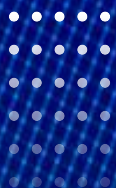


2025



# 减反射膜AR膜

3A 功能膜在保护膜与车载领域的应用、工艺及行业发展综述



主讲：谢长花



# 减反射膜AR膜技术概述

01

## 技术原理

利用光的干涉原理减少反射光  
通过多层膜系设计实现光的相消干涉  
提高透过率和减少表面反射

02

## 材料组成

通常由低折射率和高折射率材料组成  
使用特殊的的光学涂料或纳米材料  
需要耐候性和耐刮擦性材料

03

## 性能特点

降低反射率，提高显示清晰度  
减少眩光，改善视觉舒适度  
耐候性和抗刮擦性

04

## 发展历程

从早期的单一层膜到多层膜技术  
材料和工艺的不断优化  
应用领域逐步拓展

# 为什么需要减反射膜AR

## 防反射膜开发背景及必要性

### 1. 开发背景

- 随社会的发展，每个人的生活及活动范围越来越被重视
- 特别是生活中的显示类产品是必不可少的
- 平板显示屏幕会受到太阳光及各种照明光的照射导致人类用眼睛识别画面时会遇到各种问题点，例如眼睛疲劳或者因反射光导致的识别不清等状况



### 2. 开发必要性

- Display 画面需要用特殊光学膜来减轻或防止一些直射到显示器表面的反射光
- 使用防反射膜的显示屏会减轻直射光线和反射光线，让显示屏对比度提升
- 防眩光的显示屏会让长时间使用屏幕来工作或者享受娱乐的消费者带来更舒适的使用环境

# 行业背景

手机、平板、笔记本、电视、安防监控

01

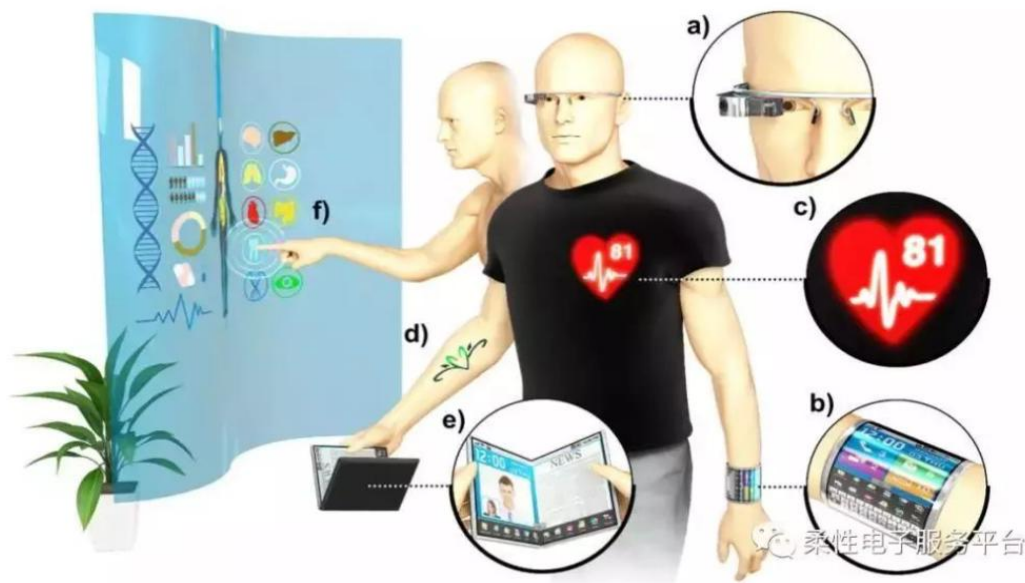
车载显示、智能家居、柔性穿戴显示

02

AR/VR

03

显示技术：人机交互70%信息通过视觉



## 行业背景—更好的客户体验—增透减反射涂层



### 传统方案:

- 1、真空镀增透膜，主要应用于小尺寸
- 2、膜层材料折射率难调
- 3、 $\geq 98.5\%$ 透光率：双面各镀六层膜
- 4、层间物理结合，膜层脆，环境可靠性略弱



# AR/3A功能膜市场概述与报告目的

## 核心战略地位

光学功能膜是显示技术升级与智能终端普及的核心支撑材料。

## 本文研究目的

本文旨在系统阐述AR及3A功能膜的技术原理、核心应用、制备工艺，并结合企业实践探讨行业发展前景与挑战，为相关领域的学术研究与实践提供参考。

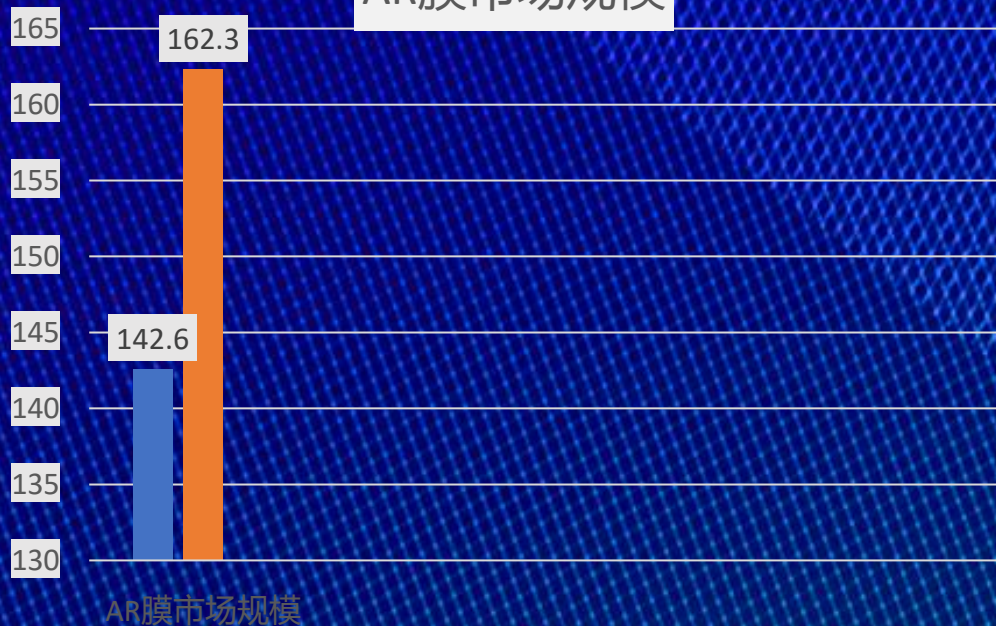
## 行业发展驱动

以苹果iPhone 17系列对AR膜技术的重点推广为标志性事件，行业正进入技术升级与市场扩容的加速期，高端消费电子产品的技术迭代是主要驱动力。

## 市场高速增长

市场规模持续扩大，2024年中国光学AR膜市场规模已达142.6亿元，同比增长13.8%。预计2025年将进一步增至162.3亿元，显示出强劲的增长势头。

AR膜市场规模



# 一 核心技术解析

AR减反膜

AG抗眩  
光膜

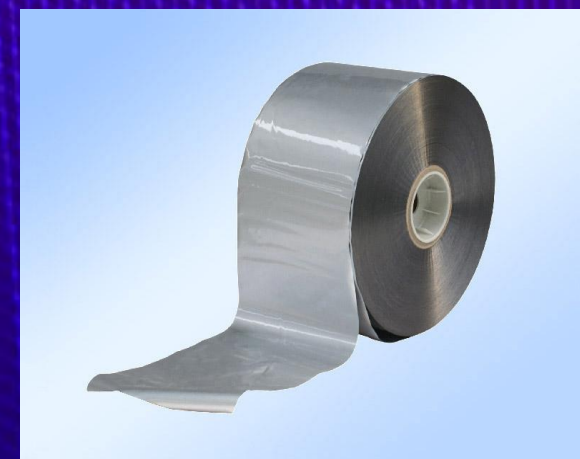


3A复合膜

AF防指纹  
膜



# 一 核心技术解析



## AR减反膜

通过多层纳米级薄膜（如氧化钛、氧化硅）利用光的相消干涉效应，将表面反射率从8%降至1%以下，透光率从91%提升至98%，显著增强显示清晰度。

## AG抗眩光膜

在表面构建微米级凹凸结构，将镜面反射转化为漫反射，有效消除强光下的眩光干扰，并能改善折叠屏的折痕可见性问题。

## AF防指纹膜

采用高疏水性含氟材料，降低表面能形成疏水疏油界面，从而减少指纹、油污的残留，并提升屏幕的清洁便利性。

## 3A复合膜

通过一体化集成AR、AG、AF功能层，实现“减反增透、防眩清晰、防污易洁”的协同效应。技术关键在于解决不同功能层间的兼容性与性能平衡问题。

# - AR/3A膜应用场景

## 驱动力:iPhone 17的技术革新

苹果iPhone17系列全系搭载7层AR抗反射镀膜，实现0.8%超低反射率与97%超高透光率，极大提升了户外可视性，成为行业技术升级的转折点。



1

**挑战:**对配套保护膜的严苛要求  
普通钢化膜(透光率 $\leq 90\%$ )会使原屏AR效果失效。合格的AR保护膜需满足三大核心指标:透光率 $\geq 95\%$ 、多层抗反射涂层设计、与原屏镀膜的微米级贴合精度。

2

**难点:**贴合精度与环境控制  
AR膜贴合对精度和环境要求极高，大于0.1mm的偏移即产生彩虹纹，0.1mm级灰尘即形成黑点，湿度和温度也严重影响贴合效果，易产生翘边和气泡。

3

**方案:**智能对位与多元产品  
行业已发展出“智能对位+无尘环境”的解决方案，如臻品AI贴膜机将成功率提至98%。同时，图拉斯、卷柔等品牌已推出兼顾透光与硬度的多元化AR保护膜产品。

## 一 核心应用(二):车载智能座舱的需求爆发

### 市场驱动:安全与体验催生需求

车载显示是AR膜增长最快的场景,2024年市场规模达19.8亿元。核心需求源于解决驾驶中屏幕反光安全隐患,并提升智能座舱的触控与视觉体验。

### 功能价值:提升性能与降低能耗

3A膜可提升隔热与安全性(如比亚迪),降低空调能耗(如特斯拉)。其高透光特性可降低背光模组功耗,在OLED车载屏中可减少约15%的能耗。

### 可靠性要求:满足严苛车规标准

车载场景要求膜层具备极致可靠性,需通过-40°C低温、1kg载荷万次耐磨、高温暴晒等测试,确保在极端环境下无脱落、无黄变,满足汽车行业的严苛标准。

### 应用拓展:从中控屏到多场景渗透

凭借高可靠性,3A膜正逐步从中控屏向仪表盘、HUD(抬头显示)、后座娱乐屏等多场景渗透,成为智能座舱不可或缺的核心材料。



# 技术创新与研发

## 新材料的应用

纳米材料提高膜层的光学性能  
自清洁材料减少维护需求  
环保材料降低生产对环境的影响

## 工艺技术的改进

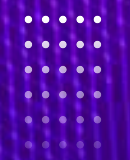
精密涂布技术提升产品一致性  
真空镀膜技术提高膜层质量  
数控技术提高生产效率

## 产品性能的优化

提高透光率以增强视觉效果  
增强耐刮擦性以提高使用寿命  
减少反光以减轻驾驶员疲劳

## 研发投入与产出

企业加大研发投入以保持竞争力  
研发成果转化为产品更新和市场拓展  
投资回报率与市场接受度密切相关



# - AR膜核心制备工艺 干法与湿法的技术博弈

评价维度	干法工艺(磁控溅射)	湿法工艺(sol-gel)
核心优势	反射率低( $\leq 0.8\%$ )硬度高	成本低、产能高、基材兼容性强
主要缺陷	设备成本高、柔性适配差	传统工艺反射率较高( $\geq 1.0\%$ )
透光率	97%-99%	95%-98%
膜层硬度	7H-9H	4H-6H(改良型)
生产效率	低(单面镀膜)	高(卷对卷连续生产)
设备投资	高(千万元级)	中(百万元级)
适用场景	高端消费电子原屏镀膜	保护膜、车载大屏、柔性显示

## 干法镀膜工艺:高性能导向

以磁控溅射为代表,通过原子级沉积实现多层高精度镀膜,光学性能卓越(反射率可低于0.8%),膜层致密硬度高(可达7H以上)。但设备投资高、效率低、难以适配柔性显示。

## 湿法镀膜工艺:成本与效率导向

以溶胶-凝胶(sol-gel)法为核心,通过涂布方式制膜。成本较干法低30-50%,产能高,基材兼容性强。改良型湿法工艺已突破硬度等瓶颈,硬度可达6H,耐磨性显著提升。

## 工艺选择策略:需兼顾性能与成本

高端手机原屏镀膜优先选择干法以实现极致光学性能;保护膜、车载大屏及柔性显示等规模化应用,改良型湿法工艺因其成本和柔性优势成为更优解



## 行业痛点

### 优势

视觉体验好

透光率高

反射率低

硬度高

应用成熟

### 不足

生产**效率低**

设备造价高，生产**成本高**

不适合做**大尺寸**

**异型件**不容易镀膜

手机/平板**信赖性**测试难以通过

# 解决方案

膜系设计/纳米材料/涂层制备/精密工艺/加工装备

- 1) 用湿法多层成膜，实现增透减反射
- 2) 光学膜系设计，根据N,K,设定厚度
- 3) 精密膜厚控制技术

化学交联结构设计，  
实现硬度、耐磨性能

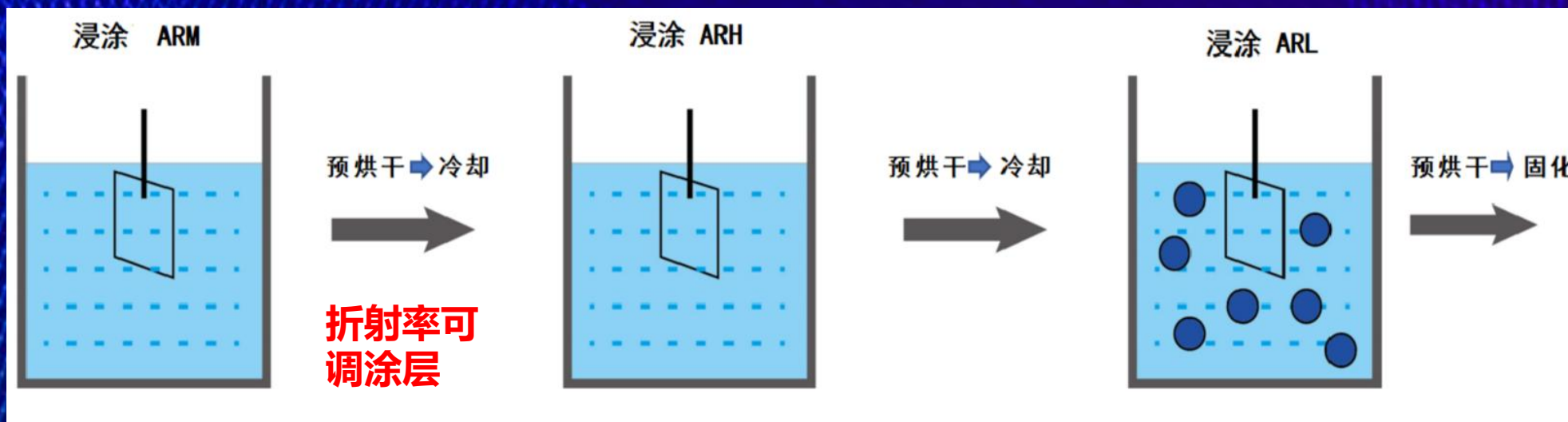
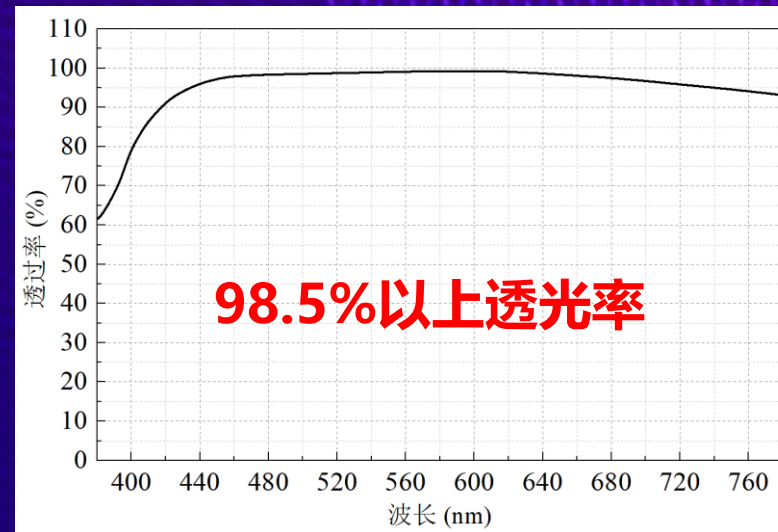
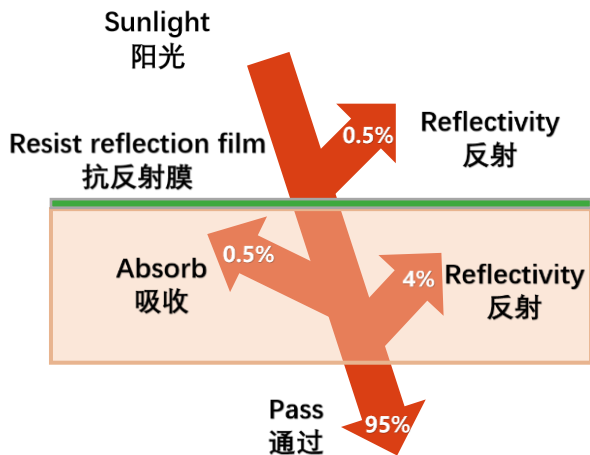
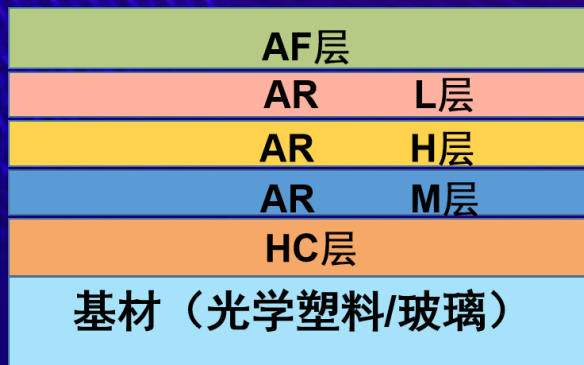
③ 涂层化学交  
联结构设计

① 精密膜系工艺

② 光学级  
纳米氧化物

关键原材料自主开发生产，不被“卡脖子”

# 光学功能层



## 特点/特性

AR原优势保留

透光率高

反射率低

硬度高

光学效果好

原有AR工艺不足克服

生产效率高（高达20倍）

成本低（最多可降低50%）

异型件可以镀膜（曲面屏）

大尺寸易加工（1300\*2300mm 100吋）

车载信赖性测试更好（碳弧灯1000个小时）

手机/平板信赖性测试可以通过

# 优势

非标，超过3D曲面加工不受限

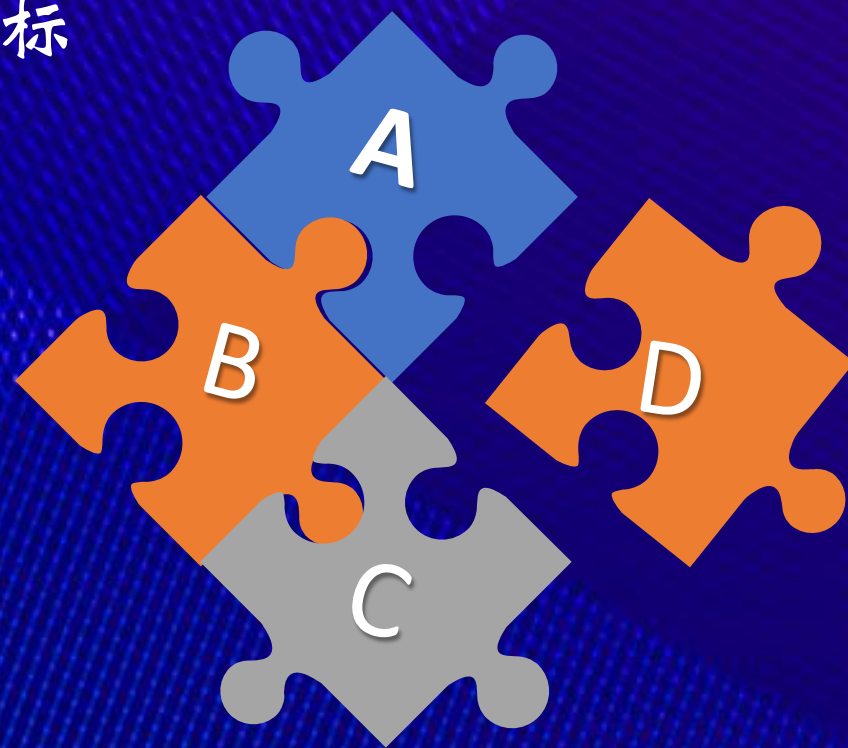


>5m/min (涂布),  
2min/框, 双面沉积

PVD溅射/蒸镀	浸涂AR
颜色均匀性差	颜色均匀
耐磨好	耐磨高
硬度高	硬度高
可靠性中	可靠性最高

TV, 电子白板定制及  
超大尺寸工艺不受限

## 关键技术指标



### 反射率

三层双面增透380-780nm平均反射率 $<1.0\%$

四层双面增透400-700nm平均反射率 $<0.5\%$

### 耐钢丝绒摩擦

三层双面增透380-780nm平均反射率 $<1.0\%$

四层双面增透400-700nm平均反射率 $<0.5\%$

### 透光率

三层双面增透400-700nm平均透光率 $>98\%$

四层双面增透400-700nm平均透光率 $>98.5\%$

### 涂层铅笔硬度

$>6H$ (中华铅笔)，1KG负荷

# 关键性能指标

关键性能指标	测试方法/标准	单位	测试值
透光率	380-780nm 平均	%	>98%
	550nm	%	>98.5%
反射率	380-780nm 平均	%	<0.9
	550nm	%	<0.9
雾度	380-780nm 平均	%	<0.3
反射色	$0 < a^* < 4.0$ $-7.5 < b^* < 0$		a:      b:
耐污性(水滴角)	亲水角度测试	°	>108
百格测试	百格, 3M810胶带	/	0级
铅笔硬度	1000克负荷, 中华铅笔	H	>6
耐磨	0000#钢丝绒1000克负荷20*20mm, 1000C		无明显划伤/雾度<
	羊毛毡4N,20*20mm,5000C		雾度<0.5%
翘曲度/平整度		mm	
落球冲击强度	直径 mm      g钢球,      mm高自由落 体冲击	/	通过

# 解决方案——关键指标——可靠性验证

项目	测试条件	评测标准	判定
高温高湿	85°C*85%RH*330H	膜层不能出现： 裂膜、脱膜、起皱、褪色 等不良	OK
紫外线老化	83°C*0.8w/m <sup>2</sup> *300H		OK
高温储存	95°C±2*240H		OK
高低温度冲击	低温：-40°C±2 高温：90°C±2 循环数量：200次		OK
低温放置	-40°C±2*240H		OK

# 一 案例分析:上海卷柔的研发实践与应用

## 核心研发突破:实现湿法工艺性能跃升

依托中科院技术,卷柔以sol-gel法为核心,通过材料体系创新(水相AR涂层)、膜层强化(硬度达6H)及复合集成技术,解决了传统湿法工艺的性能痛点,核心指标达国际先进水平

## 典型应用案例:覆盖多元化场景

车载显示:为新能源车定制低反射AR膜,将反射率压至1.2%以下,解决强光反光安全隐患。  
特种显示:为博物馆橱窗定制AR膜,实现 $\leq 1\%$ 的反射率与自洁功能。  
消费电子:开发配套iPhone 17的AR保护膜,透光率达96%,解决贴合难题。

# 应用场景——手机/平板/笔记本电脑——显示屏盖板

项目	AG	PVD/磁控溅射	AC-AR™
工艺路径	喷涂/蚀刻	真空, 物理沉积 先钢化后AR	浸涂 可先AR后钢化
特点	漫反射 防眩光	光学干涉增透 低反射	光学干涉增透 低反射
特性	透光率约90% 反射率1.0-2.0%	透光率>95% 反射率<0.8%	透光率 >98% 反射率 <0.7%
优势	工艺成熟	工艺成熟	标准AC-AR™玻璃交付
利益点	成熟可控	成熟可控	成本低, 效率高, 良率爬坡中

## 应用场景——安防/智能家居/机器视觉识别

项目	PVD/磁控溅射	AC-AR™
工艺路径	真空, 物理沉积	浸涂
特点	双面分别镀膜	一次完成双面镀膜
特性	透光率>98% 反射率<0.8% 有蓝色	透光率 >98% 反射率 <0.7% 接近无色透明
优势	工艺成熟	标准AC-AR™玻璃交付
利益点	成熟可控	成本低, 效率高



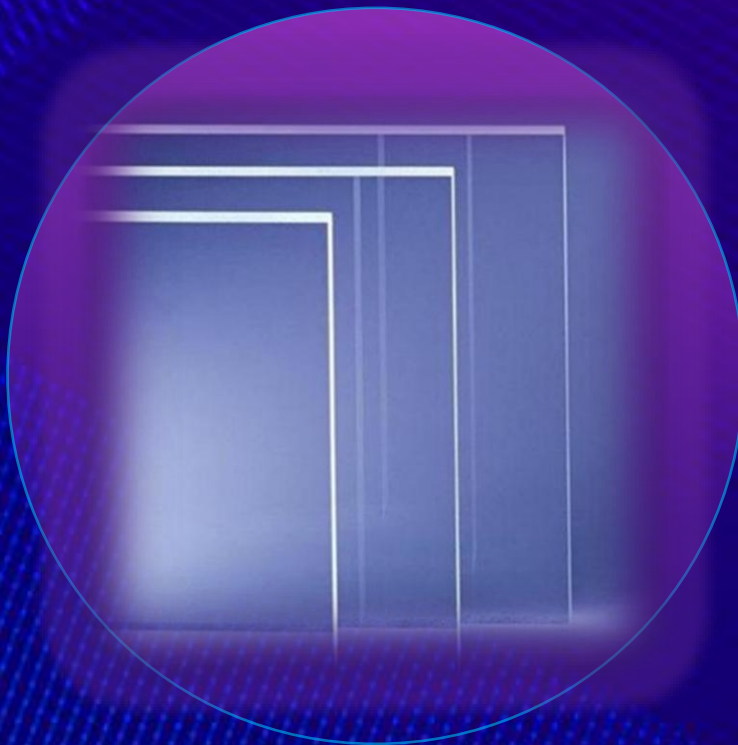
# 一 行业发展:前景与挑战并存

## 发展前景:多维度驱动增长

**市场扩容:**预计2030年中国市场将突破307.8亿元, 车载和AR眼镜领域增速迅猛。

**技术升级:**向“高集成、低功耗、广适配”发展, 柔性AR膜是重点方向。

**国产替代:**国内企业凭借湿法工艺优势, 有望在2025年将高端市场渗透率提至40%。



## 核心挑战:技术与市场考验

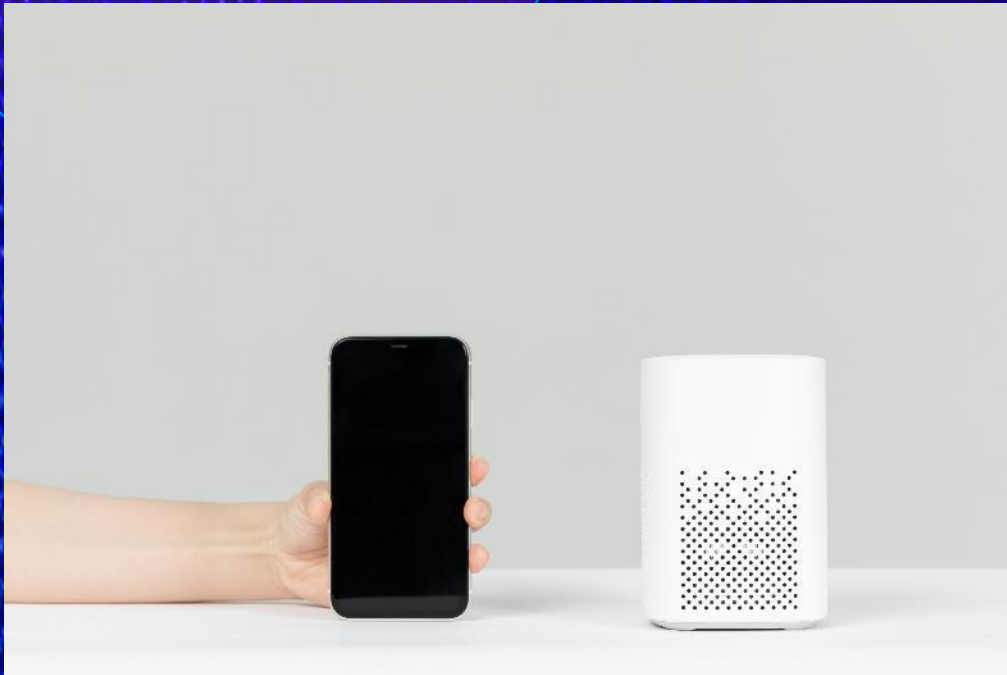
**技术瓶颈:**3A功能协同、极端环境适应性、柔性镀膜技术仍待突破。

**成本压力:**高端设备和核心原材料依赖进口, 成本高企。

**市场竞争:**国际巨头垄断高端市场, 国内中低端市场价格战激烈, 新进入者面临高壁垒。



## 一 结论与展望



AR及3A功能膜作为显示技术升级的核心材料，在保护膜与车载领域的应用已进入规模化爆发期。消费电子的技术迭代与智能座舱的快速发展为行业提供了广阔空间。湿法与干法工艺的技术博弈推动了多元化供给格局，国内企业通过工艺创新实现了性能与成本的平衡，为国产替代提供了可行路径。未来，行业发展将取决于技术突破与成本控制的双重进展。一方面需攻克功能协同、极端环境适配等技术难题，推动产品向高端化、柔性化升级；另一方面需加快设备与原材料的国产化进程，构建自主可控的产业链。我们有理由相信，AR及3A膜行业有望在未来十年成为光学薄膜领域最具增长潜力的细分市场之一。

上海卷柔新技术责任有限公司

2025

# 谢谢大家

深 | 圳 | 薄 | 膜 | 展

主讲：谢长花