

## AR-HUD optical waveguide industry technology analysis, diffractive optical waveguide becomes the mainstream – September 1, 2022

AR- HUD光波导产业技术解析，衍射光波导成主流

[ICVIS智车行家](#)

最新更新时间：2022-09-01

阅读数：1560

[智圈](#) 进“智车行家HUD行业交流群”，请加微信18512119620，备注公司-姓名-职位加群

来源：天风证券研究所

### 「导语」：

今年以来，北汽魔方、长安深蓝、上汽飞凡、哪吒等众多自主品牌发布ARHUD搭载车型，市场迎来快速爆发。ARHUD是智能座舱和辅助驾驶系统最有效的人机交互形态之一，是AR最具使用价值的落地场景。我们认为ARHUD渗透率将迅速提升，市场空间有望在2025年达到160亿元，由于高价值量ARHUD占比的提升和软件升级，市场有望呈现出量价齐升局面。目前自主品牌偏爱配套国内HUD，行业正处于蓝海爆发阶段，多家厂商有望享受从0到1的市场催化。

AR HUD是目前汽车行业的热门产品，但安装体积过大、成本过高是行业的痛点所在。部分HUD厂商正在尝试一些新的技术路线，比如说德国大陆便与Degilens尝试过光波导方案。光波导HUD凭借其平板光波导超薄的结构和二维扩瞳能力极大减小对光机体积的需求，是未来HUD发展的重要方向，具有巨大的市场价值和前景。而国内也有很多光波导厂商正在进入大家的视野，比如说三极光电、苏大维格、至格科技、珑璟光电、灵犀微光等，本文详细介绍了光波导方案的类型和优劣势并对国内布局hud领域的光波导厂商进行梳理。

如需获取完整版PDF报告，点击关注上方蓝字“[智车行家](#)”后回复“[光波导](#)”领取

### 01.

ARHUD成为智能座舱信息平台载体，  
近年来开始上升到智能座舱的战略层面

传统车载HUD因虚像距离短、显示画面尺寸小，容纳信息较少，实用性受限。随着技术的进步及生态发展，增强现实ARHUD开始出现并为各大车厂所重视：更大的FOV（10°\*3°以上）、更大的虚拟屏幕尺寸（70寸以上），因此显示信息更丰富，结合更远的虚像距离（10米以上），从而具备更好的交互效果。ARHUD可以成为车载智能座舱的信息平台载体，近年来开始上升到智能座舱的战略层面。

下一代AR-HUD需要显示与实景融合的AR信息，不仅能提供行车和导航信息，还能开拓本地生活引流新模式。AR-HUD技术壁垒较高，需要兼具自动驾驶域和智能座舱域设计能力，具体来看主要是画面位置的实时调节、虚实融合、成本以及体积问题。根据大陆预测，ARHUD份额将从24%增至2030的43%左右。

中国HUD市场空间巨大，2025年乘用车装配率有望超20%。根据佐思汽研&新思界统计，2021年国内HUD前装配置以W-HUD为主，其中合资品牌渗透率略高于自主品牌渗透率，整体渗透率在4%左右。

我们认为随着自主品牌纷纷将AR-HUD作为智能座舱主打卖点以及华为等优秀汽车电子新Tier1的催化，国内AR-HUD配置比例有望快速提升，到2025年国内HUD出货量有望达到574万，整体渗透率有望达到23%，其中AR-HUD近一半。

虽然量产阶段价格会明显下降，考虑到AR-HUD平均价值量较高以及新款产品更复杂的软件设计，整体ASP将保持增长。结合大陆集团对全球HUD市场的预测，到2025年中国将成为全球最大的HUD市场。

HUD抬头显示器主要由上盖、光学模组、图像生成器组成。上盖板防止太阳光直射和反射，防止驾驶员产生眩光效应；光学模组主要包括光学零件，包括平面镜、非球面镜和轴承组合等，定义了抬头显示器光学质量、投影距离等重要参数；图像生成器（PGU）定义抬头显示器产生的亮度、对比度和分辨率。

HUD上游主要由PGU光机、光学模组、上盖组成，其中PGU价值占比最大，可达到整机BOM的30%-50%。PGU根据硬件组成和原理不同，分为TFT、DLP、LCOS以及LBS方案。目前TFT方案应用成熟，但光效低；DLP性能更好，但成本较高且供应商单一；LCOS分辨率较高，逐渐走入市场。目前TFT和DLP方案是主流。

自主品牌偏好适配国内ARHUD，竞争格局目前仍是蓝海遨游。全球来看，HUD第一梯队仍为国际主流Tier1汽车电子公司如德国大陆、日本精机、日本电装，他们是宝马、奔驰、大众等最早推出HUD品牌的供应商，其光学设计、软件已经过多年迭代，目前仍然是外资以及合资品牌主要供应商。

国内第二梯队近年来发展迅速，如华阳、疆城、未来黑科技、泽景、炽云、水晶光电等厂商，目前开发HUD也有近十年经验，是目前自主品牌选装的主要合作品牌。其中华阳WHUD基本覆盖了国内主流的OEM车厂，如广汽、长安、吉利、长城等，未来在ARHUD将持续发力。此外，具有自动驾驶和智能座舱双重技术积累的新晋汽车电子Tier1有望成为黑马，如华为将在今年量产的飞凡R7首发ARHUD产品。

AR- HUD（增强现实HUD）是下一代抬头显示的必由之路，有效提升驾驶体验和驾驶安全，但目前存在体积较大，成本高的缺点。AR- HUD显示面积大幅提升，通过将虚拟信息和现实路况实时信息叠加，帮助驾驶员保持视线，获得关键视觉信息，包括投射车速、转向指示、车道偏离警示等车况信息，进一步提升驾驶安全性和驾驶体验。

未来的AR-HUD可与高精地图、本地生活结合成为流量入口，商业模式想象空间巨大。由于AR-HUD 产品提供比较大的FOV和VID，光路体积需要导致设备尺寸较大，占用车内空间较多，目前AR- HUD 体积高达30L，远远大于W- HUD等传统HUD的3-4L，制造成本高，仅渗透部分车型。

ARHUD技术壁垒升级，需要兼具自动驾驶域和智能座舱域能力。AR-HUD相比于W-HUD需要解决四方面问题：

一是画面位置的实时调节，由于驾驶员身高各不相同、行车抖动颠簸等将导致同一HUD画面投射发虚错位，不同厂商如华为借助于IMU（惯性传感器）和DMS（驾驶员监控系统）眼动追踪来调整画面显示；

二是虚实融合，需要实现画面虚像的连续变焦，除了大众ID系列的双焦面方案，未来全息光波导技术和激光投影技术具有潜力。此外ARHUD的数字计算部分较WHUD复杂的多，AR-Creator需要结合摄像头、眼动追踪、车况感知等多维度信息与高精地图融合，HUD与车道线、车头方向、障碍物、转弯路口的标定都是技术难点；

三是成本问题，高档车型如宝马5系选装AR-HUD价格高达11600元，目前高档AR-HUD售价仍较高，主要与制造工艺难度大、定制化程度高有关；

四是体积问题，奔驰S级AR-HUD体积达到27L，不适用于所有车型，未来主流方法是优化光路设计、引入波导技术等。

## 02.

### 未来AR HUD发展方向

#### 光波导方案具有巨大的市场价值和前景

AR HUD是目前汽车行业的热门产品，但安装体积过大、成本过高是行业的痛点所在。部分HUD厂商正在尝试一些新的技术路线，比如说德国大陆便与Degilens有过相关尝试过光波导方案。而国内也有很多光波导厂商正在进入大家的视野，比如说三极光电、苏大维格、至格科技等。

目前AR-HUD实现的主流方案中使用图像生成单元PGU投影图像至扩散膜后经两级自由曲面反射镜反射至挡风玻璃后反射，图像光进入人眼。该HUD系统的体积大，一般在10L以上，大的光学系统体积影响了AR-HUD的广泛应用进程。

#### 现有AR-HUD结构图（华为）

光波导HUD凭借其平板光波导超薄的结构和二维扩瞳能力极大减小对光机体积的需求，是未来HUD发展的重要方向，具有巨大的市场价值和前景。

### 光波导HUD结构图

光波导的原理是在光机成像后，耦入区域将光机的光束耦入到波导片中，光束在光导片中全反射后，通过耦出区域传到人眼。光波导方案轻薄小巧、透光度高、视场角大、显示效果好，是目前公认的终极光学显示方案。短期来看，由于成本可控，工艺较为成熟，自由曲面/Birdbath仍会在C端AR市场占有一席之地。长期来看，光波导一旦突破量产瓶颈后，由于其轻薄性及显示效果优势，有望实现快速渗透。

### 03.

#### 衍射光波导中表面浮雕光栅波导成为主流

AR光波导技术分为几何光波导和衍射光波导，几何光波导基于传统几何光学原理进行设计和制造，几何光波导也称为阵列光波导。其中衍射光波导技术分为表面浮雕光栅波导和体全息光栅波导。

衍射光波导则利用光的衍射效应，主要采用光栅结构实现对光束的调制。体全息光波导的工艺原理较为简单，用激光干涉曝光即可形成光栅结构，但由于业界无现成可用体全息的材料以及成熟的设备，因此在近些年发展较表面浮雕光波导较为缓慢。

表面浮雕光栅，是通过光刻与刻蚀等工艺在材料表面“雕刻”出高峰和低谷，以此实现能够满足所需光学性能的周期性结构。

#### ▲ 表面浮雕光栅扫描电镜照片（来源至格科技）

表面浮雕光栅波导如果要进行微投影系统（光机）发出的光导入人眼，必须经过耦入和耦出的过程。即光机发出的光通过耦入光栅，进入平板波导，并在其中进行全反射传播，最后再由耦出光栅将光传递到人眼。这里的耦入和耦出光栅，采用的就是表面浮雕光栅。由于纳米级光栅的特征尺寸与光波长相当，这里已经不能将光看成普通光线，而是要把光当做一种电磁波。光在入射到光栅后会发生多级次的衍射。

假如光机发出的是单色光（比如绿光），绿光在入射到耦入光栅后，会被分成若干不同方向的光（衍射级次），其中某一个非0衍射级次（比如+1级）会满足平板波导的全反射条件，从而进入到平板波导中进行全反射传播，这个衍射级次就是衍射光波导的工作级次。通过精确控制周期、占空比、槽深、侧壁倾角等光栅参数，可以使绝大部分光能都集中到衍射光波导的工作级次上，也就是绝大部分光能都被耦入到衍射光波导中，这就是衍射光波导的耦入过程。

与耦入过程相对应，当在衍射光波导中进行全反射传播的光遇到耦出光栅时，也会产生若干衍射级次，其中某一个非0级次会沿特定方向离开衍射光波导，进而进入人眼，这就是衍射光波导的耦出过程。

#### ▲ 衍射级次示意图

假如光机发出的是彩色光，那么除了上述过程以外，还会伴随其他复杂情况。由于不同颜色的光的波长不同，其衍射效率也会有所不同。表面浮雕光波导无材料瓶颈，且天然可做二维扩瞳，目前被众多AR厂商采用为原型机首选方案。但同时，目前该技术路径在量产层面同样碰到瓶颈：

- 1) 纳米压印方案中母版的制作技术仍主要掌握在国外厂商手里；
- 2) 纳米压印方案与半导体产业的生产逻辑相似，成本与量息息相关，当中无论是产线建设还是纳米压印设备的购置均需要大量资金和固定支出。而是否先投入巨额资金建设产能还是等下游市场先有大量需求后再投入，对于创业公司而言无疑是个“先有鸡还是先有蛋”的问题；
- 3) 表面浮雕衍射这个物理过程本身对于角度和波长的选择性导致了色散问题的存在（俗称彩虹效应：主要表现为FOV和动眼框内的颜色不均匀），导致呈现图像偏色/失真严重、光效过低（行业普遍0.3~0.8%光效，为AR光学方案中光效最低）。

由于技术原理的缘故，表面浮雕光波导也会引发双面显示效应（正面漏光严重），若想要在C端落地，隐私保护将会成为重大挑战。这些问题仍然需要业内企业不断攻克和改善，目前全球范围内代表企业有Waveoptics、Dispeliex和国内的鲲游光电、至格科技等。

而通过优化各项光栅参数，光栅能够对不同波长的光的能量进行精确控制，进而最大程度消除色散问题，最终让我们看到颜色正常的画面。针对复杂的光栅衍射问题，至格科技自主掌握针对不同类型光栅的全套计算软件。软件算法来源于清华大学光栅与测量实验室20余年的技术积累，基于傅里叶模态法（FMM）能够快速准确地计算光栅的衍射问题。

而且同时拥有功能完备的光栅母版加工中心和完整的衍射光波导批量生产体系，实现了设计与制造的紧密配合。在做光栅设计的时候可以兼顾到母版加工和生产制造的工艺能力，遇到问题能够及时调整优化，产品迭代速度非常快。

衍射光栅制作是最核心的部分，需较强的微纳光学设计能力和长期的光栅制作经验积累。衍射光波导的生产流程分为光栅设计、光栅母板加工、纳米压印生产三大环节，首先设计出光栅图样，然后根据设计精准制作出母板模具，最后采用纳米压印技术进行复制。供应链体系方面，原材料和设备较为依赖海外，其中高折射率玻璃来自康宁和肖特，高折射率树脂来自德国德路，母板材料来自日本凸版印刷，纳米压印设备来自奥地利EVG。

采用表面浮雕光栅技术的团队有Microsoft HoloLens、Vuzix、Magic Leap、WaveOptics、苏大维格、鲲游光电和至格科技。表面浮雕光栅由芬兰Nokia研究中心提出，这部分IP被Microsoft和Vuzix分别购买，所以Microsoft HoloLens和Vuzix都采用类似的光栅

结构。WaveOptics 多次获得歌尔股份投资， 两家签订生产合作协议。对比各家的产品参数， 苏大维格在 FOV 和厚度方面都具有优势。

#### 04.

### 几何光波导量产成本有优势

可搭配MicroOLED、LCoS率先实现落地与覆盖

几何光波导从色彩饱和度、画面清晰度、产品功耗和量产成本等方面都占据优势， 其通过几何阵列全反射原理实现图像的无损输出和画面画幅的扩大， 光效超15%， 因此几何光波导可搭配MicroOLED、LCoS率先实现落地与覆盖， 并借助高清微显示技术可实现高亮度、色彩丰富、景深融合的全彩显示。

几何光波导的显示原理带来光学性能上的优势， 但早期业内几何光波导厂商主要以一维扩瞳产品形态出货， 光机体积过大， 难于匹配消费者对于AR眼镜终极形态的心理画像。二维扩瞳光波导不仅对光学设计要求提高一个台阶， 也在生产工艺上更为严苛。例如， 传统一维扩瞳光波导仍能使用光学胶水进行波导间粘合， 虽说良率会有所下降， 但光学性能仍在可接受范围内。

升级到二维扩瞳光波导， 若想实现较佳的显示效果以及高光效， 二维波导涉及到的波导贴合面高达20-30层， 若在高数量贴合面的情况下使用胶粘， 良率将直线下降并且整体光学效果也将因胶水而产生一系列连锁问题。因此， 无胶键合式的波导贴合工艺， 已经成为了各家几何波导厂商不得不面对以及需要攻克的技术难关。目前业内拥有该技术能力并用键合方式量产的主要有以色列的Lumus和国内的理湃光晶。

图：几何与面浮雕衍射光波导显示效果对比

图：技术路径不断行化，光波导成为新一代解决方案

几何光波导制造工艺繁冗， 导致最终的良品率低， 难以走进消费电子级市场。因此衍射光波导中的表面浮雕光栅波导是目前 AR 走向消费市场的不二之选。主流的表面浮雕光栅在多家消费级产品中使用， 证明了表面浮雕光栅技术的可量产性。体全息光栅如果能够能够在材料上突破瓶颈， 提升光学参数， 未来有望实现量产。

图：光波导与其他光学方案参数对比

#### 05.

### 全息光波导HUD具有实现大幅面显示优势

能大幅度降低显示系统体积， 制作工艺复杂

全息光波导简单来说，就是光波导+体全息光栅。在AR领域，各种玻璃板都可以作为光波导本体，体全息光栅是指用全息曝光干涉方式制造的衍射光栅。光在体全息光栅波导中的传播过程与表面浮雕光栅波导基本相同。

不同之处在于，体全息光栅不是通过“雕刻”，而是通过两束相干光形成的明暗相间的干涉条纹来对基板上的光刻胶薄膜进行曝光，进而在分子层面形成具有折射率差的周期性空间分布。体全息光栅通常工作在布拉格衍射条件下。

通过贴附在光波导表面的体全息光栅，可以打破光波导本体全反射的界面规则，改变光信息传播的方向和能量，进而引导光信息从波导内部传输到人眼。通俗的说，全息光波导就是改变光信息传输方向的器件。其核心和难点在于出瞳处均匀的复制N次入射光瞳（姑且简单理解为入射投影仪出口尺寸），使出瞳面积（出光面积）大幅度增大，这种设计极大的优化了系统结构，使得AR光学成像系统体积急剧缩小，引起产业的瞩目。

### 全息光波导原理简图

具体情况来看，类似的参数标准，全息光波导可以把传统几何光学ARHUD包络体积缩小到五分之一到十分之一，极大的降低了HUD对汽车座舱体积的占用。此外，主要成像模块还可以标准化，同等指标可以节约其他车型的预研经费及研制周期。

基于布拉格衍射原理，当光波满足布拉格条件时，体全息光栅将会有极高的衍射效率。然而布拉格条件对于入射光的角度和波长有着非常苛刻的要求，一旦无法满足，衍射效率就会迅速下降。这就导致体全息光栅波导很难实现较好的彩色均匀性，无法满足市场需求。

目前，体全息光栅波导在显示效果、产品化、产业配套等方面，与表面浮雕光栅波导存在明显差距。由于技术高的原因，全息衍射光波导的量产一直是业界令人感到头疼的事情，不过，光栅结构制造极其灵活，衍射效率高，光栅组合自由度高。并且双轴光瞳扩展可实现大视角、定制出瞳大小和适眼距，波长复用和角度复用，潜力巨大，其量产成本低，具备走向消费电子级的条件。对系统功耗、视场角和成像质量有明显的影响。

其核心壁垒有以下几点：一、环境耐候性高全息材料、成本低 成像质量高；二、独有软件、Wade软件实现高速建模优化；三、数十年沉淀的成熟全息衍射工艺，Double-axis双轴扩展光瞳。

据灵犀微光看来，阵列光波导显示方案为3年内AR设备及前期生态的发展铺平道路；而未来3-5年内，体全息波导光栅技术将会逐渐取代前者成为准入级元宇宙终端的必备技术之一。

体全息波导光栅并不是一片普通玻璃，而实则是一个体积系统。体全息波导光栅允许设计自定义光源以什么形式，什么光强入射，这直接决定了光学系统的视场角、出瞳距、眼动盒等关键性参数，此特性不光可以应用在光波导镜片，还可以用在HUD、VR光学等各个方面，扩展性较强。

材料方面，体全息波导光栅技术通过使用光致聚合物或PDLC材料，通过双光束激光全息曝光的方式，直接在微米级光聚合物材料内干涉形成纳米级的光栅结构，工艺层面有望实现非人工自动化大批量的生产。

基于上述，量产层面体全息波导光栅也可以绕开纳米压印方案中制作母本的机器和模板制作的成本，在复用性和成本的降低上有明显优势。尽管现阶段技术成熟度未达标准，但随着技术成熟度的提升实现良率提升。

相对于表面浮雕光栅，由于体全息本身的角度选择性和波长选择性，不存在双面成像（光眼）的情况，存在的色散情况也较于表面浮雕弱的多，通过光机和光栅的设计优化能够大幅度减弱。

## 06.

### 光源层面分析：Micro-LED屏幕技术成熟促进衍射波导技术突破

衍射波导在这个时间点有了突破，同时还得益于Micro-LED屏幕技术逐渐开始成熟，并进入小批量量产，相比现有的DLP、LCOS、Micro-OLED，其不仅能够获得更高的亮度，据了解JBD的单绿色屏幕最高亮度可达400万尼特，蓝色与红色在材料端仍存在问题，目前分别为60万、20万尼特左右，而现在的OLED屏幕最高5000尼特；同时在功耗上也比其他要低数十倍。

#### MicroLED或为AR下游终端客户完美光引擎解决方案

由于可预见最终走向C端市场的AR眼镜需要具备轻薄、高透过率及高亮等特点，催生出对最终成像和光学指标极致的要求，对光引擎同样提出了明确和严苛的需求。目前，各大传统光引擎方案均存在一定程度的局限性，如：

MicroOLED（有机发光二极管）目前市场上主流的硅基 OLED产品亮度均小于 3000nits，若要搭载衍射光波导，与其要求数十万nits 的要求相去甚远，难以应用于户外 AR 场景。

LCoS（硅基液晶）对比度低及色彩饱和度差，亮度虽能做到5000nits以上，搭载几何波导式AR眼镜能满足室内外佩戴，但仍然无法满足衍射波导的高亮需求。同时，LCoS的使用条件限制较多，在C端的规模化落地背景下劣势明显。

DLP（数字光处理）技术为TI垄断，一家独大，整体光引擎体积较大且由于制作工艺复杂，成本过高难以满足未来消费级的供货及价格需求。

LBS（激光束扫描仪）虽然能提供高亮的光源，但现阶段技术和生产工艺不成熟，缺少批量量产供应能力，整体处于早期研发阶段。

MicroLED由于像素单元低至微米量级，MicroLED显示产品具有多项性能指标优势。如MicroLED功率消耗量仅为OLED的50%，其亮度可达OLED的10倍，分辨率可达OLED的5倍，同时峰值亮度能做到百万尼特以上，被业界公认为终极显示方案，长期来看将成为AR光引擎的必然选择。

图：MicroLED与其他光引擎参数对比



MicroLED是LED的阵列的高密度集成，其阵列中的像素点间距为微米量级，不仅制造出来的设备更轻便、更省电、使用寿命更长，而且能达到超高密度的像素级别，色域广、成像分辨率极高。同时，由于MicroLED的每一个LED像素点都能够自发光，不需要借助背光，使得MicroLED的成像效果亮度更高、对比度更强，即“黑色更黑，白色更白”。最后，由于MicroLED光谱主波长度约为10nm的三基色光，此方案能够提供极高的色彩饱和度，让成像效果更鲜艳。目前全球范围内能提供量产产品的仅上海显耀显示（简称“JBD”）一家，包括了对角线0.13英寸、点间距2.5m的单色MicroLED芯片以及体积小于0.8cc的全彩光引擎。

LED行业遵循海兹定律，即LED产业每18-24个月亮度提升1倍，每10年输出流明提升20倍、成本降至原来的1/10。在海兹定律驱动下，LED的升级路径沿着成本下降、尺寸缩小以及发光效率提升的方向演进。MicroLED在海兹定律或实现快速成本下降，引领下一代技术发展，在AR领域成熟及实现商业化落地。

图：LED海兹定律

MicroLED根据制作工艺又分为巨量转移与混合集成（wafer bonding）两条路径。

巨量转移采用机械工艺，芯片精度为0.5m，造成像素间距较大，仅适合大屏使用，无法满足AR设备小尺寸、高分辨率的需求，仅适用于小于1000PPI（像素密度单位）的大尺寸或中小尺寸场景。

混合集成技术无需对准而实现一次性键合焊接，转移后完成衬底剥离，精度误差小于0.1m，助力MicroLED微显示的产业化发展走向高良率及高吞吐量，是目前如AR眼镜等需要超高PPI（5000~10000 PPI）微型显示场景的最佳实现路径。

图：巨量转移与混合集成技术对比

在MicroLED量产与商业化的进程中，红光的发光效率一直是业界的技术瓶颈。Micro LED走向大规模应用要求高良率和高光效的红绿蓝三基色MicroLED芯片。目前，绿光和蓝光的GaN材料体系已经成熟，即满足MicroLED制程开发的要求；但红光无法在基于GaN的材料上发光。业界通过加入镓制成InGaN材料以提升红光发光效率，但由于LED的发光效率会随着镓含量的增加而下降，致使目前InGaN基红光无论在亮度、红光波长以及光谱半波宽上都难以满足产业化要求。

针对这一情况，近日JBD宣布了其在红光器件的研发中取得了重大突破，坚持AlGaInP基红光MicroLED技术路线，通过持续深入研发，在材料生长和芯片技术研发两端同时发力，突破了红光尺寸效应瓶颈，在其推出的0.13英寸红光芯片中，像素尺寸仅4微米，MicroLED发光点仅2微米，可轻松加载微安级的驱动电流，红光亮度高达50万尼特，刷新了其既往保持的亮度世界记录。

图：典型的AlGaInP LED电致发光光谱，半波宽~15nm

供给端看，随着JBD等代表企业在单色MicroLED显示技术的迭代，单色MicroLED显示芯片已突破量产瓶颈，并实现成本指数级下降，单色MicroLED芯片的工艺成熟外加如红光方案上的突破，将为MicroLED彩色化进程奠定坚实基础。

彩色化方案分为模组间全彩与芯片级全彩。模组间全彩即模组间合光方案，指将三个红、绿、蓝三色的MicroLED阵列分别封装在三块封装板上，并连接一块控制板与一个三色棱镜，通过光学棱镜（Trichroic Prism）将RGB三色MicroLED合成全彩色显示。该方案能将三色RGB芯片发光效率与显示效果最大化，且发光效率稳定，JBD彩色化光引擎体积仅1cc，搭配光波导可实现 > 1500nits 入眼亮度，为未来三年内唯一可满足下游客户需求并实现量产的MicroLED全彩方案。据了解，目前市面上发布全彩MicroLED AR眼镜的主流厂商皆采用该方案。

芯片级全彩分为：a) 三色RGB巨量转移；b) 三色RGB堆叠；c) 量子点转色。三色RGB巨量转移与三色RGB堆叠需要产线配合，即不仅LED芯片设计，且设备、材料端均需要突破并结合产线与供应商一起共同研发。

巨量转移指蓝、绿、红三种不同的芯片通过三次巨量转移，转移到驱动电路上，实现彩色化，该方案不适用于MicroLED微显示芯片（< 10 $\mu$ m，PPI >5000），目前仅限大屏使用（PPI < 500）。

三色RGB堆叠指的是将基于不同无机III-V族单晶半导体结构的薄膜式microLED RGB阵列，异质集成，形成堆叠结构。与传统并排放置的RGB器件结构相比，在同等器件尺寸下，堆叠结构比并排结构可将显示分辨率提升三倍，不仅提高了器件的发光性能，也降低了制备过程中对加工精度的要求。

量子点转色（QDCC）主要依赖量子点材料来实现，通过高能蓝光或紫外光激发量子点材料发出不同颜色的光。可实现高效率的能量转化，避开RGB三色巨量转移技术下良率低与成本高的痛点并且能够解决MicroLED小尺寸红光发光亮度低的问题。量子点材料目前已经广泛应用于电视、电脑等中大尺寸屏幕市场并处于快速向中小屏幕渗透的阶段，以低成本的方式实现更宽广色域显示以及更精准色彩控制。

但是，量子点在中大屏与微显示上的使用方式、材料要求与技术成熟度存在差异，因此量子点虽已在中大屏上开始商业化落地，但在微型显示上量子点材料依然存在蓝光吸收性弱以及强蓝光、高温高湿条件下核/壳结构不稳定等问题。MicroLED像素点间距为微米级，若量子点膜层偏薄蓝光吸收力会降低因此会造成漏蓝光的问题；若量子点膜层增厚，则容易因像素距离过近而产生光串扰问题。

因此，仅有具备核心上游原材料研发制备能力的企业能从源头上对量子点色转方案所需求的量子点材料的组分和形貌调节、结构设计进行调控再结合原位光刻技术等来适配MicroLED微显示技术。目前，全球具备量子点量产标准的厂家主要有国外的Nanosys、三星（Hansol Chemical）以及国内的纳晶科技、福纳科技。

图：MicroLED主流彩色化方案

光波导技术路线在1990-2001年开始得到广泛讨论，但当时受限于工艺的不成熟以及电子器件小型化的困难，所以没有大规模广泛地落地使用。

但是自2015年以来，集成电路得到飞跃式发展。在移动终端的发展进程中，电子器件越做越小，芯片集成化越做越高。所以在电子部分能够缩小以后，AR的光学模组迈向轻薄化光波导时代的重要性越来越显现出来。

那么在光波导路线上，根据它的制造工艺和设计理念的不同，还可以继续细分。目前而言有三个方向——几何阵列光波导、浮雕光栅和体全息。那么在这样一个光波导发展的大路线上，究竟谁是未来？这个问题目前还没有一个标准答案

07.

### 国内部分布局hud领域光波导厂商梳理（欢迎补充）

国内也有很多光波导厂商正在进入大家的视野，比如说三极光电、苏大维格、至格科技、珑璟光电、灵犀微光等。

#### 1、苏大维格

苏大维格光波导镜片采用表面浮雕光栅波导（SRG）技术。通过使用亚波长尺度的表面浮雕光栅，代替传统的折反射元件作为光波导中耦入、耦出和拓展区域的光学元件，实现对光束的调制。苏大维格AR-HUD大幅面光波导模组具备超薄、大视场、远虚像的优良效果。基于自主研发的微纳光刻设备和平台，AR-HUD大幅面光波导模组能够在20cm x 20cm的波导表面加工约 $2 \times 10^{11}$ 个纳米单元，能够实现大于15米的投影距离。

苏大维格AR-HUD方案具有多片彩色、远虚像视距、大FOV等优点，目前正积极与产业巨头合作对接AR-HUD的技术和产品应用。在衍射光波导领域，公司储备并攻克了AR用“纳米波导光场镜片”批量化关键技术，并正在与相关产业方合作推进AR眼镜及AR-HUD投影屏相关技术的验证及产业化等工作

#### 2、三极光电

三极光电在全息光场信息记录材料、全息衍射核心光学技术、AR衍射成像光学系统设计，具有极雄厚的研发工艺沉淀。

率先自主研发全息衍射光波导、85度超大视场角视网膜投影HOE、超大面积全息波导等产品，能效高、对比度高成像清晰，处于国际领先地位。尤其是可以广泛扩展ARHUD整体性能的大面积全息衍射光波导具有成像更清晰、耐候性更好的突出优势。

自2019年开始，三极光电就在积极布局大面积全息光波导，也一直在积极跟系统厂商巨头、汽车厂商一起互动开发小体积、大视场、大眼动盒、长虚像距离的ARHUD光学系统，在实际验证评估中发现为题，克服问题，以量产为目的展开研制，有望短期上车实测验证。

三极光电在产线的布局上也极为主动，2020年10月份，三极光电建立起6500m<sup>2</sup>的中国标准最高、规模最大的全息衍射光学器件（全息光波导是其中一种）制造工厂。其中也建立起了中国（含港澳台）最大的全息干涉光场信息记录系统平台(6m\*15m)，为中国整个全息衍射光学产业及以全息衍射光学为核心的关联产业的向前发展添砖加瓦。

三极光电是我国全息衍射光学、AR核心光学硬件的领军企业，致力于底层的核心前瞻性基础AR光学的研发和应用。

### 3、至格科技

北京至格科技有限公司是由清华大学精密仪器系孵化出的高新技术企业。公司核心团队包括教育部长江学者、国家杰出青年基金获得者、清华大学教授、博士以及前上市公司管理层和业务骨干。公司依托于清华大学二十余年的光栅领域科研成果进行产业转化，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，拥有功能完备的光栅母版加工中心和衍射光波导产线，致力于AR衍射光波导光学显示模组及衍射光栅的研发、生产和销售。

#### ▲ 至格科技的衍射光栅产品

针对复杂的光栅衍射问题，至格科技自主掌握针对不同类型光栅的全套计算软件。软件算法来源于清华大学光栅与测量实验室20余年的技术积累，基于傅里叶模态法（FMM）能够快速准确地计算光栅的衍射问题。而且同时拥有功能完备的光栅母版加工中心和完整的衍射光波导批量生产体系，实现了设计与制造的紧密配合。在做光栅设计的时候可以兼顾到母版加工和生产制造的工艺能力，遇到问题能够及时调整优化，产品迭代速度非常快。

目前至格科技已具备C端客户的量产交付经验，可以为客户提供从设计、制版到材料和工艺的一站式解决方案，以及快速、稳定、可靠、低成本的衍射光波导量产交付方案。

### 4、珑璟光电

珑璟光电成立于2014年，已构建起阵列、光栅和体全息光波导全产品矩阵。依托其自研且独有的光波导设计软件，支撑产品“短、频、快”的迭代升级，为众多行业头部的B端与C端AR整机厂家提供定制化服务，并与厂家达成深度的“产、学、研”合作

### ▲ 珑璟光电的光波导全产品矩阵

珑璟光电新架构的二维扩瞳体全息波导方案，降低制造工艺难度

实现一种紧凑高效的HUD显示系统是车载显示领域追求的重要目标，基于体全息光栅的波导HUD具有实现大幅面显示的潜在优势，能够大幅度降低显示系统的体积，在汽车前装市场具有重要的应用潜力。但实现大幅面二维扩瞳体全息波导存在设计难度大，制作工艺复杂等巨大挑战，为此，珑璟光电提出了一种新架构的二维扩瞳体全息波导方案，该方案能够降低制造工艺难度，保证更高的良品率，且具有光效利用率高，光机体积小的优势。

近期，由珑璟光电制作的幅面为60mm×140mm的二维扩瞳体全息波导实现了全屏点亮，获得了阶段性的研究进展。图1(a)和图1(b)分别为相机聚焦于波导表面和相机聚焦于无穷远时拍摄的结果。图2为相机拍摄的三张放大的显示效果。未来，珑璟光电将继续推进更大幅面及全彩色二维扩瞳体全息波导的研发，以推进体全息波导HUD早日落地应用。

(a)

(b)

## 5、灵犀微光

自成立起，灵犀微光便一直专注于AR光波导技术的研发、量产及全套解决方案供应，期间推出了阵列光波导模组AW60系列、AW70系列、AW80系列（均已量产）。此外，灵犀微光行业首创基于阵列方案的二维扩瞳技术AR光学模组，目前已就透光度和光能利用率上实现突破，普遍透光度可以达到82%以上，且光损耗更小、画面更清晰。自2014年灵犀微光便开始了体全息波导光栅技术的研发工作，2020年10月，作为课题承担单位，获批：北京市科技计划课题“体全息单片三色光栅波导AR光学器件研发”项目经费。

图：灵犀微光体全息光波导模组

灵犀微光与合作伙伴的光波导AR HUD方案是使用特殊激光结构，将光照射在图像光机上，再经过二维体全息波导衍射出瞳图像，最后照射在挡风玻璃上的体全息衍射元件（HOE）上，衍射出信息图像，映入驾驶员眼中。

随着AR产业发展、元宇宙概念的火爆，以体全息波导光栅技术为导向的消费级AR终端愿景被大厂频频提及。作为专注AR光波导研发及量产的厂商，除了阵列光波导技术之外，灵犀微光也在体全息波导光栅和表面浮雕光栅技术上深耕多年。

灵犀微光推动在2023年完成国内首个体全息产线的落地及小批量产。在光波导方向上取得的技术突破包括最新的阵列光波导片，已经实现60°视场角下亮度达到1000尼特左右，1080p的分辨率上已

经能够做了相对比较成熟了，尤其我们现在解决了二维扩瞳的问题，可以把镜片做得更轻薄，整体的模组做得更小。

今年3月，灵犀微光宣布完成亿元级B轮融资该轮融资完成后，灵犀微光将持续在AR光波导研发方面攻坚克难，集中解决阵列波导自动化生产问题，为其全面走向消费端市场铺路；继续推进体全息光波导技术研发及大批量量产；加速打通AR产业链，促进AR普及落地。

## 6、奥提赞光晶

奥提赞光晶(山东)显示科技有限公司 (ARTIZAN) 成立于2019年，专注于增强现实 (AR) 光学显示及光波导开发与制造。公司技术团队历时五年攻坚克难，成功研发出新一代信息产品——高性能体全息光波导，产品具有大视场角，超轻薄，高清透，材料可选、可量产等优点。该技术成果包含从材料配比到生产工艺、生产制造全流程，且实现了所有知识产权的自有化，已申请多项国家发明专利及国际PCT发明专利。

## 7、水晶光电

[www.crystal-optech.com](http://www.crystal-optech.com)

浙江水晶光电科技股份有限公司创建于2002年8月2日，2008年9月19日在深圳交易所挂牌上市。水晶光电在棱镜、Birdbath方案的AR产品已有完整的量产线，还推出了衍射光波导方案。投资以色列阵列波导方案代表厂商LUMUS，为其提供配套光学零部件产品。

公司在AR-HUD领域水晶是有先发优势的，第一，在光学设计上，因为目前大部分的HUD的企业都起步自电子件，所以在装配能力上会比较强，但是在光学设计能力上面有所限制。第二，在AR技术有多年的研发布局，公司在AR的算法，也就是场景融合的能力上有水晶独特的优势。第三，水晶多年来专注精密光学产品加工，围绕着产品供应链管控方面，水晶也有一定的优势。

公司从2010年开始布局AR技术，目前已经储备了反射光波导、衍射光波导、折反式、棱镜式等等多种方案技术，公司也和海内外的科技巨头保持着非常紧密的协同关系。水晶光电打破技术壁垒，在场景融合上做到全球领先，用高技术门槛的AR-HUD与整车厂合作，并在质量上得到整车厂的认可。去年，国产红旗汽车的某旗舰车型上已经配备了这款“黑科技”，大受好评。而且国内不少头部电车企业也与水晶光电达成战略合作。

## 8、一数科技

### 一数科技AR-Hud LCOS核心光机

一数科技成立于2015年4月，是一家国家高新技术企业，中关村科技前沿企业，是国内激光虚拟显示与交互领域的黑科技“专精特新”企业。公司超过80%员工为研发人员，并且招贤纳士4名光学博士。过去6年中，公司已获融资超6轮，投资方包括海尔、小米和京投集团、深投控和中海投等产业资本。一数科技致力于成为“智能汽车AR-HUD中国领军者”。公司的使命是通过自主创新、国产替代，助力中国汽车智能化和中国品牌崛起。在AR-HUD市场上，自研激光LCoS投影模组打破国外技术垄断。随着更具革命性的光波导HUD 4.0进入预研阶段，在新兴的AR-HUD领域一数科技正在与包括豪华车品牌在内的汽车主机厂展开技术合作，预计2022年会正式装机落地。

## 9、华阳集团

华阳多媒体自2012年探索HUD领域，积极推进HUD技术的升级和迭代，目前正在大力发展AR-HUD 3.0，以VID(投影距离)可变式HUD作为新一代AR-HUD的技术突破口，双焦面，斜投影，光场式AR-HUD依次为VID可变技术的进阶方向。当前行业内各企业都在加大研发投入，加快研发进度，华阳多媒体以产品应用场景为迭代方向，将技术更好地应用到产品，增强产品的市场竞争力。

从2021年开始，华阳多媒体开始布局双焦面技术，采用的是单PGU设计方案，通过对单光路进行拓展，更好地实现了双焦面的显示效果，并且最大程度地控制了HUD的体积以及BOM成本，突破了众多技术难题，率先填补了国内市场在双焦面技术上的空白，并斩获了客户订单。而斜投影技术作为公司战略基础课题，也在2021年开启研发，采用光学变焦技术，将虚像做到几乎与地面平行，以打造更好的AR融合及3D效果，实现体积小、成本相对低、小参数即可实现大参数的AR显示效果。

基于强大的技术支撑，华阳AR-HUD厚积薄发，再次领跑VID可变式AR-HUD的3.0时代。华阳多媒体非常重视创新技术的课题研究，当前已与国内相关领域领先高校建立了成功的校企合作模式；同时，华阳多媒体也非常注重新技术的产业布局工作，对于未来的光场式AR-HUD、光波导式AR-HUD，都已展开相关课题工作，并取得了阶段性的成果。

未完待续。。。。。

如需获取完整版本PDF文档  
点击关注上方蓝字“[智车行家](#)”后  
回复“[光波导](#)”领取

【免责声明】文章为作者独立观点，不代表智车行家立场。如因作品内容、版权等存在问题，请于本文刊发30日内联系智车行家进行删除或洽谈版权使用事宜。

## 2022（第三届）汽车抬头显示（HUD） 前瞻技术展示交流会11月苏州与您相约

探索汽车抬头显示前瞻技术发展与应用，增强车辆安全性能与驾驶体验，实现更高水平的人机共驾体验。易贸信息科技与智车行家将于2022年11月16-17日在苏州举行2022（第三届）汽车抬头显示（HUD）前瞻技术展示交流会，继续携手行业OEM、Tier1、HUD厂商、光学元件厂商、材料企业、测试验证企业以及第三方机构等250余位专家，共同探索抬头显示产品的发展与未来。

<http://news.eeworld.com.cn/mp/ICVIS/a143033.aspx>