

碳化硅SiC行业深度：  
打开AR眼镜新应用场景，  
半绝缘型碳化硅衬底片放量在即

证券分析师：周尔双

执业证书编号：S0600515110002

联系邮箱：[zhoues@dwzq.com.cn](mailto:zhoues@dwzq.com.cn)

证券分析师：李文意

执业证书编号：S0600122080043

联系邮箱：[liwenyi@dwzq.com.cn](mailto:liwenyi@dwzq.com.cn)

2025年4月25日

- **AR眼镜是AI应用的完美载体，可以结合虚拟和现实。**AR眼镜（增强现实眼镜）是一种将虚拟信息叠加到现实世界中的智能穿戴设备，核心在于虚拟信息与现实世界的完美融合。2024年全球AR眼镜出货量达到55.3万副，同比+7.8%，其中中国2024年出货28.6万副。光学显示系统为AR眼镜的核心。光学显示系统由光学组合器和微显示屏组成。光学显示系统是整个AR眼镜的核心部件，也是价值量最大的部件，约占整个AR眼镜成本的40%+。
- **表面浮雕光栅波导方案是AR眼镜光学显示系统的未来主流趋势。**表面浮雕光栅波导相对制造成本可控、工艺成熟，光学性能优秀。尽管存在色散和彩虹纹问题，但可以将衬底更换为SiC来解决。结合技术水平和量产难度，表面浮雕光栅波导是最现实也最有前景的量产方案。目前即将推出的主流AR眼镜均采用该方案。
- **碳化硅材料具备高折射率、高热导性，成为AR眼镜镜片的理想基底材料。**基底材料的折射率越高，AR镜片的FOV就更大，单层SiC镜片即可实现80度以上FOV，可以提供更轻薄的尺寸和更大更清晰的视觉效果。高折射率同样可以有效解决光波导结构中的彩虹纹和色散问题。高导热性则有效提升了AR眼镜的散热能力和性能表现。同时，SiC材料的高硬度和热稳定性亦支持刻蚀工艺的引入，有效提升产能和良率。
- **SiC+SRG光波导+刻蚀工艺是AR眼镜取得重大进展的技术基础。**高折射率、高热导性的碳化硅材料和表面浮雕光栅波导有效的提升了AR眼镜的FOV，解决了原先存在的彩虹纹和色散、光损现象，同时实现了轻薄化设计和较好的被动散热能力。碳化硅衬底、表面浮雕光栅波导的发展、刻蚀工艺的突破，正是未来AR眼镜加速在消费市场产品完善和批量出货的技术基础。
- **AR眼镜镜片需要半绝缘型碳化硅衬底片，大尺寸衬底片成为降本关键。**大尺寸衬底片可以大幅降低切削损耗进而降低镜片材料成本。突破12寸衬底片量产工艺，才能实现碳化硅基底成本下降，带动AR眼镜进入大众消费级市场。我们预计若未来AR眼镜出货量1亿台时，所需12寸碳化硅衬底约1000万片+。
- **投资建议：**重点推荐晶盛机电、天岳先进。
- **风险提示：**下游需求不及预期，技术研发不及预期。



- 1 AR眼镜是AI应用的完美载体，可以结合虚拟和现实
- 2 光波导结构：表面浮雕光栅波导为主流方案
- 3 碳化硅材料：高折射率与高热导性成为最理想AR镜片材料
- 4 光波导制造：配合碳化硅引入刻蚀工艺，实现批量稳定生产
- 5 半绝缘型碳化硅衬底片：12寸为未来突破方向
- 6 投资建议
- 7 风险提示

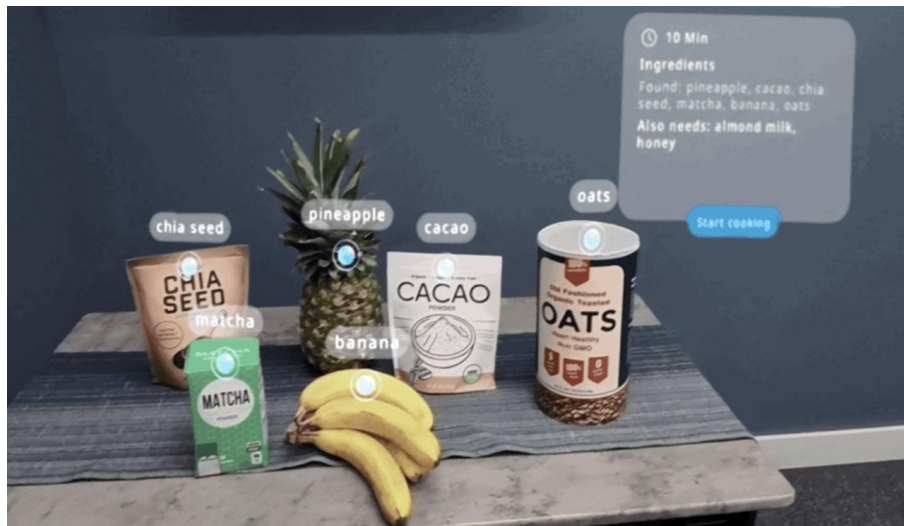
# 1.1 AR眼镜能够实现虚拟信息与现实世界的完美融合

- **AR眼镜（增强现实眼镜）**是一种将虚拟信息叠加到现实世界中的智能穿戴设备，核心在于虚拟信息与现实世界的完美融合。与**VR眼镜（虚拟现实眼镜）**相比，主要区别在于AR眼镜通过光学显示技术，将数字内容（如图像、视频、3D模型等）叠加到现实世界中，与现实环境融合，为用户提供增强现实的体验。而VR眼镜则是通过在完全封闭式的显示屏幕，使用户完全沉浸于虚拟环境中，无法看到现实世界。
- **AR+AI智能眼镜：**依据硬件配置以及是否整合AR显示技术，AI眼镜可以细分为**音频AI智能眼镜、拍照AI智能眼镜以及AI+AR智能眼镜**三类。音频AI智能眼镜是AI智能眼镜的基础形态，仅仅是普通眼镜+蓝牙耳机+AI大模型；拍照AI智能眼镜在音频AI智能眼镜的基础上集成了摄像头，可以用于拍照、文字识别等；AI+AR智能眼镜在拍照AI智能眼镜的基础上进一步融合了AR显示功能，使得AI大模型能够结合环境数据通过AR提供实时推送与交互，如导航路径叠加、物体识别标注等，真正实现了智能化的虚拟与现实交互，成为AR眼镜的理想形态。

◆ 图：META于2024年9月发布的Orion概念眼镜



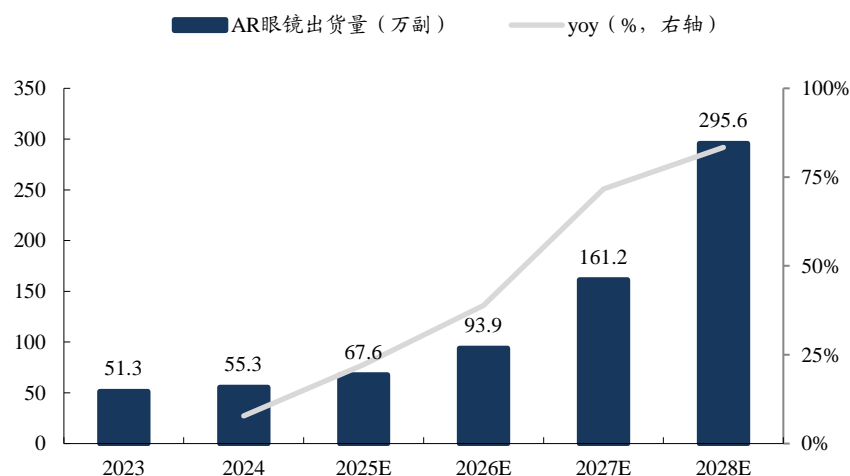
◆ 图：AR眼镜核心在于虚拟信息与现实世界交互



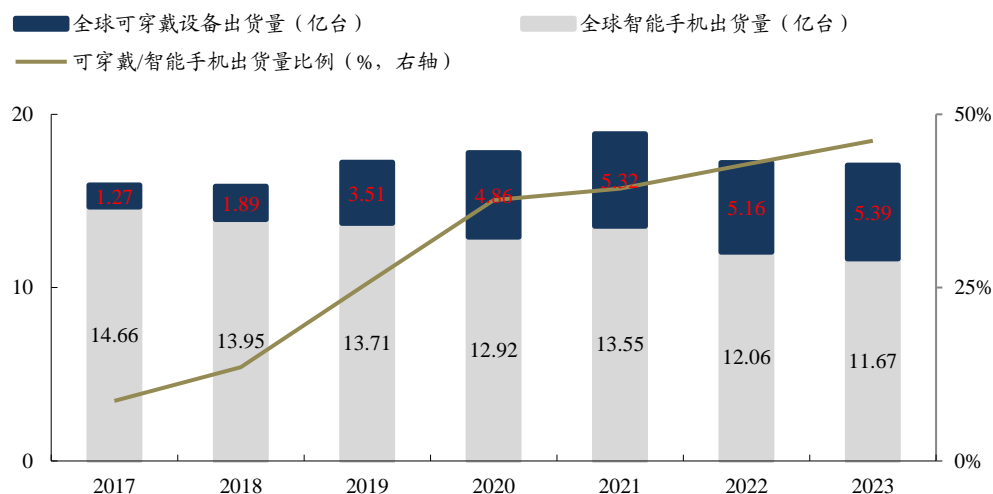
## 1.2 2024年全球AR眼镜出货达55.3万副，中国厂商占据近八成市场

- **2024年全球AR眼镜出货量达到55.3万副，同比+7.8%，其中中国2024年出货28.6万副。**2024年中国AR眼镜市场迎来发展高峰，更多品牌新品进入市场，并且AR眼镜在便携性、轻量化、功能性、技术性等方面均有显著提升，更好地满足了消费者需求，预计到2028年出货有望突破295万副。
- **AR眼镜的产业化趋势可参考可穿戴设备。**自2020年可穿戴设备放量以来，其出货量在2023年已稳定至5.4亿台。期间，智能手机出货量为11.7亿台，随着AR眼镜的功能逐渐达到可穿戴设备（如智能手表）的水平，凭借其佩戴便捷性及社交属性，AR眼镜的产业化趋势可参考可穿戴设备。

◆ 图：2028年AR眼镜出货量有望突破295万副



◆ 图：2021年以来全球可穿戴设备出货量均超5亿台/年

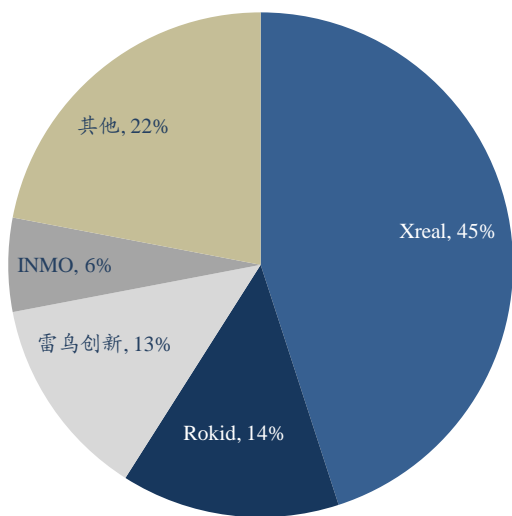




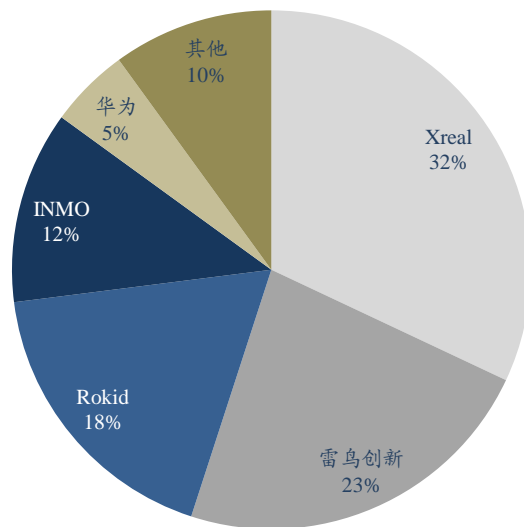
## 1.2 2024年全球AR眼镜出货达55.3万副，中国厂商占据近八成市场

- 中国企业占据全球AR眼镜近八成市场。2023年全球AR市场份额前五位分别是Xreal、Rokid、雷鸟、INMO、Magic Leap，市场份额分别为45%、14%、13%、6%、4%，其中前四位均为国内品牌，共占据市场份额约78%；2023年中国AR市场份额前五位分别是Xreal、雷鸟、Rokid、影目、华为，市场份额分别为32%、23%、18%、12%、5%。

◆ 图：2023年全球AR眼镜市场竞争格局，中国企业占据近8成市场



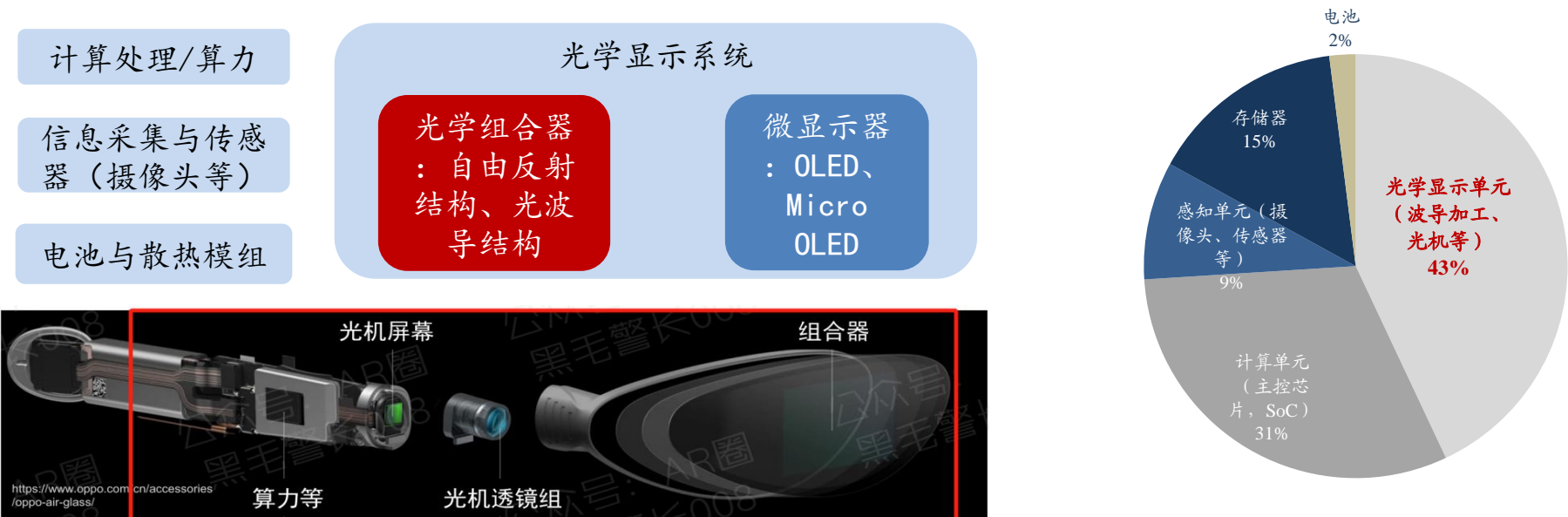
◆ 图：2023年中国AR眼镜市场竞争格局，Xreal、雷鸟、Rokid为前三大玩家



## 1.3 AR眼镜的核心在于光学显示系统中的光学组合器

- AR眼镜包括光学显示系统、计算处理系统、信息采集系统与传感器、电池与散热模组等。
- 光学显示系统为AR眼镜的核心。光学显示系统由光学组合器和微显示屏组成。光学显示系统是整个AR眼镜的核心部件，也是价值量最大的部件，约占整个AR眼镜成本的40%+。微型显示屏主要由 OLED、Micro OLED 等高亮度显示屏组成，光学组合器则负责实现虚拟信息与现实世界的融合，是AR眼镜镜片的核心功能，主要包括自由曲面、光波导等技术路线。
- AR眼镜走向商业落地并进入大众消费级市场的关键在于轻薄化设计和成熟的虚拟/现实交互。轻薄化设计核心在于降低各组件的重量、在保证强度的同时采用低密度机身材料；虚拟/现实交互核心在于光学显示系统需要有高亮度/均匀色彩光源、较好的环境透光性、舒适的观看角度，并克服环境光造成的彩虹纹/色散现象。

◆ 图：AR眼镜核心组成部分



# 1.4 AR眼镜追求更轻、更亮、能耗更低、视场角更大

◆ 图：AR眼镜镜片材料的主要评价指标和范围

参数指标	定义	范围
视场角 (FOV)	人眼可观察部分的边缘与人眼瞳孔中心连线的夹角，包括水平视场角、垂直视场角以及对角线视场角。视场角越大，沉浸感越强。	15-40° :信息提示 40-60° :投屏观影 60-100° :虚实融合(MR应用) 100° 及以上:沉浸体验(游戏、观影)
亮度	屏幕图像入眼亮度，影响画面的清晰度、对比度、色彩鲜艳度等。环境光越强，AR所需要的亮度也相应提高	室内需求:300 nit 正常户外:1500 nit 晴天户外:3000 nit
透光率	人眼透过光学元件可接收到的环境光量与总环境光量比例，决定了画面的清晰度。低透光率会威胁到户外活动的安全性	棱镜:12.5% 自由曲面:35%-80% Birdbath:10%-30% 光波导:85%-90%
眼动范围 (Eyebox)	近眼显示光学模组与眼球之间的一块锥形区域，显示内容最清晰的部分，与 FOV相互制约	AR 的Eyebox 通常为矩形,由于人的瞳孔直径大约4mm, 所以 Eyebox的直径或宽不能小于 4mm
光学效率	人眼接收光与发光元件(屏幕或者光机)发出光的比例，由于存在设计、制造等方面的问题，通常真实的光学效率低于理论值	棱镜:12.5% 自由曲面:30%-80% Birdbath:25%% 阵列光波导:8%-15%(一维)， 5%(二维) 衍射光波导:0.1%-1%
体积与重量	直接决定AR眼镜佩戴舒适度，重量取决于镜片材料的密度和材料光学性能所决定的厚度和尺寸	越接近普通眼镜（重量约30-80g,厚度约2-5mm），佩戴体验越好
散热性能 (热导率)	AR眼镜只能依赖自身材料进行被动散热。散热性能决定AR眼镜计算性能及自身稳定性	SiC: 490 W/m·K 玻璃: 1W/m·K 树脂: 0.2W/m·K





- 1 AR眼镜是AI应用的完美载体，可以结合虚拟和现实
- 2 光波导结构：表面浮雕光栅波导为主流方案
- 3 碳化硅材料：高折射率与高热导性成为最理想AR镜片材料
- 4 光波导制造：配合碳化硅引入刻蚀工艺，实现批量稳定生产
- 5 半绝缘型碳化硅衬底片：12寸为未来突破方向
- 6 投资建议
- 7 风险提示

## 2.1 AR眼镜的组合器可分为自由空间反射与光波导结构两大类

- AR眼镜需要通过光学组合器（Optical Combiner）实现微显示屏虚像与外界环境光的同步呈现，由此出现自由空间反射和光波导两大类技术路线。其中，自由空间反射包括耐德佳的自由曲面方案、XReal的BirdBath方案；光波导包括Lumus的几何反射波导方案、HoloLens的表面浮雕光栅波导（SRG）方案和处于研发中的全息光栅波导（VHG）方案。目前，光波导方案属于行业主流技术路线。

◆ 图：AR眼镜光学组合器结构：自由空间反射与光波导

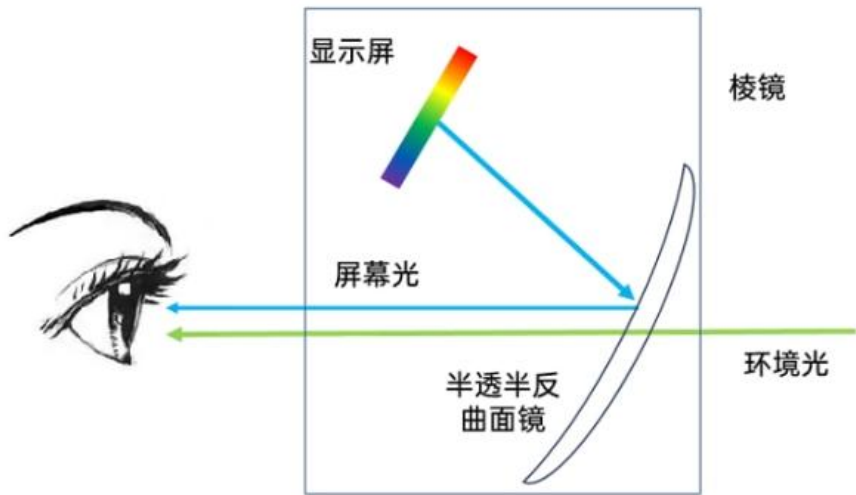
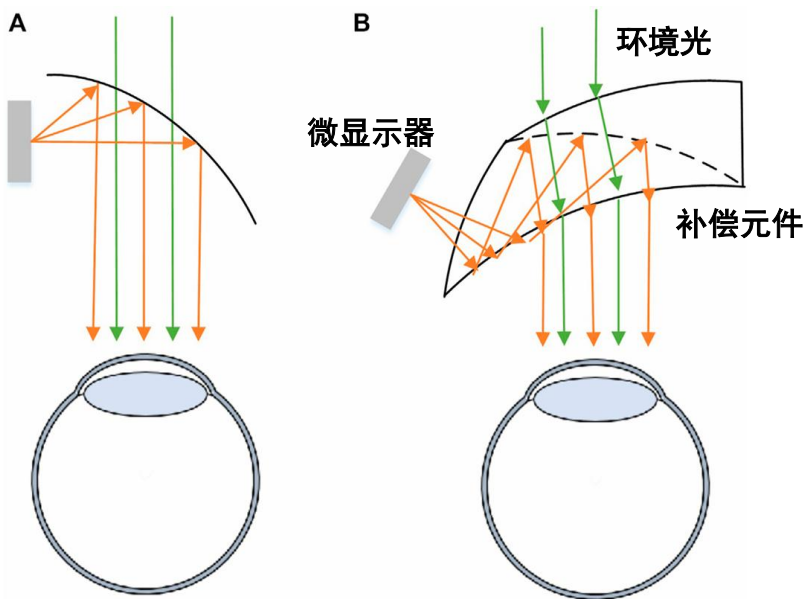
	自由空间反射结构		光波导结构		
分类	自由曲面	BirdBath	几何反射波导	表面浮雕光栅波导	全息光栅波导
基本原理	光线一次反射	光线二次反射	光线连续反射/透射实现扩瞳并成像		
优点	使用传统几何光学器件，设计比较成熟，基于最简单光学反射，成像效果好	比自由曲面方案更薄、尺寸更小，FOV较大、成像效果好、生产成本较低，适合大规模批量生产。	无色散、成像质量高，适用于专业显示场景	二维扩瞳灵活，量产成本可控工艺成熟，SiC方案提升FOV和散热	轻薄、耐摔、透光率高，树脂基底成本低，适合消费市场，生产良率高
缺点	镜片厚度很难压缩。存在局部图像畸变、高精度自由曲面镜片加工难度较大等问题	光路双重反射造成入眼亮度衰减严重，同时透光率很低，和墨镜颜色相同，同时较厚重	工艺复杂，难以实现二维扩瞳，生产良率低，重量大，较厚重	色散问题显著，需高折射率材料补偿，存在彩虹纹干扰现象	大视角需要多层堆叠。材料稳定性要求严格封装。技术不成熟

## 2.2 自由空间反射结构：自由曲面方案缺点在于镜片厚度较大

- 自由曲面方案采用光路组合，微显示器成虚像的同时加入补偿元件来抵消对外界环境光的扭曲，实现同步呈现。自由曲面方案采用非对称的自由曲面反射镜（非球面或复杂面形），光线仅经过**一次有效反射**即可进入人眼。优点在于使用传统几何光学器件，设计比较成熟，同时基于最简单的光学反射，成像效果很好。缺点则是光路堆积在眼睛正前方，传统光路反射的体积和空间遵循几何关系，镜片厚度理论上很难进一步压缩。同时存在局部图像畸变、高精度自由曲面镜片加工难度较大的问题。

◆ 图：自由空间反射结构通过引入光学补偿元件实现同步呈现

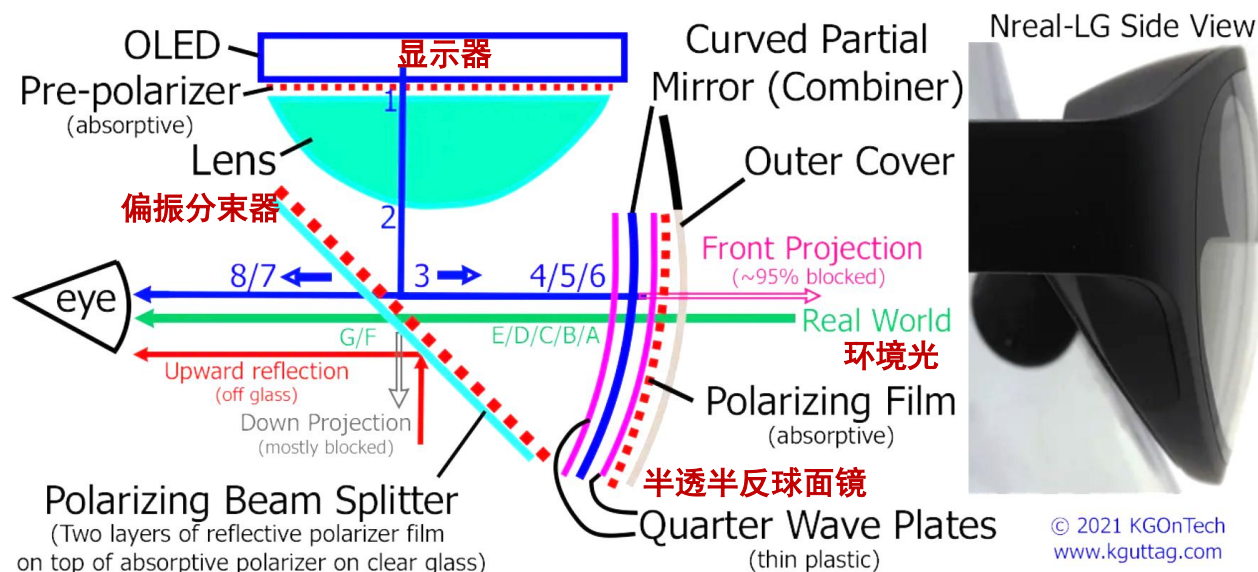
◆ 图：自由曲面方案原理图



## 2.3 自由空间反射结构：BirdBath（BB）方案缺点在于透光率低

- 标准的BB模组包含显示模组、透镜组、偏振分束器、半透半反球面镜。来自顶部OLED屏幕1的光通过透镜2放大、变焦后，经由偏振分束器3（红）反射到曲面镜（60%透过，40%反射），光穿过曲面镜5（蓝）在薄塑料片组成的四分之一波片46（紫）反射，经过两层四分之一波片使光相位旋转90度（四分之一波片通常用于线偏振光与圆偏振光的转换），然后经过偏振分束器78进入人眼。最终入眼亮度仅为屏幕亮度的15%左右。
- **BirdBath方案**是对自由曲面方案的改进，通过光路的双重反射实现光学模组尺寸的降低。经过**双重反射**，BB方案可以实现比自由曲面方案更薄、尺寸更小的镜片，同时FOV较大、成像效果好、生产成本也较低，适合大规模批量生产。缺点是光路双重反射造成入眼亮度衰减严重，同时透光率很低，以Nreal为例，它隔绝了约75%真实环境中的光线，接近于戴上中等深色墨镜。同时由于结构设计，大部分组件重量堆叠在鼻梁处，镜片仍然较厚（Xreal方案仍然约为25mm左右，光波导方案仅需个位数），因此仍然是过渡性选择，难以被市场所接受。

◆ 图：BB方案需要进行两次反射实现减薄，但同时造成亮度衰减严重，需要配合高亮度显示器

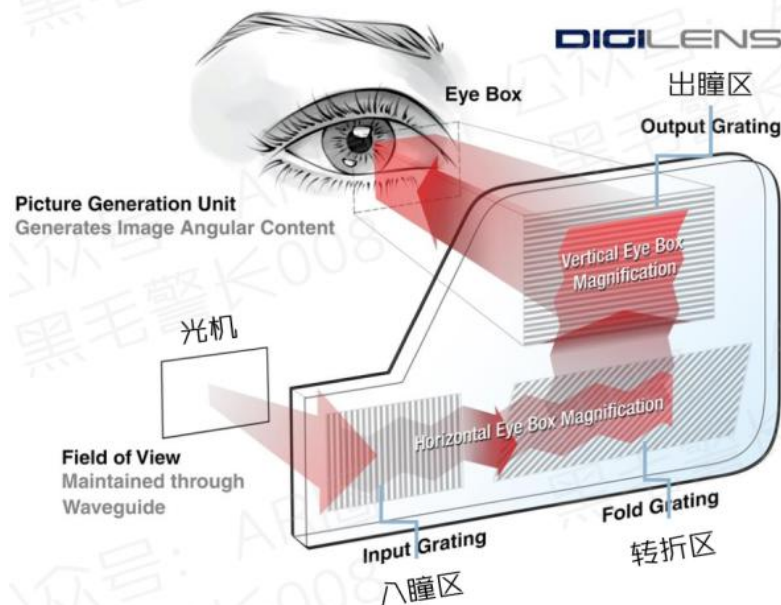
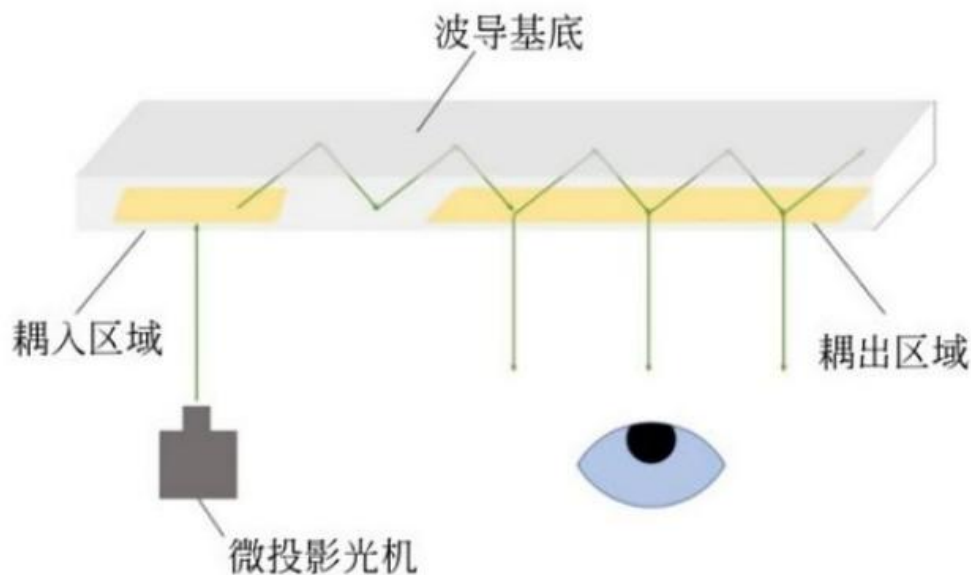




## 2.4 光波导结构的核心在于扩瞳

- 光波导是指将光机成像后的光线耦合进基底后通过**全反射原理**传输到眼睛前方再释放出来的光学结构，在这个过程中，光波导仅仅以类似光缆的形式传输光信号，并不对图像光信号做任何改变，从而实现光路的纵向压缩，将显示屏和成像系统自由放置在其他部位，在根本上解决了AR眼镜镜片厚度和重量配置的问题。光波导方案的核心在于扩瞳，即让输入光斑复制扩大到人眼球可接受的移动范围（即动眼框Eyebox）内，扩瞳方式决定了光波导的不同技术路线，包括几何反射波导、表面浮雕光栅波导SRG和全息光栅波导VHG三种路线。
- 光波导结构的核心组成部分包括光机、耦合区域（入瞳区）、波导基底材料、耦合区域（出瞳区）。

◆ 图：光波导结构的原理在于将光机产生图像通过波导结构耦合进入人眼实现近眼成像

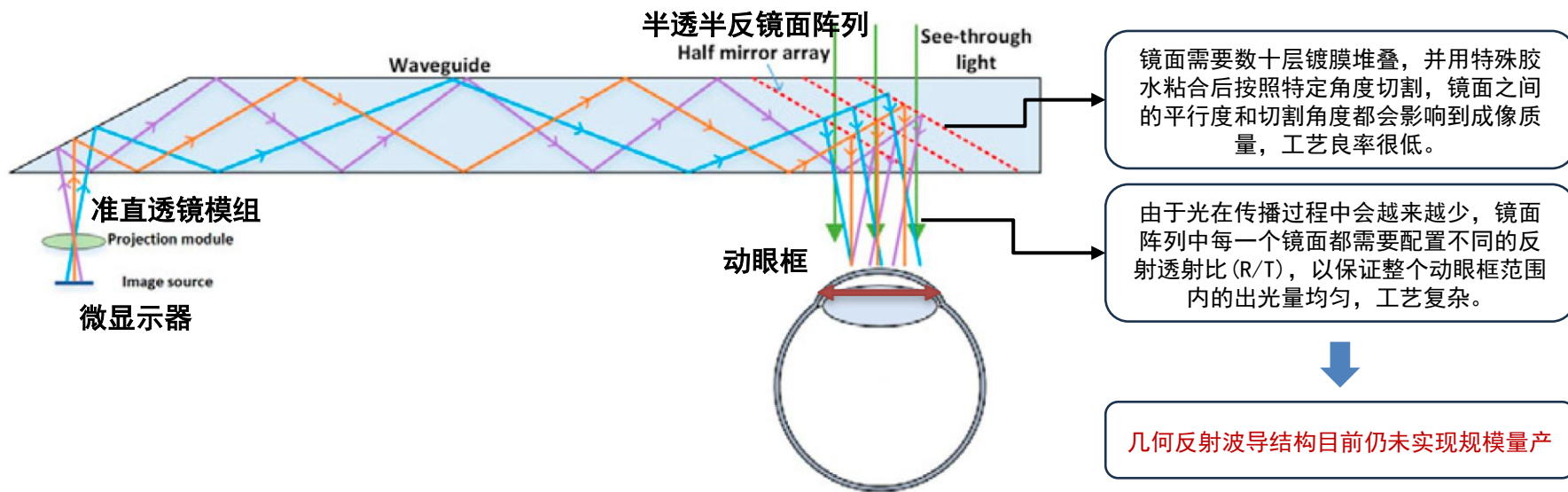




## 2.5 光波导结构：几何反射波导方案目前量产难度较大

- **几何反射波导（阵列反射波导）**通过半透半反镜面阵列堆叠实现图像输出和Eyebox扩大。半透半反镜面是嵌入基底并与传输光线形成特定角度的镜面，每一个镜面会将部分光线反射出波导进入人眼，剩下的光线透射后继续在波导中前进。随后透射光又遇到另一个半透半反镜面，从而重复上面的反射-透射过程，直到半透半反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，从而通过阵列堆叠实现输入光线扩瞳。
- **几何反射波导面临结构缺陷及量产难题：**由于采用半透半反镜面阵列实现扩瞳，需要对镜面进行切割、胶合和排列布置，步骤繁多造成多工序良率下降；同时由于光线传播的衰减效应，需要精确的镜面配置和排列，进一步增大了内部结构的复杂性和量产难度，导致几何反射波导结构尚未实现量产。

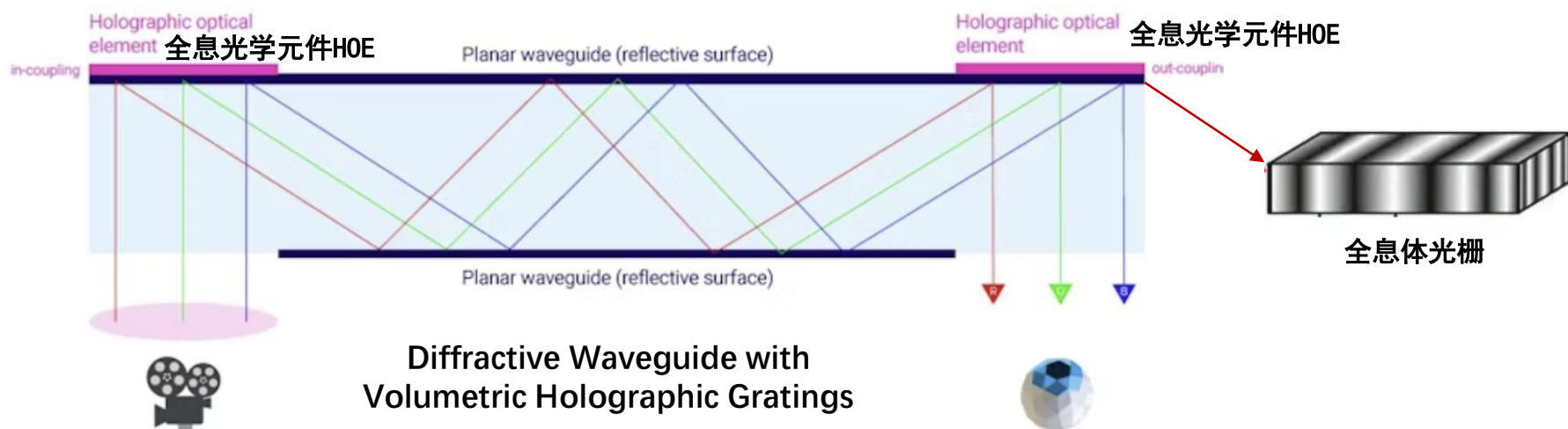
◆ 图：几何反射波导通过半透半反镜面阵列实现扩瞳



## 2.6 光波导结构：全息体光栅波导（VHG）目前量产难度较大

- 全息体光栅波导VHG是在SRG的基础上，将雕刻出的表面浮雕光栅替换为体全息光栅作为波导耦入器件。VHG一般通过双光束全息曝光的方式，直接在光敏聚合物薄膜内部干涉形成明暗分布的干涉条纹，使薄膜内出现折射率差( $\Delta n$ , index contrast)，从而引起了材料内部的折射率周期性变化。其周期接近光波长（约数百纳米），满足布拉格衍射条件，实现通过衍射效应改变光线传输方向，最终扩瞳入眼。
- VHG是未来最理想的AR镜片方案：VHG可实现大视场（三层光栅可达80度FOV）、大出瞳、高光效（单级效率70%以上）图像输出，同时具有质量和体积更紧凑（厚度约为1-3mm）、色彩均匀性好、可集成准直透镜进一步简化光学系统设计、良品率高、易于实现单片彩色波导的优势。
- 全息体光栅波导量产难度较大。VHG以全息干涉曝光方法进行波导片加工需精密控制激光波长、曝光角度、材料配方等参数，工艺复杂度高。同时做大FOV需要叠加多层全息光栅、彩色波导片需要高密度的曝光材料、光敏聚合物层需严格封装等都进一步增加了工艺难度，限制了大规模量产。

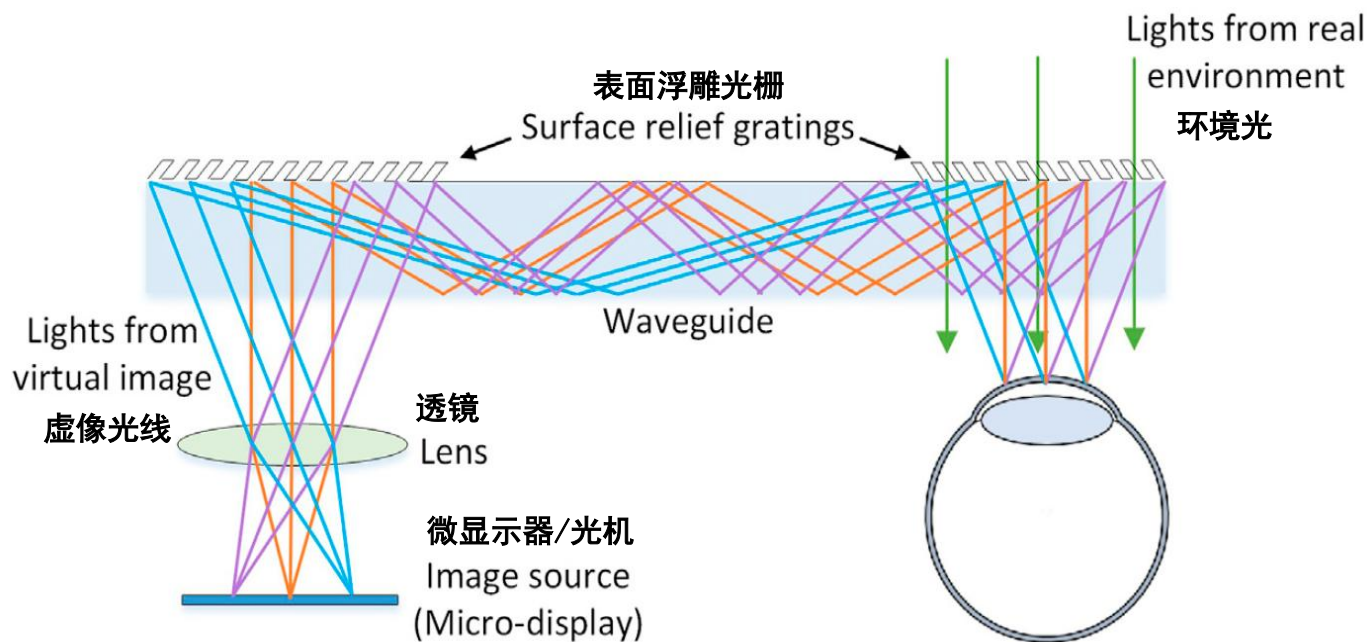
◆ 图：VHG方案通过通过全息体光栅实现光线耦合出入



## 2.7 光波导结构：表面浮雕光栅波导（SRG）目前较为适合量产

- 表面浮雕光栅波导SRG是指利用镜片表面浮雕出来、带有高峰和低谷的光栅来实现光线耦合出入的光学结构。光波导结构中，光机产生虚像进入人眼，需要依靠光耦合入（Couple-In）和耦合出（Couple-Out）波导过程。在几何反射波导中该过程由多组半透半反镜面阵列实现，而在SRG中由通过表面浮雕出来的带有周期结构的微纳米级别光栅实现。全反射光线在每次触及光栅时都会有一部分通过反射衍射实现出瞳入眼，剩下部分光线通过透射衍射继续在光波导内前进，直到下一次触及光栅后重复反射衍射-透视衍射过程，实现扩瞳。

◆ 图：SRG通过表面浮雕光栅实现光线耦合出入及扩瞳



## 2.7 光波导结构：表面浮雕光栅波导（SRG）目前较为适合量产

- **扩瞳直接关系用户体验，分为一维/二维扩瞳：**扩瞳（Eyebox Expansion）是指通过光学设计手段扩大用户眼睛的可移动范围（即“Eyebox”），使得用户在头部或眼球轻微移动时，仍能清晰、完整地看到增强现实（AR）图像。这一技术直接关系到AR眼镜的佩戴舒适性和用户体验。其中一维扩瞳是指在水平/瞳距方向的扩瞳，二维扩瞳则可以在水平+垂直/瞳距+鼻梁双向扩瞳，可以进一步提升用户视觉范围。
- **SRG的优势在于可以实现二维扩瞳，进而获取AR眼镜设计上更大的自由度。**几何反射波导只能实现在双眼瞳距方向（X）上的扩瞳，而得益于光栅结构可以在比传统光学结构更大的自由度上控制光线，SRG可以通过配置转折光栅和二维光栅实现沿鼻梁方向（Y）上的扩瞳，使得AR眼镜能够接受更大范围的瞳距，对不同脸型、鼻梁高度的人群也更有兼容性，从原理上解决了AR眼镜适应性差的问题。同时通过光栅配置，SRG可以自由实现非常复杂的架构，如FOV拼接，单光机双光导、任意位置入瞳(光机可以任意位置摆放)等。

◆ 图：SRG通过表面浮雕光栅实现光线耦合出入及扩瞳

	一维扩瞳	二维扩瞳
扩瞳方向	单方向扩展（水平或垂直）	双向扩展（水平+垂直），形成更大的Eyebox
技术实现	通过单组反射镜阵列或一维光栅实现单向光束复制	需多组光栅或二维光栅结构实现双向扩展
眼动范围	较小，用户头部微小位移可能导致图像显示不全	较大，适配不同瞳距和头部移动，提升佩戴容错性
光效与能量分布	光能集中在一个方向，单位面积能量较高	光能分散至双向，单位面积能量较低，但总光效通过设计优化可提升78
制造复杂度	工艺相对简单，传统几何光波导冷加工即可实现	需高精度纳米级加工或复杂光栅设计
应用场景	适用于对Eyebox要求不高的工业或B端场景	更适合消费级AR眼镜，提供沉浸式全天候舒适体验
成像质量	无彩虹效应，成像对比度高（几何光波导）	衍射光波导可能伴随彩虹效应，但几何光波导二维扩瞳可避免此问题



## 2.7 光波导结构：表面浮雕光栅波导（SRG）目前较为适合量产

● 结合技术难度与量产成本考量，表面浮雕光栅波导是AR镜片最有前景的量产方案。几何反射波导方案光损严重，只能实现一维扩瞳，同时工艺复杂良率低，至今没有销售级别的量产产品；全息体光栅波导方案需要多层堆叠和严格的封装，同时干涉曝光成形工艺复杂、生产要求极高，虽然比较理想，但需要解决量产成本和工艺问题。表面浮雕光栅波导相对制造成本可控、工艺成熟，光学性能优秀。尽管存在色散和彩虹纹问题，但可以将衬底更换为SiC来解决。因此结合技术水平和量产难度，表面浮雕光栅波导是最现实也最有前景的量产方案。

◆ 表：对比三种光波导方案，表面浮雕光栅波导是最适合大规模量产的方案，同时技术先进

	几何反射波导	表面浮雕光栅波导SRG	全息体光栅波导VHG
光学原理	基于半透半反镜面阵列，通过传统光学反射实现光耦合与扩展	通过微纳米加工在基底表面刻蚀周期性结构，利用衍射效应导光	通过双光束干涉在光敏材料上制备体全息光栅，利用布拉格衍射导光
最大FOV	20° -55° (Lumus产品)	52° (HoloLens 2)、50° (Magic Leap One)，换用SiC可实现80°	单层光栅约为25-35°，三层光栅可达80°以上
扩瞳能力	一维扩瞳（双眼瞳距方向）	二维扩瞳(2D EPE) 通过旋转光栅或二维光栅实现	二维扩瞳(2D EPE) 通过多层光栅结构实现
光学效率	光损约75%-80% 需要引入高亮度光源作补偿	光损约30%-40% 存在色散和彩虹纹问题	单级衍射效率70%+，色彩均匀性较好
制造工艺	镀膜、切割、研磨、抛光、键合/胶合	电子束/离子束刻蚀、纳米压印	湿法涂布、全息曝光
优点	无色散、成像质量高，适用于专业显示场景	二维扩瞳灵活，量产成本可控。制造工艺成熟。SiC方案提升FOV和散热	轻薄、耐摔、透光率高，树脂基底成本低，适合消费市场，生产良率高
缺点	工艺复杂，难以实现二维扩瞳，生产良率低，重量大，较为厚重	色散问题显著，需高折射率材料补偿，彩虹纹干扰	大视角需要多层堆叠。材料稳定性要求严格封装。技术成熟度较低
代表厂商及产品	Lumus、灵犀、珑璟光电、INMO	微软、Vuzix Blade、WaveOptics、MagicLeap、鲲游、至格、星纪魅族	Digilens、光粒科技（HoloResin™）、Sony、Akonia（苹果收购）



## 2.7 光波导结构：表面浮雕光栅波导（SRG）目前较为适合量产

- 表面浮雕光栅波导已有稳定出货量且多为新品采用。国内初创光学模组厂商在光学设计、量产方面领先于行业，以布局阵列光波导和表面浮雕光波导为主，已逐步落地、稳定出货并产生实际订单。特别是CES 2025新发布的多款AR眼镜（如雷鸟X3 Pro、Rokid Glasses）均采用表面浮雕光波导方案并计划于2025年内上市。

◆表：对比多种光波导方案，表面浮雕光栅波导已有规模量产

	自由曲面	Birdbath	阵列光波导	表面浮雕光波导	体全息光波导
珑璟光电			规模量产	小规模试产	研发阶段未落地
理湃光晶			规模量产		
鲲游光电				规模量产	
灵犀微光			规模量产		研发阶段未落地
谷东科技			规模量产		研发阶段未落地
至格科技				规模量产	
驭光科技				研发阶段未落地	
三极光电					小规模试产
惠牛科技		规模量产			
耐德佳	规模量产	规模量产			研发阶段未落地
鸿蚁光电		规模量产			
星纪魅族			规模量产	小规模试产	研发阶段未落地
雷鸟创新		规模量产	规模量产	规模量产	研发阶段未落地
INMO		规模量产	规模量产	研发阶段未落地	
ROKID		规模量产		规模量产	研发阶段未落地
XREAL		规模量产		规模量产	研发阶段未落地

数据来源：各公司官网，艾瑞咨询，维深Wellsenn XR，东吴证券研究所

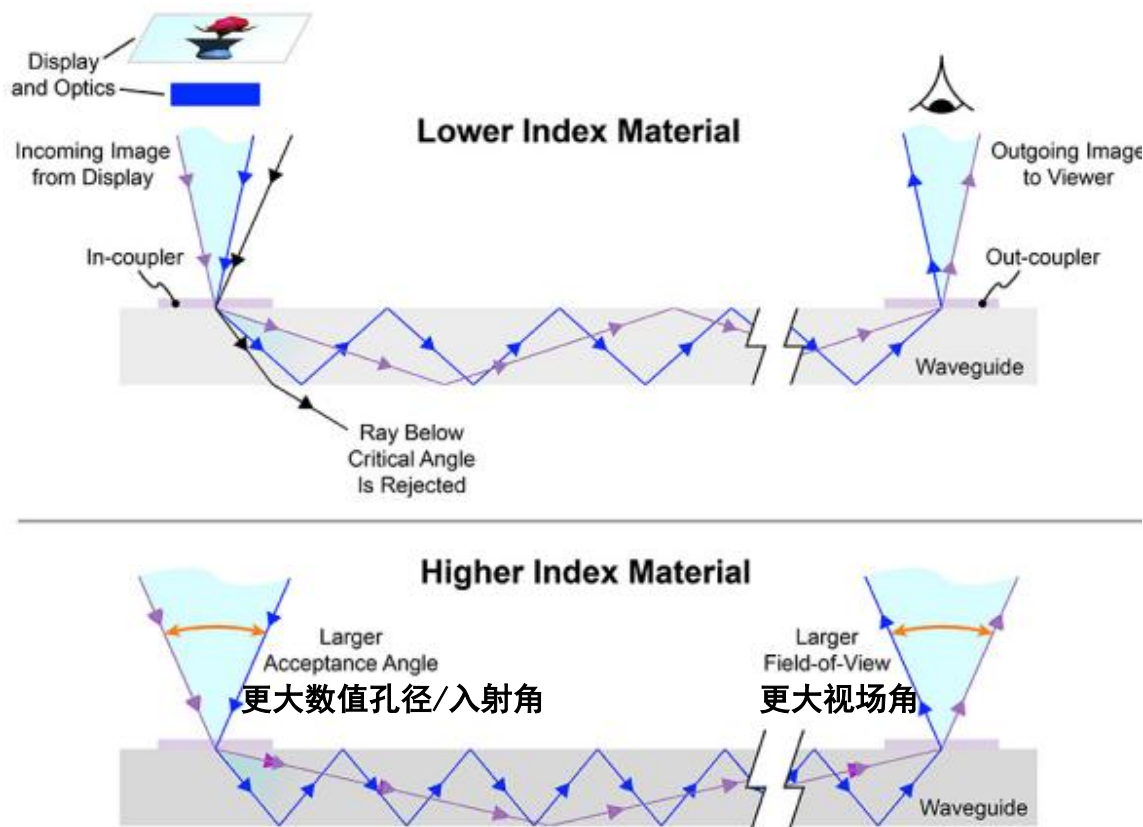


- 1 AR眼镜是AI应用的完美载体，可以结合虚拟和现实
- 2 光波导结构：表面浮雕光栅波导为主流方案
- 3 碳化硅材料：高折射率与高热导性成为最理想AR镜片材料
- 4 光波导制造：配合碳化硅引入刻蚀工艺，实现批量稳定生产
- 5 半绝缘型碳化硅衬底片：12寸为未来突破方向
- 6 投资建议
- 7 风险提示

## 3.1 碳化硅材料：高折射率助力实现广阔视场角FOV

- 碳化硅材料折射率可达2.6以上，对比树脂和玻璃等优势明显，单层镜片即可实现80度以上FOV。常用材料折射率方面，普通树脂约1.51，高折射率树脂约1.74；普通玻璃约1.5，高折射率玻璃约1.9。而SiC材料可达2.6以上。光波导结构中，基底材料的折射率越高，AR镜片的视场角FOV就更大。传统玻璃经过三层堆叠后仅为40度左右，单层SiC镜片即可实现80度以上FOV，可以提供更轻薄的尺寸和更大更清晰的视觉效果。

### ◆ 图：高折射率基底材料从多个角度提升AR眼镜镜片FOV



根据斯涅耳定律，当基底材料折射率升高时，**全内反射临界角**减小，意味着波导可支持更宽角度的光线在波导内传播，从而扩展FOV的理论上限

数值孔径表征光学系统接收光线的角度范围。高折射率材料在相同最大入射角下可**提升数值孔径**，直接扩大了输入光线的角度范围，从而提高FOV

高折射率材料可通过更强的光约束能力实现在**更薄的波导**中维持多模传输，降低光路横向扩散，从而支持更宽的出射光束角度分布，扩大FOV

高折射率基底可增强光栅的**衍射效率**，优化光场在出瞳区域的均匀分布，高折射率基底可增强光栅的衍射效率，优化光场在出瞳区域的均匀分布

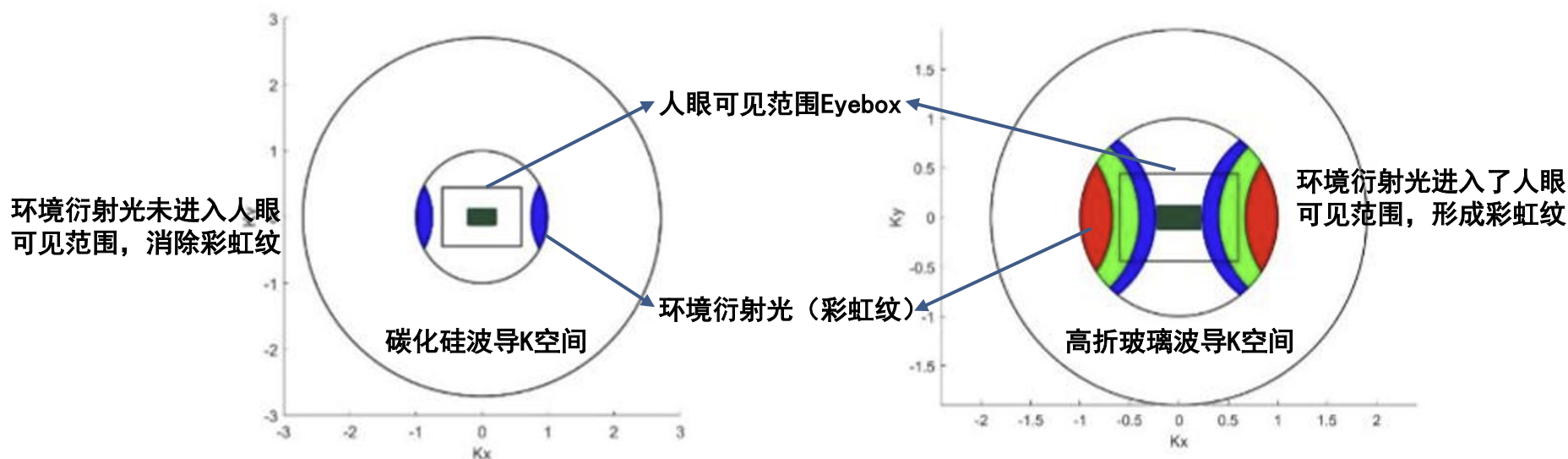


基底材料的高折射率通过优化全内反射临界角、数值孔径、波导厚度及衍射效率，显著扩展了光波导可传输的光线角度范围，从而提升AR眼镜的FOV

## 3.2 碳化硅材料：有效解决光波导结构中的彩虹纹问题

- 碳化硅的高折射率使光栅周期可以设计的很小，而小光栅周期会增大环境光的衍射角度，超出人眼的观察范围后，进而解决分光造成的彩虹纹现象。彩虹纹指环境光透过AR波导后白光变成彩虹光的分光现象，本质上是光栅对不同波长（颜色）光的衍射角度差异导致的色散现象。高折射率的SiC材料可以压缩光在材料中的有效波长，进而降低光栅周期。光栅周期降低后，固定入射角的不同颜色光的色散角差异减小，从而减少了颜色分离。从工艺可行性来看，碳化硅的硬度和化学稳定性支持纳米压印及电子束光刻工艺，工程上可以实现亚微米级光栅周期的高精度加工，从而解决彩虹纹现象。
- 实验数据：使用碳化硅衬底（光栅周期=300nm）的衍射光波导，相较于玻璃衬底（光栅周期=500nm），在可见光波段（400-700nm）的色散角差异可降低约40%，彩虹纹主观感知强度下降超过60%。

◆ 图：SiC衬底材料将衍射分光导致的彩虹纹控制在人眼可见范围之外



### 3.3 碳化硅材料：高热导性保障性能稳定，实现AR眼镜轻量化设计

- 碳化硅的热导率（约490 W/m·K）远高于传统光学材料如玻璃（约1 W/m·K）和树脂，能够快速传导光机模块和计算单元产生的热量，避免局部温度过高导致的性能下降或器件损坏。例如，传统AR眼镜因光机发热常触发过热保护机制从而降低亮度及刷新率，而碳化硅波导片通过材料自身的高效热传导，显著降低了热量堆积风险，从而支持高亮度显示（如5000尼特峰值亮度）和长时间稳定运行。
- 碳化硅材料高导热性使AR眼镜得以简化散热设计进而实现轻量化设计。传统AR眼镜依赖镜腿散热模块或主动冷却系统，增加了设备重量和复杂度。碳化硅的高热导性允许将散热功能集成到光波导片本身，通过被动散热即可满足需求。此外，优秀的散热性能为提升AR眼镜集成度、配置更多传感器留出冗余。

◆ 图：碳化硅、树脂、玻璃性能参数对比

性能参数	碳化硅	树脂	玻璃
折射率	高（~2.6-2.8）	中低（~1.5-1.7）	中高（~1.6-1.9）
阿贝数（色散系数）	低（~20-30）	中高（~30-50）	高（~50-60）
透光率（可见光）	较高（>85%）	高（>90%）	极高（>92%）
热导率（W/m·K）	极高（490）	极低（0.2）	低（1）
色散（ $\Delta n/\Delta \lambda$ ）	高（强色散）	中（中等色散）	低（低色散）
热稳定性（ $dn/dt$ ）	极低（热稳定性好）	高（易受温度影响）	低（较稳定）
密度（g/cm <sup>3</sup> ）	高（~3.2）	低（~1.1-1.3）	中高（~2.5）
加工难度	高（需刻蚀工艺）	低（纳米压印工艺较成熟）	中高（需精密抛光）
成本	高（半导体级）	低（适合量产）	中高（光学级玻璃）

数据来源：Ultra-Thin, Ultra-Light, Rainbow-Free AR Glasses Based on Single Layer Full-Color SiC Diffrcative Waveguide, 东吴证券研究所



### 3.3 碳化硅材料：高热导性保障性能稳定，实现AR眼镜轻量化设计

◆ 图：碳化硅、树脂、玻璃性能参数对比（续）

性能参数	碳化硅	树脂	玻璃
重量	低	中	高
硬度	高（莫氏硬度9-9.5）	低（类比莫氏硬度2-3）	中（莫氏硬度5.5）
良率	低	高	中
加工难度	高	低	中
耐磨性	高（摩擦系数0.2-0.3）	低（摩擦系数0.5-1.0）	中（摩擦系数0.4-0.9）
耐腐蚀性	高（无机材料）	低（有机材料）	中（无机材料）
耐高温性	高	低	中
优点	折射率高，耐磨，耐腐蚀，不会出现彩虹纹现象	密度低，产品轻量便携防摔防碎，使用寿命长，易加工，良率高，价格低	技术成熟，普及率高、折射率均匀性好，视场角大，高透光，镜片轻薄
缺点	硬度大，加工难，加工成本高	树脂材料存在折射率、表面平整度、色彩分离等制约因素、不耐划伤、高折射率树脂价格高等问题	在抗冲击强度和轻量化方面存在严重不足，价格高

### 3.4 大厂布局AR眼镜，碳化硅波导有望加速产业化

- 科技大厂陆续布局 AR 眼镜，有望加速 AR 眼镜 + 碳化硅波导产业化。我国是最早实现 AR 眼镜产业化的国家，2018 年 Rokid 推出 AR 眼镜一代，次年 Xreal 推出 Light AR 眼镜。我们认为随着字节、阿里、苹果等科技巨头的入局，AR 眼镜产业化进程将加速推进，从而推动市场对性能更优产品的追求，进而促使高性能碳化硅波导降本增效，加速进入产业化周期。
- Meta 开创碳化硅波导 AR 眼镜时代，雷鸟 X3Pro 有望成为第一个量产型碳化硅 AR 眼镜。从 2012 年发布首款 AR 眼镜 Google Glass 开启行业探索，到 2019 年 Meta 首次演示碳化硅波导 AR 眼镜引领行业转型，再到 2024 年西湖大学团队及 Meta 相继发布搭载碳化硅波导的 AR 眼镜，技术突破不断推动产业向前。2025 Q2 雷鸟 X3Pro 的发布有望成为第一个搭载碳化硅镜片的量产型 AR 眼镜，有望加速碳化硅波导渗透。

◆ 图：新玩家/科技巨头陆续布局AR眼镜，眼镜产业化加速有望推动碳化硅波导产业化（标红处为碳化硅波导进展）

时间	事件	厂商
2012年	谷歌发布了第一款AR眼镜Google Glass，具有智能手机功能，可通过语音控制拍照、视频通话等，但因价格高昂、隐私和安全问题未取得商业成功	谷歌
2018年6月	推出Rokid AR 眼镜1代	Rokid
2019年1月	于CES推出Xreal（Nreal）Light AR眼镜	Xreal
2019年	演示采用碳化硅波导AR眼镜，带领行业转向碳化硅波导；碳化硅波导有效解决了传统玻璃波导方案存在严重的彩虹伪影问题。	Meta
2020年9月	Meta在举行的Connect大会中，发布了AR眼镜研究项目Project Aria，开始正式布局AR眼镜产业化。	Meta
2024年9月	西湖大学团队发布的碳化硅AR眼镜，为我国首款搭载碳化硅波导的AR眼镜。利用碳化硅材料的高折射率，仅需单层波导即可实现全彩显示，且解决了传统AR眼镜的彩虹纹问，视场角达45度。	慕德微纳
2024年9月	Meta在Connect大会上推出首款AR眼镜，代号Orion，Orion为行业首个搭载碳化硅波导的AR眼镜	Meta
2025年2月	阿里旗下的天猫精灵团队确定AI/AR智能眼镜方案，预计年底发布	阿里
2025年4月	小米预计发布AI/AR眼镜，全面对标Meta Ray-ban，搭载AI功能、音频耳机/摄像头模块	小米
2025Q2	雷鸟X3Pro有望搭载碳化硅波导，预计2025Q2上市销售，有望成为全球首个批量出货碳化硅波导AR眼镜。	雷鸟
2025年8月	字节跳动预计发布AI/AR眼镜	字节跳动
2025年9月	Meta和三星预计正式发售带“显示屏”的AR眼镜	Meta、三星
2027年	Meta有望发布面向消费者的Orin二代AR眼镜	Meta



- 1 AR眼镜是AI应用的完美载体，可以结合虚拟和现实
- 2 光波导结构：表面浮雕光栅波导为主流方案
- 3 碳化硅材料：高折射率与高热导性成为最理想AR镜片材料
- 4 光波导制造：配合碳化硅引入刻蚀工艺，实现批量稳定生产
- 5 半绝缘型碳化硅衬底片：12寸为未来突破方向
- 6 投资建议
- 7 风险提示

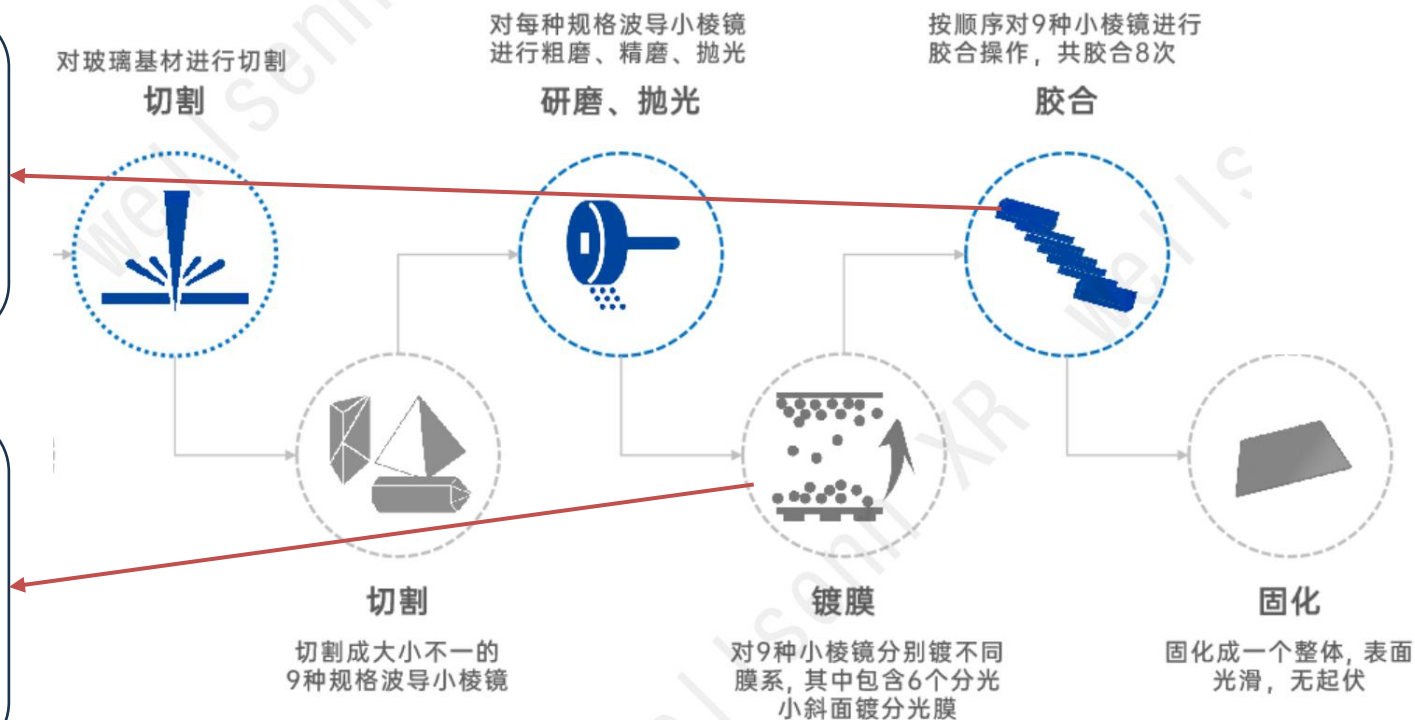
## 4.1 光波导基底加工工艺：几何反射波导制造良率低

- 几何反射波导通常采用简单的光学器件生产方式，即镀膜、切割、研磨、抛光、键合/胶合，难点在于镀膜和胶合工艺。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，之后在小棱镜上根据棱镜排布和进光量分别镀不同膜系的薄膜来获得不同的反射/透射比，最后对小棱镜进行胶合将它固定为表面光滑的波导片。其中难点在于镀膜和胶合工艺，大大限制了总成良率。

◆ 图：几何反射波导采用传统光学元器件生产方式，镀膜及胶合工艺复杂，良率较低

**胶合工艺：**粘合多镜面堆叠的胶水对折射透射光的影响难以把控。为保证图像的高清晰度，工艺对波导片粘合后的平行度要求极高，胶合难度大需人工完成难以自动化，多膜层难度叠加使得总良率难以保证

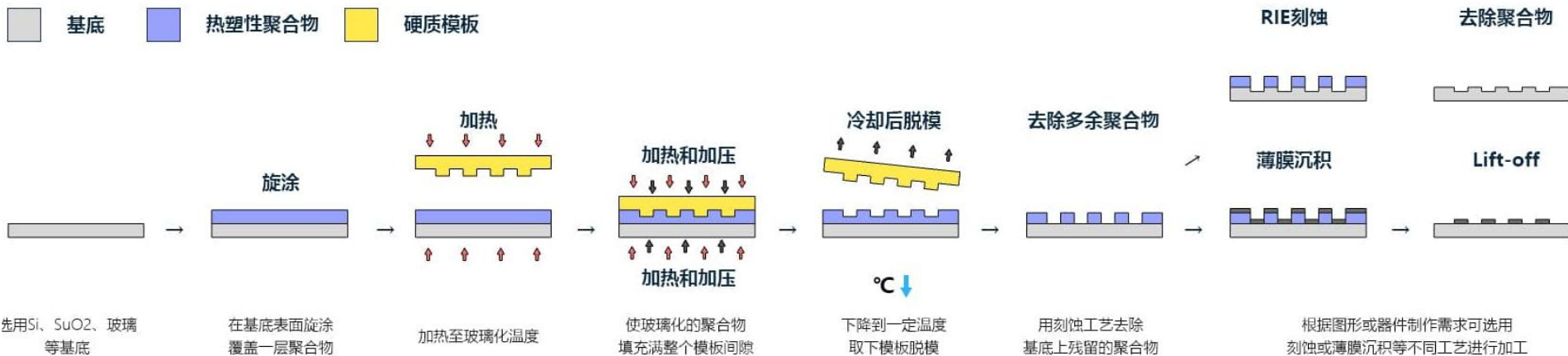
**镀膜工艺：**为保证光束在镜面阵列中耦入耦出过程中的均匀性需在镜面上镀不同层数的膜以控制多个膜层的反射率和透射率(不同镜面的反射透射比R/T不同)，镜面之间的平行度和切割角度都会影响到成像质量，工艺良率很低。



## 4.2 光波导基底加工工艺：纳米压印工艺存在根本性缺陷

- 传统以玻璃+树脂作为基底的SRG一般采用纳米压印工艺，缺点在于易形成加工误差。首先制作光栅的压印模具，模具上可以通过纳米压印技术形成成千上万个光栅；随后在玻璃基底（即波导片）上均匀涂覆热塑性有机树脂；然后再用压印模具下压树脂层，在树脂层上留下光栅后用紫外线照射固化；最后在冷却后取下模版脱模，即完成SRG光波导衍射光栅的制备。纳米压印工艺的缺陷在于，直接接触式压印导致加工误差比较大、高频次压印后模具寿命较短需要频繁更换、需要很高的对齐精度、对微小粒子的误差敏感度很高。
- 纳米压印工艺采用物理压力式的方式印制光栅结构，对材料的热塑性要求很强，但高热塑性材料本身并不适合于AR眼镜设计。AR眼镜自身为了实现轻薄化设计和高亮度持续成像，热量堆积压力很大。树脂等热导性差、热塑性强的材料在积热压力下很容易出现光栅结构变形现象，进而导致彩虹纹和色散的加剧。加上树脂/玻璃材料自身在光学性能上的缺陷，还会出现眼镜显示性能下降、续航缩短等一系列直接影响消费者体验的情况。

◆ 图：纳米热压印工艺流程采用接触式压印，需要采用热塑性材料，而热塑性材料多为树脂等有机材料

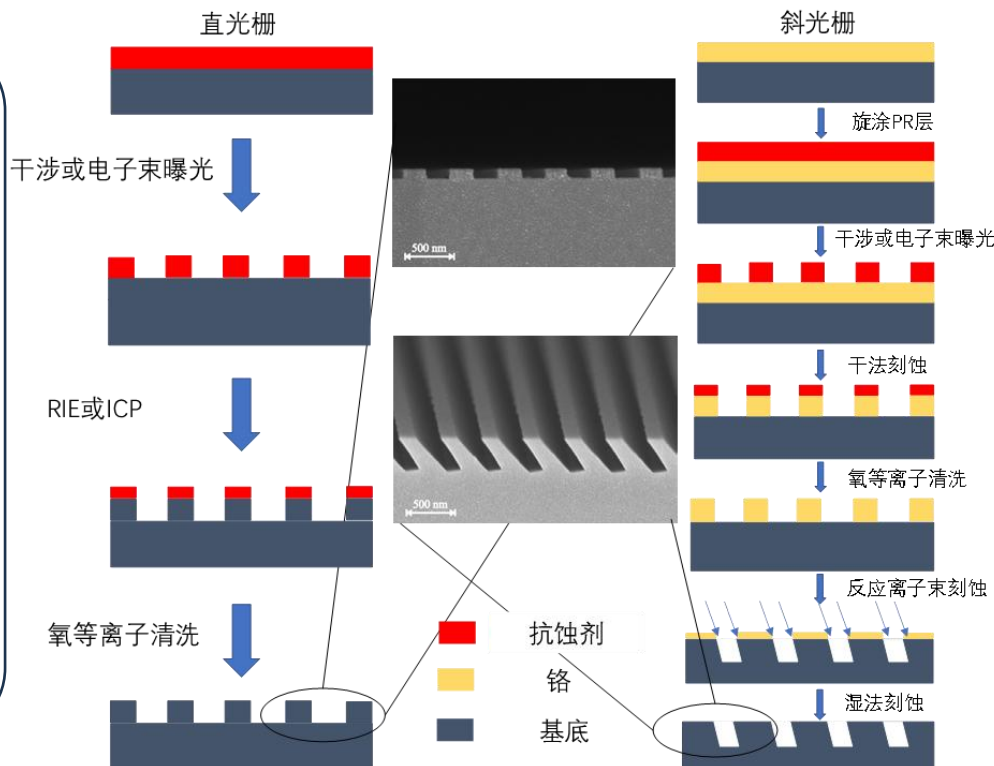




## 4.3 光波导基底加工工艺：配合碳化硅材料引入刻蚀工艺

- 刻蚀工艺通过在基底上直接去除材料创建微纳光栅，可配合碳化硅材料实现更大视场角和更佳光学性能，且完全兼容现有半导体加工工艺，加工精度和稳定性更高。碳化硅具备较高硬度，支持采用半导体刻蚀工艺进行光栅制备。刻蚀工艺加工的光波导可靠性较高，更易通过温度、抗摔测试等。据Dispelix，利用刻蚀工艺制造的光波导可在240小时内持续承受85到零下40摄氏度的温度。刻蚀工艺可采用深紫外光等非接触式技术，而且粒子造成的误差更小，技术更加成熟；同时，刻蚀工艺的设计自由度更高，这意味着光波导性能可以进一步提升。刻蚀工艺可以在晶圆上叠加多种涂层（多达4层），这为RGB单层光波导设计带来更多自由。

◆ 图：直光栅/斜光栅刻蚀工艺流程



### 直光栅刻蚀工艺：

- 1、在基底上旋涂抗蚀剂层；
- 2、通过干涉曝光或电子束曝光等方法实现光栅的图案化；
- 3、利用反应离子刻蚀（RIE）或电感耦合等离子体（ICP）刻蚀将图案转移到基底；
- 4、将抗蚀剂层去除，完成直光栅的制备

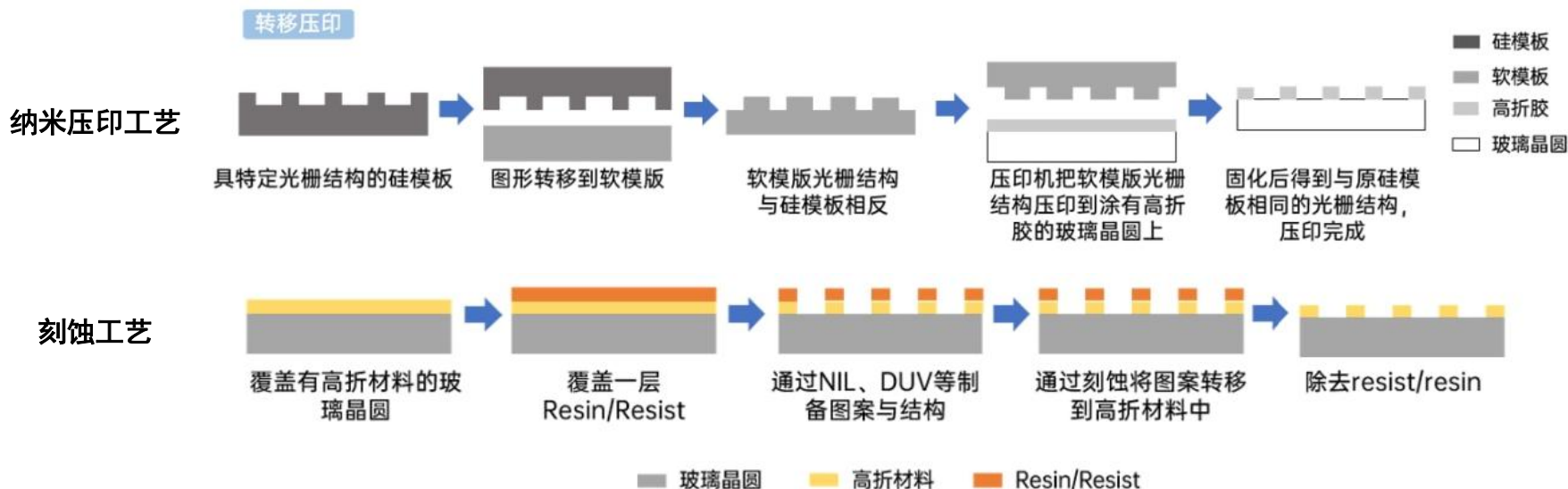
### 斜光栅刻蚀工艺：

- 1、在基底镀硬掩模(如Cr)层后旋涂抗蚀剂层；
- 2、利用干涉曝光或电子束曝光进行图案化；
- 3、干法刻蚀工艺：将抗蚀剂图案转移到Cr层；
- 4、用氧等离子体法剥离剩余的抗蚀剂层；
- 5、反应离子束刻蚀：用电离的氩离子束以倾斜的角度入射基底；
- 6、通过湿法刻蚀工艺去除Cr掩模，获得具有出色均匀性的斜光栅

## 4.4 光波导基底加工工艺：SiC材料搭配刻蚀工艺实现全面进步

- **SiC材料+刻蚀工艺视场角>树脂材料+纳米压印工艺视场角。**光波导折射率越大→视场角越大，光波导折射率取决于基底(玻璃)/光栅材料两者折射率最小者。纳米压印工艺下光波导的光栅适用于树脂材料，故纳米压印光波导的折射率受限于树脂材料折射率；刻蚀工艺下光波导的光栅采用SiC材料，故刻蚀光波导的折射率受限于SiC基底折射率。综上所述，使用SiC基底+刻蚀工艺制作光波导视场角大于树脂材料+纳米压印工艺。
- **刻蚀工艺初始成本高于纳米压印工艺，但未来刻蚀成本有望摊薄。**成熟的半导体工艺能显著提升表面浮雕衍射光波导的性能上限。随着产量增加，刻蚀的成本将被大幅摊薄，而其技术优势则会为产品带来长期竞争力。

◆ 图：纳米压印工艺/刻蚀工艺对比



	可靠性	视场角	良率	成本	设计自由度	基底材料	折射率
纳米压印工艺	低	小	低	低	低	树脂	1.5-1.9
刻蚀工艺	高	大	高	前高后低	高	碳化硅	2.55-2.7

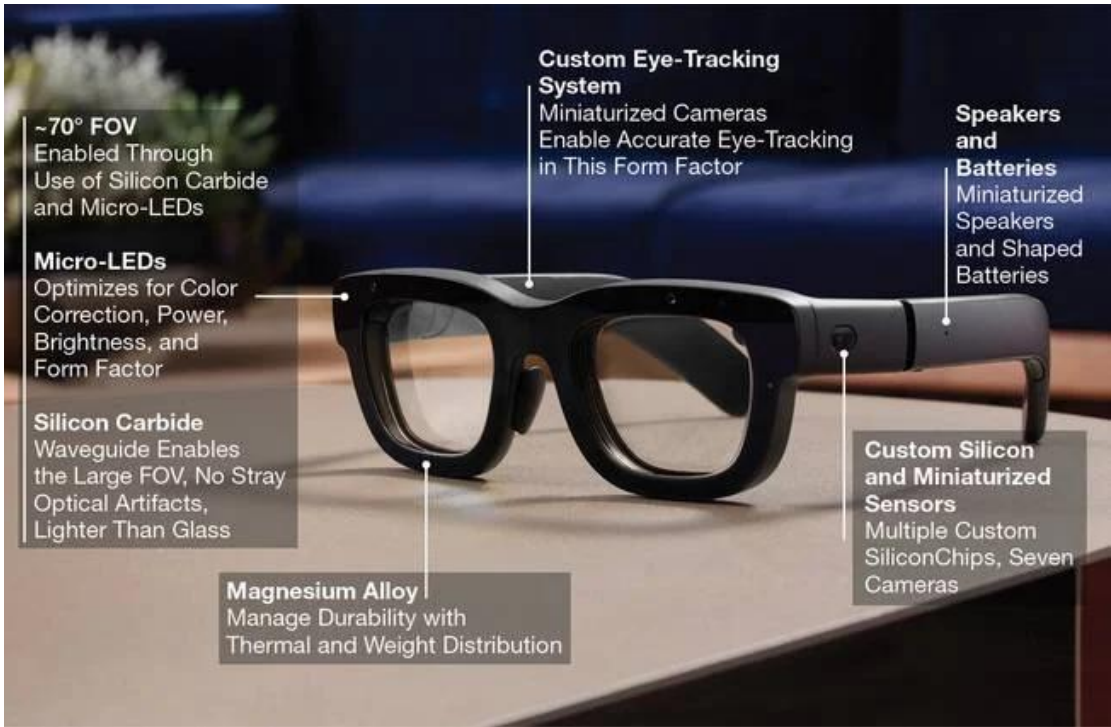
数据来源：增强现实近眼显示设备中光波导元件的研究进展，反应离子束刻蚀制备倾斜光栅工艺研究，维深 Wellsenn XR，东吴证券研究所

## 4.5 SiC+SRG光波导+刻蚀工艺是AR眼镜取得重大进展的技术基础

- 高折射率、高热导性的碳化硅材料和表面浮雕光栅波导有效的提升了AR眼镜的FOV，解决了原先存在的彩虹纹和色散、光损现象，同时实现了轻薄化设计和较好的被动散热能力。碳化硅衬底、表面浮雕光栅波导的发展、刻蚀工艺的突破，正是近年来AR眼镜在视场角、彩虹纹控制、亮度表现等方面实现重大进展的技术基础。
- 目前限制SiC材料广泛应用于AR眼镜的主要原因是SiC镜片成本。目前主流玻璃材质AR眼镜售价一般低于3000元，镜片成本约占几百元左右。8寸/12寸SiC衬底片成本大致为6000/10000元，分别能切削出4副/10副镜片，对应单副镜片成本分别为1500/1000元，SiC镜片成本仍然偏高。

◆ 图：META于2024年9月发布的Orion原型机

- 碳化硅材料和Micro-LED光源的引入实现了70度的FOV
- 采用碳化硅基底的Orion整体重量仅为98g
- 碳化硅基底的光波导设计不仅增大了FOV，还消除了彩虹纹，比玻璃基底更加轻薄





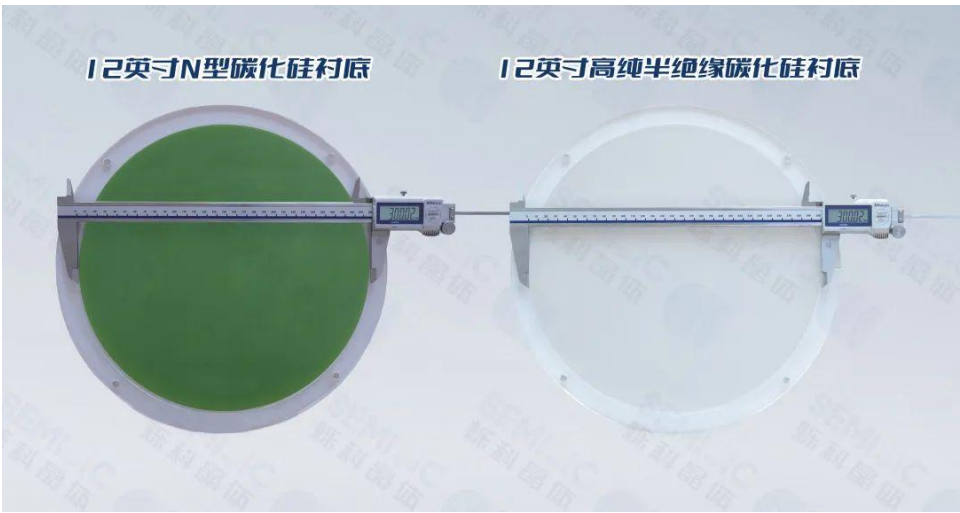
- 1 AR眼镜是AI应用的完美载体，可以结合虚拟和现实
- 2 光波导结构：表面浮雕光栅波导为主流方案
- 3 碳化硅材料：高折射率与高热导性成为最理想AR镜片材料
- 4 光波导制造：配合碳化硅引入刻蚀工艺，实现批量稳定生产
- 5 半绝缘型碳化硅衬底片：12寸为未来突破方向
- 6 投资建议
- 7 风险提示



## 5.1 AR眼镜所用的碳化硅衬底为透明的半绝缘型

- 碳化硅衬底可以分为导电型和半绝缘型两类，半绝缘型衬底用于AR眼镜镜片制造。导电型碳化硅衬底细分为N型和P型（电阻率 $15\sim30\text{m}\Omega\cdot\text{cm}$ ），主要用于功率器件，但由于自由载流子吸收和等离子体色散效应导致光损耗过高，无法满足光学传输需求；半绝缘型碳化硅衬底（电阻率 $>100000\Omega\cdot\text{cm}$ ）因其极低自由载流子浓度和宽光谱透明性，是AR眼镜光波导的理想材料。

◆ 图：导电型/半绝缘型碳化硅衬底片



◆ 图：导电型衬底主要用于生产功率器件，半绝缘型则主要用在通讯器件及AR眼镜波导镜片

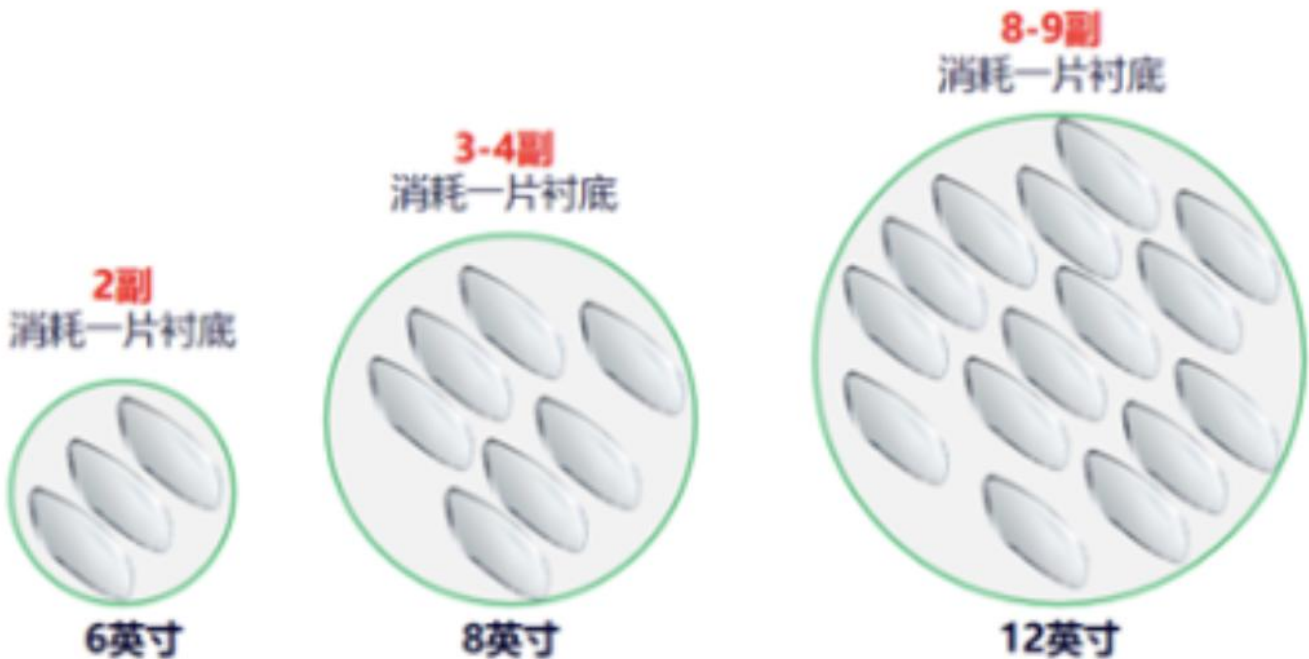
产品种类	电阻率	下游用途
导电型	$15\sim30\text{m}\Omega\cdot\text{cm}$	主要用于生产碳化硅二极管、碳化硅MOSFET等功率器件，适用于高温、高压等工作环境，应用于新能源汽车、光伏发电、轨道交通、智能电网、航空航天等领域
半绝缘型	$>100000\Omega\cdot\text{cm}$	主要用于生产HEMT等微波射频器件及AR眼镜镜片，适用于高频、高温等工作环境，主要应用于5G通讯、卫星、雷达等领域



## 5.2 降本诉求下AR眼镜用碳化硅衬底的尺寸逐步发展至12寸

- 12寸衬底片碳化硅裁切浪费更少，能够切更多镜片，从而降低成本。目前AR眼镜镜片主要通过半绝缘型碳化硅衬底片裁切得到，衬底尺寸越大，单位衬底可生产更多镜片，因而单位镜片成本越低，同时边缘浪费的减少将进一步降低镜片生产成本。8寸/12寸衬底片成本大致为6000/10000元，分别能切削出4副/10副眼镜，对应单副眼镜成本从1500元左右下降至1000元左右，大大降低AR眼镜成本及售价并加速在消费市场的渗透。

◆ 图：12寸衬底片碳化硅裁切浪费更少，能够切更多镜片，从而降低成本

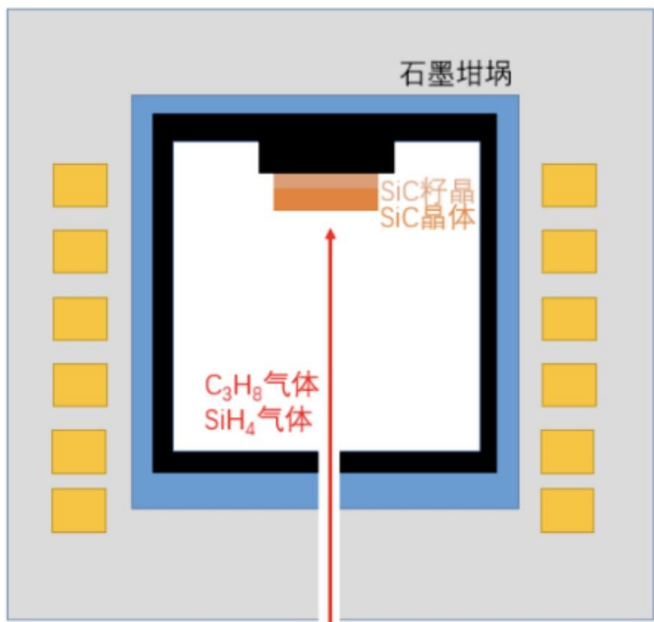


## 5.3 半绝缘型碳化硅衬底制造流程：晶体生长是核心工艺

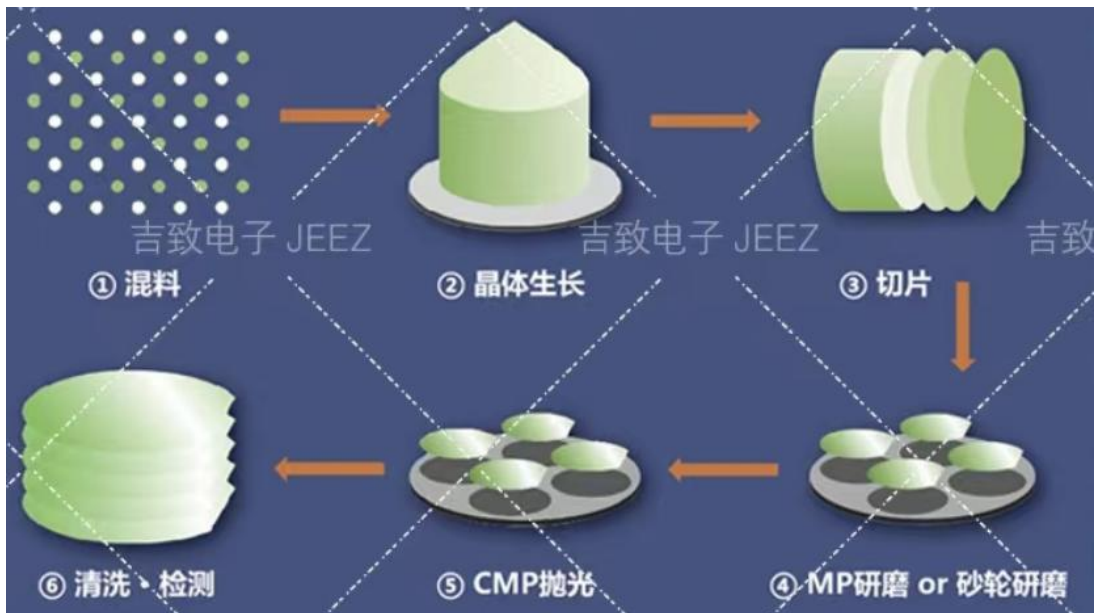
● 半绝缘型碳化硅衬底制造流程主要包括晶体生长——晶锭加工与切片——研磨抛光——清洗。

- ① **原料准备**：将Si和C按1:1合成SiC多晶颗粒粉料。半绝缘型衬底对粉料的纯度要求极高，杂质含量低于0.5ppm；
- ② **晶体生长**：半绝缘型衬底主要采用高温化学气相沉积法（HTCVD）。将生长室加热到1800-2300℃，随后向生长室内稳定通入SiH<sub>4</sub>+C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>或SiH<sub>4</sub>+C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>气体，由 He和 H<sub>2</sub>承载向上朝着籽晶方向输送，为晶体生长提供Si源与C源。气相的碳化硅能够在籽晶下表面凝华，获得纯净的碳化硅晶锭，实现SiC晶体生长；
- ③ **晶锭加工与切片**：将制得的碳化硅晶锭使用 X射线单晶定向仪进行定向，之后磨平、滚圆，去除籽晶面、圆顶面，加工成标准直径尺寸的碳化硅晶体；使用金刚石多线切割机将生长出的晶体切成不超过1mm的粗衬底；
- ④ **研磨抛光**：通过金刚石研磨液将衬底表面加工至原子级平整光滑平面，随后进行化学机械抛光CMP。

◆ 图：HTCVD实现SiC晶体生长



◆ 图：半绝缘型碳化硅衬底制造流程



## 5.3 半绝缘型碳化硅衬底制造难点：大尺寸衬底片生产亟待突破

### ● 晶体生长环节：长晶速率、温度均匀性、纯度与掺杂

- ① **晶体生长速率**：碳化硅长晶速度仅0.2-0.5 mm/h，12寸晶锭生长周期需数周，远超硅晶棒的2天周期。
- ② **温度均匀性控制**：12寸晶锭生长需在2300℃以上的高温密闭环境中进行，温度梯度需控制在 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 以内，热场分布不均易导致晶格畸变和缺陷累积，对于12寸半绝缘型碳化硅晶锭还易产生径向电阻率差异。生产过程完全处于高温的密闭石墨腔体中完成，黑箱操作良率较低。
- ③ **纯度与掺杂**：在晶体生长过程中需要精确控制硅碳比、生长温度梯度、晶体生长速率以及气流气压等参数，否则易出现多晶型夹杂（如6H-SiC混入4H-SiC晶型）。半绝缘型碳化硅还需要精准的掺杂钒、硼等提升电阻率的材料，但大尺寸晶锭的杂质分布均匀性难以保证，对杂质浓度和掺杂工艺提出了很高要求。

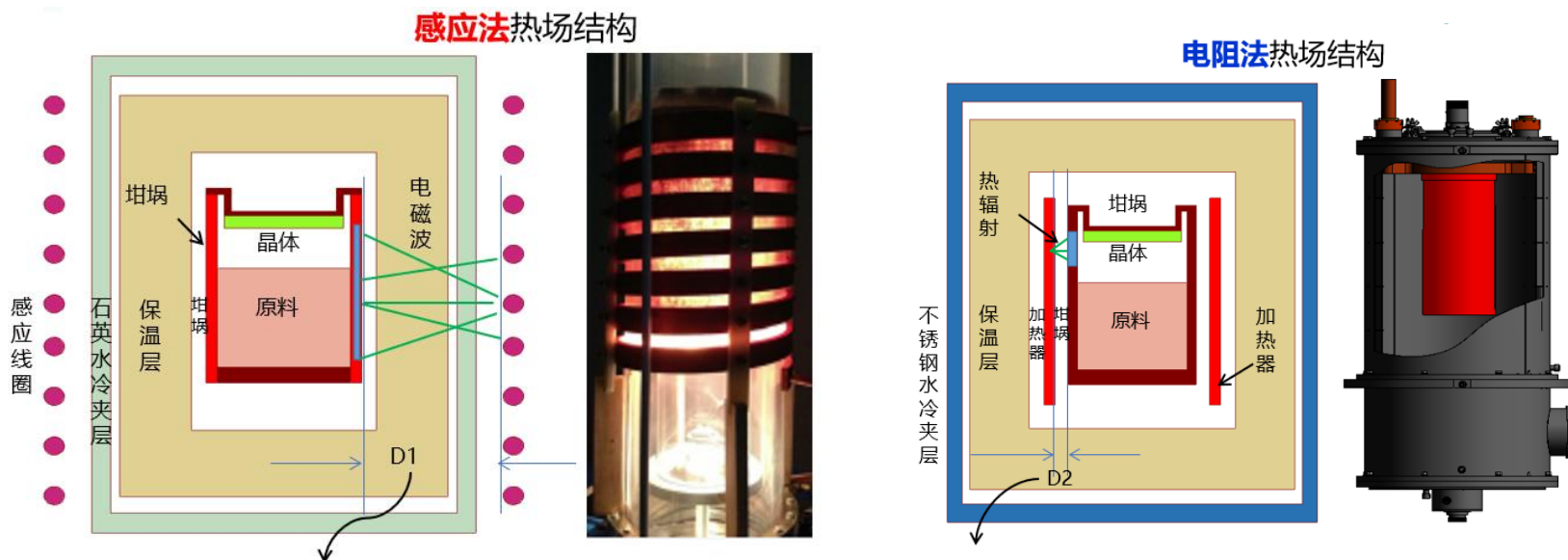
### ● 切削抛环节：表层裂纹损伤、翘曲开裂、材料利用率

- ① **单晶切片**：由于碳化硅的硬度较高，目前的切片工艺主要使用金刚石多线切割机。切片质量直接决定了表层裂纹损伤是否严重。切片过程的关键在于精确调控锯切参数，平衡锯丝损耗和效率，还需要维持冷却液充足且分布均匀。据英飞凌数据，金刚石多线切割工艺下，切割环节对整体材料利用率仅有50%。
  - ② **衬底研磨与减薄**：由于碳化硅的断裂韧性较低，在减薄过程中容易产生裂纹，使得晶片的减薄较为困难。碳化硅晶片的减薄通常通过磨削和研磨来完成。研磨工艺核心在于精准控制研磨压力和转速、磨料和研磨盘的硬度。12寸衬底需减薄至0.35 mm以下，但薄片化加剧了翘曲（ $>0.1\text{ mm}$ ）和开裂风险。
  - ③ **CMP抛光**：作为单晶衬底加工的最后一道工序，CMP工艺在保证碳化硅衬底表面实现超光滑且无缺陷方面至关重要，需要实现更高的材料去除率、更低的表面粗糙度、更少的划痕和更均匀的表面形貌。
- 晶体生长和切割研磨抛光环节，是衬底生产环节中的重点与难点，也是限制大尺寸碳化硅衬底片良率与产能提升的瓶颈。突破12寸衬底片量产工艺，才能实现碳化硅基底成本下降，带动AR眼镜进入大众消费级市场。

## 5.4 电阻法更适合大尺寸（8寸和12寸）晶体生长

- **感应法**通过感应线圈发出的电磁波，在坩埚侧部产生涡流而发热，坩埚再给原料加热。坩埚侧部产生的热量承担整个热场的能耗，坩埚的温度最高，导致坩埚内部的径向温度梯度较大。
- **电阻法**通过石墨电阻加热器给坩埚加热，坩埚再给原料加热。坩埚受热后热量向坩埚内侧传递，因此坩埚仅承担坩埚内侧的温度，加热器的温度最高，坩埚内部的径向温度梯度较小。

◆ 图：电阻法更适合大尺寸（8寸和12寸）的晶体生长





# 5.5 半绝缘型碳化硅衬底制造设备：从导电型产线转换难度不大

- 半绝缘型碳化硅衬底片生产过程主要需要用到粉料合成设备、单晶生长炉、金刚石多线切割机、研磨机、抛光机、外延炉等设备。8寸半绝缘型衬底片和导电型衬底片80%以上的工艺和设备都是相通的，只有部分掺杂工艺和纯度控制工艺不同，另外半绝缘型对真空环境要求更高。对原有比较成熟的导电型碳化硅衬底片生产厂商来说研发和转换难度不大。以晶盛机电为例，8寸半绝缘型衬底片研发速度很快，24年1月启动研发，3月就已经研制成功8寸半绝缘型衬底片样品。
- 目前的重点和难度仍然在12寸大尺寸半绝缘型碳化硅衬底片的良率和产能提升上。大尺寸晶圆生产难点在于扩径以及。晶盛机电预计2025年底完成12寸半绝缘型衬底的样品试制、2026年进行小批量测试生产和工艺优化，2027年与相关合作方完成基于半绝缘型碳化硅材料的AR眼镜产业化和消费级产品批量出货。

◆ 图：半绝缘型碳化硅衬底片生产所需主要设备

					
碳化硅粉料合成设备	单晶生长炉	金刚石多线切割机	研磨机	抛光机	外延炉
CREE Aymont 中国电科二所山 东天岳 天科合达 中科院硅酸盐所	CREE Aymont 中国电科二所山 东天岳 天科合达 晶盛机电	日本高鸟 MeryerBurger NTC 中国电科45所 湖南宇晶 苏州郝瑞特	日本不二越 韩国NTS 美国斯德堡中国 电科45所 湖南宇晶 苏州郝瑞特	日本不二越 韩国NTS 美国斯德堡中国 电科45所 湖南宇晶 晶盛机电	Aixtron LPE TEL 中国电科46所 中科院半导体所



# 5.6 未来伴随AR眼镜放量，碳化硅衬底市场空间广阔

- 我们预计若未来AR眼镜出货量1亿台时，所需12寸碳化硅衬底约1000万片+。核心假设如下：
- （1）碳化硅材料最适用于AR眼镜，故2030年渗透率有望达100%。（2）前期以8寸片为主，且一片8寸的碳化硅晶圆能够切3-4副眼镜，对应镜片数量约为7片。（3）2027年开始12寸放量，且一片12寸的碳化硅晶圆能够切8-9副眼镜，对应镜片数量约为17片。（4）8寸价格有望逐步从7000降低至6500，12寸价格有望逐步从10000降低至7000。

◆ 图：未来伴随AR眼镜放量，碳化硅衬底市场空间广阔

AR眼镜不同出货量下碳化硅衬底需求量测算							
全球AR眼镜出货量（万台）(1)	55	150	300	1000	3000	5000	10000
YOY(2)		173%	100%	233%	200%	67%	100%
碳化硅材料渗透率(3)	1%	5%	20%	50%	60%	70%	100%
碳化硅镜片需求量（万片）(4)=(1)*(3)*2	1.1	15.0	120.0	1000.0	3600.0	7000.0	20000.0
每片8寸衬底切镜片数(5)	7	7	7	—	—	—	—
8寸半绝缘型衬底片需求量（万片）(6)=(4)/(5)	0.2	2.1	17.1	—	—	—	—
8寸半绝缘型衬底片价格（元）(7)	7200	7000	6500	—	—	—	—
每片12寸衬底切镜片数(8)	—	—	—	17	17	17	17
12寸半绝缘型衬底片需求量（万片）(9)=(4)/(8)	—	—	—	59	212	412	1176
12寸半绝缘型衬底片价格（元）(10)	—	—	—	10000	9000	8000	7000
半绝缘性衬底市场空间（亿元）(11)=(6)*(7)或(9)*(10)	0.11	1.50	11.14	58.82	190.59	329.41	823.53

## 5.7 2024年国内龙头衬底年产能超153万片，陆续开始布局12寸

- 截至2024年末，国内碳化硅衬底产能总计约153.6万片/年，其中晶盛、天岳、烁科及天科等企业产能均超30万片/年。目前，大部分产能仍集中在6寸导电型衬底。
- 随着搭载碳化硅波导的AR眼镜产业化进程加速，12寸衬底凭借其更低的生产成本，有望成为主流选择。目前，碳化硅龙头企业均已布局12寸衬底产能及研发工作，其中天岳与晶盛均布局了12寸绝缘型衬底产能。

◆ 图：我国碳化硅衬底产能梳理

厂商	2024年产能（万片）	总产能规划（万片）	12寸衬底进度
天岳先进	6寸导电型衬底：30万片/年 8寸衬底：2.6万片/年 合计：32.6万片/年	提产至60万片/年，其中8寸52万片/年。	2024年11月发布首款N型衬底， 2025年3月推出高纯半绝缘型及P型产品。
烁科晶体	30万片/年	扩产项目开工， 将达150万片N型碳化硅和10万片高纯半绝缘型产能。	2024年12月成功研制12寸高纯半绝缘衬底， 2025年1月突破N型量产技术
天科合达	6寸导电型：23.6万片/年 8寸导电型：13.5万片/年 合计年产37万片	2025年规划北京+江苏基地提产至83.5万片/年，其中6寸总产能提升至50万片/年， 8寸总产能33.5万片/年	2025年3月推出12寸热沉级衬底，主要面向高功率激光器市场。 北京顺义基地建成国内首条车规级衬底专用产线。
三安光电	21.6-24万片/年	子公司规划产能8寸48万/年	2025年3月12寸衬底研发进入工程验证阶段， 长沙基地规划年产能50万片。
晶盛机电	6寸\8寸导电型：12万片/年 合计年产30万片	-	已建成国内第一条12寸光学碳化硅产线，预计 2025Q3开始小批量出货。
合计	153.6万片/年	381.5万片/年	



1 AR眼镜与光波导结构：表面浮雕光栅波导为主流方案

2 碳化硅材料：高折射率与高热导性成为最理想AR镜片材料

3 光波导制造：配合碳化硅引入刻蚀工艺，实现批量稳定生产

4 半绝缘型碳化硅衬底片：12寸为未来突破方向，供需缺口大

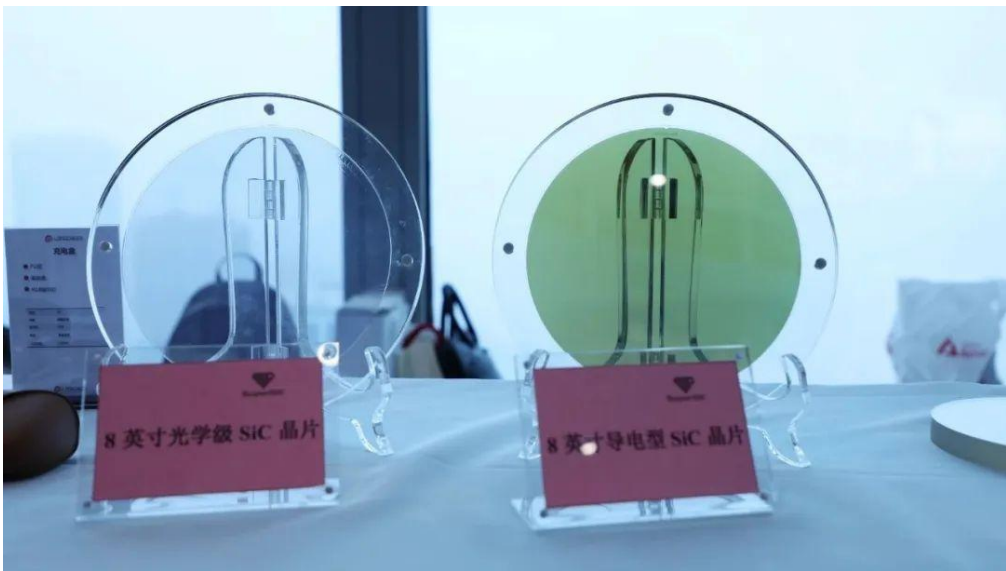
5 投资建议

6 风险提示

## 6.1 投资建议：晶盛机电与XREAL达成战略合作

- 晶盛机电成立子公司SuperSiC浙江晶瑞负责碳化硅衬底片的研发和生产。目前晶盛机电正在为鲲游光电提供8寸半绝缘体碳化硅衬底。公司预计12寸光学级别的半绝缘型碳化硅衬底片有望在2025年底完成初步开发，并在2026年进行小批量的反复测试与工艺优化，最终在2027年与合作方共同实现AR眼镜产业化。
- 晶盛机电与龙旗科技、XREAL、鲲游光电达成AR眼镜战略合作，晶盛机电负责提供半绝缘型碳化硅衬底材料。XREAL是全球领先的AR眼镜品牌，IDC报告显示，XREAL已连续三年稳居全球AR市场份额第一，在2024年市场份额超过了第2-4名总和，产品力强劲。晶盛机电有望借XREAL东风一举提升在AR眼镜领域出货规模。
- 半绝缘型/导电型碳化硅衬底对设备和产线要求的区别不大，晶盛机电已规划25万片6寸和5万片8寸衬底片产能。目前6寸和8寸衬底的出货量分别为1万片/月和5000片/月。公司预计在2025年底前将全部30万片产能投产。

◆ 图：晶盛机电推出的8寸光学级及导电型SiC晶片



◆ 图：晶盛机电与XREAL等公司达成战略合作





## 6.2 投资建议：天岳先进与META等达成合作

- 天岳先进是国内碳化硅衬底片龙头厂商，长期深耕于车规级/功率器件碳化硅衬底片。据日本富士经济统计，2023年天岳先进的导电型碳化硅衬底市占率已经进入全球前三。2024年上半年天岳先进上海临港工厂已经能够达到年产30万片导电型衬底的大规模量产能力，未来将继续稳步推进临港工厂第二阶段产能提升。2024年11月13日发布了业界首款12寸碳化硅衬底产品，宣告正式迈入超大尺寸碳化硅衬底的新时代。
- 天岳先进已有6寸/8寸半绝缘型碳化硅衬底稳定量产，目前正在突破12寸大尺寸半绝缘型碳化硅衬底片生产。但目前8寸和12寸光学级别半绝缘型碳化硅衬底片良率比较低。客户拓展方面，天岳先进已经与华为就AR眼镜碳化硅衬底片供应展开合作，也已经为舜宇光学提供半绝缘型碳化硅衬底片。同时，天岳先进的光波导用碳化硅衬底片也已经获得了海外客户META订单，客户拓展进展良好。

◆ 图：天岳先进6寸半绝缘型碳化硅衬底片







1 AR眼镜与光波导结构：表面浮雕光栅波导为主流方案

2 碳化硅材料：高折射率与高热导性成为最理想AR镜片材料

3 光波导制造：配合碳化硅引入刻蚀工艺，实现批量稳定生产

4 半绝缘型碳化硅衬底片：12寸为未来突破方向，供需缺口大

5 投资建议

6 风险提示

1. **AR眼镜销量不及预期的风险。**AR眼镜销量以及对于SiC的用量将成为支持SiC行业景气度的关键因素。若未来AR眼镜销量不及预期，行业或出现增速不及预期的情况。
2. **碳化硅渗透率提升不及预期的风险。**碳化硅衬底短期内依然面临制备难度大、成本高昂的挑战，碳化衬底价格仍数倍于玻璃，下游应用领域仍需平衡碳化硅高价格优越性能带来的综合成本下降之间的关系，成本制约因素可能导致碳化硅难以在下游市场快速实现行业应用的渗透和发展，导致整体行业发展不达预期。
3. **各家厂商技术研发不及预期。**工艺成熟是一个多维度均达标的系统工程，取决于包括设备、耗材在内的多因素，由于技术创新受各种客观条件的制约，存在失败的风险。

# 免责声明

东吴证券股份有限公司经中国证券监督管理委员会批准，已具备证券投资咨询业务资格。

本研究报告仅供东吴证券股份有限公司（以下简称“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。在任何情况下，本报告中的信息或所表述的意见并不构成对任何人的投资建议，本公司及作者不对任何人因使用本报告中的内容所导致的任何后果负任何责任。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。

在法律许可的情况下，东吴证券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并进行交易，还可能为这些公司提供投资银行服务或其他服务。

市场有风险，投资需谨慎。本报告是基于本公司分析师认为可靠且已公开的信息，本公司力求但不保证这些信息的准确性和完整性，也不保证文中观点或陈述不会发生任何变更，在不同时期，本公司可发出与本报告所载资料、意见及推测不一致的报告。

本报告的版权归本公司所有，未经书面许可，任何机构和个人不得以任何形式翻版、复制和发布。经授权刊载、转发本报告或者摘要的，应当注明出处为东吴证券研究所，并注明本报告发布人和发布日期，提示使用本报告的风险，且不得对本报告进行有悖原意的引用、删节和修改。未经授权或未按要求刊载、转发本报告的，应当承担相应的法律责任。本公司将保留向其追究法律责任的权利。

## 东吴证券投资评级标准

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，新三板基准指数为三板成指（针对协议转让标的）或三板做市指数（针对做市转让标的），北交所基准指数为北证50指数），具体如下：

公司投资评级：

买入：预期未来6个月个股涨跌幅相对基准在15%以上；

增持：预期未来6个月个股涨跌幅相对基准介于5%与15%之间；

中性：预期未来6个月个股涨跌幅相对基准介于-5%与5%之间；

减持：预期未来6个月个股涨跌幅相对基准介于-15%与-5%之间；

卖出：预期未来6个月个股涨跌幅相对基准在-15%以下。

行业投资评级：

增持：预期未来6个月内，行业指数相对强于基准5%以上；

中性：预期未来6个月内，行业指数相对基准-5%与5%；

减持：预期未来6个月内，行业指数相对弱于基准5%以上。

我们在此提醒您，不同证券研究机构采用不同的评级术语及评级标准。我们采用的是相对评级体系，表示投资的相对比重建议。投资者买入或者卖出证券的决定应当充分考虑自身特定状况，如具体投资目的、财务状况以及特定需求等，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。

东吴证券研究所

苏州工业园区星阳街5号

邮政编码：215021

传真：（0512）62938527

公司网址：<http://www.dwzq.com.cn>

# 东吴证券 财富家园