



【中泰电子】AR深度报告：AI落地最佳载体， 硬件&生态共驱发展

分析师：王芳 S0740521120002，杨旭 S0740521120001，张琼 S0740523070004

联系人：洪嘉琳

中泰证券研究所
专业 | 领先 | 深度 | 诚信

目录

一、硬件&生态共振，AI+AR演进趋势清晰

二、AR光学：技术持续迭代，光波导方案潜力大

三、AR显示：多方案并存，MicroLED前景广阔

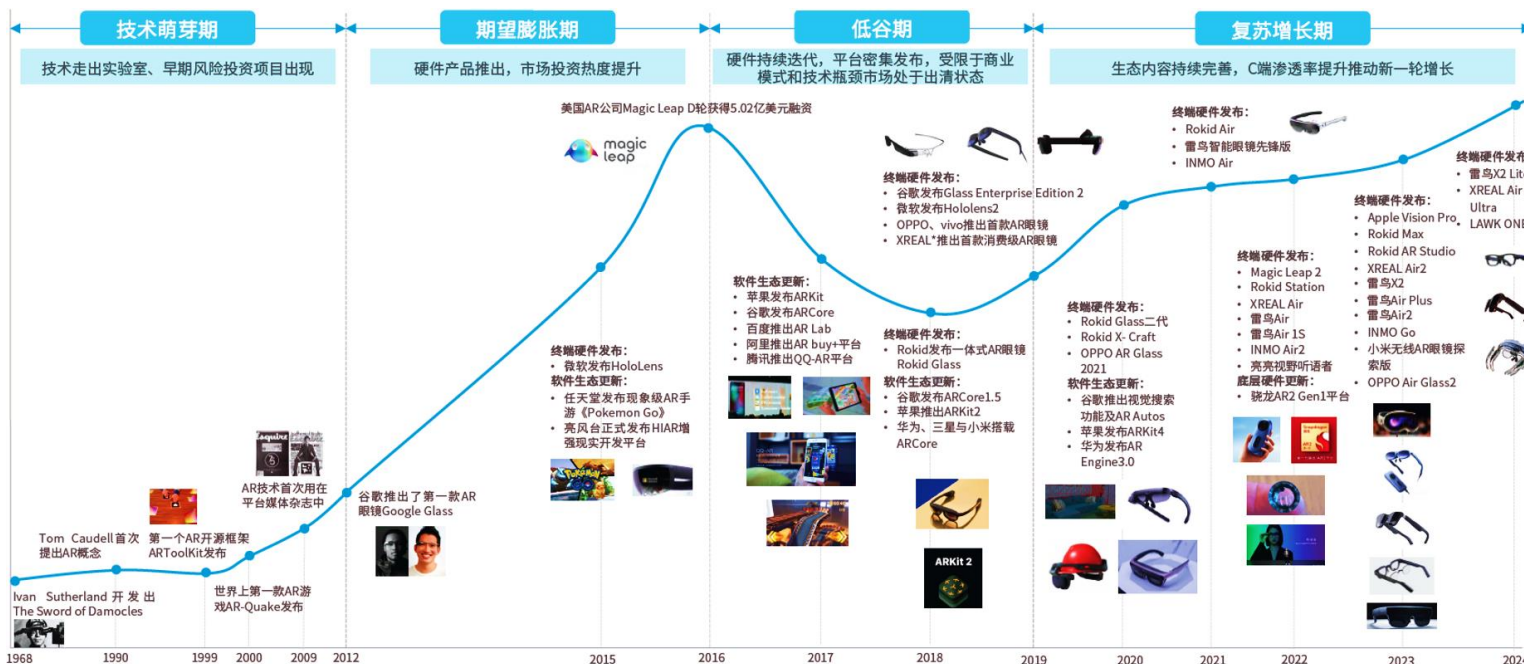
四、AR产业链核心标的

五、投资建议&风险提示

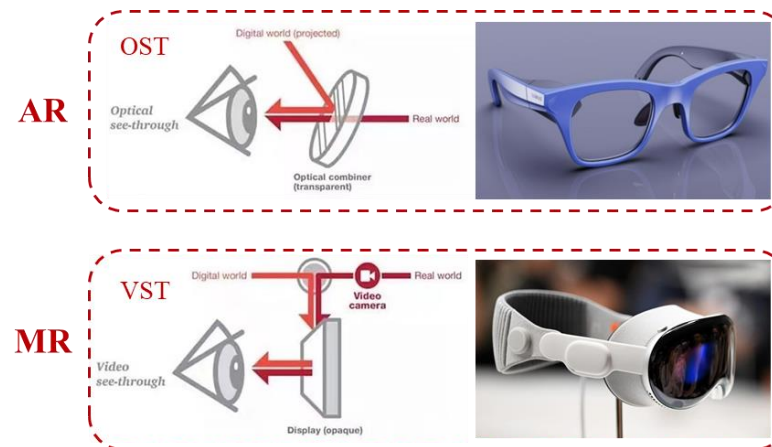
1.1 硬件&生态共振，AR行业有望迎来新一轮增长

- XR是VR/MR/AR的集合，MR和AR均可实现透视，MR采用基于摄像头和屏幕的视频透视（VST，Video see-through），而AR采用光学透视（OST，Optical see-through），透视效果更真实，形态更轻便，但光学设计难度较高。
- 硬件和生态共振，AR行业有望迎来新一轮增长。2012年谷歌发布首款AR眼镜Google Glass，AR行业开始真正发展，市场期望和投资热度较高，然而受AR眼镜形态、显示效果、生态应用等因素制约，整体发展相对不及预期；2016-19年行业经历低谷期，但谷歌、微软等头部厂商软硬件仍持续更新迭代；2019年开始Rokid、Xreal、MagicLeap等新品陆续推出，硬件生态持续完善，AR行业复苏发展。伴随光波导技术持续迭代&量产落地，AR眼镜形态将趋近于普通眼镜，推动C端市场渗透普及，与此同时AI大模型也为AR生态应用带来更大想象空间，硬件和生态共振，AR行业有望迎来新一轮增长。

图表：AR产业发展历程



图表：AR和MR透视原理区别

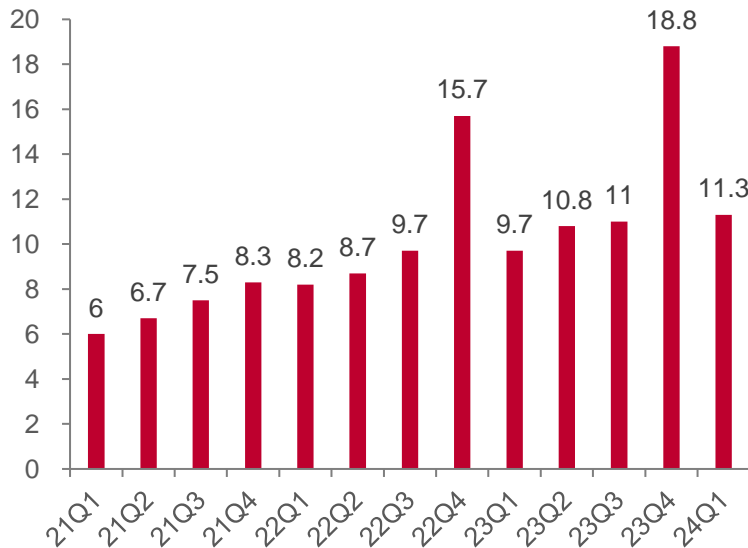


1.1 硬件&生态共振，AR行业有望迎来新一轮增长

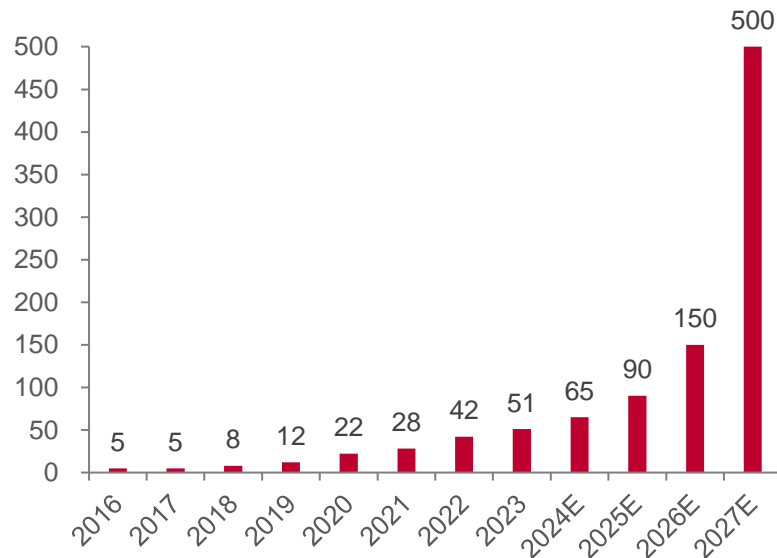
■ AR销量基数尚低，未来2-3年有望迎来需求拐点。

- **销量：**过去几年AR销量整体呈稳步增长态势，2023年AR全球销量51万台，yoy+21%，其中国内和海外销量分别为20万台和31万台，yoy分别为54%和29%。现阶段AR销量基数尚低，伴随AR眼镜硬件迭代升级和AI应用加成，更轻便、更智能、显示效果更优的消费级AR眼镜有望在未来2-3年面世，带来行业需求拐点，根据Wellsenn XR预测，2027年全球AR眼镜销量有望达到500万台，2023-27年CAGR高达77%。
- **格局：**从销量来看，现阶段主推消费级AR的国内厂商在全球AR市场占据主导地位，微软、谷歌等海外AR厂商主要面向B端市场，根据IDC数据，2023年Xreal、Rokid、雷鸟创新、INMO全球AR市场份额分别为45%、14%、13%、6%。

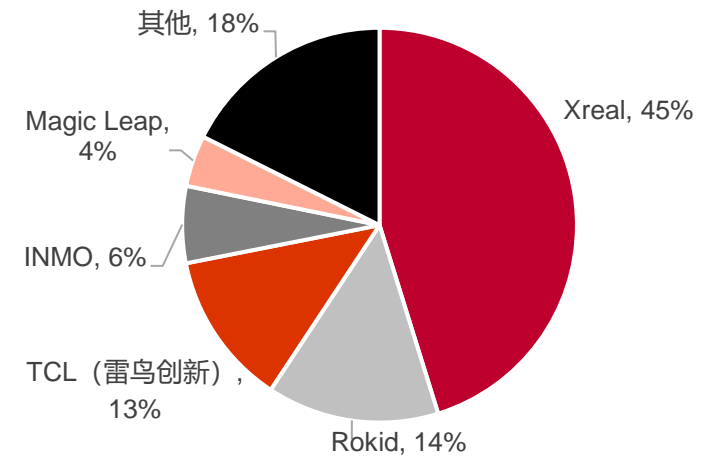
图表：全球AR季度销量（万台）



图表：全球AR年度销量及预测（万台）



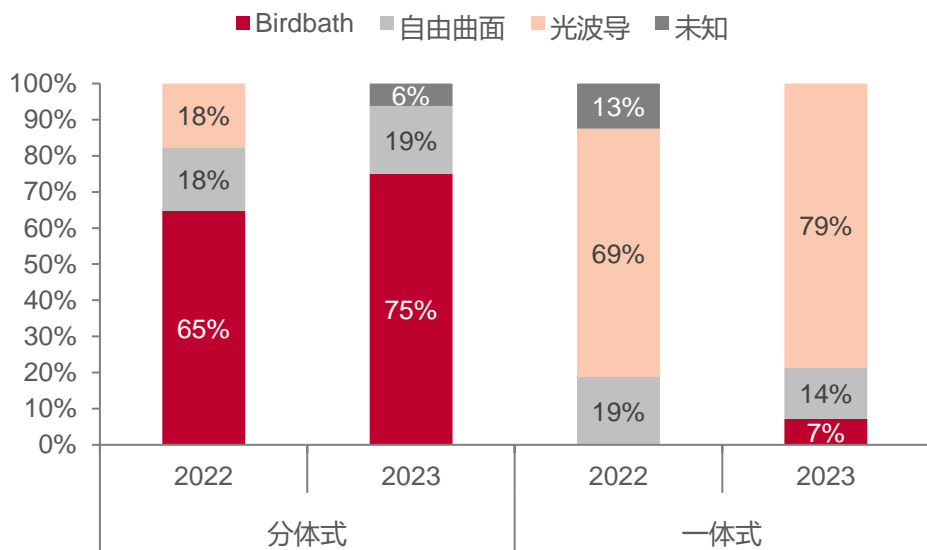
图表：2023年全球AR市场格局



1.1 硬件&生态共振，AR行业有望迎来新一轮增长

- 现阶段以分体式AR为主，未来将向集成度更高、更轻便的一体式AR演进。
- 分体式AR：处理器/存储/电池等与眼镜本体分离，需连接手机/电脑/主机盒子等外部设备使用，可以解决部分AR眼镜的交互和内容生态问题，续航和散热性能也更好，但存在传输延迟、便携度不足等短板，由于分体式AR一般搭配Birdbath方案，眼镜本体也相对笨重。
- 一体式AR：将处理器/存储/电池等集成在眼镜中，可独立运行使用，一般搭载光波导方案，体积重量显著下降，可穿戴性更强，但性能、散热、续航仍有提升空间。
- 现状与趋势：综合考虑显示效果和量产成本，目前Xreal、Rokid等头部厂商仍以BB方案分体式AR为主，雷鸟、INMO等逐步推出光波导一体式AR，根据IDC数据，2023年中国分体式AR销量占比约85%。从趋势上看，随着光波导/散热/主控芯片等持续升级，未来AR会向集成度更高、更轻便的一体式AR演进。

图表：分体式/一体式AR眼镜光学方案



图表：头部AR厂商主要产品梳理（2022年以来）

品牌	产品型号	形态	显示&光学方案	发布时间
Xreal	Xreal Air	分体式	MicroOLED+Birdbath	2022.8
	Xreal X	分体式	MicroOLED+Birdbath	2022.8
	Xreal Air2	分体式	MicroOLED+Birdbath	2023.8
	Xreal Air2 Ultra	分体式	MicroOLED+Birdbath	2024.1
Rokid	Rokid Max	分体式	MicroOLED+Birdbath	2023.3
	Rokid Max Pro	一体式	MicroOLED+Birdbath	2023.9
雷鸟创新	雷鸟 Air	分体式	MicroOLED+Birdbath	2022.1
	雷鸟 Air 1S	分体式	MicroOLED+Birdbath	2022.10
	雷鸟 Air Plus	分体式	MicroOLED+Birdbath	2023.5
	雷鸟 Air2	分体式	MicroOLED+Birdbath	2023.10
	雷鸟 X2	一体式	全彩MicroLED+衍射光波导	2023.10
INMO	INMO Air2	一体式	MicroOLED+垂直阵列光波导	2022.10
	INMO Go	一体式	单绿MicroLED+衍射光波导	2023.9

1.2 眼镜是AI最佳载体，AI+AR演进趋势清晰

■ 眼镜是GPT-4o等多模态AI大模型的最佳载体。

➤ 5月14日OpenAI发布新一代旗舰生成模型GPT-4o，接受文本/音频/图像的任意组合作为输入，并生成任意组合的输出，响应速度能够做到与人类反应相似，最快232毫秒内响应音频输入，平均响应时长320毫秒。GPT-4o可以实时理解视觉、听觉等信息并与用户交互，能够捕捉并理解交流情绪，成为富有情感色彩的智能语音助手。相比于其他终端，AI眼镜易用性和灵活性更高，能够解放双手，通过摄像头和麦克风为大模型提供第一视角信息输入，同时AI信息输出也有更自然直接的呈现载体（镜片/视觉信息、眼镜扬声器/音频信息），更适合作为GPT-4o等多模态大模型载体。

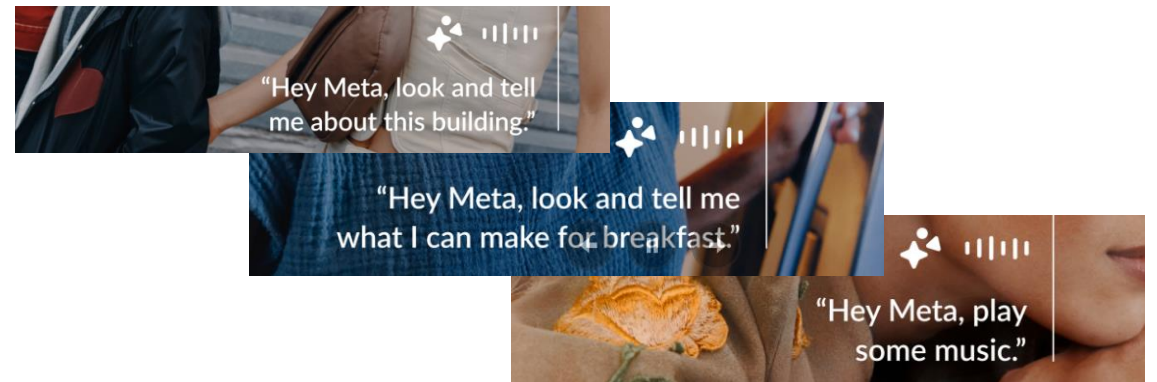
■ Meta Ray-Ban搭载Llama 3多模态大模型，打响AI眼镜第一枪。

- 音频眼镜+摄像头，暂无显示功能：搭载高通骁龙AR1 Gen 1，照片拍摄从5MP提升至12MP，支持1080P/60fps视频录制，存储从4GB提升至32GB，开放式扬声器低音提升2倍、最大音量提高50%，5个麦克风阵列，拾音能力和准确度更高。
- AI为核心卖点：23年12月Meta为Ray-Ban Meta测试多模态AI更新，24年4月底Meta AI正式上线（仅限美国/加拿大用户），基于Llama 3，Meta AI除了基础的智能语音交互之外，还能进行视觉化交互（例如，识别建筑/根据冰箱食材推荐早餐等）。
- 销量可观：2023年10月上市，售价299美金，23Q4销量超30万台，截至5月初第三方估计Meta Ray-Ban累计已售100多万台。

图表：Meta Ray-Ban眼镜



图表：Meta Ray-Ban AI功能



1.2 眼镜是AI最佳载体，AI+AR演进趋势清晰

■ AI+AR演进趋势清晰。

- 目前AR眼镜的应用主要包括观影和信息提示，AI+AR眼镜在AI眼镜已有功能的基础上新增了显示功能，AI输出模式由单一的音频拓展至文本、图像、视频，可以为用户提供更丰富的交互体验，进一步拓宽眼镜应用边界，如提词、信息查阅、会议记录、导航、游戏、观影等，Meta、谷歌以及国内AR厂商等均在积极推进AI+AR落地。
- **Meta:** Meta持续推进AR眼镜项目，后续由AI眼镜升级至AR的趋势明显，有望于9月份Connect大会展示首款AR眼镜原型，而下一款消费级AR眼镜有望在明年推出并量产，预计还将引入肌电手环作为交互。
- **谷歌:** 谷歌在2022年I/O大会上曾展示一款AR翻译眼镜，2024 I/O大会展示了搭载多模态AI助手Project Astra的AR眼镜原型。
- **国内厂商:** 国内AR产品持续向AI靠拢，以进一步拓宽AR应用生态，雷鸟X2、ARKnovv A1、INMO Go、MYVU等AR眼镜已具备AI语音助手/翻译功能，甚至是场景/物体/文字识别、图生图功能。

图表：谷歌于24年I/O大会展示搭载AI大模型的AR原型



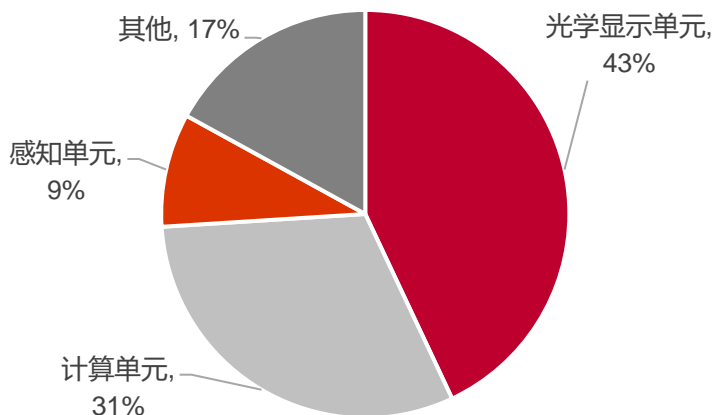
图表：2023年国内AR眼镜AI功能

产品	AI功能
雷鸟X2	翻译、AI数字人APP、场景识物、语音助手RayNeo AI
致敬未知ARKnovv A1	场景识物、图生图
Rokid Station Pro	空间搜索
INMO Go	语音助手
MYVU	语音助手
李未可Meta Lens S3	语音助手、翻译、行程安排

1.3 AR产业链：光学显示、感知交互、主控芯片是核心

- **AR产业链：光学显示、感知交互、主控芯片是核心。** AR眼镜功能模块主要包括光学显示单元、计算单元和感知单元，此外包括音频、存储、散热等。以微软Hololens为例，光学显示成本占比达43%，计算单元和感知单元分别占比31%和9%。
- **光学显示：**作为AR最核心的部分，是决定轻量化消费级AR能否量产落地的关键。光学方面，现阶段量产以BirdBath和自由曲面方案为主，后续往光波导升级趋势明确；显示方案包括LCOS、DLP、MicroOLED、MicroLED等，LCOS是短中期兼具性价比和显示效果的均衡方案，MicroLED量产技术待突破，但应用前景广阔。
- **感知交互：**AR感知交互主要包括SLAM空间识别、手势识别、眼动追踪等，SLAM是使虚拟信息能够准确叠加在现实环境、实现空间计算的关键技术，而手势识别和眼动追踪则能显著提升交互自由度和便捷度，对于一体化AR尤为重要，感知交互主要涉及摄像头、传感器、陀螺仪、加速度计等硬件，此外对软件算法、芯片算力也有一定要求。
- **主控芯片：**高通AR芯片平台布局相对完善，包括AR2 Gen1和AR1 Gen1，前者适用于6Dof SLAM和交互功能较丰富的AR，后者适用于具备拍摄/3Dof//AI/显示的超轻量化AR。此外，目前部分AR主打信息提示功能，对芯片计算性能要求不高，或采用可穿戴芯片作为替代方案降低成本和功耗，紫光展锐、晶晨股份、炬芯科技等国产芯片均有应用。

图表：AR硬件BOM成本拆分



图表：高通骁龙AR2 Gen1



图表：高通骁龙AR1 Gen1

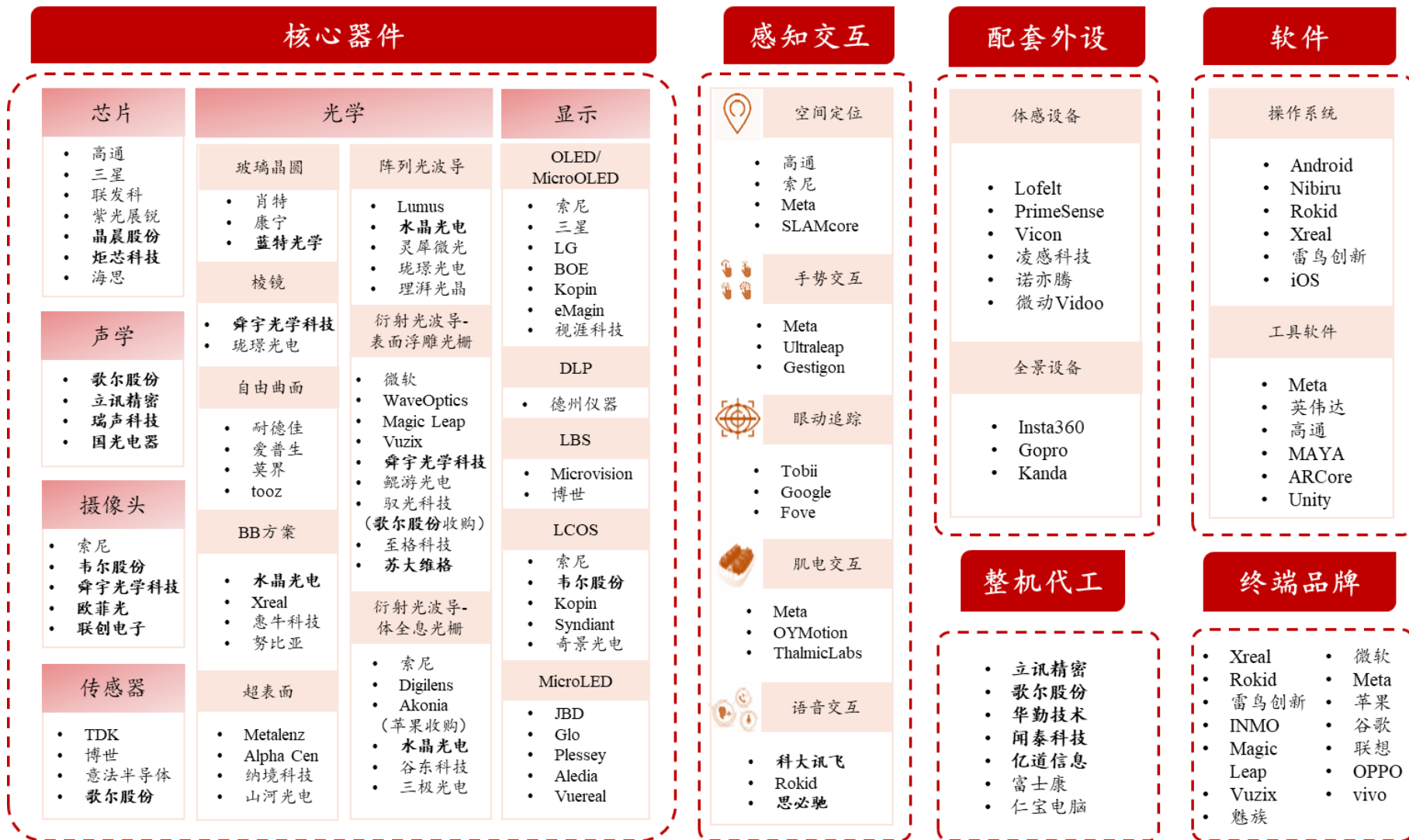


注：以微软Hololens（衍射光波导+LCOS方案）为参考

来源：艾瑞咨询，高通官网，中泰证券研究所

1.3 AR产业链：光学显示、感知交互、主控芯片是核心

图表：AR产业链图谱



目录

一、硬件&生态共振，AI+AR演进趋势清晰

二、AR光学：技术持续迭代，光波导方案潜力大

三、AR显示：多方案并存，MicroLED前景广阔

四、AR产业链核心标的

五、投资建议&风险提示

2. AR光学：技术持续迭代，光波导方案潜力大

- AR光学持续迭代升级，光波导是消费级AR终极方案。AR光学的评价指标包括FOV视场角、透光率、EyeBox、出瞳距离、光学效率、畸变、体积厚度等。
- 早期棱镜、离轴反射方案技术简单，但短板明显（棱镜方案视场角过小，离轴反射方案体积过大），难以在C端普及。
- 自由曲面方案和BirdBath方案均基于曲面光学，是现阶段成熟度较高的量产方案，其中BirdBath方案在消费级市场更为普及，视场角、成像质量和成本适中，但模组仍较厚。
- 光波导方案体积小重量轻，接近普通眼镜的形态，透光率高，EyeBox更大，是消费级AR的终极方案，具备在C端放量的潜力，目前量产难度高（阵列）、视场角小（衍射）等问题仍待突破。

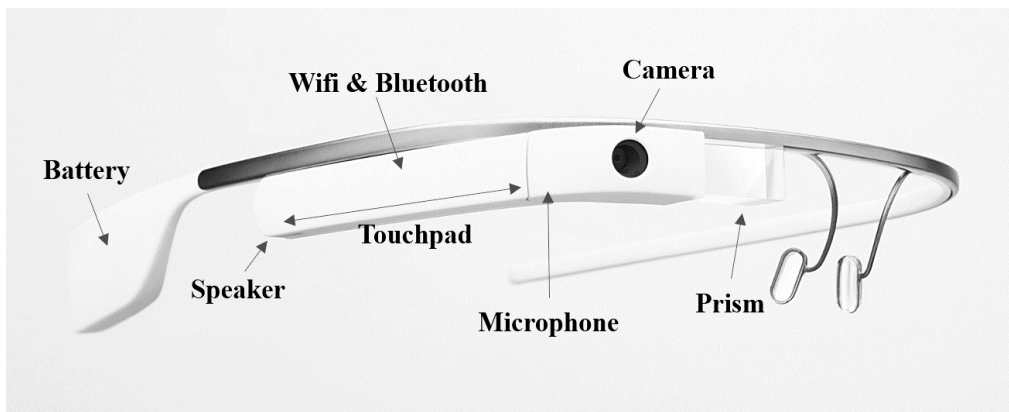
图表：AR光学方案对比

	棱镜	离轴反射	自由曲面	BirdBath	光波导
FOV	10-20°	80-100°	20-40°	40-60°	20-60°
透光率	50%-70%	40%-50%	40-70%	25%-30%	80%-95%
EyeBox	< 10*10mm		< 15*10mm	< 15*10mm	< 20*20mm
出瞳距离	10-20mm	> 30mm	15-25mm	10-15mm	15-30mm
光学效率	20%-30%	40%-50%	20%-40%	15%-20%	1%-15%
厚度	> 10mm	> 20mm	> 10mm	20-30mm	1-2mm
优势	技术简单，重量轻	技术简单，视场角大，光学效率高	技术成熟，光损较低，成像质量好	技术成熟，视场角较大	厚度小，重量轻，透光率高，眼动范围大
劣势	视场角小，遮挡视野，易产生畸变	体积大	厚度较大，可能存在畸变	厚度较大，透光率低，光损较高，存在漏光现象	阵列：量产难度高 衍射-表面浮雕：光损严重，存在彩虹效应，视场角小 衍射-体全息：视场角较小，规模量产难度高

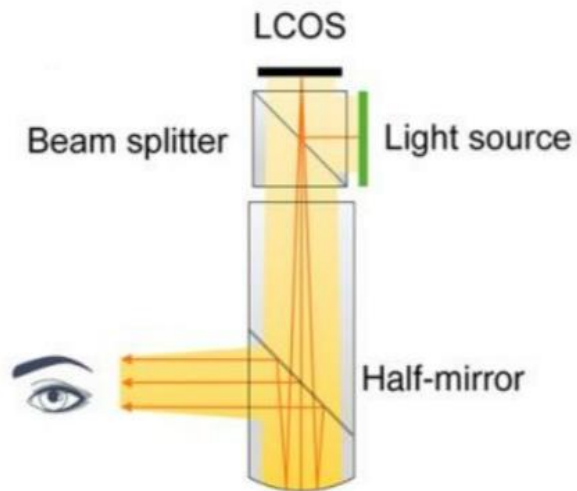
2.1 AR光学：棱镜和离轴反射方案

- **棱镜方案和离轴反射方案：**早期AR光学方案，技术难度低但缺点明显，应用较少。
- **棱镜方案：**微型显示器LCOS屏光线经过玻璃内部的45°半透半反射棱镜到达末端反射准直器，反射光线通过棱镜出射至人眼。棱镜方案简单、重量轻，缺陷在于视场角小（一般小于20°）、亮度不足、出瞳范围小，谷歌2012年发布的AR眼镜Google Glass便采用棱镜方案，视场角仅13°，遮挡视野，且容易产生畸变，难以在C端普及。
- **离轴反射方案：**显示屏将图像投射到前方透明的反射透镜后直接反射至人眼，外部场景亦通过该透镜进入人眼，从而实现虚实画面叠加。该方案技术难度低、工艺成熟且视场角较大，2016年发布的Meta2便采用该方案，视场角高达90°，但离轴反射系统结构笨重，目前应用较少。

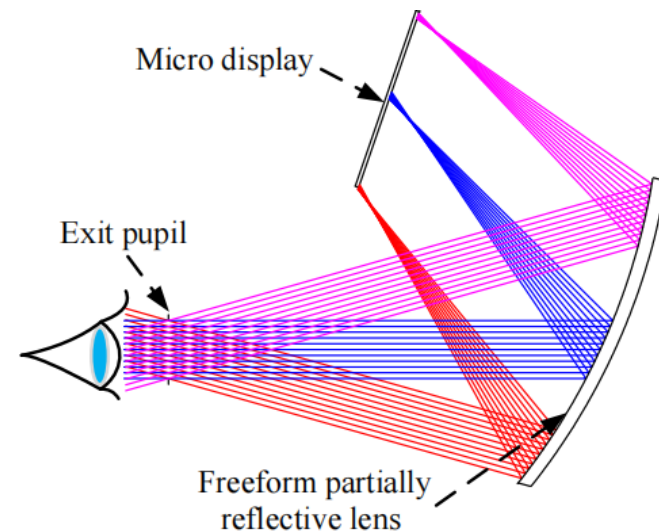
图表：谷歌眼镜Google Glass采用棱镜方案



图表：棱镜方案原理图



图表：离轴反射方案原理图

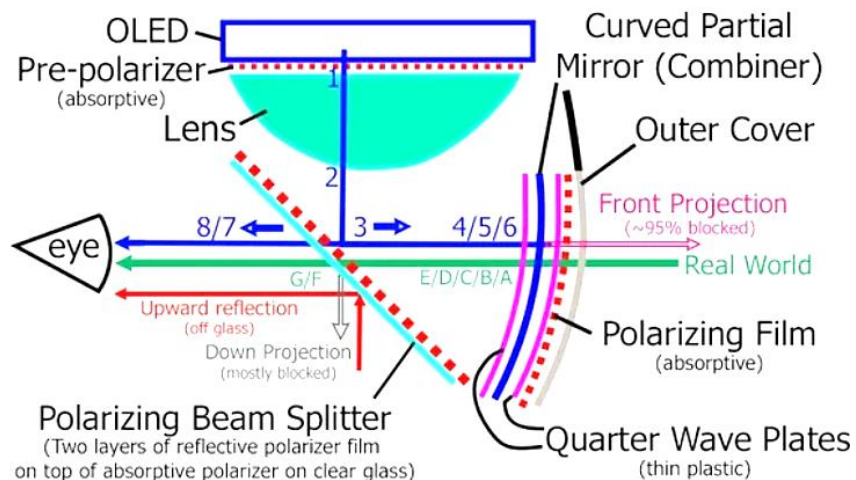


2.2 AR光学：BirdBath和自由曲面方案

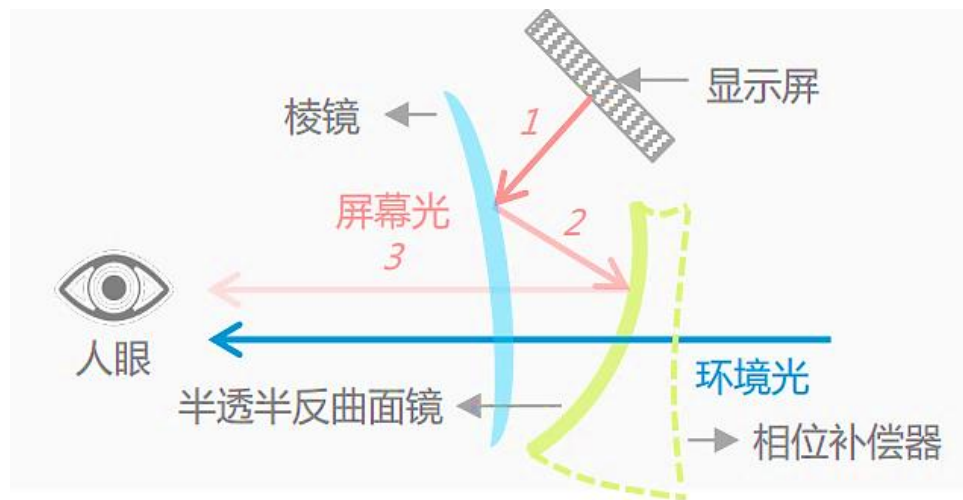
■ BirdBath和自由曲面方案：目前C端较为成熟的量产方案。

- BirdBath方案：通过半球形棱镜将画面放大、变焦，经过偏振分束器反射到前方曲面镜（60%透过/40%反射），再通过两层四分之一波片使光相位旋转90°，最后经过偏振分束器进入人眼。该方案优势在于视场角较大、重量轻、成本较低，缺点在于模组较厚、光损严重、透光率低，BB方案可看作是短期内均衡成本和显示效果的快速落地方案，也是现阶段消费级AR眼镜的主流方案。
- 自由曲面方案：具有反射和透射功能的自由曲面棱镜将显示屏投射的图像反射进入人眼，外部景象通过曲面镜直接进入人眼，其中补偿器用于校正自由曲面棱镜引起的环境视图畸变。该方案技术较为成熟，光损较低，视场角适中，缺陷在于棱镜镜片较厚，可能出现畸变。伴随自由曲面技术持续迭代，模组厚度逐步减小，高通骁龙XR2 AR智能眼镜参考设计采用的耐德佳自由曲面钻石Pro方案，模组厚度已减小至10.4mm，透光率提升至60%。

图表：Birdbath方案原理图



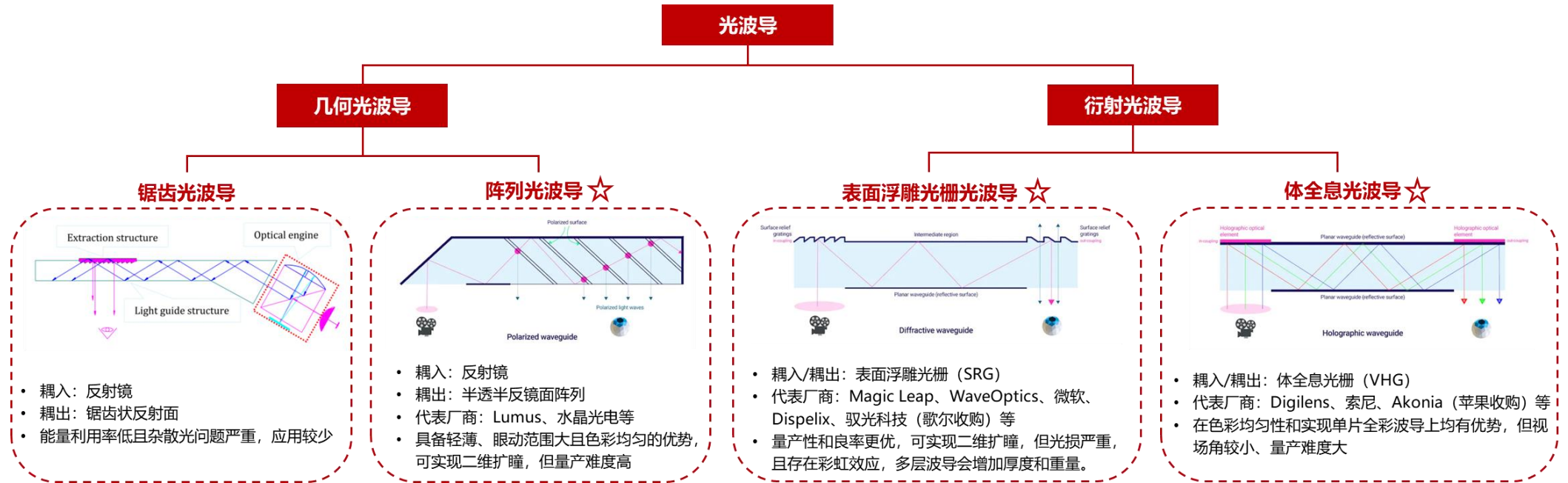
图表：自由曲面方案原理图



2.3 AR光学：光波导方案

- 光波导：体积/透光率/清晰度等优势明显，有望成为主流AR光学方案。
 - 光波导AR眼镜包括显示模组、波导片和耦合器三部分，显示模组发出的光线通过耦入器件进入光波导，在波导内以全反射的形式向前传播，最后通过耦出器件耦出光波导进入人眼成像。
 - 按照耦入耦出器件的不同，光波导可分为几何光波导和衍射光波导，其中几何光波导以阵列光波导为主导，衍射光波导又分为表面浮雕光栅光波导（SRG）和体全息光波导（VHG）。
 - 光波导方案在体积、透光率、清晰度、视场角等方面均具备优势，有望成为主流AR光学方案。

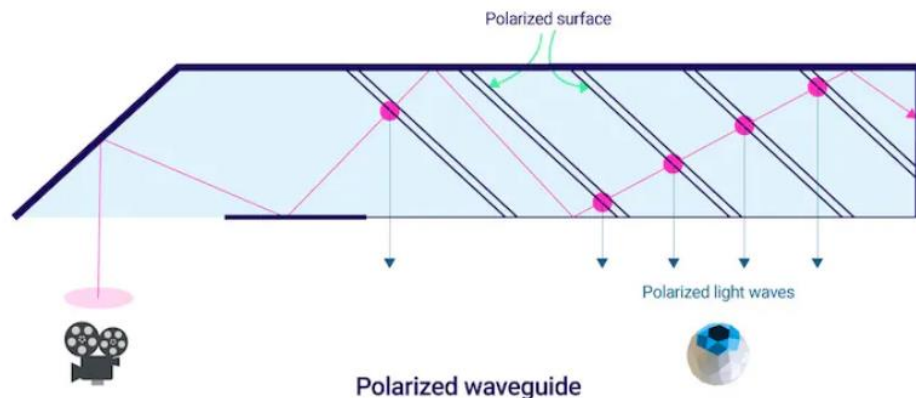
图表：AR光波导方案



2.3.1 阵列光波导：成像效果优秀，量产难度较大

- 阵列光波导：成像效果优秀，二维扩瞳解决了光机体积与视场角、EyeBox的矛盾。
- 一维扩瞳：光线通过反射镜耦合入波导片，在波导片中经过多轮全反射后到达半透半反镜面，部分光线反射耦出进入人眼，未耦出光线透过镜面到达下个镜面，重复反射/透射过程，直至最后一个镜面将剩余光线全部耦出到人眼。一维扩瞳阵列光波导能将EyeBox从4mm扩大到10mm+，且杂散光少，光线调制均匀，成像质量、色彩以及对比度水平较高。
- 二维扩瞳：在两个区域分别设置反射阵列，第一个区域实现一个方向的扩瞳，同时将光束传导至第二个区域，进行另一个方向的扩瞳，可以是纵向→横向扩瞳，也可以是横向→纵向扩瞳。二维扩瞳阵列光波导解决了光机体积与视场角、EyeBox的核心矛盾，能够有效增加EyeBox和视场角（可达50%+），显著减小光机体积，更好地满足消费级用户对AR眼镜的形态体积以及成像效果的要求。
- 优势总结：阵列光波导除了拥有光波导共有的轻薄化优势外，相比于已量产的表面浮雕光栅衍射光波导，其成像效果更为优秀（杂散光少/色彩均匀/EyeBox&视场角较大/分辨率高），几乎无漏光问题（1%-5%），且光损较低，可以减小光机功耗增加续航。

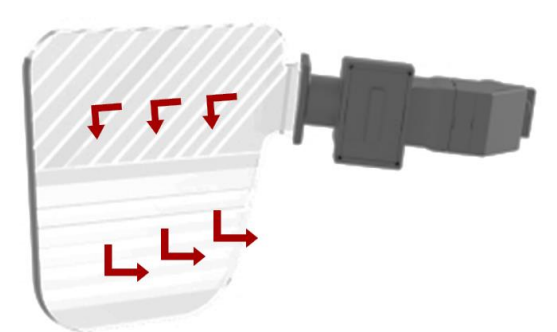
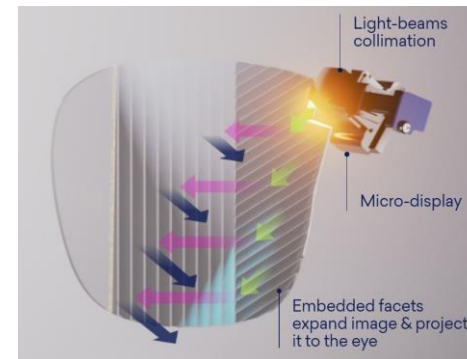
图表：阵列光波导原理（一维扩瞳）



图表：阵列光波导二维扩瞳

1) Lumus: 纵向扩瞳→横向扩瞳

2) 珑璟光电: 横向扩瞳→纵向扩瞳



2.3.1 阵列光波导：成像效果优秀，量产难度较大

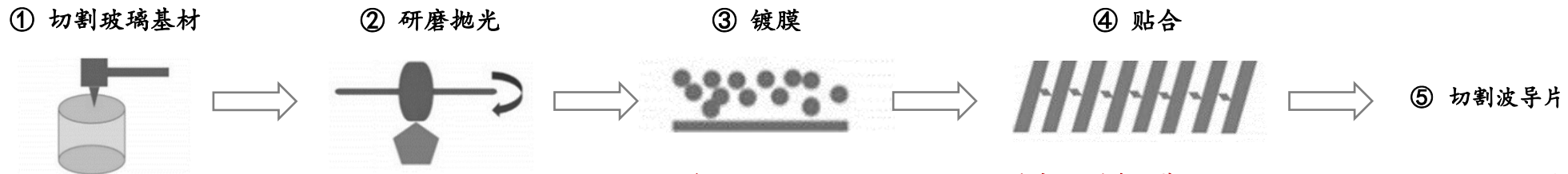
■ **核心问题：量产难度大，明暗条纹影响美观。**

- **量产难度大：**阵列波导制作涉及镜面镀膜、贴合、切割等流程，阵列镜面膜层多达几十层且每个镜面反射/透射比不同，需要镀不同层数的膜，贴合合时多镜面间平行度要求极高，总良率难以保证，此外，贴合后的切割角度也会影响成像质量。若采用二维扩瞳技术，量产难度进一步提升，理论上量产成本比一维扩瞳高4-5倍。
- **明暗条纹：**半透半反镜面阵列天然存在明暗条纹，影响美观。

■ **技术升级关键：**

- 1) 键合技术升级：分子键合技术代替传统胶水贴合，即利用分子间范德华力使镜片紧密平整地贴合，加强键合强度、提升贴合面平整度，且不受胶水折射率影响，由于贴合玻璃片数量较多、精度要求较高，实际工艺流程中仍有较大难度。
- 2) 镀膜、键合等核心环节自动化设备的开发；
- 3) 支持屈光度定制，代替外加近视镜片的方案，更加轻薄化。

图表：阵列光波导制备过程



难点1：多层镀膜工艺

1) 为保证出光均匀性，每个阵列镜面的膜多达几十层，每个膜层厚度以nm为单位。
2) 不同镜面的反射/透射比不同，需在镜面上镀不同层数的膜以控制多个膜层的反射率和透射率。

难点2：贴合工艺

贴合多镜面堆叠的胶水对折射透射光的影响难以把控，工艺对贴合后的平行度要求极高，多膜层难度叠加使得总良率难以保证。

难点3：切割工艺

需按特定角度切割成不同形状，需保证超高精密度，否则出现成像瑕疵，如黑色条纹、出光亮度不均匀、鬼影。

2.3.1 阵列光波导：成像效果优秀，量产难度较大

■ 阵列光波导主要玩家：

- **Lumus**：全球阵列光波导龙头，与Meta、苹果等密切合作。率先提出二维扩瞳阵列光波导技术，先后推出Maximus和Z-Lens两款二维产品，Z-lens分辨率2K*2K，亮度3000nit，FOV 50°，光机体积缩小约50%，可粘合动态聚焦透镜（缓解VAC问题）和近视镜片，无漏光炫光问题。
- **水晶光电**：2016年参与Lumus B轮融资，与Lumus、肖特共同推动二维阵列光波导量产落地。
- **其他国内厂商**：灵犀微光、珑璟光电、理湃光晶、谷东科技等厂商在阵列波导均有布局，量产年产能可在10万片左右，主要针对一维扩瞳产品，二维产品处于小批量/在研阶段。

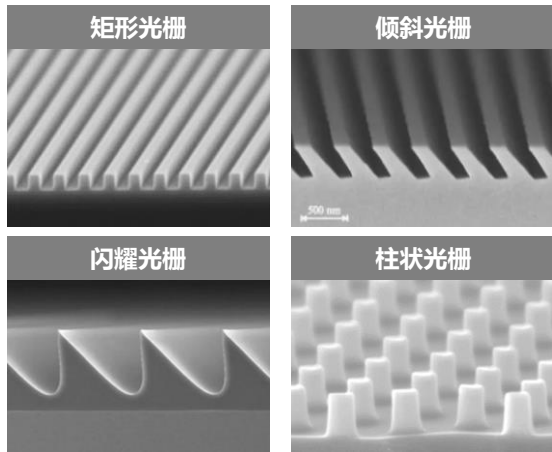
图表：阵列光波导主要玩家梳理

厂商	二维扩瞳阵列光波导产品							阵列光波导量产进展/合作
	型号	视场角	出瞳距离	EyeBox	入眼亮度	分辨率	重量	
Lumus	Maximus	50°	-	12mm*12mm	>3000nits	1440*1440	20g	与肖特、水晶光电、广达等厂商共同推进阵列波导片量产；与Meta、苹果等科技公司密切合作
	Z-Lens	50°	-	-	3000nits 光机体积缩小50%	2K*2K	-	
灵犀微光	2D-L	34°	20mm	12mm*10mm	800-1500nits	1280*720	8g	杭州、无锡自动化产线，10万片年产能；曾获红杉资本、舜宇光学等投资
	2D-40	42°	25mm	15m*15mm	500-1000nits	1280*720	12g	
	2D-60	60°	25mm	12mm*8mm	500-1000nits	1920*1080	16g	
珑璟光电	LCE2117V	28°	20mm	12mm*13mm	-	854*480	-	垂直阵列光波导搭载于INMO Air2；深汕光波导工厂具备阵列光波导量产能力
理湃光晶	光学显示模组-G3-E	40-70°	18mm	10mm*10mm	500-900nits	1280*720	<18g	江苏昆山生产基地于2022年初建成，一期规划年产能10万套
谷东科技	M2060	60°	22m	12mm*14mm	>500nits	1920*1080	18g	多款一维阵列光波导产品在售，二维产品在研

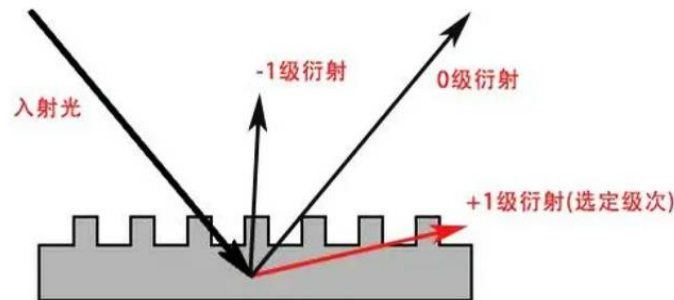
■ 成像原理：

- **表面浮雕光栅**（Surface Relief Grating, SRG）：具有周期性变化结构/凹槽的光栅结构，一般分为一维光栅（矩形光栅/倾斜光栅/闪耀光栅等）和二维光栅（柱状光栅等）。
- **衍射原理**：光束入射光栅后会被分束为多个不同方向的衍射级次，通过调节光栅周期/占空比/深度等参数优化衍射效率，能使得某个方向的衍射光束具有最高衍射效率（通常选择非0衍射级次作为工作级次），实现光束定向传输。
- **表面浮雕光波导原理**：基于上述衍射原理，通过表面浮雕光栅耦合入波导片，在波导片中全反射后通过表面浮雕光栅耦出进入人眼，实现一维扩瞳，二维扩瞳一般通过转折光栅或二维光栅实现。

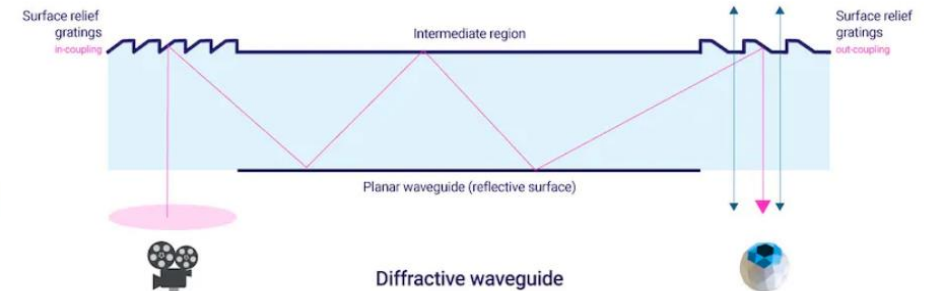
图表：表面浮雕光栅种类



图表：衍射原理



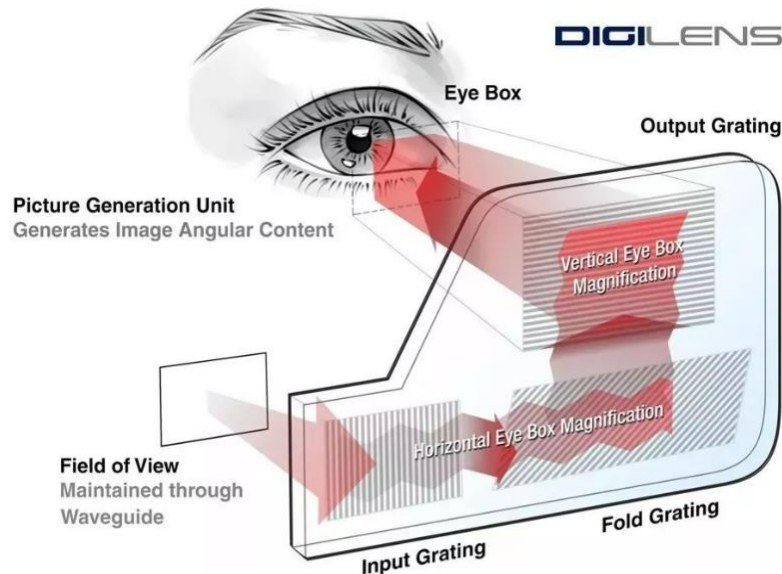
图表：表面浮雕光栅光波导原理



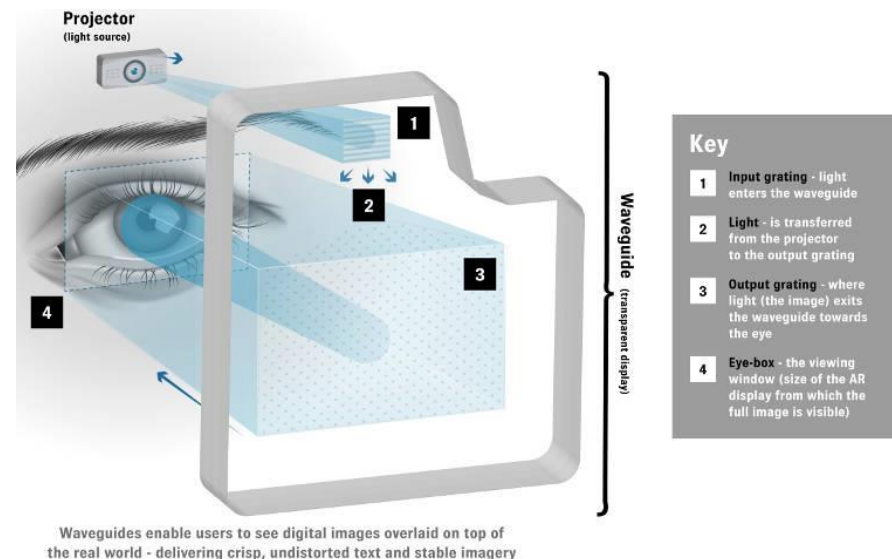
■ 衍射光波导二维扩瞳：

- 转折光栅：转折光栅二维扩瞳IP主要由微软和Vuzix持有，体全息光波导厂商Digilens也采用类似的转折光栅技术，如左图，光束从入射光栅进入转折光栅，转折光栅实现水平扩瞳的同时将光束反射进入出射光栅，最终由出射光栅完成垂直扩瞳和耦出过程。
- 二维光栅：以WaveOptics柱状光栅扩瞳为例，光束通过入射光栅进入波导片后，通过出射光栅（二维光栅）实现多方向的扩束以及光束的耦出。二维光栅设计难度非常高，需要控制耦出光线的均匀性，相比于转折光栅，二维光栅扩瞳减少了光损耗，增大了出射光栅面积，有效扩大EyeBox范围。

图表：转折光栅二维扩瞳



图表：二维光栅二维扩瞳



■ 表面浮雕光波导量产难度较低：

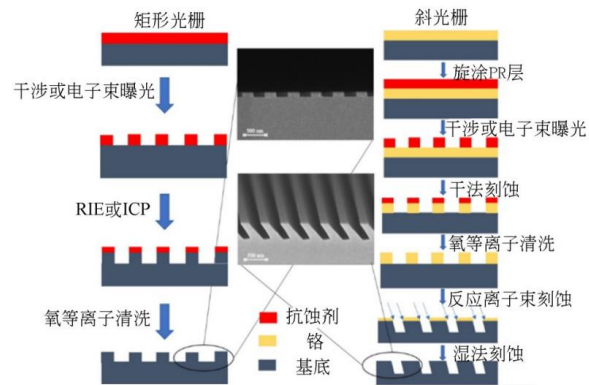
- 1) 母版制备：基于半导体加工工艺，旋涂抗蚀剂层—干涉/电子束曝光—反应离子刻蚀—去除抗蚀剂层。
- 2) 批量生产：一般采用紫外线纳米压印光刻法批量生产，母版—步进母版—旋涂压印胶—结构压印—紫外线曝光固化—功能性图层覆盖波导—激光切割。

■ 前沿工艺：

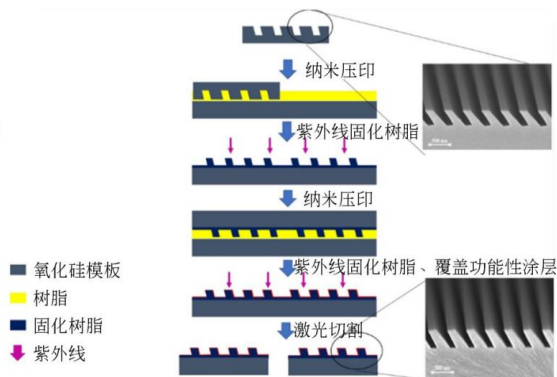
- 残胶层控制：纳米压印过程中往往会留下残胶层，而残胶层对光学性能有影响，因此需要尽量减小甚至去除残胶层，2023年Digilens发布的SRG+工艺能够实现无残胶层的SRG结构。
- 纳米压印+刻蚀 (NIL+Etching)：将低折射率树脂作为后期干法刻蚀的可牺牲层，纳米压印后用干法刻蚀将残胶层刻透并刻蚀至下方玻璃层，再将树脂纳米压印胶去除。这种工艺的光栅折射率RI可达2.0以上，可靠性更高，但工艺难度和成本都更高。

- 材质：树脂vs玻璃。树脂密度仅为玻璃的1/4-1/3，且具备抗摔等特性，23年魅族、努比亚等AR眼镜均采用树脂SRG光波导。树脂的缺陷在于折射率低，树脂折射率普遍为1.74，而玻璃材质可达2.0，影响fov和色彩均匀性。从成本角度，树脂成本理论上较玻璃低，但由于目前良率较低，成本优势并不明显。

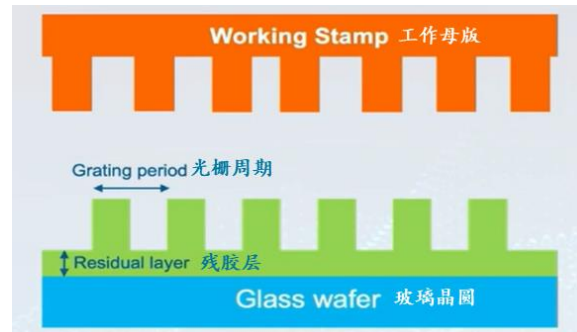
图表：SRG母版制备



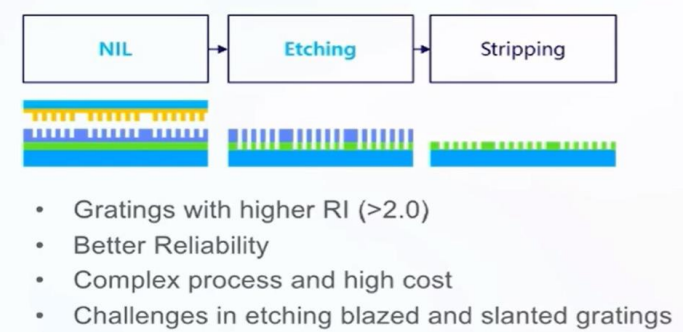
图表：SRG大批量复制量产



图表：SRG残胶层



图表：NIL+Etching工艺流程

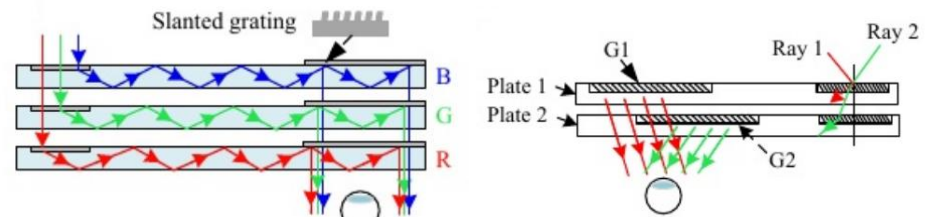
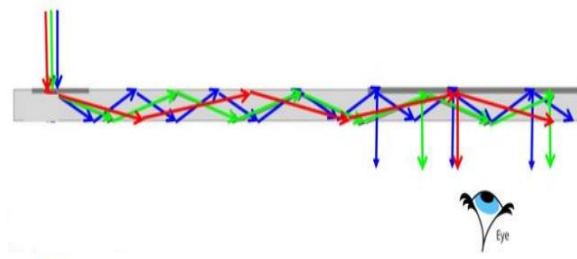


- **核心问题：彩虹效应，视场角小，光效低，漏光。**
- **彩虹效应：**相同的光栅周期，波长越长衍射角越大 ($R>G>B$)，因此不同波长的TIR (Total internal reflection) 往返长度不同，反弹次数不同 ($R<G<B$)，红光fov被限制在较低范围内，而蓝光fov相对较大，此外，同一颜色的衍射效率也会受入射角度影响，两个因素共同导致视场角和动眼框范围内RGB比例不均匀，即出现彩虹效应。
- **视场角小：**受入射角限制影响，当前SRG产品视场角普遍在20-30°。
- **光效低：**光损较为严重，平均光效水平在0.3%-1%，需要高亮度的显示屏配合使用。（倾斜光栅和闪耀光栅衍射效率较高）
- **漏光：**光在出瞳区域会通过透射和反射进入前方外界环境，使得镜片呈现使用画面，泄漏用户隐私。
- **多层光波导vs单层光波导：**设计多个波导片（一般二或三层），分别传输不同波长范围的光，可以改善颜色均匀性，减小彩虹效应，增大视场角，但不可避免会增加系统的重量和厚度。从产品应用来看，单色显示的SRG单层波导方案技术和量产难度较低，应用较多，全彩显示更多采用两层波导方案，重量和成本较三层方案更优，后续如何采用单层波导实现均匀全彩显示是各大厂商努力的方向。

图表：阵列&SRG漏光问题对比

图表：单层SRG光波导彩虹效应

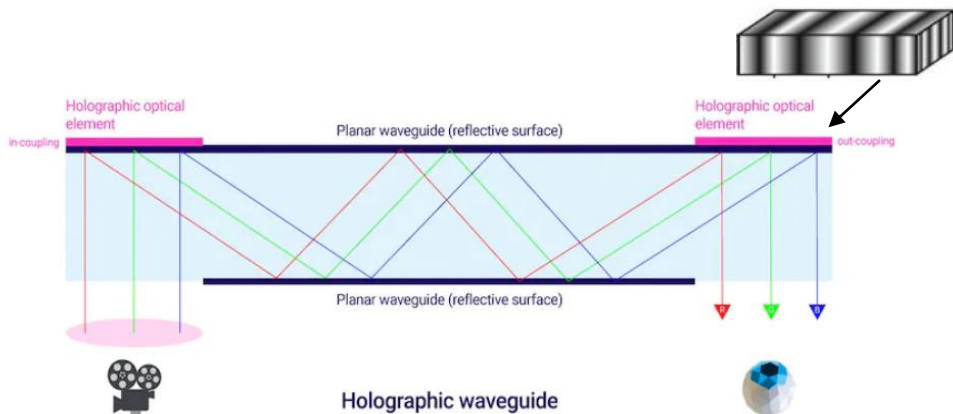
图表：多层光波导方案



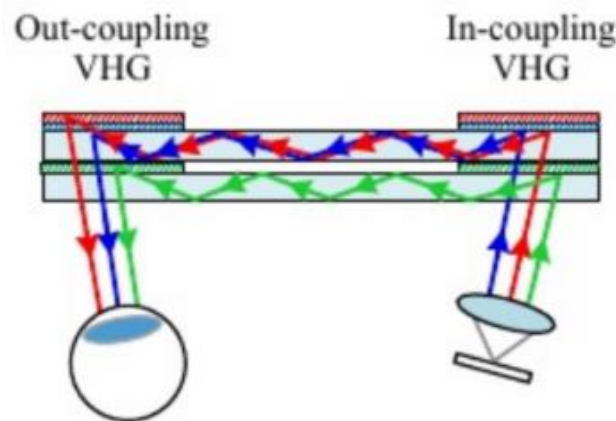
2.3.3 体全息光波导：理论优势明显，材料&工艺要求高

- **体全息光栅 (Volume Holographic Grating, VHG)**：通过双光束全息曝光技术在介质中形成干涉条纹，从而获得折射率周期性变化的光栅结构，当介质的厚度远大于光波长时这种结构称为体全息光栅。体全息光波导基于衍射原理，将体全息光栅作为光线耦合和耦合出的器件。体全息光波导包括反射式和透射式，其中反射式方案应用更多。
- **全彩-体全息波导**：使用三色激光器同时加工，或采用多层波导片方案分离RGB光路，提升色彩均匀性。
- **二维扩瞳**：与SRG光波导类似，分为转折光栅和二维矢量两个路径。
- **相比于表面浮雕光波导，体全息光波导理论优势明显**：1) 衍射效率更高：理论上在满足布拉格条件时，体全息光栅衍射效率可达100%；2) 成像更优：由于体全息本身的角度选择性和波长选择性，不存在漏光问题，可通过光机和光栅设计优化大幅减弱彩虹效应；3) 可能打破视场角限制：采用特殊全息材料可打破波导基体折射率带来的视场角限制；4) 量产成本低：无需投资SRG纳米压印方案中制作母版的机器和母版制作的成本，在复用性和降本上有明显优势。

图表：体全息光波导原理



图表：斜光轴全彩VHG光波导



注：全彩多层体全息波导，为减小杂散光，将显示器和准直器光轴相对于耦合的全息图倾斜 10° ，fov两端布拉格视差从45nm减小到37nm，色域从76%增加到120%。

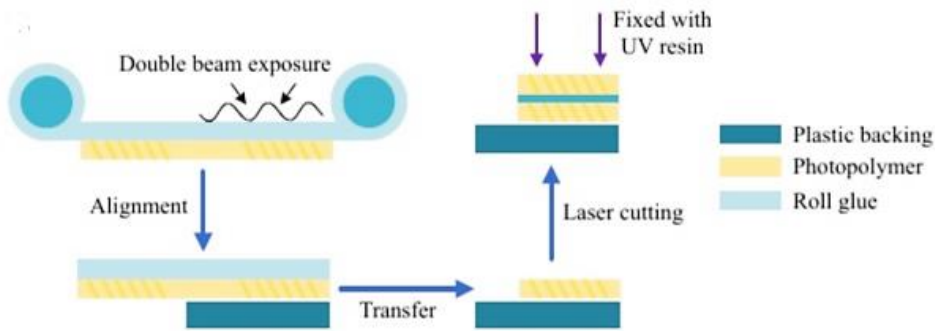
2.3.3 体全息光波导：理论优势明显，材料&工艺要求高

■ 体全息光波导制造：

- 将感光胶涂布在玻璃/树脂基底上曝光制造，或在膜片上制造成全息光栅后复合或转移到玻璃/树脂波导上。
 - 索尼卷对卷工艺：1) 双束干涉曝光法在光敏聚合物薄膜上形成体全息图案；2) 通过注射成型获得塑料波导；3) 体全息薄膜与塑料波导对准贴合后切割成指定图案；4) 配色，将红、蓝波导和绿色波导对准并用UV树脂封装固定。
 - Digilens波导印刷工艺：核心是超高折射率全息光聚合物（光聚合物+液晶），工艺分为母版制作和波导印刷，灵活性高，可实现数字化模板设计。
- **量产难点**：体全息光栅是基于材料特性而开发的制程工艺，因此核心难点在于全息材料的选择和制备，材料将直接影响全息涂层均匀性和波导Fov等光学性能。此外，实际量产时曝光/生产的环境稳定性要求非常严格，湿度/温度/流通性都会影响效果。
- **主要玩家**：海外代表公司包括索尼、Digilens、Akonia（苹果收购），国内包括水晶光电、谷东科技、三极光电等。

图表：体全息光波导主要玩家梳理

图表：索尼体全息卷对卷工艺



厂商	体全息光波导布局
索尼	推出卷对卷体全息光栅波导制备工艺，2016年曾推出单绿色体全息波导LMX-001。
Digilens	基于可切换布拉格光栅SBG技术推出了双层全彩体全息光波导，推出波导印刷量产工艺。2023年体全息全彩AR眼镜ARGO，搭载高通骁龙XR2，视场角30°，分辨率1280*720，搭载LCOS显示器，亮度2500nits。
Akonia	体全息光波导代表公司之一，拥有丰富的体全息系统和材料相关专利，2018年被苹果收购。
水晶光电	作为Digilens在国内的独家授权生产商，2024年5月宣布完成波导产线升级，以满足ARGO眼镜市场需求，并与一线客户探索多重应用场景。
谷东科技	拥有单绿色/全彩二维扩瞳体全息波导产品，视场角40°，自研高折树脂、光敏聚合物等材料。
三极光电	材料、全息波导系统设计和制造自主可控。

目录

一、硬件&生态共振，AI+AR演进趋势清晰

二、AR光学：技术持续迭代，光波导方案潜力大

三、AR显示：多方案并存，MicroLED前景广阔

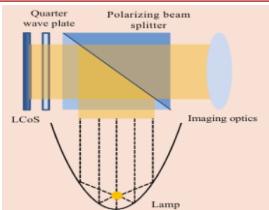
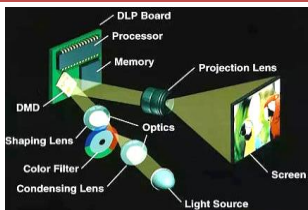
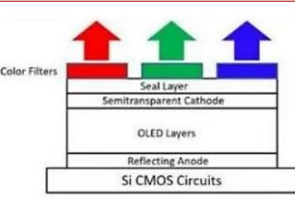
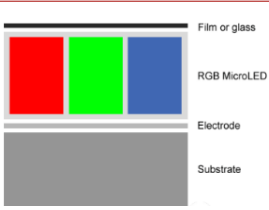
四、AR产业链核心标的

五、投资建议&风险提示

3.1 AR显示：多方案并存，MicroLED前景广阔

- LCoS和DLP属于光调制显示器，显示效果中等偏上，但存在体积大等问题。
- LCoS：性价比高，但体积大、功耗高。LCoS（Liquid Crystal on Silicon）利用电压诱导的液晶重定向来调制入射光的偏振状态，同时使用像素化的金属镜面来反射调制后的光。LCoS技术成熟、性价比高，采用激光背光的LCoS能实现较高亮度和分辨率；缺点在于模组体积大、功耗高等。LCOS主要搭配光波导方案使用，代表产品包括Magic Leap 1/2、Hololens等。

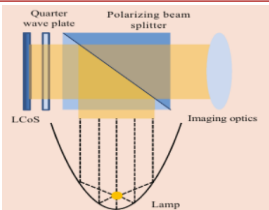
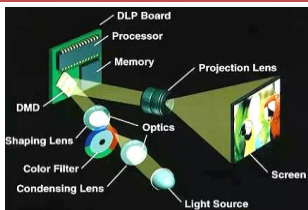
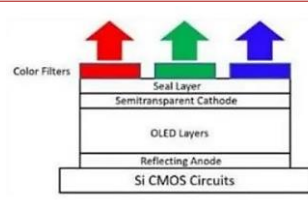
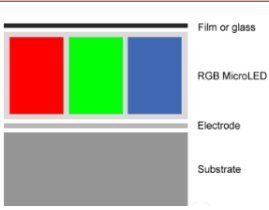
图表：AR主流显示技术对比

	LCoS	DLP	MicroOLED	MicroLED
技术原理				
技术特点	反射式微液晶显示，需外部光源 器件结构复杂 结合LCD和CMOS技术	数字微镜阵列，需外部光源 器件结构复杂 基于MEMS技术，核心器件DMD	有机自发光 器件结构简单 结合OLED和CMOS技术	无机自发光 器件结构简单 涉及LED微缩化和矩阵化技术
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>10000nit	1000-6000nit	100000nit（全彩） 1000000nit（蓝/绿）
响应时间	ms（毫秒）	μs（微秒）	μs（微秒）	纳秒（ns）
优点	技术成熟，实现规模量产，性价比高	显示效果好，实现规模量产	像素密度高，对比度高，色域广 体积小，功耗低	像素密度高，亮度高，对比度高，色域广 响应速度快，体积小，灵活性高，低功耗 无机材料使用寿命长
缺点	需要外部光源导致模组体积较大 存在发热及高功耗问题	体积较大，像素密度难以提升 TI独供芯片成本较高	工艺难度大，成本高，综合良率低 亮度低，有机材料使用寿命较短	成本高昂，量产难度大 存在像素间距问题、红光效率问题等
供应商	索尼，韦尔股份，Kopin等	TI	索尼、京东方和视涯	JBD, Glo, Plessey等
代表产品	Magic Leap One, Magic Leap 2, Hololens 1, Google Glass	Vuzix Blade	Xreal Air 2, Rokid Max, INMO Air 2等	多款单色衍射光波导AR眼镜 雷鸟X2全彩
适用光学方案	光波导	光波导	Birdbath, 自由曲面, 光波导	自由曲面, 光波导

3.1 AR显示：多方案并存，MicroLED前景广阔

- LCoS和DLP属于光调制显示器，显示效果中等偏上，但存在体积大等问题。
- DLP：显示效果好，PPI和体积难以进一步优化。DLP（Digital Light Processing）核心器件是DMD芯片，DMD上每个微镜片控制一个像素，光线通过透镜和色轮后到达DMD芯片，通过控制DMD上每个微镜片的“开”（黑）和“关”（白）来产生彩色图像。DLP技术对比度高、色彩丰富细腻，量产技术成熟，响应时间较LCoS快，但体积较大，像素密度（PPI）难以提升，且需使用TI独供芯片成本较高。

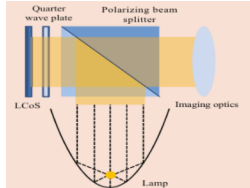
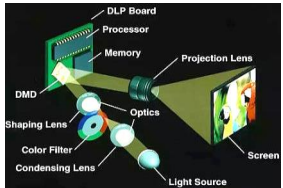
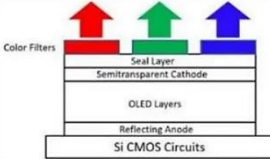
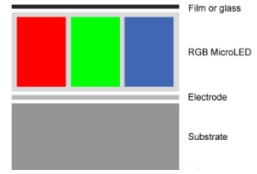
图表：AR主流显示技术对比

	LCoS	DLP	MicroOLED	MicroLED
技术原理				
技术特点	反射式微液晶显示，需外部光源 器件结构复杂 结合LCD和CMOS技术	数字微镜阵列，需外部光源 器件结构复杂 基于MEMS技术，核心器件DMD	有机自发光 器件结构简单 结合OLED和CMOS技术	无机自发光 器件结构简单 涉及LED微缩化和矩阵化技术
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>10000nit	1000-6000nit	100000nit（全彩） 1000000nit（蓝/绿）
响应时间	ms（毫秒）	μs（微秒）	μs（微秒）	纳秒（ns）
优点	技术成熟，实现规模量产，性价比高	显示效果好，实现规模量产	像素密度高，对比度高，色域广 体积小，功耗低	像素密度高，亮度高，对比度高，色域广 响应速度快，体积小，灵活性高，低功耗 无机材料使用寿命长
缺点	需要外部光源导致模组体积较大 存在发热及高功耗问题	体积较大，像素密度难以提升 TI独供芯片成本较高	工艺难度大，成本高，综合良率低 亮度低，有机材料使用寿命较短	成本高昂，量产难度大 存在像素间距问题、红光效率问题等
供应商	索尼，韦尔股份，Kopin等	TI	索尼、京东方和视涯	JBD, Glo, Plessey等
代表产品	Magic Leap One, Magic Leap 2, Hololens 1, Google Glass	Vuzix Blade	Xreal Air 2, Rokid Max, INMO Air 2等	多款单色衍射光波导AR眼镜 雷鸟X2全彩
适用光学方案	光波导	光波导	Birdbath, 自由曲面, 光波导	自由曲面, 光波导

3.1 AR显示：多方案并存，MicroLED前景广阔

- MicroOLED和MicroLED属于自发光微型显示器，成像效果优秀，但量产难度/成本高。
- **MicroOLED：**与Birdbath搭配效果较好应用较多。原理与OLED相近，以单晶硅基板替代玻璃基板，在CMOS电路顶层制作OLED有机发光二极管。优势在于像素密度高、色域广、响应速度快、体积小、功耗低，但量产成本高，且亮度低、使用寿命短。Micro OLED最大亮度约6000nit，而SRG衍射光波导光效1%左右，入眼亮度仅60nit，因此MicroOLED无法适用SRG衍射光波导，而阵列光波导光效10%-15%，搭配后亮度300-500nit，仅局限室内使用。从量产方案来看，Birdbath搭配MicroOLED方案效果较好因此更为普遍，包括Rokid、雷鸟、INMO等多款产品。

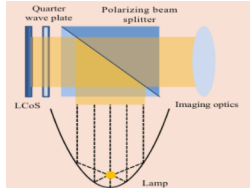
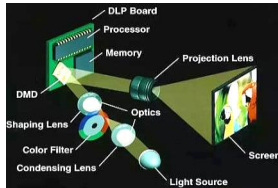
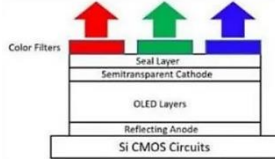
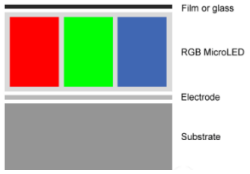
图表：AR主流显示技术对比

	LCoS	DLP	MicroOLED	MicroLED
技术原理				
技术特点	反射式液晶显示，需外部光源 器件结构复杂 结合LCD和CMOS技术	数字微镜阵列，需外部光源 器件结构复杂 基于MEMS技术，核心器件DMD	有机自发光 器件结构简单 结合OLED和CMOS技术	无机自发光 器件结构简单 涉及LED微缩化和矩阵化技术
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>10000nit	1000-6000nit	100000nit (全彩) 1000000nit (蓝/绿)
响应时间	ms (毫秒)	μs (微秒)	μs (微秒)	纳秒 (ns)
优点	技术成熟，实现规模量产，性价比高	显示效果好，实现规模量产	像素密度高，对比度高，色域广 体积小，功耗低	像素密度高，亮度高，对比度高，色域广 响应速度快，体积小，灵活性高，低功耗 无机材料使用寿命长
缺点	需要外部光源导致模组体积较大 存在发热及高功耗问题	体积较大，像素密度难以提升 TI独供芯片成本较高	工艺难度大，成本高，综合良率低 亮度低，有机材料使用寿命较短	成本高昂，量产难度高 存在像素间距问题、红光效率问题等
供应商	索尼，韦尔股份，Kopin等	TI	索尼、京东方和视涯	JBD, Glo, Plessey等
代表产品	Magic Leap One, Magic Leap 2, Hololens 1, Google Glass	Vuzix Blade	Xreal Air 2, Rokid Max, INMO Air 2等	多款单色衍射光波导AR眼镜 雷鸟X2全彩
适用光学方案	光波导	光波导	Birdbath, 自由曲面, 光波导	自由曲面, 光波导

3.1 AR显示：多方案并存，MicroLED前景广阔

- **MicroOLED和MicroLED属于自发光微型显示器，成像效果优秀，但量产难度/成本高。**
- **MicroLED：各项参数优势显著，体积更小。** MicroLED是基于LED的微型显示技术，每个像素均可自主发光，MicroLED有高密度和低密度之分，应用于ARVR的是高密度MicroLED，PPI>2000，LED颗粒尺寸仅1-10μm。MicroLED核心优势在于：1) 亮度高（亮度十万甚至百万尼特，搭配衍射光波导入眼亮度可达1000nit以上）；2) 响应速度快（纳秒级别）；3) 体积更小，适合消费级AR（JBD MicroLED全彩光机“蜂鸟”0.4cc，对比LBS/Micro OLED 0.5-1cc，新型LCOS/DLP 1-2cc），此外还具备对比度高、色域广、功耗低、使用寿命长等优点。

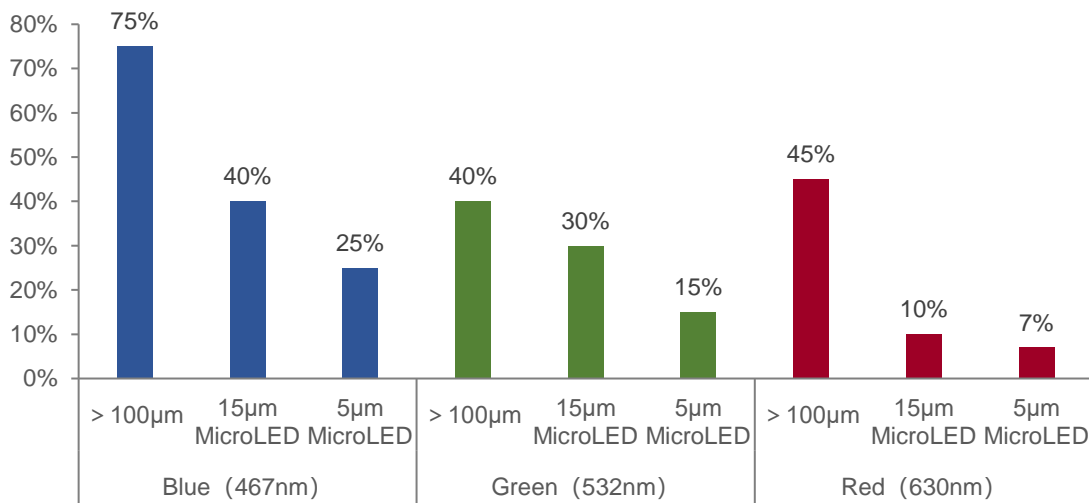
图表：AR主流显示技术对比

	LCoS	DLP	MicroOLED	MicroLED
技术原理				
技术特点	反射式液晶显示，需外部光源 器件结构复杂 结合LCD和CMOS技术	数字微镜阵列，需外部光源 器件结构复杂 基于MEMS技术，核心器件DMD	有机自发光 器件结构简单 结合OLED和CMOS技术	无机自发光 器件结构简单 涉及LED微缩化和矩阵化技术
亮度	根据背光源亮度决定 普遍>1000nit	根据背光源亮度决定 普遍>1000nit	1000-6000nit	100000nit（全彩） 1000000nit（蓝/绿）
响应时间	ms（毫秒）	μs（微秒）	μs（微秒）	纳秒（ns）
优点	技术成熟，实现规模量产，性价比高	显示效果好，实现规模量产	像素密度高，对比度高，色域广 体积小，功耗低	像素密度高，亮度高，对比度高，色域广 响应速度快，体积小，灵活性强，低功耗 无机材料使用寿命长
缺点	需要外部光源导致模组体积较大 存在发热及高功耗问题	体积较大，像素密度难以提升 TI独供芯片成本较高	工艺难度大，成本高，综合良率低 亮度低，有机材料使用寿命较短	成本高昂，量产难度高 存在像素间距问题、红光效率问题等
供应商	索尼，韦尔股份，Kopin等	TI	索尼、京东方和视涯	JBD, Glo, Plessey等
代表产品	Magic Leap One, Magic Leap 2, Hololens 1, Google Glass	Vuzix Blade	Xreal Air 2, Rokid Max, INMO Air 2等	多款单色衍射光波导AR眼镜 雷鸟X2全彩
适用光学方案	光波导	光波导	Birdbath, 自由曲面, 光波导	自由曲面, 光波导

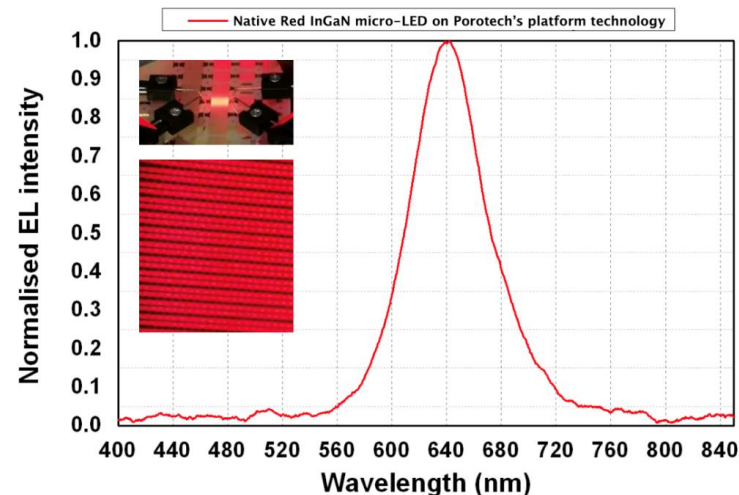
3.2 MicroLED：各项参数优势显著，量产技术仍待突破

- AR MicroLED不涉及巨量转移技术，但存在侧壁效应、红光效率低、全彩化技术复杂等难点。
- AR MicroLED不涉及巨量转移技术：巨量转移（将LED硅晶圆基板上生长的Micro LED转移到驱动背板）是MicroLED量产制造核心难题，转移良率和精准度要求极高，但由于AR显示器面积小，像素尺寸和间距只有几微米，不涉及巨量转移技术。
- MicroLED侧壁效应：MicroLED像素尺寸缩小、芯片的周长面积比增大，导致侧壁的表面复合增多，非辐射复合速率变大，从而致使光电效率下降，此外器件制备过程中的ICP刻蚀也会加重侧壁缺陷，侧壁效应会影响Micro LED实际功耗表现。
- MicroLED红光效率不足：蓝光、绿光LED是在蓝宝石、碳化硅或硅衬底上生长 InGaN 等三元材料，红光 LED 大多是在 GaAs 衬底上生长 AlGaInP 四元材料，相较于蓝绿光，AlGaInP红光MicroLED尺寸减小导致效率下降更为明显。材料创新（例如InGaN红光MicroLED）和技术优化是解决MicroLED红光效率不足的主要途径，23年10月JBD宣布其0.13英寸MicroLED红光芯片亮度突破100万尼特大关，其中，新一代AlGaInP外延技术极大减弱了MicroLED表面非辐射复合影响，延缓了红光MicroLED在<5um尺寸下的光效急剧衰减的趋势，结合芯片钝化技术，进一步突破了红光尺寸效应瓶颈。

图表：MicroLED红光效率不足



图表：MicroLED红光效率不足



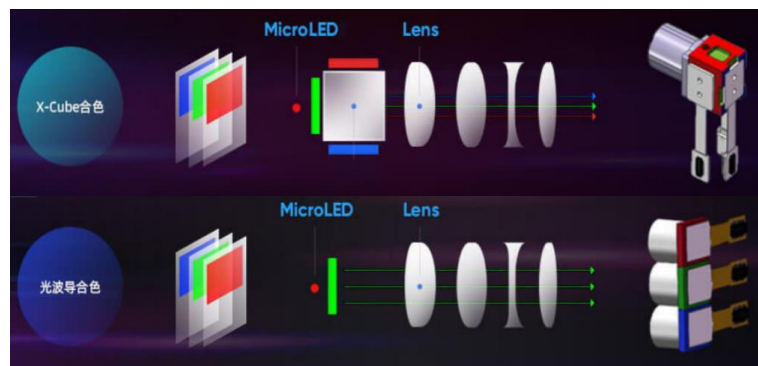
3.2 MicroLED: 各项参数优势显著, 量产技术仍待突破

- **MicroLED全彩化技术复杂:** 全彩MicroLED量产难度和成本较高, 应用产品较少, 据LEDinside统计, 2023年有9款Micro LED AR眼镜发布/上市 (2022年仅3款), 其中6款是单色MicroLED。当前MicroLED全彩化技术主要分为三类: 合色技术、量子点技术和单片堆叠技术。
- **合色技术:** 目前AR领域全彩MicroLED已量产的技术是合色技术, 1) X-Cube合色 (棱镜合色): R、G、B三个单色面板分别固定在X-cube (棱镜) 三个面, 三色通过X-cube合色后通过第四个面发出, 并由一组微透镜准直和投射, X-cube方案模组体积小于1.4cc。2) 光波导合色: 使用R、G、B三个独立单色光机进行合色, 一般搭配多层光波导/多个波导耦入口实现合色。
- **量子点技术:** 通过UV/蓝光LED发光激发量子点或荧光粉材料实现色彩转换, 由于荧光粉粒径较大, 一般采用量子点, 量子点被激发后易于调控出射光的发射波长, 可以发出RGB三色光, 通过色彩配比实现全彩化。由于量子点具有较窄的半峰宽和较宽的吸收光谱, 且发光效率很高, 因此显示的色彩纯度和饱和度较高。目前量子化技术实际应用的挑战主要在于材料稳定性差、寿命短、颜色均匀性不佳等问题。

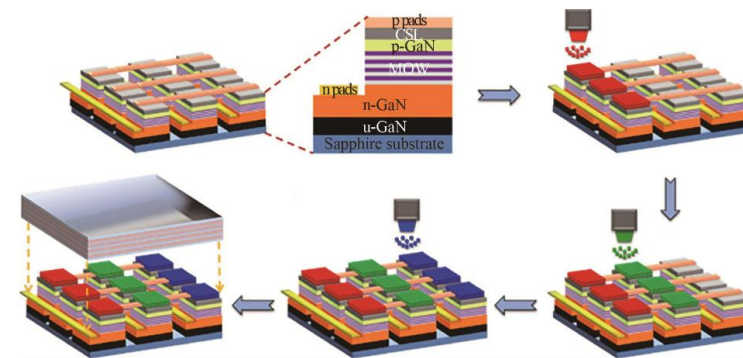
图表: 2023年MicroLED AR眼镜

品牌	产品名	显示	光学	发布时间	价格 (元)
魅族	MYVU Discovery	全彩Micro LED	树脂衍射光波导	11月	9999
	MYVU	单色Micro LED	树脂衍射光波导	11月	2499
Vuzix	UltraliteS	单色Micro LED	衍射光波导	11月	/
	Ultralite	单色Micro LED	衍射光波导	1月	/
李未可	Meta LensS3	单色Micro LED	衍射光波导	11月	1999
TCL	雷鸟X2	全彩Micro LED	衍射光波导	10月	4999
影目科技	INMO Go	单色Micro LED	衍射光波导	9月	1999
努比亚	nubia Neo Air	单色Micro LED	树脂衍射光波导	6月	/
Tesseract	JioGlass	全彩Micro LED	-	11月	/

图表: JBD MicroLED 合色方案



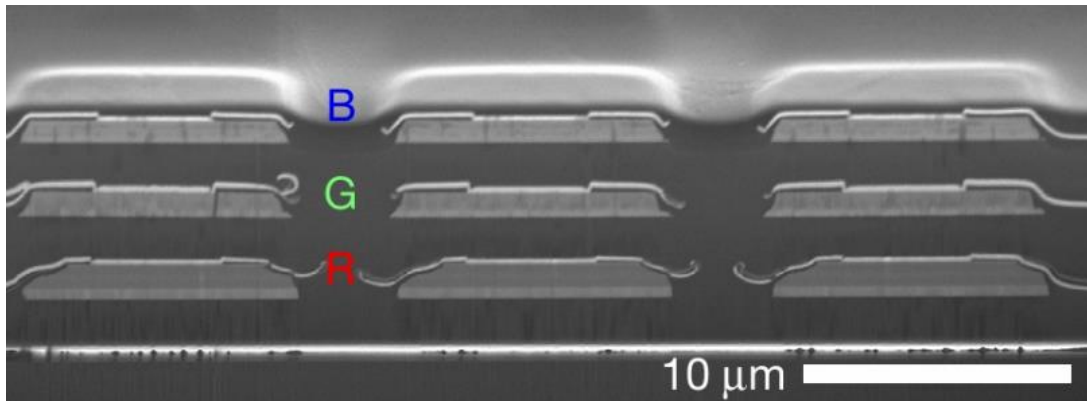
图表: 基于量子点的MicroLED制备流程



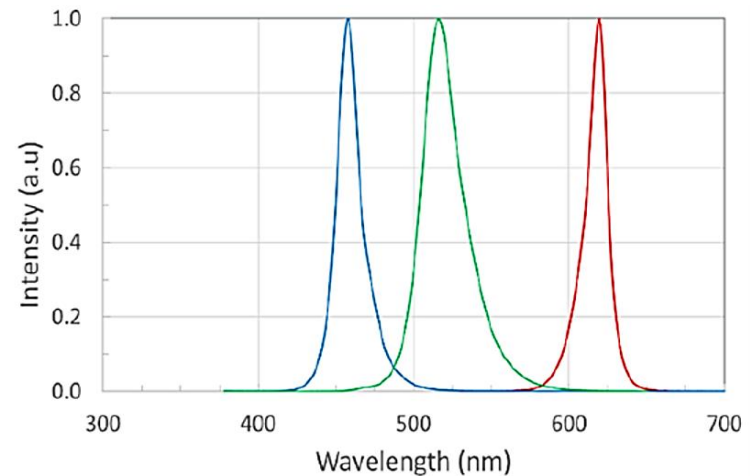
3.2 MicroLED：各项参数优势显著，量产技术仍待突破

- **MicroLED全彩化技术复杂：**全彩MicroLED量产难度和成本较高，应用产品较少，据LEDinside统计，2023年有9款MicroLED AR眼镜发布/上市（2022年仅3款），其中6款是单色MicroLED。当前MicroLED全彩化技术主要分为三类：合色技术、量子点技术和单片堆叠技术。
- **单片堆叠技术：**单片式全彩MicroLED具备更广泛的应用价值，视场角更大、光机体积更小，简化了AR眼镜系统级集成，减少了光学损耗，可实现更高的波导准直效率。1) 2023年2月MIT团队使用二维材料层转移开发出全彩垂直堆叠MicroLED，阵列密度达5100PPI，尺寸仅4 μm ，堆叠结构高度9 μm ；2) 23年8月JBD发布全球首款0.22英寸2K分辨率单片全彩垂直堆叠MicroLED原型Phoenix，Phoenix原型叠层总厚度小于5 μm ，可最大限度地减少腔体内的吸收损耗，加上原生外延材料能够发出高通量密度的光，最终可实现高达100万尼特亮度，此外，全原生色彩方案能够实现窄的半峰全宽FWHM光谱，色彩质量和纯度更高，该原型计划于25年批量生产。

图表：MIT 全彩垂直堆叠MicroLED



图表：JBD原生彩色RGB屏具有窄FWHM光谱



目录

一、硬件&生态共振，AI+AR演进趋势清晰

二、AR光学：技术持续迭代，光波导方案潜力大

三、AR显示：多方案并存，MicroLED前景广阔

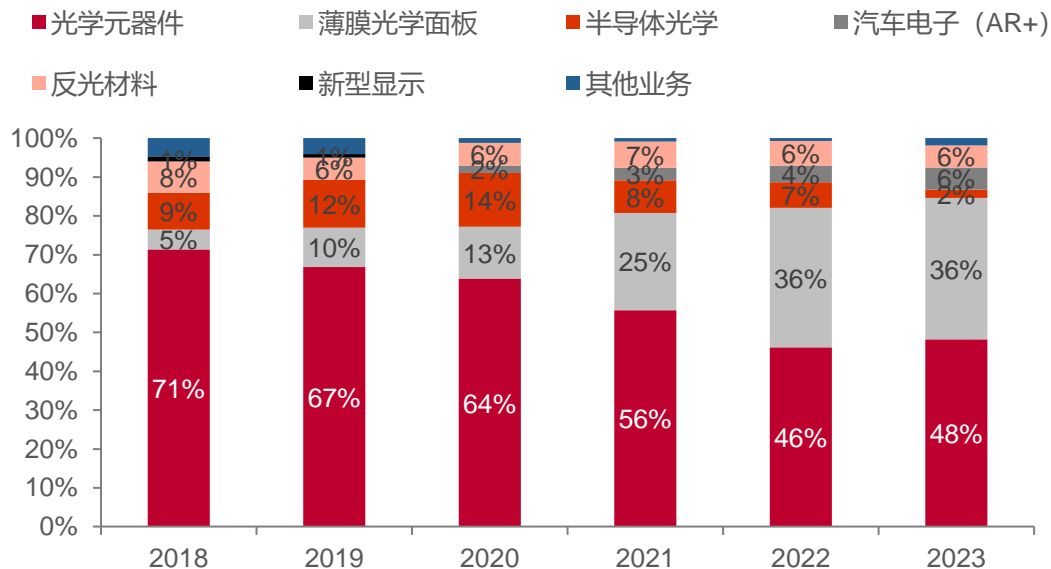
四、AR产业链核心标的

五、投资建议&风险提示

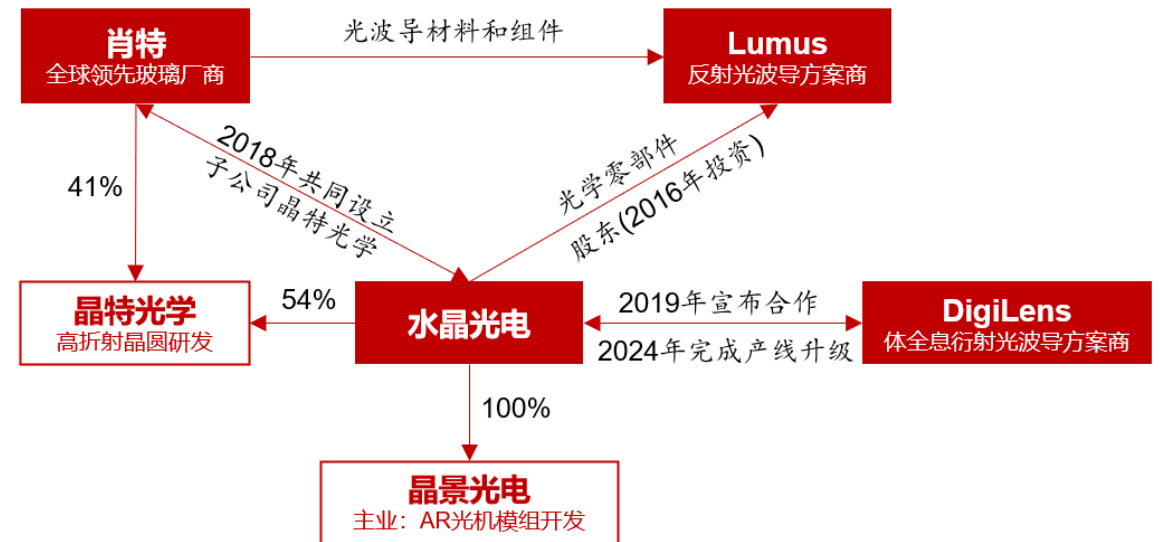
4.1 水晶光电：深耕阵列光波导、体全息光波导

- 持续深化AR光波导布局，有望受益行业远期成长。公司从2010年开始布局AR技术，持续深化反射光波导、体全息光波导等前沿AR技术布局，与全球光波导领先方案商和材料厂商保持紧密合作。
- **Lumus**：Lumus是全球知名光波导方案商，在反射光波导方面具备独特技术优势，与Meta、苹果等公司密切合作，公司2016年参与Lumus B轮融资，为其提供核心光学零组件，共同推动二维阵列光波导量产落地。
- **肖特**：肖特是特种玻璃、微晶玻璃和玻璃创新领域的领先厂商，2018年公司与肖特设立子公司晶特，共同开发AR高折射晶圆。
- **Digilens**：Digilens是全球体全息衍射光波导的龙头厂商，2019年水晶光电宣布与Digilens合作，作为Digilens在国内的独家授权生产商，2024年5月公司宣布完成波导产线升级，以满足ARGO眼镜市场需求。

图表：水晶光电营收结构



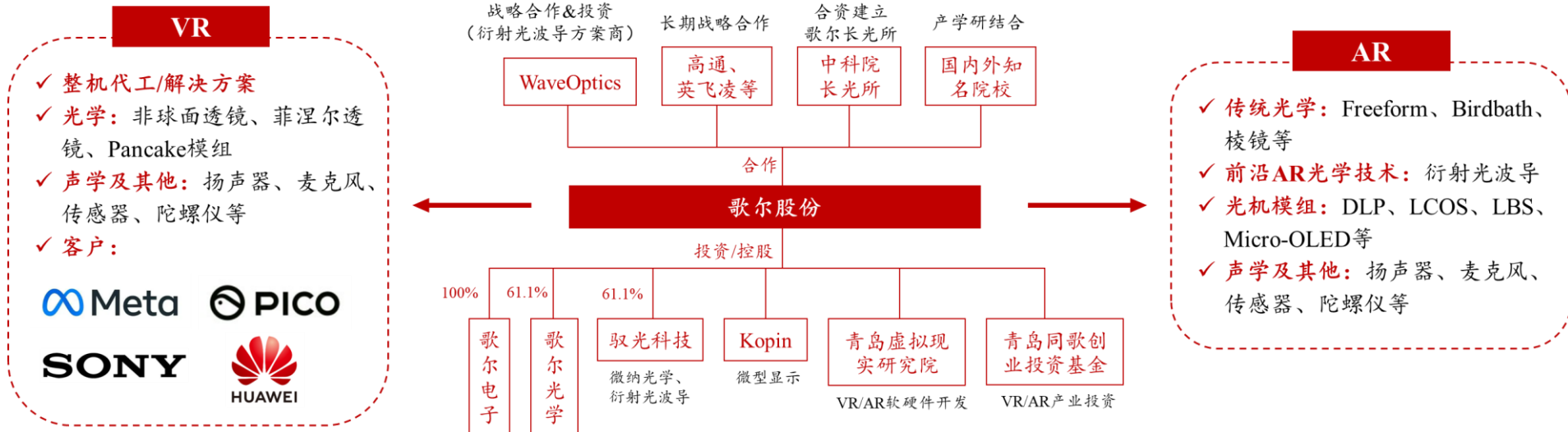
图表：水晶光电AR布局



4.2 歌尔股份：全球XR龙头，覆盖整机/光学/显示/声学等环节

- AR技术积累领先行业，覆盖整机、光学、显示、声学等环节。
 - 整机：公司为全球XR代工龙头，与Meta、高通等紧密合作，2023年2月公司发布首个基于高通骁龙AR2 Gen1的量产化轻量级AR智能眼镜参考设计，此为歌尔与高通自2015年合作以来开发的第三代AR眼镜参考设计。
 - 光学：在衍射光波导领域深入布局，2018年参与SRG衍射光波导厂商WaveOptics C轮融资并签订光波导元件独家生产合作伙伴协议，2020年建成12英寸晶圆纳米压印衍射光波导自动化量产线，2022年公司投资取得驭光科技10.52%股权，2023年再次收购后间接控股61.1%，驭光科技在微纳光学、衍射光学等领域具备较深技术积累，有望在AR上与歌尔光学实现有效协同。产品方面，公司已推出多款全彩衍射光波导显示模组，包括30° FOV单层全彩衍射光波导显示模组Star E。
 - 显示：可为客户提供DLP、LCOS、LBS、Micro-OLED等多种光机模组。
 - 声学及其他：可提供扬声器、麦克风、陀螺仪等。

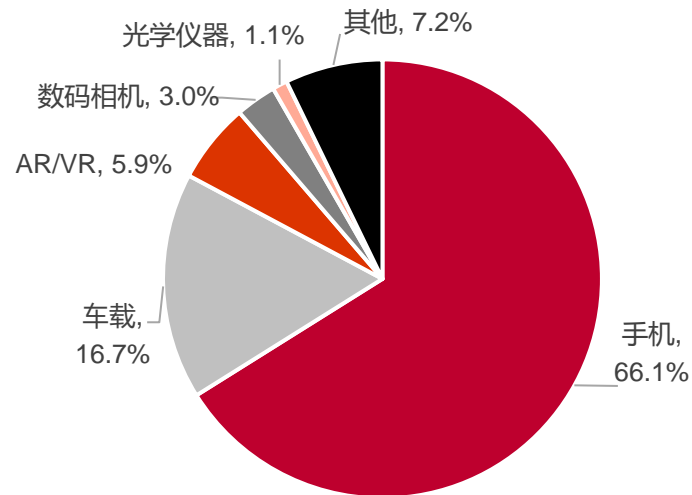
图表：歌尔XR产业布局



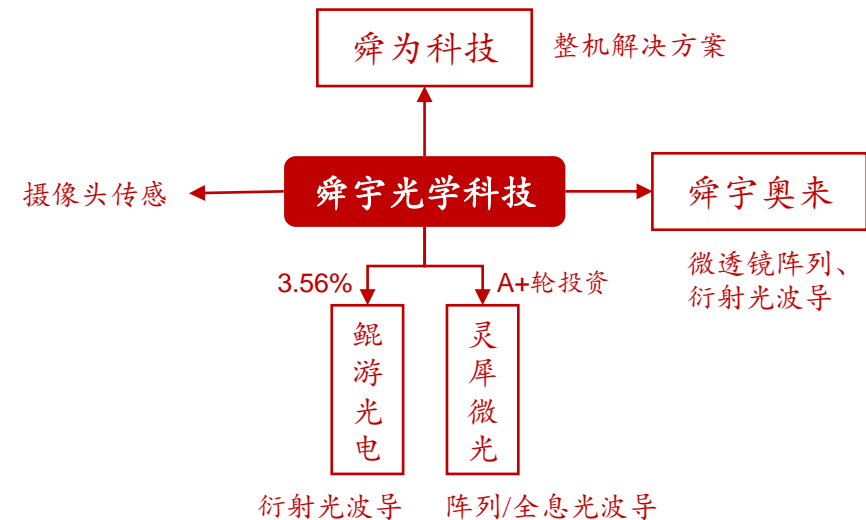
4.3 舜宇光学科技：全球光学龙头，聚焦光波导技术

- **全球光学龙头，聚焦光波导技术。**公司作为全球光学龙头，深入布局XR赛道多年，AR领域涉及光学方案、摄像头传感以及整机解决方案。
- **光学方案：**除了已量产的BirdBath方案，公司主要聚焦光波导技术，2020年公司完成衍射光波导单色波导片的研发，旗下全资控股公司舜宇奥来技术深耕微透镜阵列及衍射光波导；2019年公司参与灵犀微光（阵列/体全息光波导）A+轮投资，此外持有鲲游光电（衍射光波导）3.56%股权。
- **摄像头传感：**感知交互为AR眼镜重要组成部分，舜宇可提供手势识别、眼球追踪、6DoF等摄像头传感方案。
- **整机解决方案：**2021年设立舜为（公司控股80%），舜为专注于开发XR智能眼镜系统解决方案，2022年与JBD达成合作，2023年推出双目全彩衍射光波导+MicroLED产品SPA11（DEMO），视场角30°，单眼分辨率640x480，畸变率小于1%，刷新率30Hz，眼镜重量100g。

图表：2023年舜宇光学产品应用营收拆分



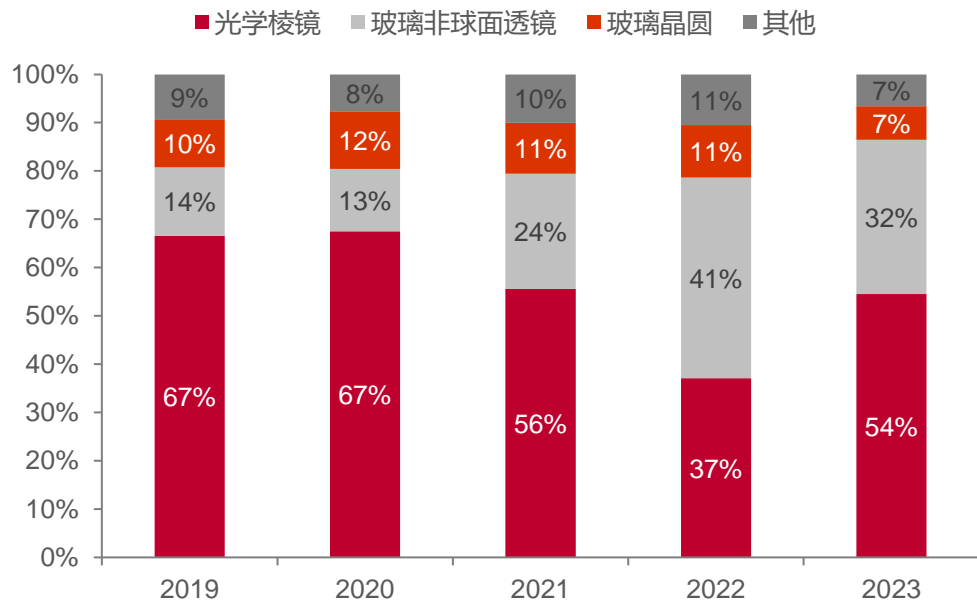
图表：舜宇光学AR领域布局



4.4 蓝特光学：玻璃晶圆核心供应商

- 深化玻璃晶圆业务布局，具备折射率2.0、厚度0.2mm、12英寸玻璃晶圆量产能力。
- 23年公司玻璃晶圆营收0.5亿元，yoy+26.1%，营收占比7%，玻璃晶圆产品主要包含显示玻璃晶圆、衬底玻璃晶圆及深加工玻璃晶圆等，主要应用于AR/VR、消费电子、晶圆级镜头封装等领域。在AR玻璃晶圆领域，公司与全球领先光学玻璃厂商康宁合作紧密，产品已进入DigiLens、Magic Leap等供应链体系，长期有望受益AR行业成长。
- AR玻璃晶圆用于光波导玻璃基底制作，对折射率、厚度、尺寸、加工精度等有较高要求：1) 需要具备高折射率以扩大视场角；2) 衍射光波导可能需要使用多层波导，因此要求玻璃晶圆达到厚度为0.3mm的超薄状态；3) 下游厂商要求玻璃晶圆尺寸更大、表面加工精度更高，以提高性能、减少生产成本。目前公司具备折射率2.0、厚度0.2mm、12英寸玻璃晶圆量产能力。

图表：蓝特光学营收占比



图表：蓝特光学玻璃晶圆产品

产品名称	产品示意图	产品介绍	应用图示	应用领域介绍
显示玻璃晶圆		显示玻璃晶圆和衬底玻璃晶圆是采用切片、粗磨、铣磨、抛光、镀膜等工序加工制造而成。		显示玻璃晶圆再切割后可制成AR光波导，最终用作AR镜片材料。
衬底玻璃晶圆		衬底玻璃晶圆主要用于与硅晶圆键合，在半导体光刻、封装制程中作为衬底使用。		衬底玻璃晶圆主要用于与硅晶圆键合，在半导体光刻、封装制程中作为衬底使用。
深加工玻璃晶圆		深加工玻璃晶圆主要包括WLO玻璃晶圆、TGV玻璃晶圆和光刻玻璃晶圆等。产品是根据下游客户需求，在显示玻璃晶圆和衬底玻璃晶圆上进行冲孔、切割、光刻等深加工。		深加工玻璃晶圆产品主要应用于晶圆级镜头封装、AR/VR、汽车LOGO投影等领域。

目录

一、硬件&生态共振，AI+AR演进趋势清晰

二、AR光学：技术持续迭代，光波导方案潜力大

三、AR显示：多方案并存，MicroLED前景广阔

四、AR产业链核心标的

五、投资建议&风险提示

■ AR是AI落地最佳载体，硬件&生态共同驱动行业发展，建议关注产业链核心标的：

- 水晶光电（光波导/光机模组）、歌尔股份（整机/光学/声学等）、舜宇光学科技（光学/摄像头/整体方案）、蓝特光学（玻璃晶圆）、韦尔股份（LCOS/摄像头CIS芯片）、苏大维格（光波导）、立讯精密（整机组装）、领益智造（散热/整机组装）等。

- AR硬件技术升级不及预期
- AI发展不及预期
- 行业竞争加剧
- 研究报告使用的公开资料可能存在信息滞后或更新不及时的风险

重要声明

- 中泰证券股份有限公司（以下简称“本公司”）具有中国证券监督管理委员会许可的证券投资咨询业务资格。本报告仅供本公司的客户使用。本公司不会因接收人收到本报告而视其为客户。
- 本报告基于本公司及其研究人员认为可信的公开资料或实地调研资料，反映了作者的研究观点，力求独立、客观和公正，结论不受任何第三方的授意或影响。本公司力求但不保证这些信息的准确性和完整性，且本报告中的资料、意见、预测均反映报告初次公开发布时的判断，可能会随时调整。本公司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。本报告所载的资料、工具、意见、信息及推测只提供给客户作参考之用，不构成任何投资、法律、会计或税务的最终操作建议，本公司不就报告中的内容对最终操作建议做出任何担保。本报告中所指的投资及服务可能不适合个别客户，不构成客户私人咨询建议。
- 市场有风险，投资需谨慎。在任何情况下，本公司不对任何人因使用本报告中的任何内容所引致的任何损失负任何责任。
- 投资者应注意，在法律允许的情况下，本公司及其本公司的关联机构可能会持有报告中涉及的公司所发行的证券并进行交易，并可能为这些公司正在提供或争取提供投资银行、财务顾问和金融产品等各种金融服务。本公司及其本公司的关联机构或个人可能在本报告公开发布之前已经使用或了解其中的信息。
- 本报告版权归“中泰证券股份有限公司”所有。事先未经本公司书面授权，任何机构和个人，不得对本报告进行任何形式的翻版、发布、复制、转载、刊登、篡改，且不得对本报告进行有悖原意的删节或修改