

人机交互系统是通往元宇宙的入口

华泰研究

2022年2月22日 | 中国内地

专题研究

电子

增持 (维持)

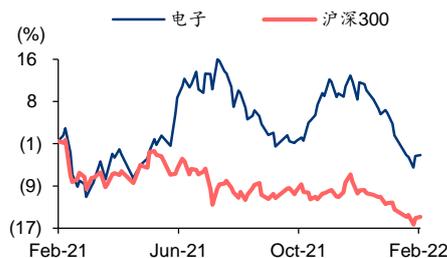
研究员 **黄乐平, PhD**
SAC No. S0570521050001 leping.huang@htsc.com
SFC No. AUZ066

研究员 **陈旭东**
SAC No. S0570521070004 chenxudong@htsc.com
SFC No. BPH392

联系人 **黄礼悦**
SAC No. S0570121070191 andrewhuang@htsc.com
SFC No. BRH099

联系人 **王心怡**
SAC No. S0570121070166 xinyi.wang@htsc.com

行业走势图



资料来源: Wind, 华泰研究

重点推荐

股票名称	股票代码	目标价 (当地币种)	投资评级
工业富联	601138 CH	19.04	买入
歌尔股份	002241 CH	69.00	买入
立讯精密	002475 CH	45.95	买入
舜宇光学科技	2382 HK	255.00	买入
韦尔股份	603501 CH	321.00	买入

资料来源: 华泰研究预测

VR/AR/脑机接口作为新一代人机交互系统, 将是人类通往元宇宙的入口

我们认为人机交互系统是连接原子世界和比特世界的接口, 其发展是需求升级和技术演进互相推动的结果。需求侧, 随着元宇宙应用场景清晰化, 新需求决定了下一代人机交互平台将在沉浸感和交互感两大维度重点发力。技术侧, 我们认为 1) VR 拐点已至, 升级路径清晰, 有望成为元宇宙第一个入口; 2) 完整的 AR 还面临光波导等技术难题, 分体式 AR 有望率先落地; 3) 人对大脑的理解还处于非常早期阶段, 康复医疗有望成为率先落地场景。建议关注 1) 摄像头 (舜宇, 韦尔), 2) VR 组装及零部件 (歌尔, 工业富联, 立讯), 3) 微显示 (硅基 OLED, Micro LED) 等投资机会。

元宇宙应用场景逐步清晰, 新需求定义下一代人机交互平台升级方向

VR/AR/脑机接口是集合了微显示、传感器、芯片和算法等多项技术在内的下一代人机交互平台。回顾整个人机交互发展历程, 我们看到人机交互的指令输入形式和反馈输出形式都在朝着更低的操作门槛和更高的交互效率演变。当前我们正站在智能手机时代和下一个交互形态的交界处, 随着元宇宙在游戏、电商、协同办公、社交、健身、医疗、视频和模拟培训等场景的落地以及相关内容生态的逐渐完善, 元宇宙对硬件的需求逐步清晰, 将推动 VR/AR/脑机接口设备的逐步升级, 最终有望出现可以和 PC、智能手机媲美的下一代硬件。

VR: 进入出货量拐点, 探索元宇宙初级入口形态

2021年在 Oculus quest 2 全球热卖带动下, VR 整体出货量近千万, 重新点燃了对 VR 行业的期待, 叠加科技巨头纷纷加码, 市场持续关注元宇宙投资机会。我们认为 2022 年对 VR 和元宇宙来说将是关键一年, 一方面, 随着内容厂商开发各类游戏、社交、办公等元宇宙服务, 和 NFT 的持续火热, 元宇宙的生态落地有望加速; 另一方面, 据 Digitimes, Meta 配合推出升级 Quest 产品, 而苹果也将在 22-23 年间推出其第一代产品, 通过微显示、传感器、芯片和算法等方向的迭代, 为元宇宙提供更好的沉浸与交互体验。

AR: 仍在等待技术成熟和刚需应用落地, 分体式 AR 有望率先推广

我们认为 AR 作为一款消费电子产品仍然处于概念期阶段。根据 IDC, 2020-2021 AR 年出货量在少于 30 万, 增速波动大, 且消费端市场上缺少标杆性的品牌。虽然长期看 AR 增量潜力更大, 但从应用看, 目前仍未出现 AR 相关杀手级的应用场景, 从技术看, 光波导, microLED 全彩化量产、电池系统长时间续航与轻量化等探索过程中。我们看好未来 5-10 年, 随着技术的成熟和应用的落地, AR 将成为媲美手机的下一代智能硬件, 而在这之前, 对硬件要求、量产成本相对较低的分体式 AR 有望得到率先推广。

脑机接口: 康复医疗有望成为率先落地场景

我们目前对大脑的理解还处于非常早期阶段。根据我们估计, 人脑的算力约相当于一台超级计算机 (相当于 4.3w 个 7kw 等效机柜), 实际发挥的能力还不到 10%。随着人们对大脑的认知、电极等读取脑信号传感器的设计, 以及人工智能算法的精进, 脑机接口的商业化可能性逐渐出现。我们看好, 脑机接口在治疗脑卒中等中枢神经损伤所致的运动功能障碍, 车祸等造成的肢体残疾, 以及抑郁症等康复医疗领域有望率先落地, 长期看好消费电子, 军事等领域的应用机会。

风险提示: 元宇宙技术开发进度不及预期, 疫情升级致 3C 需求不及预期, 创新品渗透不及预期。

正文目录

元宇宙应用对硬件提出更清晰的需求，将推动人机交互逐步升级	3
从人机交互发展史来看，当前我们处在什么阶段？.....	3
低操作门槛与高交互带宽是人机交互平台核心发展方向.....	3
元宇宙来临，有望带动 VR/AR/脑机接口蓬勃发展.....	4
元宇宙应用场景依次落地，或将定义下一代 VR/AR/脑机接口升级方向.....	6
游戏：强调“沉浸感”的元宇宙游戏需要多平台/VRAR/云原生技术作为底层技术支撑.....	7
电商：虚实交融的沉浸式购物模式为近眼显示、AI 芯片、传感器带来发展机遇.....	7
协同办公/社交：借助手势追踪、语音识别、眼动追踪、虚拟化身实现互动感.....	8
医疗与健康：VR/AR/脑机硬件将搭载先进生物监测以及脑电信号处理技术.....	9
视频：VR/AR 技术带来高沉浸感的流媒体观赏体验.....	9
模拟训练/教育：将实现虚拟空间中对实体环境的仿真映射.....	10
AR/VR：下一代人机交互平台	12
VR：Oculus quest 2 打造爆款范式，技术创新路径清晰.....	12
AR：产品处于概念期，Micro-LED + 衍射光波导技术突破被寄予厚望.....	19
从需求讲起：一款合格 AR 眼镜需要怎样的配置.....	20
微显示技术：MicroLED 有望成为 AR 主流.....	21
LCoS —— 限制较多，逐渐淡出.....	21
硅基 OLED —— 亮度较低，目前难以应用于户外 AR 场景.....	22
LBS —— 激光二极管对温度敏感、分辨率较差.....	22
DLP —— 对温度敏感，难以小型化.....	23
MircoLED —— 仍处在早期阶段，较多技术问题需要解决.....	23
光学模组：从几何光学到纳米光学.....	24
自由曲面解决方案：自由曲面棱镜/反射镜，BirdBath.....	24
光波导技术解决方案：几何/阵列光波导，浮雕光栅光波导，布拉格光栅光波导.....	25
SLAM：理解环境与使用者，实现虚拟信息和现实世界的结合.....	27
传感器：交互方式与应用场景升级推动传感器升级.....	29
脑机接口：我们离科幻电影还有多远？	31
人脑的潜能：一台超级计算机？.....	31
脑机接口（Brain-Machine Interface）：我们该如何定义？.....	31
根据脑电的采集方式，当前的脑机接口又可以分为侵入式、非侵入式.....	32
应用持续拓展支撑起近千亿美元商用市场.....	34
应用场景#1：医疗健康领域是脑机接口当前最接近商业化的领域.....	35
应用场景#2：消费电子与 AIoT 领域展开消费端应用.....	38
应用场景#3：实现大脑强化，运用于国防军事领域.....	38
附录.....	40
重点推荐公司观点.....	41
风险提示.....	42

元宇宙应用对硬件提出更清晰的需求，将推动人机交互逐步升级

我们认为 VR/AR/脑机接口是集合了微显示、传感器、芯片和算法等多项技术在内的下一代人机交互平台。回顾整个人机交互发展历程，我们看到人机交互的指令输入形式和反馈输出形式都在朝着更低的操作门槛和更高的交互效率演变。当前我们正站在智能手机时代和下一个交互形态的交界处，我们认为尽管 VR/AR 在输入技术（传感）和输出技术（显示）方面均较上一代交互设备有显著飞跃，但目前仍处于发展的早期阶段。随着元宇宙应用的发展和内容生态的完善，元宇宙对硬件的需求逐步清晰，将推动 VR/AR/脑机接口设备的逐步升级，最终有望出现可以和 PC、智能手机媲美的下一代硬件。

从人机交互发展史来看，当前我们处在什么阶段？

低操作门槛与高交互带宽是人机交互平台核心发展方向

我们梳理了人机交互不同发展阶段下输入和输出形式的特征和演变趋势，认为兼具便捷操作性和高交互带宽的 AR/VR/脑机接口将有望引领下一代交互方式。人机交互主要是指人和系统互相影响、互相作用的循环过程。具体而言，人类在接收并处理信息后通过行为输出指令，计算机接受指令后改变系统形态，再通过显示输出反馈信息并被人类感知，从而引发人脑的信息处理和下一个人机交互过程。回顾人机交互发展历程，过去的人机交互主要经历了卡带式交互、问答式交互和音视觉交互这三个阶段，输入和输出形式持续向贴近人类本能进化。

图表1：人机交互方式变迁过程



资料来源：Expreview, Oculus 官网, GEEKPARK, 中关村在线, 清华大学计算机科学与技术系, 《X 战警》, 华泰研究

从指令输入形式的演变来看，在最早期的卡带式交互阶段，人们只能用穿孔卡向计算机单向传递数字指令，指令单一且具有极高的使用门槛；随着主机的出现，人类可通过键盘键入命令语句来实现与计算机的问答（对应命令行界面），虽然较上一代输入设备提高了键入效率，但仍要求操作者记住大量命令语言；随着个人 PC 时代全面到来（对图形用户界面 GUI），通过使用鼠标键盘组合，结合“点/敲击、滚动、拖拽”等动作，操作者可轻易实现快速切换和精准定位，显著降低了操作门槛；而在手机时代，实体按键的消失及音频输入、触摸屏的陆续出现则进一步丰富了用户输入方式，简化交互流程。我们看到人机交互的输入形式从用机器语言与机器交互，进化到了用自然语言与机器交互。

从反馈输入形式的角度，人机交互经历“命令行界面（CLI）-图形用户界面（GUI）-自然用户界面（NUI）”的更迭过程，对应视觉输出内容从单调的一维语句到二维图形，最终有望以三维空间物体的形式呈现，同时辅以声学设备强化听觉输出效果。此外输出设备也从大型主机、台式屏显，演变至笔记本电脑、手机甚至微型投影，逐步走向可移动化。

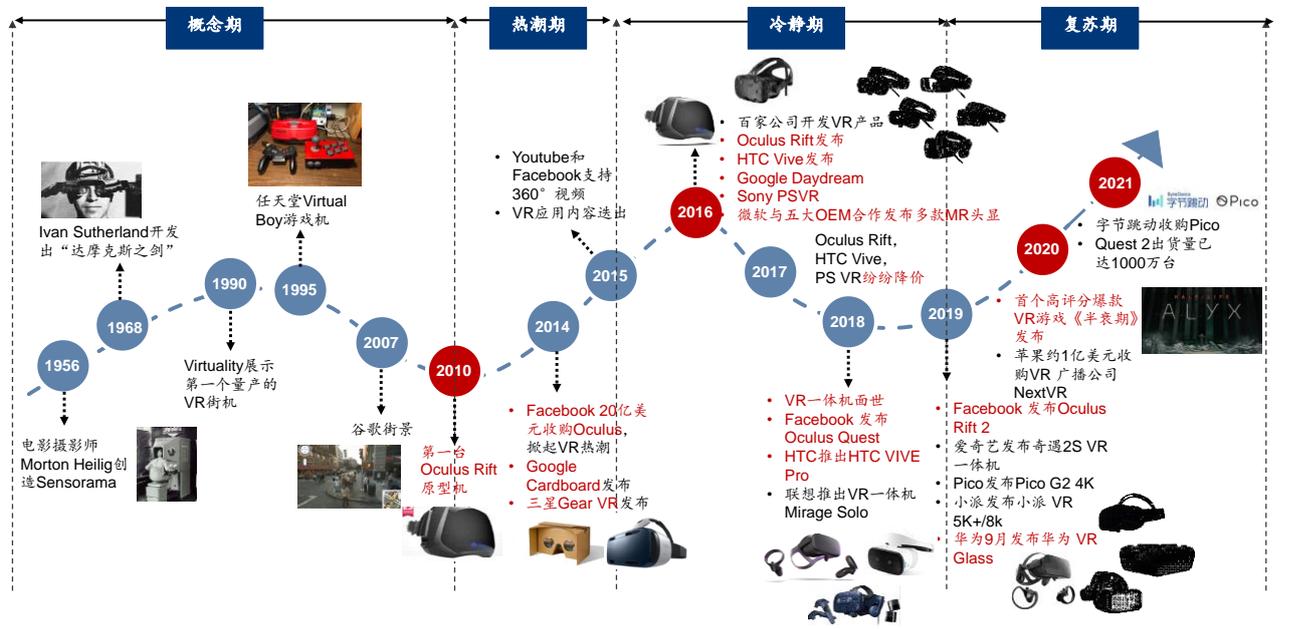
元宇宙来临，有望带动 VR/AR/脑机接口蓬勃发展

我们认为 VR/AR/脑机接口将是下一个交互时代的代表性操作平台，主要因为其高度符合输入和输出形式上的演变趋势。输入角度，VR/AR 消除以往的实体按键，主要结合了手势输入、眼动追踪、面部表情识别以及语音操控，而脑机接口则由肌电输入进一步转变为脑电输入；输出角度，VR 将为用户构建一个融合视觉、听觉、触觉等多维感官体验的移动虚拟现实空间，AR 则将其与现实空间叠加，充分实现虚实融合。

初期的 VR/AR 概念分别在上世纪 50-60 年代先后提出，之后 20 年内经历了漫长的实验室开发和 B 端商用探索，波动上升中产品形态不断向轻量化、小型化、深度沉浸迭代。2010 年以后，随着互联网和智能手机终端的逐步成熟和消费端持续渗透，ARVR 应用开始 C 端落地的探索。进入 21 世纪的第二个十年，元宇宙被预言将成为互联网的下一个形态，而 ARVR 也被寄希望成为元宇宙中全新的人机交互平台。

Oculus quest 2 带动 VR 出货量首次达千万。2020 年 9 月 Oculus quest 2 推出后迅速成为爆款，持续销售火热。2021 年在这款 VR 产品的推动下，VR 销售量近 1000 万台，达历史新高，其设计范式也为国内厂家竞相模仿。未来，我们看到随着应用生态的持续成熟，相应的对 VR 硬件也提出了升级要求。我们认为下一代的显示单元的清晰度或将从目前的 4K 提升到 8K，重量也将从近 500g 下降到 300g 左右，同时目镜厚度将降至目前的 1/3，也将搭载更多传感器，实现眼动追踪、手势追踪等更多的交互方式。

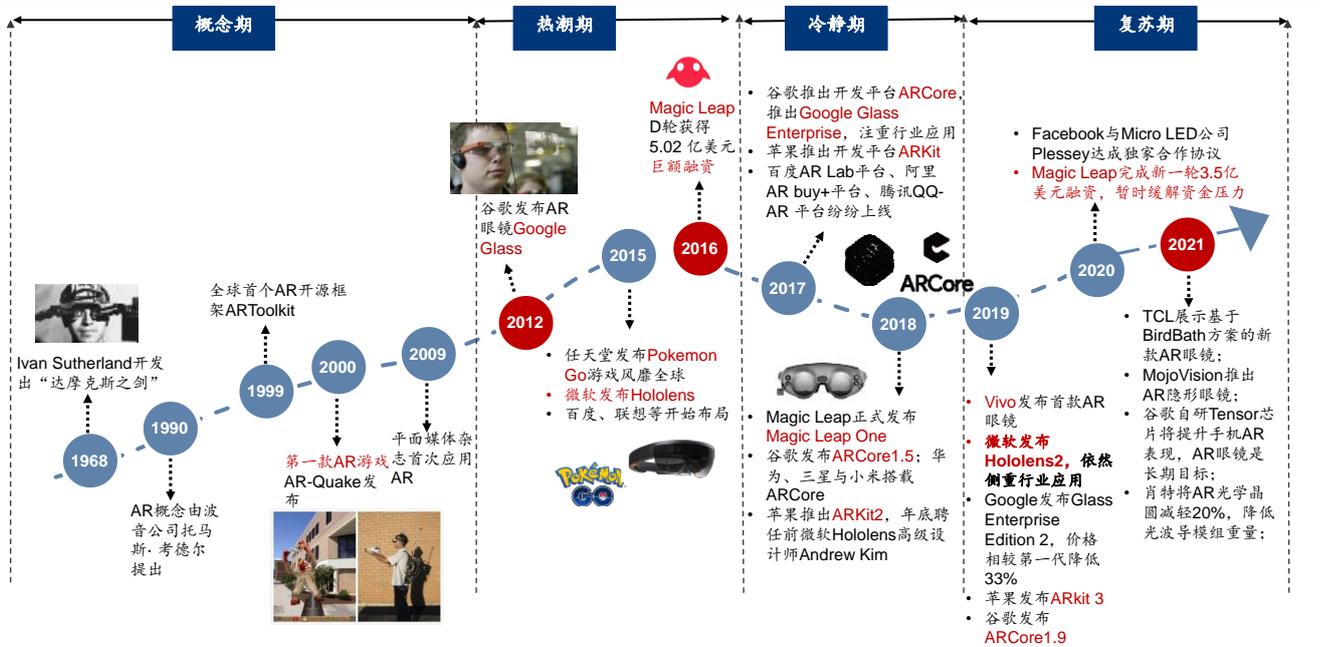
图表2：VR 硬件发展历程



资料来源：公司官网，映维网，青亭网，华泰研究

AR 技术路径繁多，micro-LED+衍射光波导被寄予厚望，但短期难出现成熟产品。现阶段 AR 仍处于探索期，从出货量来看，2020 年至 2021 年均维持在 20-30 万件之间 (IDC 数据)；从产品形态来看，目前仍然以大厂为主导，以一体机产品为主流；从技术来看，目前路径繁多，但均存在性能、良率、体积等问题。micro-LED+衍射光波导被认为是最有望实现大规模商用的 AR 光学系统，但由于 micro-LED 在巨量转移等仍存在技术问题，短期或难以实现大规模商用。

图表3：AR 硬件发展历程



资料来源：公司官网，映维网，青亭网，华泰研究

图表4：VR/AR 技术发展趋势

VR 一体机硬件成熟，出货量拐点已至



分体式 AR 眼镜率先落地



光波导 2022 年之前或难以实现大规模商用



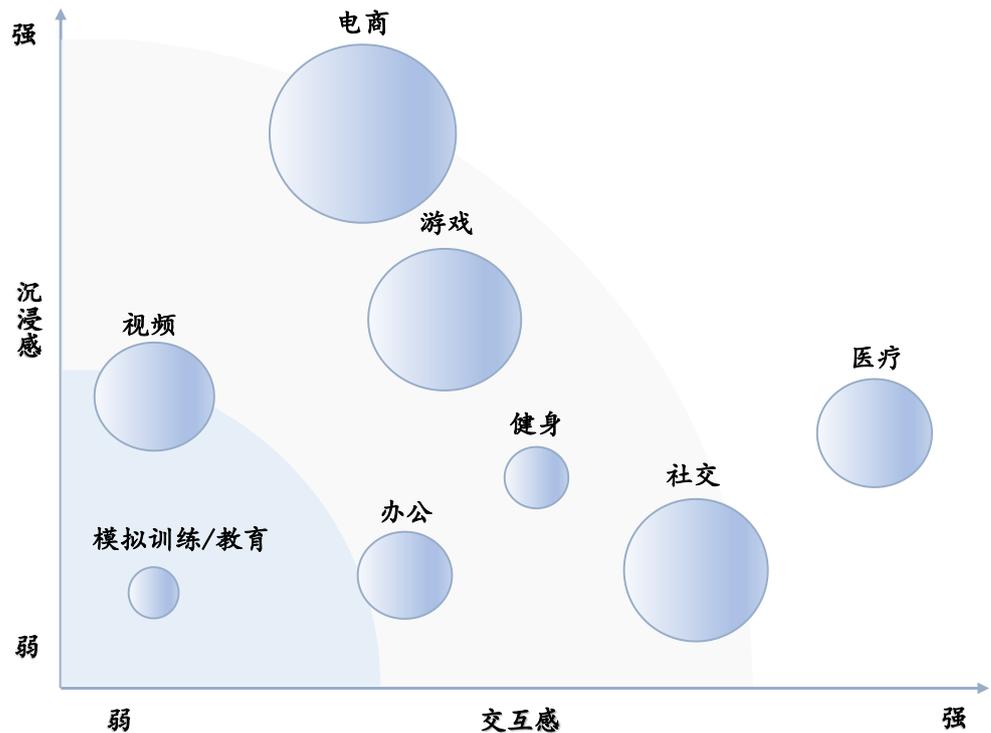
VR / AR 技术发展阶段	2020-2021		2022E-2025E		2025E-2030E		2030E 以后	
	VR	光源	Fast LCD/OLED	光源	Fast LCD/OLED	光源	Micro OLED	光源
	结构	分体式/一体式	结构	分体式/一体式	结构	一体式	结构	一体式
AR	光源	LCOS/LBS/DLP/OLED	光源	LCOS/LBS/DLP/OLED	光源	Micro-LED	光源	Micro-LED
	传导介质	自由曲面 (Birdbath 等) / 阵列光波导	传导介质	自由曲面 (Birdbath 等) / 阵列光波导	传导介质	衍射光波导/全息光波导	传导介质	衍射光波导/全息光波导
	结构	分体式(一体机)	结构	分体式(一体机)	结构	一体式	结构	一体式

资料来源：《硅基有机电致发光微显示关键技术研究》徐洪光等（2013 年）；《硅基微显示技术》代永平等（2002 年），华泰研究

元宇宙应用场景依次落地，或将定义下一代VR/AR/脑机接口升级方向

我们认为随着元宇宙应用场景的清晰化，未来VR/AR/脑机接口的发展方向逐渐明确。早期的硬件设备受制于应用场景和内容单一化、用户对硬件设备的体验不完善等缺陷，初代VR/AR并未实现大规模增长。当前时点，我们看到游戏、电商、协同办公、社交、健身、医疗、视频和模拟训练（教育）等元宇宙应用场景正逐渐清晰，这对VR/AR/脑机接口硬件端提出了更高的要求，有望驱动包括微显示技术、三维重建、生物传感器、肌电/脑电处理、全身追踪、空间定位在内的多项底层技术不断完善。

图表5：元宇宙各大应用场景对沉浸感和交互感的要求



注：气泡在坐标轴上的位置取决于该应用对沉浸感和交互感的依赖度，气泡相对大小表示该应用的市场规模
资料来源：华泰研究

元宇宙时代的应用比移动互联网时代更强调沉浸感和交互感，不同应用对两种效果的侧重各有不同。其中，沉浸感可通过更丰富的音画效果和更多维度的感官交互获得，例如借助场景渲染、沉浸声场、温度模拟、触觉传感等技术营造出逼真的虚拟场景，使大脑产生“身临其境”的感觉；交互感则需借助多样化的输入方式来降低人机交互的操作门槛，例如直接通过识别语音或读取手势来传达指令，无需打字或操作键鼠/按钮，增强互动效率。

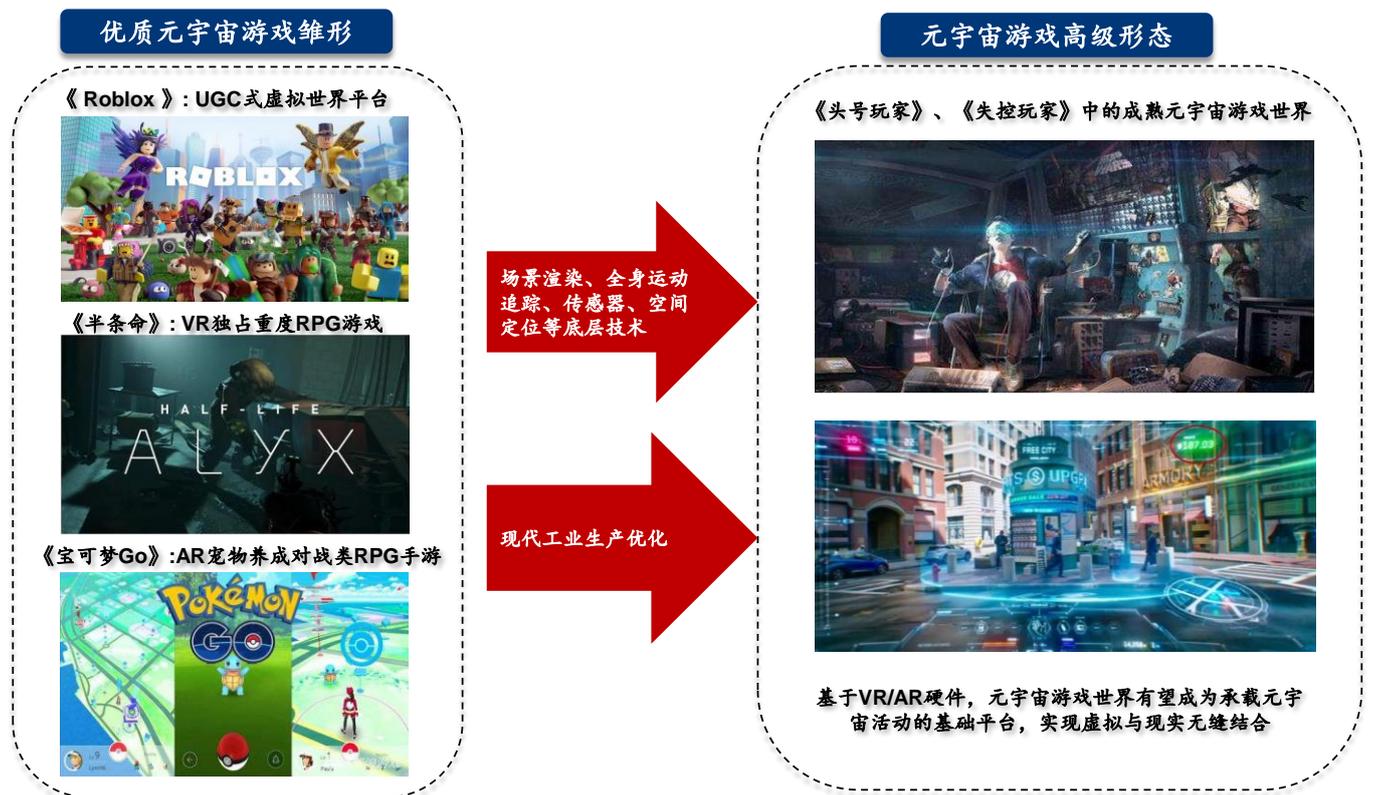
我们认为根据不同应用对沉浸感和交互感的要求高低，可以将其分为三个层次：

- 1) 渐成熟：视频和模拟训练（教育）。其中模拟训练（教育）包括安全教育、公共安全演练、思政教育等等，对沉浸感和交互感要求最低，目前已有商业化案例；而视频领域对沉浸感的要求相对更高，但由于流媒体平台内容生态已经较为完善，随着VR配套硬件向C端渗透，我们认为视频将是率先成熟的领域之一。
- 2) 发展中：电商、社交、游戏、办公、健身。其中电商与游戏更侧重于追求沉浸感，而社交和协同办公对交互感的要求更高。
- 3) 萌芽期：医疗，具体包括疾病监测、辅助微创手术、信号读取、刺激干涉和仿生等。疾病监测随着ECG心电图、血糖、血氧等生物传感技术的成熟有望加速落地，而辅助手术、刺激干涉和仿生等领域对输入和输出的精确度要求极高，相关企业及医疗机构仍在探索中。

游戏：强调“沉浸感”的元宇宙游戏需要多平台/VRAR/云原生技术作为底层技术支持

当前游戏已具备元宇宙所拥有的虚拟身份、朋友、经济系统等特点，但未能给玩家完全带来“沉浸感”，硬件方面主要受制于近眼显示和多维感官传感技术不够成熟。未来，元宇宙游戏将朝着更强的沉浸感与更丰富的内容生态方向发展，需要借助成熟的场景渲染和沉浸声场技术增强声画效果，借助全身运动追踪、传感器、空间定位等技术增强临场感。我们认为优质的游戏内容创新将与 VR/AR 硬件升级互相形成正反馈效应，促进元宇宙游戏生态的发展，并为高性能计算芯片、硅基 OLED、Micro LED 以及相关设备组装企业带来增量空间。

图表6：元宇宙游戏发展方向及底层技术



资料来源：Roblox 官网，Steam 官网，Pokemon GO 官网，《头号玩家》，《失控玩家》，华泰研究

电商：虚实交融的沉浸式购物模式为近眼显示、AI 芯片、传感器带来发展机遇

传统电商平台仍主要以图片和视频等平面化形式展示商品。尽管近年来电商直播、AR 试妆等形式兴起，一定程度上弥补了传统电商在购物时较为单薄的观感体验，然而对于服饰等 SKU 丰富的非标品类商品，用户仍然无法对其进行在线试品。在“在线即在场”的终极需求驱动下，元宇宙时代的电商有望进一步突破物质世界屏障，通过 AR/VR/MR 等新一代人机交互平台实现视听甚至触觉等多感官交互的购物体验，创造如 3D 虚拟商场、数字展馆等消费者购买场景。我们认为这一进程主要依赖于近眼显示、三维重建、触觉传感乃至虚拟人等技术的成熟，将为相关微显示、传感器、芯片企业带来增长空间。

图表7：元宇宙电商有望借助VR/AR/MR实现“在线即在场”的沉浸式购物体验



资料来源：阿里巴巴官网，世悦星承官网，华泰研究

协同办公/社交：借助手势追踪、语音识别、眼动追踪、虚拟化身实现互动感

未来元宇宙办公/社交有望突破物理空间的局限，将带来最接近实地面对面的工作和交友体验，提升办公生产、沟通、协作效率。当前移动互联网阶段的远程办公距离理想模式有一定差距，工作效率与沟通效果仍存在局限性。而元宇宙办公/社交则强调互动感，例如，用户可以全程通过手势操作，即可满足在VR虚拟空间中举手、竖大拇指点赞等功能，显著降低人机交互平台操作门槛，同时实现无距离感互动。这一场景的实现将主要借助手势读取、眼动追踪、语音识别、空间定位等VR/AR底层技术。

图表8：元宇宙办公/社交应用场景



资料来源：Meta 官网，VR 陀螺，华泰研究

医疗与健康：VR/AR/脑机硬件将搭载先进生物监测以及脑电信号处理技术

在VR/AR方面，尽管目前已出现了拳击、攀岩、球类运动等辅助健身的应用，欠佳的硬件佩戴体验却限制了用户使用时长。一方面，VR设备的眩晕感仍未完全消除，运动健身应用中高速变换的场景将进一步加剧不适感；另一方面，目前主流VR头显的重量大多在300g以上，VR一体机甚至普遍超过500g，大大增加了佩戴者运动时的负担。因此，显示技术和轻薄化是硬件厂商重点攻克的方向，我们看好具有超轻薄、高清晰度、低功耗、低延迟等特点的硅基OLED（索尼、视涯等），以及具有无感佩戴且不妨碍正常视线优势的入眼式AR设备（InWith和Mojo Vision等）的发展机会。

在生物监测方面，当前随着心率监测、血氧检测技术的成熟，已有部分智能手环和手表产品中引入了医疗级功能，我们认为向着更专业的医疗设备进化将是智能穿戴重要发展方向。未来，智能穿戴产品有望大规模搭载ECG心电图以及无创血糖检测等新功能，针对老年群体、慢病群体提供更专业的服务，这也对血糖、血氧等生物监测技术提出了更高的要求。长期来看，人机交互硬件在医疗与健康领域有望拓展到服务神经系统和肌肉系统瘫痪的患者（如脑、脊髓疾病、中风、外伤等），这一需求将为脑机接口技术创造可观的发展前景。

图表9：生物检测与辅助健身场景



资料来源：Apple 官网，Mojo Vision 官网，华泰研究

视频：VR/AR 技术带来高沉浸感的流媒体观赏体验

传统影视作品、长视频与短视频仍主要通过电视、影院、视频平台等媒介传播，受制于平面化的表现形式，内容的表现力仍有较大提升空间。元宇宙时代，观众有望使用先进VR/AR设备更沉浸地观看电影、现场实况、音乐会等内容，娱乐性与体验感将迎来质的飞跃。目前包括Netflix和爱奇艺在内的长视频平台已对“元宇宙+视频”的落地做出了积极探索，例如Netflix为美剧《怪奇物语》推出VR体验，爱奇艺推出主打观影功能的手机盒子。借鉴移动互联网时代对短视频生态的孵化历程，元宇宙作为互联网的下一站，也为视频创作提供了新的可能性，例如通过建模、动作捕捉、人工智能制作出的虚拟人物能够参演影视剧集，影视与视频内容创作有望迎来新的高光期。

图表10: Netflix 为美剧《怪奇物语》推出 VR 体验



资料来源: 映维网, 华泰研究

图表11: 虚拟偶像“柳夜熙”出演短视频剧集



资料来源: 抖音, 华泰研究

模拟训练/教育: 将实现虚拟空间中对实体环境的仿真映射

模拟训练是指将现实中的场景复刻到虚拟世界中, 应用于军事训练、工业设计、教学训练、安全应急演练等较为复杂或具有高危险系数的领域。工业领域中, 制造业企业将在仿真虚拟空间中充分利用各类数据, 优化工业生产环节中的设备工艺和作业流程。军事和安全应急演练领域均有进行模拟演练的需求, 未来有望在虚拟场景开展更大规模和更复杂的军事和应急演练, 实现节省训练成本、提高安全性的目的, 如曼恒科技研发出上海浦东机场的 VR 火灾应急演练系统, 使用 VR 和 5G 云渲染技术模拟机场火灾突发事件及机场消防员在危险场景下如何开展消防应急救援, 帮助提升机场系统整体应急能力。鉴于模拟训练用途的特殊性, 其对沉浸感和交互感的要求相对而言较低, 无需依赖高端硬件设备加成, 目前已有曼恒科技、壹传诚等企业实现了商业化。

图表12: 曼恒科技研发机场 VR 火灾应急演练系统



资料来源: 曼恒科技官网, 华泰研究

图表13: VR 虚拟仿真青少年安全教育教学场景



资料来源: 壹传诚官网, 华泰研究

图表14：元宇宙基础设施相关产业链公司梳理

	发展方向	中国相关产业链公司	全球相关产业链公司	
内容生产系统	游戏引擎/其他引擎	曼恒科技	Epic、Unity	
高性能计算	GPU/CPU/DPU	寒武纪 (688256 CH)	英伟达 (NVDA US)	
		遂原 (未上市)	英特尔 (INTL US)	
		壁仞 (未上市)	超威半导体 (AMD US)	
		登临 (未上市)		
		摩尔线程 (未上市)		
	分布式计算&存储	合肥长鑫 (未上市)	美光 (MU US)	
		长江存储 (未上市)	海力士 (000660 KS)	
			三星 (005930 KS)	
		服务器	工业富联 (601138 CH)	戴尔 (Dell US)
		浪潮集团 (600756 CH)	IBM (IBM US)	
	联想集团 (992 HK)			
系统组装	组装/结构件	歌尔股份 (002241 CH)	和硕 (4938 TT)	
	立讯精密 (002475 CH)			
	工业富联 (601138 CH)			
	长盈精密 (300115 CH)			
	龙旗 (未上市)			
	欧菲光 (002456 CH)			
近眼显示	Micro LED	三安光电 (600703 CH)	首尔半导体 (046890 KS)	
		华灿光电 (300323 CH)	三星 (005930 KS)	
		京东方 (000725 CH)		
	硅基 OLED	合肥视涯 (未上市)	LG Display (034220 KS)	
		奥雷德 (未上市)	索尼 (6758 JP)	
		创视界光电 (京东方 (000725 CH))	eMagin (EMAN US)	
		清越科技 (未上市)	Kopin (KOPN US)	
	光学模组及透镜		Microoled (未上市)	
		舜宇光学 (2382 HK)		
		长信科技 (300088 HK)		
	水晶光电 (002273 CH)			
	苏大维格 (300331 CH)			
传感器	RGB/ToF/眼动追踪摄像头	舜宇光学 (2382 HK)	LG Innotek (011070 KS)	
		韦尔股份 (603501 CH)	STM (STM US)	
		高伟电子 (1415 CH)	Primax (2336 TT)	
			索尼 (SONY US)	
			大立光 (3008 TT)	
	红外传感器/磁力计 扬声器/麦克风/马达		AMS (AMS AG)	
			AMS (AMS AG)	
		歌尔股份 (002241 CH)		
		瑞声科技 (2018 HK)		
		美律 (立讯精密 (002475 CH))		
通信	硅光芯片	亨通洛克利 (600487 CH)	英特尔 (INTL US)	
		希烽光电 (未上市)	思科 (CSCO US)	
		Sifotonics (未上市)	洛克利 (RKLY US)	
		华为 (未上市)		
	光模块	华为 (未上市)	英特尔 (INTL US)	
		中际旭创 (300308 CH)	高意 (IIVI US)	
		新易盛 (300502 CH)	思科 (CSCO US)	
		光迅科技 (002281 CH)	博通 (AVGO US)	
	边缘计算	星网锐捷 (002396 CH)	Fastly (FSLY US)	
		浪潮信息 (000977 CH)	Arista (ANET US)	
网宿科技 (300017 CH)		Cloudflare (未上市)		
	联想集团 (0992 HK)	戴尔 (DELL US)		
		惠与 (HPE US)		

资料来源：彭博，华泰研究

AR/VR：下一代人机交互平台

VR：Oculus quest 2 打造爆款范式，技术创新路径清晰

VR 是 Virtual Reality（虚拟现实）的缩写，指计算机图形技术、计算机仿真技术、传感器技术、显示技术等多种科学技术，在多维信息空间上创建一个虚拟信息环境，提供使用者关于视觉、听觉、触觉等感官的模拟，能使用户具有身临其境的沉浸感，具有与环境完善的交互作用能力的一种崭新的人机交互手段。

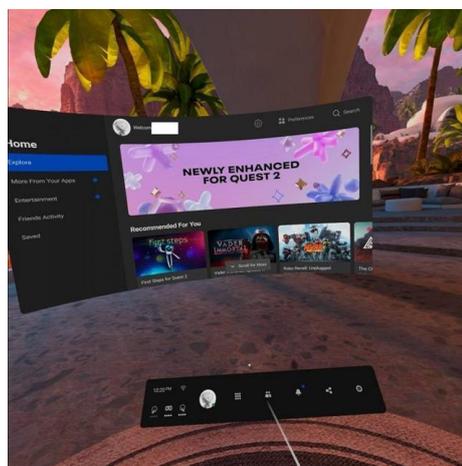
目前常见的 VR 由头戴式显示设备和手柄组成。其中，头戴式显示设备集成了显示、计算、传感器等设备，通过将人对外界视觉、听觉的封闭，并由左右眼屏幕分别显示左右眼的图像，引导用户产生一种身在虚拟环境中的立体感。而手柄则负责辅助追踪使用者手的位置、提供交互使用的按键，以及简单的触觉震动反馈。

图表15：Oculus quest 2 头显与手柄



资料来源：Oculus 官网，华泰研究

图表16：Oculus quest 2 使用界面



资料来源：Oculus 官网，华泰研究

图表17：Oculus quest 产品的使用

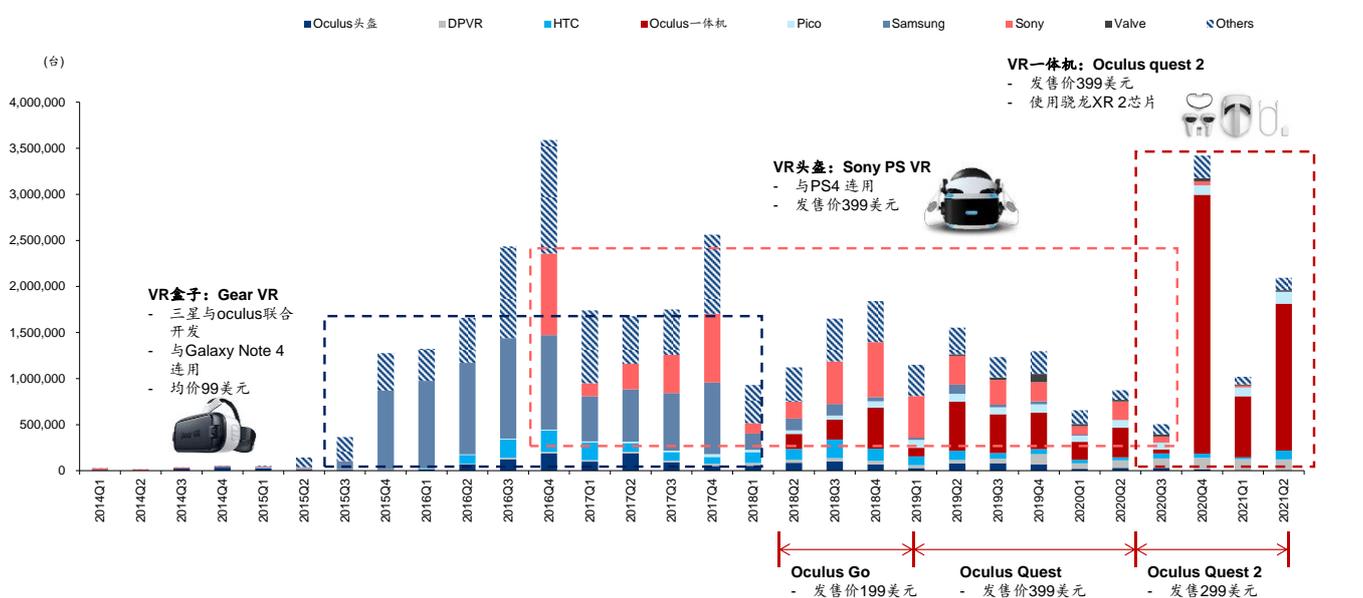


资料来源：Oculus 官网，华泰研究

VR 头显经历 VR 盒子、VR 头盔、VR 一体机三阶段，爆款产品持续主导硬件消费市场。2Q21 全球 VR 产品出货量达 212.6 万台，同比增长 136.4%，其中 Oculus Quest 2 出货量占 75%，持续主导市场。从 2014 年开始，行业销量由爆款产品主导的特点仍然没有变化（2015-2017 年三星 VR 盒子、2016-2018 年 PS VR、2019 年至今 Oculus 一体机）。

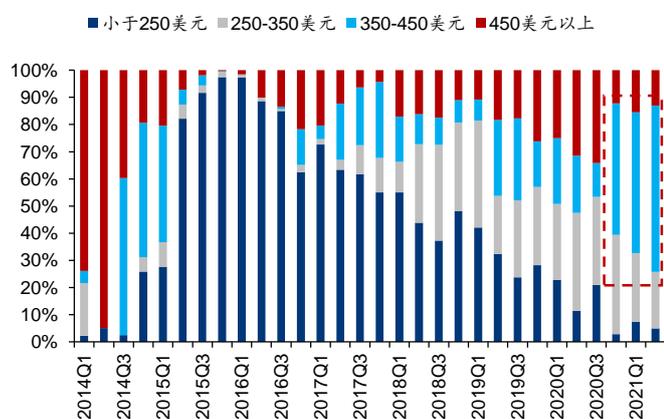
- 1) **三星 Gear VR:** VR 盒子时代的主流产品。三星与 Oculus 合作打造，推出时与 Galaxy 系列进行了捆绑营销，2016 年年销量达到最高，近 400 万台。使用方法是将手机放在 VR 盒子前，使用专用 APP 进行观影。但因发热、晕眩等问题，事实上体验并不优秀。
- 2) **PS VR:** VR 头盔时代销量第一。事实上 VR 头盔时代 HTC/Valve 等产品性能比 PS VR 更加优秀，但主要偏向商用，价格高昂，出货量较低。而 PS VR 价格相对较低，且与 PS 4 进行了捆绑营销，年销量在 100-200 万台之间。
- 3) **Oculus quest 2:** VR 一体机爆款。为一大批其他 VR 品牌打下产品样板。

图表 18: VR 历史销量: VR 盒子、VR 头盔、VR 一体机持续迭代



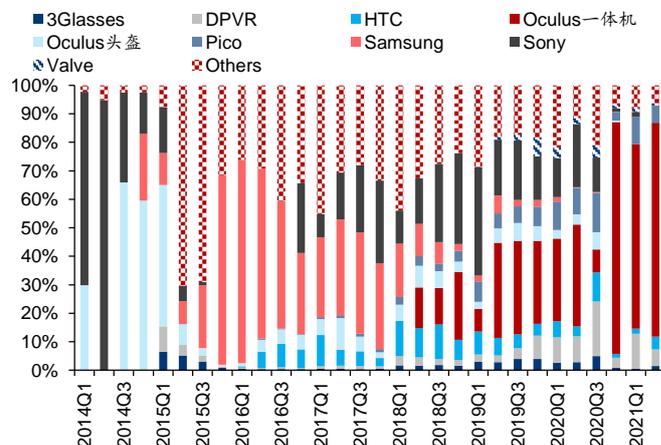
资料来源: IDC, 华泰研究

图表 19: 消费者对价格容忍度在提升



资料来源: IDC, 华泰研究

图表 20: Oculus quest 2 在 2Q21 市占率约 75%



资料来源: IDC, 华泰研究

图表21: Oculus 历史产品规格汇总: Oculus quest 2 销量远超品牌前代 VR 头盔、VR 一体机产品

	Oculus rift	Oculus go (与小米合作)	Oculus rift S	Oculus quest 1	Oculus quest 2
	VR 头盔	VR 一体机	VR 头盔	VR 一体机	VR 一体机
发售日期	2016/3/28	2018/5/1	2019/5/21	2019/5/21	2020/10/13
价格	USD399	USD199-249	USD399	USD399-499	USD299-399
测算出货量级	约 40 万台	约 150 万台	约 33 万台	约 133 万台	超 1000 万台
芯片	/	高通骁龙 821	/	高通骁龙 835	高通骁龙 XR2
分辨率	1080x1200	1440x1280	1440x1280	1440x1660	1832x1920
显示方法	OLED	Fast-LCD	Fast-LCD	OLED	Fast-LCD
刷新率	90Hz	60-72Hz	80Hz	72Hz	72-120Hz
交互方式	Outside-in	Inside-out 3DoF	Outside-in	Inside-out 6DoF	Inside-out 6DoF
RAM	/	3GB	/	4GB	6GB
存储	/	32GB/64GB	/	64GB/128GB	128GB/256GB
重量	470g	470g	570g	570g	503g
手柄	Oculus Touch Controller(V1)x2	Oculus go controllerx1	Oculus Touch Controller(V2)x2	Oculus Touch Controller(V2)x2	Oculus Touch Controller(V3)x2
电池寿命	/	2-3 小时	/	2-5 小时	2-3 小时

资料来源: Oculus 官网, 华泰研究

Oculus Quest 2 是一款充满妥协艺术的产品, 成本、硬件性能、消费者体验等多方向平衡下, 实现 VR 产品基本功能设想。

与 VR 头盔相比, 我们认为 Quest 能够成功的原因包括以下几点:

- 1) 尽管会加大设备的重量 (电池+芯片), 但也省去了用户花近 10000 元购买 PC 主机的成本, 降低了用户的进入门槛。
- 2) 去除了与主机相连的连接线, 提升了用户的移动空间和使用场景, 用户不再需要一个独立的空间并且配备主机, 而只需要在室内任意闲置空间即可使用。
- 3) 在追踪方式上, 摒弃了传统的采用的 outside-in 方式, 因而不需要外部立发射接收器。转而采取基于摄像头的 inside-out 方式, 实现 6DoF 头、手追踪。
- 4) 当遇到芯片算力不足的情况, Quest 2 同样支持串流模式, 可以作为 PCVR 使用, 也满足了消费者对于高渲染 3A 大作的的需求。

图表22: 主流 VR 产品比较

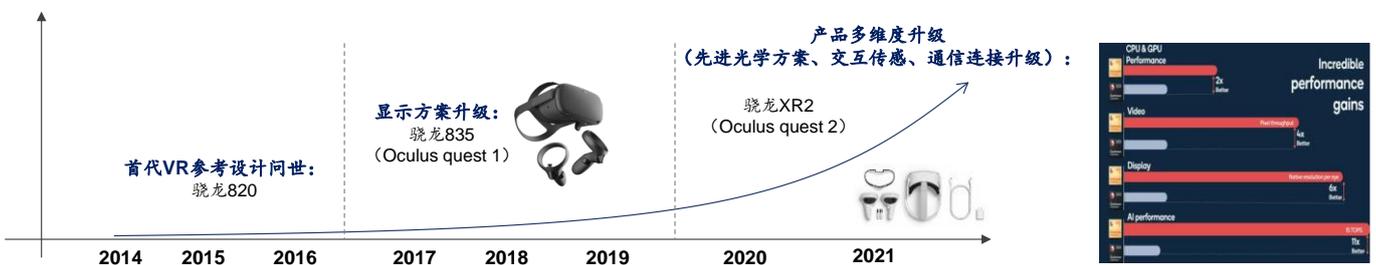
	需外接主机的 VR 头盔 (PCVR、PSVR)			VR 一体机	
	Oculus Rift	HTC Vive	PS VR	Oculus quest 1	Oculus quest 2
价格	599 美元	799 美元	399 美元	399 美元	299 美元
销量估计	少于 100 万台	200 万台	约 550 万台	约 180 万台	超 1000 万台
佩戴舒适度	较差	好	好	中	差
芯片				骁龙 835	骁龙 XR2
显示屏	OLED	OLED	OLED	OLED	Fast-LCD
双眼分辨率	2160 x 1200	2160 x 1200	1920 x 1080	1440 x 1660	1832 x 1920
延迟	20ms 以下	22ms 以下	18ms 以下	估算 12ms 以下	估算 10ms 以下
刷新率	90Hz	90Hz	120Hz, 90Hz (120Hz 得益于索尼的插帧技术)	90Hz	90-120Hz
视场角 (FOV)	110°	110°	100°	104°	93°
传感器	加速度计, 陀螺仪, 磁力计, 红外追踪定位器	加速度计, 陀螺仪, 激光追踪定位器 (基站), 1 枚前置摄像头	加速度计, 陀螺仪, 摄像头追踪可见光定位	加速度计, 陀螺仪, 4 颗摄像头	加速度计, 陀螺仪, 4 颗摄像头
动作追踪	Outside-in 精准	Outside-in 精准	Outside-in	Inside-out	Inside-out
交互设备	Xbox 手柄和 Oculus Touch	Vive 控制器	DualShock 4 和 PS Move	Oculus Touch	Oculus Touch
PC 配置要求	显卡: 英伟达 GTX970/AMD 290 以上; CPU: 英特尔 i5-4590 以上; RAM: 8GB 以上; 接口: 配备一个 HDMI 1.3 视频输出, 2 个 USB3.0 接口; 系统: Windows 7 SP1	显卡: 英伟达 GeForce GTX 970/ AMD Radeon R9 290 以上; CPU: 英特尔 i5-4950/AMDFX 8350 以上; RAM: 4GB 以上; 接口: HDMI 1.4, Display Port1.2 以上视频输出, 1 个 USB2.0 接口; 系统: Windows7 以上	PS4	无	无

资料来源: Oculus 官网, HTC 官网, 索尼官网, 华泰研究

与 Quest 1 等前代一体机对比:

- 1) 与 Oculus quest 1 相比, 第二代产品将 OLED 换为 Fast-LCD 屏幕, 将外观设计简化, 缩减了成本。
- 2) 将芯片从骁龙 835 升级到 XR2, 提升了处理器、显示、影像和 AI 性能。改变后产品刷新率显著提高, 分辨率有所改善, 眩晕问题得到极大改善, 基本实现一款入门级 VR 产品的设想。

图表23: 高通骁龙 XR2 与 835 性能对比

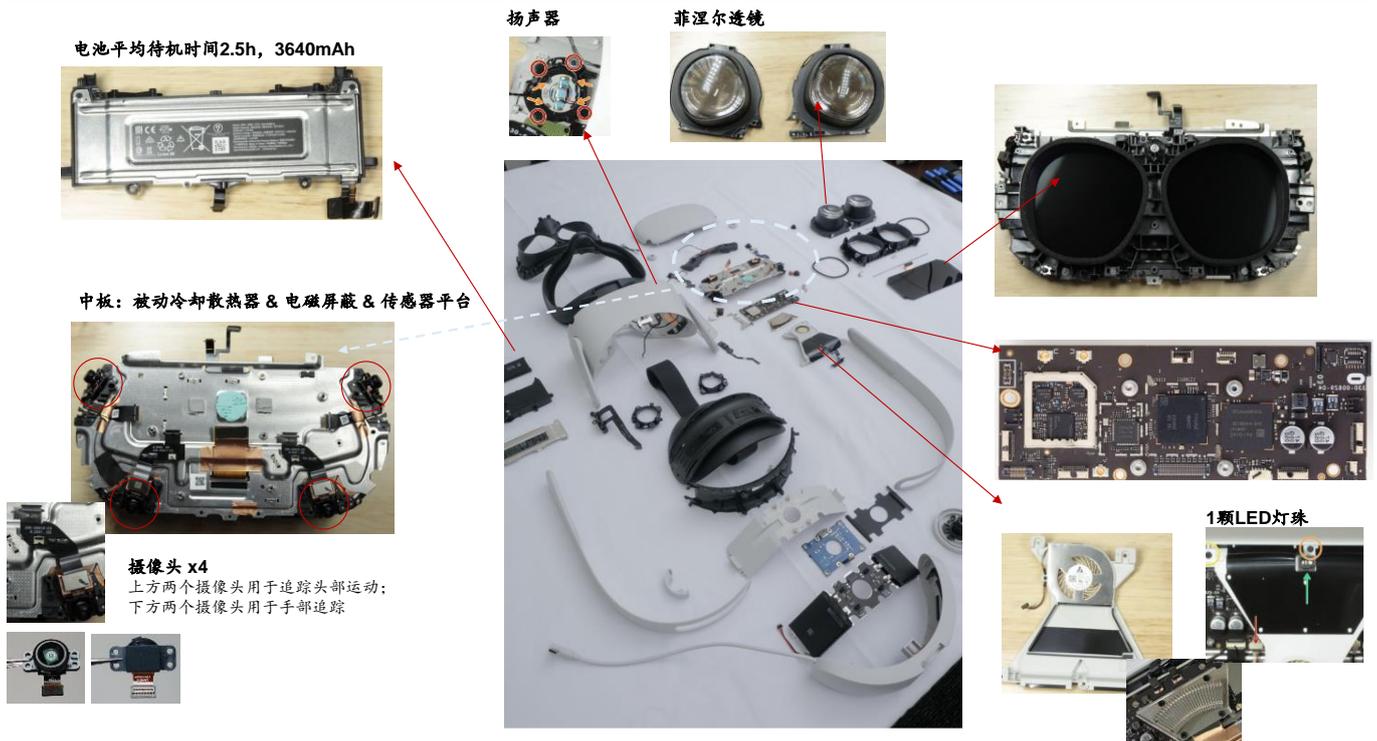


资料来源: 高通官网, 华泰研究

当前 VR 硬件组成与智能手机供应链高度重合：通过 iFixit 的拆机我们看到 Oculus quest 2 头显主要零部件包括显示、光学透镜、传感器、主板、电池产品（物料清单见附录）：

- 1) 显示模块主要使用 Fast-LCD 显示屏, 接近 4K 分辨率, 并具备 90-120Hz 刷新率;
- 2) 光学使用软件预处理搭配菲涅尔透镜提供宽视场、失真色差少的正确图像;
- 3) 传感器: 包括四颗摄像头, 用于追踪头部、手部运动以及显示灰白透视画面;
- 4) 主板: 包括高通的 SoC 芯片 XR2、电源管理芯片, DRAM (三星、镁光、海力士)、NAND (Sandisk)、WiFi 等芯片;
- 5) 电源: 3640mAh。

图表24: Oculus quest 2 基本结构



资料来源: iFixit, 华泰研究

2022 年 VR 将迎来一波创新技术潮流， MetaVR 产品迎来升级，苹果推出高端产品。根据 digitimes, 我们推测 Meta 下一代 VR 升级产品将于明年推出, 将引入 pancake 光学模组和更多传感器, 以实现产品轻量化, 并升级手势识别、眼动跟踪等功能; 而苹果也将在 2022 年底推出一款高端 VR 方案, 这款高端产品能够重新定义 VR 这个产品形态。我们预计这款产品将配备 Micro-OLED 显示屏, 复合菲涅尔透镜 pancake 方案, 全彩影像透视、搭载更多传感器, 为消费者带来全新混合现实体验。

图表25：下一代VR(MR)产品规格猜测

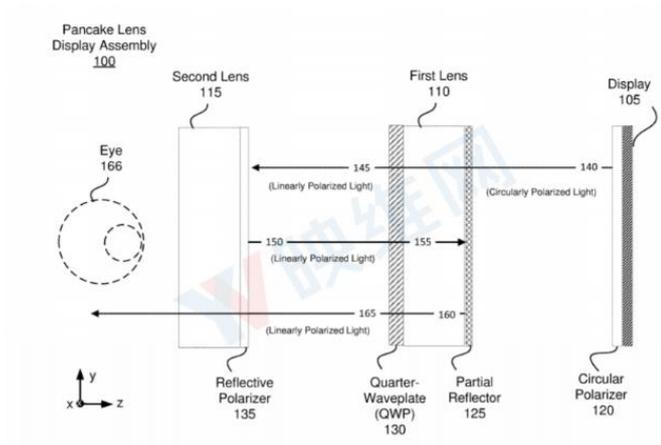
	Oculus Quest 1	Oculus Quest 2	下一代 Meta VR 产品 (2022年)	下一代苹果AR (2023年)
		已推出	2022/2023年	
屏幕	OLED	Fast-LCD	Fast-LCD/mini-LED	Mirco-OLED
光学	菲涅尔透镜	菲涅尔透镜	Pancake短焦光学	Pancake短焦光学
分辨率	双目低于4K	双目4K	双目4K	双目8K
刷新率	72Hz	90-120Hz (需手动开启)	90-120Hz	90-120Hz
IPD	58mm-72mm自由物理调节	仅58, 63, 68mm三个固定档位	自由物理调节(?)	RGB全彩透视
芯片	高通骁龙835	高通骁龙XR2	高通骁龙XR2(?)	算力相当于Mac M1(?)
透视功能	NA	黑白透视	全彩透视	全彩透视
主要传感器	4颗摄像头	4颗摄像头	外置摄像头5-7个?	外置摄像头超过10个? ToF 1个? LiDAR传感器? 内置眼动追踪相机2个?
手柄	简单震动反馈	简单震动反馈	震动反馈或更加细腻, 或各搭配 3颗摄像头 取代目前IR LED定位环 手柄无线充电?	搭配指环? 腕带?
重量	571g	507g	300g(?)	300g(?)
佩戴	侧边魔力贴	尾部拉伸捆绑设计	尾部拉伸捆绑设计(?)	磁力自动调节(?)
FOV	纵向98° 横向104°	纵向89° 横向93°	100°?	100°?
价格	399美元	299美元	400-500美元?	1500-3000美元?



资料来源: Oculus 官网, 华泰研究

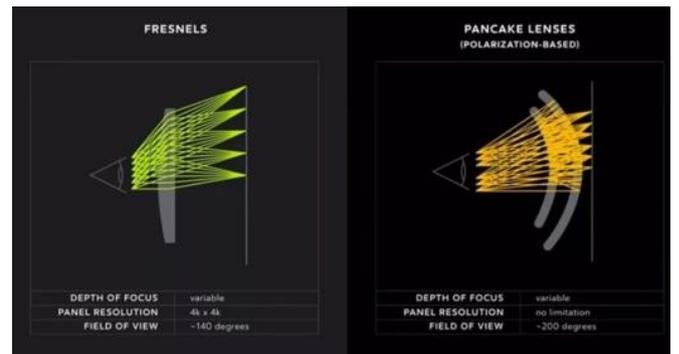
Pancake 短焦光学是公认的下一代 VR 升级方向, 使 VR 头显更加轻薄。在 Meta 较早的 pancake 技术专利中, 我们可以看见一个显示组件包括具有四分之一波片和部分反射表面的第一透镜、具有反射偏振器的第二透镜和显示器, 实现头显的轻薄化。我们认为, 苹果同样在探索使用三个菲涅尔透镜堆叠, 形成轻薄透镜组的方案。改进光学透镜后的 VR 产品将实现轻薄化, 头显重量或由原来的 500g 降低至 200-300g。

图表26: pancake 方案基本原理



资料来源: 美国专利局, 华泰研究

图表27: Meta: pancake 透镜与菲涅尔透镜对比示意图



资料来源: Meta 官网, 华泰研究

Meta 摄像头数量或提升，充分利用骁龙 XR2 芯片算力。我们认为 Meta 下一代 VR 产品与苹果 MR 产品将会增加传感器，主要是摄像头的种类与数量。高通在其官网上披露，高通骁龙 XR2 芯片算力最多可支持 7 颗摄像头（2 颗眼动追踪，2 颗混合现实，2 颗头部 6DoF 追踪，1 颗其他），并可以此实现 MR 混合现实功能。我们认为 Meta 下一代或充分利用骁龙 XR2 算力，为产品进行功能升级。

苹果或将搭载更多传感器，为各类应用提供丰富数据。根据 digitimes 等杂志 2022 年 1 月中旬的报道，苹果或将搭载与 M1 芯片相似算力高阶处理器和一个负责传感器的低阶处理器，支持 5-8 个外置相机模组，2 个内置眼动追踪相机模组，1-2 个 ToF 摄像头，以实现全彩 RGB 影像透视和眼动追踪、手势追踪等功能，实现内容与应用边界的拓展，也为内容生产商提供更多的数据支持。

显示实现方法：Meta 或沿用 Fast-LCD 显示屏幕，而苹果或使用 Micro-OLED，提供升级视觉体验。我们认为 Meta 下一代或沿用 FastLCD 屏幕，与 quest 2 分辨率差别不大，但具有像素级控制的先进背光，可以展示和 OLED 一样的纯黑底色；而苹果或使用高分辨率、高对比度、宽色域、快速响应的 Micro-OLED 显示屏，随之而来的或是高昂的售价，根据 Digitimes 等媒体 2022 年 1 月中旬的报道，新一代苹果 MR 产品售价可能达到 1500-3000 美元，高于当前 Oculus quest 2 的最低售价 299 美元。

图表28：索尼 Micro-OLED 微型显示器



资料来源：Sony 官网，华泰研究

图表29：Micro-OLED 显示效果



资料来源：Arpara，华泰研究

AR：产品处于概念期，Micro-LED + 衍射光波导技术突破被寄予厚望

AR (Augmented Reality, 增强现实) 是促使真实世界信息和虚拟世界信息内容之间综合在一起的较新的技术内容, 与 VR 不同的是, AR 能够将真实环境和虚拟物体之间重叠之后, 在同一个画面以及空间中同时存在。AR 中的关键技术包括跟踪定位技术、虚拟与现实合并技术、显示技术与交互技术。

目前 AR 眼镜也可以分为一体式和分体式, 从出货量看当前一体式为主流。分体式指计算单元或电池等结构与头显分开, 如 Nreal 头显支持通过 type-C 接口与智能手机、PC 连接, 允许将智能手机中、PC 的内容无缝传输到眼镜中, 用户可以在其中查看内容。而一体式 AR 产品则将显示器、传感器、计算、人类理解、环境理解等系统集成在一个头显上, 提供更便捷体验。根据 IDC, 1H21, AR 一体机出货量占比达 70%, 仍然为市场主流。

图表30: 分体式 AR 眼镜代表 Nreal



资料来源: Nreal 官网, 华泰研究

图表31: 微软 Hololens 是一体机代表

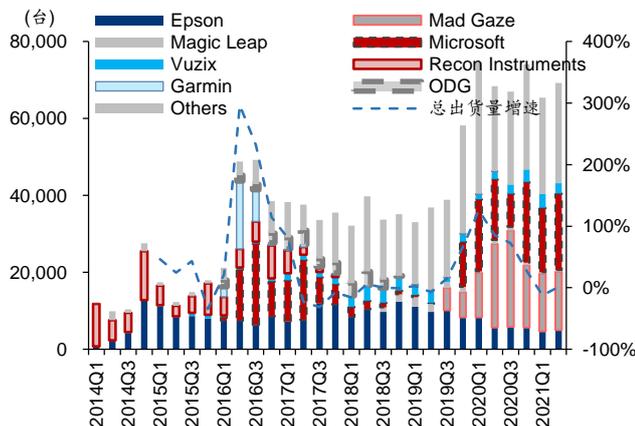


资料来源: Hololens 官网, 华泰研究

AR 销量较小, 增速波动明显, 仍处于概念期。根据 IDC, 2020-2021 年 AR 年出货 (不含 Screenless viewer) 在 20-30 万之间, 增速波动大。从品牌来看, 除 Epson 和微软外, 其他较多品牌并没有实现 AR 的持续大规模销售, 常常在 1-2 个季度的爆发后销声匿迹, 消费端市场上没能出现标杆性的品牌, 我们认为 AR 作为一款消费电子产品仍然处于概念期阶段。

长期看 AR 增量潜力更大, C 端市场仍在等待成熟技术方案。我们认为长期来看 AR 终端有望替代手机, 实现年出货量超过 10 亿台 (对比手机出货量超过 13 亿台), 但目前来看实现这个目标时尚早。从应用看, AR 产品仍未出现杀手级的应用场景。从技术角度看, 虽然 OLED+Birdbath 方案已经比较成熟, 但因透光性差等原因, 形似墨镜的设计不能支持全环境的使用。而其他微显示系统如 LBS/LCoS/DLP 等搭配光波导的方案仍在探索过程中。

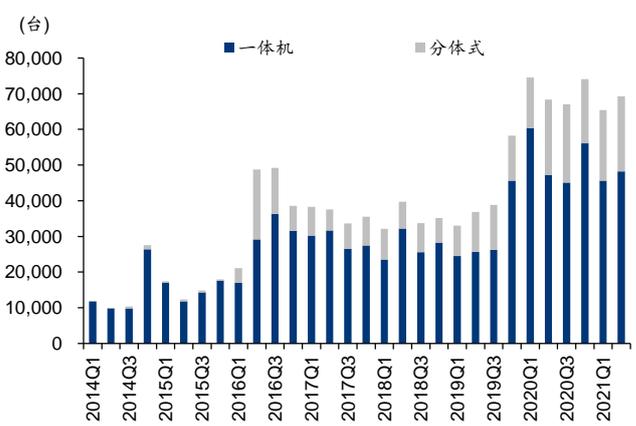
图表32: AR 销量较小, 增速波动明显, 仍处于概念期



注: 不含 Screenless viewer AR

资料来源: IDC, 华泰研究

图表33: 以大厂主导为主, 以一体机为主



资料来源: IDC, 华泰研究

从需求讲起：一款合格 AR 眼镜需要怎样的配置

显示：微显示单元与光机模组决定亮度、对比度、刷新率、分辨率等指标。目前市场上 AR 眼镜的近眼显示系统即使用微显示器作为图像源器件，由其产生图像后投射到自由曲面/光波导等光学模组中，再进入人眼。由于 AR 像源产生的图像将与太阳光一起进入人眼，户外若不加墨镜，入眼亮度需超过 2,000nits，甚至达到 5,000nits，才能在各种天气状况下清楚的显示图像。据我们估算，目前一款光波导眼镜的光效率大约为 3-5%，即像源亮度至少要在 10 万 nits 左右，才能满足 AR 眼镜的亮度需求。此外，75Hz 以上的刷新率、25° 视场下 720P 的分辨率、支持局部刷新及低功耗状态下静态图像的维持，是一款 AR 眼镜的及格线。

图表34： 衡量一款 AR 眼镜的 6 个条件



资料来源：灵犀微光，MicroDisplay，华泰研究

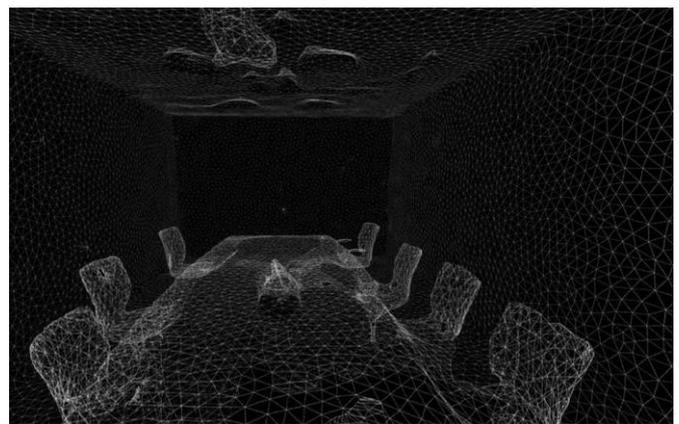
人、机、环境的有效交互：SLAM+传感器+AI 用于理解环境、理解使用者、实现虚拟信息和现实世界的结合。为了实现虚拟信息和真实场景的叠加，需要实现使用者的空间定位追踪和虚拟物体在真实空间中定位。除此之外，为了将虚拟信息与输入的现实场景无缝结合在一起，增强 AR 使用者的体验，还需要考虑虚拟事物与真实事物之间的遮挡关系以及实现几何一致、模型真实、光照一致和色调一致。从上世纪 80 年代发展到现在，SLAM 传感器、算法、技术框架等持续改进，是实现自我姿态评价以及虚拟图像反馈，构建人与虚拟内容的有效交互的主要手段。

图表35： 使用定位技术已确定虚拟图像在现实环境中的相对位置



资料来源：微软官网，华泰研究

图表36： SLAM 技术用于绘制三维地图



资料来源：微软官网，华泰研究

其他：能耗、适应性、体积重量。一般来说，一款比较成熟的 AR 产品还需要满足其他要求，包括-40°~80°的温度适应区间、5000 多小时的整体使用寿命，合适的配重，300g 左右的重量等等要求，这些要求也会对微显示系统、电池、光学模组等其他零部件的选择提出约束。

微显示技术： MicroLED 有望成为 AR 主流

当前已提出的微显示技术包括 OLED（有机发光二极管）/ LCoS（硅基液晶）/ DLP（数字光处理）/ LBS（激光束扫描仪）等，但这些技术均无法兼顾成熟性、性能、成本等指标。MicroLED 是业内公认的 AR 显示最佳解决方案，但存在技术尚不成熟、量产难度大等问题，真正大面积商用可能要到 2025 年左右。

图表37： 微显示技术一览

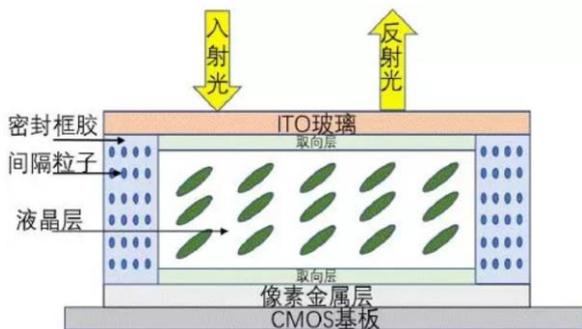
	LCoS	DLP	硅基OLED	OLED	LBS	MicroLED
响应时间	ms (毫秒)	us (微秒)	us (微秒)	ms (毫秒)	ns (纳秒)	ns (纳秒)
对比度	1000: 1	2500: 1	100000: 1	10000: 1	2000: 1?	>100000:1
亮度	>5000nits	高	1,500nit	1,500nit	1,000,000nit	10,000,000nit (单色) 100,000 (全彩)
光源	外部光源	外部光源	自发光	自发光	外部光源	自发光
结构/体积	复杂/大	复杂/大	简单/小	简单/小	中等	简单/小
工作温度	低温下失效	-40° -105°	-30° -70°	-30° -70°	较宽	-100° -120°
功耗	高	中等	低	低	低	低
寿命	10万小时	10万小时	<1万小时	>2万小时	10万小时	>10万小时
搭配方案	光波导	光波导	曲面镜	曲面镜	光波导	光波导
主要厂商	豪威等	德州仪器	索尼、合肥视涯、eMagin、创视界光电	京东方、华星光电、维信诺、深天马	意法半导体等	三星等
产品举例	 Magic Leap One (LCoS + 衍射光波导)	 Vuzix (DLP + 衍射光波导)	 Apple MR?	 Nreal (OLED + Birdbath)	 Microsoft (LBS + 全息光波导)	 Xiaomi (MicroLED单色 + 光波导)

资料来源：MicroDisplay，华泰研究

LCoS —— 限制较多，逐渐淡出

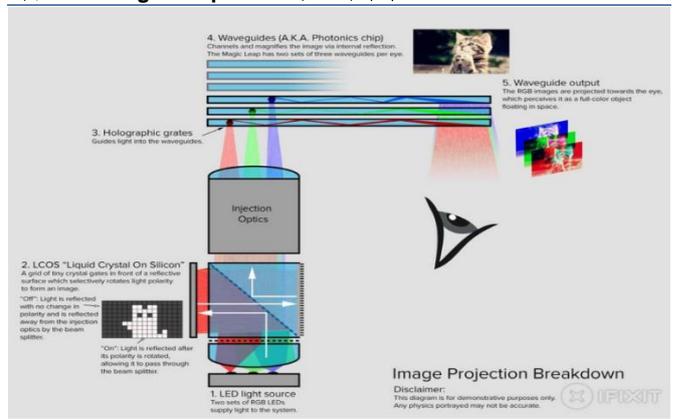
LCoS 作为微显示技术存在比较明显的限制，逐渐淡出微显示领域。LCoS 的优势在于技术成熟，成本低廉，像素密度高且功耗低，在早期的 AR 设备中应用较多，如灵犀微光灵犀 AR(LCoS+几何光波导)，Magic Leap One (LCoS+衍射光波导)。但劣势也相对明显，如对比度较低，特别是在大入射角情况下；由于必须和 PBS 配合使用而限制了整体光机的小型化和轻量化进程（目前较小的 digilens 的 LCoS 光机体积为 2.5 立方厘米）；低温状态下无法工作，环境适应性较差等。因此，大量厂商都在积极寻求使用 LBS/DLP 等方案代替 LCoS，2018 年以后搭载 LCoS 的新机型逐渐淡出。

图表38： LCoS 剖面结构图



资料来源：东南大学，南京芯视元电子有限公司官网，华泰研究

图表39： Magic Leap LCoS 原理图拆解



资料来源：iFixit，华泰研究

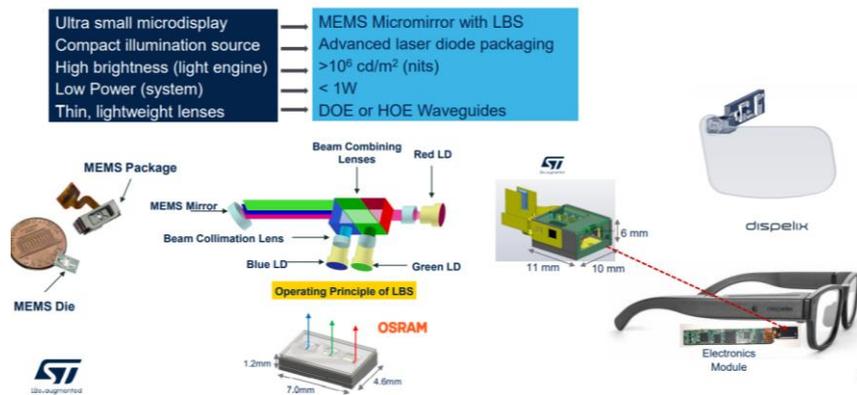
硅基 OLED —— 亮度较低，目前难以应用于户外 AR 场景

硅基 OLED 的缺点也比较明确，应用局限于 VR 及类似设备。目前市场上主流的硅基 OLED 产品亮度均小于 3000nits，与 10 万 nits 的要求相去甚远，难以应用于户外 AR 场景。同时，由于产品的生产工艺更加复杂，其价格比 LCoS 贵 50% 以上，但使用寿命在高亮度模式下将低于 3000 小时且极有可能出现烧屏的情况，整体性价比更低。因此，虽已有部分 AR 厂商使用硅基 OLED 替代 LCoS，但其仍不是 AR 像源的最佳解决方案。

LBS —— 激光二极管对温度敏感、分辨率较差

与 LCoS 等其他显示技术相比，LBS 技术优势明显。LBS 系统主要由激光、光学器件和 MEMS Mirror 组成由于 LBS 使用激光光源进行逐像素渲染，相较其他非激光、逐帧渲染方案天然具有延迟低（激光纳秒 vs 普通光源毫秒）、画面滞留时间短、亮度高、能耗低、色彩丰富的优势。此外，为获得更大的视场角和更高的解析度，其他技术必须增加微镜的数量并放大产品尺寸，而 LBS 方案仅通过改变 MEMS 微镜的振动频率和反转角度即可实现，因而更易实现光机的轻量化和小型化。（目前 LBS 光机体积大致在 0.5-1.5 立方厘米）。

图表40： LBS 工作原理



资料来源：意法半导体官网，华泰研究

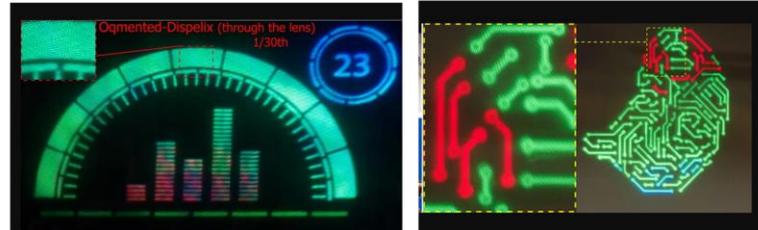
对 LBS 技术可能的限制来自于较低的分辨率和画像质量。当前主流的 LBS 产品分辨率约 720P，提高分辨率可能需要较高的成本。AR 硬件/软件企业 Rave 首席科学家 Karl Guttag 将搭载 LBS 光机的 HoloLens 2 代和搭载 LCoS 光机的 HoloLens 1 代进行对比测试后发现，虽然 HoloLens 2 的垂直视场角较 1 代提升近一倍（30 度 vs 17.5 度），但其在分辨率、色彩均匀性等方面的表现均更差。此外，HoloLens 2 实拍图色彩饱和度更低，观感模糊，雾度也更大。

图表41： 目前已有的采用 LBS 光机的部分 AR 眼镜画像质量不佳

Hololens2代（采用LBS光机）相较1代（采用LCoS光机）色彩饱和度低、雾度大



Oqmented演示的AR眼镜成像有交叉纹和点状图案 Dispelix演示的AR眼镜成像质量/清晰度仍较差

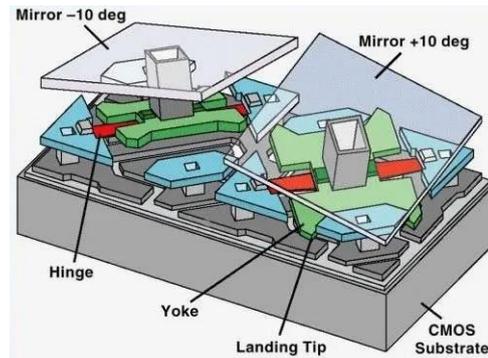


资料来源：Karl Guttag，华泰研究

DLP —— 对温度敏感，难以小型化

DLP 由于成本高、体积大等缺陷，在 AR 场景中的应用有一定限制。DLP (Digital Light Processing) 系统的核心是 TI 专利的 DMD 芯片 (Digital Micromirror Device)，它由数百万个高反射的铝制独立微型镜片组成，每个镜片通过数量庞大的超小型数字光开关控制角度。这些开关可以接受电子讯号代表的资料字节，然后产生光学字节输出，将输入 DMD 的视频或图形信号转换成高清晰度的、高灰度等级的图像。DLP 由于以镜片为基础，提高了光通效率，因此 DLP 投影系统比所有其他显示系统具有更强的亮度。然而，由于其设计难度大、结构复杂、生产成本低、体积大等劣势，目前在 AR、HUD 等设备中应用并不普及。

图表42: DMD 芯片原理

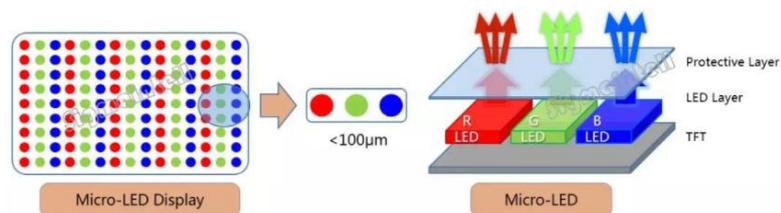


资料来源: TI 官网, 华泰研究

MicroLED —— 仍处在早期阶段，较多技术问题需要解决

MicroLED 产品性能绝佳，是业内公认的 AR 显示最佳解决方案。Micro LED 即 LED 微缩技术，通过将传统 LED 阵列化、微缩化后定址巨量转移到电路基板上形成超小间距 LED，可将毫米级别的 LED 长度进一步缩小到微米级 (50um 左右，原本 LED 的 1%)。相较其它技术，MicroLED 产品性能在亮度、对比度、工作温度范围、刷新率、分辨率、色域、功耗、延时、体积、寿命等多方面具备较大优势，被期望为下一代主流显示技术的重要路径。

图表43: MicroLED 工作原理



资料来源: MicroDisplay, 华泰研究

MicroLED 的发展瓶颈在于微米级的像素尺寸和间距给量产和全彩方案所带来的巨大挑战。MicroLED 的生产包括芯片和背板制造、巨量转移、接合、驱动和检测维修等环节，由于其晶粒尺寸在微米级，生产单个成品即需要处理数百万甚至数千万晶粒，对技术的效率和良率提出了极为严苛的要求，现有技术水平还无法满足其量产需求。而 MicroLED 晶粒的发光效率、波长一致性和良率也尚未达到 MicroLED 彩色化显示的要求。基于此，现有 MicroLED 屏幕价格高昂，单片售价即大于 1000 美金。2018 年三星演示的采用 microLED 技术的 The Wall 电视，146 寸版报价高于 10 万美元。

光学模组：从几何光学到纳米光学

与 VR 的不同之处在于，AR 眼镜需要透视 (see-through)，既要看到真实的外部世界，也要看到虚拟信息，所以成像系统不能挡在实现前方，这就需要多加一个或一组光学组合，通过层叠的方式，将虚拟信息和真实场景融为一体，设计包括自由曲面，光波导等。

生产方式从几何光学到纳米光学。传统的光学透镜加工方式为切割/注塑/涂层/抛光等等，但随着光波导等光学模组的复杂化，传统加工工艺带来了生产流程复杂、良率低等问题，国内外包括 Digilens, WaveOptics, 至格科技, 珑璟光电等厂家开始探索纳米压印、紫外光加工等加工方案。

图表44：AR 光学模组梳理

	几何光学					衍射光学		
	共轴棱镜	自由曲面棱镜	自由曲面反射镜	BirdBath	几何/阵列光波导	浮雕光栅波导	布拉格光栅波导	光场技术
主流厂家	/	/	/	/	Lumus	Digilens/ WaveOptics/至格 科技	Digilens/ Sony/ Akonia/珑璟光电	/
批量生产工艺	注塑/涂层	注塑/涂层	注塑/涂层	注塑/涂层	切割/涂层/抛光	纳米压印	曝光	/
入射光栅	/	/	/	/	几何光栅	表面浮雕光栅	紫外光热加工下折 射率改变的光敏玻 璃	/
出射光栅	/	/	/	/	几何光栅	表面浮雕光栅	紫外光热加工下折 射率改变的光敏玻 璃	/
体积	大	大	大	中等	中等	中等	中等	/
效率	/	<50%	<50%	<25%	<20%	<10%	<10%	/
FOV	15-20°	70°	90°	50°	55°	50°	50°	/
厚度	>10mm	>8mm	>8mm	>8mm	超薄	超薄	超薄	/
眼动范围Eyebox	小	4mm x 6mm	4mm x 6mm	4mm x 6mm	10mm x 5mm	17mm x 14mm	13mm x 12mm	/
色彩均匀性	良好	良好	良好	良好	良好	需要补偿	需要补偿	/
优点	成本低	塑料成型，一体化视场角大，成本低，设计简单	设计简单	光学结构相对简单	镜片足够轻薄，色彩显示效果好	相对轻薄，实现了二维瞳扩	相对轻薄，实现了二维瞳扩	非双目时差原理产生立体图像，长期佩戴无疲劳感和眩晕感
缺点	厚度大，显示面积小，亮度不足，图像存在畸变	视场角越大，棱镜厚度越大	体积笨重，视场角大小取决于光源大小	光能利用率低，真实场景暗淡	受制于工艺精度和良率，一维瞳扩	光栅原理可能导致色散，RGB分色显示可能造成彩虹效应	还在研发完善阶段	受像源等制造工艺影响；需要计算量较大
示意图								
代表产品	 Google glass	 爱普生BT-300	 Mira Prism	 Nreal Light	 Lumus	 Magic Leap One	 Hololens 2	/

资料来源：Rokid官网，中国光学《增强现实技术综述》2021年6月，华泰研究

自由曲面解决方案：自由曲面棱镜/反射镜，BirdBath

三种方案微显示器的光线来源都来自于眼睛上方（如上图）：

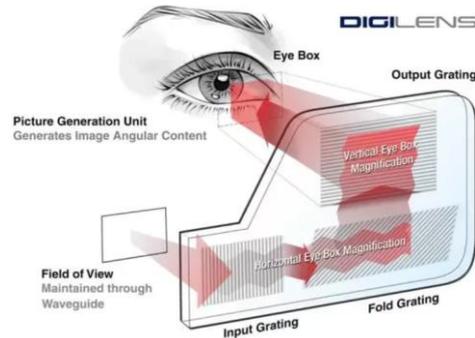
- 1) **BirdBath 方案**：分光镜同时反射和投射光线，使用户在看清现实世界的物理景象时，也可看到微显示器生成的数字影像。位于分光镜一侧的凹面镜用来反射光线，将光重新导向眼睛。采用 Birdbath 结构的 AR 眼镜通常体积较大，视场角中等（50°左右）。由于分光镜为半透半反镜，光线经过分光镜时被多次反射，每次反射都会产生 50% 的光损，因此能量损失严重。
- 2) **自由曲面反射镜**：仅使用一个曲面反射镜收集来自于微显示器和现实世界的光线。采用自由曲面反射镜结构的 AR 眼镜也具有较大体积，可实现的视场角为 50°~100°，但视场角大小取决于光源大小。由于光线仅被反射一次，自由曲面反射镜结构的光损明显降低。
- 3) **自由曲面棱镜**：巧妙地将两个折射面，一个全内反射面和一个部分反射面合并到一个元件中，增加了结构的自由度。此种结构可以增大视场角，同时提高成像质量，但光学元件的厚度较大，通常需要一个校正棱镜来消除环境光从自由曲面棱镜的折射。

光波导技术解决方案：几何/阵列光波导，浮雕光栅光波导，布拉格光栅光波导

光波导技术是应 AR 需求而生的一个比较有特色的光学组件。因它的轻薄与外界光线的高穿透特性而被认为是消费级 AR 眼镜的必选光学方案。

AR 眼镜中光的传输关键在于“全反射”。其实，波导技术并不是新发明，光纤就是波导的一种，只不过传输的是我们看不见的红外波段的光。光机完成成像过程后，波导将光耦合进自己的玻璃基底中，通过“全反射”原理将光传输到眼睛前方再释放出来，就完成了图像的传输。

图表45：光波导技术 AR 眼镜结构示意图



资料来源：OPPO 官网，华泰研究

对视角角的需求对玻璃基底材料提出要求。越是大的视角角，就需要越高折射率的玻璃基底来实现。因此传统玻璃制造商比如康宁(GLW US)和肖特(Schott, 未上市)，近年来都在为近眼显示市场研制专门的高折射率并且轻薄的玻璃基底，还在努力不断增大晶元尺寸以降低波导生产的单位成本。

具体来看，当前光波导技术可以分为下面三种：

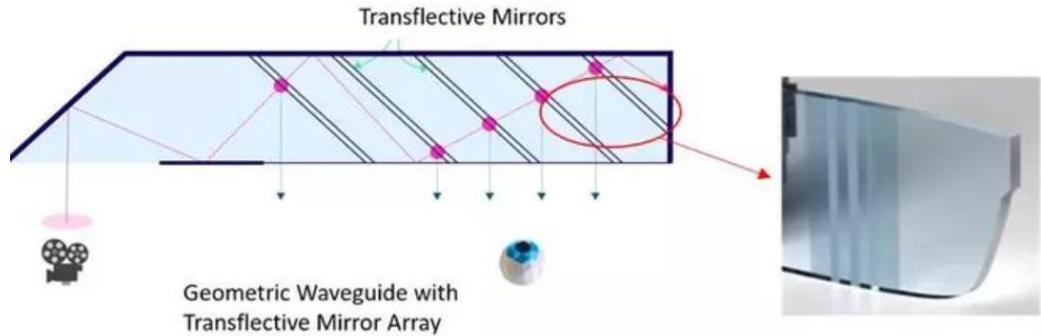
- 1) **几何/阵列光波导。**该概念和专利一直由以色列公司 Lumus 提出并持续优化迭代，基本原理是耦合光进入波导的一般是一个反射面或者棱镜。在多轮全反射后光到达眼镜前方时，会遇到一个“半透半反”镜面阵列，将光耦合出波导。

几何/阵列光波导目前大都只能实现一维扩瞳。这里的“半透半反”镜面阵列相当于将出瞳沿水平方向复制了多份，每一个出瞳都输出相同的图像，这样眼睛在横向移动时都能看到图像，这就是一维扩瞳技术(1D EPE)。

几何/阵列光波导工艺流程复杂，良率提升难度极大。“半透半反”镜面阵列的镀膜工艺中，由于光在传播过程中会越来越少，阵列中这五六个镜面的每一个都需要不同的反射透射比(R/T)，以保证整个动眼框范围内的出光量是均匀的。并且由于几何波导传播的光通常是偏振的，每个镜面的镀膜层数可能达到十几甚至几十层。

这些镜面是镀膜后层层摞在一起并用特殊的胶水粘合，然后按照一个角度切割出波导的形状，这个过程中镜面之间的平行度和切割的角度都会影响到成像质量。因此，即使每一步工艺都可以达到高良率，这几十步结合起来的总良率却是一个挑战。每一步工艺的失败都可能导致成像出现瑕疵，常见的有背景黑色条纹、出光亮度不均匀、鬼影等。

图表46：几何/列阵光波导

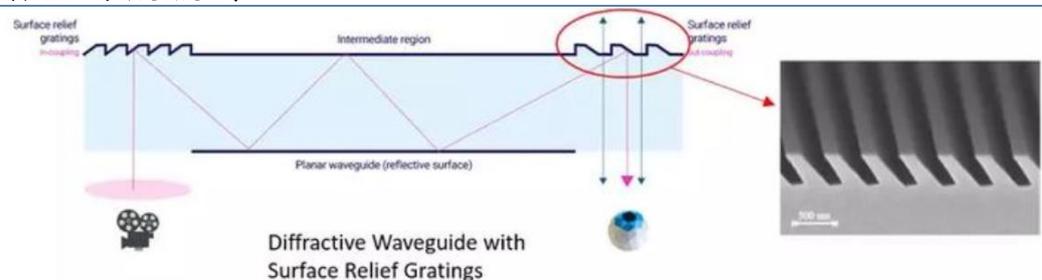


资料来源：Rokid 官网，华泰研究

- 2) **浮雕光栅衍射光波导**。传统的光学结构被平面的衍射光栅取代，通过材料表面浮雕出来的高峰和低谷，在材料中形成了一个折射率的周期性变化。通过设计光栅的参数(材料折射率、光栅形状、厚度、占空比等)可以将某一衍射级(即某一方向)的衍射效率优化到最高，从而使大部分光在衍射后主要沿这一方向传播。

用衍射光栅可以实现二维扩瞳，**digilens** 和 **WaveOptics** 分别具有两种技术方案。**Hololens I**, **Vuzix Blade**, **Magic Leap One**, **Digilens** 等使用的方法是，当入射光栅将光耦合入波导后，会进入一个转折光栅的区域，这个区域内的光栅沟壑方向与入射光栅呈一定角度，那么它就像一个镜子一样将 X 方向打来的光反射一下变成沿 Y 方向传播。另外一种实现二维扩瞳的方式是直接使用二维光栅，即光栅在至少两个方向上都有周期，将单向“沟壑”变为柱状阵列。**WaveOptics** 就是采用的这种结构，从入射光栅耦合进波导的光直接进入一个具有二维柱状阵列发区域，可以同时光线在 X 和 Y 两个方向实现扩束，并且一边传播一边将一部分光耦合出来进入人眼。

图表47：浮雕光栅光波导

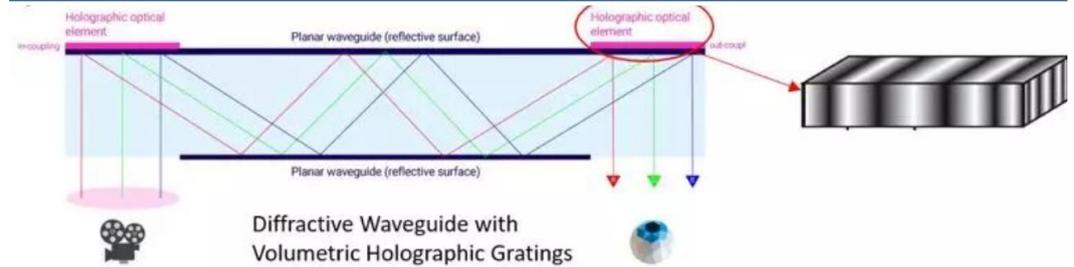


资料来源：Rokid 官网，华泰研究

- 3) **布拉格光栅衍射光波导(也叫全息光栅光波导)**。利用光全息术在记录材料薄膜上记录点光源的干涉条纹，再经过处理制成光栅条纹结构的薄膜光学元件，具有光束准直、聚焦、偏转等功能。其对光的衍射符合布拉格定律，只有满足布拉格条件的入射光才会被衍射，不满足布拉格条件的入射光不被衍射。目前在做全息体光栅(VHG)波导方案的厂家比较少，包括十年前就为美国军工做 AR 头盔的 **Digilens**，曾经出过单色 AR 眼镜的 **Sony**，还有由于被苹果收购的 **Akonia**。

优点显著，探索持续进行。这种技术具有体积小，重量轻，且可同时记录多个全息图等优点，使它能够替代许多传统的光学元件，如棱镜、立方体分束器和光栅等，进一步减小 AR 头戴式显示器体积。由于体光栅由于受到可利用材料的限制，能够实现的折射率差有限，导致它目前在 FOV、光效率、清晰度等方面都还未达到与表面浮雕光栅同等的水平。但是由于它在设计壁垒、工艺难度和制造成本上都有一定优势，业内对这个方向的探索从未停歇。

图表48：布拉格光栅波导



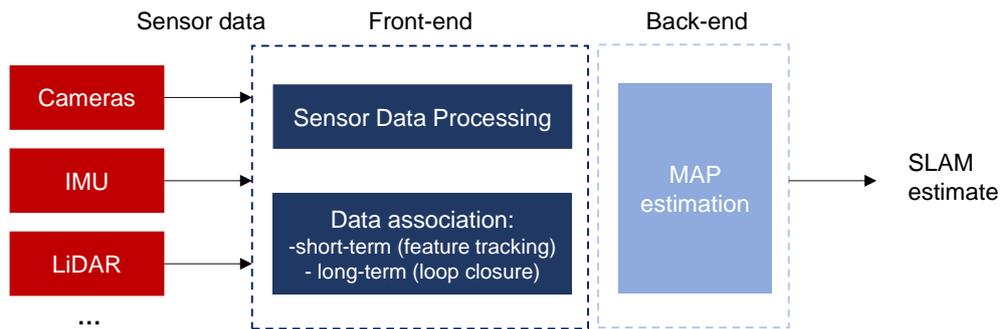
资料来源：Rokid 官网，华泰研究

SLAM：理解环境与使用者，实现虚拟信息和现实世界的结合

SLAM (Simultaneous Localization and Mapping)，同步定位与地图构建，指在运动过程中通过重复观测到的环境特征定位自身位置和姿态，再根据自身位置构建周围环境的增量式地图，从而达到同时定位和地图构建的目的。

现代流行的 SLAM 系统大概可以分为前端和后端。前端通过传感器实现数据关联，研究帧与帧之间变换关系，主要完成实时的位姿跟踪，对输入的图像进行处理，计算姿态变化。后端主要对前端的输出结果进行优化，得到最优的位姿估计和地图。

图表49：SLAM 示意图



资料来源：华泰研究

SLAM 传感器、算法、技术框架等持续改进，实现自我姿态评价以及虚拟图像反馈，构建人与虚拟内容的有效交互。从上世纪 80 年代发展到显现，配合 SLAM 算法的传感器出现了视觉（单目、双目、RGBD、ToF 等各种相机），惯性/磁性（IMU 等传感器），以及声呐，2D/3D 激光雷达等一系列解决方案。SLAM 算法也从开始的基于滤波器的方法（EKF、PF 等）向基于优化的方法转变，技术框架也从开始的单一线程向多线程演进。

SLAM 在 ARVR 中有较多应用，AR 中主要是 1) 现实物体与虚拟物体的有效交互，2) 实现语义理解，优化智能辅助功能：

实现虚拟世界和现实世界之间坐标叠加、实现几何物理信息交互。与电脑、平板、手机的 3D 显示不同，AR 更注重虚拟信息与真实信息的无缝融合，即图像出现的平面位置与景深准确、带来沉浸感的良好体验。这就需要利用 SLAM 算法，准确叠加虚拟坐标系和真实坐标系。同时，真实环境中高低起伏、有障碍物、有遮挡关系，AR 可以让虚拟信息跟这些真实环境中的物理信息进行交互。

图表50： 通过叠加虚拟坐标系（海豚）与真实坐标系（街道），实现海豚在虚空中游弋的效果



资料来源：太虚 AR 官网，华泰研究

实现语义理解，优化智能辅助功能。随着机器学习和深度学习的发展，虚拟信息可以“理解”真实世界，让二者的融合更趋于自然。当前计算机已经可以已经可以认出图片上的内容，但没有理解内容之间的关系，当前的一项研究方向是，应用 SLAM+AI 技术，通过特征提取，实现机器的语义理解，优化 AR 系统的辅助功能。

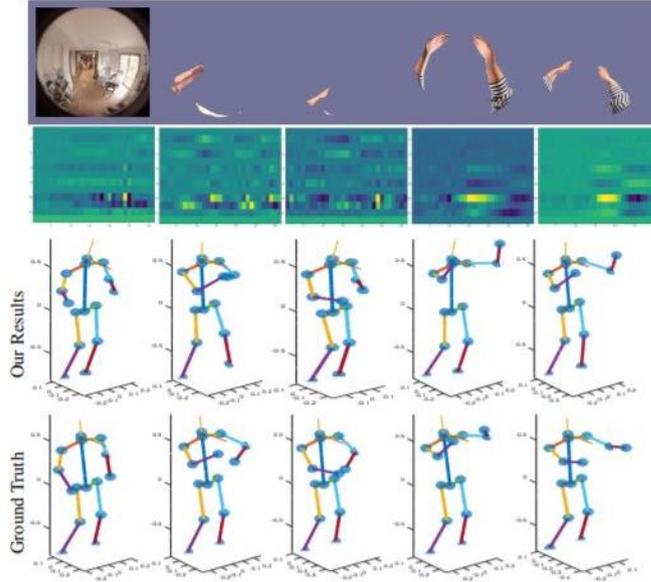
图表51： 通过叠加虚拟坐标系（海豚）与真实坐标系（街道），实现海豚在虚空中游弋的效果



资料来源：太虚 AR 官网，华泰研究

VR：从摄像头 SLAM 获得的动态运动信息和偶尔可见的身体部位进行全身姿态定位。Meta Reality Labs Research 在 2021 年 4 月发表的一篇名为《Egocentric Pose Estimation from Human Vision Span》的论文中，提出了一个根据能够利用摄像头 SLAM 的动态特征和身形图像的深度学习系统。通过计算三维头部姿态、人物背景分离，同时显示执行姿态属性之间的特定几何一致性，无论用户是否在摄像头视场中可见，系统都能给出稳健的自我姿态估计。

图表52: SLAM 动态特征+身形图像深度学习, 实现全身姿态捕捉新方案



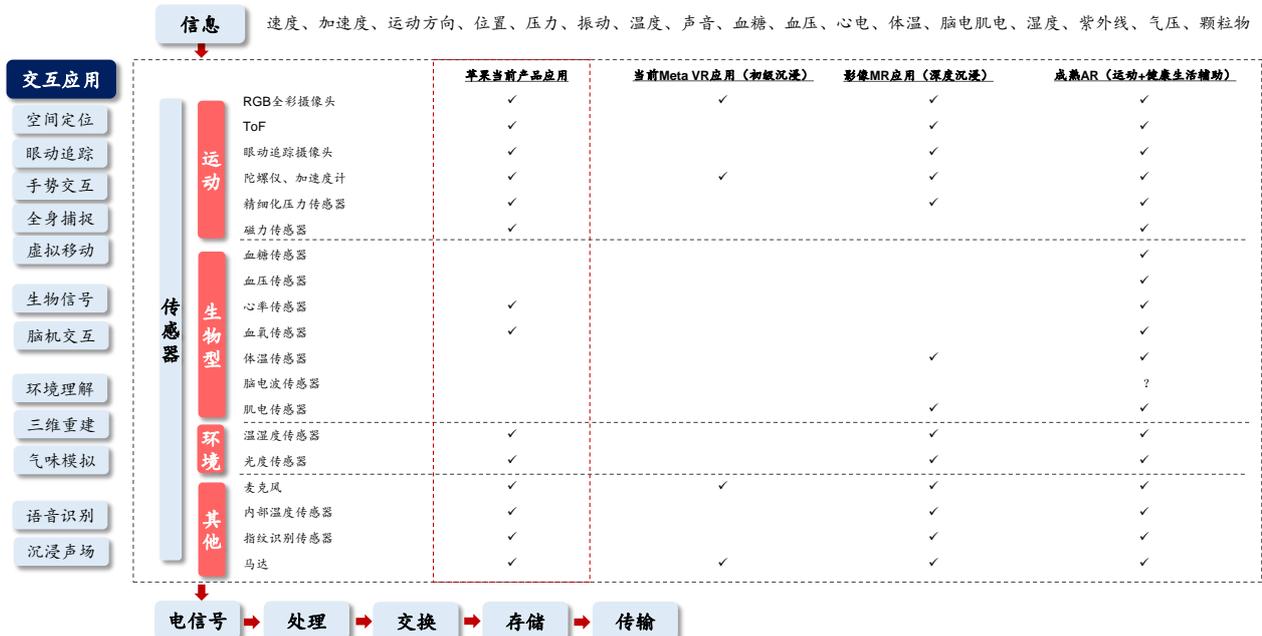
资料来源: 映维网, 华泰研究

传感器: 交互方式与应用场景升级推动传感器升级

AR 中交互方式的升级, 带来更多样信息需求。随着人机交互由 2D 走向 3D, 交互方式逐渐多样化, 向人类本能发展, 手势交互、姿势交互、眼动交互、语音交互, 甚至结合生物信号、周围环境交互的方式不断进化, 这对更多种类的信息提出了要求, 用户运动类、生物类信息, 以及其他环境信息都将为人机交互提供底层支持。

大量信息需求为运动类、生物类、环境类各型传感器提供增量机会。当前苹果手机、手表广泛运用多种运动、生物型传感器, 与之对比, VR 爆款产品 Oculus quest 2 头显仅搭载了 4 颗黑白摄像头, 手柄配备了两组陀螺仪+加速度计传感器。未来, 为实现更深度沉浸和更便捷交互, 测距摄像头、眼动追踪摄像头、精细化压力传感器, 甚至生物型、环境型传感器, 都将逐渐配备。

图表53: 交互方式持续丰富, 推动多重传感器升级



资料来源: 苹果官网, Meta 官网, 华泰研究

机会 1：追踪模式升级，摄像头种类、数量持续提升。当前主流 VR 设计大都搭载了 4 颗黑白摄像头用于追踪头手 6DoF 移动。未来，为实现眼动追踪和全彩混合现实功能，眼动追踪摄像头、全彩摄像头、ToF 摄像头等都可能将在头显上搭载。正如我们在《[从 Oculus 看 2022 VR 产品发展](#)》(2021/12/16) 提到的，下一代 Meta 头显产品或搭载 7 颗左右摄像头，手柄或各搭载 3 颗摄像头，而苹果的第一代 MR 头显产品也或将搭载超过 10 个摄像头。

机会 2：3D 重建、全身动作捕捉带来更多传感器应用需求。为了在虚拟世界中精确重构现实空间与物品，iToF、双目、dToF、LiDAR、工业三维测量技术等 3D 感知视觉技术应用空间广阔。同时，各类全身动作捕捉技术也都需要传感器的支持。比如通过读取神经肌肉信号和运动惯性信号的动作捕捉装置，需要肌电图 (EMG) 传感器、机械肌图 (MMG) 传感器、超声肌图 (SMG) 传感器以及加速计、陀螺仪、磁强计、振动传感器配合工作；而红外追踪等装置也需要配备红外光、无线电磁发射和接收器的支持。

机会 3：视觉、听觉、触觉、温觉多重沉浸为传感器打开想象空间。为了提供更具有临场感的沉浸式体验，视觉、听觉、触觉、温觉等对传感器提出了不同要求。比如沉浸声场要求音频跟随着场景变化和人的运动进行切换，精细化触觉手套要求能够读取人手部动作与压力，并根据虚拟场景进行反馈。每一类沉浸式模拟都对传感器和对应的执行器打开了想象空间，也提出了全新要求。

机会 4：“元宇宙+健康”为生物型传感器带来机会。Meta 等在游戏、社交、办公之外，同样为消费者规划了“健康+健身”相关应用。参考 Apple Watch，为实现血氧、心率甚至血糖的非侵入式测量，需要搭载各类 LED、晶体电极、光电二极管传感器。我们认为未来随着“健康+健身”类应用的发展和人们各类生物信息，如血压、心率、体温在内容加工中的应用，生物型传感器也将迎来成长机会。

图表 54：应用场景拓展为传感器带来的增量机会



资料来源：Meta、苹果官网，华泰研究

脑机接口：我们离科幻电影还有多远？

对于大多数人来说，最早接触脑机接口概念是从科幻电影中。不管是《X-战警》中博士的意念控物，还是《黑客帝国》中锡安人通过接口与电脑相连，迅速学会各种各样的知识和技能，并进入 Matrix 的虚拟世界中，再或是《沙丘》中人们通过脑科学的探索，不断开发大脑潜能，通过训练的领航员的大脑能够媲美大型计算机，这些情节都让人印象深刻，也是科学家不断探索的方向。

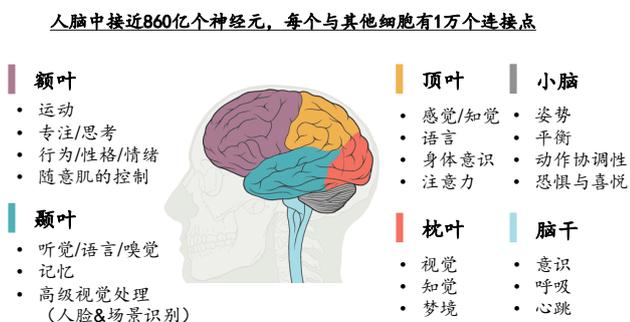
人脑的潜能：一台超级计算机？

使用电子计算机对人脑进行模拟需要 **172PFlops 计算量**。人的大脑有接近 860 亿个神经元，每个神经元有 1 万个连接点，掌管人类运动、听觉、语言、嗅觉、记忆、思考、性格、情绪等功能。根据我们估算，如果想要以计算机来模拟人脑的活动需要 172PFlops（对应神威太湖之光 93PFlops，美国 Summit 超算 122.3PFlops）。人脑的潜能或能够达到一台超级计算机的运算能力。

脑机接口或支持人脑潜力持续开发。马斯克提出的一个经典论述是“人类不能被 AI 淘汰，要与 AI 融合，在大脑和电脑之间创建一个接口”。随着我们对脑科学的不断认识和脑机接口技术下对人类肢体限制的不断突破，人脑的潜能或得到释放。

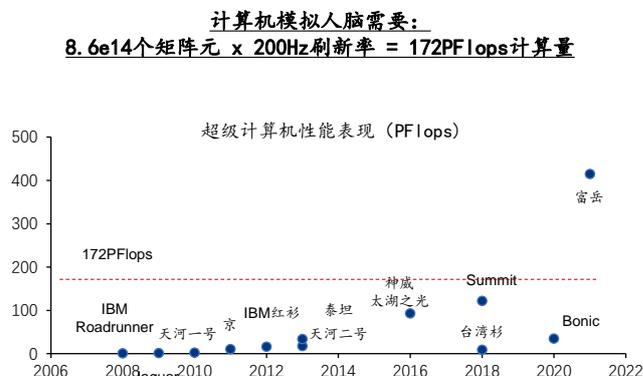
被称作“脑机接口之父”的尼可莱利斯教授在其《脑机穿越》一书中提到，在脑机接口的帮助下，思想或能转化为有形的动作、印象或情感，人可以用思想操控电脑、驾驶汽车、与他人进行交流，可以完美的转化为纳米工具的精细化操作，或者是应用了尖端科技的机器人的复杂动作。不用动手输入一个字，也不用动口说一个词就可以与人进行交流，即使足不出户，也能体验到触摸遥远星球表面的感觉。

图表55：人脑 860 亿神经元支撑各类生理功能



资料来源：《经济学人》2018 年 1 月 04 刊，华泰研究

图表56：以计算机模拟人脑或需要 172PFlops 计算量



资料来源：各超算官网，华泰研究

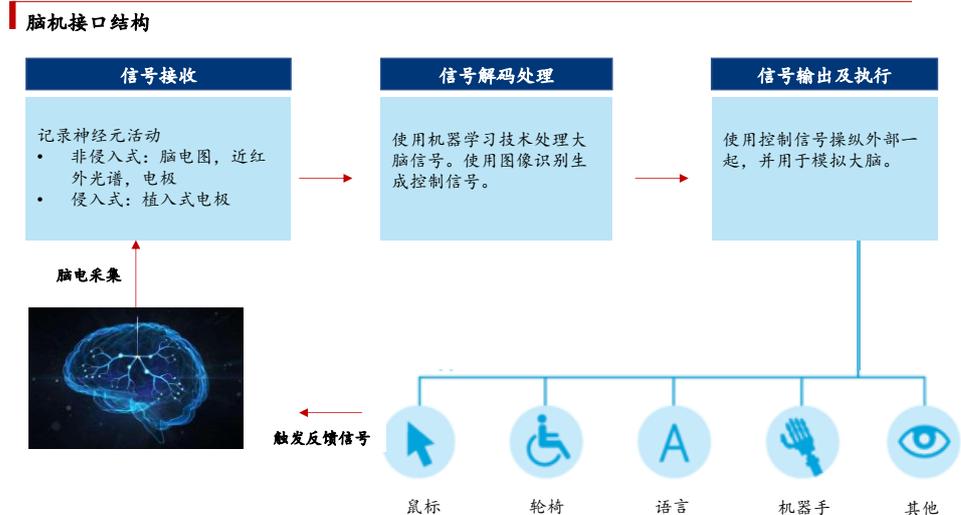
脑机接口 (Brain-Machine Interface)：我们该如何定义？

脑机接口 (Brain Computer Interface, BCI) 1976 年由加州大学洛杉矶分校的雅克·维达尔 (Jacques J. Vidal) 提出。一个完整的脑机接口过程包括信号采集、信息解码处理、信号输出/执行、反馈四个步骤实现。

脑机接口可以通过电、磁、光、声进行信号采集与反馈，而脑电技术是目前主流探索方向。事实上采集中枢神经信号以监测大脑活动的方法有很多种，包括脑电、功能近红外光谱 (functional near-infrared spectroscopy, fNIRS)、功能磁共振成像 (functional magnetic resonance imaging, fMRI) 等，反馈技术也同样包括电、磁、声、光多种。在这些监测技术中，脑电因为时间分辨率高、设备价格低廉且便携等优点，逐渐成为脑机接口研究最主流的探索方向。

- 1) **脑电采集:** 脑电采集是 BCI 的关键步骤, 采集的效果、信号强弱、稳定性及带宽大小直接决定后续的处理及输出。由于大脑的中枢神经元膜电位的变化会产生锋电位 (spikes), 或动作电位 (action potentials), 并且神经细胞突触间传递的离子移动会形成场电位 (field potentials), 通过在大脑皮质的运动神经位置外接或植入微型电极, 可以采集并放大这些神经生理信号。
- 2) **信号解码处理:** 信号处理是将转化为电信号的大脑活动, 去除干扰电波以及其他信号, 并将目标分类并处理, 转化为可以执行输出的对应信号。
- 3) **信号输出及执行:** 信号输出指将收集并处理后的脑电波信号传输至已连接的设备器材, 作为数据基础加工内容, 或反馈到终端机器以形成指令, 甚至实现直接交互。
- 4) **反馈:** 在信号执行后, 设备将产生动作或显示内容, 参与者将通过视觉、触觉或听觉感受到第一步产生的脑电波已被执行, 并触发反馈信号。

图表57: 脑机接口的机构



资料来源: 经济学家, 华泰研究

根据脑电的采集方式, 当前的脑机接口又可以分为侵入式、非侵入式

非侵入式更多用于消费端的脑电监测。非侵入式是在人/动物大脑外部佩戴脑机接口设备, 通过采集脑电、神经电获取脑部信息, 但信息精度及分辨率较低, 可用于简单的信号判断与反馈, 但较难传达复杂指令, 如帮助肢体残障人士通过意念操控机械骨骼, 或用于 VR/AR 游戏应用的基础手势控制。非侵入式根据收集信息的不同可以分为 EEG (收集脑电) 和 MEG (收集磁场) 两种。

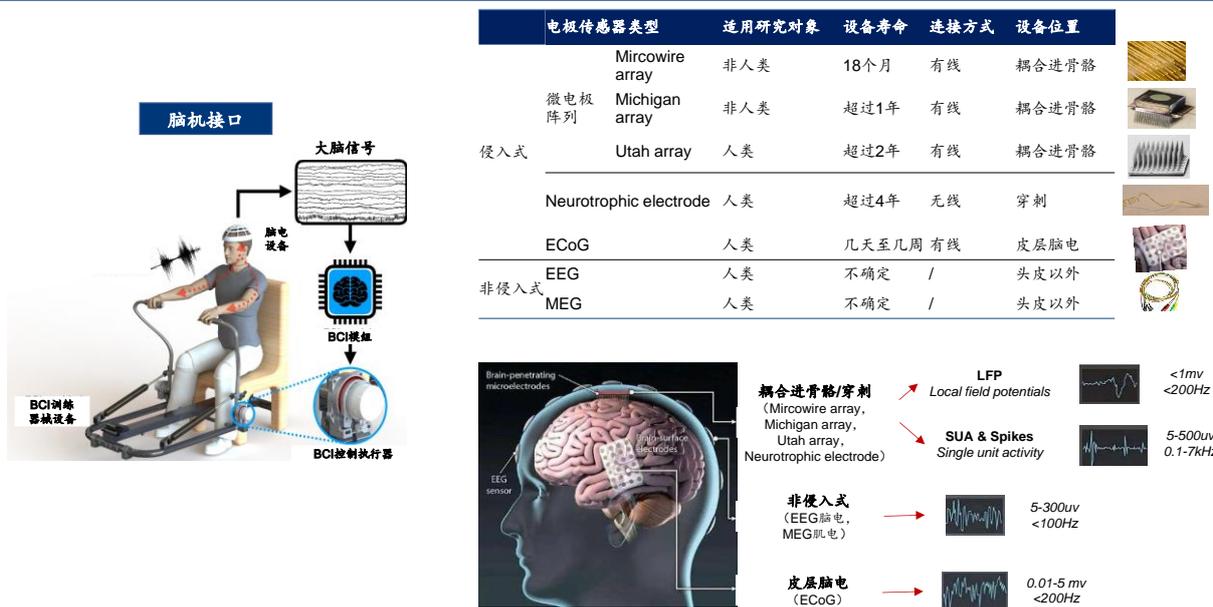
- 1) **EEG:** 通过导电凝胶将 Ag/AgCl 电极固定在头皮上, 以测量头皮脑电信号, 但一般只能监测到 0-50Hz 相对较窄频带中的信息。
- 2) **MEG:** 通过测量细胞内离子电流引起的小磁场获得信号, 但由于高昂的成本和操作方法的繁琐 (电磁封锁环境, 保持绝对静止), MEG 并不是一个理想的解决方案。

侵入式脑机接口主要应用于医疗康复领域。侵入式将设备直接植入到人/动物大脑灰质或颅腔内，能够获取相对高频、准确的神经信号，不仅能够通过读取脑电信号来控制外部设备，还能够通过精确的电流刺激让大脑产生特定感觉。侵入式脑机接口可以分为 ECoG、LFP、SUA 等类型。

- 1) **ECoG**: 测量大脑皮层电位，与 EEG 技术相似，但能够监测到更大带宽的信息；
- 2) **LFP、SUA**: 测量大脑皮层场电位与锋电位，可以通过 Mircowire array, Michigan array, Utah array, Neurotrophic electrode 等多种传感器实现。

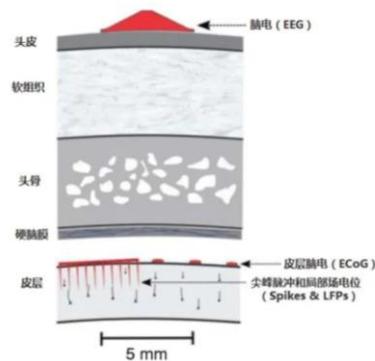
侵入式采取电信号的方法，具有较高的空间分辨率、良好的信噪比和更宽的频带，但目前仍然面临着有创带来的安全问题、难以获得长期稳定的记录、需要医护人员长时间连续的观察等问题，目前应用仍局限于医疗康复领域。

图表58: 脑电型脑机接口按电极分类方式



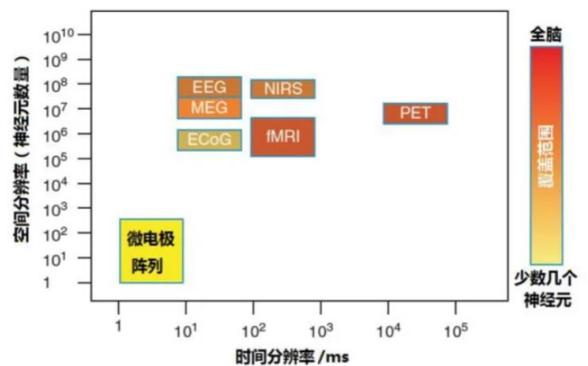
资料来源: Brain-computer interfaces for speech communication, Jonathan S. Brumberg, Alfonso Nieto-Castanon, et al., 2010 年 1 月, 华泰研究

图表59: EEG、ECoG、LFP&SUA 脑电采集位置剖面



资料来源: 《脑机接口技术在医疗健康领域应用白皮书 (2021 年)》, 华泰研究

图表60: 不同脑信号采集技术的分辨率



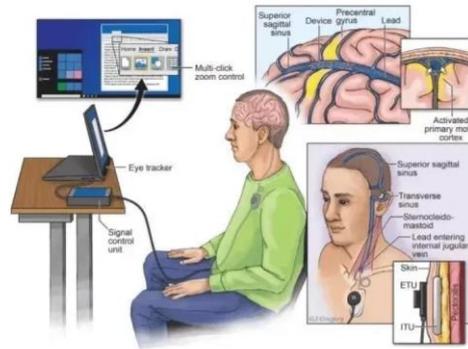
注: NIRS 为功能近红外光谱, fMRI 为功能性磁共振成像, PET 为正电子发射型计算机断层显像

资料来源: 《脑机接口技术在医疗健康领域应用白皮书 (2021 年)》, 华泰研究

侵入式工具也出现了全新不开颅植入方案。2021年8月，来自美国加州伯克利大学的Synchron公司开发的微创脑机接口获得美国食品药品监督管理局(FDA)的人体临床试验批文。其脑机装置微小，可以安全地穿过血管，因此直接利用颈静脉植入BCI，使用导管手术将设备输送到大脑和脊柱中，在两小时无需开颅手术内即可将设备植入了患者大脑内。

由于不需要开颅手术，因此这种传感器可以灵活布置在大脑多个位置，从而捕捉各种类型的信号。与传感器相连的BrainPort接收装置植入病人的胸口，它没有内置电池，而是通过无线的方式进行供电以及数据传输，进一步提升了安全性。通过Synchron研发的BrainOS操作系统，可以将传感器读取到的信号转化为与外界交互的通用信号，从而实现用大脑与外界交流沟通。

图表61：将微小的侵入式脑机接口植入人脑



资料来源：美国 Synchron 公司，华泰研究

应用持续拓展支撑起近千亿美元商用市场

医疗、消费市场应用的持续拓展或支撑起千亿市场规模。随着人们对大脑的认知、电极设计、和人工智能算法的精进，脑机接口领域应用也持续拓展，并向更加精细化发展。脑机接口相关的研发已经在仿生学、医疗诊断与干预、消费电子等多个领域进行持续探索，我们认为相关产品可能将在未来20-30年内陆续商业化，支撑起近千亿美元的市场规模。

图表62：脑机接口或支撑起百亿市场规模

	当前 2022	短期 2030年前	中期 2030-40	长期 2040以后
应用	代替手柄进行游戏操作控制 脑机接口义肢 脑活动、运动的监测	人工视觉辅助（仿生视觉） 助听器（仿生听觉） 深度脑刺激治疗阿尔兹海默、 帕金森等疾病	为瘫痪、不能言语的病患提供直接交流 改善工作场所设计的神经人体工程学	增强感官知觉 增强脑算力（直接与计算芯片连接）

2030-2040年间市场规模估计（美元十亿）

	应用	2030-2040年间市场规模估计（美元十亿）	应用举例
医疗健康	神经仿生学	10-75	仿生视觉、仿生听觉、仿生义肢
	诊断治疗其他疾病	5-10	电、声、磁、光等刺激
消费产品	脑波情绪监测	25-60	脑活动、运动的监测
	消费产品及工具控制	25-40	代替手柄进行游戏控制操作
	宠物	<1	通过脑电解释宠物情绪状态

资料来源：麦肯锡《Bio revolution》2020年5月，华泰研究

二十世纪七十年代到九十年代末，脑机接口技术经历了从概念期到科学论证期的发展。二十世纪七十年代至八十年代，“脑机接口”专业术语出现，1977年 Jacques J. Vidal 开发了基于视觉事件相关电位的脑机接口系统，通过注视同一视觉刺激的不同位置实现了对 4 种控制指令的选择。1980 年德国学者提出了基于皮层慢电位的脑机接口系统。

二十世纪八十年代后，少数先驱研发了实时且可执行的脑机接口系统，并定义了至今仍在使用的几种范式：

- 1) 1988 年 L.A. Farewell 和 E. Donchin 提出了著名且广泛使用的脑机接口范式 P300 拼写器，表明系统有望帮助严重瘫痪患者与环境进行通信和交互。不久后研究人员都开发出基于感觉运动节律的脑机接口系统，该系统可以控制一维光标向使用者反馈运动节律幅度，从而通过训练实现通过想象控制小球向上或向下移动。
- 2) 1990 年左右 Gert Pfurtscheller 开发出另一种基于感觉运动节律的脑机接口，用户必须明确地想象左手或右手运动，并通过机器学习将其转化为计算机命令，这定义了基于运动想象的脑机接口。
- 3) 1992 年 Erich E. Sutter 提出了一种高效的基于视觉诱发电位的脑机接口系统，在该系统中设计了 8x8 拼写器，利用从视觉皮层采集的视觉诱发电位识别用户眼睛注视方向来确定他选择拼写器中的哪一个符号。肌萎缩侧索硬化症患者可以实现 10 个单词/分钟的通信速度。

二十一世纪以来脑机接口技术高速成长，新范式、新算法、新设备层出不穷，早期范式性能明显提高。新型脑机接口实验范式相继涌现，如听觉脑机接口、言语脑机接口、情感脑机接口以及混合脑机接口。先进的脑电信号处理和机器学习算法被应用于脑机接口，如空间模式算法、xDawn 算法等，新型的脑信号获取方法如功能核磁共振成像测量的血氧水平依赖信号以及功能近红外光谱测量的皮层组织血红蛋白浓度等被用于构建非侵入式脑机接口。除此之外，早期开发的基于 P300 和视觉诱发电位的脑机接口性能得到了明显提高，并在初步的临床试验中证明适用于肌萎缩侧索硬化症、脑卒中以及脊髓损伤患者。

近十年脑机接口研究范围和规模持续扩大。规模上看，2018 年第七届国际脑机接口会议聚集了 221 个研究团队。从技术普及方面看，消费级脑电传感器和脑机接口系统问世并进入市场，免费开源的脑机接口软件也不断更新，脑电信号处理算法的性能显著提高，同时提出了脑机接口人因工程，从用户层面（即用户体验、心理状态、用户训练）提高脑机接口的满意度和实用性。目前脑机接口应用已经超过临床医学领域，拓展应用到情绪识别、虚拟现实和游戏等非医学领域，被动脑机接口、协同脑机接口、互适应性脑机接口、认知脑机接口、多人脑-脑接口等众多范式涌现。

应用场景#1：医疗健康领域是脑机接口当前最接近商业化的领域

脑机接口可以帮助实时监控和测量神经系统状态，辅助临床判读。“监测”型脑机接口应用方向十分多样，包括评测陷入深度昏迷患者的意识等级，测量视/听觉障碍患者神经通路状态协助医生定位病因等等。除此之外，通过结合脑电、视频等多元信息进行诊疗，能够辅助医生判读脑损伤、脑发育等多种临床适应症。

监测到的脑电信息可以用于加工、反馈，针对多动症、中风、抑郁症等做对应的恢复训练。例如，对于运动皮层相关部位受损的中风病人，脑机接口可以从受损的皮层区采集信号，然后刺激失能肌肉或控制矫形器，改善手臂运动；运动想象类脑机接口可以用于孤独症儿童的康复训练，提升他们对于感觉运动皮层激活程度的自我控制能力，从而改善孤独症的症状，也可以通过脑电信号的反馈，训练使用者的专注力。

图表63: 强脑科技 BrainCo 监测头环



资料来源: BrainCo 官网, 华泰研究

图表64: 伟思医疗团体心理状态测试和交互式生物反馈训练



资料来源: 伟思医疗官网, 华泰研究

基于电、声、光、磁刺激进行神经调控的脑机接口已经实现商业化。相关应用包括: 通过电刺激治疗进行神经康复, 主要针对脑卒中、帕金森等中枢神经或周围神经损伤所致的运动功能障碍, 如偏瘫、肌萎缩、肌力低下、步行障碍、手功能障碍; 通过颅磁刺激治疗抑郁症, 以及对脑卒中所致的言语功能障碍、吞咽障碍、认知功能障碍进行治疗。经颅磁刺激用于抑郁症治疗已在美国、加拿大、新西兰、以色列等国家明确获批, 与药物治疗相比, 经颅磁刺激具有副作用小、安全性高、无痛苦、不易成瘾、不会影响认知功能等优势。国内外多家公司包括伟思医疗 (688580 CH, 未覆盖), Neuronetics (STIM US, 未覆盖), Brainsway (BWAY US, 未覆盖) 等公司已经推出相关产品。

图表65: 伟思医疗磁刺激类产品



资料来源: 伟思医疗招股说明书, 华泰研究

图表66: 伟思医疗电刺激类产品



资料来源: 伟思医疗招股说明书, 华泰研究

非侵入式脑机接口智能义肢已经实现消费端使用。BrainCo 强脑科技在 2019 年推出世界上第一款可以意识控制每一根手指的非侵入式智能仿生手后, 在今年再次推出一款适合不同伤残等级的仿生腿产品。根据公司介绍, 这款产品每秒可提取 2 万个肌电神经电数据, 因此能快速、准确地识别用户意图, 并根据环境、肌肉情况调整步态防止摔倒, 实现高仿生体验, 还能够支持攀岩、涉水等多种复杂操作, 为残障人士创造高品质生活, 拓展了脑机接口技术在义肢方向的应用。

脑机接口也可以使丧失说话能力的人能够恢复沟通能力。通过脑机接口输出文字, 或通过语音合成器发生, 帮助脊髓侧索硬化症患者、重症肌无力患者、以及事故导致高位截瘫患者等重度运动障碍患者群体, 通过脑机接口系统将自己脑中所想表达出来。2021 年, 国际顶级期刊《Nature》杂志刊登了由斯坦福大学、布朗大学、哈佛医学院等联合完成的研究, 患者通过想象自己拿着一支笔在纸上写字, 将书写意图转换成电脑屏幕上的文本。在 BrainGate 的试验中, 脑机接口 65 岁的男性参与者的打字速度能够达到每分钟 90 个字符。

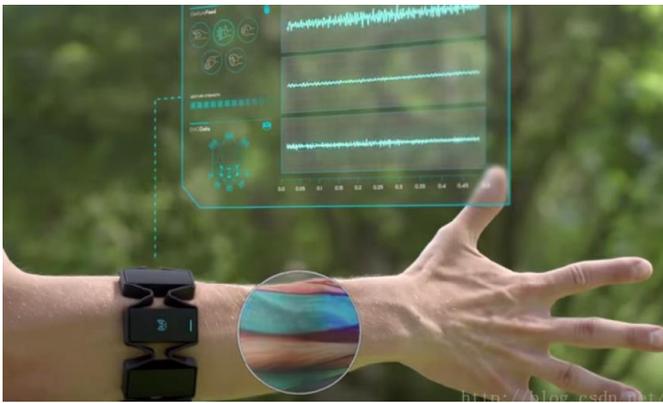
应用场景#2：消费电子与 AIoT 领域展开消费端应用

脑机接口技术与消费产品相结合，提供更直觉交互体验。早在 2014 年，加难道公司 Thalmic Labs 就推出了一款臂带式控制器 Myo，通过感知肌肉的生物电活动，可以让使用者只需要动动手指就可以无线控制身边的计算机和其他数字产品。随着技术的持续升级，当前臂带式控制器可以实现通过识别活动意念带来的电流进行控制，意念打字、意念操作玩具等已经不是幻想。

在脑机接口的支持下，游戏玩家可以用意念来控制 VR 界面的菜单导航和选项控制，获得了独立于传统游戏控制方式之外的新的操作体验；同时人们也可以用意念控制开关等，甚至控制家庭服务机器人，实现全新意义上的智能家居。

渗透率或随 AR 及其他可穿戴产品普及持续提升。当前更加简单形式的控制，比如眼动追踪摄像头、触摸控制等或限制脑机接口交互需求。我们认为未来随着一系列可穿戴设备比如 AR 眼镜的普及，以及元宇宙的持续建设，基于脑机接口技术的消费电子产品渗透率将持续提升。

图表73：Thalmic Labs 的臂带式控制器 Myo



资料来源：Thalmic Labs 官网，华泰研究

图表74：基于臂环进行意念打字



资料来源：BrainCo2021 年发布会，华泰研究

应用场景#3：实现大脑强化，运用于国防军事领域

2020 年美国兰德公司发布了一份名为《脑机接口：美国军事应用和意义的初步评估》（Brain-Computer Interfaces: U.S. Military Applications and Implications）的报告，指出虽然存在一定风险，“脑机接口”很可能在改进未来作战中提供相应的支持，脑机接口在军事领域用途包括保证更高效和保密的军事通信、提高决策速度与准确性，允许操作员同时控制多个平台等。

进行更高效和更保密的军事通信。2019 年，DARPA（美国国防部高级研究计划局）就选择了 6 个团队来开发 N3 神经技术研究计划，旨在为美国军方提供高精度的双向脑机接口系统，使服役人员能够与计算机系统通信。未来若脑机接口用于军事通信的技术获得成功，将颠覆现有通信技术的运转模式。此前的通信解密都是在得到对方通信信号的基础上，依据共同、公开的技术知识进行解密。理论上只要有足够的时间，任何加密算法都可以被破译。而脑机接口通信可能在双方的主体意识尚未明确时就已经完成；所以，不仅通信信号难以得到，即使得到信号，也缺乏解密所需的技术知识。

脑机接口或用于处理大量数据来提高决策效率。未来作战中，智能设备、士兵穿戴式传感器和无人机可向士兵提供大量的行动数据，大量的信息融合将增加决策的复杂性。通过脑机接口能够使得机器与人之间连通性增强，促进数据在作战人员和决策者之间快速而广泛地流动，使得相互连接的军事系统能够顺利运行。同时人工智能工具可能融入决策流程，帮助人类作战人员评估环境，管理数据，并最终消化更大容量的信息。

允许操作员同时控制多个平台。1970年，DARPA 就开始组建脑机接口研究团队，2015年，DARPA 立项研发赋予战斗机飞行员同时操控多架飞机和无人机能力的技术和系统。至2018年9月，DARPA 脑机接口项目负责人宣称：“借助脑机接口技术和辅助决策系统，战斗机飞行员已能同时操控3架不同类型的飞机。”

图表75: DARPA 将颅外直流电刺激技术应用到智力/学习领域



资料来源: Crux UCLA Neuro Tech 官网, 华泰研究

图表76: 机械增强外骨骼



资料来源: Crux UCLA Neuro Tech 官网, 华泰研究

图表77: 脑机接口在国防中的应用

	2030	2040	2050
脑机接口工具	短期能力	长期能力	
1) 人机决策	<ul style="list-style-type: none"> 即时传输作战风险 加快武器部署决策 利用战场事件的快速反馈缩短战备周期 (打破OODA循环) 提升目标定位速度和精度 	<ul style="list-style-type: none"> 风险和威胁传输 (增加带宽) 强人工智能系统 	
2) 人机直接系统控制	<ul style="list-style-type: none"> 向系统传输基本指令 强化态势感知和反馈 	<ul style="list-style-type: none"> 复杂操作传输 (提升带宽和自由度) 抗干扰性 (用于动态环境) 更具体的指控与控制 	
3) 脑对脑通信/管理	<ul style="list-style-type: none"> 在个体之间传输基本指令 减轻重量 (无线电) 	<ul style="list-style-type: none"> 设计指挥官和指挥所的复杂战略传输 (增加带宽) 	
4) 表现监控	<ul style="list-style-type: none"> 状态监控 个体和集体认知负担、压力和爆发点监控 	<ul style="list-style-type: none"> 远程离岸评估 对手情绪和认知状态监控 动态认知概况存档 	
5) 认知表现强化	<ul style="list-style-type: none"> 调节情绪状态 (例如压力) 提高注意力和警觉性 	<ul style="list-style-type: none"> 调控情绪状态 	
6) 身体表现强化	<ul style="list-style-type: none"> 提升体能 提升感知能力 	<ul style="list-style-type: none"> 植入式自动药品配送 疼痛消除 	
7) 训练	<ul style="list-style-type: none"> 强化学习记忆力 可部署训练装备 个体适应性训练 提高评估的时效性和有效性 	<ul style="list-style-type: none"> 植入式知识库 	

资料来源: 兰德公司《脑机接口: 美国军事应用和意义的初步评估》2020年9月, 华泰研究

附录

图表78: 脑机接口主要芯片厂商

公司名称	简介	研究方向	产品
Neuralink	2015 年创立, 2016 年马斯克收购	专注于侵入式脑机接口研究, 主要研发将人工智能植入人类大脑皮层的脑机接口技术	2019 年, Neuralink 发布自研的 N1 脑部传感器芯片, 通过滤波等处理将记录到的细胞膜表面电位转换成数字信号
NeuroSky	2004 年成立于美国圣何塞, 拥有国际领先的生物信号传感技术	主要从事生物信号采集处理、脑机接口等领域的技术研究和开发	NeuroSky ThinkGear 技术将脑电波信号的采集、滤波、放大、A/D 转换、数据处理及分析等功能完全集成到一块 ASIC 芯片中。
中电云脑	2018 年成立于天津	天津大学和中国电子信息产业集团合作, 打造国家健康医疗大数据云脑中心	2019 年研发了一款高集成脑-机交互芯片“脑语者”。
NeuraMatrix	成立于 2019 年, 清华大学孵化企业	新一代脑机接口平台开发, 涵盖脑机接口芯片、系统化设备、软硬一体化平台	NeuraMatrix 的自研脑机接口芯片经过几轮迭代, 目前已经流片完成, 即将发布。

注: 均未上市

资料来源:《脑机接口技术在医疗健康领域应用白皮书(2021年)》中国人工智能产业发展联盟, 华泰研究

图表79: 全球主要脑机接口公司

公司名称	简介	研究方向	产品
Ctrl-Labs	2015 年成立	人机交互	通过佩戴设备收集脑电和肌电信号, 实现对大脑信息的读取和外部设备的控制
NeuraLinks	2015 年创立, 2016 年马斯克将其收购	专注于侵入式脑机接口研究, 主要研发将 AI 植入人类大脑皮层的脑机接口技术	2020 年将直径 23mm 的芯片 (Link V0.9) 植入了猪脑, 并且实现了神经信号的读取与写入。2021 年发布最新研究成果让植入大脑芯片的猴子通过意念玩游戏。
BrainGate	著名侵入式 BCI 系统公司	专注于医疗健康, 产品主要应用于失去四肢或其他身体功能失控的患者	2017 年实现 BCI 字符输入、控制自己的躯干和手吃饭
Kernel	Bryan Johnson 创立的美国脑机接口公司	研究一种同时测量和刺激许多神经电脉冲的方法。	用于治疗抑郁症或老年痴呆等疾病。
Paradromics	成立于 2015 年, 位于美国加利福尼亚	专注于侵入式脑机接口研究, 让失明、耳聋和瘫痪的患者与外界重获沟通联系	研发了名为“神经输入输出总线”的脑机接口研究终端, 还在临床前开发阶段, 预计将在 2021 年或 2022 年进行人体实验。
Dreem	前身为 Rhythm, 成立在法国, 总部位于美国旧金山	专注于非侵入式脑机接口研究, 重点解决失眠障碍等睡眠问题	头戴式睡眠监控可穿戴设备, 提高深度睡眠质量
MindMaze	总部位于瑞士洛桑, 成立于 2012 年	非侵入式脑机接口研究, 利用游戏化技术来帮助神经康复	开发了可穿戴头显和 3D 动作捕捉相机的用户界面, 用神经系统疾病患者创造 VR 和 AR 环境
NeuroPace	成立于 1997 年	通过响应性脑刺激来治疗神经系统疾病	用于癫痫治疗的脑部植入装置 RNS Stimulator 于 2013 年 11 月被 FDA 批准上市
博睿康	成立于 2011 年, 由清华大学神经工程实验室专家创立	非侵入式、微创脑机接口, 以无创、微创系列产品与解决方案	搭建以神经信号采集、解析、反馈为核心的脑机接口技术平台, 研发重点在于脑科学研究, 精神和心理疾病筛查, 各类精神系统疾病的监护、治疗和康复
BrainCo 强脑科技	2015 年创立, 哈佛创新实验室孵化的第一支华人团队	非侵入式脑机接口研究, 利用游戏化技术来帮助神经康复	用于认知和情绪训练、半瘫患者功能恢复。采用非侵入式混合脑机接口技术, 通过佩戴设备收集脑电信号和肌电信号, 实现对大脑信息的读取和外部设备的控制
念通智能	成立于 2016 年, 孵化于上海交通大学机电实验室	肢体康复设备的研发生产, 主要产品是脑电帽	一款 eCon 无线脑电采集设备, 可以从大脑表皮采集和保存用户的脑电波信号, eConHand 手功能康复设备, 用于辅助中风患者进行手功能康复训练
脑脑科技	成立于 2018 年, 总部位于北京	专注于脑科学、脑健康筛查、脑电算法、脑电数据开放等应用	家用助眠智能脑机交互头环 BrainUp, 进行全方位的脑电信号监测
臻泰智能	成立于 2018 年, 依托于西安交通大学	脑控主动被动协同康复机器人, 以及各类脑机接口相关系统应用的研究	无线便携式医疗级脑电头戴, 可应用于睡眠监测, 情绪识别以及认知康复。
江苏集萃脑机融合研究所	2019 年成立于苏州, 依托中科院半导体所研究团队	专注于开发脑状态监测和脑机接口的核心器件和解决方案	采用脑电信号监测、识别疲劳状态, 采用高效比边缘计算处理器实现复杂脑机接口算法的本地执行。
扭诺科技	2014 年 12 月成立于杭州	脑科学整体解决方案、AI 算法、软硬件研发	脑科学病例数据库、脑科学大数据云平台和脑电图仪等自主研发配套硬件

注: 均未上市

资料来源:《脑机接口技术在医疗健康领域应用白皮书(2021年)》中国人工智能产业发展联盟, 华泰研究

重点推荐公司观点

图表80：重点公司一览表

公司名称	公司代码	交易货币	财报货币	评级	02月21日		EPS (元)				P/E (倍)			
					收盘价 (元)	目标价 (元)	2020	2021E	2022E	2023E	2020	2021E	2022E	2023E
工业富联	601138 CH	CNY	CNY	买入	11.40	19.04	0.88	1.02	1.12	1.22	12.95	11.18	10.18	9.34
歌尔股份	002241 CH	CNY	CNY	买入	43.79	69.00	0.83	1.27	1.73	2.16	52.76	34.48	25.31	20.27
立讯精密	002475 CH	CNY	CNY	买入	42.91	45.95	1.03	1.20	1.70	2.12	41.66	35.76	25.24	20.24
舜宇光学科技	2382 HK	HKD	CNY	买入	189.20	255.00	4.46	5.28	6.68	8.42	34.69	29.30	23.16	18.37
韦尔股份	603501 CH	CNY	CNY	买入	236.95	321.00	3.09	5.34	6.46	7.83	76.68	44.37	36.68	30.26

注：收盘价和市值均为2月21日收盘数据，EPS为华泰预测值

资料来源：Wind，华泰研究预测

工业富联（601138 CH，买入，目标价：19.04元）

根据 Digitimes 报导，苹果有望于明年下半年推出其第一代 MR 产品，2H24 有望推出基于 AR 技术的二代产品，受到市场的广泛关注。我们预计公司作为金属结构件的供应商之一，有望持续受益。根据 IDC 预测，2021-2025E 全球 VR 头显产品出货量有望维 54.6% CAGR 的复合成长，到 2025 年全球有望达到 4,965 万台的出货量。我们看好工业富联等供应商受益于 AR/VR 新品推出，迎来新的发展机遇。随着市场对 AR/VR+元宇宙关注度的提升，公司作为元宇宙领域基础建设和终端结构件的核心标的有望持续受益。我们维持对 21/22/23 年归母净利润预测为 202/222/242 亿元，给予工业富联 17 倍 2022 年 PE 估值（可比公司 Wind 一致预期平均：17x 22 年 PE），目标价 19.04 元，维持买入评级。（最新报告日期：2021.12.13）

风险提示：海外疫情升级风险，宏观下行风险，创新产品渗透不及预期风险。

歌尔股份（002241 CH，买入，目标价：69.00元）

歌尔公布 1-3Q21 业绩：营收 527.9 亿元（52% yoy），归母净利 33.3 亿元（65% yoy），位于此前预报 59-72% yoy 的中值。对应 3Q21 单季度营收 225 亿元（17.5% yoy），归母净利 16 亿元（29% yoy），符合市场预期。同时公布 2021 全年业绩预报，净利润 42.4-45.3 亿元（49-59% yoy）。按中值，4Q21 单季度 10.6 亿元（28% yoy），在原材料和人力成本上涨、限电、消费电子需求放缓的不利环境下，4Q 依旧保持乐观指引。随着 VR+元宇宙产业链逐步成熟和公司多条产品线的推进，我们认为公司有望中长期取得更大发展，维持 21/22/23 年 EPS 为 1.27/1.73/2.16 元（CAGR 38%）不变。考虑到歌尔作为 VR 龙头核心供应商的领先优势，给予 22 年 40 倍 PE（可比公司 23 倍），维持目标价 69 元和买入评级。（最新报告日期：2021.10.27）

风险提示：TWS 耳机销量不及预期；VR/AR 终端需求不及预期。

立讯精密（002475 CH，买入，目标价：45.95元）

2月11日，立讯精密发布公告，1) 公司控股股东立讯有限与青岛五道口签署《股权转让框架协议》，约定以 100.54 亿元人民币购买青岛五道口持有的奇瑞控股（母公司，主营汽车、金融、地产等业务）19.88% 股权、奇瑞股份（主营汽车业务）7.87% 股权和奇瑞新能源（主营新能源汽车业务）6.24% 股权；2) 上市公司与奇瑞控股、奇瑞股份、奇瑞新能源签署《战略合作框架协议》，拟组建合资公司，专门从事新能源汽车整车研发和制造。我们认为参股奇瑞、建立合资公司为立讯理解整车技术、快速提升汽车核心零部件综合能力，助力公司中长期成为 Tier1 领导厂商，也为公司进入汽车其他领域打下基础。我们维持 21/22/23 年净利润 84.6/119.9/149.6 亿元预测，维持 21/22/23 年 EPS 为 1.20/1.70/2.12 元，维持目标价 45.95 元（考虑公司出众精密制造能力和行业地位，对应 27 倍 2022 年 PE，相对 Wind 一致预期可比公司平均水平 17 倍）和买入评级。（最新报告日期：2022.02.14）

风险提示：AirPods 销量不及预期；疫情造成全球 3C 需求下滑风险。

舜宇光学科技 (2383 HK, 买入, 目标价: 255.00 港币)

舜宇光学科技(舜宇)于2月11日发布1月出货量数据。舜宇1月汽车镜头出货量同比增长2.5%，环比增长55.3%，达到752.7万片，创下历史新高。我们认为这主要是由于汽车芯片短缺得到边际缓解。由于安卓智能手机需求疲软，手机镜头和相机模组出货量持续疲软，手机镜头出货量同比下降11.0%，环比增长8.7%，摄像头模组出货量同比下降23.3%，环比下降3.7%。2月份智能手机和汽车行业仍处于淡季。我们认为舜宇在ARVR和ADAS等新兴领域处于有利地位，有望在这些领域实现长期收入增长。

我们暂时维持人民币5.28/6.68/8.42元的2021/2022/2023年EPS预测，以及基于SOTP得出的目标价255港币，包括摄像头模组业务每股估值50港币，手机镜头业务每股估值70港币，汽车镜头业务每股估值84港币，及其他业务每股估值51港币。(最新报告日期: 2022.02.14)

风险提示：行业竞争加剧；电动汽车行业发展慢于预期。

韦尔股份 (603501 CH, 买入, 目标价: 321.00 元)

韦尔股份发布4Q21业绩预告：公司预计四季度归母净利润为9.50-13.50亿元，环比变化-25%~6%，同比变化-3%~38%，扣非归母净利润为8.50-12.00亿元，环比变化-23%~9%，同比增长29%~82%，四季度归母净利润中值符合我们预期(11.33亿元)，四季度随着安卓手机光学需求平淡，叠加部分终端客户去库存压力，扣非归母净利润略有下滑，我们认为1月以来公司股价下滑8.2%基本反应预期，公司当前股价对应2022年40.6倍PE，我们调整2021/22/23年EPS为5.34/6.46/7.83元，维持买入评级及目标价321.00元不变，对应49.7倍2022年PE，考虑到公司龙头地位，高于行业均值(49.3倍)。(最新报告日期: 2022.01.28)

风险提示：智能手机等终端需求不及预期，CIS行业竞争加剧。

风险提示

元宇宙技术开发进度不及预期。元宇宙的实现是5G、AI、AR/VR/脑机接口、云计算等多种前沿科技协同发展的结果，目前仍然处于早期阶段，若技术的发展进度不及预期，则会进一步影响用户体验，降低沉浸感。

疫情升级致3C需求不及预期。在新冠疫情海外持续蔓延情况下，宏观经济下行或导致消费二次探底、3C需求持续疲弱，因此行业公司仍面临疫情升级背景下3C需求不及预期、业绩下滑的风险。

创新品研发不及预期。前沿科技领域部分产品仍在研发阶段，可能存在无法商业化以及无法量产落地的风险。

免责声明

分析师声明

本人，黄乐平、陈旭东，兹证明本报告所表达的观点准确地反映了分析师对标的证券或发行人的个人意见；彼以往、现在或未来并无就其研究报告所提供的具体建议或所表达的意见直接或间接收取任何报酬。

一般声明及披露

本报告由华泰证券股份有限公司（已具备中国证监会批准的证券投资咨询业务资格，以下简称“本公司”）制作。本报告所载资料是仅供接收人的严格保密资料。本报告仅供本公司及其客户和其关联机构使用。本公司不因接收人收到本报告而视其为客户。

本报告基于本公司认为可靠的、已公开的信息编制，但本公司及其关联机构（以下统称为“华泰”）对该等信息的准确性及完整性不作任何保证。

本报告所载的意见、评估及预测仅反映报告发布当日的观点和判断。在不同时期，华泰可能会发出与本报告所载意见、评估及预测不一致的研究报告。同时，本报告所指的证券或投资标的的价格、价值及投资收入可能会波动。以往表现并不能指引未来，未来回报并不能得到保证，并存在损失本金的可能。华泰不保证本报告所含信息保持在最新状态。华泰对本报告所含信息可在不发出通知的情形下做出修改，投资者应当自行关注相应的更新或修改。

本公司不是 FINRA 的注册会员，其研究分析师亦没有注册为 FINRA 的研究分析师/不具有 FINRA 分析师的注册资格。

华泰力求报告内容客观、公正，但本报告所载的观点、结论和建议仅供参考，不构成购买或出售所述证券的要约或招揽。该等观点、建议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，在任何时候均不构成对客户私人投资建议。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，华泰及作者均不承担任何法律责任。任何形式的分享证券投资收益或者分担证券投资损失的书面或口头承诺均为无效。

除非另行说明，本报告中所引用的关于业绩的数据代表过往表现，过往的业绩表现不应作为日后回报的预示。华泰不承诺也不保证任何预示的回报会得以实现，分析中所做的预测可能是基于相应的假设，任何假设的变化可能会显著影响所预测的回报。

华泰及作者在自身所知情的范围内，与本报告所指的证券或投资标的不存在法律禁止的利害关系。在法律许可的情况下，华泰可能会持有报告中提到的公司所发行的证券头寸并进行交易，为该公司提供投资银行、财务顾问或者金融产品等相关服务或向该公司招揽业务。

华泰的销售人员、交易人员或其他专业人士可能会依据不同假设和标准、采用不同的分析方法而口头或书面发表与本报告意见及建议不一致的市场评论和/或交易观点。华泰没有将此意见及建议向报告所有接收者进行更新的义务。华泰的资产管理部门、自营部门以及其他投资业务部门可能独立做出与本报告中的意见或建议不一致的投资决策。投资者应当考虑到华泰及/或其相关人员可能存在影响本报告观点客观性的潜在利益冲突。投资者请勿将本报告视为投资或其他决定的唯一信赖依据。有关该方面的具体披露请参照本报告尾部。

本报告并非意图发送、发布给在当地法律或监管规则下不允许向其发送、发布的机构或人员，也并非意图发送、发布给因可得到、使用本报告的行为而使华泰违反或受制于当地法律或监管规则的机构或人员。

本报告版权仅为本公司所有。未经本公司书面许可，任何机构或个人不得以翻版、复制、发表、引用或再次分发他人（无论整份或部分）等任何形式侵犯本公司版权。如征得本公司同意进行引用、刊发的，需在允许的范围内使用，并需在使用前获取独立的法律意见，以确定该引用、刊发符合当地适用法规的要求，同时注明出处为“华泰证券研究所”，且不得对本报告进行任何有悖原意的引用、删节和修改。本公司保留追究相关责任的权利。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。

中国香港

本报告由华泰证券股份有限公司制作，在香港由华泰金融控股（香港）有限公司向符合《证券及期货条例》及其附属法律规定的机构投资者和专业投资者的客户进行分发。华泰金融控股（香港）有限公司受香港证券及期货事务监察委员会监管，是华泰国际金融控股有限公司的全资子公司，后者为华泰证券股份有限公司的全资子公司。在香港获得本报告的人员若有任何有关本报告的问题，请与华泰金融控股（香港）有限公司联系。

香港-重要监管披露

- 华泰金融控股（香港）有限公司的雇员或其关联人士没有担任本报告中提及的公司或发行人的高级人员。
- 歌尔股份（002241 CH）、立讯精密（002475 CH）：华泰金融控股（香港）有限公司、其子公司和/或其关联公司实益持有标的公司的市场资本值的 1%或以上。
- 有关重要的披露信息，请参华泰金融控股（香港）有限公司的网页 https://www.htsc.com.hk/stock_disclosure 其他信息请参见下方“美国-重要监管披露”。

美国

在美国本报告由华泰证券（美国）有限公司向符合美国监管规定的机构投资者进行发表与分发。华泰证券（美国）有限公司是美国注册经纪商和美国金融业监管局（FINRA）的注册会员。对于其在美国分发的研究报告，华泰证券（美国）有限公司根据《1934年证券交易法》（修订版）第 15a-6 条规定以及美国证券交易委员会人员解释，对本研究报告内容负责。华泰证券（美国）有限公司联营公司的分析师不具有美国金融监管（FINRA）分析师的注册资格，可能不属于华泰证券（美国）有限公司的关联人员，因此可能不受 FINRA 关于分析师与标的公司沟通、公开露面和所持交易证券的限制。华泰证券（美国）有限公司是华泰国际金融控股有限公司的全资子公司，后者为华泰证券股份有限公司的全资子公司。任何直接从华泰证券（美国）有限公司收到此报告并希望就本报告所述任何证券进行交易的人士，应通过华泰证券（美国）有限公司进行交易。

美国-重要监管披露

- 分析师黄乐平、陈旭东本人及相关人士并不担任本报告所提及的标的证券或发行人的高级人员、董事或顾问。分析师及相关人士与本报告所提及的标的证券或发行人并无任何相关财务利益。本披露中所提及的“相关人士”包括 FINRA 定义下分析师的家庭成员。分析师根据华泰证券的整体收入和盈利能力获得薪酬，包括源自公司投资银行业务的收入。
- 歌尔股份（002241 CH）、立讯精密（002475 CH）：华泰证券股份有限公司、其子公司和/或其联营公司实益持有标的公司某一类普通股证券的比例达 1%或以上。
- 华泰证券股份有限公司、其子公司和/或其联营公司，及/或不时会以自身或代理形式向客户出售及购买华泰证券研究所覆盖公司的证券/衍生工具，包括股票及债券（包括衍生品）华泰证券研究所覆盖公司的证券/衍生工具，包括股票及债券（包括衍生品）。
- 华泰证券股份有限公司、其子公司和/或其联营公司，及/或其高级管理层、董事和雇员可能会持有本报告中所提到的任何证券（或任何相关投资）头寸，并可能不时进行增持或减持该证券（或投资）。因此，投资者应该意识到可能存在利益冲突。

评级说明

投资评级基于分析师对报告发布日后 6 至 12 个月内行业或公司回报潜力（含此期间的股息回报）相对基准表现的预期（A 股市场基准为沪深 300 指数，香港市场基准为恒生指数，美国市场基准为标普 500 指数），具体如下：

行业评级

增持：预计行业股票指数超越基准

中性：预计行业股票指数基本与基准持平

减持：预计行业股票指数明显弱于基准

公司评级

买入：预计股价超越基准 15%以上

增持：预计股价超越基准 5%~15%

持有：预计股价相对基准波动在-15%~5%之间

卖出：预计股价弱于基准 15%以上

暂停评级：已暂停评级、目标价及预测，以遵守适用法规及/或公司政策

无评级：股票不在常规研究覆盖范围内。投资者不应期待华泰提供该等证券及/或公司相关的持续或补充信息

法律实体披露

中国: 华泰证券股份有限公司具有中国证监会核准的“证券投资咨询”业务资格, 经营许可证编号为: 91320000704041011J

香港: 华泰金融控股(香港)有限公司具有香港证监会核准的“就证券提供意见”业务资格, 经营许可证编号为: AOK809

美国: 华泰证券(美国)有限公司为美国金融业监管局(FINRA)成员, 具有在美国开展经纪交易商业业务的资格, 经营业务许可编号为: CRD#:298809/SEC#:8-70231

华泰证券股份有限公司**南京**

南京市建邺区江东中路228号华泰证券广场1号楼/邮政编码: 210019

电话: 86 25 83389999/传真: 86 25 83387521

电子邮件: ht-rd@htsc.com

深圳

深圳市福田区益田路5999号基金大厦10楼/邮政编码: 518017

电话: 86 755 82493932/传真: 86 755 82492062

电子邮件: ht-rd@htsc.com

北京

北京市西城区太平桥大街丰盛胡同28号太平洋保险大厦A座18层/
邮政编码: 100032

电话: 86 10 63211166/传真: 86 10 63211275

电子邮件: ht-rd@htsc.com

上海

上海市浦东新区东方路18号保利广场E栋23楼/邮政编码: 200120

电话: 86 21 28972098/传真: 86 21 28972068

电子邮件: ht-rd@htsc.com

华泰金融控股(香港)有限公司

香港中环皇后大道中99号中环中心58楼5808-12室

电话: +852-3658-6000/传真: +852-2169-0770

电子邮件: research@htsc.com

<http://www.htsc.com.hk>

华泰证券(美国)有限公司

美国纽约哈德逊城市广场10号41楼(纽约10001)

电话: +212-763-8160/传真: +917-725-9702

电子邮件: Huatai@htsc-us.com

<http://www.htsc-us.com>

©版权所有2022年华泰证券股份有限公司