

光学方案百花齐放，光波导升级趋势明确

AI/AR 眼镜系列报告（二）

光学技术持续迭代，光波导方案升级趋势明确

AR 光学系统作为 AR 眼镜最重要的组成部分，其核心是追求更轻薄的体积、更大的 FOV、更好的成像质量以及更低的成本。目前 AR 光学系统存在多条技术路线，包括棱镜、离轴光学、自由曲面、BirdBath、光波导等。随着 AR 在消费级市场的逐步渗透和起量，C 端用户对 AR 眼镜的成像质量、使用场景、佩戴体验等提出了更高的要求。相比而言，光波导方案产品形态更接近传统眼镜，并且具备体积轻薄、高透光率、大视场角等优势，因而更适合用来打造符合日常佩戴体验的轻量化 AR 眼镜，成为目前 AR 光学系统的主要发展方向。

技术路线：表面浮雕光波导为主流发展趋势

几何光波导：采用传统的折反射原理实现光线传播。该技术成效效果优秀（光效高、无彩虹效应、漏光率低），但制造工艺繁琐，对光学加工的精度和一致性要求较高，量产难度较大。目前布局的主要厂商包括 Lumus、理湃光晶、灵犀微光等。

表面浮雕光波导：采用衍射原理实现光线传播。该技术光栅的设计较为灵活且生产制造难度较低，易于实现批量生产。但同时仍存在彩虹效应、侧面漏光、光效低等问题尚待解决。目前表面浮雕光波导主要有两种制备工艺，分别是纳米压印和刻蚀工艺。其中纳米压印具备易量产、低成本、一致性高的优点，成为目前主流的技术路线；而刻蚀工艺虽然制备工艺复杂，但可大幅提升光波导的光学性能，因此成为光波导制备工艺未来主要的发展迭代方向。当下该技术的布局企业较多，包括 WaveOptics、Dipelix、鲲游光电、至格科技、广纳四维等。

体全息光波导：相较于表面浮雕光波导，体全息理论优势较为明显（衍射效率高、量产成本低）。但实际生产中受光敏材料的限制，体全息光波导在视场角、光效率、清晰度及色彩均匀性等方面尚未达到表面浮雕光波导的水平。目前该技术布局企业较少，主要包括 Sony、DigiLens、三极光电、谷东科技等。

偏振体全息光波导：相较于传统体全息光波导，偏振体全息光波导在保留体全息波导技术高效率、低成本优势的同时，突破了体全息光波导在视场角的限制。但其难点在于理论基础与数理模型指导尚不完善，相关产业链仍在发展中。2024 年 10 月 25 日，东南大学与立讯精密合作发布首款偏振体全息 AR 眼镜云雀，重量仅 45g。相较于表面浮雕光波导，该产品光效提升 300%，前向漏光降低 80%，成本降低 60%。

评级及分析师信息

行业评级：推荐

行业走势图



分析师：单慧伟

邮箱：shanhw@hx168.com.cn

SAC NO: S1120524120004

联系电话：

联系人：陈天然

邮箱：chentn1@hx168.com.cn

SAC NO:

联系电话：

并购家 免费行业报告网

IPOIPO.CN 每日更新 不用注册会员 无广告 永久免费

镜片材料：玻璃+树脂为主，Meta 引领碳化硅应用

玻璃：玻璃光波导产品技术较为成熟，通过采用高折射率的玻璃晶圆可以提高光波导的视场角。但其缺陷在于无法实现曲面设计，难以实现轻量化，且抗冲击性差、易碎。

树脂：相较于玻璃材质，树脂光波导产品可实现轻量化，且抗跌落和抗冲击能力更强，可大幅提升产品使用寿命和佩戴安全指数。但其缺陷在于树脂材质的折射率限制了视场角的提升，并且树脂材质存在曲面设计难度大、色散问题较严重、良率低等问题，限制了树脂光波导的普及。

碳化硅：2024 年 Meta 首次发布碳化硅光波导概念产品 Meta Orion，视场角可达 70°，是目前市场上采用衍射光波导所达到的最大视场角的产品。Meta Orion 的推出为 AR 眼镜在材料的选择上提出了新的思路。碳化硅材料通过高折射率和高热导率两大核心特性，系统性解决了 AR 眼镜的视场角窄、彩虹伪影及散热难题。但其难点在于加工工艺复杂，单片碳化硅衬底成本高，且与其他材料的集成难度大。远期随着各大厂商加速布局，碳化硅光波导有望在 AR 眼镜实现加速渗透。

投资建议

随着 AI 模型的搭载，叠加各大厂商的积极入局，AR 眼镜有望实现加速迭代放量，潜在成长空间巨大。而光波导作为影响其显示效果的核心零部件之一，有望实现深度受益。相关受益标的：1) 光波导模组：歌尔股份、水晶光电、舜宇光学、蓝特光学等；2) 碳化硅材料：天岳先进，晶盛机电等。

风险提示

AR 眼镜出货不及预期，新技术发展不及预期等

正文目录

1. 光学技术持续迭代，光波导方案实现加速渗透.....	5
2. 几何阵列光波导：成像效果优秀，量产难度较大.....	6
2.1. 基本原理：折反射原理实现光线传播	6
2.2. 工艺流程：镀膜和贴合环节难度较高	7
2.3. 主要厂商：Lumus 为全球阵列光波导龙头	9
3. 衍射光波导：主流发展趋势，工艺升级提升性能.....	11
3.1. 表面浮雕光波导 SRG：量产难度低，色散等问题亟待解决.....	11
3.2. 体全息光波导 VHG：理论优势明显，尚处于初期发展阶段.....	18
3.3. 偏振体全息光波导 PVG：新技术路线，静待产业化	21
4. 镜片材料：玻璃+树脂为主，碳化硅为未来发展趋势.....	23
5. 投资建议	25
6. 风险提示	26

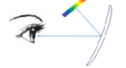
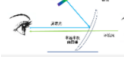
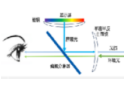
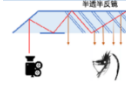
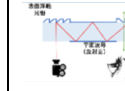
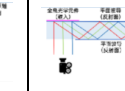
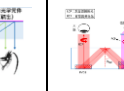
图表目录

图 1 阵列光波导光学原理	7
图 2 阵列光波导工艺流程	7
图 3 胶合工艺流程图	8
图 4 键合工艺流程图	8
图 5 表面浮雕光栅波导光栅结构 SEM 图	11
图 6 表面浮雕光栅波导扩瞳方案	12
图 7 彩虹效应	12
图 8 多层堆叠	12
图 9 母版制作工艺流程图	13
图 10 纳米压印工艺流程图	14
图 11 刻蚀工艺流程图	14
图 12 体全息光波导光学原理	18
图 13 透射式和反射式体全息光波导	18
图 14 体全息光波导工艺流程	19
图 15 三极光电产品效果图	20
图 15 谷东科技高亮单绿体全息光波导产品应用效果	20
图 16 谷东科技高亮单绿体全息光波导产品应用效果	20
图 18 偏振体全息双层波导原理图	21
图 19 偏振体全息光波导介质结构示意图	21
图 20 偏振体全息光波导工艺流程	22
图 21 首款偏振体全息 AR 眼镜——云雀	22
图 22 碳化硅衬底	24
图 23 高折射率材料可提升视场角	24
图 24 天岳先进 12 英寸碳化硅衬底	25
图 25 浙江晶瑞 8 英寸光学级碳化硅衬底	25
表 1 AR 眼镜主要的光学方案对比	5
表 2 2023 年至今主要搭载光波导方案的 AR 眼镜	6
表 3 Lumus 阵列光波导产品参数	9
表 5 理湃光晶阵列光波导产品参数	10
表 4 灵犀微光阵列光波导产品参数	10
表 6 纳米压印工艺与刻蚀工艺对比	15
表 7 WaveOptics 表面浮雕光波导产品参数	15
表 8 鲲游光电表面浮雕光波导产品参数	16
表 9 至格科技表面浮雕光波导产品参数	17
表 10 广纳四维表面浮雕光波导产品参数	17
表 11 奥提赞光晶体全息光波导产品参数	21
表 12 镜片材质参数对比	23
表 13 碳化硅衬底需求测算	24
表 14 光波导市场规模测算	25
表 15 相关受益标的	26

1. 光学技术持续迭代，光波导方案实现加速渗透

AR 光学系统作为 AR 眼镜最重要的组成部分，其核心是追求更轻薄的体积、更大的 FOV、更好的成像质量以及更低的成本。目前 AR 光学系统存在多条技术路线，包括棱镜、离轴光学、自由曲面、BirdBath、光波导等。其中，市场上较为成熟的是 BirdBath 方案，该方案成像质量较好，并且制造难度低、成本可控适合量产，是当前投屏观影类 AR 眼镜的首选。随着 AR 在消费级市场的逐步渗透和起量，C 端用户对 AR 眼镜的成像质量、使用场景、佩戴体验等提出了更高的要求。相比而言，光波导方案产品形态更接近传统眼镜，并且具备体积轻薄、高透光率、大视场角等优势，因而更适合用来打造符合日常佩戴体验的轻量化 AR 眼镜，成为目前 AR 光学系统的主要发展方向，未来有望在消费级 AR 眼镜市场实现加速渗透。

表 1 AR 眼镜主要的光学方案对比

参数类型	几何光学				光波导			
					几何光波导	衍射光波导		
	棱镜	离轴光学	自由曲面	Birdbath	阵列光波导	表面浮雕光波导 SRG	体全息光波导 VHJ	偏振全息光波导 PVG
光学模组							/	/
光学原理								
形态	棱镜块	头盔式	楔形	眼镜	眼镜	眼镜	眼镜	眼镜
厚度	>10mm	>50mm	>10mm	20-30mm	<2mm	<3mm	<3mm	<3mm
光学效率	20-30%	40-50%	20-40%	15-20%	一维 10-15% 二维 5%	0.1-1%	0.1-1%	~4%
漏光率	/	~5%	~5%	~5%	<5%	~40%	~10%	~10%
透光率	40-50%	50-70%	40-70%	25-30%	85%-90%	85%-90%	85%-90%	85%-90%
视场角 (FOV)	10-20°	>70°	20-55°	30-60°	25-50°	30-60°	25-40°	30-50°
眼动范围 (Eyebox)	小	较大	一般	一般	大	大	大	大
画面质量	较好	好	好	好	好	较好	较好	一般
制造工艺	传统透镜冷加工工艺	传统透镜冷加工工艺	传统透镜冷加工工艺	传统透镜冷加工工艺	镀膜、切割、研磨、抛光、胶合/键合等	电子/离子束刻蚀、纳米压印	湿法涂布、激光全息曝光	湿法涂布、偏振激光全息曝光
主要瓶颈	光学模组体积和视场角大小存在矛盾；透光率较难提升。				纱窗效应；2D 阵列波导量产难度大；良品率低；成本高。	彩虹效应；光效低；漏光严重；工艺难度高；设备成本高。	光栅带宽窄；视场角小；色彩较差；显示均匀性差	单层全彩色设计难度大；发展不成熟。
代表公司	Google Glass 等	Meta、Dream Glass 等	EPSON、亮风台、耐德佳等	惠牛、鸿蚁光电、Xreal 等	Lumus、理湃、亮亮视野、灵犀微光等	Microsoft、WaveOptics、MagicLeap、Vuzix、Dipelix、至格、鲲游、驭光、奥来等	Sony、Digilens、Holographic、三极光电、灵犀微光等	Meta、Microsoft、平行视界等

资料来源：VR 陀螺，WellSenn，S-dream Lab，量子位等，华西证券研究所

表 2 2023 年至今主要搭载光波导方案的 AR 眼镜

时间	品牌	产品名	光波导方案	显示方案	视场角
2023	OstLoong	LYRA	衍射光波导	/	/
2023	Nubia	Neo Air	衍射光波导	Micro-OLED	40°
2023	光粒	Holoswim 2S	全息树脂光波导	Micro-OLED	25°
2023	INMO	INMO Go	衍射光波导	Micro-LED	/
2023	谷东科技	H4000-D	阵列光波导	/	40°
2023	雷鸟	雷鸟 X2	衍射光波导	全彩 Micro-LED	25°
2023	李未可	Meta Lens S3	衍射光波导	Micro-LED	30°
2023	奇点临近	QIDI ONE 开发者版	阵列光波导	LCoS	30°
2023	魅族	MYVU 标准版/探索版	衍射光波导	Micro-LED	30°
2024	雷鸟	雷鸟 X2 Lite	衍射光波导	全彩 Micro-LED	30°
2024	Vuzix	Vuzix Z100	衍射光波导	Micro-LED	30°
2024	Vuzix	Vuzix Ultralite S	衍射光波导	Micro-LED	/
2024	OPPO	Air Glass 3	树脂衍射光波导	/	/
2024	逸文	Even Realities G1	衍射光波导	Micro LED	25°
2024	星纪魅族	StarV Air2	表面浮雕衍射光波导	Micro-LED	30°
2024	Meta	Orion	衍射光波导	Micro-LED	70°
2024	谷东科技	Star 1/1S	全彩阵列光波导	Micro-OLED	30°
2024	东南大学	云雀	偏振全息光波导	Micro LED	/
2024	Rokid	Rokid Glasses	衍射光波导	Micro-LED	/
2024	INMO	INMO AIR3	阵列光波导	Micro-OLED	52°
2024	INMO	INMO Go2	衍射光波导	Micro-LED	30°
2024	Snap	Spectacles 24	衍射光波导	LCoS	46°
2025	雷鸟	雷鸟 X3 Pro	表面浮雕衍射光波导	Micro-LED	/
2025	雷神	雷神 AURA 智能眼镜	阵列光波导	Micro OLED	/
2025	Think AR	AiLens	树脂衍射光波导	/	/
2025	传音	传音 AI Glasses Pro	树脂衍射光波导	Micro LED	30°

资料来源：VR 陀螺，VRAR 星球，艾邦 VRAR 网，各品牌官网等，华西证券研究所

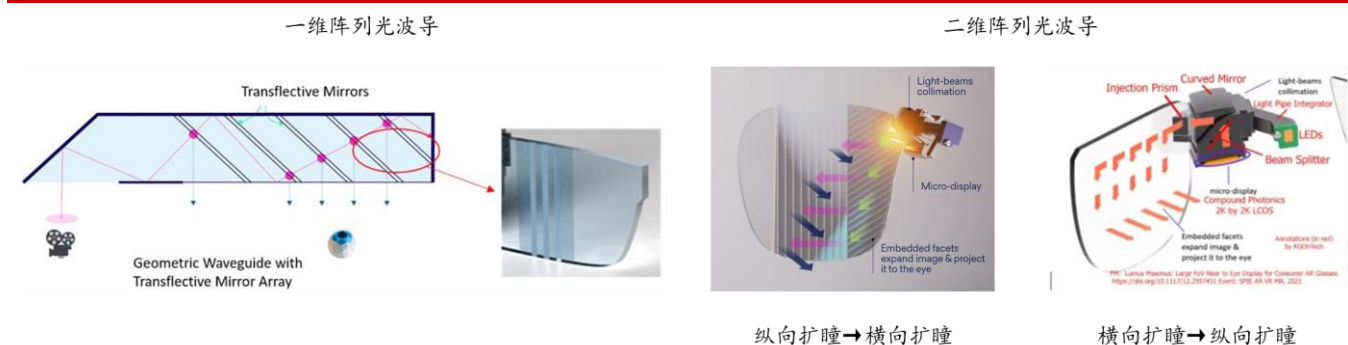
2. 几何阵列光波导：成像效果优秀，量产难度较大

2.1. 基本原理：折反射原理实现光线传播

几何阵列光波导：耦入部分为一个反射面或者棱镜，耦出部分为半透半反镜面阵列，镜面嵌入到玻璃基底并与传输光线形成特定角度。

- **一维扩瞳：**反射面/棱镜将光束耦入波导，经过多次全反射后，进入半透半反镜面阵列。每个镜面将部分光线朝人眼方向反射出波导，其余光线经镜面透射，继续在波导中前进至遇到下一个半透半反镜面。不断重复上面的“反射-透射”过程，直到镜面阵列里的最后一个镜面将剩下的全部光反射出波导进入人眼，从而实现光在水平方向的扩瞳。
- **二维扩瞳：**反射面/棱镜将光束耦入波导，经过多次全反射后，依次通过第一半透半反镜面阵列和第二半透半反镜面阵列，第一个区域实现光在一个方向的扩瞳，第二个区域实现光在另一个方向的扩瞳，从而实现光在垂直和水平双向扩瞳效果，解决了一维扩瞳方案光机体积和视场角的矛盾问题，显著减少投影光机体积的同时，增大视场角大小。

图 1 阵列光波导光学原理



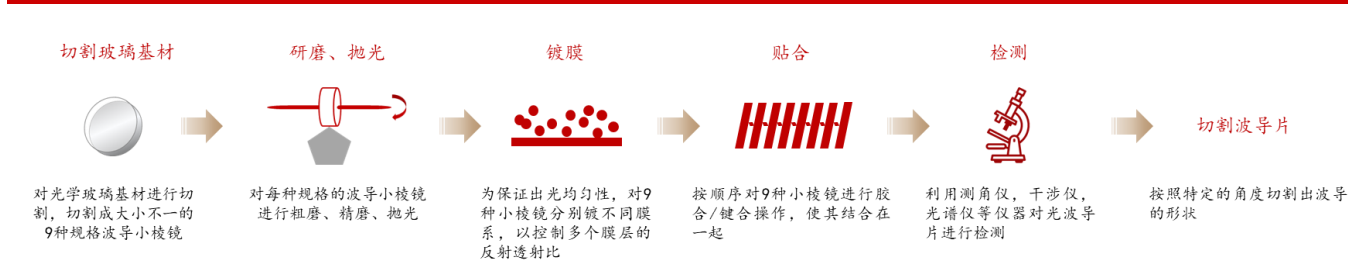
资料来源：Rokid，舜宇奥来技术，鸿蚁光电，华西证券研究所

几何阵列光波导采用传统的折反射原理实现光线传播。其优点在于：1) 光效：据量子位数据，一维阵列光波导光学效率可达 10-15%，二维阵列光波导光学效率可达 5%左右；2) 色散：全反射下色散控制效果较好，不存在杂色、彩虹效应等问题；3) 漏光率：据 S-dream Lab 数据，几何阵列光波导正面漏光率<5%，可有效保护用户隐私。但其难点在于：阵列光波导制造工艺繁琐，对光学加工的精度和一致性要求较高，量产和良率方面存在挑战。与此同时，阵列光波导的半透半反阵列会产生固有的明暗条纹，影响美观。

2.2. 工艺流程：镀膜和贴合环节难度较高

几何阵列光波导采用传统的光学冷加工工艺，加工流程主要包括切割、研磨、抛光、镀膜、贴合等。首先通过切割玻璃基材获得各种规格的波导小棱镜，然后对小棱镜进行粗磨、精磨与抛光，之后在小棱镜上分别镀不同膜系的薄膜获得不同的反射/透射比，而后对小棱镜进行胶合将它固定为表面光滑的波导片，并通过测角仪、干涉仪等仪器对波导片进行检测，最后按照特定的角度切割出波导的形状。每一环节对光学加工的精密度和一致性都提出了较高的要求，否则就会出现成像瑕疵，例如黑色条纹、出光亮度不均匀、鬼影等。

图 2 阵列光波导工艺流程



资料来源：WellSenn，《增强现实近眼显示设备中光波导元件的研究进展》，华西证券研究所

➤ 难点#1：多层镀膜工艺

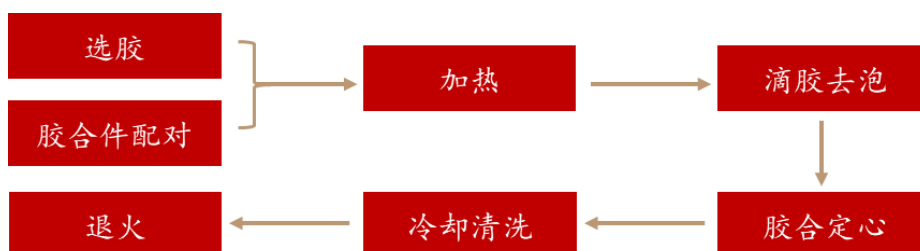
由于光在传播过程中面临能量损耗，为保证整个动眼框范围内的出光量均匀，镜面阵列中的每个镜面都需要不同的反射透射比，每个镜面的高精密镀膜层可能高达几十层，且每个膜层的厚度以 nm 为单位，对镀膜工艺要求极高。

请仔细阅读在本报告尾部的重要法律声明

➤ 难点#2：贴合工艺

传统几何阵列光波导采用的是胶合工艺。其原理为光学材料与光学胶之间发生机械结合、物理吸附、静电引力、互相扩散、形成化学键等作用，使光学零件和光学胶之间产生粘结力，从而将光学零件结合在一起。其缺点在于：1) **良率低且产能受限**：贴合环节要保证多层波导片平行排列且间隔厚度均匀，但胶合工艺依赖人工操作，极易出现人为失误导致的产品瑕疵；且产能受限，难以实现规模扩张。2) **成像质量受限**：由于胶水材料的特性，过程产生气泡、固化的完整性不一致会影响折射率等光学性能表现，导致出现杂光、散光和偏色现象，影响成像质量。3) **光学胶与玻璃不适配**：实现更大视场角的光波导要求采用更大折射率的玻璃基材和光学胶。但是大折射率的光学胶较少，且不一定与玻璃基材适配。4) **寿命**：受环境变化影响，胶合层容易产生老化、收缩、开裂、变色等问题，影响显示效果和寿命。

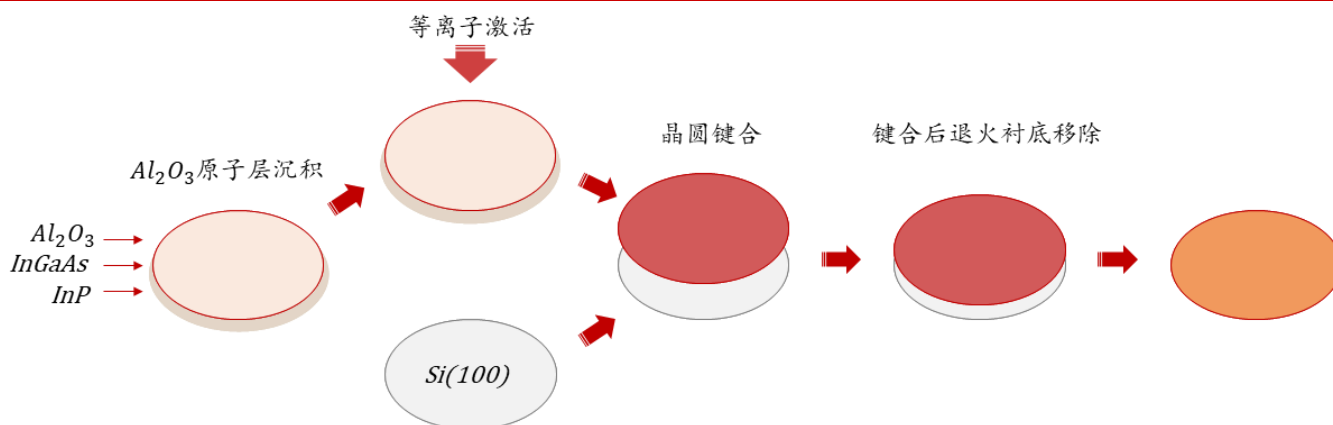
图 3 胶合工艺流程图



资料来源：Wellisenn，华西证券研究所

键合工艺有望推动阵列光波导实现大规模量产。分子键合工艺的原理是在分子层面使贴合层形成新的稳定的分子键，以分子作用力使贴合面结合。其优点在于：分子键合工艺可加强键合强度、提升贴合面平整度、提高间隔厚度均匀性，从而大幅提升产品的良率和显示效果。与此同时，分子键合工艺采用自动化设备加工，可同时完成多批次、大批量生产。因此，键合工艺的突破，极大减少人工因素带来的良率问题，并为阵列光波导产品的大规模量产和应用铺平道路。据理湃光晶数据，运用分子键合工艺，理湃光晶在贴合步骤已经可以达到接近 100%的良率。

图 4 键合工艺流程图



资料来源：Wellisenn，华西证券研究所

2.3. 主要厂商：Lumus 为全球阵列光波导龙头

➤ Lumus

Lumus 成立于 2000 年，总部位于以色列，是 AR 眼镜阵列光波导技术的先驱开发商。公司耕耘 AR 光学领域多年，具有丰富的专利和技术积累，据青亭网数据，截至 2023 年初，Lumus 拥有 430 多项专利，还有 540 项专利正在申请中，位居全球 AR 光学领域专利持有者前列。

产品布局：2021 年，Lumus 发布二维阵列光波导模组 Maximus，可实现单眼 2K 分辨率，3000nit 亮度，50° 视场角。CES 2023，Lumus 再次推出第二代阵列光波导模组 Z-Lens，在保持其前身 Maximus 高图像质量和性能的同时，光学体积缩小 50%。

产业合作：2016 年水晶光电参与 Lumus B 轮融资。2017 年 12 月，Lumus 宣布与广达电脑达成合作，Lumus 授权广达进行光波导镜片的生产和制造。同月，Lumus 宣布与电子镜头先驱 Deep Optics 达成合作，通过将 Deep Optics 的透镜叠加在 Lumus 的透镜上，使 AR 眼镜能够无缝地实现远距离或近距离对象的清晰视图。2020 年 7 月，Lumus 宣布与高科技材料和光学器件制造商肖特达成战略合作，由肖特为 Lumus 的反射波导光学元件 (LOE) 提供生产支持。2024 年 6 月，Lumus 宣布与处方镜片供应商 AddOptics 达成战略合作伙伴关系，通过此次合作，Lumus 的 Z-Lens 二维阵列光波导结构可无缝融入 AddOptics 的处方镜片中，提升用户使用体验。

表 3 Lumus 阵列光波导产品参数

产品	Maximus	Z-Lens
视场角 (FOV)	50°	50°
分辨率	1024×1024	1024x1024
亮度	>3000nits	>3000nits
EveBox	11x11mm	12x12mm
鬼影	<1%	<1%
透光率	>80%	>80%
重量	20g	12g
厚度	1.7mm	1.3mm
体积	3.6cc	1.7cc

资料来源：Lumus 官网，青亭网，华西证券研究所

➤ 理湃光晶

理湃光晶成立于 2012 年，是全球领先的 AR 光波导显示器件及其方案的提供商。成立以来，公司一直专注于光波导显示技术，获得多个头部客户认可。据公司官网，目前公司已成为 Rokid、光启科技、视源股份等头部 AR 整机厂商的独家供应商，并获得多个消费电子巨头意向订单。

技术布局：1) **几何光波导专利：**2013 年理湃研发出几何光波导镜片并申请了国内首个几何光波导的核心专利。目前，理湃在几何光波导领域已经拥有完全独立自主的核心知识产权。2) **分子键合工艺：**2015 年理湃研发出分子键合技术，突破了传统胶合工艺量产难度大、良率低、显示效果差等原理性瓶颈问题，波导良率已稳定超过 85%，为产品规模量产和稳定交付提供有力保障。3) **二维扩瞳技术：**2022 年理湃成功突破几何光波导二维扩瞳技术，并在 2023 年末实现二维扩瞳几何光波导的量产。

产能布局：2022 年公司昆山生产基地建成投产，年产能 10 万套。据元界数据，公司正在昆山筹备投建年产 100 万台的生产线，进一步扩大产能。

表 4 理湃光晶阵列光波导产品参数

产品	G3-E	LPM24	LPM24-1	LPM23	LPM22-1	LPM12	LPM26
图示							
透光度	>80%	>85%	>85%	>85%	>85%	>85%	>85%
亮度	500-900nits	>800nits	>800nits	>500nits	>800nits	>350nits	>800nits
眼动范围	10*10mm	9*6 mm	9*6 mm	9*6 mm	9*6 mm	9*6 mm	9*6 mm
分辨率	1280x720	1920x1080	1920x1080	1920x1080	1366*768	640*400	1280*720
视场角	40-70°	40°	40°	40°	40°	25°	34°
刷新率	60Hz	120Hz	90Hz	120Hz	60Hz	60Hz	60Hz
对比度	>200:1	>200:1	>300:1	>200:1	>400:1	>1000:1	>250:1
重量	/	<20g	<20g	<35g	<18g	<18g	<13g
波导厚度	<1.5mm	<1.5mm	<1.5mm	<2mm	<1.5mm	<1.5mm	<1.5mm

资料来源：理湃光晶公司官网，华西证券研究所

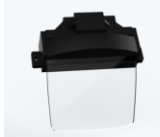
➤ 灵犀微光

灵犀微光成立于 2014 年，是国内率先布局 AR 光波导技术研发，并实现量产及全套解决方案供应的公司。公司致力于为消费级 AR 设备提供核心显示技术和光学解决方案，促进 AR 眼镜向消费市场更快普及。

技术积累：1) **生产工艺：**灵犀在镀膜、光学贴合、抛光、组装校准以及测试五大关键环节实现了关键工艺突破，光波导良率超过 85%，在业内处于领先水平；2) **产品参数：**灵犀在二维扩瞳阵列光波导技术方面率先突破最大 60° 视场角。

产能布局：2017 年公司在西安建立了第一条生产线，2019 年公司无锡生产基地正式投入运营，2022 年与美迪凯在杭州设立合资公司搭建自动化产线，成为拥有亚太区第一个全自动化 AR 光波导产线的公司。截至到 2022 年，灵犀微光具备年产 10 万片量产产能。

表 5 灵犀微光阵列光波导产品参数

产品	2D-40	AW81	AW70Pro
图片			
显示器	Micro-LED	LCOS	LCOS
透光度	85%	85%	85%
分辨率	1280x720	1920x1080	1280x720
视场角	42°	40°	30°
刷新率	60fps	60fps	60fps
对比度	300:1	300:1	500:1
出瞳距离	25mm	22mm	15mm
重量	8g	~33g	10.9g
波导厚度	1.7mm	1.7mm	1.7mm

资料来源：灵犀微光公司官网，华西证券研究所

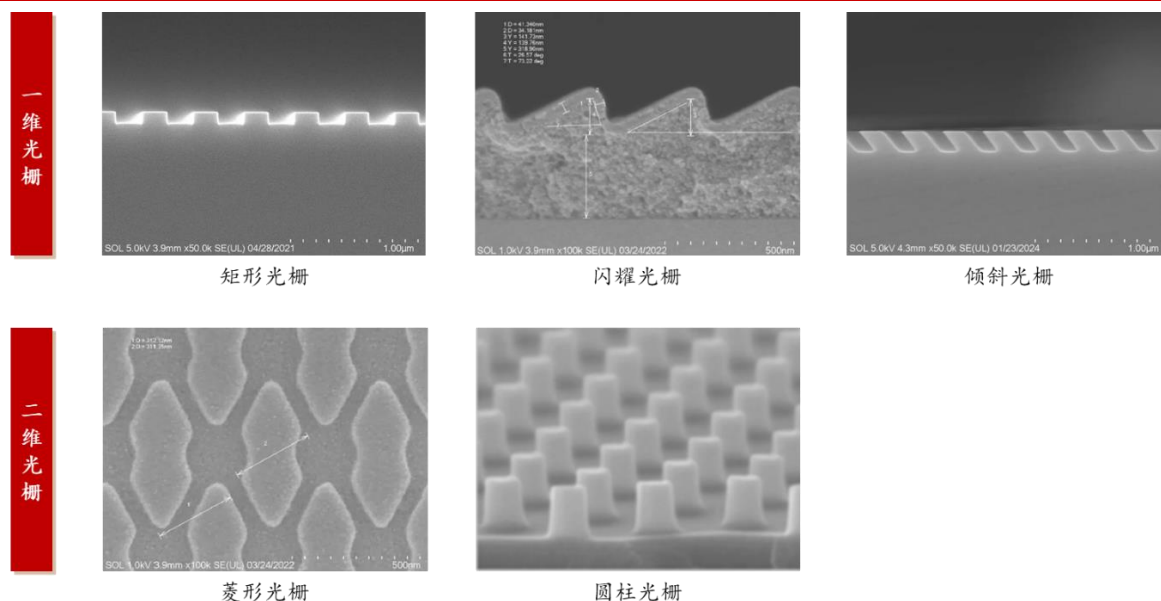
3. 衍射光波导：主流发展趋势，工艺升级提升性能

3.1. 表面浮雕光波导 SRG：量产难度低，色散等问题亟待解决

3.1.1. 基本原理：光衍射原理实现光线传播

表面浮雕光波导：耦入耦出部分的光学元件采用表面浮雕光栅，代替传统的折射元件，从而实现对光束的调制。表面浮雕光栅指的是在表面形成的各种具有周期性的凹槽。根据凹槽的轮廓、形状和倾角等结构参数的不同，常用的表面浮雕光栅可以分为矩形、闪耀和倾斜等一维光栅和圆柱、菱形等二维光栅。

图 5 表面浮雕光栅波导光栅结构 SEM 图



资料来源：舜宇奥来技术，《增强现实近眼显示设备中光波导元件的研究进展》，华西证券研究所

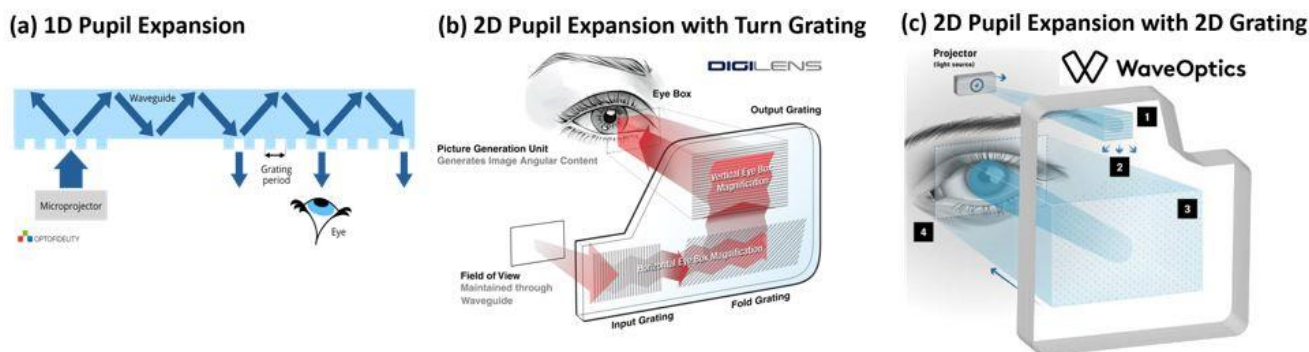
目前表面浮雕光波导的扩瞳方案主要有三种：

- **基于一维光栅的一维扩瞳：**入射光栅将光束耦入波导，经过多次全反射后，到达出射光栅。全反射光线每次遇到波导表面的光栅时，就会有部分光线通过衍射释放出来进入人眼，其余光线继续在波导中前进直到再次达到下一个光栅上，从而实现光在水平方向的扩瞳。
- **基于一维光栅的二维扩瞳：**采用三区域光栅排布来实现二维扩瞳。入射光栅将光束耦入波导后，会进入转折光栅区域，该区域内的光栅沟壑方向与入射光栅呈一定角度，从而将 X 方向的光线反射变成沿 Y 方向传播。在转向的过程中，全反射光线每次遇到转折光栅是，就会有部分光转变成 Y 方向，部分光横向前进，进而实现了 X 方向的一维扩瞳。扩瞳后的光并没有耦合出波导，而是继续沿 Y 方向前进进入第三个光栅区域——出射光栅。出射光栅的结构与入射光栅类似，但面积更大，且光栅沟壑方向与入射光栅垂直，从而再次实现 Y 方向的扩瞳，最终实现水平和垂直的双向扩瞳效果。
- **基于二维光栅的二维扩瞳：**耦入光栅采用一维光栅，耦出光栅采用二维光栅。入射光栅将光束耦入波导后，二维光栅可同时将光线在 X 和 Y 两个方向会实现扩束。二维光栅的设计复杂，要兼顾多个传播方向耦合效率的同时还要平衡每

请仔细阅读在本报告尾部的重要法律声明

个出瞳的出光均匀性。但其优点在于只有两个光栅区域，减少了光在传播中的损耗，并且由于没有转折光栅，可以增大有效动眼框的范围。

图 6 表面浮雕光栅波导扩瞳方案



资料来源：Rokid，华西证券研究所

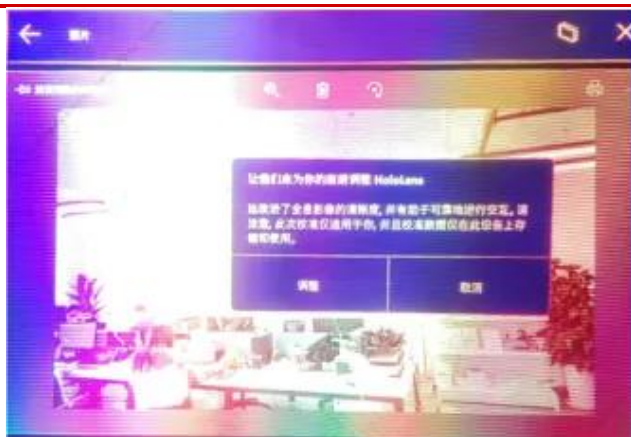
表面浮雕光波导采用衍射原理实现光线传播。其优点在于：光栅的设计较为灵活；且生产制造难度较低，可通过纳米压印等微纳加工技术实现大批量制造。但其难点在于：

1) **彩虹效应**：由于衍射光栅的物理特性，不同波长光线在衍射光栅会对应不同的衍射角度，且同一波长光线的衍射效率也会随入射角度的不同而波动，因此会造成色彩分布不均匀，出现“彩虹效应”。目前主要通过采用三层波导/双层波导的方式，来改善出瞳位置的颜色均匀性，减小彩虹效应。但是由于 RGB 并不是单一波长数值，而是光谱上的一段波长段，所以仍然会有轻微的彩虹效应存在。

2) **外侧漏光**：衍射元件会形成多级次的衍射，导致部分光向其他方向传播，造成“外侧漏光”。据 S-dream Lab 数据，表面浮雕光波导漏光率约为 40%，不仅影响美观，同时会造成一定程度的信息泄露。

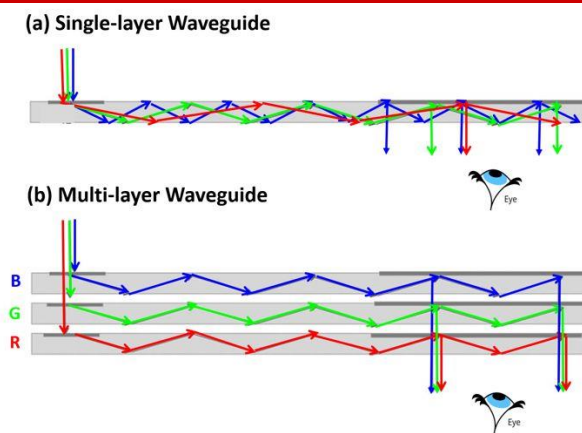
3) **光效低**：表面浮雕光波导实现二维扩瞳，需要光线在耦出区域进行多次衍射和全内反射传播，导致光损耗很高。同时受限于光刻、纳米压印等工艺的精度，较难制备出非常精准微纳结构，其表面粗糙度也会导致光损耗，从而降低其衍射效率。据 S-Dream Lab 数据，表面浮雕衍射光波导的光学效率<1%。

图 7 彩虹效应



资料来源：鸿蚁光电，华西证券研究所

图 8 多层堆叠



资料来源：Rokid，华西证券研究所

3.1.2. 工艺流程：刻蚀工艺成为未来主要发展方向

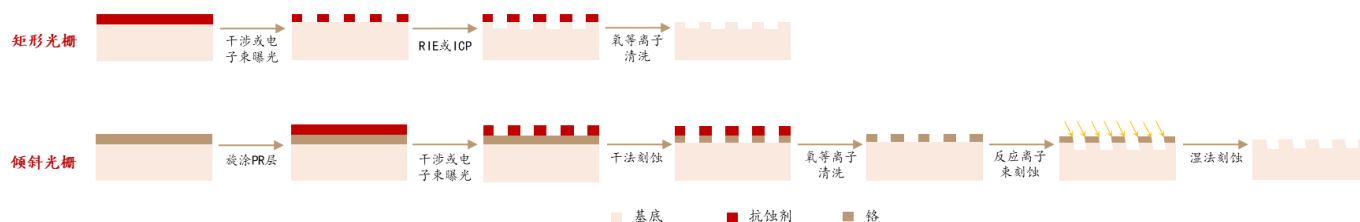
表面浮雕光波导目前主要有两种制备工艺，分别是纳米压印和刻蚀工艺。其中纳米压印具备易量产、低成本、一致性高的优点，成为目前主流的技术路线；而刻蚀工艺虽然制备工艺复杂，但可大幅提升光波导的光学性能，因此成为光波导制备工艺未来主要的发展迭代方向。

➤ 纳米压印

纳米压印工艺主要分为三个环节：母版制作、子版制作、批量压印。

母版制作：光波导的特征尺寸一般在数百纳米甚至几十纳米，且成像质量对加工误差非常敏感。因此通常采用半导体制备工艺（如光刻+刻蚀工艺）完成母版的制备。**1）矩形光栅：**首先在基底上旋涂抗蚀剂层，通过干涉曝光或电子束曝光等方法实现光栅的图案化，之后利用反应离子刻蚀（RIE）或电感耦合等离子体刻蚀（ICP）将图案转移到基底，最后去除抗蚀剂层完成矩形光栅的制备。**2）倾斜光栅：**首先在基底上通过物理/化学方法镀一层硬掩模（如 Cr 层）。第二步，在硬掩模上旋涂抗蚀剂层，同样通过干涉曝光或电子束曝光技术实现光栅的图案化，之后采用干法刻蚀工艺将抗蚀剂图案转移到 Cr 层，再用氧等离子体法剥离剩余的抗蚀剂。第三步，在已加工好的带有硬质掩模的结构上，用反应离子束刻蚀工艺（RIBE）以倾斜的角度入射基底进行斜光栅的制备。最后通过湿法刻蚀工艺去除 Cr 掩模，完成倾斜光栅的制备。

图 9 母版制作工艺流程图

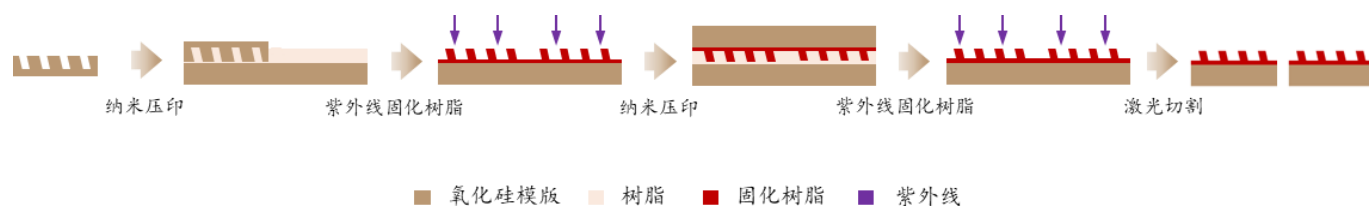


资料来源：《增强现实近眼显示设备中光波导元件的研究进展》，华西证券研究所

子版制作：为了降低成本以及保证硅晶圆模板的使用寿命，通常选择将硅晶圆上的结构转印到 PET 基底上，作为后续压印的子模板。首先在硅晶圆上旋涂转印胶，随后利用机械力将制备好的硅晶圆模板压印到转印胶上，再利用紫外线对压印的结构进行曝光实现固化，从而完成子版的制备，子版的光栅结构与母版相反。

批量压印：首先在基底上旋涂光刻胶，同样利用机械力将制备好的子版上的结构转印到树脂上，再利用紫外线对压印的结构进行曝光实现固化，获得与原母版完全相同的光栅结构，最后使用功能性涂层覆盖波导，并用激光切割技术进行分割，从而完成光波导的批量制作。

图 10 纳米压印工艺流程图



资料来源：《增强现实近眼显示设备中光波导元件的研究进展》，华西证券研究所

纳米压印技术通过机械转移的手段进行批量制备。其优点在于：1) 采用物理接触进行图形转移，可以达到较高的分辨率，最小分辨率 $<5\text{nm}$ ；2) 采用可反复使用的子版，大大降低了加工成本的同时，有效提高加工效率。但由于光波导最终的图案分辨率取决于母版的分辨率，因此其难点主要在于母版的制备：1) 制备工艺：干涉曝光制作出来的光栅区域间距较大，无法实现不同光栅紧密拼接的波导结构；而电子束曝光难以保证光栅周期的均匀性，且设备昂贵，加工成本高。2) 制备精度：光栅母版和纳米压印得到的成品会存在一定的误差，且压印过程中若出现细微杂质会进一步放大误差。3) 表面粗糙度：母版的表面粗糙度越大，破损几率越大，使用寿命越短。

➤ 刻蚀工艺

刻蚀工艺是选择性地从晶圆表面去除不需要的材料的工艺过程。其制备流程主要为：第一步，在基底上覆盖一层高折材料，然后在高折材料上旋涂一层树脂/光刻胶；第二步，通过纳米压印（NIL）或 DUV、EBL 等光刻技术制备光栅图案和结构。第三步，采用反应离子束刻蚀工艺（RIE）将图案转移到高折材料中，最后除去树脂/光刻胶，完成光波导的制备。

图 11 刻蚀工艺流程图



资料来源：VR 陀螺，华西证券研究所

相较于纳米压印工艺，刻蚀工艺技术门槛更高、制备工艺更复杂。但同时刻蚀工艺的优点在于：1) 视场角：光波导的视场角（FOV）由光波导结构和折射率决定，折射率越大，FOV 上限越高。纳米压印工艺的最大视场角受到树脂涂层折射率的限制，而刻蚀工艺可以选择更大折射率的玻璃，更高折射率的材料例如 SiC 等，来进一步提高视场角。2) 光学性能：据 Wellseenn，在同等 FOV 的条件下，刻蚀光波导的漏光、色散还原度、亮度、彩虹纹、均匀性等光学性能指标更优。3) 设计自由度：纳米压印技术下，光波导的全彩显示需要 2-3 层波导片叠加。而刻蚀工艺可以在晶圆上直接叠加多种图层（最多可叠加 4 层），从而能够实现单片全彩的光波导器件，降低光波

导的厚度和重量。4) **可靠性**：刻蚀工艺制备的光波导更容易通过温度、紫外线、湿度和防摔等测试，能够达到智能手机级的材料安全水平。

表 6 纳米压印工艺与刻蚀工艺对比

	纳米压印	刻蚀工艺
原理	在玻璃晶圆上叠加树脂涂层，然后在涂层上进行纳米压印，最后使用紫外光固化。	在纳米压印基础上，进一步刻蚀光波导的表面结构并分离涂层。
工艺	较简单	较复杂
成本	较低	较高
材料	玻璃	玻璃、SiC、TiO ₂
有无接触	有	无
耗电量	较低	较高
FOV	较小	较大
优点	- 工艺简单 - 材料供应商多	- 更好地还原光学设计 - 材料安全系数高 - 设计自由度高 - 可进一步提升光波导性能
缺点	难以实现较高的折射率	- 技术门槛高 - 制备工艺更加复杂

资料来源：WellSenn，华西证券研究所

3.1.3. 主要厂商：众多企业进场布局，加速行业发展

➤ WaveOptics

WaveOptics 成立于 2014 年，专注于提供 AR 眼镜的解决方案，是二维光栅扩瞳方案的主要发明者。产品布局方面，公司采用纳米压印技术，可为客户提供 28-56° 视场角的单层、双层、三层光波导方案。产业合作方面，2018 年，歌尔参投 WaveOptics C 轮融资 2600 万美元，同年公司宣布与歌尔就光波导元件的批量生产签订独家合作协议。2021 年公司被 Snap 收购，成为其全资独立子公司。

表 7 WaveOptics 表面浮雕光波导产品参数

产品	Katana	Vulcan	Odin
图片			
光波导层数	一层	两层	三层
视场角	28°	40°	56°
光利用率	160nits/lm	170nits/lm	50nits/lm
ANSI 对比度	40:1	40:1	40:1
尺寸	60×30mm	39.14×44.14mm	51×50.2mm
动眼眶	12×11mm	19×15mm	12×11mm
厚度	1.15mm	3.1mm	2.65mm
重量	7g	12g	7g

资料来源：WaveOptics 公司官网，华西证券研究所

➤ 鲲游光电

鲲游光电成立于 2016 年，是专注于晶圆级光学、光集成领域的高科技企业，现已实现从研发设计、母版制作、量产生产到品控检测等全程闭环的 IDM 体系。

产品布局：公司围绕晶圆级光学平台布局三类产品线，分别为 3D 成像与机器视觉、AR 衍射光波导和激光雷达，并打造国际一流行业标准的近万平超净间及硬件平台，成为国际上少数在晶圆级光学领域实现超过 10KK 级产品出货的公司。其中，在 AR 衍射光波导领域，公司已推出秋水、逍遥、梦蝶、扶摇、摆宁、玉璋六个产品系列，覆盖满足不同客户需求。据鲲游光电研发总监楼歆晔演讲数据，2024 年底公司纳米压印与刻蚀波导的年产能可分别达到 2kk pcs 和 200k pcs，预计 2025 年底刻蚀年产能将达到 600k pcs。

产业合作：2025 年 2 月 27 日，晶盛机电、龙旗科技、XREAL 与鲲游光电四家企业正式签署《AI/AR 产业链战略合作协议》，四家企业将共同瞄准 2027 年 AI 眼镜赛点，携手冲刺 L4 级智能眼镜技术高地。

表 8 鲲游光电表面浮雕光波导产品参数

	秋水 II	逍遥 III	梦蝶	扶摇 II	摆宁	玉璋
	QS-C30	XY-C30	MD-C30	FY-C30	YN-C30	YZ-C20
工艺	纳米压印	纳米压印	纳米压印	纳米压印	刻蚀工艺	纳米压印
材料	树脂	玻璃	玻璃	玻璃	玻璃	树脂
FOV	30°	30°	30°	30°	30°	20°
色彩	单绿	单绿	全彩	全彩	全彩	全彩
光波导层数	单层	单层	单层	双层	单层	单层
效率	750nits/lm	650nits/lm	300nits/lm	800nits/lm	1300nits/lm	1600nits/lm
均匀性	30%	35%	30%	35%	45%	55%
厚度	1.0mm	0.5mm	0.4mm	1.3mm	0.7mm	0.9mm
重量	2.2g	3.1g	3.3g	7.5g	6.7g	2.2g

资料来源：鲲游光电微信公众号，华西证券研究所

➤ 至格科技

至格科技成立于 2019 年，由清华大学精密仪器系光栅与测量实验室孵化而来，始终专注于 AR 衍射光波导、衍射光栅和微纳光学领域。公司采用 IDM 模式，自主掌握“光栅设计、光栅母版加工、纳米压印生产”三大核心技术，可为客户提供从设计、制版到材料、工艺和量产的一站式解决方案。

技术布局：1) **光效：**公司量产产品的光效已实现 1000nits/lm，达到行业领先水平。SPIE 2025，公司还联合清华大学展示了高达 5000nits/lm 的衍射光波导成果。2) **彩虹纹：**公司开发了“无彩虹纹”专利技术，通过独特的光学设计引导彩虹纹向特定角度发散，避免进入人眼，该方案能保证用户在 95% 的场景下都感受不到彩虹纹的存在。3) **透光率：**公司采用了复杂的光学设计和工艺手段，让其波导片综合透光率超过 98%，非光栅区域的透光率达到了 99% 以上，几乎实现与高端眼镜镜片同等级水平。4) **光栅：**公司首创渐变光栅技术，提升亮度和色彩的均匀性的同时，提升光栅区域的透光性。5) **拼版：**公司打破海外 EVG 等半导体设备厂商的垄断，成功实现用拼版技术进行生产，即将母版批量复制到一个大尺寸基板上进行组合，然后再基于此进行大尺寸纳米压印。据 VR 陀螺数据，无拼版方案只能在一片 8 寸晶圆上生产 2-3 片光波导，而拼版方案可用一片 8 寸晶圆生产 8 片光波导，用 12 寸晶圆可生产 20 片光波导。拼版技术的引入能够大幅提升产能，并具有更强的成本优势。

表 9 至格科技表面浮雕光波导产品参数

产品	SIDW30C		SIDW30B		SIDW40A	TDDW40C	
图示							
投影方式	侧投式		侧投式		侧投式	顶投式	
色彩	全彩		单绿	单绿	全彩	全彩	
视场角	30°		30°	30°	40°	40°	50°
基底	玻璃		玻璃	树脂	玻璃	玻璃	
能量利用率	650nits/lm		650nits/lm	240nits/lm	260nits/lm	240nits/lm	150nits/lm
厚度	1.7mm		0.85mm	1.1mm	1.7mm	1.7mm	
配套模组	SIDW30C-ME	SIDW30C-DD	SIDW30C-MC		SIDW40A-DA	TDDW40C-DA	TDDW40C-DC
光机类型	Micro LED	DLP	Micro LED		DLP	DLP	DLP
视场角	30°	30°	30°		40°	40°	50°
色彩	全彩	全彩	单绿		全彩	全彩	全彩
基底	玻璃	玻璃	玻璃	树脂	玻璃	玻璃	玻璃
亮度	1105nits	3575nits	3900nits	1440nits	1560nits	1440nits	900nits

资料来源：至格科技公司官网，华西证券研究所

➤ 广纳四维

广纳四维成立于 2021 年，由国家纳米科学中心和广东粤港澳大湾区国家纳米科技创新研究院共同孵化，专注 AR 衍射光波导微纳光学器件的研发和生产，致力于为全球客户提供高质量、高性能的微纳光学产品及服务。

技术布局：1) 纳米压印工艺：目前公司具备母版制备、纳米压印、切割封装、器件检测的全流程研发生产能力，可以实现母版快速迭代、低成本批量生产及高品质的出货。2) 刻蚀工艺：2022 年底公司推出了采用先进刻蚀工艺的单片全彩波导片，2023 年公司基于刻蚀工艺成功实现单目 110° 超大视场角的衍射光波导器件的制备。2024 年公司攻克碳化硅 DUV 光刻与刻蚀工艺，并基于自研软件算法实现超衍射极限的微纳光栅结构的设计，从而实现了人眼范围内彩虹效应的完全移除。2025 年 4 月 3 日，广纳四维、山西烁科与国家纳米智造中心签署战略合作协议，共同推进碳化硅刻蚀衍射光波导的研发与量产。

产能布局：2020 年，项目组建成 1000 平方米小试线，可实现 1 万套年产能；2023 年公司中试线建成，落地 3000 平方米，设计产能 30 万套，可为客户提供多元化、高质量以及低成本的衍射光波导产品方案。

表 10 广纳四维表面浮雕光波导产品参数

产品	C01C	C01C Plus	C30G	L30C
图示				
投影方式	顶投式	顶投式	侧投式	侧投式
色彩	全彩	全彩	单绿	全彩
视场角	45°	60°	30°	30°
动眼距	25×20mm	25×15mm	15×10mm	15×10mm
出瞳距离	25mm	25mm	20mm	20mm
光利用率	240nits/lm	180nits/lm	400nits/lm	350nits/lm
厚度	2mm	2mm	1mm	1.4mm
重量	15g	16g	5g	12g

资料来源：广纳四维公司官网，华西证券研究所

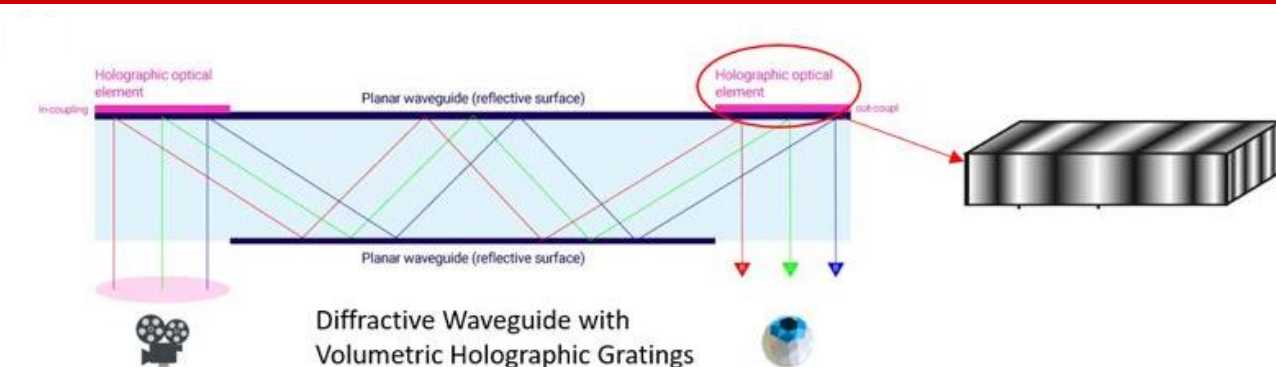
请仔细阅读在本报告尾部的重要法律声明

3.2. 体全息光波导 VHG：理论优势明显，尚处于初期发展阶段

3.2.1. 基本原理：光衍射原理实现光线传播

体全息光波导：耦合耦合部分的光学元件采用体全息光栅，代替传统的折反射元件，从而实现对光束的调制。体全息光栅是通过双光束全息曝光技术，形成干涉条纹来获得折射率周期性变化的光栅结构。

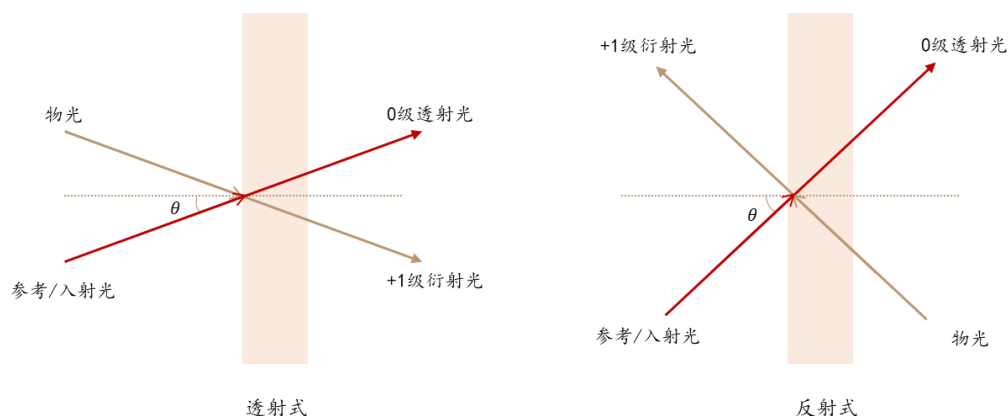
图 12 体全息光波导光学原理



资料来源：Rokid，华西证券研究所

根据体全息光波导的制备光路，可分为：1) 透射式：入射光和衍射光在光栅的两侧。2) 反射式：入射光和衍射光在光栅的同侧。外界环境的光线在透过耦出光栅时会有部分光发生衍射。相较于透射式体全息光波导的透过光和衍射光都在人眼侧，人眼观察到的外界环境会有衍射导致的色散现象，反射式体全息光波导的透过光在人眼侧，衍射光在外界环境侧，人眼可以观察到更清晰的外界环境。

图 13 透射式和反射式体全息光波导



资料来源：Wellseenn，华西证券研究所

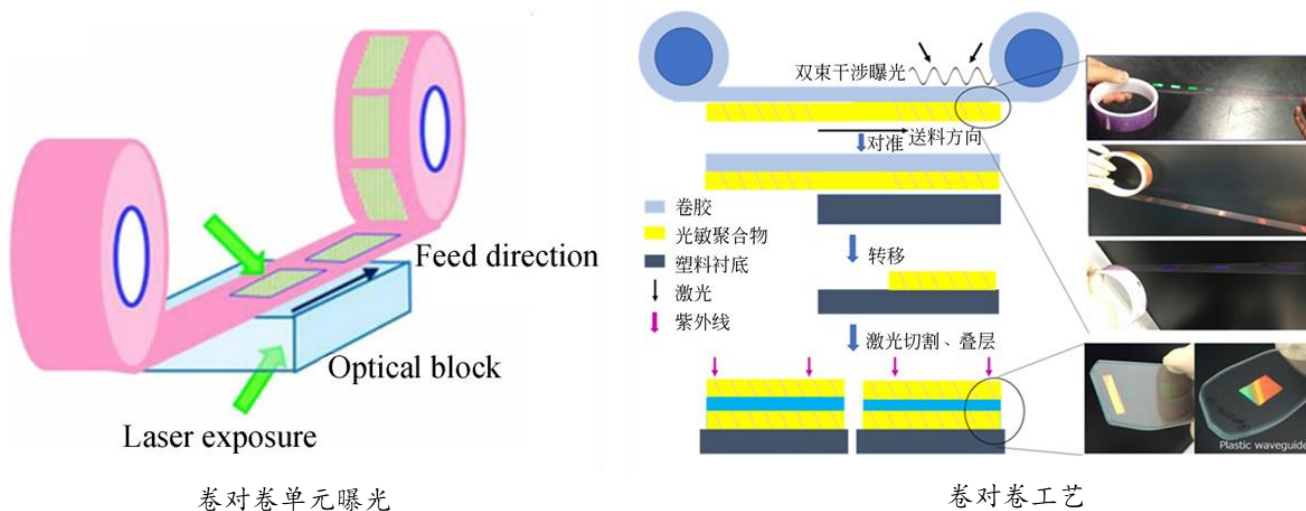
相较于表面浮雕光波导，体全息光波导理论优势较为明显：1) **成像**：理论上在满足布拉格条件时，体全息光波导的衍射效率可以达到 100%，同时可以减少正面漏光的现象。2) **量产**：体全息光波导无需复杂的光刻或纳米压印等工艺流程，只需要自动化曝光即可，生产速度更快，量产成本更低。但其难点在于：目前实际生产中受到光敏材料的限制，体全息光波导在视场角、光效率、清晰度及色彩均匀性等方面尚未达到表面浮雕光波导的水平；且实际生产中环境的稳定性提出了较高的要求，温度、湿度、空气流动都会影响波导的性能。

3.2.2. 工艺流程：印刷工艺可进一步提高效率

卷对卷工艺：为了降低规模生产的加工成本，Sony 开发了卷对卷工艺，并且为了降低对准难度并且减弱颜色之间的串扰，采用红蓝光波导和绿光波导的双层设计。其工艺路线主要为：首先，使用双束干涉曝光法在光敏聚合物膜上形成体全息图案。第二步，通过注射成型法形成塑料波导。第三步，将全息波导膜准确地与塑料波导对准粘贴以进行全息光学元件的转移，然后将塑料全息波导进行切割。最后，将红蓝波片与绿色波导片对准并用 UV 树脂封装固定。

印刷工艺：为了进一步提升生产效率，Digilens 开发了印刷工艺。其核心在于超高折射率全息光聚合物（光聚合物+液晶）。通过设计不同的体全息光栅波导可以获得不同的模板，然后将图案进行印刷，从而得到不同结构的体全息光栅波导。该技术的优点在于灵活度更高，可以实现数字化模板设计。

图 14 体全息光波导工艺流程



资料来源：《增强现实近眼显示设备中光波导元件的研究进展》，华西证券研究所

3.2.3. 主要厂商：布局公司较少，亟待技术成熟

早期采用体全息光波导方案的代表性厂家为 Sony 和 Digilens。其中，Sony 曾推出一款高亮度的单绿色体全息光栅波导（现已停产）；Digilens 曾推出双层全彩体全息光栅波导。随着技术的成熟，部分国内公司例如谷东科技、三极光电、光粒科技、奥提赞光晶等，正在逐步入局开展体全息光波导的研发。

➤ 三极光电

三极光电成立于 2016 年，是中国 AR 全息衍射光学领跑者。产能布局方面：公司拥有国内最高标准的规模化全息衍射器件生产基地，研发和生产基地共计 7600 平方米，具备年产百万级全息衍射元件的能力。订单交付方面：据公司微信公众号，2025 年公司成功获得 AR 专业级场景 10K 级数量全息光波导订单并开始交付。

图 15 三极光电产品效果图



资料来源：三极光电公司官网，华西证券研究所

➤ 谷东科技

谷东科技成立于 2017 年，专注于 AR 光学模组及整机的研发、制造和销售，实现了从光学设计到材料开发，再到整机设计与软件算法的全栈式自研，可为客户提供一站式解决方案。

光学材料：2024 年初，谷东科技在 RGB 光刻胶材料研发上取得了重大突破，针对 AR 体全息领域推出了两款新型光致聚合物材料：全彩 Goolton HOE-3700 液体材料和 Goolton HOE-T40 柔性膜材。这两款产品不仅在光学性能上有了显著提升，还极大地降低了工艺成本，为大规模生产和应用创造了条件。

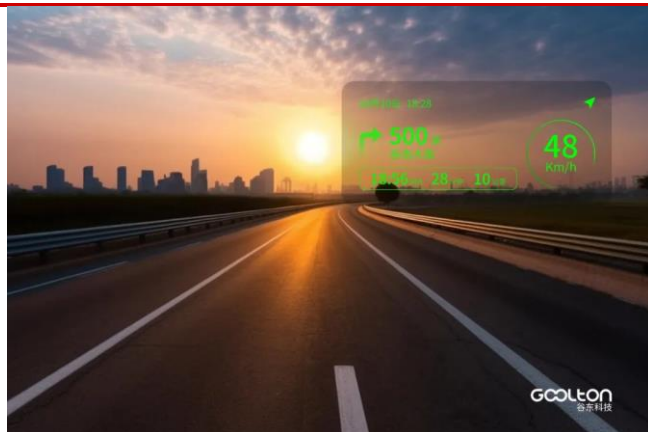
体全息光波导：2024 年 7 月，公司推出全新自研的高亮单绿体全息光波导模组产品，入眼亮度>300nits，波导片厚度仅为 0.7mm。据公司微信公众号，目前公司已经可以实现二维单绿光波导，二维彩色光波导技术并自建二维单绿光波导中试线。

图 16 谷东科技高亮单绿体全息光波导产品应用效果



资料来源：谷东科技微信公众号，华西证券研究所

图 17 谷东科技高亮单绿体全息光波导产品应用效果



资料来源：谷东科技微信公众号，华西证券研究所

请仔细阅读在本报告尾部的重要法律声明

➤ 奥提赞光晶

奥提赞光晶是一家专注于增强现实（AR）光学显示及光波导开发与制造的高科技企业。公司拥有材料、工艺、生产设备的完全自主知识产权，目前可以提供光敏聚合物开发、光波导仿真设计、制作工艺开发、光波导制造设备开发、光波导产品的生产制造等全套解决方案。

技术布局：1) **全息光栅材料：**公司拥有自主知识产权的全息记录材料，该材料具有宽光谱敏感性、高分辨率、高衍射效率、高透过率等优点。2) **全息光栅设计：**公司独立开发光栅设计系统，有 10 年以上的实验数据积累，可根据实际需求合理设计光栅布局以及效率分布。3) **全制程工艺方案：**公司掌握全息曝光工艺、切割工艺、胶合工艺。结合工艺方案，团队自主设计半自动全息光栅曝光设备，并正在研发全自动曝光设备。

产能布局：2023 年 11 月，公司正式启动中试车间的建设，建成后可实现小尺寸体全息光波导（AR 眼镜）年产能 10 万片、大尺寸光波导（AR HUD）年产能 2 万片。

表 11 奥提赞光晶体全息光波导产品参数

产品	一维扩瞳体全息光波导			二维扩瞳体全息光波导
	QU-1-GG/P3	QU-3-GG/P5	HA-2-CG/P3	YA-2-CG/P3
显示模式	单绿	单绿	全彩	全彩
视场角	30°	52°	30°	30°
眼动范围	14*11mm	7*7mm	14*11mm	14*11mm
出瞳距离	20mm	20mm	20mm	20mm
透过率	90%	73%	82%	82%
厚度	1mm	3mm	2mm	2mm
重量	2g	6g	4g	8g

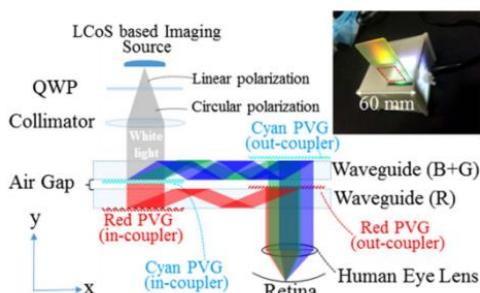
资料来源：奥提赞光晶公司官网，华西证券研究所

3.3. 偏振体全息光波导 PVG：新技术路线，静待产业化

3.3.1. 基本原理：光衍射原理实现光线传播

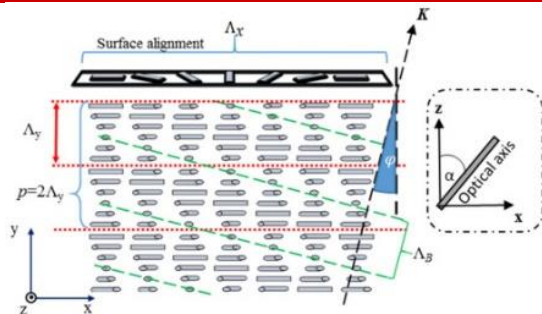
偏振体全息光波导：耦入耦出部分的光学元件采用偏振体全息光栅，代替传统的折反射元件，从而实现对光束的调制。偏振体全息光栅是各向异性介质（不同方向的物理性能不同，对光具有两种或多种折射率），并呈现一种倾斜的 3D 螺旋结构，从而形成三维的双折射率周期性分布。相较于传统体全息光波导，偏振体全息光波导在保留体全息波导技术高效率、低成本优势的同时，突破了体全息光波导在视场角的限制。但其难点在于理论基础与数理模型指导尚不完善，相关产业链仍在发展中。

图 18 偏振体全息双层波导原理图



资料来源：S-Dream Lab，华西证券研究所

图 19 偏振体全息光波导介质结构示意图

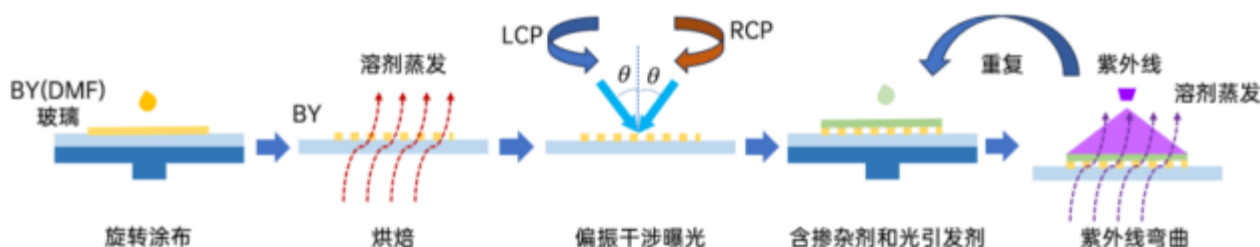


资料来源：S-Dream Lab，华西证券研究所

3.3.2. 工艺流程：核心环节为偏振干涉曝光

偏振体全息光栅的制作包括旋涂、烘焙、曝光、反复涂覆和固化等。首先，在曝光制作前将偶氮染料亮黄溶解在二甲基甲酰胺（DMF）中，并旋转涂覆在玻璃基上，得到均匀的薄膜。然后在热板上进行干燥，并对薄膜样品进行偏振干涉曝光。之后在旋涂过程中加入手性掺杂剂和感光剂，并将涂覆后的薄膜用紫外光固化。最后对薄膜进行反复涂覆和固化，直到达到足够厚度。

图 20 偏振体全息光波导工艺流程



资料来源：Wellseenn，华西证券研究所

3.3.3. 主要厂商：平行视界发布首款偏振体全息 AR 眼镜

平行视界由东南大学张宇宁教授和翁一士博士于 2022 年共同创立。其偏振体全息光波导显示技术源于东南大学电子科学与工程学院信息显示与可视化研究院，相关技术成果于 2024 年从东南大学转让至平行视界，以加速推动产业应用。

2024 年 10 月 25 日，东南大学与立讯精密合作发布首款偏振体全息 AR 眼镜——云雀，重量仅 45g。相较于同期研发的表面浮雕光波导，偏振体全息光波导具有更好的成像质量：1）光效提升 300%，大幅提升产品续航能力和显示亮度；2）前向漏光降低 80%，旁观者对漏光几乎不可见；3）独特的偏振复用技术在实现较大的视场角和出瞳尺寸的同时，保证了画面的连续性与均匀性。与此同时，偏振体全息光波导具有较低的成本优势，与表面浮雕光栅光波导相比，成本可降低 60%。

图 21 首款偏振体全息 AR 眼镜——云雀



资料来源：东南大学微信公众号，华西证券研究所

4. 镜片材料：玻璃+树脂为主，碳化硅为未来发展趋势

目前光波导产品主要采用玻璃或树脂材质。碳化硅有望实现加速渗透。

- **玻璃光波导**：玻璃光波导产品技术较为成熟，通过采用高折射率的玻璃晶圆可以提高光波导的视场角。但其缺陷在于无法实现曲面设计，难以实现轻量化，且抗冲击性差、易碎。
- **树脂光波导**：相较于玻璃材质，树脂光波导产品可实现轻量化。据 WellSenn 数据，树脂材料密度是玻璃材料密度的 1/3-1/4，在相同外观设计下，莫界树脂光波导的重量为传统玻璃镜片重量的 30-50%。与此同时树脂光波导的抗跌落和抗冲击能力更强，可大幅提升产品使用寿命和佩戴安全指数。但其缺陷在于树脂材质的折射率限制了视场角的提升，并且树脂材质存在曲面设计难度大、色散问题较严重、良率低等问题，限制了树脂光波导的普及。
- **碳化硅光波导**：2024 年 Meta 首次发布碳化硅光波导概念产品 Meta Orion，视场角可达 70°，是目前市场上采用衍射光波导所达到的最大视场角的产品。Meta Orion 的推出为 AR 眼镜在材料的选择上提出了新的思路。

表 12 镜片材质参数对比

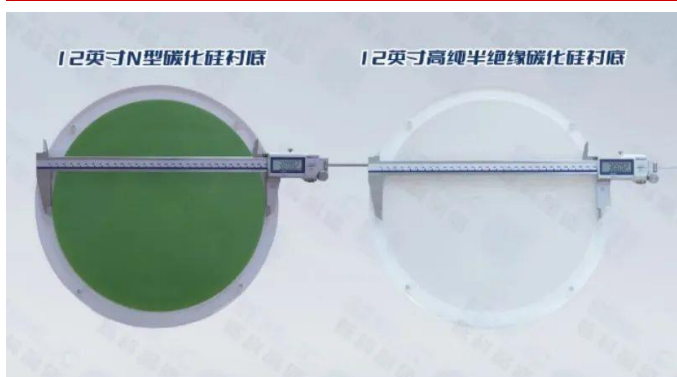
	光学玻璃	树脂	碳化硅
密度	2.5g/cm ³	0.83-1.5g/cm ³	3.2-3.25g/cm ³
折射率	1.5-2.0	1.49-1.74	2.6-2.7
透光率	>92%	84-90%	85-88%
热导率	0.712-1.340W/m·K	0.1-0.5W/m·K	490W/m·K
硬度	中	低	高
韧性	中	高	低
耐高温	中	低	高
优点	技术成熟，高透光 硬度高，具备较强的抗 划性和耐磨性	密度低，可实现轻量化 易加工，可用于曲面设计 抗冲击能力强	高折射率，可实现较大的视场角 高热导率，提升散热效率 耐高温、耐磨、耐腐蚀
缺点	抗冲击差 难轻量化 高折射率玻璃价格高	硬度低，易划伤 折射率低，视场角难以提升 色散问题较严重	加工难度大，加工成本高

资料来源：WellSenn，灵境幻视，XR 视界，艾邦 VRAR 网，中玻网，化工百科网等，华西证券研究所

碳化硅晶圆主要分为导电型和半绝缘型。导电型为淡绿色，半绝缘型为透明色，用在 AR 镜片的为高纯半绝缘型碳化硅镜片。

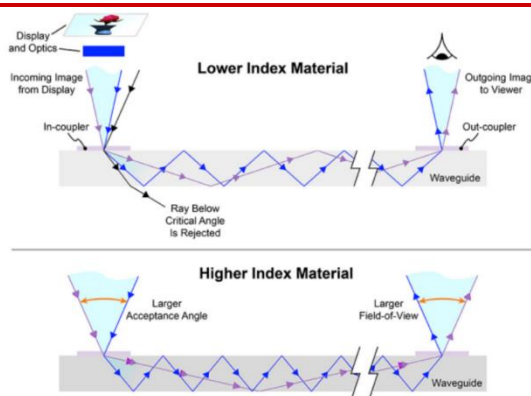
碳化硅材料通过高折射率和高热导率两大核心特性，系统性解决了 AR 眼镜的视场角窄、彩虹伪影及散热难题。1) **高折射率**：据艾邦半导体，采用表面浮雕光波导的碳化硅镜片，理论上单层镜片可实现 80° 以上全彩视场角，相比玻璃镜片需叠加 2 层或 3 层才能实现 40° 全彩显示，碳化硅镜片可以大幅减轻设备重量并扩大视野，使 AR 眼镜接近普通眼镜形态。2) **高热传导率**：SiC 的高热导率能提升 AR 眼镜的散热效率，避免热堆积导致的光学性能衰减（如彩虹纹、色偏）。但其难点在于单片碳化硅衬底成本高，碳化硅材料加工工艺复杂且与其他材料的集成难度大。据 VR 陀螺数据，一片 4 寸的碳化硅晶圆价格约为 2000 元。

图 22 碳化硅衬底



资料来源：电子电力网，华西证券研究所

图 23 高折射率材料可提升视场角



资料来源：半导体信息，华西证券研究所

需求端：碳化硅光波导加速渗透，衬底需求旺盛

碳化硅衬底远期需求旺盛。据艾邦半导体网数据，1片6英寸碳化硅衬底大约可以做成2副眼镜，一片8英寸碳化硅衬底大约可以做成3-4副眼镜，一片12英寸碳化硅衬底大约可以做成8-9副眼镜。我们假设远期全球AR眼镜出货量达到2000万台，若碳化硅光波导渗透率达到30%，则需要6英寸碳化硅衬底300万片，或8英寸碳化硅衬底150万片，或12英寸碳化硅衬底75万片。据AR圈数据，目前全球半绝缘型碳化硅晶圆的年产能仅约10万片。因此，我们认为AR眼镜市场的发展有望带来对于碳化硅衬底的旺盛需求。

表 13 碳化硅衬底需求测算

	2024	2025E	2026E	2027E	2028E	2029E	2030E	远期
全球 AR 眼镜出货量（万部）	50	60	90	150	300	500	800	2000
碳化硅光波导渗透率	0%	1%	5%	8%	12%	15%	18%	30%
全球碳化硅光波导 AR 眼镜出货量（万部）		1	5	12	36	75	144	600
6 英寸碳化硅衬底（万片）		0	2	6	18	38	72	300
8 英寸碳化硅衬底（万片）		0	1	3	9	19	36	150
12 英寸碳化硅衬底（万片）		0	1	2	5	9	18	75

资料来源：Wellisenn，艾邦半导体网，华西证券研究所

供给端：国内厂商加速布局碳化硅光波导产业链

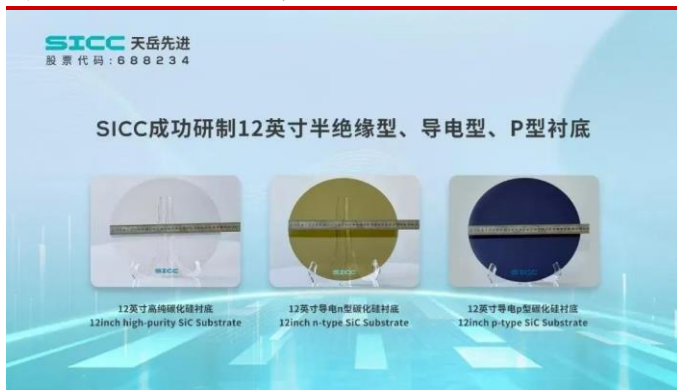
1) 天岳先进：2025 年 3 月，公司于 SEMICON China 2025 重磅发布全尺寸产品矩阵——6 英寸/8 英寸/12 英寸全系列碳化硅衬底首次集体亮相，其中 12 英寸高纯碳化硅衬底、8/12 英寸 P 型碳化硅衬底为全球首展。

2) 天科合达：2025 年 2 月，公司宣布与慕德微纳共同出资成立合资公司，旨在 AR 衍射光波导镜片技术研发与市场推广方面展开深度合作，共同推动 AR 行业的技术创新与应用落地。2025 年 3 月，公司于 SEMICON China 2025 推出 8 英寸光学级碳化硅衬底，厚度为 350/500/700 μm，透光率 > 95%（镀增透膜后），折射率为 2.7（450nm 波长下）。此外，公司计划于 2025 年下半年推出 12 英寸光学级碳化硅衬底产品，并于 2026 年实现 8 英寸光学级碳化硅衬底的小规模量产。

3) 晶盛机电：2025 年 2 月，公司联合龙旗科技、XREAL 与鲲游光电签署《AI/AR 产业链战略合作协议》，子公司 SuperSiC 浙江晶瑞将为 2027 年 L4 级智能眼镜量产提供光学级碳化硅晶片的“产能+品质+成本”三重保障。2025 年 3 月，浙江晶瑞于 SEMICON China 2025 首次开展展出 8 英寸光学级碳化硅晶圆/衬底。

请仔细阅读在本报告尾部的重要法律声明

图 24 天岳先进 12 英寸碳化硅衬底



资料来源：行家说，华西证券研究所

图 25 浙江晶瑞 8 英寸光学级碳化硅衬底



资料来源：行家说，华西证券研究所

5. 投资建议

光波导市场规模测算：我们假设远期全球 AR 眼镜出货量有望达到 2000 万台，光波导方案渗透率达到 70%，其中一维阵列、二维阵列、表面浮雕、体全息光波导占比分别约为 10%、5%、60%、25%。与此同时，据 WellSenn 数据，一维阵列、二维阵列、表面浮雕、体全息光波导单机价值量分别为 100、500、100、20 美元。综上所述，我们预计远期 AR 眼镜出货突破 2000 万部时，光波导方案的市场规模有望达到 14 亿美元，折合人民币约 100 亿元，远期成长空间广阔。

表 14 光波导市场规模测算

	2024	2025E	2026E	2027E	2028E	2029E	2030E	远期
全球 AR 眼镜出货量 (万部)	50	60	90	150	300	500	800	2000
yoy		20%	50%	67%	100%	67%	60%	
全球光波导眼镜出货量 (万部)	13	18	32	60	135	250	440	1400
光波导渗透率	25%	30%	35%	40%	45%	50%	55%	70%
光波导方案占比								
几何阵列光波导—一维扩瞳	18.0%	17.0%	16.0%	15.0%	14.0%	13.0%	12.0%	10.0%
几何阵列光波导—二维扩瞳	1.5%	1.8%	2.0%	2.3%	2.5%	2.8%	3.0%	5.0%
表面浮雕光波导	80.0%	80.2%	80.5%	79.7%	77.5%	74.2%	70.0%	60.0%
体全息光波导	0.5%	1.0%	1.5%	3.0%	6.0%	10.0%	15.0%	25.0%
出货量 (万部)								
几何阵列光波导—一维扩瞳	2	3	5	9	19	33	53	140
几何阵列光波导—二维扩瞳	0	0	1	1	3	7	13	70
表面浮雕光波导	10	14	25	48	105	186	308	840
体全息光波导	0	0	0	2	8	25	66	350
市场规模 (百万美元)								
几何阵列光波导—一维扩瞳	2	3	5	9	19	33	53	140
几何阵列光波导—二维扩瞳	1	2	3	7	17	35	66	350
表面浮雕光波导	10	14	25	48	105	186	308	840
体全息光波导	0	0	0	0	2	5	13	70
全球 AR 光波导市场规模 (百万美元)	13	19	34	64	142	258	440	1400

资料来源：WellSenn，华西证券研究所

随着 AI 模型的搭载，叠加各大厂商的积极入局，AR 眼镜有望实现加速迭代放量，潜在成长空间巨大。而光波导作为影响其显示效果的核心零部件之一，有望实现深度受益。相关受益标的：1) 光波导模组：歌尔股份、水晶光电、舜宇光学、蓝特光学等；2) 碳化硅材料：天岳先进，晶盛机电等。

表 15 相关受益标的

公司名称	代码	股价 (元)	市值 (亿元)	归母净利润 (亿元)			PE		
				2025E	2026E	2027E	2025E	2026E	2027E
歌尔股份*	002241.SZ	22.27	777.44	32.61	42.31	52.60	23.84	18.37	14.78
水晶光电	002273.SZ	20.10	279.52	12.66	15.44	17.97	22.08	18.11	15.55
舜宇光学	2382.HK	65.90	721.48	34.21	40.54	47.10	21.09	17.80	15.32
蓝特光学	688127.SH	24.16	97.41	3.58	4.60	5.65	27.17	21.16	17.25
天岳先进	688234.SH	60.44	259.72	3.02	4.80	6.48	86.13	54.10	40.09
晶盛机电	300316.SZ	28.97	379.37	24.68	25.34	24.02	15.37	14.97	15.79

资料来源：wind，华西证券研究所

注：表*采用华西证券预测，其余均采用一致预期，时间截至 2025 年 5 月 8 日

6. 风险提示

AR 眼镜出货不及预期，新技术发展不及预期等。

分析师承诺

作者具有中国证券业协会授予的证券投资咨询执业资格或相当的专业胜任能力，保证报告所采用的数据均来自合规渠道，分析逻辑基于作者的职业理解，通过合理判断并得出结论，力求客观、公正，结论不受任何第三方的授意、影响，特此声明。

评级说明

公司评级标准	投资 评级	说明
以报告发布日后的 6 个月内公司股价相对上证指数的涨跌幅为基准。	买入	分析师预测在此期间股价相对强于上证指数达到或超过 15%
	增持	分析师预测在此期间股价相对强于上证指数在 5%—15% 之间
	中性	分析师预测在此期间股价相对上证指数在 -5%—5% 之间
	减持	分析师预测在此期间股价相对弱于上证指数 5%—15% 之间
	卖出	分析师预测在此期间股价相对弱于上证指数达到或超过 15%
行业评级标准		
以报告发布日后的 6 个月内行业指数的涨跌幅为基准。	推荐	分析师预测在此期间行业指数相对强于上证指数达到或超过 10%
	中性	分析师预测在此期间行业指数相对上证指数在 -10%—10% 之间
	回避	分析师预测在此期间行业指数相对弱于上证指数达到或超过 10%

华西证券研究所：

地址：北京市西城区太平桥大街丰汇园 11 号丰汇时代大厦南座 5 层

网址：<http://www.hx168.com.cn/hxzq/hxindex.html>

华西证券免责声明

华西证券股份有限公司（以下简称“本公司”）具备证券投资咨询业务资格。本公司签约客户使用。本公司不会因接收人收到或者经由其他渠道转发收到本报告而直接视其为本公司客户。

本报告基于本公司研究所及其研究人员认为的已经公开的资料或者研究人员的实地调研资料，但本公司对该等信息的准确性、完整性或可靠性不作任何保证。本报告所载资料、意见以及推测仅于本报告发布当日的判断，且这种判断受到研究方法、研究依据等多方面的制约。在不同时期，本公司可发出与本报告所载资料、意见及预测不一致的报告。本公司不保证本报告所含信息始终保持在最新状态。同时，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，投资者需自行关注相应更新或修改。

在任何情况下，本报告仅提供给签约客户参考使用，任何信息或所表述的意见绝不构成对任何人的投资建议。市场有风险，投资需谨慎。投资者不应将本报告视为做出投资决策的惟一参考因素，亦不应认为本报告可以取代自己的判断。在任何情况下，本报告均未考虑到个别客户的特殊投资目标、财务状况或需求，不能作为客户进行客户买卖、认购证券或者其他金融工具的保证或邀请。在任何情况下，本公司、本公司员工或者其他关联方均不承诺投资者一定获利，不与投资者分享投资收益，也不对任何人因使用本报告而导致的任何可能损失负有任何责任。投资者因使用本公司研究报告做出的任何投资决策均是独立行为，与本公司、本公司员工及其他关联方无关。

本公司建立起信息隔离墙制度、跨墙制度来规范管理跨部门、跨关联机构之间的信息流动。务请投资者注意，在法律许可的前提下，本公司及其所属关联机构可能会持有报告中提到的公司所发行的证券或期权并进行证券或期权交易，也可能为这些公司提供或者争取提供投资银行、财务顾问或者金融产品等相关服务。在法律许可的前提下，本公司的董事、高级职员或员工可能担任本报告所提到的公司的董事。

所有报告版权均归本公司所有。未经本公司事先书面授权，任何机构或个人不得以任何形式复制、转发或公开传播本报告的全部或部分内容，如需引用、刊发或转载本报告，需注明出处为华西证券研究所，且不得对本报告进行任何有悖原意的引用、删节和修改。