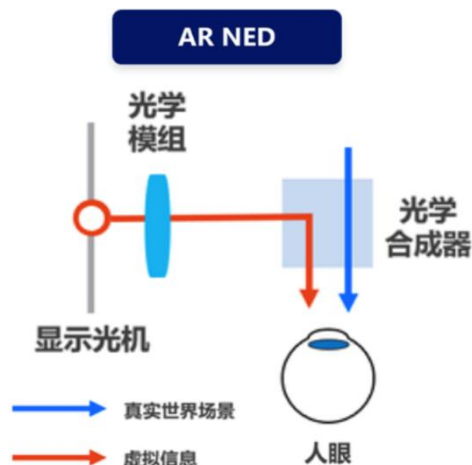
图 49：AR 头显的零部件组成和价值占比



资料来源：AUGANIX，智东西，光大证券研究所绘制
注：以微软 HoloLens 2 的拆解为例估算 AR 头显各零部件成本

光学模组是 AR 眼镜的核心元器件，其余可复用 VR 和手机产业链。AR 除接收显示屏的虚拟信息外，还需接收现实世界光线，故不能同 VR 一般将显示屏置于人眼正前方，AR 显示屏多放置在额头等处，光线经光学模组反射、衍射入眼，辅助放大、变焦等功能；同时，AR 轻薄外观对光学的体积重量要求更高。因此，AR 光学是难度最高、最为核心的零部件。除此之外，芯片、传感器、显示屏等硬件与 VR 和手机通用，可直接对成熟产业链进行改进。

图 50：AR 图像显示原理示意图，光学模组将显示屏光线反射、衍射入眼



注：NED 是近眼显示 (Near-Eye Display) 的简称
资料来源：VR 陀螺

对 AR 设备进行拆机分析，光学模组占总成本的 29%，考虑到光学厂商一般同时具有光学模组和摄像头业务，总的光学相关价值量预计在 40%左右，光学厂商受益，若未来 AR 交互增强进而推动摄像头数量提升，光学厂商占比将进一

步提高。其余零部件中，芯片和显示屏分别占比 40%和 18%。AR 产业链除光学模组部分外，整体与 VR 重叠，而光学作为中国的优势领域，各厂商加紧研发，初创公司涌现。我们对 AR 硬件产业链进行梳理，发掘重点关注公司如下表。

表 24：AR 硬件产业链的重点公司汇总表

	海外上市公司	国内 H 股、台股上市公司	国内 A 股上市公司	非上市公司	
整机设计	苹果 (待出)、Meta (待出)、微软、Snap、Vuzix、爱普生	港股：小米集团、联想集团	TCL 电子 (雷鸟)	国内：OPPO、Vivo、亮风台、Rokid、Nreal、影目科技 海外：Magic Leap	
代工组装	捷普	台股：广达集团、和硕	歌尔股份、立讯精密、欣旺达、工业富联、闻泰科技	龙旗科技	
光学模组	BirdBath/自由曲面	爱普生	-	水晶光电	鸿蚁光电、惠牛科技、Nreal、耐德佳
	光波导方案	苹果、微软	H 股：舜宇光学科技	歌尔股份、苏大维格、水晶光电	国内：灵犀微光、鲲游光电、三极光电、珑璟光电、理湃光晶、耐德佳、至格科技、光舟半导体 海外：Lumus、WaveOptics、Dispelix、DigiLens、Magic Leap
微显示屏	Micro OLED	索尼、LGD、eMagin、Micro OLED、Kopin	-	京东方	国内：视涯科技、国兆光电、湖畔光电 (芯片&面板)、昆山梦显
	LCOS/DLP	奇景光电、美光公司、Kopin、德州仪器 (DLP 垄断)	-	-	国内：慧新辰、芯视元、鸿源数显、豪威科技 海外：Syndiant
	Micro LED	三星、夏普、JDI、索尼	台股：友达光电	京东方、TCL 科技；三安光电 (芯片)、华灿光电 (芯片)	国内：JBD 海外：Plessey
感知交互	解决方案 (追踪定位、手势交互、语音交互等)	高通、巨头自研 (苹果、Meta、索尼、微软、谷歌)、tobii	-	科大讯飞	国内：七鑫易维、云知声、诺亦腾、傲意科技、凌感科技 海外：Ultraleap、OptiTrack、Xsens
	摄像头模组	索尼、夏普	H 股：舜宇光学科技； 台股：大立光电、玉晶光电	歌尔股份、联创电子、欧菲光、韦尔股份 (CIS)、水晶光电 (滤光片)、美迪凯、闻泰科技、蓝特光学 (镜片)、丘钛科技、高伟电子、力鼎光电 (镜头)、联合光电 (镜头)、五方光电 (滤光片)	国内：金国光
	传感器模组	意法半导体、德州仪器、TDK、威世科技	-	韦尔股份、艾睿光电、蓝思科技、敏芯股份 (MEMS)	国内：纵慧芯光 (VCSEL)、水木智芯 (惯性) 海外：博世
	声学模组	苹果、谷歌、三星、索尼、楼氏电子、飞利浦	H 股：瑞声科技	歌尔股份、立讯精密、国光电器	-
主控 SoC 芯片	高通、三星	台股：台积电	瑞芯微、芯原股份、国科微、晶晨股份	华为海思、紫光展锐、安谋科技	
其他结构件	-	-	东山精密、蓝思科技、信维通信、长盈精密、领益智造、科森科技、安洁科技、中石科技	-	

注：红色标注字体为所在领域的细分龙头/主要供应商
资料来源：光大证券研究所整理

表 25: AR 硬件产业链的重点公司汇总表

产业链	公司名称	股票代码	具体产品	公司情况
全面布局	Meta	META.O	整机: AR 在研 (具备产品定义潜力) 光学: 光波导 (收购 DAQRI 百项专利) 显示: Micro LED 芯片: SoC 芯片 (暂停); 专用 AI 芯片 感知交互: 全面布局 生态: 操作系统 (暂停); 开发工具平台; 内容生产商	1) 具备定义消费级 AR 眼镜潜力; 2) All in 元宇宙, 全产业链延伸, 深耕关键零部件和技术; 3) 借助补贴和生态构建, 打造从操作系统、开发工具、应用开发工具的软件生态, 推动行业软硬良性循环
	苹果	AAPL.O	整机: AR 在研 (有产品定义潜力) 光学: 体全息光波导 (收购 Akonia) 显示: Micro LED 芯片: 自研 SoC 芯片 (M1/2) 感知交互: 全面布局 生态: 操作系统; 开发工具平台; 内容生产商	1) 有望定义 C 端 AR 眼镜; 2) 零部件积累最深厚, 软件生态可复用, 软硬适配经验; 3) 硬件基因, VR/AR 可与原先产业链复用协同; 设计和创新实力, 拥有强大品牌效应和粉丝群体
多方面布局 (围绕整机向上下游延伸)	微软	MSFT.O	整机: AR HoloLens 生态: 操作系统; 开发工具; 内容生产商 光学: 表面浮雕光波导 感知交互: 大部分布局	1) 注重 AR, HoloLens 目前市占率第一, 但缺乏硬件基因不看好 C 端渗透; 2) 布局以软件为主, 打造内容和解决方案
	谷歌	GOOG.O	整机: 投资 AR 眼镜 North 和 Magic Leap 显示: Micro LED 生态: 开发工具平台; 内容生产商 感知交互: 大部分布局	布局相对混乱、未成体系。虽收购布局硬件零部件公司, 但未有整体性布局, 整体布局更偏向内容开发和内容生产
	Snap	SNAP.N	整机: Spectacles 光学: 表面浮雕光波导 (收购 WaveOptics) 生态: 内容生产商 (滤镜、短视频、广告、电商购物)	坚定看好 AR 领域, 凭借其优势推出滤镜、短视频、AR 试装等应用, 打造内容生态, 并推出 AR 眼镜做辅助
	Magic Leap	-	整机: Magic Leap One&Two 光学: 表面浮雕光波导 感知交互: 追踪定位等 生态: 内容生产商 (B 端解决方案)	微软 HoloLens 的主要竞争对手, 目前已转型 B 端定位的 AR 智能眼镜
	爱普生	6724.T	整机: 持续迭代的 AR 眼镜 光学: 自由曲面 显示: Micro OLED 生态: 内容生产商	很早战略布局 AR, 拥有自研自由曲面和 Micro OLED 光机的多款 AR 眼镜, 重点针对 B 端场景并打造众解决方案
	Vuzix	VUZI.O	整机: AR 眼镜 光学: 表面浮雕光波导 生态: 内容生产商 (B 端解决方案, 如军事、制造、医疗等)	光波导积累深厚, 自研多款 AR 眼镜, 主要定位医疗、工业制造、军事等 B 端领域, 目前开始向 C 端渗透
	Nreal	-	整机: AR 眼镜 感知交互: SLAM 等部分布局 光学: BirdBath 生态: 开发工具平台; 内容生产商 (行业解决方案)	中国消费级 AR 眼镜龙头, 凭借其先进感知算法和 BirdBath 光学模组积累实现技术领先
	Rokid	-	整机: AR 眼镜 感知交互: 手势识别、语音交互等 芯片: 自研 AI 芯片, 与安谋科技合作制造 AR 专用芯片 生态: 操作系统 YodaOS; 内容生产商 (行业解决方案)	Rokid 作为人机交互技术龙头, 积极推出 AR 眼镜等硬件产品同时, 重点研发各交互技术的优化, 并打造对应的软件内容生态 (交互操作系统和行业应用解决方案)
	影目科技	-	整机: AR 眼镜 光学: 阵列光波导 感知交互: 部分布局, 具备空间定位、3D 交互等功能	专注于智能眼镜研发的初创公司
	小米集团	1810.HK	整机: 智能眼镜 光学: 投资表面浮雕光波导公司至格科技	依赖 AIoT 技术布局, 以硬件和技术积累为主, 内容生态弱
整机品牌	联想集团	0992.HK	整机: AR 智能眼镜 光学: 投资 VR/AR 光学厂商耐德佳 生态: 内容生产商 (打造 AR 眼镜对应的企业级解决方案)	抢先战略布局 AR, 因 C 端生态尚未建立, 目前聚焦 B 端设备和配套应用
	亮风台	-	整机: AR 眼镜 生态: 软硬件开发平台; 内容生产商	定位 AR 平台公司, 提供 AR 大脑、终端和 B 端行业解决方案
	TCL 电子	1070.HK	整机: 雷鸟 Air 智能眼镜	凭借显示等技术, 积极投入消费级 AR 眼镜
	OPPO	-	整机: OPPO Air Glass 生态: 开发工具平台; 内容生产商	从 AR 眼镜向底层硬件技术和支撑平台大力研发
代工组装	Vivo	-	整机: 发布首款 AR 原型机 Vivo AR Glass	投资相对谨慎落后, AR 眼镜设计定位为手机配件
	捷普	JBL.N	代工组装: AR 眼镜精密制造	公司为移动设备提供精密制造, 负责 Magic Leap One 代工
	广达集团	2382.TW	代工组装: AR 眼镜和关键光机零部件的整合与制造	以重要电脑代工厂商切入 XR 代工赛道, 客户有微软、谷歌等
	和硕	4938.TW	代工组装: AR 眼镜设计与精密制造	以重要电脑代工厂商切入 XR 代工赛道, 客户有谷歌等
	立讯精密	002475.SZ	代工组装: 整机智能制造 用于感知交互的 声学模组	作为 iPhone 代工厂 (果链), 有望切入 XR 代工赛道
	欣旺达	300207.SZ	代工组装: AR 眼镜精密制造 (电池为外购)	为 VR/AR 设备提供代工服务
	工业富联	601138.SH	代工组装: AR 眼镜和关键零部件镜片等	作为 iPhone 代工厂 (果链), 切入 AR, 客户有谷歌、苹果等
	闻泰科技	600745.SH	代工组装: AR 眼镜的研发和制造	果链公司, 存在从手机、电脑切入 AR 代工领域的潜力
光学模组	龙旗科技	-	代工组装: AR 设备的设计、研发、制造和服务	AIoT 领域 ODM 厂商, 战略布局 VR/AR
	舜宇光学科技	2382.HK	光学: 表面浮雕、体全息光波导 用于感知交互的 摄像头模组 代工组装: XR 一体机代工潜力	1) 光学龙头, 相关零部件全面布局, 积极研发新技术方向; 2) 拥有自研 EDA 软件和光栅设计能力, 研发自主性强
	歌尔股份	002241.SZ	光学: 表面浮雕光波导 代工组装: AR 眼镜整机代工 用于感知交互的 摄像头模组 和 声学模组	组装代工龙头, 重要摄像头模组和声学模组供应商, 凭借光栅设计能力和纳米压印工艺向表面浮雕光波导技术积极研发
	苏大维格	300331.SZ	光学: 表面浮雕光波导	国内微纳光学龙头, 拥有自研半导体设备, 制造优势明显
	水晶光电	002273.SZ	光学: BirdBath、阵列光波导、表面浮雕光波导 用于感知交互的 摄像头模组 中的零部件 滤光片	老牌光学龙头, 由滤光片等元器件, 积极向 VR/AR 等战略布局, 与海外光波导技术龙头积极合作, 目前光波导已出样品
	耐德佳	-	光学: 自由曲面、阵列光波导、体全息光波导	获得多个批量订单, 积极研发一、二维阵列和体全息光波导
	珑璟光电	-	光学: 阵列光波导、表面浮雕光波导	阵列扩产能至 100 万片, 但良率 60%; 表面浮雕研发自主
	灵犀微光	-	光学: 阵列光波导、体全息光波导	阵列良率超 85%, 行业最高, 产能 10 万; 向体全息延伸布局
Lumus	-	光学: 阵列光波导	成像性能最优, 但产能受限无法大规模量产	
理湃光晶	-	光学: 阵列光波导	阵列良率 85%, 制造优秀; 产能偏低, 22 年后扩至 10 万片	

	WaveOptics		光学 : 表面浮雕光波导	表面浮雕海外龙头, 技术处于世界领先水平
	Dispelix		光学 : 表面浮雕光波导	海外龙头, 具备三色并入一层波导传输的全彩单层光栅技术
	鲲游光电		光学 : 表面浮雕光波导	同时具备半导体规模量产和光学技术光栅设计的初创公司
	至格科技		光学 : 表面浮雕光波导	自研光栅设计软件、定制纳米压印设备, 实现光栅设计和半导体制造技术的整合, 目前可量产, 但性能稍弱于海外龙头
	光舟半导体		光学 : 表面浮雕光波导	具备光学和微纳半导体加工能力, 聚焦表面浮雕光波导技术
	DigiLens		光学 : 体全息光波导	体全息海外龙头, 技术性能处于全球领先水平
	三极光电		光学 : 体全息光波导	体全息国内龙头, 部分性能接近 DigiLens
	惠牛科技		光学 : BirdBath	BB 领域技术领先, 具备量产经验和专利壁垒, 客户有 Rokid
	鸿蚁光电		光学 : BirdBath	积累众多 BB 核心专利, 向超薄化研发, 具备规模量产能力
微显示屏	三星	005930.KS	显示 : Micro LED 芯片代工	海外显示龙头, Micro LED 领域领先
	夏普	6753.T	显示 : Micro LED	海外显示龙头, 针对 VR/AR 研发 Micro LED 产品
	JDI	6740.T	显示 : Micro LED	海外面板龙头, 发布 Micro LED 样品, 量产时间尚远
	索尼	SONY.N	显示 : Micro OLED、Micro LED	海外显示龙头, Micro OLED 形成垄断, 布局 Micro LED
	LGD	LPL.N	显示 : Micro OLED、Micro LED	海外面板龙头, 有潜力向苹果 MR 头显供应 Micro OLED
	Kopin	KOPN.O	光学 : 棱镜 显示 : Micro OLED、Micro LED、LCOS	微显厂商, 在 Micro OLED 存在先发, 战略布局 Micro LED
	京东方	000725.SZ	显示 : Micro OLED、Micro LED	国产面板龙头, 全方面布局 XR 各阶段技术, 并投资扩产线
	TCL 科技	000100.SZ	显示 : Micro LED	国产面板龙头, 全方面布局 XR 各阶段技术, 并投资扩产线
	维信诺	002387.SZ	显示 : Micro LED	积极布局 Micro LED, AR 显示产品待推出
	三安光电	600703.SH	显示 : Micro LED 芯片	芯片价值量高, 受益于下游显示屏出货量提升和国产替代
	华灿光电	300323.SZ	显示 : Micro LED 芯片	芯片价值量高, 受益于下游显示屏出货量提升和国产替代
	友达光电	2409.TW	显示 : Micro LED	战略布局 Micro LED, 针对车载、笔电等领域, AR 暂未涉及
	JBD		显示 : Micro LED	芯片研发和产能制造两手抓, 红光 Micro LED 量产有突破
	Plessey		显示 : Micro LED	专门针对 VR/AR, 提供纯绿色/蓝色、高亮度 Micro LED
	eMagin	EMAN.A	显示 : Micro OLED	存在先发优势, 早期多供应军事领域, 中短期受益
	MicroOLED		显示 : Micro OLED	存在先发优势, 早期多供应军事领域, 中短期受益
	视涯科技		显示 : Micro OLED	中短期因 AR 非光波导方案搭配采用 Micro OLED 受益
	国兆光电		显示 : Micro OLED	中短期因 AR 非光波导方案搭配采用 Micro OLED 受益
	湖畔光电		显示 : Micro OLED	中短期因 AR 非光波导方案搭配采用 Micro OLED 受益
	昆山梦显		显示 : Micro OLED	中短期因 AR 非光波导方案搭配采用 Micro OLED 受益
奇景光电	HIMX.O	显示 : LCOS	LCOS 主流供应商, 客户有微软 HoloLens	
豪威科技		显示 : LCOS	LOCS 主流供应商, 推出 AR 专用显示屏	
美光公司	MU.O	显示 : LCOS	LOCS 主流供应商	
德州仪器	TXN.O	显示 : DLP	因垄断核心零部件 DMD 芯片, DLP 显示被德州仪器垄断	
主控芯片	高通	QCOM.O	芯片设计 : 适用 XR 的芯片, 骁龙 XR1、XR2、845、4100 等	XR 芯片霸主地位, 性能远高其他厂商, 生态构建强大
	台积电	TSM.N	芯片代工 : 制造 XR 芯片	最大芯片代工厂, 制程先进能提供最优的芯片制造能力
	瑞芯微	603893.SH	芯片设计 : 推出可用于 AR 的 RK3588 和 RK3399 AIoT 芯片	AIoT 芯片公司, AR 是其两款芯片的一种应用领域
	紫光展锐		芯片设计 : T740 等芯片可用于 AR 眼睛上	与 AR 眼镜厂商等战略合作, 其芯片向 AR 领域拓展应用
	芯原股份	688521.SH	芯片设计 : 具有核心 IP, 具备定制芯片的设计能力	为互联网厂商定制 AR 芯片, 提供 IP 核
	国科微	300672.SZ	芯片设计 : 针对 AR/VR 市场推出 GK68 系列芯片	积极战略布局新业务 AR/VR 领域, 目前客户仍在导入中
	晶晨股份	688099.SH	芯片设计 : Amlogic S905D3 等芯片可用于 AR 眼睛上	AIoT 芯片和 WiFi+蓝牙集成芯片可应用到 AR/VR 领域
	华为海思		芯片设计 : 华为海思 XR 芯片	推出 AR/VR 专用芯片, 编解码能力强, 但因制裁无法生产
安谋科技		芯片设计 : 具备定制芯片的设计能力	与 Rokid 合作研发定制化的 AR 芯片	
感知交互	大立光电	3008.TW	用于感知交互的 摄像头模组	潜在苹果 MR Reality 和 AR 头显摄像头供应商;
	玉晶光电	3406.TW	用于感知交互的 摄像头模组	台湾光学龙头, 切入 Meta、苹果、Sony 等供应链
	扬明光学	3504.TW	用于感知交互的 摄像头模组	台湾光学龙头, 切入 Meta 等供应链
	联创电子	002036.SZ	用于感知交互的 摄像头模组	提供 VR/AR 等配套光学镜头和摄像头模组
	欧菲光	002456.SZ	用于感知交互的 摄像头模组 光学 : BirdBath	光学龙头, 在布局 AR/VR 摄像头模组同时成立专门团队布局

			显示: Micro LED、LCOS	BirdBath、LCOS 和 LED 等光机, 已自研出 AR HUD 产品
韦尔股份	603501.SH		摄像头模组用于捕捉图像的核心零部件 CMOS 图像传感器	CMOS 图像传感器龙头, 受益于下游 AR 带动摄像头需求
丘钛科技	1478.HK		用于感知交互的摄像头模组	发展 6DoF、透视等摄像头模组, 受益于感知交互功能增多
瑞声科技	2018.HK		用于感知交互的声学模组和触控反馈 (触控马达等)	以声学 and 触控等传感器, 由手机和笔电开始切入 AR
国光电器	002045.SZ		用于感知交互的声学模组 代工组装: AR 整机代工	作为 AR 主要声学模组供应商, 向下延伸布局整机代工
Tobii	TOBII.SS		用于感知交互的眼动追踪模块 (微型相机和红外 LED 照明)	眼动追踪龙头
七鑫易维	-		用于感知交互的眼动追踪解决方案	国产眼动追踪龙头
科大讯飞	002230.SZ		用于感知交互的语音交互解决方案	智能语音和人工智能公司, 技术模块和内容可搭载至 AR 中
云知声	-		用于感知交互的语音交互解决方案	人工智能语音技术公司, 语音技术模块可用于 AR 语音交互
Optitrack	-		用于感知交互的追踪定位技术 (高速追踪相机和配套软件)	全球最大的追踪技术提供商之一, VR/AR 为主要应用领域
Ultraleap	-		用于感知交互的手势识别技术模块 (配套软硬件)	手部交互和触觉模拟厂商, 为 Pico 等 VR/AR 厂商提供支持

资料来源: Wind, 各公司官网, IDC, 青亭网, 光大证券研究所整理
注: 股票代码为“-”的是海内外的非上市公司

接下来, 我们将针对光学、显示、芯片和感知交互展开分析, 因光学最重要且技术难度最高, 且不与 VR 重叠, 我们重点讨论光学部分; 显示、芯片和感知交互方面 VR 现有成果可惠及 AR, 我们仅对 AR 不同于 VR 的部分做分析。

3.2、AR 现状: 应用潜力广阔, 技术与商业落地远落后于 VR

技术成熟度远低于 VR, 2025 年后才有可能进行消费级渗透。AR 要确保虚拟信息与真实图像的精准叠加, 因此 AR 在面临 VR 相同技术难点之余, 光学难度更高, 光波导仍在攻坚阶段。尚在研究且技术路径众多的光学方案, 也使产业链不完善, 头显价格高昂, 至今未推出成熟消费级产品, 需 Meta 或苹果先完成产品定义。但因虚实融合、赋能现实的特性, 相比沉浸虚拟的 VR, AR 理论上应用更广泛, 战略价值更高, 因此吸引厂商积极布局, 加速技术突破。

3.2.1、应用: AR 定位新生产力工具, B 端需求相对明确, C 端高价值应用待开发

AR 呈现 AR 头显和智能终端两种载体形态, 前者赋能企业级场景, 后者降低消费级应用开发门槛, 触达更多用户。

AR 在 B 端具备信息辅助、远程协作、模拟培训等明确应用需求, 企业能承担高昂 AR 头显价格。AR 在真实物体上实时信息标注, 这种虚实融合特性帮助企业工作效率提升, 赋能实体经济。中国 AR 多应用于工业领域, 且初具规模, 在信息辅助和远程协作 (See What I See) 等应用场景打造解决方案; 同时类似应用在工业的示范下, 向医疗、教育等领域拓展。现有阶段, 降本增效成为 AR 的主流应用, 企业端在效率驱动下承担 AR 头显的大部分出货量。

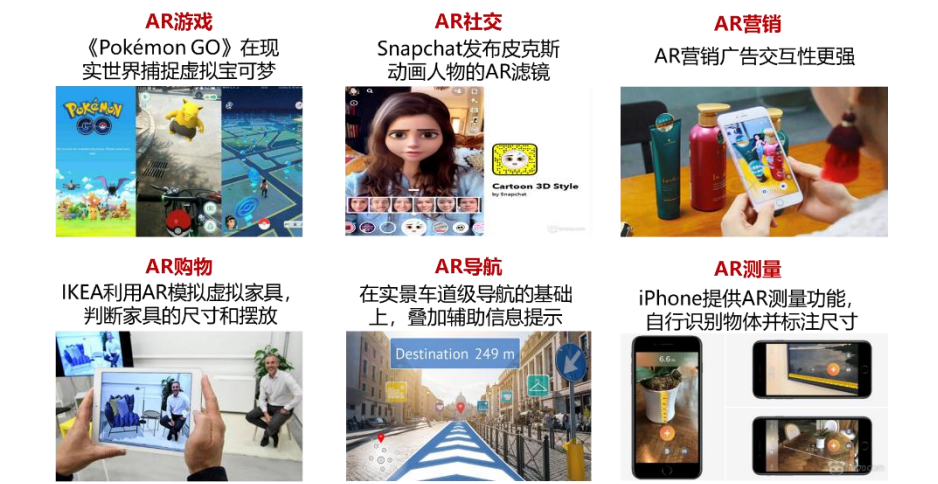
表 26: AR 在 B 端的应用及案例

应用行业	应用场景	具体案例
军事	信息辅助。实时显示作战时的地图位置、枪瞄数据、健康指标、指令传递等，更好了解敌我动向	21 年，微软与美国军方签订 219 亿美元合同，提供 12 万套 AR 头显 HoloLens
工业	远程协作。远程专家可看到本地工程师第一视角的现场环境画面 (See What I See)，进行远程作业指导和员工培训	亮风台、Rokid 等厂商为工业打造基于 AR 眼镜的 AR 远程专家协作系统，国家电网、奥迪、美的、三一重工等企业采购并使用
	信息辅助。智能识别环境和产品，提供多方面维度辅助信息，将信息标注到目标对象处，提高工作效率	Verizon 发布消防 AR 头盔，扫描识别周边环境，在浓烟中为消防员导航；DHL 使用 Google Glass 生成产品辅助标签，将工业拣货效率提升 15%
医疗	医疗培训。构建三维的人体结构或解剖模型，近距离学习手术技能	Augmented Intelligence 创建 AR 教育工具，提供解剖学上正确的人体模型
	术中辅助。AR 被用作显示器和模型制作，进行手术直播和记录、提供信息、解剖评估以及远程指导	SentiAR 帮助外科医生实时查看标注在患者上方的解剖结构的 3D 图像，更好地了解患者的健康状况
	术后监测。AR 被用于监测患者的生命体征，实时反馈健康数据	商汤 SenseCare 平台提供覆盖诊断、治疗、康复完整工作流的智能应用
教育	图书 3D 化。将书的静态图画转换为动态可视化、声形互动画面，增加学习趣味性	欧洲核子研究组织(CERN)与谷歌推出“宇宙大爆炸”AR 应用，展现始于大爆炸的宇宙动态形成过程，并于行星互动
防疫	非接触测温。防疫人员佩戴 AR 眼镜扫描人群时，人们头顶将显示实时体温，还可通过人脸识别生成人员轨迹追踪信息	Rokid 和亮风台等分别针对各地方政府机构推出 AR 眼镜测温解决方案

资料来源: IDC, 赛迪研究院, 中国信通院, 华为, 健康界, 光大证券研究所整理

C 端应用多依赖手机等智能终端，AR 社交、AR 营销与辅助工具类应用具备发展潜力。AR 游戏《Pokémon GO》一枝独秀，但玩法单一导致缺乏爆点。不同于 VR，AR 的 C 端应用集中于手机中的小工具而非高价值应用程序中。滤镜成为最主要应用，目前 Snapchat、Instagram 等社交软件均推出多款 AR 滤镜；滤镜带来的社交属性，助力 AR 营销，目前可口可乐、宝洁等均推出交互性更强的 AR 广告。同时，AR 带来更多信息量，使它在展示商品尺寸和效果、导航以及测量等辅助工具方面具备发展潜力。

图 51: AR 在 C 端的应用案例展示



资料来源: 中关村在线, 87870 虚拟现实网, 36 氪, 电科技, 华为, 光大证券研究所绘制

定位为生产力工具，AR 应用更广泛、高频、刚需。不同于 VR 的虚拟和沉浸，AR 强调赋能现实和移动便捷，因此 VR 针对大段休闲时间的泛娱乐、社交场景，而 AR 可应用于包括碎片时间在内的大多数时间，包含办公、生产、信息传递等所有现实相关的 B 端和 C 端场景，应用范围和频率远大于 VR，定位为继手机后的下一代生产力工具和计算平台，市场需求更刚性。我们认为，AR 在未来将成为主要终端，人们仅在更高精神沉浸需求下使用 VR，直至两设备融合。

3.2.2、硬件：AR 眼镜 C 端渗透率低，2025 年有望完成产品定义

AR 初期因硬件和通信等技术所限，将作为手机外设配件（延伸屏幕）的形式过渡；未来，将真正替代手机，成为下一代生产力工具和计算平台。

整机角度，轻薄需求导致 AR 眼镜中短期以分体式为主，光学、显示方案尚未统一。AR 长时间佩戴，需要轻量化，与高算力和性能矛盾。因此功能强大的 AR 把计算和通信在手机上完成，分体式眼镜主要起显示功能，成为手机配件；而一体式 AR 功能简单，多为信息提醒和观影等。轻薄设计同时限制底层光学、显示、电池等发展，尚未形成如 VR 的统一路径，不利于产业链成熟。

表 27：近期 AR 眼镜产品参数梳理，分体式、一体式形态共存，技术路径和搭载功能各异

产品名称	微软 HoloLens 2	影目科技 INMO X	亮风台 HiAR H100	小米 智能眼镜探索版	Rokid Air	Nreal Air	OPPO Air Glass	爱普生 Moverio BT-45CS
产品形态	分体式	一体式	一体式	一体式	分体式	分体式	分体式	分体式
处理器	高通骁龙 850	紫光展锐 T740	紫光展锐 T740				高通骁龙 4100	高通骁龙 XR1
显示	屏幕	Micro-OLED	LCOS	Micro-OLED	OLED	Micro-OLED	Micro LED	Micro-OLED
	分辨率	2K	1920x1080		4K			1920x1080
	刷新率				60Hz	90Hz		60Hz
光学	光学方案	光波导	自由曲面	阵列光波导	光波导	BirdBath		衍射光波导
	视场角			30°		43°	46°	
交互	追踪定位	inside-out	inside-out	inside-out				
	头部	6DoF	6DoF	6DoF			3DoF	3DoF
	手部	6DoF			3DoF			3DoF
存储	RAM		4GB					4GB
	ROM		64GB					64GB
操作系统	Holographic OS	IM OS(安卓 9)		安卓				安卓 10
电池容量	2-3 小时续航	3400mAh						3400mAh
重量	566g			51g	83g	77g	30g	550g
官方价格	3500 美元				2999 元			
发售日期	2019/2/24	2021/5/31	2021/9/9	2021/9/15	2021/9/23	2021/9/30	2021/12/14	2022/6/1

资料来源：VR 陀螺，光大证券研究所整理

零部件角度，光学等硬件技术成为 AR 的主要制约因素。光波导技术作为 C 端设备渗透的关键，技术和制造仍不完善；显示搭配的 Micro LED 技术无法大批量产全彩屏幕，芯片、通信等底层基础也难以支持 AR 的理想功能，导致 AR 设备处于发展初期。

AR 吸引手机巨头和互联网巨头战略布局，推动零部件迭代加快。巨头们针对关键的光学、显示等部分深度布局，抢占 AR 蓝海生产。其中，因 AR 早期将作为手机配件售卖，苹果 (AAPL.O)、华为等手机厂商可复用手机的成熟产业链，抢占市场份额，同时小米集团 (1810.HK)、OPPO、Vivo 等国产厂商有望在 AR 产品定义完成后快速复制；互联网巨头如 Meta(META.O)、微软 (MSFT.O)、谷歌 (GOOG.O)、腾讯 (0700.HK) 等通过收购布局硬件，并利用优势的平台资源和用户流量，构建开发者生态，打造软硬体系。

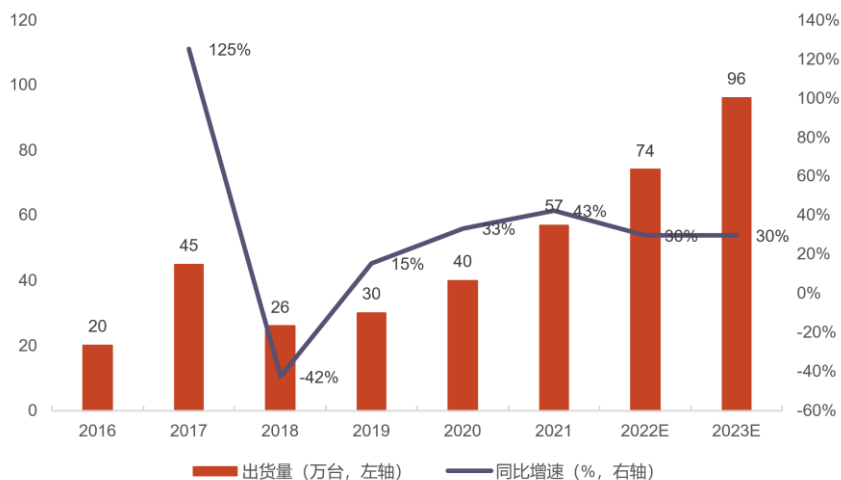
表 28：巨头在 AR 领域积极战略布局，针对核心光学和显示零部件表现活跃

	光学	显示	交互	其他
苹果 (AAPL.O)	收购体全息光波导公司	收购 Micro OLED、Micro LED 公司	收购面部识别、空间定位、动作捕捉、眼动追踪、空间音频、全景声、图像传感器、激光传感器等公司	推出开发工具 ARKit，拥有自研 iOS 操作系统和芯片
Meta (META.O)	收购光学、变焦显示公司	收购 Micro LED 公司	收购手势识别、面部识别、空间音效、眼动追踪相关公司	推出开发工具 Spark AR、AR SDK，自研 XR 芯片和操作系统
微软 (MSFT.O)	拥有主流 AR 头显 HoloLens，自研光波导		收购语音识别公司	发布 MR 开发工具 MRTK，拥有自研 Windows Holographic 操作系统
华为	投资 AR 光波导公司		投资空间音频公司	发布 AR SDK、AR 引擎 AR Engine 和开发工具 Reality Studio，自研海思 XR 芯片和鸿蒙操作系统
谷歌 (GOOG.O)	分别投资和收购 AR 眼镜公司 Magic Leap 和 North，致力于研发 AR 光波导技术	投资 Micro LED、AR 隐形眼镜公司	收购眼动追踪、空间音频、脑机接口等公司	发布开发工具 AR Core
腾讯 (0700.HK)	收购多家 AR 眼镜公司		收购手势识别公司	自研 AR SDK

资料来源：VR 陀螺，德勤，光大证券研究所整理

2025 年有望实现 C 端产品定义，开始加速渗透。现阶段 AR 设备集中于 B 端，高昂定价限制出货，如微软出货量仅为十万级。C 端 AR 多为尝鲜，无法推动实际渗透。Meta 和苹果有望先后在 2025 年前后发布 C 端 AR 眼镜，考虑到两者技术积累，尤其是苹果拥有定义智能手机的先例和用户优势，我们认为消费级 AR 将可能在 2025 年前后由苹果或 Meta 完成产品定义，真正作为手机配件开始 C 端渗透。25 年前仍主要受 B 端驱动，需求增长相对缓慢，出货量预计维持在 100-200 万台。

图 52：2016-2023 年 AR 头显全球出货量及预测



资料来源：VR 陀螺预测，光大证券研究所

AR 最终将脱离手机成为独立计算平台，云 AR 或解决算力矛盾。25 年前后实现 C 端分体式产品定义后，我们认为 AR 将逐渐从分体式向一体机过渡，最终变成独立终端硬件，实现虚实三维融合，以丰富交互功能解放双手，实现对智能手机的替代。这一过渡过程需要 5G、云计算等底层技术的发展，将渲染计算导入云端，降低 AR 眼镜的零件要求、体积和成本，预计将花费 10-15 年时间，即 AR 有望在 2032-2037 年的阶段成为下一代独立计算平台。

3.3、 光学：光波导发展趋势清晰，三大技术路径持续技术迭代和制造精进

AR 光学相比 VR 难度大成熟度低，是 AR 头显落地的主要阻碍。AR 光学满足 VR 光学类似性能的基础上，具有两个额外特性，一方面 AR 更轻量和小型化，形状趋于日常眼镜，对光学模组的厚度和重量要求更高；另一方面，由于同时接收虚拟和现实信息，显示屏内容需经反射或衍射入眼，使成像效果和光学效率性能变差，现实信息需穿过光学组件入眼，模组透光性也成为核心指标。

因此，AR 光学核心性能指标中，1) 透镜厚度和重量至关重要，驱动 AR 光学方案持续迭代，2) 成像质量、3) 光学效率、4) 透光度在轻薄基础上尽可能提高，同时应关注 5) 视场角 FoV 和 6) 眼动范围。

3.3.1、光波导解决视场角和轻薄矛盾，成 C 端渗透关键

表 29：梳理 AR 光学方案，光波导显示性能突出，但受制造方面限制

	离轴光学	棱镜	自由曲面	BirdBath	光波导
原理	显示屏光线通过透明镜片反射到眼睛内；现实光线透过镜片投射入眼	将显示屏投出的图像投影到切割反射面的小棱镜，棱镜反射在人眼处成像	自由曲面为反射镜，利用光路有序折反的原理，实现镜片内光路的准直和成像	显示屏光线经 45 度角的分光镜反射至曲面镜弹射入眼；现实光线经过曲面镜和分光镜透射入眼	将微显示器光束利用光栅耦入到波导片中，光束进行全反射传播后，再将光束经光栅耦出波导片传至人眼
产品	Meta	Google Glass	影创、Nreal、联想、爱普生	Mirage	微软、Magic Leap、Lumus
体积	很大（头盔式）	大	大	大	小
镜片厚度	>20mm	>10mm	>10mm	>8mm	<3mm
视场角 FOV	80°-100°	10°-20°	20°-40°	30°-50°	25°-90°
透光度	50°-70°	40°-50°	40°-70°	~50°	80°-95°
眼动范围		<10*10mm	<15*10mm	<15*10mm	<20*20mm
光学效率	40%-50%	20%-30%	20%-40%	15%-20%	0.3%-15%
图像质量	好	较差，存在畸变	好，色彩饱和，但局部扭曲、分辨率低导致局部畸变	较好，存在畸变	图像呈现明暗条纹状
技术优势	1) 结构简单； 2) 视场角大； 3) 成像质量高		1) 成像质量高，色彩饱和度突出； 2) 光效好，对适配的微显示屏要求低	1) 结构简单，门槛低； 2) 视场角大； 3) 光效高，对适配的微显示屏要求低，功耗低	1) 真正解决体积和视场角的矛盾，大大减薄厚度和重量，趋于日常眼镜； 2) 视场角大； 3) 分辨率高； 4) 眼动范围广，能适应不同脸型用户； 5) 透光度高
技术劣势	厚度大，重量重	1) 厚度、和重量较大； 2) 视场角小（15°）； 3) 亮度低； 4) 图像畸变，成像质量差	1) 厚度和重量仍高于普通眼镜； 2) 局部图像畸变；	1) 比普通眼睛更厚、重； 2) 透过率低； 3) 眼动框范围受限； 4) 图像畸变	1) 光学效率低； 2) 部分技术路径存在图像质量问题
量产能力	较高	高	一般	较高	低
量产良品率	高	高	一般	较高	低
量产成本	低	低	较低	较低	高

资料来源：VR 陀螺，谷东科技，大洋网动态，中国信通院，腾讯研究院，光大证券研究所

AR 光学方案多样，经历离轴光学、棱镜、自由曲面、BirdBath 到光波导的演进过程。其中自由曲面、BirdBath 目前量产成熟，但光波导因突出性能成为未来 AR 的必然选择，技术持续突破，近年来已搭载多款先进 AR 眼镜落地。

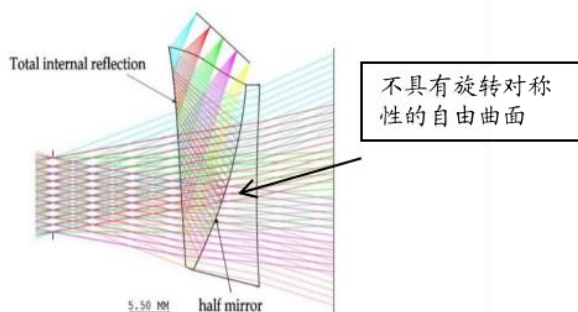
离轴光学和棱镜作为早期方案，因笨重和小视场角已退出历史舞台。离轴光学和棱镜结构设计和成像原理都很简单，量产和制造无难度。但简单结构导致离轴光学厚重；而棱镜的视场角与光学模组厚度存在矛盾，轻薄眼镜将伴随小视场角和较差成像效果，无法满足沉浸性和交互感。

自由曲面和 BirdBath 小幅改善镜片厚度、其他性能良好、量产制造成熟，成为近几年的过渡方案。

- 1) 自由曲面方案由表面形状不能被连续加工、具有传统加工成型的任意性曲面担当反射镜，对显示屏光线进行准直和成像，因此成像质量较高，色彩饱和度和光学效率表现优秀。但自由曲面结构局部精度低，带来低分辨率和画面扭曲，使得现实世界和虚拟世界光线传递时存在畸变现象；
- 2) BirdBath 方案下，显示屏光线经 45 度角的分光镜反射至曲面镜弹射入眼，而现实光线透过曲面镜和分光镜入眼。光学结构简单，光效高、视场角大；但眼动范围受限，同时透射入眼面临图像畸变、光线透过率低的缺点。

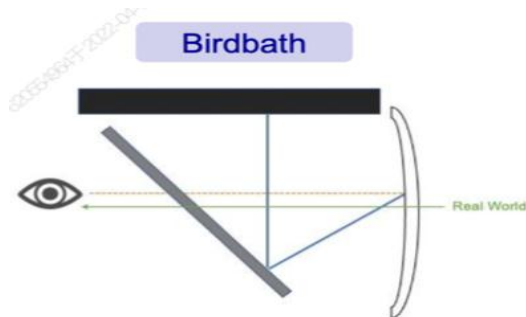
自由曲面和 BirdBath 光学结构相对简单，一方面光效高，显示屏选择灵活，另一方面制造难度低，可以较低成本规模量产，成为目前中低端或消费级 AR 眼镜的主要光学方案。但其他性能一般，存在畸变等问题，致命的是，为实现可用视场角，镜片厚度压缩极限为 8mm，无法做到日常眼镜般的轻薄机身。

图 53：自由曲面方案原理示意图



资料来源：耐德佳 AR 公司官网

图 54：BirdBath 方案原理示意图

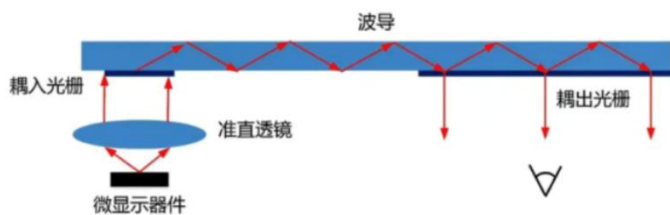


资料来源：青亭网

光波导解决体积和视场角矛盾，大幅压缩镜片厚度，众多性能优越。光波导将微显示器的光线经光栅耦入波导片中，经过数次全反射，再将光束经光栅耦出至人眼。过去光学方案利用光学结构来平衡镜片体积和视场角，光波导不受此约束，可将厚度压缩至 3mm 以下，同时具备视场角大、透光度高、分辨率高、眼动范围广等优秀性能，虽光效很低，但配合高亮度显示屏将有效缓解。

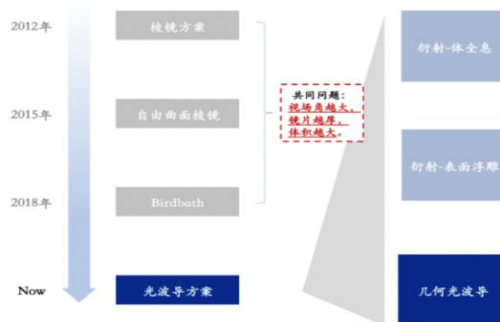
搭载光波导的 AR 眼镜才可真正渗透消费端，光波导成为大势所趋。消费级 AR 设备，为实现长时间佩戴需超轻薄；同时，不同于 B 端可专用于某一特殊场合或流程，C 端 AR 眼镜应用多样，这要求镜片的视场角和眼动范围较大。因此，只有光波导技术才可满足这两个矛盾需求，在光波导实现技术和量产突破前，AR 眼镜很难实现 C 端大规模落地。

图 55：光波导方案原理示意图



资料来源：VR 陀螺

图 56：光波导不受视场角和体积的平衡限制，成为未来主流



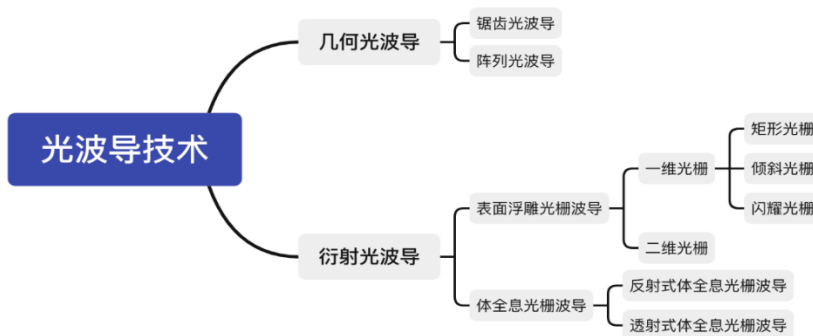
资料来源：VR 陀螺

3.3.2、技术性能：阵列光波导显示效果突出，体全息具备潜力

光波导优越性能吸引众厂商入局，已推出诸多技术路径。2021 年 Rokid、亮风台、小米等 8 款 AR 眼镜采用光波导，根据原理差异，光波导可分成几何和衍射两类，几何光波导利用传统光学元器件实现全反射，而衍射光波导使用更平面的衍射光栅。而根据耦入和耦出光栅材料的不同，将延伸成四类技术路径。光学元器件与材料差异使得不同技术路径的技术性能和量产制造情况不同，

首先对比各路径的技术性能表现。因四类技术路径均满足轻薄需求 (<3mm)，我们主要比较包括成像质量、光效、眼动范围和视场角在内的其他性能。

图 57：光波导方案存在多种技术路径



资料来源：雷锋网 leiphone, 光大证券研究所

综合当前各性能指标，阵列光波导表现最优。和两个衍射光波导技术性能相反，阵列在成像效果占优，但面临眼动范围窄的问题。但成像质量和光效指标更为重要，且二维扩瞳技术实现突破、逐渐落地，将缓解阵列光波导眼动范围不佳的缺陷。体全息光波导目前在三者中表现较落后，但其中远期理想性能使其备受关注，积极布局。

表 30: AR 光波导各技术路径梳理, 阵列光波导显示效果优越, 衍射光波导眼动范围自由

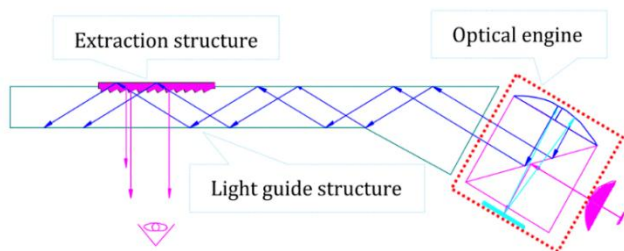
	几何光波导		衍射光波导	
	阵列光波导	表面浮雕光波导	体全息光波导	
技术优势	1) 成像质量高, 色彩均匀, 无色散问题; 2) 光效高	1) 视场角大; 2) 眼动范围大, 自带二维扩瞳技术	1) 眼动范围大, 自带二维扩瞳技术; 2) 理论上衍射效率趋近 100%, 从而改善色彩和色散问题, 成像质量较高; 3) 理论上衍射效率趋近 100%, 光效较高	
技术缺点	1) 光学结构复杂, 设计难度高; 2) 眼动范围小。本身不具备二维扩瞳, 技术不成熟, 进一步加大设计和生产难度	衍射的物理性质导致成像质量差: 1) 成像质量差, 存在色散“漏光”现象; 色彩不均匀, 出现“彩虹现象”; 2) 光效极低, 需配置超高亮度显示屏	现阶段因材料限制, 虽理论上更有优性能, 性能表现比表面浮雕光波导差: 1) 视场角小; 2) 光效低; 3) 成像质量差, 色散和色彩不均, 清晰度低	
厚度	2mm	<3mm	<3mm	
已实现视场角	55° (Lumus)	52° (HoloLens 2)、50° (Magic Leap One)	35° (Digilens)	
扩瞳技术	一维扩瞳 (水平大, 竖直小)	二维扩瞳 (水平、竖直都大)	二维扩瞳 (水平、竖直都大)	
眼动范围	10mm x 5mm	(16-19)mm x (12-16)mm	13mm x 12mm	
成像质量	好	一般	较好	

资料来源: VR 陀螺, Rokid, 智能汽车俱乐部, CMC 资本, 中国信通院, 光大证券研究所

几何光波导中, 锯齿光波导已被淘汰, 阵列光波导成像效果优秀。

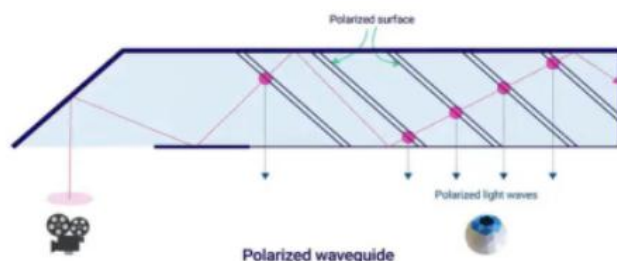
锯齿光波导损害成像质量和光效, 已被市场否决。锯齿光波导利用锯齿形反射面作为耦出光栅, 但锯齿结构损害性能, 一方面, 锯齿众多, 反射光线造成杂散光问题, 图像质量差; 另一方面, 无锯齿的组件部分无法反射光线, 光效低。

图 58: 锯齿光波导原理示意图



资料来源: VR 陀螺

图 59: 阵列光波导原理示意图



资料来源: 87870 虚拟现实网

阵列光波导利用镜片阵列, 成像质量和光效突出。光线经过由多个镜面组成的阵列时, 光线分部分通过各层镜片, 逐渐被反射出瞳, 这使得光线和色彩被“调整”均匀, 在成像效果上具备突出优势:

- 1) 色彩: 全反射下光的信息是连续量, 光学设计上对红绿蓝三色的效率存在解析解, 因此保障色彩的精准度和均匀性, 色彩丰富, 对比度高;
- 2) 色散: 光的全反射不存在色散问题;
- 3) 光效: 光的全反射不造成光路损耗, 因此光效水平高。

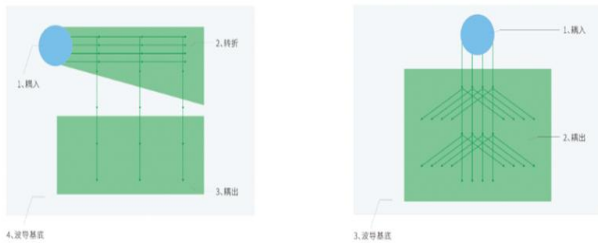
阵列光波导缺陷在于眼动范围受限, 二维扩瞳不完善且制造难度加大。多个镜面将光束分批反射, 但仅在一维 x 轴扩瞳, 而 y 轴信息有限, 导致眼动范围水平大、垂直小。考虑到 C 端应用场景丰富, 眼动范围需要在 x 轴和 y 轴均有较大活动范围, 因此消费级 AR 的镜片需要具备二维扩瞳技术。目前厂商在积极研发二维扩瞳, 取得一定进展, 但会使技术设计和制造工艺难度增大。

衍射光波导中，表面浮雕光波导二维扩瞳扩大眼动范围，但成像质量问题严重。体全息光波导理论上可兼容阵列和表面浮雕光波导优点，但现有性能较差，距离实现理想情况还需技术和制造两方面长期投入。

直接向衍射光栅操作，衍射光波导在光学设计和生产制造上更简单灵活。衍射光波导利用衍射光栅材料引起折射率发生周期性变化，起到改变光线方向的作用，同时纳米级光栅为平面结构，更好压缩镜片厚度，现阶段衍射光栅分成“表面浮雕光栅(SRG)”和“全息体光栅(VHG)”两大类。不同于多镜面组合结构复杂的阵列光波导，衍射光栅在光学设计上简单灵活，可直接修改材料折射率等调整衍射光波导效果，进而在生产制造上也相对容易。

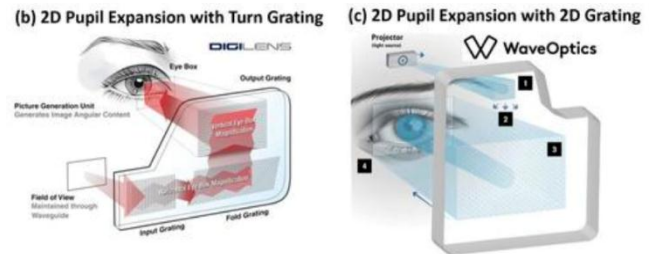
衍射光栅可在更大自由度上操纵光线，二维扩瞳技术成熟。同时在 x 和 y 轴实现扩瞳，将帮助眼动范围在竖直方向延伸，对不同脸型、鼻梁高度的人群兼容性增强。两类衍射光栅均可实现二维扩瞳，一是用包括转折光栅在内的三个区域光栅将 x 轴光线反射到 y 轴传播；另一个是直接使用二维光栅，光线经过光栅将同时在 x 和 y 两方向扩束。目前两方式均有产品实际搭载。

图 60：一维衍射光栅(左)与二维衍射光栅(右)结构示意图



资料来源：VR 陀螺

图 61：利用转折光栅（左）和二维光栅（右）实现二维扩瞳



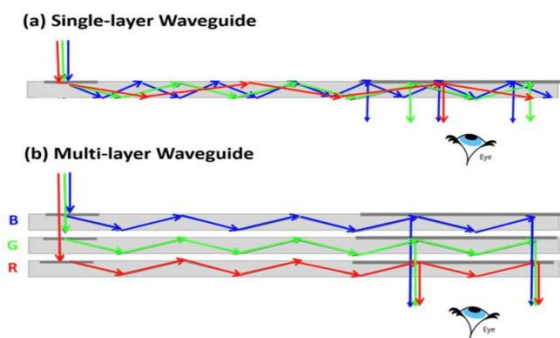
资料来源：Rokid

衍射光波导的成像质量因其物理原理存在固有缺陷，厂商不断迭代来缓解优化但不能完全消除。衍射光栅将光线分成多个衍射级，单个衍射级效率无法达到 100%，同时衍射光栅对角度和颜色存在选择性，这造成：

- 1) **色彩不均匀。**衍射光栅对不同波长光线的衍射角度不同，造成蓝、绿和红光的耦出数量不同，色彩分布不均，引发“彩虹效应”。因此单片衍射光栅无法实现效果优秀的全彩显示，目前 HoloLens 通过三片衍射光栅分别传导蓝、绿和红光三个单色叠加形成全彩，这增加了镜片厚度和成本；
- 2) **色散现象严重。**衍射角度和效率造成小部分光会向其他方向传播，造成色散和外侧漏光，这不利于搭载 C 端眼镜出货，因为用户周边人能看到外漏图像，造成 AR 眼镜用户的隐私泄露；
- 3) **光效极低。**部分光向其他方向传播，衍射效率低，光效仅为 0.3%-1%。

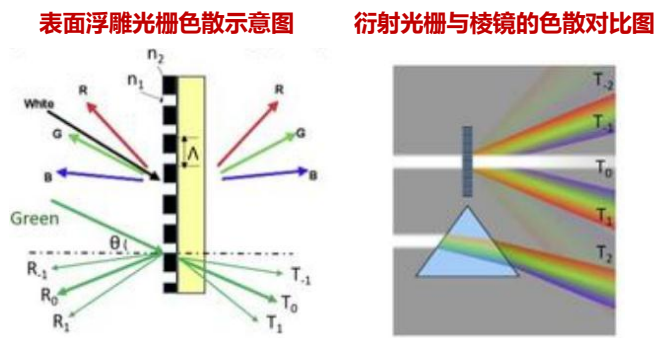
目前通过三片光栅叠加应对彩虹效应，优化光栅设计和材料等提升衍射效率，选用超高亮度微显示器如 Micro LED 缓解光效低问题，但提升效果有限，理论上阵列的显示效果好于衍射光波导。

图 62：单层衍射光栅导致色彩不均，需采用三层光栅叠合



资料来源：Rokid

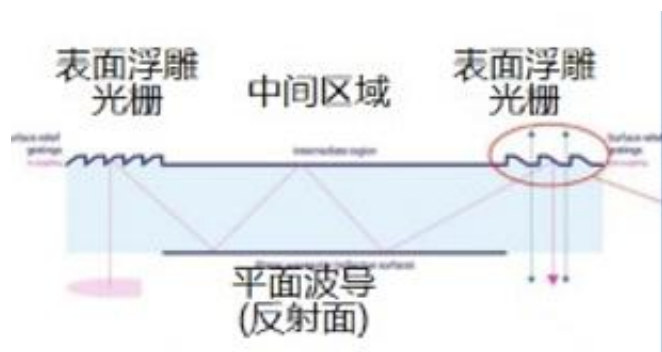
图 63：衍射光波导因对色彩有选择作用，导致色散现象严重



资料来源：Rokid，光大证券研究所

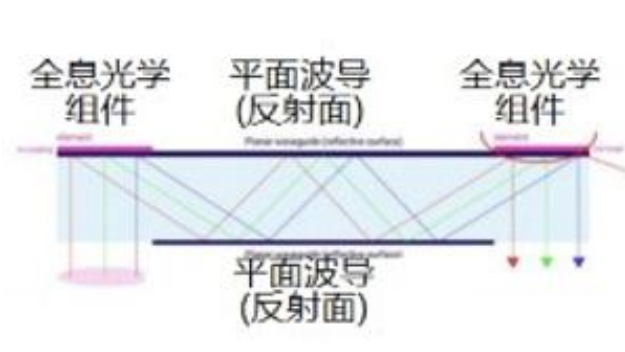
理论上体全息光栅能实现优秀画面呈现，集几何和衍射光波导优秀性能于一身。体全息光栅在满足布拉格条件时，衍射效率趋于 100%，因此成像效果佳、光效好；同时作为衍射光波导，体全息可轻松实现二维扩瞳和大眼动范围。技术壁垒和材料限制使当前体全息性能差于表面浮雕，距离理想情况还需技术研发。一方面，对入射光的角度和波长要求苛刻，目前技术无法获得稳定的高衍射效率，成像不佳；另一方面，材料受限导致其在视场角、清晰度性能较差。

图 64：表面浮雕光波导原理示意图



资料来源：VR 陀螺

图 65：体全息光波导原理示意图



资料来源：VR 陀螺

3.3.3、量产：表面浮雕或为中短期出货主力，最优方案体全息仍受材料掣肘

光学方案选择需要综合考虑制造因素。制造工艺会影响实际性能，并且量产产能、良率和制造成本也至关重要。阵列光波导因流程复杂，限制其量产能力并且成本难以降低，表面浮雕光波导在制造端更具优势。

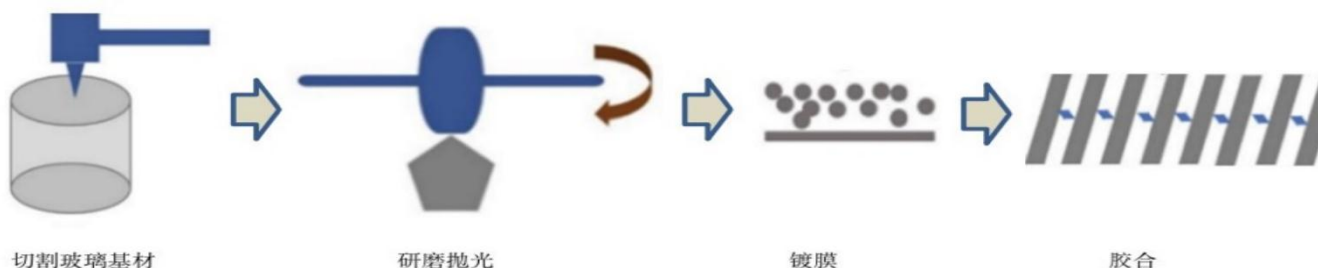
表 31：阵列、表面浮雕、体全息三类光波导的制造能力对比，现阶段表面浮雕突出，体全息理论值优秀

	阵列光波导	表面浮雕光栅波导	体全息光栅波导
加工方法	传统光学冷加工和胶合/键合工艺	表面浮雕光栅制造包括光栅设计、母版加工、纳米压印、封装检测四个环节，类半导体制造，制造工艺难度高	采用全息干涉曝光的方法进行波导片加工
产业链	传统光学冷加工产业链完备	无配套产业链，无法直接复用半导体产业链，设备需要定制研发和调试	无配套产业链
目前产能	较高，良率取得突破，但复杂流程限制其大规模量产能力	中等，1) 准入门槛高，高昂半导体设备投入和改造能力；2) 纳米压印工艺的良率仍存在问题	尚未量产
目前成本	高	较高	很高，因 1) 制造工艺苛刻，精度高，良率低，限制规模量产；2) 缺乏合适的全息材料
理论产能	低	高，半导体技术帮助量产难度低于阵列光波导，更易实现规模量产	高
理论成本	高	中等	低，1) 结构简单，成本只来源于玻璃和全息膜；2) 制造工艺简单，相比表面浮雕，绕开母版制作成本实现更强复用性；

资料来源：VR 陀螺，Rokid，光大证券研究所整理

阵列光波导的制造工艺非常复杂，给产能、良率和成本带来挑战。制造工序包括切割、研磨、镀膜、胶合四步，前两步为传统光学冷加工，但镀膜工艺复杂且精度要求高，单个棱镜镀几十层膜后，再将 5-7 个不同反射比透镜进行胶合，胶合过程需保证多层波导片平行排列和各波导片的间隔厚度均匀。复杂制作流程涉及数十个步骤，多数关键工艺需要人工操作，目前产能限制严重，只有很强制造经验的厂商才能实现较高良率，这推高了制造成本。而要实现 C 端需要的二维扩瞳阵列光波导，制造工艺难度将进一步提升数倍。

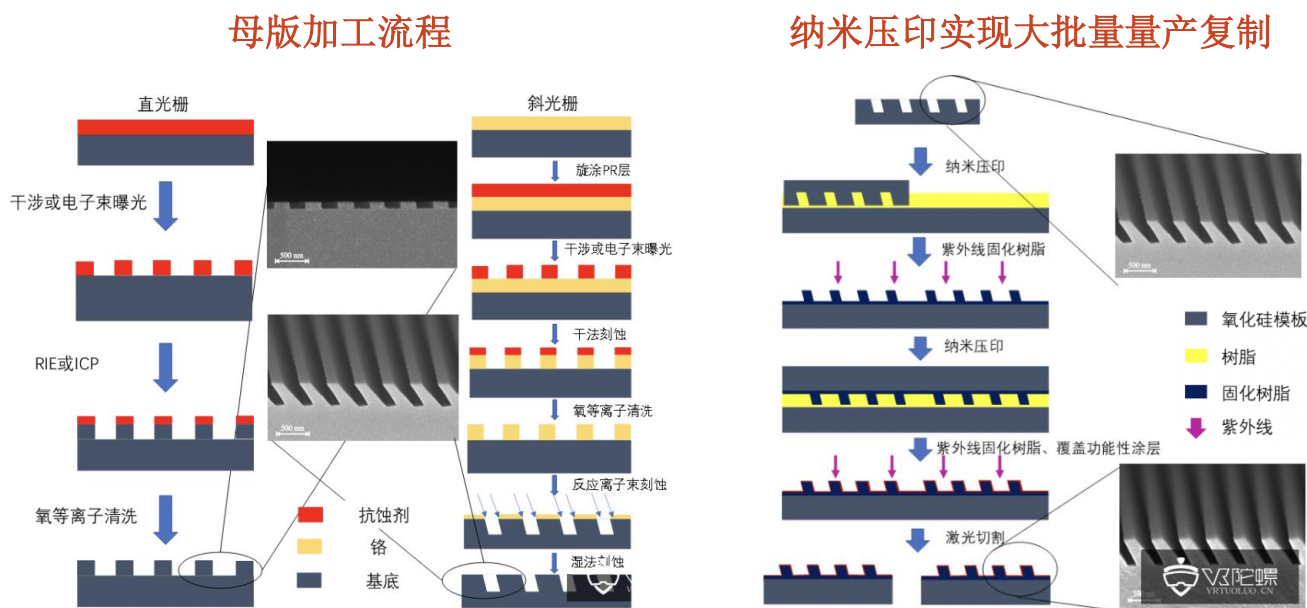
图 66：阵列光波导加工流程示意图，镀膜和胶合



资料来源：鼎达信公司官网，光大证券研究所

表面浮雕复用半导体工艺，但需自行设计光栅和设备定制改造，进入门槛极高。制造流程包括光栅设计、母版加工、纳米压印、封装检测四个环节，可复用半导体产业链，但仍需重新对设计方案、材料和设备进行定制改良。光栅设计应对高峰低谷、齿形和材料进行优化，目前业内缺乏第三方 EDA 软件，需厂商自行设计。母版加工对精度要求高，需采取电子束光刻、全息光刻等先进方法，半导体设备投入高，需专业研发和调试，资本和技术要求高带来高进入门槛。

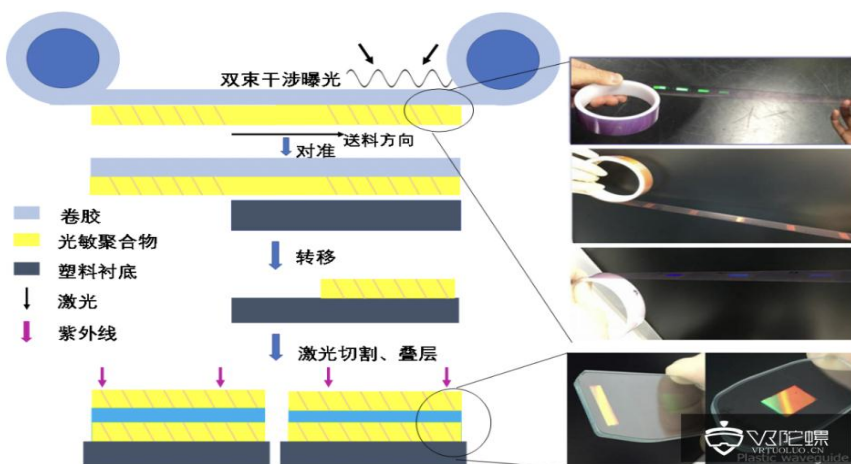
图 67：表面浮雕光栅的制造流程，复用光刻、刻蚀、纳米压印等半导体工艺



资料来源：VR 陀螺，光大证券研究所

理论上，表面浮雕量产难度和制造成本显著低于阵列光波导。母版制备和批量生产过程，主要采用纳米压印等半导体技术，在更大的硅晶片上旋涂 UV 树脂以印刷更多模板，再使用多图案模具来批量生产表面浮雕光栅。复用半导体成熟的制造工艺，理论上规模量产能力强，已实现大规模量产出货，规模效应下成本降低，成本低于阵列光波导。然而，受制于中国半导体产业相对落后，海外厂商更具技术先发优势，中国厂商特别是小型企业竞争能力差。

图 68：体全息光栅工艺流程示意图，无需制备母版



资料来源：VR 陀螺

体全息制造技术暂不成熟，暂无实际产品量产。体全息采用全息干涉曝光的加工方法，生产设备和掩膜模板技术困难，加工条件和加工精度要求高，影响良率。同时，缺乏合适材料成为最大制造难题，目前研发出聚合物分散液晶

(PDLC) 和银盐卤化物两种材料，但化学一致性难控制，材料稳定性和可靠性难保证，需要对材料进一步研发和测试，预计 2025 年后会实现量产出货。

但理论上，体全息光栅产能高、成本低，是未来 AR 眼镜量产出货的理想材料。体全息光栅是一个体积系统，允许设计自定义光源以何种形式以及何种光强入射，直接决定视场角、出瞳距、眼动盒等关键性参数，扩展性强，结构简单。这种特性使方案设计和制造工艺简单，无需制备母版，节省表面浮雕的高昂一次性半导体设备投入和母版耗材成本，制造成本基本只来源于玻璃和全息膜，有望成为最便宜的光波导方案，未来价格可能低至 20 美元。

3.3.4、技术选择：中短期阵列和表面浮雕共存，长期体全息成为主流之选

结合三种光波导在技术和制造上的优劣势，并考虑 B 端和 C 端应用场景的核心需求，我们对 AR 光学镜片的未来技术路径进行分析讨论。

中短期（2022-2025 年）：阵列和表面浮雕光波导共存。BirdBath 和自由曲面因价格便宜，仍搭载少量低端设备出售，但因尝鲜产品必将淘汰，因此不重点展开。阵列显示效果最优，但复杂且高人工的制造工艺使其量产能力差，目前全球产能仅为十万级；最高良率虽提升至 85%，但若想渗透 C 端，必须二维扩瞳，但更难工艺使其最高良率仅为 30%-40%，全球年产能在万级。表面浮雕存在色散和漏光问题，隐私泄露阻碍消费级渗透，三层光栅贴合导致相对厚重，但复用半导体，可实现百万级大规模出货，随产能落地出货量爬升，制造优势让其成为备选。考虑 B 端 AR 设备仍占主流，我们推演了 3 种可能情形：

- 1) **乐观：**若一维和二维阵列光波导均实现高产能（超几十万），因其显示效果优越、更轻薄和无漏光，阵列光波导占据 C 端和中高端 B 端产品；表面浮雕光波导仅凭借量产价格优势搭载中低端 B 端眼镜；
- 2) **中性：**若一维阵列产能高、二维产能低，则一维阵列光波导应用于 B 端，二维阵列搭载高端 C 端产品，而表面浮雕作为中低端 C 端眼镜的补充；
- 3) **悲观：**若一维和二维阵列光波导产能均受限（仍在十万级），则一维和二维阵列分别应用于高端 B 端和 C 端 AR 设备，而表面浮雕凭借高产能占据剩余中低端市场。

长期（2025 年后）：待体全息光波导材料突破后，有望成为规模量产的主力技术。体全息在技术和制造两方面优越，是 AR 眼镜千万级以上大规模出货的理想选择。阵列光波导或因最佳显示搭载高档 AR 出货，但预计市场占比低。

3.3.5、公司梳理：国内公司凭借光学技术积累和制造优势切入阵列和表面浮雕

海内外厂商积极布局阵列、表面浮雕和体全息光波导。我们认为，整体海外公司实力雄厚，特别在更前沿的体全息上抢先深入布局；光学是中国优势领域，技术积累丰富，相关制造产业链成熟，国产厂商以此逐渐实现国产化替代。我们梳理三个光波导技术的核心要点，发掘产业链相关公司：

- 1) **阵列光波导：**厂商的制造工艺成关键，核心指标为产能和良率。特别是只有高水平制造能力才能量产二维扩瞳阵列。海外龙头 Lumus 技术性能最佳，但严重受产能和良率制约；国内非上市公司灵犀微光、珑璟光电、理湃光晶三足鼎立，其中灵犀微光良率最优超 85%，珑璟光电凭借融资大幅扩产能（年产百万片），但 60%良率仍有隐患；

- 2) **表面浮雕光波导：技术设计和制造投入缺一不可，大型公司更具优势。**技术方面，厂商需要光学积累，光栅设计影响性能；制造方面，半导体设备投入超千万，且需定制改造，对公司财力和半导体经验提出挑战。因半导体和自研 EDA 优势，海外公司**微软 (MSFT.O)**、**Wave Optics** 和 **Dispelix** 成行业龙头，领先国内。**百万级大规模量产潜力吸引国内大型公司布局。**光学龙头**歌尔股份 (002241.SZ)** 和**舜宇光学科技 (2382.HK)** 凭借光学积累，自研 EDA，拥有自主设计光栅和系统架构的能力；而**苏大维格 (300331.SZ)** 拥有自主半导体设备，存在加工制造和设备改造优势，无国外制裁导致设备断供的潜在政治风险。国产非上市公司**鲲游光电**深耕表面浮雕，设计和半导体能力兼备，发展潜力值得关注；
- 3) **体全息光波导：材料成量产重点，海外技术占优。**战略价值最高，海内外阵列和表面浮雕厂商均在此延伸布局。材料一致性和稳定性成为量产关键，行业进展主要依赖海外厂商 **DigiLens** 和**苹果 (AAPL.O)**，国内**三极光电**最具实力。

表 32：AR 光学中，光波导相关重点公司的研发水平和制造情况

技术路径	公司	研发实力	量产制造
几何阵列光波导	Lumus	行业龙头，二维扩瞳技术发明者，已成熟落地。产品 Maximus 视场角 50°，分辨率 2048x2048，1.7mm 厚	已量产。截至 2021 年 10 月，累计出货 25000 台光学显示器模组；目前客户包括联想、Augmedics、ThirdEye 等 AR 眼镜
	灵犀微光	视场角最高 60°，高亮度，消除重影，二维扩瞳技术成熟	已量产，首个阵列镜片量产的中国厂商，2019 年无线产线投产，年产能 10 万片；一维扩瞳良率超 85%，二维扩瞳逐步量产，良率 40%
	珑璟光电	授权专利 100+；突破二维扩瞳技术，拥有 28°视场角、12x13mm 眼动范围和 60°视场角、12x10mm 眼动范围的两款二维扩瞳产品	已量产。良率超 60%；生产高度自动化，深汕工厂年产能 100 万片
	理湃光晶	已量产 FOV25°-40°的产品，2022 年内将推出二维扩瞳技术，具备 50°FOV，眼动范围 15x10mm，亮度超 1000nit 的性能	已量产。良率突破 85%；2022 年建成并投产的产线，年产能超 10 万
	水晶光电 (002273.SZ)	布局阵列光波导	已经与多家终端客户进行业务沟通并送样
	耐德佳	开展一维和二维扩瞳的阵列光波导研发	-
表面浮雕光波导	微软 (MSFT.O)	拥有垂直光栅专利，可实现二维扩瞳；HoloLens 2 的视场角达 52°，发布多层光波导专利可实现 140°视场角	大规模量产。搭载的 HoloLens 2 年出货量 20-25 万台
	Wave Optics	授权专利 60+（包含倾斜光栅专利），可实现 15°-60°视场角	大规模量产。自研简单制造工艺，降低成本；中国潍坊有 Goertek 生产线，2022 年将扩大生产能力
	Dispelix	不同于微软三层光栅叠加，Dispelix 将 RGB 三色都并入一层波导进行传输，单层光栅使镜片更轻量	世界首个真正投入量产的表面浮雕光波导厂商，预计 2023 年将搭载消费级 AR 眼镜出货
	歌尔股份 (002241.SZ)	全产业链设计能力，拥有自研 EDA 设计软件，对光栅结构具有系统仿真设计能力	具备半导体精密加工能力，在掩模板、纳米压印制造与工艺上积累深厚，具备产品自主生产能力；在高效自动化检测环节上研发能力强
	舜宇光学科技 (2382.HK)	单、双色模组，FOV29°±2°，分辨率 640x480，二维扩瞳	已量产，并提供制版、测试、服务体系。客户有小米 AR 智能眼镜
	苏大维格 (300331.SZ)	产品具备二维扩瞳、大视场角、全彩显示等优点	拥有自主的纳米光刻设备和纳米压印设备；已应用于 AR-HUD 并搭载华为智能驾驶系统；与下游的消费电子终端龙头合作，推进产业化
	鲲游光电	具有协同效应的芯片和半导体业务；具备光栅设计能力、仿真设计和独立设计加工方案	已量产。自主掌握母版加工和纳米转印技术；上海临港第一期产线已建成投产，开始规划二期产线；20 年起小规模量产，出货量稳步爬升
	水晶光电 (002273.SZ)	两款全彩模组视场角为 30°和 50°，30°产品在 2022 年底上市	已量产，小批量出货给 B 端 AR 厂商，并送样给 C 端 AR 厂商
	珑璟光电	自主研发辅助软件进行光栅设计，微光栅结构、架构和产品设计拥有独立知识产权；发布 28°视场角、15x12mm 的样品	拥有微纳实验室和深汕生产基地，生产全部加工与检测环节自主可控；2021 年实现小批量出货
	Magic Leap	待出 Magic Leap 2 搭载自研表面浮雕光波导，视场角达 70°	大规模量产。随自有 AR 眼镜 Magic Leap 1 出货，年出货量在万台
	至格科技	具备独立光栅设计能力；已推出两款可量产的产品；制造工艺和稳定一致性差于海外龙头 Wave Optics 等	可量产，但未大批量交付。具备光栅母版加工、纳米压印工艺，生产体系完整；实现 80%良率；客户为消费级 AR 眼镜 OPPO Air Glass
	光舟半导体	拥有 32°、40°、50°三款产品；拥有 59 件申请专利	-
谷歌(GOOG.O)	投资 Magic Leap	-	
体全息光波导	DigiLens	体全息技术创立者；研究体布拉格光栅技术，视场角达 50°，透光率 85%，眼动范围 12x10mm；高性能同时保障制造成本低；发布全彩 Crystal30 第二代波导和参考设计 Design V1	此技术蓄势待发，即将量产出货；AR-HUD 产品预计 2023 年量产，AR 眼镜相关体全息光波导模组 2023 年会实质性落地进入市场
	苹果 (AAPL.O)	收购 Akonia，未来或应用到苹果 AR 上；产品 HoloMirror，实现在单层轻薄透明镜片上显示动态、全彩、广视域的图像	-
	三极光电	国内最成熟体全息公司，部分性能持平 DigiLens，成像质量、视场角等关键指标全球领先；自主研制二维扩瞳和全彩波导	已生产出高性能样片；具备小批量生产能力；2022 年规模化产线开始生产调试
	灵犀微光	研发出基于 PDLC 体系的材料；光栅结构的仿真设计自主可控	体全息镜片将 2023 年在无锡产线实现全量产
	舜宇光学科技 (2382.HK)	-	全息 AR HUD 产品实现量产；AR 头显相关的体全息镜片尚未量产
	耐德佳	从材料、制造工艺取得突破，实现大出瞳、高亮度、高色彩均匀性的二维单绿色和一维全彩色样品，正推进二维全彩的研发	-
谷歌(GOOG.O)	收购 North	-	

资料来源：各公司官网，青亭网，新浪 VR，VR 陀螺，映维网，CINNO，芯智讯，集微网，亿欧，潮电网络，ChinaIT，智东西，创业邦，93913 虚拟现实，36 氪，澎湃新闻，艾媒网，科创板日报，每日经济新闻，艾邦智造，光大证券研究所整理

3.4、显示：显示方案选择与光学深度绑定，理想屏幕 Micro LED 成布局热点

不同于 VR 头显，AR 眼镜对沉浸性相关的显示指标要求低。一方面，AR 更注重赋能现实，并非如 VR 般欺骗人眼打造身临其境体验，本身对沉浸显示要求低；另一方面，AR 眼镜发展仍在落地早期，AR 眼镜主要功能多为简单的信息

辅助和屏幕共享等，特别是 C 端设备多为翻译、消息、标注等文字类图像，主要在解决消费级产品的“可用”，尚未追求图像的沉浸真实。同时，AR 追求轻便和长久佩戴，使得更注重 AR 显示屏的功耗和寿命等指标。

AR 显示和光学的绑定搭配，显示屏亮度成为选择关键。入眼光线亮度在 100-300nit 为正常亮度，若想在强日光下看清图像，入眼光线亮度应在 500-700nit。AR 光学中，因未来主流技术光波导光学效率极低（最低至 0.3%-1%），需显示屏提供很高亮度才能保障正常入眼亮度，因此呈现光学方案和显示屏方案搭配使用、深度绑定的局面。

3.4.1、VR 驱动 Micro OLED 产业链建立，成为自由曲面和 BirdBath AR 标配显示屏

Micro OLED 兼顾 OLED 和半导体 CMOS 优势，除亮度外各种显示性能优越，适配自由曲面和 BirdBath。Micro OLED 结合 OLED 显示技术和 CMOS 工艺，具备 OLED 自发光特性带来的低功耗、高对比度、高刷新率、响应速度快等优点，和 CMOS 半导体精细工艺带来的高清晰度和轻薄特性。唯一技术缺陷是亮度低，适合搭配光学效率高的光学方案，目前已成为自由曲面或 BirdBath 光学方案的标配显示屏。

Micro OLED 成为中短期 VR 主流显示方案，缓解量产制造的瓶颈，惠及 AR 显示。优良性能吸引 VR 厂商，苹果、Meta 等后续 VR 头显均意向采用 Micro OLED，吸引索尼、LGD、京东方等兴建这种专门应用于 VR/AR 的小型屏幕产线，2020 年中国产线投资规模超 200 亿元。投资和研发的火热帮助优化系统和设计水平、改进半导体设备、大规模出货降低制造成本，大幅度改善量产制造这一 Micro OLED 主要困境，AR 眼镜可直接享用 VR 推动下的 Micro OLED 发展成果。

表 33：Micro OLED 成为 BirdBath 和自由曲面两种光学方案的标配显示屏

AR 产品	光学方案	显示屏	发布时间
爱普生 MoverioBT-40/40S	自由曲面	Micro OLED	2021 年 3 月 2 日
爱普生轻量化 6DoF AR 眼镜	自由曲面	Micro OLED	2021 年 5 月 21 日
影目科技 INMO X	自由曲面	Micro OLED	2021 年 5 月 31 日
TCL NXTWEAR G	BirdBath	Micro OLED	2021 年 6 月
Rokid Air	BirdBath	OLED	2021 年 9 月 23 日
雷鸟 Air	BirdBath	Micro OLED	2022 年 1 月
高通无线 AR 智能眼镜	自由曲面	Micro OLED	2022 年 5 月
诠视科技	自由曲面棱镜	Micro OLED	2022 年 5 月
爱普生 Moverio BT-45C	自由曲面	Micro OLED	2022 年 6 月

资料来源：VR 陀螺，光大证券研究所整理

Micro OLED 满足自由曲面/BirdBath 的显示屏需要，随之成为现阶段应用广泛的显示技术。但因亮度多在 1000-3000nit，若结合光效极低的光波导方案，无法实现 100nit 以上的入眼亮度。考虑到光波导已成为确定性的 AR 光学趋势，Micro OLED 会随自由曲面/BirdBath 方案的淘汰而失去市场，AR 需要研发与光波导适配的显示屏技术。

3.4.2、光波导搭配显示屏由 LCOS/DLP 转向终极 Micro LED

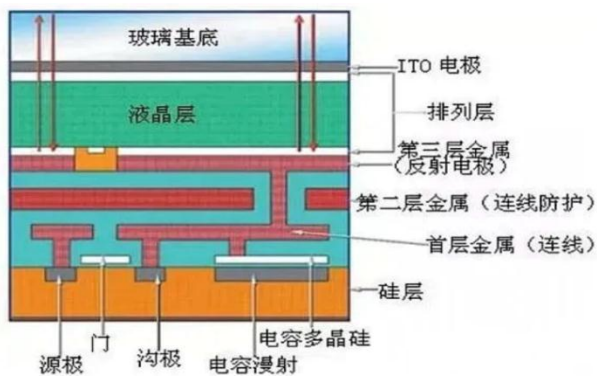
光波导早期搭配 LCOS 或 DLP 显示屏，仅满足基本亮度，其他显示性能相较 Micro OLED 较差。Micro LED 有望成为终极搭配，电视、VR 等其他下游驱动制造技术突破，有望在两年内实现相关高端 AR 眼镜的规模出货。

硅基液晶 (LCOS) 是 LCD 与 CMOS 集成电路有机结合的反射型显示技术, 反射式技术将光利用率提高至 40%, 亮度提升至 10000nit 以上; LCOS 以单晶硅为基板驱动, 实现高电子移动率和电路微细化, 解析度较高。结构中使用的零部件, 制造工艺和产业链成熟, 因此具备量产能力高、低成本的制造优势。

数字光处理 (DLP) 的关键是数字微设备芯片 (DMD), 是一块多达 130 万个微镜组成的矩形阵列, 每个微镜控制一个像素, 通过控制微镜“开”和“关”的比例, 操纵各像素的亮度。DMD 芯片由德州仪器提出并实现垄断。DLP 投影系统以镜片为基础, 所以光利用率高; 但架构复杂, 设计难度高, 提高了生产成本, 此技术早已广泛应用于投影机。

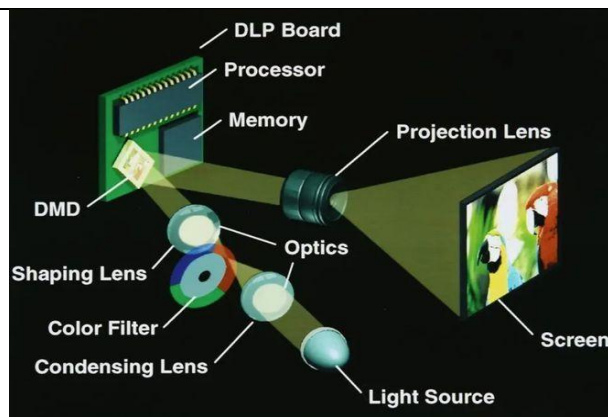
LCOS 和 DLP 亮度提升和制造成熟的优势, 使其在早期成为光波导的**搭配屏幕**。通过提高光利用率, 两方案亮度超 10000nit, 结合光波导入眼亮度勉强合格。两方案虽结构复杂, 但均为成熟应用, 产业链完善、量产能力强、成本相对低。然而, 背光源的设计, 导致 LCOS 和 DLP 在对比度、分辨率、功耗、响应速度等重要显示指标上均差于 Micro OLED。

图 69: LCOS 是 LCD (液晶) 与 CMOS (硅片) 的有机结合



资料来源: 投影时代

图 70: DLP 核心为 DMD 芯片, 广泛应用于投影设备

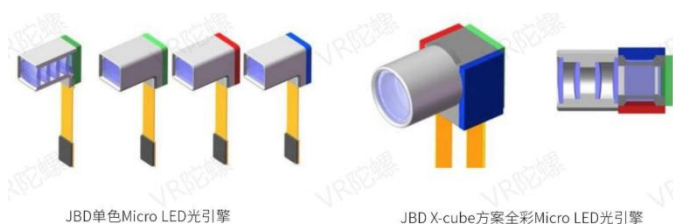


资料来源: IT 世界网

Micro LED 凭借全面优越性能和理论制造优势, 有望成为搭配光波导的**终极显示技术**。Micro LED 将 LED 阵列化、微小化, 使其既拥有 Micro OLED 的高分辨率、高刷新率、高对比度等优势, 也拥有 LCOS 高亮度、寿命长等优势, 并在 AR 关键的亮度、功耗、屏幕体积等性能实现大幅度升级, 成为光波导的终极搭档。同时全新原理带来简单结构, 使其理论上量产能力强, 制造成本低。

卡点在制造环节, 电视、VR 等下游驱动 Micro LED 产业化, AR 受益。制造工艺上, 巨量转移等难点使实际产能低、成本高昂; 且全彩显示待量产突破。但作为次世代显示技术广泛应用于电视、笔电、VR 等领域, 下游市场的需求倒逼显示厂商积极布局。AR 眼镜享受 Micro LED 行业发展红利, 2021 年后陆续发布搭载 Micro LED+光波导的 AR 产品, 但小米和雷鸟 AR 眼镜为概念机, OPPO Air Glass 限量发售。随着三星、京东方、JBD、友达等的技术突破和产线建成, MicroLED 逐渐量产出货, 搭载 Micro LED 的高端 AR 眼镜有望在 2025 年左右发售。

图 71: JBD 单红色 Micro LED 实现量产突破, 全彩宣布研发



资料来源: VR 陀螺

图 72: Micro LED 尚未规模量产, OPPO Air Glass 限量发售



资料来源: 快科技

3.4.3、Micro LED 乘 C 端 AR 崛起之风, 相关厂商收割红利

综合考虑显示和对应光波导的技术性能和制造量产能力, 我们认为,

- 1) **中短期 (2022-2025 年)**: 光波导基本成熟并初步量产, 自由曲面/BirdBath + Micro OLED 的产品组合会更多搭载低功能尝鲜 AR 产品, 市场占比持续压缩。Micro LED 将在 2025 年左右成熟量产, 因此早期仍使用 LCOS 等较差显示屏, Micro LED 的全彩显示和巨量转移逐渐突破后, 从高端 AR 眼镜开始逐步向下渗透;
- 2) **长期角度 (2025 年后)**: 2025 年后, 随光波导的成熟落地, 搭配自由曲面/BirdBath 的 Micro OLED 会基本消失; Micro LED 将完成量产技术突破, 凭借其基本完美的显示性能, 加速替代 LCOS 和 DLP, 从高端 AR 产品渗透至全品类, 最终成为统一且稳定的 AR 光波导显示屏选择。

表 34: AR 显示方案性能梳理, 光波导搭配的显示屏将从 LCOS/DLP 向显示性能优越的 Micro LED 演进

	LCOS	DLP	Micro OLED	Micro LED
光源	背光源	背光源	自发光	自发光
分辨率	低	低	高	很高
响应时间	ms (毫秒)	us (微秒)	us (微秒)	ns (纳秒)
对比度	1000:1	2500:1	100000:1	100000:1
亮度	根据背光源亮度决定, 普遍>10000nit	根据背光源亮度决定, 普遍>20000nit	1000-6000nit	100000nit (全彩), 10000000nit (蓝/绿/红单色)
器件结构	复杂	复杂	简单	简单
工作温度	10°-70°	-40°-90°	-50°-70°	-100°-120°
功耗	高	中等	低	低
光机体积	3CC-5CC	3CC-5CC		0.3CC-1.5CC
寿命	10 万小时	10 万小时	<1 万小时	>10 万小时
光学搭配	光波导	光波导	BirdBath/自由曲面	光波导
制造产能	成熟, 产能高	成熟, 产能高	可规模化量产, 产能较小待放量	试量产阶段, 产能很小
制造成本	低	-	高, 规模化后成本逐渐降低	很高, 但理论成本低

资料来源: VR 陀螺, MicroDisplay, 芯语, CINNO, 光大证券研究所整理

综合考虑 AR 显示屏的技术路径选择和各厂商布局动态, 我们认为:

- 1) **LCOS/DLP/Micro OLED 相关厂商获得红利有限**。LCOS/DLP 作为投影机主流技术, 德州仪器 (TXN.O)、豪威科技、奇景光电 (HIMX.O)、晶典科技等作为主流供应商地位稳固, 且作为过渡技术显示性能差, 基本没有

新厂商为 AR 入局；Micro OLED 因无法搭配光波导，仅会在 2025 年前搭载部分低功能 AR 眼镜，年出货总量不超过 100 万台，尽管部分厂商如索尼（SONY.N）因 VR 布局 Micro OLED，但这些厂商无法享受到 25 年后 C 端 AR 崛起后的红利；

- 2) **AR 终极方案 Micro LED，25 年后 C 端崛起后，相关厂商出货量有望突破千万。**除国外龙头三星（005930.KS）、夏普（6753.T）、JDI（6740.T）技术位居前列外，国产厂商中，JBD 坚定布局，在红色单片和全彩显示上持续研发，并建设合肥工厂促进大规模量产；京东方（000725.SZ）、TCL 科技（000100.SZ）等上市公司也针对 XR 提前布局。而提前布局 Micro LED 芯片的芯片厂商三安光电（600703.SH）、华灿光电（300323.SZ），将可能在下游显示屏出货量驱动下实现收入规模提升。

3.5、芯片：低要求下多元芯片选择和国产化机会，AR 云发展助力 AR 一体机远景

3.5.1、高通骁龙 XR 是主力芯片，物联网芯片、国产芯片等其他芯片方案仍存

AR 芯片相比 VR 性能要求低，更注重功耗。VR 追求沉浸和交互性，搭载强劲编解码能力和丰富交互模块，驱动 VR 芯片算力不断迭代。而 AR 追求更轻量化，降低算力要求，提高功耗和续航需要。一方面，当前 AR 应用简单，多为信息提示场景，无需逼真图像和视频编解码，因此对 CPU 要求高，对 GPU 要求低；另一方面，轻薄机型大多采用分体式设计，将部分复杂运算传输至手机端完成。

高通（QCOM.O）骁龙芯片承担主力，但 AR 芯片方案相比 VR 更多元。VR 绝大多数采用最强的高通骁龙 XR2，但因成本和功耗，部分 AR 眼镜采用算力和交互较差的 XR1 芯片，甚至选择适用于可穿戴设备的高通 2500 或 4100。AR 芯片宽松的性能要求，让很多 AR 初创企业积极尝试其他芯片方案，呈现出 1) 可穿戴芯片推动消费级渗透；2) 国产芯片相比 VR 更易搭载 AR 的现状。

表 35：高通骁龙芯片承担主力，AR 眼镜尝试的芯片方案更加多元

芯片类型	芯片名称	国外/国产	AR 眼镜名称	AR 眼镜形态	AR 眼镜价格	发布时间
AR/VR 专用芯片	高通骁龙 XR1	国外	Vuzix M4000	一体式	2499 美元	2020 年 1 月 9 日
	华为海思 XR 芯片	国产	Rokid Vision	-	-	2020 年 5 月
	高通骁龙 XR2	国外	影创鸿鹄	分体式	-	2020 年 10 月 19 日
	高通骁龙 XR1	国外	爱普生 MoverioBT-40/40S	分体式	579/1002 英镑	2021 年 3 月 2 日
	高通骁龙 XR2	国外	Sanp Spectacles AR	一体式	-	2021 年 5 月 20 日
	高通骁龙 XR2	国外	DigiLens Design v1	一体式	-	2021 年 5 月 18 日
	高通骁龙 XR1	国外	爱普生 MoverioBT-45CS	分体式	-	2022 年 6 月
手机芯片	高通骁龙 845	国外	钉钉 Nreal Light AR	分体式	10999 元	2020 年 5 月 17 日
	紫光展锐 T740	国产	影目科技 INMO X	一体式	-	2021 年 5 月 31 日
	紫光展锐 T740	国产	亮风台 HiAR H100	一体式	-	2021 年 9 月 9 日
物联网芯片	晶晨 Amlogic S905D3	国产	Rokid Glass 2	分体式	-	2020 年 1 月 15 日
	高通 Wear2500	国外	酷派 Xview	一体式	2999 元	2020 年 7 月 28 日
	高通骁龙 4100	国外	OPPO Air Glass	分体式	-	2021 年 12 月 14 日
	瑞芯微 RK3588	国产	詮视科技 SeerLens One AR	分体式	-	2022 年 5 月

资料来源：紫光展锐官网，VR 陀螺，金融界，光大证券研究所整理

功能简单的 C 端 AR 眼镜尝试采用物联网芯片，推动 AR 向消费端加速渗透。物联网芯片性能较弱，但功耗小、续航长、成本低，并在智能家电、智能手表等领域实现成熟落地和内容创作，适合轻交互、主打信息提示、投票等简单场景的 AR 眼镜。这类芯片在现阶段，可有效解决芯片价格高昂的问题，推动 AR 眼镜价格降低，打造可商业化落地的消费级 AR 眼镜。

国产芯片搭载多款 AR 眼镜，相比 VR 突围可能性更高。通过 VR 芯片部分的参数对比可知，国产芯片在算力、交互等性能上仍有较大差距，国产 VR 头显基本不使用，但因现阶段 AR 眼镜要求低，国产 AR 厂商积极与国产芯片厂商合作，尝试非高通以外的芯片选择，有利于国产手机和国产物联网芯片厂商在 AR 领域寻求突破，目前除瑞芯微（603893.SH）、华为海思和全志科技（300458.SZ）外，国科微（300672.SZ）推出 AR/VR 专用 GK68 系列芯片，而晶晨股份（688099.SH）的物联网芯片 S905D3 和紫光展锐的手机芯片 T740 也被应用到 AR 眼镜中。

3.5.2、定制芯片与云 AR 双路径发展，云 AR 或成终极方案

AR 功能和应用场景将不断拓展，并逐步摆脱手机成为独立一体机形态，这要求 AR 在保持低功耗同时提升运算能力，形成了两种发展路径，即 1) 定制芯片追求性能最大化；2) AR 上云，在云端完成计算任务。

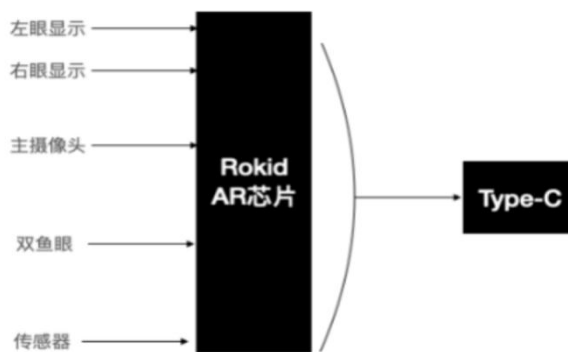
定制芯片实现软硬协同，提升 AR 眼镜性能和竞争力。目前针对手机、物联网、VR 等的通用芯片被应用到 AR 中，出现功能冗余、AR 特定功能（如交互）无法实现的情况，且难以满足 AR 对小体积、低功耗的需要。AR 厂商针对使用场景和应用功能定制芯片，追求“自研芯片+自主 OS”软硬一体的高度协同，性能和功耗表现会强于通用芯片，有效缓解 AR 产品的限制。同时，根据苹果凭借定制 M1 芯片在 PC 市场取得差异化优势的历史经验，软硬结合助力 AR 的复杂交互和个性化功能更好实现，实现产品领先。

图 73：歌尔与高通合作，发布 AR 参考设计



资料来源：VR 陀螺

图 74：Rokid 携手安谋科技，定制高集成、高性能、强交互、低功耗、小体积的 AR 定制芯片



资料来源：VR 陀螺

AR 厂商与芯片厂商积极战略合作，共同开发 AR 定制芯片。定制芯片需要平衡各 IP 的算力和性能，提高集成度，降低数据处理功耗，超高壁垒的芯片设计工作促使 AR 眼镜厂商与芯片设计厂商合作。除苹果凭借硬件积累继续自研外，Meta、微软、歌尔等与高通（QCOM.O）合作，为轻量级 AR 眼镜定制芯片，基于骁龙 XR 平台提出性能优异的 AR 参考设计。国内，AR 厂商 Rokid 携手安谋科技定制 AR 专用芯片，赋能 SLAM 等交互技术；芯原股份（688521.SH）与互联网龙头合作定制包含芯原核心 IP 的 AR 芯片。考虑到定制芯片收益低，大型芯片厂商参与动力小，AR 定制芯片趋势可能利好国内芯片设计厂商。

AR 处理能力从本地转移至云端，提升图像质量，降低终端要求。AR 云能真正解决终端低功耗和高性能的矛盾，成为未来一体机崛起的关键。通过串流协议，三维渲染由云端 GPU 负责，终端成为高清显示屏。这一方面在很低功耗下实现高清图像，利好一体机；另一方面无计算模块，降低 AR 眼镜的性能需求，助力消费级渗透。当前 AR 云问题是延迟，需要 5G 通信、云计算等基础设施的发展升级，还需要数年时间，一体机在 2030 年前难普及。

AR 云实现位置共享，助力万物互联，吸引巨头积极布局。现阶段手机软件实现信息互联，目前向万物互联发展。AR 云的运算和应用都在云端，帮助终端地理位置的云端互通。现在基于位置的服务（LBS）已在游戏、广告营销取得进展，广阔的应用场景吸引众多巨头布局，目前 AR 云主要依赖手机，待 AR 眼镜相对成熟后，将向更适合的 AR 眼镜过渡。

表 36：巨头在 AR 云领域积极布局

公司	自研/投资	举措
苹果 (AAPL.O)	投资	收购 AR 云公司 Flyby
	自研	推出 ARKit 和 LiDAR，并将 LiDAR 搭载至 iPhone 和 iPad 捕捉深度信息和锚定位点
	自研	2020 年 6 月发布 AR Cloud，对五个城市进行本地化图像描述
微软 (MSFT.O)	自研	利用 AR 设备 HoloLens 实现世界锚点
	自研	2019 年 2 月推出云 AR 平台 Microsoft Azure Spatial Anchors，可实现 HoloLens、苹果和安卓设备间共享空间锚点
	自研	2021 年 3 月，与 ARwayKit 合作构建 AR Cloud，推出 AR 软件套件，帮助短时间开发数字世界
谷歌 (GOOG.O)	自研	2017 年推出 AR Core，2018 年推出云锚点，可实现多人在虚拟世界的共享和互动
Niantic	投资	收购 AR 云公司 6D.ai
Meta (META.O)	投资	收购 AR 云地图公司 Scape

资料来源：VR 陀螺，光大证券研究所整理

定制芯片等本地计算方案确保传输时效，时延低；AR 云顺应上云大趋势，能根本解决 AR 眼镜轻薄机型、低功耗和高性能的矛盾，随着 5G、物联网等基础设施的完善，时延问题有望得到解决。我们认为，中短期，AR 云和芯片方案将同步发展，但长期终局将采用 AR 云技术。

3.6、感知交互：复用 VR 交互，但需优化算法和传感器以应对 AR 轻薄化硬件限制

整体思路是复用苹果 (AAPL.O)、Meta (META.O)、微软 (MSFT.O) 等科技巨头相对成熟的 VR 感知交互技术，但受轻量化、功耗和成本限制，现搭载功能有限，空间交互、手势识别将最先应用。AR 面临的难点是在使用较少数量传感器的情况下，保持高自由度和高精度，现阶段通过提升算法、传感器和软硬适配进行效果优化。

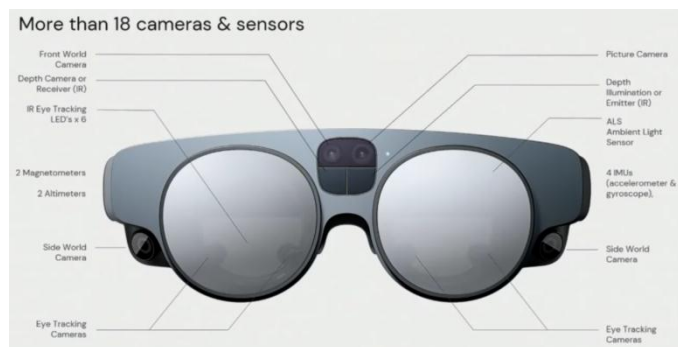
表 37：感知交互技术发展迅猛、丰富多元，但现阶段 AR 眼镜搭载功能相对局限

交互种类	语音交互	触控交互	手柄交互	手势交互	眼动追踪	手环/手表交互	肌电交互
交互硬件	声学传感器	触控面板	手柄	深度传感器	传感器	手表/手环	生物电传感器
核心技术	语音算法	-	视觉算法	视觉算法	视觉算法	动作算法	信号提取
环境要求	安静空间	无需特定环境	无遮挡空间	无遮挡空间	无需特定环境	无需特定环境	无需特定环境
隐私性	低	高	较低	较低	高	中等	高
交互能力	简单	简单	丰富	丰富	中等	简单	简单
技术成熟度	较高	高	中等	中等	中等	中等	低
AR 复用程度	高	高	较低	中等	较低	较高	无

资料来源：VR 陀螺，光大证券研究所整理

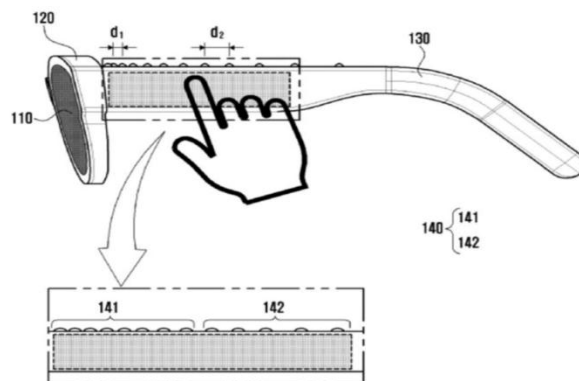
B 端 AR 移植丰富的 VR 交互技术，搭载大量传感器推高设备成本和重量。 高端 B 端眼镜可满足空间定位、手势识别、语音交互、眼动追踪等交互功能，它们像 VR 般搭载大量传感器，如微软 HoloLens 2 和 Magic Leap 2（未发售）分别搭载 8 和 9 颗摄像头，附加 IMU 等传感器。但同时带来设备体积、重量和价格上升，HoloLens 2 售价 3500 美元，重达 566g，或难推广至消费端。

图 75: Magic Leap 2 搭载 18 个传感器，其中含 9 个摄像头



资料来源: ARPost 援引 Magic Leap 官网

图 76: 三星 AR 眼镜腿处配备触控屏，支持触点、滑动操作

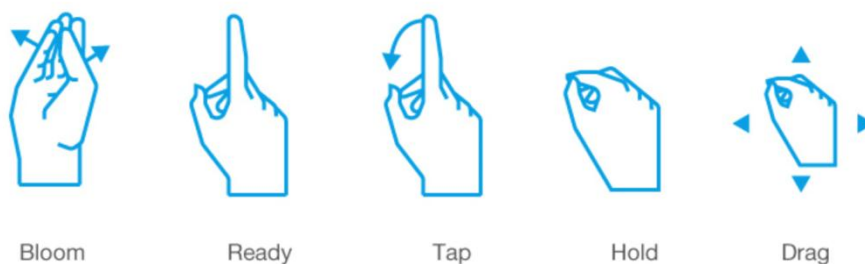


资料来源: 青亭网

现阶段 C 端 AR 眼镜对交互做减法，以头控、触控和语音交互为主，缺少 VR 般的强交互功能。 消费级 AR 眼镜追求轻薄和低价以拓展市场，多用于观影和信息提示等简单应用场景，大多只利用陀螺仪、触摸屏和麦克风阵列捕捉头动、触控和声音，实现点击、选择和滑动等传统交互功能。

AR 目标实现虚实融合，这要求感知空间和分辨场景，因此空间定位是必要交互功能；AR 将成为未来生产力工具，手部交互至关重要，手势识别因成本低、移动便捷备受瞩目。目前投屏式 AR 眼镜仅为过渡期产品，**具备空间定位、手势识别等复杂交互功能是 AR 眼镜未来两三年的趋势和目标。**

图 77: 微软 HoloLens 2 仅可识别几个特定手势，对 AR 眼镜进行对应操作



资料来源: NEXt Lab

空间定位和手势识别方案基本成熟，C 端 AR 逐渐复用。 空间定位的多目摄像头+IMU+SLAM 算法，手势识别的关节捕捉和算法，已在手机、VR 上积累专利丰富，应用成熟。但 AR 眼镜相比 VR，高性能和轻薄、低功耗的矛盾突出，搭载传感器数量的限制，一方面限制搭载更多交互，如眼动追踪；一方面降低精度和自由度，如 HoloLens 2 仅能识别特定设置的手势，无法对各关节进行全自由度追踪。**C 端 AR 眼镜的交互难点，不是前沿交互技术的研发，而是在硬件限制的情况下尽可能保持高精度和灵活性。** 现有解决思路包括：

- 1) **硬件端：通过硬件共用、增强传感器标定和提高软硬系统设计来提升性能。** 不同于四目定位的 Quest 2 VR 头显，AR 大多使用 1-2 个摄像头，苹果 ARKit、谷歌 ARCore 等均推出单目空间定位 SDK。而易现 EZXR 手势识别

SDK 可共用 SLAM 摄像头，无需为手势识别增加额外硬件。AR 无法堆叠传感器，这要求提升传感器水平，实现高精度和稳定的标定；算法和传感器软硬有机结合，发挥更佳效果；

- 2) **软件端：优化 SLAM 等算法。**点云数量可提升精度和效果，通过数据预处理、特征描述、点云配准和分割、图优化等方面优化现有算法；

图 78：SLAM 捕捉 3D 特征点（点云）越多，渲染效果越真实



资料来源：映维网

- 3) **生态端：开源平台降低交互功能开发门槛。**2021 年高通发布 Spaces 开发者平台，使用高通芯片驱动的 XR 设备可享受空间定位、环境识别、手势追踪等 SDK；Rokid 推出操作系统 YodaOS-XR，提供空间感知和环境理解。开源平台可降低应用门槛和开发成本，加速 AR 交互升级进程；
- 4) **未来路径：肌电手环或能解决根本矛盾。**肌电感应具备高灵敏度和精度，相比视觉方案数据处理量很小、功耗和算力需求低。相比 VR，肌电手环的应用对注重轻薄机型的 AR 眼镜更为重要。随着科技发展，脑机接口和机电手环等终极感知交互手段有望逐步替代现有交互方式。

4、重点公司分析

整体逻辑，VR/AR 作为下一代智能消费电子终端，看好元宇宙时期逐步对现有设备进行替换并对各应用场景进行渗透，预判出货量仍有较大增长空间。同时，VR/AR 在各发展阶段均有对应的增长驱动力。中短期 3-4 年内，因技术受限 AR 难以 C 端渗透，需持续追踪 AR 光波导技术进展，而 VR 硬件受产品出新和性能迭代驱动，有望快速放量；长期阶段，AR 将开启 C 端商业渗透，较大市场发展潜力有望驱动 AR 出货量强势提升，而 VR 出货量有望随内容生态完善和应用场景拓展进一步突破。考虑到零部件技术升级促使硬件性能迭代和体验升级，内容生态建立拓展覆盖人群和提升用户需求，巨头布局催化行业加速发展，首次覆盖给予 VR/AR 行业“买入”评级。

表 38: VR/AR 硬件行业重点公司梳理

产业链	公司名称	股票代码	具体产品	公司情况
全局布局	Meta	META.O	VR 整机: Quest(市占率 90%) AR 整机: 在研 (产品定义潜力) AR 光学: 光波导 (收购 DAQRI 百项专利) 显示: Micro LED 芯片: SoC 芯片 (暂停); 专用 AI 芯片 感知交互: 全面布局 生态: 操作系统 (暂停); 应用商店; 开发工具平台; 内容生产商	1) 定义消费级 VR 头显, 具备定义消费级 AR 眼镜潜力; 2) All in 元宇宙, 全产业链延伸, 深耕关键零部件技术; 3) 借助补贴和生态构建, 打造从操作系统、开发工具、应用开发、应用商城的软件生态, 推动行业软硬良性循环
	苹果	AAPL.O	VR 整机: MR 头显 Reality (2023 待出) 显示: Micro LED AR 整机: 在研 (具备产品定义潜力) 感知交互: 全面布局 AR 光学: 体全息光波导 (收购 Akonia) 芯片: 自研 M1/2 生态: 操作系统; 开发工具平台; 内容生产商	1) 待出 VR 头显性能跃升, 有望定义 C 端 AR 眼镜; 2) 零部件积累最深厚, 软件生态可复用, 软硬适配经验; 3) 硬件基因, VR/AR 可与原先产业链复用协同; 设计和创新实力, 拥有强大品牌效应和粉丝群体
多方位布局	微软	MSFT.O	AR 整机: HoloLens AR 光学: 表面浮雕光波导 生态: 操作系统; 开发工具; 内容生产商 感知交互: 大部分布局	1) AR HoloLens 目前位居第一, 但缺乏硬件基因不看好 C 端渗透; 2) 软件布局为主, 积极打造内容应用和解决方案
	谷歌	GOOG.O	AR 整机: 投资 AR 眼镜 North, Magic Leap 显示: Micro LED 生态: 开发工具平台; 内容生产商 感知交互: 大部分布局	布局相对混乱、未成体系。虽收购布局硬件零部件公司, 但未有整体性布局, 整体布局更偏向内容开发和内容生产
	华为	-	VR 整机: 华为 VR Glass 芯片: 海思 XR 芯片 生态: 操作系统; 开发工具平台	聚焦软硬件底层技术, 目前因制裁等原因, VR 等非重点业务进度暂缓, XR 芯片编解码能力优秀但无法量产
	字节跳动	-	VR 整机: 收购 Pico 生态: 应用商店; 开发工具; 内容生产商	效仿 Meta, 并购获得硬件入口, 聚焦内容生态布局
	小米集团	1810.HK	VR 整机: VR 一体机 VR 整机: 智能相机眼镜 AR 光学: 投资表面浮雕光波导至格科技 感知交互: 部分布局 生态: 分发渠道; 内容生产商	依赖自身 AIoT 的技术布局, 主要以硬件和技术积累为主, 内容生态较弱
	索尼	SONY.N	VR 整机: PS VR 显示: Mini LED、Micro OLED、Micro LED 感知交互: 部分布局 生态: 应用商店; 内容生产商	定位 VR 为“多媒体终端”, 开发游戏、影视、直播等内容; 海外显示龙头, Micro OLED 凭借成熟量产形成垄断态势
	爱奇艺	IQ.O	VR 整机: 奇遇系列 感知交互: 追踪定位 生态: 应用商店; 内容生产商	硬件、内容、技术等均有布局, 核心优势在于爱奇艺的强大影视资源, 自研 VR 观影内容和分发热门 VR 游戏
	联想集团	0992.HK	AR 整机: 智能眼镜 VR/AR 光学: 投资 VR/AR 光学厂商耐德佳 生态: 内容生产商 (打造 AR 眼镜对应的企业级解决方案)	抢先战略布局 AR, 因 C 端生态尚未建立, 目前聚焦 B 端设备和配套应用
	Snap	SNAP.N	AR 整机: Spectacles 生态: 内容生产商 AR 光学: 表面浮雕光波导(收购 WaveOptics)	坚定看好 AR 领域, 凭借其优势推出滤镜、短视频、广告、试装购物等应用, 打造内容生态, 推出 AR 眼镜做辅助
	Magic Leap	-	AR 整机: Magic Leap One & Two 感知交互: 追踪定位等 AR 光学: 表面浮雕光波导 生态: 内容生产商 (B 端)	微软 AR HoloLens 的主要竞争对手, 目前已转型 B 端 AR 眼镜, 推出配套行业解决方案
	爱普生	6724.T	AR 整机: 持续迭代的 AR 眼镜 AR 光学: 自由曲面 显示: Micro OLED 生态: 内容生产商	很早战略布局 AR, 拥有自研自由曲面和 Micro OLED 光机的多款 AR 眼镜, 重点针对 B 端场景并打造众解决方案
	Vuzix	VUZI.O	AR 整机: AR 眼镜 AR 光学: 表面浮雕光波导 生态: 内容生产商 (B 端解决方案, 包括军事、制造、医疗等)	光波导积累深厚, 自研多款 AR 眼镜, 主要定位医疗、工业制造、军事等 B 端领域, 目前开始向 C 端渗透
	Nreal	-	AR 整机: AR 眼镜 感知交互: SLAM 等部分布局 AR 光学: BirdBath 生态: 开发工具平台; 内容生产商	中国消费级 AR 眼镜龙头, 凭借其先进感知算法和 BirdBath 光学模组积累实现技术领先, 配备相应行业解决方案
Rokid	-	AR 整机: 眼镜 芯片: 自研 AI 芯片, 与安谋科技造 AR 专用芯片 感知交互: 手势识别等计算机视觉技术和语音交互等 生态: 操作系统 YodaOS; 内容生产商 (行业解决方案)	Rokid 作为人机交互技术龙头, 积极推出 AR 眼镜等硬件产品同时, 重点研发各交互技术的优化, 并打造对应的软件内容生态 (交互操作系统和行业应用解决方案)	
影目科技	-	AR 整机: AR 眼镜 AR 光学: 阵列光波导 感知交互: 部分布局, 具备空间定位、3D 交互等功能	专注于 AR 智能眼镜研发的初创公司	
整机品牌	宏达电	2498.TW	VR 整机: HTC Vive 系列 生态: 应用商店; 内容生产商	由手机全面转型 VR, 整机基础上自研和合作构建内容生态
	创维数字	000810.SZ	VR 整机: Pancakexr 系列和 S802 4K、S6 Pro、V901 等	由 B 端进军 C 端, 发布首款消费级 6DoF 短焦 VR 一体机
	大朋 VR	-	VR 整机: P 系列和 E 系列多款 VR 一体机	中国 VR 头显市占率第二名, 并积极布局海外市场
	NOLO	-	VR 整机: Sonic、CV1、X1 等一体机 感知交互: 6DoF 追踪定位	以 6DoF 追踪定位开发套件切入 VR 一体机市场
	Arpara	-	VR 整机: VR 头显 生态: 内容生产商 (arparaland 社交平台)	虚拟现实设备产品品牌初创公司
	亮风台	-	AR 整机: AR 眼镜 生态: 软硬件开发平台; 内容生产商	定位 AR 平台, 提供 AR 大脑、终端和 B 端行业解决方案
	TCL 电子	1070.HK	AR 整机: 雷鸟 Air 智能眼镜	凭借显示等技术, 积极投入消费级 AR 眼镜
	OPPO	-	AR 整机: OPPO Air Glass 生态: 开发工具平台; 内容生产商	从 AR 眼镜向底层硬件技术和支撑平台大力研发
	Vivo	-	AR 整机: 发布首款 AR 原型机 Vivo AR Glass	投资相对谨慎落后, AR 眼镜设计定位为手机配件
代工组装	广达集团	2382.TW	代工组装: VR 和 AR 整机和关键光机的代工制造	以电脑代工厂商切入 XR 代工赛道, AR 客户有微软、谷歌
	和硕	4938.TW	代工组装: VR 参考设计 VX6; AR 眼镜设计与精密制造	以电脑代工厂商切入 XR 代工赛道, AR 客户有谷歌
	立讯精密	002475.SZ	代工组装: 整机智能制造 用于感知交互的 声学模组	作为 iPhone 代工厂 (果链), 有望切入 XR 代工赛道
	欣旺达	300207.SZ	代工组装: VR/AR 头显与外设的精密制造 感知交互: 触觉交互	针对 VR/AR 头显和感知交互领域进行工程创新
	闻泰科技	600745.SH	代工组装: VR/AR 头显的研发和制造	合作高通, 果链公司, 存在切入 VR/AR 代工领域的潜力
	龙旗科技	-	代工组装: VR/AR 设备的设计、研发、制造和服务	AIoT 领域 ODM 厂商, 战略布局 VR/AR
	捷普	JBL.N	代工组装: AR 眼镜精密制造	为移动设备提供精密制造, 负责 Magic Leap One 代工

	工业富联	601138.SH	代工组装: AR 眼镜和关键零部件镜片等	作为 iPhone 代工厂 (果链), 切入 AR, 客户有谷歌、苹果
光学模组	舜宇光学科技	2382.HK	VR 光学: 菲涅尔透镜、超短焦 AR 光学: 表面浮雕、体全息光波导 用于感知交互的 摄像头模组 代工组装: XR 代工潜力	1) 光学龙头, 光学零部件全面布局, 研发自主、技术强; 2) 拥有大额客户订单, 且客户拓展仍有潜力待发掘
	歌尔股份	002241.SZ	VR 光学: 菲涅尔透镜、超短焦 AR 光学: 表面浮雕光波导 用于感知交互的 摄像头模组 和 声学模组 代工组装: VR/AR 整机代工	组装代工龙头, Meta Quest 2 代工厂, 延伸至 VR/AR 光学模组、摄像头、声学等关键零部件领域, 募资积极研发
	玉晶光电	3406.TW	VR 光学: 菲涅尔透镜、超短焦 用于感知交互的 摄像头模组	台湾地区光学龙头, 切入 Meta、苹果、Sony 等供应链
	扬明光学	3504.TW	VR 光学: 菲涅尔透镜、超短焦 用于感知交互的 摄像头模组	台湾地区光学龙头, 切入 Meta 等供应链
	3M	MMM.N	VR 光学: 超短焦、超短焦中的核心材料反射式偏振膜	对超短焦核心材料反射式偏振膜实现垄断态势
	三利谱	002876.SZ	VR 光学: 超短焦中的核心材料反射式偏振膜	国内偏振片龙头, 切入 VR 超短焦模组, 对接国产替代需求
	冠石科技	605588.SH	VR 光学: 超短焦中的核心材料反射式偏振膜	国产偏振片企业, 拥有 10 条偏光片产线, 可用于超短焦中
	兆威机电	003021.SZ	提供用于调节瞳距的 步进电机	已向 Pico 4 供应步进电机, 有潜力进入苹果 MR 供应链
	苏大维格	300331.SZ	AR 光学: 表面浮雕光波导	国内微纳光学龙头, 拥有自研半导体设备, 制造优势明显
	水晶光电	002273.SZ	AR 光学: BirdBath、阵列光波导、表面浮雕光波导 用于感知交互的 摄像头模组 中的零部件 滤光片	老牌光学龙头, 由滤光片等元器件积极向 VR/AR 等战略布局, 与海外光波导技术龙头积极合作, 目前光波导已出样品
	耐德佳	-	VR 光学: 超短焦 AR 光学: 自由曲面、阵列和体全息光波导	VR 降低鬼影; AR 积极研发一、二维阵列和体全息光波导
	珑璟光电	-	AR 光学: 阵列光波导、表面浮雕光波导	阵列扩产能至 100 万片, 但良率 60%; 表面浮雕研发自主
	灵犀微光	-	AR 光学: 阵列光波导、体全息光波导	阵列良率 85%, 行业最高, 产能 10 万; 向体全息延伸布局
	Lumus	-	AR 光学: 阵列光波导	成像性能最优, 但产能受限无法大规模量产
	理湃水晶	-	AR 光学: 阵列光波导	阵列良率 85%, 制造优秀; 产能低, 22 年后扩至 10 万片
	Wave Optics	-	AR 光学: 表面浮雕光波导	表面浮雕海外龙头, 技术处于世界领先水平
	Dispelix	-	AR 光学: 表面浮雕光波导	海外龙头, 具备三色并入一层波导实现单层全彩光栅技术
	鲲游光电	-	AR 光学: 表面浮雕光波导	同时具备半导体规模量产和光学技术光栅设计的初创公司
	至格科技	-	AR 光学: 表面浮雕光波导	自研光栅设计软件、定制纳米压印设备, 实现光学设计和半导体制造技术的整合, 目前可量产, 但性能稍弱于海外龙头
	光舟半导体	-	AR 光学: 表面浮雕光波导	具备光学和微纳半导体加工能力, 聚焦表面浮雕光波导技术
DigiLens	-	AR 光学: 体全息光波导	体全息海外龙头, 技术性能处于全球领先水平	
三极光电	-	AR 光学: 体全息光波导	体全息国内龙头, 部分性能接近 DigiLens	
惠牛科技	-	VR 光学: 超短焦 AR 光学: BirdBath	融资扩建超短焦产能; BB 领域技术领先, 客户有 Rokid	
鸿蚁光电	-	VR 光学: 超短焦 AR 光学: BirdBath	超短焦有旋光空导专利; BB 专利多, 向薄化迭代, 可量产	
微显示屏	三星	005930.KS	显示: Fast LCD、Mini LED、Micro LED 芯片代工	海外显示龙头, Micro LED 领域领先
	夏普	6753.T	显示: Fast LCD、Mini LED、Micro LED	海外显示龙头, Quest 的 LCD 供应商, 布局 XR MicroLED
	LGD	LPL.N	显示: Fast LCD、Mini LED、Micro OLED、Micro LED	海外面板龙头, 有潜力向苹果 MR 头显供应 Micro OLED
	JDI	6740.T	显示: Fast LCD、Micro LED	海外面板龙头, 作为 iPhone LCD 厂商向 VR/AR 领域切入
	Kopin	KOPN.O	显示: Fast LCD、Micro OLED、Micro LED VR 光学: 超短焦 AR 光学: 棱镜	作为微显示屏厂商, Micro OLED 领域存在先发优势, 安神布局 Micro LED, 并积极研发超短焦、棱镜等光学方案
	京东方	000725.SZ	显示: Fast LCD、Mini LED、Micro OLED、Micro LED	国产面板龙头, 全方面布局 XR 各阶段技术, 并投资扩产线
	TCL 科技	000100.SZ	显示: Fast LCD、Mini LED、Micro LED	国产面板龙头, 全方面布局 XR 各阶段技术, 并投资扩产线
	长信科技	300088.SZ	显示: Mini LED	有潜力获得大额 Meta Quest 3 订单
	鸿利智汇	300219.SZ	显示: Mini LED	中短期因 VR 头显采用 Mini LED 受益, 已小批量供货
	隆利科技	300752.SZ	显示: Mini LED	中短期因 VR 头显采用 Mini LED 受益, 已小批量供货
	维信诺	002387.SZ	显示: AMOLED、Micro LED	主营 AMOLED, 积极布局 Micro LED, VR/AR 显示待推出
	三安光电	600703.SH	显示: Mini/Micro LED 芯片	芯片价值量高, 受益于下游显示屏出货量提升和国产替代
	华灿光电	300323.SZ	显示: Mini/Micro LED 芯片	芯片价值量高, 受益于下游显示屏出货量提升和国产替代
	友达光电	2409.TW	显示: AMOLED、Fast LCD、Mini LED、Micro LED	VR 专用 AMOLED、LCD 和 Mini LED; 布局 Micro LED
	JBD	-	显示: Micro LED	芯片研发和产能制造两手抓, 红光 Micro LED 量产有突破
	Plessey	-	显示: Micro LED	专门针对 VR/AR, 提供纯绿色/蓝色、高亮度 Micro LED
	eMagin	EMAN.A	显示: Micro OLED	先发优势, 早期多供应军事领域, 中短期因 VR/AR 受益
	MicroOLED	-	显示: Micro OLED	先发优势, 早期多供应军事领域, 中短期因 VR/AR 受益
	视涯科技	-	显示: Micro OLED	中短期因 VR 和非光波导 AR 采用 Micro OLED 受益

	国光光电	-	显示: Micro OLED	Micro OLED 厂商, 其中 VR/AR 为一种下游应用领域
	湖畔光电	-	显示: Micro OLED	Micro OLED 厂商, 其中 VR/AR 为一种下游应用领域
	昆山梦显	-	显示: Micro OLED	中短期因 VR 和非光波导 AR 采用 Micro OLED 受益
	奇景光电	HIMX.O	显示: LCOS	LCOS 主流供应商, AR 客户有微软 HoloLens
	豪威科技	-	显示: LCOS	LCOS 主流供应商, 推出 AR 专用显示屏
	美光公司	MU.O	显示: LCOS	LCOS 主流供应商
	德州仪器	TXN.O	显示: DLP	因垄断核心零部件 DMD 芯片, DLP 显示被德州仪器垄断
主控 芯片	高通	QCOM.O	芯片设计: 适用 XR 的芯片, 包括骁龙 XR1、XR2、845、4100 等	XR 芯片霸主地位, 性能远高其他厂商, 生态构建强大
	台积电	TSM.N	芯片代工: 制造 VR/AR 芯片	最大芯片代工厂, 制程先进能提供最优的芯片制造能力
	瑞芯微	603893.SH	芯片设计: 推出 RK3588 和 RK3399 两款可用于 VR/AR 的芯片	AIoT 芯片公司, VR/AR 是其两款芯片的一种应用领域
	国科微	300672.SZ	芯片设计: 针对 AR/VR 市场推出 GK68 系列芯片	积极战略布局新业务 AR/VR 领域, 目前客户仍在导入中
	全志科技	300458.SZ	VR 芯片设计: 推出 VR 专用芯片 VR9	智能应用处理器 SoC 芯片设计公司, VR 是一种下游应用
	紫光展锐	-	AR 芯片设计: T740 等芯片可用于 AR 眼睛上	与 AR 眼镜厂商等战略合作, 其芯片向 AR 领域拓展应用
	芯原股份	688521.SH	AR 芯片设计: 具有核心 IP, 具备 AR 定制芯片的设计能力	为互联网厂商定制 AR 芯片, 提供 IP 核
	晶晨股份	688099.SH	AR 芯片设计: Amlogic S905D3 等芯片可用于 AR 眼睛上	AIoT 芯片和 WiFi+蓝牙集成芯片可应用到 AR/VR 领域
	安谋科技	-	AR 芯片设计: 具备 AR 定制芯片的设计能力	与 Rokid 合作研发定制化的 AR 芯片
感知 交互	大立光电	3008.TW	用于感知交互的 摄像头模组 VR 光学: 超短焦	潜在苹果和 Meta XR 头显摄像头和 VR 光学模组供应商
	联创电子	002036.SZ	用于感知交互的 摄像头模组	提供 VR/AR 等配套光学镜头和摄像头模组
	欧菲光	002456.SZ	用于感知交互的 摄像头模组 VR 光学: 超短焦 AR 光学: BirdBath 显示: Micro LED、LCOS	光学龙头, 在布局 AR/VR 摄像头模组同时成立专门团队布局 BirdBath、LCOS 和 LED 等光机, 已自研 AR HUD 产品
	韦尔股份	603501.SH	摄像头模组 用于捕捉图像的核心零部件 CMOS 图像传感器	CMOS 图像传感器龙头, 受益于 VR/AR 带动摄像头需求
	丘钛科技	1478.HK	用于感知交互的 摄像头模组 VR 光学: 超短焦	发展 6DoF、透视等摄像头模组, 受益于感知交互功能增多
	瑞声科技	2018.HK	用于感知交互的 声学模组 和 触控反馈 (触控马达等)	以声学 and 触控等传感器, 由手机和笔电开始切入 VR/AR
	国光电器	002045.SZ	用于感知交互的 声学模组 代工组装: VR/AR 整机代工	作为 VR/AR 主要声学模组供应商, 向下延伸布局整机代工
	Tobii	TOBII.SS	用于感知交互的 眼动追踪 模块 (微型相机和红外 LED 照明)	眼动追踪龙头, 搭载 Sony PS VR 2、Pico 等众多 VR 品牌
	七鑫易维	-	用于感知交互的 眼动追踪 解决方案	国产眼动追踪龙头, 搭载 HTC、创维等众多 VR 品牌
	科大讯飞	002230.SZ	用于感知交互的 语音交互 解决方案	智能语音和人工智能公司, 技术模块和内容可搭载 VR/AR
	云知声	-	用于感知交互的 语音交互 解决方案	人工智能语音技术公司, 语音技术可用于 VR/AR 语音交互
	Optitrack	-	用于感知交互的 追踪定位 技术 (高速追踪相机和配套软件)	全球最大的追踪技术提供商之一, VR/AR 为主要应用领域
	Ultraleap	-	用于感知交互的 手势识别 技术模块 (配套软硬件)	手部交互和触觉模拟厂商, 为 Pico 等 VR/AR 厂商提供支持

资料来源: Wind, 各公司官网, IDC, 青亭网, Counterpoint, 光大证券研究所整理
注: 股票代码为“-”的是海内外的非上市公司

表 39: VR/AR 硬件行业重点上市公司盈利预测及估值汇总表

产业链	证券代码	公司名称	收盘价 (股 价货币)	EPS (财报货币)				EPS 增长率(%)				PE (X)			
				FY21	FY22E	FY23E	FY24E	FY21	FY22E	FY23E	FY24E	FY21	FY22E	FY23E	FY24E
全面布局	META.O	Meta	96.47	14.65	10.12	11.19	12.43	35.1	(30.9)	10.6	11.1	7	10	9	8
	AAPL.O	苹果	139.50	6.11	6.29	6.83	7.32	8.9	3.0	8.5	7.2	23	22	20	19
多方面 布局	MSFT.O	微软	228.87	9.65	9.70	11.28	13.28	19.9	0.5	16.4	17.7	24	24	20	17
	GOOG.O	谷歌	88.91	5.61	4.94	5.52	6.44	106.3	(11.9)	11.7	16.6	16	18	16	14
	1810.HK	小米集团	10.16	0.88	0.44	0.61	0.76	63.0	(50.0)	38.6	24.6	11	21	15	12
	SONY.N	索尼	76.81	4.84	4.63	5.08	5.80	(25.3)	(4.3)	9.5	14.2	16	17	15	13
	IQ.O	爱奇艺	2.27	(1.21)	(0.04)	0.05	0.17	(18.6)	(97.0)	(230.6)	270.2	/	/	48	13
	0992.HK	联想集团	6.39	0.10	0.17	0.21	0.24	66.7	70.0	23.5	14.3	8	5	4	3
	SNAP.N	Snap	10.28	(0.31)	(0.81)	(0.51)	(0.31)	(52.3)	160.3	(36.9)	(39.9)	/	/	/	/
整机品牌	000810.SZ	创维数字	18.26	0.37	0.82	1.02	1.26	11.1	123.9	24.5	23.4	50	22	18	14
	1070.HK	TCL 电子	3.28	0.47	0.43	0.55	0.69		(10.0)	28.6	25.1	7	8	6	5
组装代工	002475.SZ	立讯精密	32.01	1.00	1.38	1.85	2.30	(2.3)	38.8	33.6	24.6	32	23	17	14
	300207.SZ	欣旺达	25.83	0.53	0.63	1.37	1.82	13.4	18.8	116.5	32.5	48	41	19	14
	600745.SH	闻泰科技	52.42	2.10	2.40	3.34	4.26	8.0	14.4	39.3	27.5	25	22	16	12
	JBL.N	捷普	63.55	6.90	7.40	7.97	9.27	50.7	7.3	7.7	16.3	9	9	8	7
	601138.SH	工业富联	8.72	1.01	1.11	1.22	1.32	14.5	10.3	10.1	7.6	9	8	7	7
	2382.HK	舜宇光学科技	86.50	4.63	2.84	3.82	4.81	3.8	(38.7)	34.8	25.9	17	28	21	17
光学模组	002241.SZ	歌尔股份	23.02	1.25	1.37	1.71	2.10	50.6	9.2	25.6	22.2	18	17	13	11
	MMM.N	3M	125.35	10.12	9.91	10.43	11.15	9.4	(2.1)	5.2	6.9	12	13	12	11
	002876.SZ	三利谱	43.98	1.94	1.76	2.77	3.83	189.7	(9.1)	56.8	38.6	23	25	16	11
	003021.SZ	兆威机电	62.73	0.86	0.96	1.72	2.47	(39.9)	11.0	73.0	31.0	73	65	36	25
	300331.SZ	苏大维格	19.39	(1.35)	0.37	0.91	1.47	(773.2)	(127.3)	147.3	61.2	/	53	21	13
	002273.SZ	水晶光电	12.82	0.32	0.41	0.51	0.61	(0.6)	29.4	24.8	18.5	40	31	25	21
	000725.SZ	京东方 A	3.54	0.68	0.20	0.31	0.43	420.2	(71.0)	58.7	36.8	5	18	11	8
微显示屏	000100.SZ	TCL 科技	4.12	0.72	0.08	0.34	0.51	131.2	(89.2)	334.8	50.5	6	53	12	8
	300088.SZ	长信科技	6.65	0.37	0.35	0.43	0.55	8.3	(5.6)	24.7	26.5	18	19	15	12
	300219.SZ	鸿利智汇	7.80	0.38	0.34	0.50	0.67	189.0	(10.4)	47.1	34.4	21	23	16	12
	300752.SZ	隆利科技	20.69	(0.51)	0.36	1.13	1.97	(345.2)	(169.2)	217.6	74.0	/	58	18	11
	002387.SZ	维信诺	6.23	(1.18)	(1.35)	(0.98)	(0.13)	(889.7)	(14.3)	27.8	(86.4)	/	/	/	/
	600703.SH	三安光电	20.05	0.29	0.41	0.62	0.85	27.4	40.0	52.1	36.4	68	49	32	24
	QCOM.O	高通	112.54		9.45	10.74	9.43			13.6	(12.2)		12	10	12
主控芯片	TSM.N	台积电	65.02	4.12	5.98	5.83	6.73	21.5	45.1	(2.4)	15.4	16	11	11	10
	603893.SH	瑞芯微	75.12	1.44	1.50	2.22	3.22	87.2	4.4	47.7	44.7	52	50	34	23
	300458.SZ	全志科技	21.23	0.78	0.60	0.68	0.77	145.3	(23.2)	13.7	12.4	27	35	31	28
	688521.SH	芯原股份-U	51.30	0.03	0.16	0.34	0.58	(153.4)	482.7	118.6	69.8	1921	330	151	89
	688099.SH	晶晨股份	62.38	1.96	2.73	3.62	4.74	601.1	39.2	32.4	31.1	32	23	17	13
	002036.SZ	联创电子	14.30	0.11	0.29	0.50	0.76	(29.5)	175.1	70.3	52.5	135	49	29	19
感知交互	002456.SZ	欧菲光	5.59	(0.81)	(0.28)	0.03	0.12	(34.3)	65.0	(109.7)	337.4	/	/	205	47
	603501.SH	韦尔股份	80.95	3.78	3.42	4.59	5.68	65.8	(9.6)	34.2	23.8	21	24	18	14
	1478.HK	丘钛科技	3.73	0.73	0.28	0.49	0.68	1.8	(61.8)	75.2	39.4	5	12	7	5
	2018.HK	瑞声科技	16.10	1.09	0.68	0.82	0.99	(12.5)	(37.9)	21.1	20.5	14	22	18	15
	002045.SZ	国光电器	14.39	0.09	0.48	0.60	0.74	(78.6)	456.9	26.4	22.8	168	30	24	19
	002230.SZ	科大讯飞	35.30	0.67	0.80	1.11	1.47	13.5	19.5	38.3	32.6	53	44	32	24

资料来源: Wind, Bloomberg, 光大证券研究所预测, 其中 Meta、小米集团、联想集团、舜宇光学科技、丘钛科技、瑞声科技预测来自光大证券研究所预测, 其他美股公司预测来自 Bloomberg 一致性预期, A 股公司预测来自 Wind 一致性预期。股价截至 2022-11-08; 按照 1HKD=0.9233RMB 换算, 按照 1CNY=0.1380USD 换算

注: 其中苹果、微软、索尼、联想集团、捷普和高通因为财年不是自然年, 因此准确年份表达应为 FY22、FY23E、FY24E 和 FY25E

1) 全产业链布局

META (META.O)

现阶段称霸 VR 整机市场，具备 C 端 AR 眼镜产品定义潜力。20 年 10 月发布的 Quest 2 以高性价比和均衡功能，对 C 端 VR 进行产品定义，推动 VR 设备出货量大幅提升，2021 年首次突破千万台。Quest 2 加快 VR 头显在产品形态、技术路径和搭载功能的统一，促进产业链的整合成熟。22Q1，Quest 2 市占率超 90%，Meta 在 VR 行业市场地位举足轻重。Meta 正在研发 AR 眼镜，考虑到其坚定投入元宇宙、成功定义 VR 头显和对 XR 上游零部件和技术积累深厚，我们认为 Meta 是除苹果外有望实现 C 端 AR 眼镜产品定义的公司。

向产业链上游的核心零部件和技术模块延伸，引领性能升级维持领先地位。 Meta 对光学、显示、芯片和交互四大核心部分全面覆盖，收购光波导和 Micro LED 公司，抢先对 AR 光学和 XR 显示的未来路径战略布局。交互作为未来 VR 设备性能提升的关键，Meta 对繁杂且前沿的交互方案均有涉及（如眼动追踪、手势追踪、肌电手环等），自研和收购双管齐下提升技术积累。

内容生态初步建立，推动软硬件良性循环。 针对 XR 研发专用操作系统 XROS，并选择需求广阔、自身擅长的游戏、社交和协同办公场景，提升内容丰富度。提供 Spark AR 和 Oculus Developer Hub 等开发者服务工具，积极内容扶持，降低开发门槛。收购内容生产商，自研推出 Horizon Worlds、Workrooms 等分别内容产品，尝试元宇宙内容平台雏形。效仿苹果 App Store，依靠 Quest 硬件打造 Quest Store，并投入补贴刺激内容生态步入良性循环。

目前 VRAR 尚处于早期阶段，Meta 注重硬件设备投入，但考虑 Meta 公司定位和内容侧举动，Meta 的目标是建立元宇宙虚拟社区，将 VR/AR 作为体验的硬件入口，未来商业模式不会仅围绕硬件头显销售，而是回归元宇宙时代的社交平台。

盈利预测与估值简表： 我们维持公司 22-24 年营业收入预测为 1171.9/1285.8/1418.5 亿美元，维持公司 22-24 年净利润预测分别为 272.1/300.7/334.2 亿美元，目前股价对应 22/23/24 年 PE 为 10/9/8x。考虑 Meta 为全球元宇宙领航者，在 VR 一体机硬件、AR 内容、社交以及虚拟办公等方面都有深厚布局，有望长期在 VRAR C 端硬件逐步渗透的过程中受益，但短期内主营业务广告收入下滑和 VR 产品真空期出货量承压，维持“中性”评级。

风险提示： 广告市场需求低迷，VR 业务不确定性风险，竞争加剧风险

表 40: Meta 盈利预测与估值简表

指标	2020	2021	2022E	2023E	2024E
营业收入 (百万美元)	85,965	117,929	117,193	128,575	141,850
营业收入增长率 (%)	21.6%	37.2%	-0.6%	9.7%	10.3%
净利润 (百万美元)	29,146	39,370	27,212	30,071	33,416
净利润增长率 (%)	57.7%	35.1%	-30.9%	10.5%	11.1%
EPS (美元)	10.84	14.65	10.12	11.19	12.43
ROE (归属母公司) (摊薄)	22.72%	31.53%	17.89%	16.51%	15.50%
P/E	9	7	10	9	8
P/B	2	2	2	1	1

资料来源: Wind, Bloomberg, 光大证券研究所预测; 股价时间为 2022-11-08

苹果 (AAPL.O)

苹果具备强大研发能力和深厚技术积累，品牌效应强大且用户基础稳固，作为硬件厂商，硬件生态系统、供应链和渠道可复用，以及移动互联网时代重新定义智能手机的荣光，**让市场和用户对苹果充满期待，未来或颠覆现有市场格局。**

底层零部件布局深厚全面，硬件生态完善。苹果针对光学、显示、芯片和交互等核心部分均有布局，其中 AR 光学方面收购体全息光波导厂商 Akonia，自研的 M1 和 M2 芯片可搭载 VR/AR 设备，并通过梳理各领域专利发现，苹果专利数普遍高于其他厂商，零部件积累水平领先包括 Meta 在内的其他巨头。只不过苹果公司对产品成熟度和品质要求高，苹果迟迟未发布 VR/AR 产品。

布局底层软件生态，软硬适配经验丰富。Meta 目前很多生态布局，如操作系统、应用商城、开发平台等均在效仿智能手机时代苹果的成功经验，苹果在打造底层软件实现软硬适配领域更有优势，并可复用原有产品。如 iOS 操作系统、M 系列芯片可改造后用于 XR 领域，应用商店可借鉴 App Store 运营经验，并推出 ARkit 等开发工具。苹果在系统软件方面优势明显。

VR 待出整机性能跃升，AR 整机最具产品定义潜力。2023 年苹果将推出一款偏向 VR 的高阶 MR 头显 Reality，目前透露性能在芯片、光学和显示方案、摄像头、感知交互功能等性能上大幅超过市面产品，将对 Meta 在 VR 上的地位发出挑战。AR 方面，苹果有希望在 2025 年左右发布 AR 眼镜，因其硬件基础、创新能力、设计体验优秀，并有定义智能手机的先例，同时品牌效应强、果粉群体庞大，相比 Meta 我们更看好苹果率先进行产品定义。

自带硬件基因，VR/AR 产品将与现有硬件生态协同。苹果拥有包括手机、笔记本电脑、PC、iPad 等众多硬件品类，一方面，VR/AR 与现有产品存在产业链重叠，特别是 AR 眼镜早期作为手机配件，零部件除光学外基本相同，因此存在复用苹果完善的供应链和渠道布局的优势；另一方面，VR/AR 产品有望融入现有苹果硬件生态中，如与其他终端屏幕协同工作、搭配耳机和手表等。

微软 (MSFT.O) & 谷歌 (GOOG.O)

微软和谷歌作为海外互联网巨头公司，VR/AR 布局偏向软件。微软 AR 整机拥有现阶段市占率第一的 HoloLens，但设备长期局限于 B 端，在目前 C 端 AR 渗透较低的情况下，微软硬件受益较低。谷歌对硬件整机和零部件进行投资，但多方位出击暂未形成完整体系。微软和谷歌均凭借自身软件底层技术积累，着力于软件和应用开发端，推出开发工具和 AR 云，以及各类应用和解决方案。

2) 光学模组

舜宇光学科技 (2382.HK)

全面布局 VR/AR 的相关光学技术，占据较高份额价值量。舜宇光学 VR/AR 相关业务有三类，一是感知交互使用的镜头和摄像头模组；二是 VR 光学模组中的菲涅尔透镜和超短焦方案；三是提前布局 AR 光学模组中的表面浮雕和体全息光波导。舜宇光学在技术布局时，除规模量产现阶段主流 VR 菲涅尔透镜和 AR 表面浮雕光波导等产品外，战略视角提前研发未来技术趋势 VR 超短焦和 AR 体全息光波导，目前超短焦技术成熟，体全息的技术和制造仍需攻克。因包含众多光学产品，舜宇光学在 VR 价值量占比 13%-20%，在 AR 价值量占比 40% 左右，占比较高，随 VR/AR 市场高速增长将获得较多红利。

作为光学龙头厂商，光学积累和公司实力雄厚。舜宇光学在光学领域深耕多年，业务遍及手机镜头/摄像头、车载镜头、VR/AR 等领域，对光学理解深入且产业链完备，因此在研发 VR 超短焦和 AR 表面浮雕、体全息光波导等新技术时进展顺利。特别是表面浮雕光波导，一方面需光栅设计，舜宇自研 EDA 设计工具；另一方面需熟知半导体制造工艺和投入千万级半导体设备，舜宇光学作为龙头实力雄厚，拥有光刻和纳米压印设备、模具，完成彩色波导片研发。

舜宇光学拥有大额 VR/AR 客户订单，尚有拓展潜力。舜宇光学目前摄像头模组和菲涅尔透镜出货 Quest 2、Pico、HTC 等龙头 VR 品牌，超短焦方案有潜力为重磅待出 VR 头显 Meta Quest 3 供货，订单出货量有望稳定增长；表面浮雕光波导目前出货小米 AR 眼镜，随 AR 光波导的持续落地，仍有新客户拓展空间。考虑到技术优势和客户关系，我们认为舜宇有成为苹果 MR 头显供应商的潜力；以及光学价值量不断提升，舜宇或切入 XR 设备代工组装领域。

盈利预测与估值简表：伴随美国大客户取得超预期进展、车载激光雷达、VR/AR 等新产品起量驱动非手机业务净利润占比提升、叠加 smart eye 战略继续深化，有望进一步打开 23 年估值空间。我们维持 22-24 年净利润预测 31.11/41.94/52.80 亿元人民币。公司当前股价对应 22/23 年净利润预测 28x/21xP/E，维持“买入”评级。

风险提示：镜头行业竞争加剧；车载激光雷达、VR/AR 产品放量不及预期。

表 41：舜宇光学科技盈利预测与估值简表

指标	2020	2021	2022E	2023E	2024E
营业收入（百万人民币）	38,002	37,497	34,974	40,227	46,490
营业收入增长率（%）	0.4	(1.3)	(6.7)	15.0	15.6
净利润（百万人民币）	4,872	5,056	3,111	4,194	5,280
EPS（人民币）	4.46	4.63	2.84	3.82	4.81
EPS 增长率（%）	22.2	3.8	(38.7)	34.8	25.9
P/E	18	17	28	21	17

资料来源：Wind，光大证券研究所预测，股价截至 2022-11-08；按照 1HKD=0.9233RMB 换算

歌尔股份 (002241.SZ)

歌尔股份由代工厂商向上游光学、传感器等关键零部件延伸。歌尔股份是全球 VR 头显的主要代工厂商，占据 Meta Quest 系列、索尼 PS VR、Pico 等主流 VR 头显品牌的绝大部分代工份额，随近年来 VR 头显出货量持续提升，歌尔营业收入随之增长。歌尔除代工外，已进入 Meta、索尼、Pico 等零部件供应链，提供包括 VR/AR 光学模组、摄像头模组、扬声器模组等零部件。

歌尔具备 VR 光学模组量产能力，向 AR 光学表面浮雕光波导领域拓展。歌尔持续募资研发 VR/AR 光学模组，拓展新业务。VR 光学模组中，歌尔是 Meta Quest 2 和 Pico Neo 3 菲涅尔透镜的主要供货商，超短焦 Pancake 也实现大规模量产并成功交付，与 Pico 和华为等企业建立合作关系。AR 光学模组，歌尔同舜宇一样，凭借深厚光学和半导体精密加工积累、以及雄厚财力，深耕表面浮雕光波导，目前拥有自研 EDA 软件自主设计光栅和自主生产的能力。

玉晶光电 (3406.TW) & 扬明光学 (3504.TW)

玉晶光电、扬明光电作为老牌光学厂商，VR 模组研发实力出众。光学制作是中国台湾的优势领域，台商玉晶光电、扬明光学在菲涅尔透镜和超短焦模组的光学设计和大规模制造良率上均具备领先优势。借此，玉晶光电进入 Meta Quest

和 SonyVR 光学模组供应链，玉晶光电和扬明光学有望平分未来的苹果 MR 头显 Reality 大额订单。凭借 Meta 和苹果 MR 设备未来出货量增长，中短期两公司的模组出货量将稳定在高水平。

三利谱 (002876.SZ)

国产偏振片龙头三利谱卡位超短焦光学膜赛道，有望受益于国产化替代。超短焦方案本身难度不高，但由于多次反射折射，需要使用高精度反射式偏振片消除鬼影问题。VR 光学模组超短焦路径明确，吸引国产偏振片公司切入 VR 领域，目前三利谱已针对偏振片在超短焦模组显示端的应用展开布局，VR 认证接近尾声，已采购生产设备进行安装调试，22H1 有望小批量出货。

阵列光波导：灵犀微光（非上市）& Lumus（海外非上市）& 珑璟光电（非上市）& 理湃光晶（非上市）

二维扩瞳技术和量产制造成为竞争关键，综合考量灵犀微光最优。阵列光波导具备成像质量高、色彩均匀的优势，但其技术卡点为二维扩瞳，制造困境为因镀膜和胶合工艺复杂产能和良率严重受限，因此这两点成为阵列光波导主要的竞争力考量。Lumus 作为海外龙头，技术指标最佳，最早实现二维扩瞳的技术成熟，但其一直受产能问题限制，无法支持大规模出货。国产厂商灵犀微光、珑璟光电和理湃光晶三足鼎立，均突破二维扩瞳技术，其中珑璟光电依赖资本大幅扩张年产能至 100 万片，但 60% 的良率隐患很大；灵犀微光凭借制造实力实现良率最优超 85%，年产能 10 万片，成为并无短板相对最优的厂商。

灵犀微光在制造工艺上经验丰富，自研专业设备。灵犀微光针对镀膜、胶合、抛光、组装校准和测试这五个高难度关键步骤逐个技术突破，自主研发出多种专业设备，并对检测机制不断改进，实现良率超 85%，为行业内最高水平。随制造工艺不断完善，良率持续提升（2021 年仅为 70%），仍有提升潜力。灵犀微光同时针对长期技术体全息光波导布局研发，已研发出 PDLC 体系材料。

表面浮雕光波导：Wave Optics（海外非上市）& Dispelix（海外非上市）& 苏大维格（300331.SZ）& 鲲游光电（非上市）

光栅设计和制造投入缺一不可，海外公司更具优势。技术方面，光栅设计直接影响性能；制造方面，半导体设备投入超千万，并需定制改造，对公司实力和半导体制造经验要求高。因为表面浮雕复用半导体光刻和压印设备，国外整体半导体水平领先国内，微软、Wave Optics 和 Dispelix 等龙头厂商大多来自海外，国内公司出于竞争劣势，且具有设备断供等政治风险。

苏大维格拥有自主可控纳米光刻和纳米压印设备，存在制造优势。苏大维格是国内领先的微纳光学厂商，致力于解决底层核心技术，自主研发了覆盖纳米级的光刻机与压印设备，可复用至表面浮雕光波导的制造工艺中。公司对半导体工艺积累深厚，具备半导体设备的定制改造能力，表面浮雕光栅已在 AR HUD 上量产出货，并加强与 AR 下游终端等厂商联系，加速出货。

鲲游光电虽然未上市，但具备光栅独立设计和协同的半导体业务，成为国产表面浮雕光波导领头企业。鲲游光电虽为初创公司，但专注光子科技领域，融合集成光学与集成电路两大技术，具备表面浮雕的技术要点。光学团队实现独立光栅设计、仿真设计和加工方案设计，保障光波导性能；半导体团队借助自有设备研发大规模量产技术，20 年起已小批量产，近年来出货量稳步提升。

体全息光波导：DigiLens（海外非上市） & 三极光电（非上市）

体全息技术要求最高，材料制备苛刻，主要由海外公司推动。体全息理论的高性能、高量产和低成本，成为 C 端 AR 眼镜理想光学模组技术，苹果积极倡导此路径，战略价值最高。但研制材料以及材料的稳定性和一致性难度很高，国外公司 DigiLens 以及被苹果收购的 Akonia 在衍射效率、成像质量、视场角等性能指标领先。三极光电是最成熟的国产体全息公司，目前部分性能指标接近 DigiLens，已实现二维扩瞳和全彩成像，国内其余公司水平落后较多，需要更多时间和资金投入研发。

3) 微显示屏

海外显示龙头：三星（005930.KS）、夏普（6753.T）、索尼（SONY.N）、LGD（LPL.N）

海外厂商针对 VR/AR 布局的重视程度不一，因此中短期享受红利程度不同。VR/AR 仅为显示屏其中一种应用领域，专门针对 XR 布局有助于取得红利。比如夏普作为 Meta Quest 2 最大 LCD 供应商，近几年相关收入随 VR 头显出货量快速提升；索尼因布局小屏幕 Micro OLED，而其他厂商因应用范围小、盈利低不重视，使得索尼与 LGD 获得苹果 MR Reality 大额订单。

三星、夏普、索尼等海外显示龙头凭借先进技术和资金实力，保持稳定地位。龙头因投入产出比放弃如部分 Mini LED 和 Micro OLED 的过渡期红利，但考虑到这些均为中短期技术，长期伴随高性能 VR 头显和消费级 AR 眼镜实现千万级以上出货量的是 Micro LED。日韩显示巨头三星、夏普、索尼均在通用型显示 Mini/Micro LED 等布局深入，且承担技术迭代和研发责任，技术积累深厚，目前三星为领军企业。同时，海外龙头多具备自研显示芯片能力，技术竞争力更强，在攻克巨量转移、全彩显示等技术难题上有优势。

国产面板龙头：京东方（000725.SZ） & TCL 科技（000100.SZ）

京东方和 TCL 科技具备敏锐战略眼光，全方面布局 VR/AR 各阶段技术。京东方和 TCL 科技旗下的华星 TCL 作为中国的显示面板巨头，面对 VR/AR 涉及的 Fast LCD、Mini LED、Micro OLED、Micro LED 等各阶段显示方案均有布局，并建立产线扩大产能，特别在相对技术和制造成熟的 Fast LCD 和 Mini LED 领域，凭借价格等竞争优势，收获大量订单，借 VR 出货量增长的东风促进自身营收增长。

国产其他面板公司：长信科技（300088.SZ） & 鸿利智汇（300219.SZ） & 隆利科技（300752.SZ） & 视涯科技（非上市）

部分国产厂商深入布局 VR/AR 驱动需求但海外龙头未切入的领域，实现中短期出货量和营收提升。海外龙头的 Mini LED 多应用于电视和车载等领域，未覆盖 VR 应用，国产厂商抓住机会深耕 VR 并投资建设相应产线，其中长信科技有较大潜力获得 Meta Quest 3 订单，而鸿利智汇和隆利科技也开始向海外 VR 客户量产交付。Micro OLED 赛道应用范围限制在 VR/AR 等小屏幕，市场规模小使得除索尼外的众多龙头并未入局。视涯科技、湖畔光电、昆山梦显等初创企业切入，为国产 VR/AR 整机品牌供应。

国产 LED 芯片公司：三安光电（600703.SH）& 华灿光电（300323.SZ）

国产厂商多为面板制造商，Mini/Micro LED 推动上游 LED 芯片厂商受益。三安光电和华灿光电为国产 LED 芯片和 LED 外延片龙头，在显示屏的价值量占比高。不同于海外龙头大多拥有自研芯片技术，国内龙头如京东方、TCL 科技、长信等均是面板厂商，需要向上游采购芯片。三安光电和华灿光电纷纷募资针对 Mini LED 芯片和 Micro LED 研发和产线建设，随国产面板厂商出货量增长，收割 LED 芯片国产化替代红利。

4) 芯片

高通（QCOM.O）

高通积极投入 XR 芯片，技术实力强大，生态建设完善。高通与国产厂商瑞芯微、华为海思和全志科技进行参数对比，在芯片算力、视频编解码和搭载交互功能上均性能突出，其他厂商落后明显。高通保持一年一迭代的芯片新品推出周期，将技术差距持续拉大。同时，高通注重生态建设，与 VR/AR 设备品牌、感知交互技术公司等战略合作，使 XR 芯片平台搭载功能丰富度提升，降低芯片使用者门槛。

中短期，高通维持霸主地位，尚无有力竞争者出现。虽存在 VR/AR 龙头自研定制芯片趋势，但考虑到芯片技术门槛极高，除苹果等少数自研芯片成功厂商外，包括 Meta 等研发不顺利或效果低于预期，若采用高性能芯片仍需依赖高通。国产替代趋势首先需要国产 VR/AR 品牌崛起，目前来看国产芯片厂商仍需很长时间发展。

5、风险提示

VR/AR 设备及技术迭代进度不及预期风险：各零部件受技术水平和制造工艺限制，前沿技术量产进度可能推迟，进而导致新整机产品推迟发布。

VR/AR 下游应用行业集中度过高风险：VR/AR 内容生态处于初期，尚未实现多元化应用场景，VR 目前集中于游戏场景，AR 集中于 B 端和 G 端的特定行业，若其他应用场景拓展不力，可能导致需求不及预期，影响 VR/AR 硬件放量。

国内政策监管风险加剧：考虑到目前国内积极打击垄断，可能导致国内大型公司减少 VR/AR 方面投入和收购，不利于硬件技术发展；VR/AR 内容属于审批范围内，版号发放存在不确定性，或影响硬件销量。

行业及公司评级体系

	评级	说明
行业及公司评级	买入	未来 6-12 个月的投资收益率领先市场基准指数 15%以上
	增持	未来 6-12 个月的投资收益率领先市场基准指数 5%至 15%；
	中性	未来 6-12 个月的投资收益率与市场基准指数的变动幅度相差-5%至 5%；
	减持	未来 6-12 个月的投资收益率落后市场基准指数 5%至 15%；
	卖出	未来 6-12 个月的投资收益率落后市场基准指数 15%以上；
	无评级	因无法获取必要的资料，或者公司面临无法预见结果的重大不确定性事件，或者其他原因，致使无法给出明确的投资评级。
基准指数说明：		A 股主板基准为沪深 300 指数；中小盘基准为中小板指；创业板基准为创业板指；新三板基准为新三板指数；港股基准指数为恒生指数。

分析、估值方法的局限性说明

本报告所包含的分析基于各种假设，不同假设可能导致分析结果出现重大不同。本报告采用的各种估值方法及模型均有其局限性，估值结果不保证所涉及证券能够在该价格交易。

分析师声明

本报告署名分析师具有中国证券业协会授予的证券投资咨询执业资格并注册为证券分析师，以勤勉的职业态度、专业审慎的研究方法，使用合法合规的信息，独立、客观地出具本报告，并对本报告的内容和观点负责。负责准备以及撰写本报告的所有研究人员在此保证，本研究报告中任何关于发行商或证券所发表的观点均如实反映研究人员的个人观点。研究人员获取报酬的评判因素包括研究的质量和准确性、客户反馈、竞争性因素以及光大证券股份有限公司的整体收益。所有研究人员保证他们报酬的任何一部分不与、不与，也将不会与本报告中具体的推荐意见或观点有直接或间接的联系。

法律主体声明

本报告由光大证券股份有限公司制作，光大证券股份有限公司具有中国证监会许可的证券投资咨询业务资格，负责本报告在中华人民共和国境内（仅为本报告目的，不包括港澳台）的分销。本报告署名分析师所持中国证券业协会授予的证券投资咨询执业资格编号已披露在报告首页。

中国光大证券国际有限公司和 Everbright Securities(UK) Company Limited 是光大证券股份有限公司的关联机构。

特别声明

光大证券股份有限公司（以下简称“本公司”）创建于 1996 年，系由中国光大（集团）总公司投资控股的全国性综合类股份制证券公司，是中国证监会批准的首批三家创新试点公司之一。根据中国证监会核发的经营证券期货业务许可，本公司的经营范围包括证券投资咨询业务。

本公司经营范围：证券经纪；证券投资咨询；与证券交易、证券投资活动有关的财务顾问；证券承销与保荐；证券自营；为期货公司提供中间介绍业务；证券投资基金代销；融资融券业务；中国证监会批准的其他业务。此外，本公司还通过全资或控股子公司开展资产管理、直接投资、期货、基金管理以及香港证券业务。

本报告由光大证券股份有限公司研究所（以下简称“光大证券研究所”）编写，以合法获得的我们相信为可靠、准确、完整的信息为基础，但不保证我们所获得的原始信息以及报告所载信息之准确性和完整性。光大证券研究所可能将不时补充、修订或更新有关信息，但不保证及时发布该等更新。

本报告中的资料、意见、预测均反映报告初次发布时光大证券研究所的判断，可能需随时进行调整且不予通知。在任何情况下，本报告中的信息或所表述的意见并不构成对任何人的投资建议。客户应自主作出投资决策并自行承担投资风险。本报告中的信息或所表述的意见并未考虑到个别投资者的具体投资目的、财务状况以及特定需求。投资者应当充分考虑自身特定状况，并完整理解和使用本报告内容，不应视本报告为做出投资决策的唯一因素。对依据或者使用本报告所造成的一切后果，本公司及作者均不承担任何法律责任。

不同时期，本公司可能会撰写并发布与本报告所载信息、建议及预测不一致的报告。本公司的销售人员、交易人员和其他专业人员可能会向客户提供与本报告中观点不同的口头或书面评论或交易策略。本公司的资产管理子公司、自营部门以及其他投资业务板块可能会独立做出与本报告的意见或建议不相一致的投资决策。本公司提醒投资者注意并理解投资证券及投资产品存在的风险，在做出投资决策前，建议投资者务必向专业人士咨询并谨慎抉择。

在法律允许的情况下，本公司及其附属机构可能持有报告中提及的公司所发行证券的头寸并进行交易，也可能为这些公司提供或正在争取提供投资银行、财务顾问或金融产品等相关服务。投资者应当充分考虑本公司及本公司附属机构就报告内容可能存在的利益冲突，勿将本报告作为投资决策的唯一信赖依据。

本报告根据中华人民共和国法律在中华人民共和国境内分发，仅向特定客户传送。本报告的版权仅归本公司所有，未经书面许可，任何机构和个人不得以任何形式、任何目的进行翻版、复制、转载、刊登、发表、篡改或引用。如因侵权行为给本公司造成任何直接或间接的损失，本公司保留追究一切法律责任的权利。所有本报告中使用的商标、服务标记及标记均为本公司的商标、服务标记及标记。

光大证券股份有限公司版权所有。保留一切权利。

光大证券研究所

上海

静安区南京西路 1266 号
恒隆广场 1 期办公楼 48 层

北京

西城区武定侯街 2 号
泰康国际大厦 7 层

深圳

福田区深南大道 6011 号
NEO 绿景纪元大厦 A 座 17 楼

光大证券股份有限公司关联机构

香港

中国光大证券国际有限公司
香港铜锣湾希慎道 33 号利园一期 28 楼

英国

Everbright Securities(UK) Company Limited
64 Cannon Street, London, United Kingdom EC4N 6AE