



(China)

3D Optical Sensor Industry Research Collection – September 22, 2021

3D光学传感器行业研究宝典

来源 | 华创证券、驭势资本

智库 | 云脑智库(CloudBrain-TT)

云圈 | 进“云脑智库微信群”,请加微信:15881101905,备注您的研究方向

文章大纲

1.3D Sensing摄像头：智能手机行业十年来最大创新智能硬件向AR全面发展的大杀器

- 为什么说3D Sensing 摄像头是智能手机行业十年来最大创新
- “痛点型”应用场景层出不穷，将迎来手机标配到智能终端争配的爆发

2.3D Sensing摄像头：一场“有预谋”变革

- 技术路线成熟：TOF及结构光殊途同归
- 国际消费电子大厂均已具备成熟3D Sensing 摄像头技术苹果积淀最为深厚

3.解密3D Sensing摄像头产业链最大变化在于IR VCSEL模组（光源+光学组件）

- 关键点之一——红外线传感器
- 关键点之二——IR VCSEL
- 关键点之三——VCSEL激光器光学组件

4.几个对于VCSEL模组的思考

- Eye-Safe是激光消费应用必须考虑问题
- VCSEL会否在结构上优化，达到更低功耗、更高效率的要求

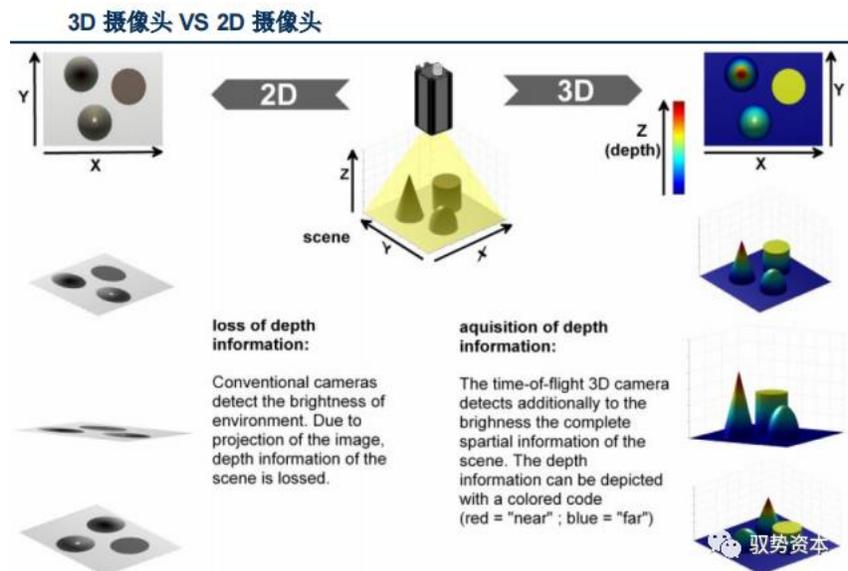
摄像头

3D Sensing摄像头：智能手机行业十年来最大创新

智能硬件向AR全面发展的大杀器

为什么说3D Sensing摄像头 是智能手机行业十年来最大创新

3D摄像摄像头是什么？ 3D摄像头特点在于除了能够获取平面图像以外，还可以获得拍摄对象的深度信息，即三维的位置及尺寸信息，其通常由多个摄像头+深度传感器组成。3D摄像头实现实时三维信息采集，为消费电子终端加上了物体感知功能，从而引入多个“痛点型应用场景”，包括人机交互、人脸识别、三维建模、AR、安防和辅助驾驶等多个领域。站在当前时点，我们认为2D向 3D摄像头的转变将成为继黑白到彩色、低分辨率到高分辨率、静态图像到动态影像后的第四次革命，有望再度引爆消费电子供应链！**一句话，触摸屏实现了交互方式从一维到平面，而3D摄像头将让交互方式从平面变成立体。**



消费体验来讲，到底能实现怎么样的颠覆式应用？ 3D摄像头实时获取环境物体深度信息、三维尺寸以及空间信息，为动作捕捉、三维建模、VR/AR、室内导航与定位等“痛点型”应用场景提供了基础的技术支持，因而具有广泛的消费级和工业级应用需求。从应用角度来看，目前 3D摄像头能够大显身手的场景主要包括消费电子领域的动作捕捉识别、人脸识别，自动驾驶领域的三维建模、巡航与障碍避开，工业自动化的零件扫描检测分拣，安防领域的监控、人数统计等等。

3D 摄像头具有广泛的消费级和工业级应用需求

领域	应用
智能手机	3D 人脸识别
VR/AR	手势识别、动作捕捉、眼球追踪、环境感知与建模

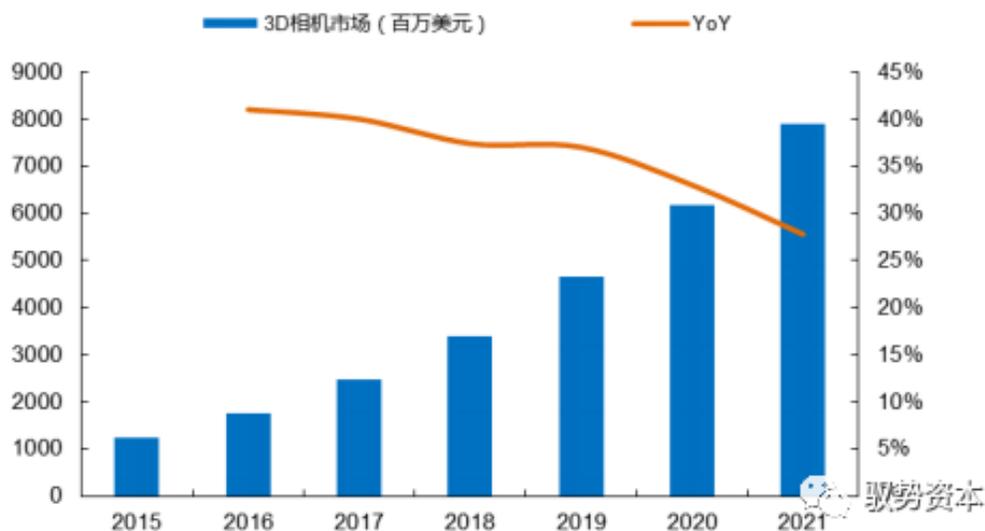
驭势资本

领域	应用
ADAS	自动巡航、障碍避开、周围环境 3D 建模
机器人	避障、视觉安全化系统
安防	监控、人数统计、人脸追踪

驭势资本

随着今年大客户导入3D摄像头技术，人脸识别和手势识别应用将率先脱颖而出，市场空间有望迎来爆发式增长！根据研究机构Zion Research预测数据，3D 摄像头市场规模将从2015年的12.5亿美元增长到2021 年的78.9亿美元，年均增长率达35%！而从当前产业链调研来看，单价预计13-18美元；按2021年18亿部智能手机40%渗透率来算已经超过100亿美元市场空间，加上在AR、自动驾驶、机器人等领域应用，整个3D摄像头市场空间实际有望超过200亿美元！

Zion Research 预计 2015-2021 3D 摄像头市场以 CAGR 35%持续增长



驭势资本

“痛点型”应用场景层出不穷
将迎来手机标配到智能终端争配的爆发

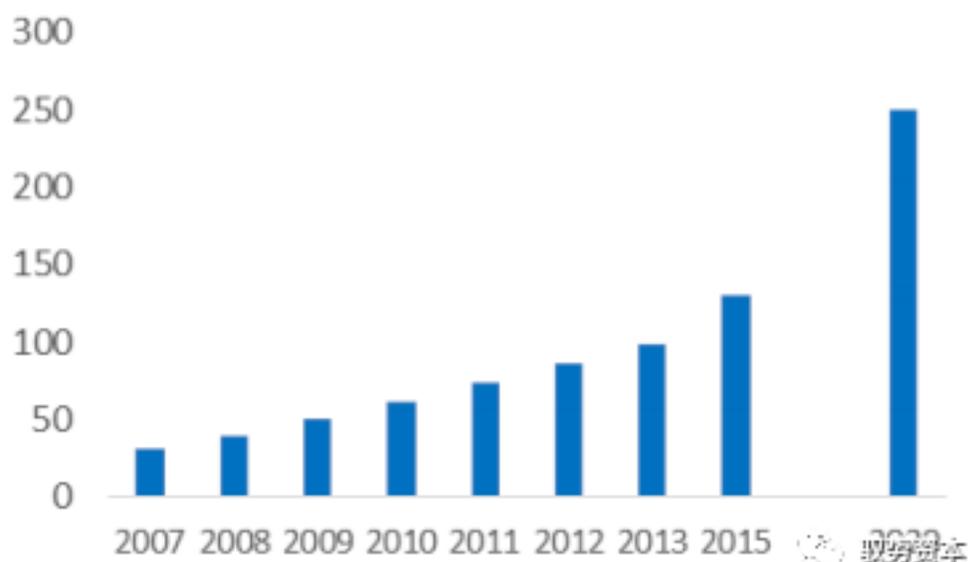
场景1-人脸识别元年来临，指纹识别之后脱颖而出

在智能手机强调差异化、寻求创新点的背景下，脸部识别有望成为消费电子下一个创新大方向，带来产业链投资机会。

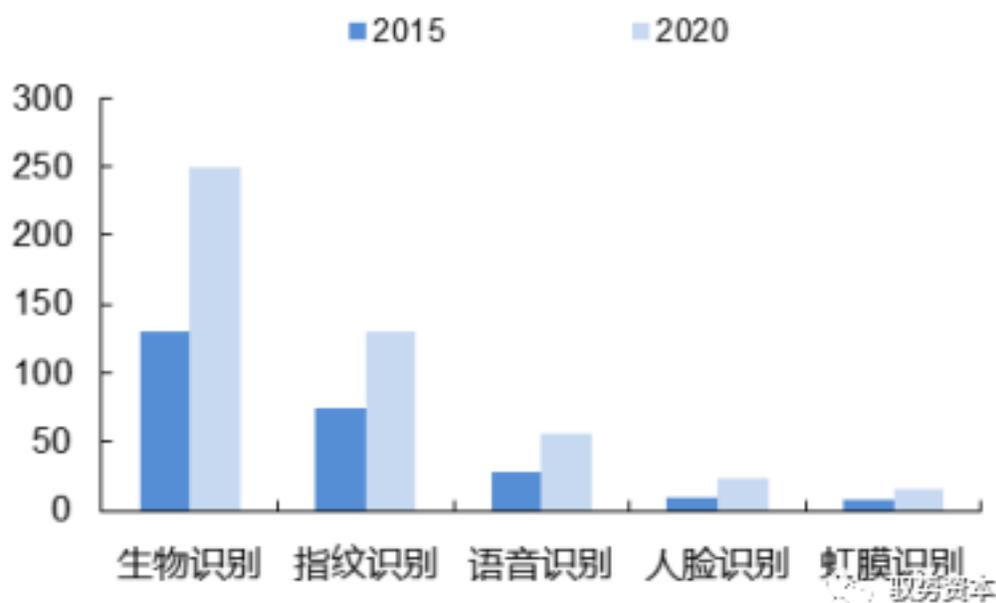
从市场占有率看，指纹识别之后最可能脱颖而出的预计是脸部识别。根据前瞻产业研究院统计，2007年至2013年六年期间，生物识别技术的全球市场规模年均增速为21.7%。自2015年到2020年，各细分行业市场规模增幅分别为：指纹（73.3%）、语音（100%）、人脸（166.6%）、虹膜（100%）、其他（140%）。众多生物识别技术中人脸识别在增幅上居于首位，预计到2020年人脸识别技术市场规模将上升至24亿美元。我们预计在智能终端渗透脸部识别的情况下，市场规模可能大超预期。

全球生物识别行业市场规模（亿美元）

全球生物识别行业市场规模（亿美元）



全球生物识别行业细分市场



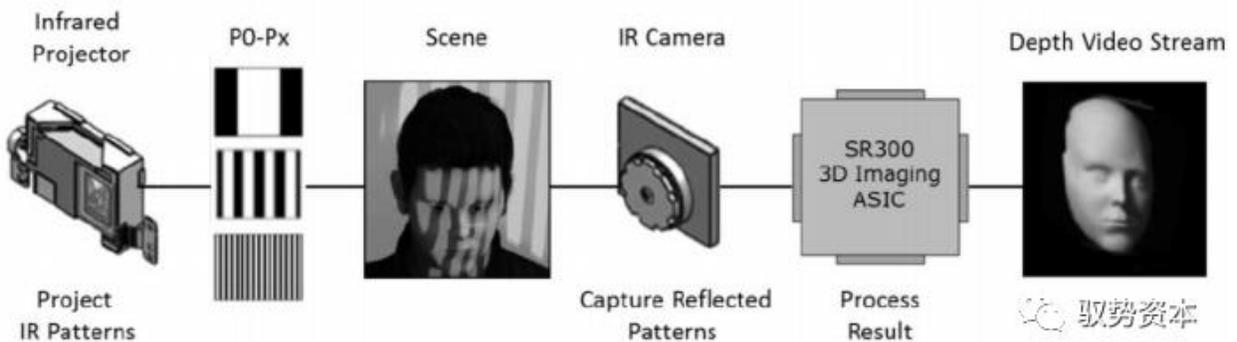
目前人脸识别市场的解决方案主要包括：2D识别、3D识别和热感识别。2D脸部识别是基于平面图像的识别方法，但由于人的脸部并非平坦，因此2D识别在将3D人脸信息平面化投影的过程中存在特征信息损失。3D识别使用三维人脸立体建模方法，可最大程度保留有效信息。因此3D人脸识别技术更为合理并拥有更高精度。

采用红外线的 3D 人脸识别解决了环境光照影响



以TOF和结构光为代表的3D摄像头技术与人脸识别技术需求最为匹配。首先，3D摄像头采用红外线作为发射光线，能够解决可见光的环境光照影响问题。传统的2D识别技术在环境光照发生变化时，识别效果会急剧下降，无法满足实际系统的需要。比如，拍照时遇到侧光时出现的“阴阳脸”现象，就可能无法正确识别。

Intel RealSense 3D 摄像头进行 3D 人脸识别示意图



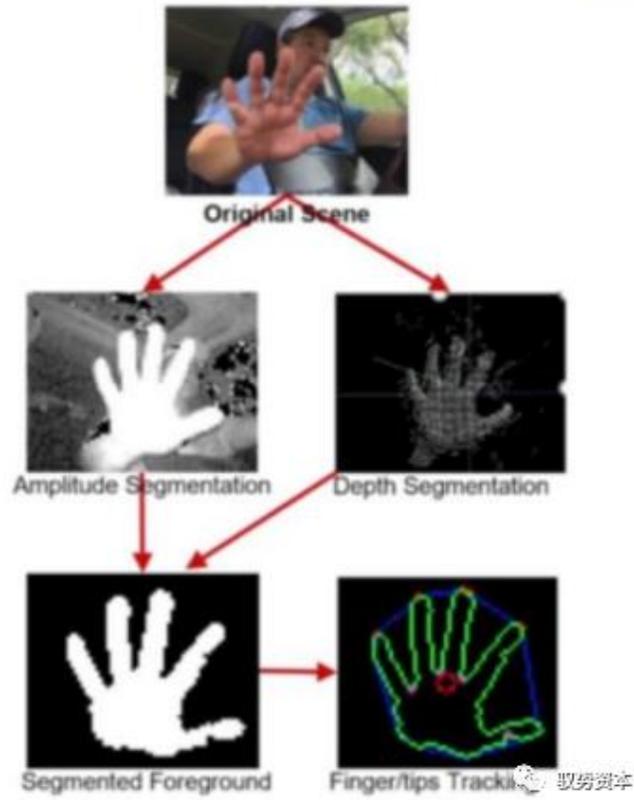
TOF或结构光3D摄像头技术进行拍摄时采集得到人脸图像深度信息，能够获取更多的特征信息在传统人脸识别技术基础上大幅提升识别准确率。与2D人脸识别系统相比，3D人脸识别能够采集眼角距、鼻尖点、鼻翼点、两个太阳穴之间的距离、从耳到眼的距离等深度特征信息，并且这些参数一般不会随着一个人整容、换发型而发生较大变化，因而3D人脸识别能够在用户特征发生变化时继续保持极高的识别准确率。

场景2-手势识别：人机交互方式核心痛点

回顾人机交互发展，实际上是一段不断改造机器解放人的历程。最早期的电脑，键盘是唯一的输入设备，随着图形界面GUI的出现，形成“键盘+鼠标”的组合，然而精准点击鼠标和敲击键盘仍然需要较高的学习成本。其后，设备终端的越做越小进一步解放用户，手机触屏的出现真正摆脱了键鼠这一中间介质，做到所触即所得。**下一个十年人机交互方式将更加智能与便捷，将用户从触碰屏幕解放出来，主动捕捉用户手势动作并进行识别处理将成为下一个交互痛点！**

手势识别的关键便在于3D摄像头（或称3D感知）技术，3D摄像头利用TOF或结构光技术获取影像深度信息，通过算法处理对用户手势进行识别，从而实现用户隔空操控智能终端。根据MarketsandMarkets研究，预计近距离传感器的市场规模在2020年将达到37亿美元，2015年至2020年的复合增长率为5.3%。

3D 摄像头通过深度信息进行手势识别示意图



3D 摄像头手势识别实例

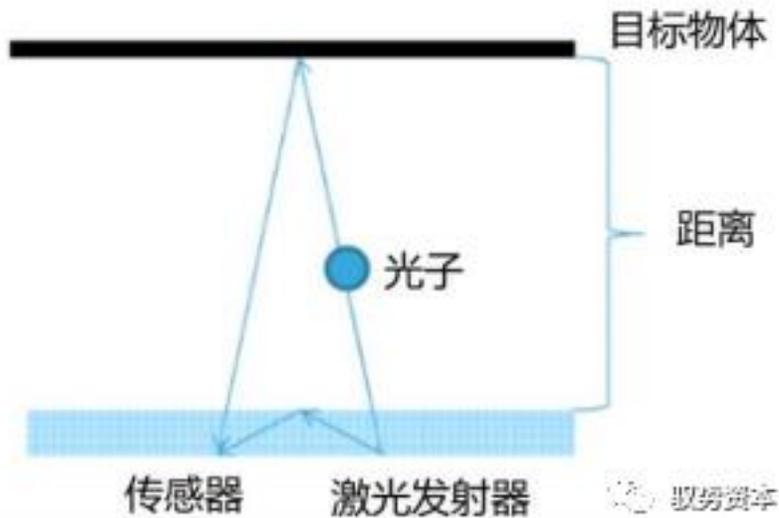


场景3-三维重构基础技术，AR/VR领域将大放异彩

AR/VR设备为什么要采用3D摄像头技术？——1、获得周围环境图像的RGB数据与深度数据，进行三维重建；2、实现手势识别、动作捕捉等人机交互方式。

AR/VR的3D感知在实现原理上一般采用TOF和结构光这两种主动感知技术，设备正面通常包括1个红外发射器、1个红外传感器（获取深度信息）和多个环境光摄像头（获取RGB信息）。以TOF技术为例，红外发射器发射红外线，至目标物体反射后由红外传感器进行接收，利用发射信号和接收信号之间的相位差进行运算和转换得到距离/景深数据。

AR/VR 设备 3D 摄像头原理图

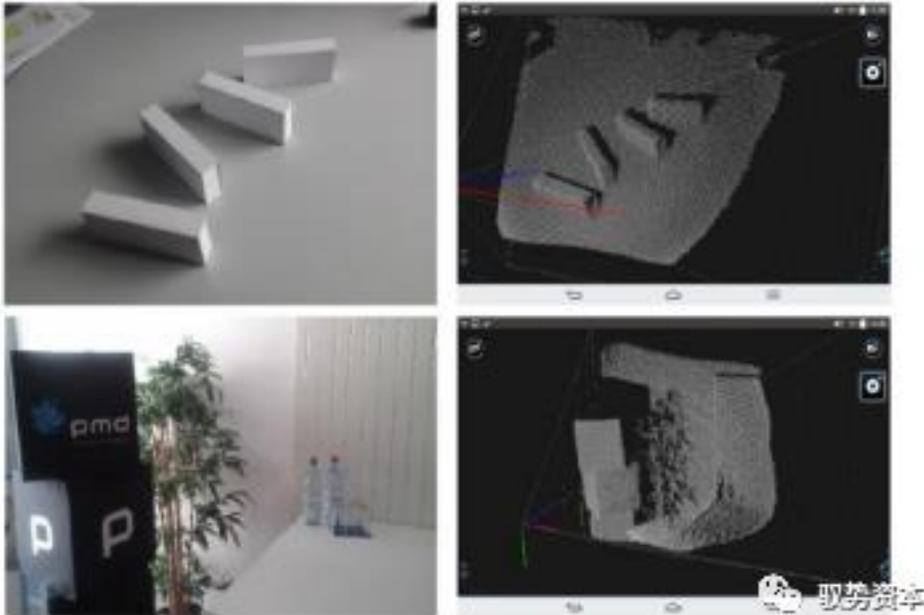


HoloLens 的 3D 摄像头结构

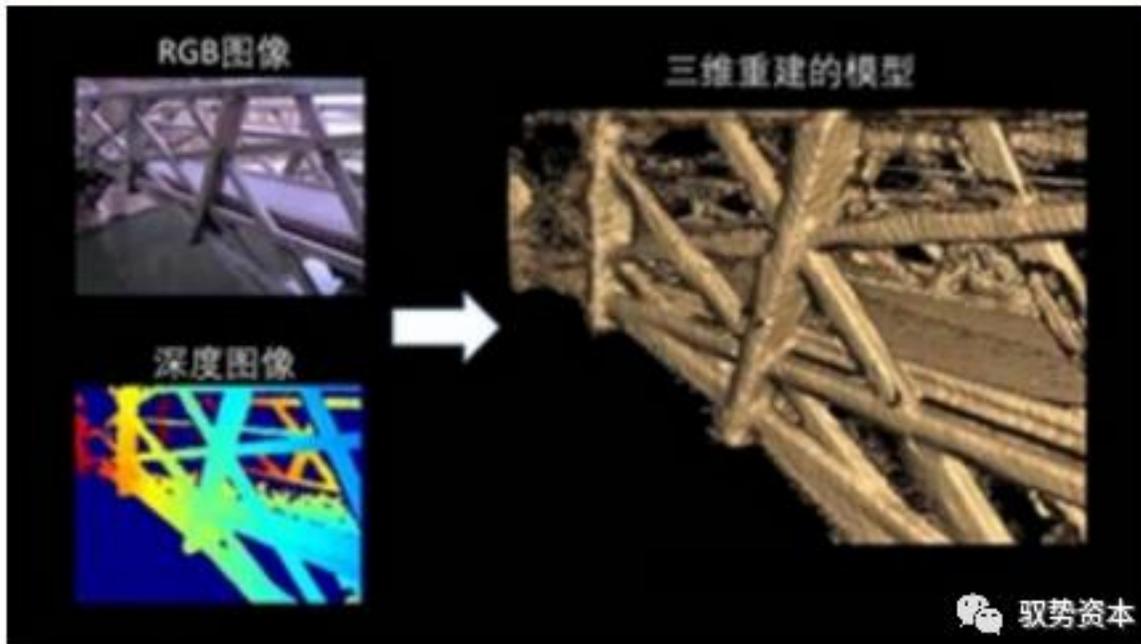


早期通过不同角度的二维图像重建场景中的三维模型，真实感低，深度摄像头的出现使得三维重建效果大大提升。深度摄像头能同时获得图像的RGB数据和深度数据，并基于此进行三维重建。

利用 3D 摄像头得到的点云模型



深度摄像头同时生成 RGB 和深度图像



下面通过一个简单场景对利用3D摄像头三维重建进行说明。利用基于TOF/结构光技术的3D摄像头可以建立周围环境的“点云”，如左图所示，并通过不同颜色标注距离镜头远近不同。点云数据结合环境图像的

RGB信息便可以进行如右图的场景还原，此后可以在此基础上衍生出多重应用如测距、虚拟购物、装修等等，比如进行右图中的家具摆放，由于还原的场景具有深度信息，因此模拟出来的家具在碰到障碍物时便不能继续推动，具有超强真实感。

利用 3D 摄像头进行三维重建



利用 3D 摄像头进行场景还原和虚拟叠加



同时3D摄像头技术提供的手势识别功能将成为未来AR/VR领域的核心交互手段。目前各大厂商推出的VR设备大都需要控制器,游戏控制器的优势在于控制反馈及时、组合状态多。缺点是与虚拟环境互动少，用户只能控制而不能参与。而在AR应用方面，手柄就完全不能胜任人机交互的任务了。在AR应用领域有丰富的人机互动内容，而这种互动是非常复杂的，只有手势操作才可以完成。以HoloLens为例，就拥有一组四个环境感知摄像头和一个深度摄像头，环境感知摄像头用于人脑追踪，深度摄像头用于辅助手势识别并进行环境的三维重构。

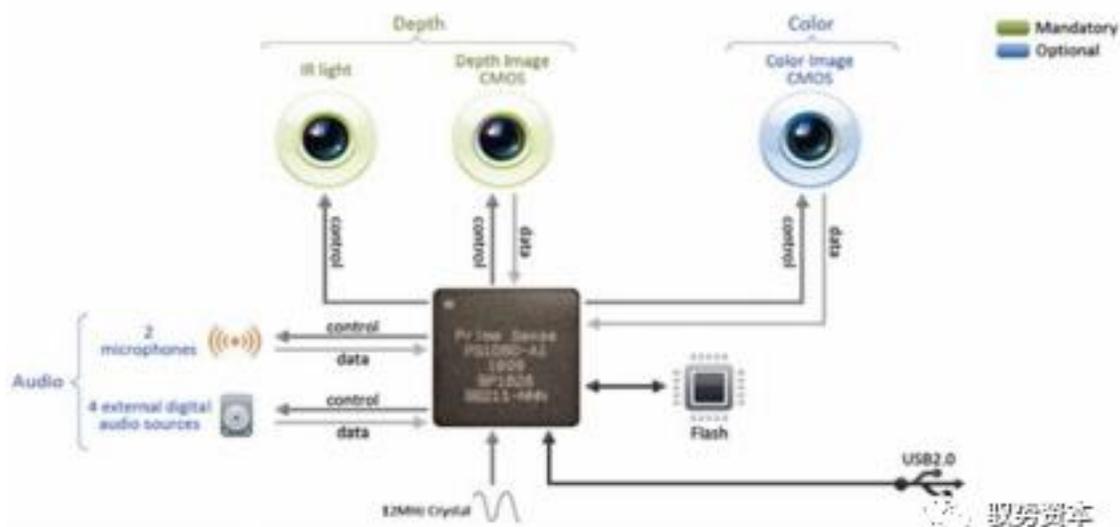
HoloLens 与体感设备 Kinect 对应部件



手势识别将成为未来 AR/VR 核心交换手段

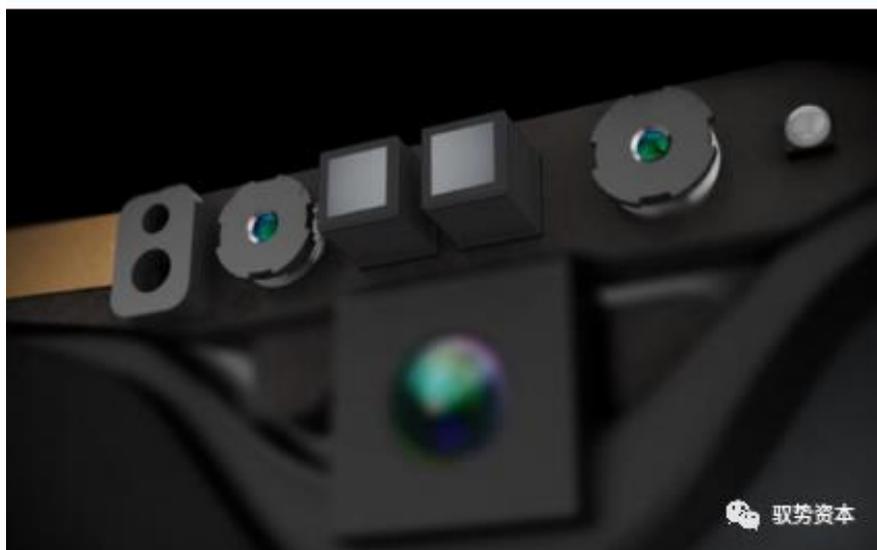


Kinect 的 3D 摄像头结构图



除Hololens外，目前已经发布的AR产品如Meta2、HiAR Glasses以及Epson Moverio也已经采用3D感知技术进行手势识别、动作捕捉等功能，我们预计未来基于TOF或结构光技术的3D摄像头作为手势识别、三维场景重建的基础，将成为AR设备的标配！

HiAR Glasses 的 3D 摄像头模块



Epson Moverio 采用了凌感手势交互模组



部分采用 3D 摄像头技术的 AR 产品

产品	示意图	3D 摄像头技术	主要光学组件	主要参数
HoloLens		TOF	4 个环境感知摄像头 1 个深度摄像头 200 万像素前置摄像头	FOV: 30° 分辨率: 1268*720
Meta2		—	2 个环境感知摄像头 1 个深度摄像头 (手势交互和位置追踪传感器) 720P 前置摄像头	FOV: 90° 分辨率: 2560*1140 刷新率: 90Hz
产品	示意图	3D 摄像头技术	主要光学组件	主要参数
HiAR Glasses		多角成像	1 个深度摄像头 1 个前置摄像头 2 个增效补光器 曲面光波导投影系统	FOV: 30° 分辨率: 1024*768
Epson Moverio		结构光	1 个前置摄像头 1 套凌感 Fingo 手势识别模块 (结构光 3D)	FOV: 90° 头部定位+位移监测>5 米

摄像头

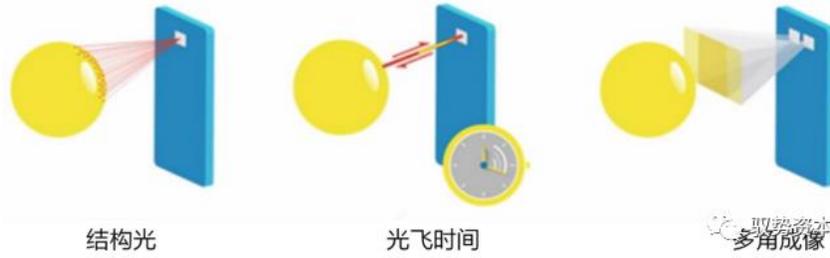
3D Sensing摄像头

一场“有预谋”的变革已经箭在弦上

技术路线已经成熟，TOF及结构光殊途同归

3D摄像头主要有三条主流技术路线：光飞时间（TOF，time of flight）、结构光（structure light）和多角成像（也称双目立体视觉技术，multi-camera）。从当前技术发展和产品应用来看，TOF与结构光因其使用便捷、成本较低等优点而最具前景。

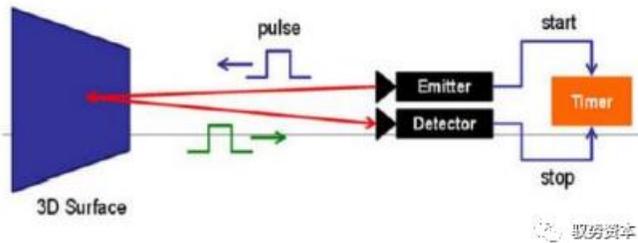
3D 摄像头的三条主流技术路线示意图



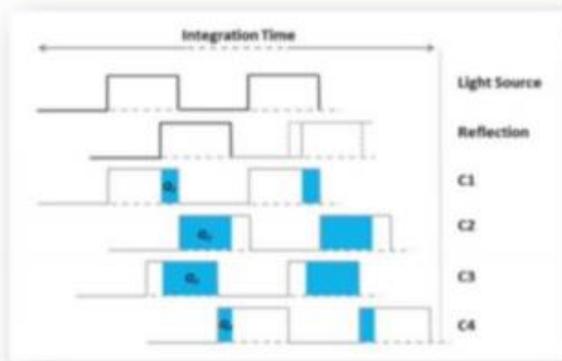
光飞时间 (Time Of Flight) 技术

TOF技术是通过主动发射调制过后的连续光脉冲信号至目标面上，然后利用传感器接收反射光，利用它们之间的相位差进行运算和转换得到距离/景深数据。

TOF 技术原理示意图



TOF 利用发射光和反射光相位差进行计算

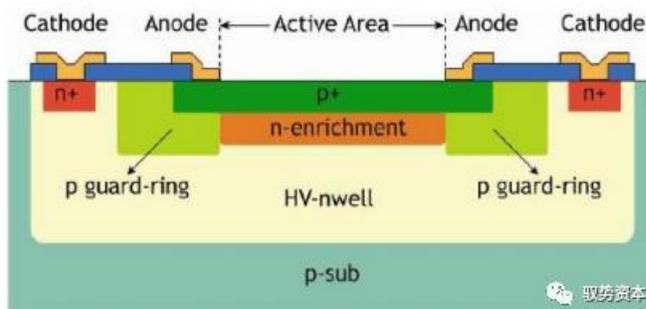


$$\phi = \arctan\left(\frac{Q_3 - Q_4}{Q_1 - Q_2}\right) \quad d = \frac{c}{2f} \cdot \frac{\phi}{2\pi}$$

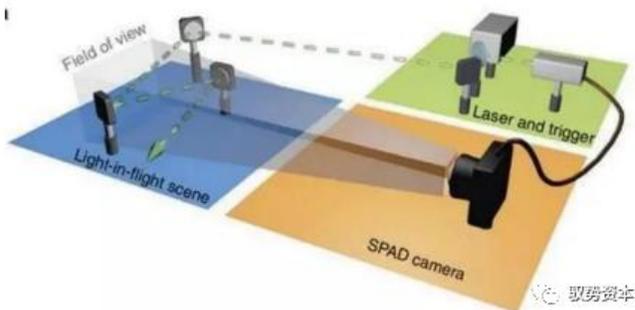
TOF优点在于可以做到对逐个像素点的深度进行计算，近距离情况下精度可以很高；缺点则在于室外受自然光红外线影响大、测量范围窄（远距离无法保证精度）以及成本较结构光要高。

目前的主流技术TOF技术采用SPAD（single-photonavalanche diode，单光子雪崩二极管）阵列来精确检测并记录光子的时间和空间信息，继而通过三维重构算法进行场景的三维重构。SPAD是一类高灵敏度的半导体光电检测器，被广泛应用于弱光信号检测领域。

CMOS SPAD 结构



单光子成像主要组件



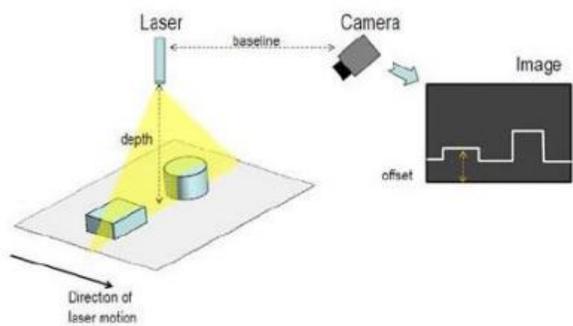
结构光（structure light）技术

结构光技术的基本原理是：在激光器外放置一个光栅，激光通过光栅进行投射成像时会发生折射，从而使得激光最终在物体表面上的落点产生位移。当物体距离激光投射器比较近的时候，折射而产生的位移就较小；当物体距离较远时，折射而产生的位移也会相应的变大。这时使用一个摄像头来检测采集投射到物

体表面上的图样，通过图样的位移变化，就能用算法计算出物体的位置和深度信息，进而复原整个三维空间。

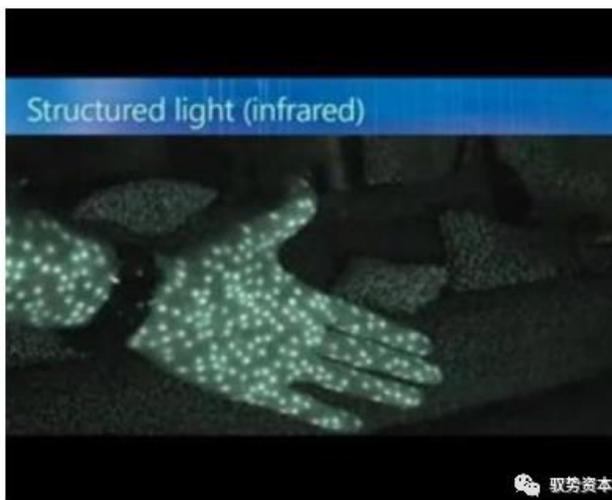
采用结构光技术的代表产品包括Kinect 1、Intel RealSense Camera (F200&R200) 以及第一代project tango 产品等等。

结构光原理示意图



驭势资本

激光通过光栅投射至物体上



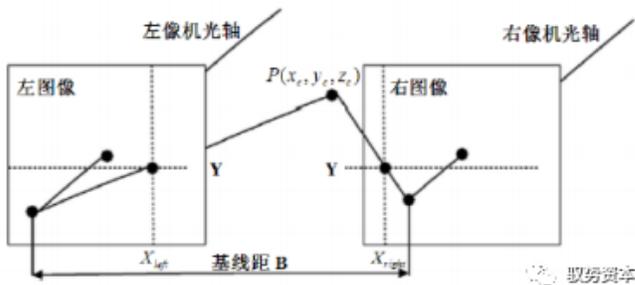
驭势资本

结构光技术优点在于一次成像即可读取深度信息，缺点在于解析度受光栅宽度与光源波长限制、对衍射光学器件 (DOE) 要求较高，也同样会受室外可见光红外线较大影响。

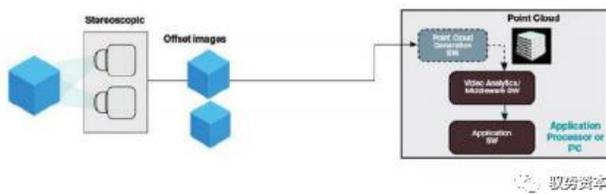
多角成像 (Multi-Camera) 技术

多角成像技术是基于视差原理，并利用成像设备从不同的位置获取被测物体的两幅图像，通过计算图像对应点间位置偏差，来获取物体三维几何信息的方法。

多角成像技术示意图



多角成像技术示意图



多角成像技术优点在于室内室外皆适用，不受日光影响以及几乎不受透明屏障影响，缺点则在于**计算量巨大、算法复杂，对硬件具有较高要求。**

下表主要从软件复杂性、延迟、是否主动照明、探测距离、分辨率等指标对三种主流技术进行对比：

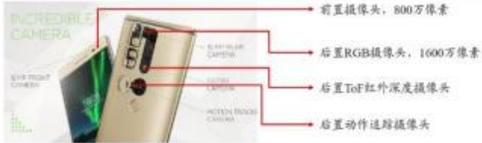
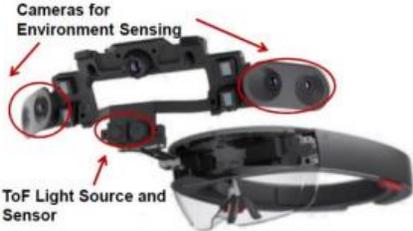
3种主流 3D 摄像头技术对比

指标	光飞时间	结构光	多角成像
软件复杂性	低	中	高
延迟	低	中	中
主动照明	是	是	否
暗光性能	高	高	低
强光性能	中	低	高
功耗	中/高	中	低
探测距离	微米至千米级，取决于激光功率	分米至几十米及，取决于照明功率	分米至几十米级
分辨率	320*240、640*480	依赖于投影模式	取决于摄像头
深度精度	毫米-厘米 取决于传感器的精度	毫米-厘米	毫米-厘米
扫描速度	快，受限于传感器速度	中，受限于软件的复杂性	中，受限于软件的复杂性
技术特征	总体性能好，受环境光影响较小，但分辨率较低、硬件成本较高	技术成熟、分辨率较高，但不适于室外强光环境	硬件成本低，但不适于室内等弱光环境

从目前已经上市的产品技术运用来看，结构光/TOF的应用具有成熟，且技术原理上殊途同归。初代产品大多采用结构光技术，而新一代产品采用TOF技术的数量则开始逐渐提升，我们认为TOF技术未来将凭借自身在软件复杂性、延迟、精度、扫描速度等领域的优势成为最具应用前景的3D摄像头技术；而结构光则在成本优势、一次性成像等方面具备较好优势，有望成为手机应用的排头兵。

目前部分已面世产品采用技术情况

	产品	示意图
结构光	第一代 Project Tango	
	Kinect 1	
	Intel RealSense Camera(F200)	

	产品	示意图
	Intel RealSense Camera(R200)	
	华硕 Xtion	
	ASUS Zenbo	
TOF	第二代 Project Tango	
	Kinect 2	
	Xiro xploer 2	
	Microsoft HoloLens	
多角成像	Sony PS camera	

	产品	示意图
	Mavic Pro	
	ZED stereo camera	
	Leap motion	
	PointGrey Bumblebee	

国际消费电子大厂均已具备成熟3D Sensing摄像头技术，苹果积淀最为深厚

自2009年以来，各大消费电子巨头纷纷开始布局3D摄像头领域，近两年里更是有加速迹象！以Intel、Microsoft、Sony以及高通为代表的巨头近年来在TOF 3D传感器、手势识别算法、下游应用软件解决方案等领域展开并购整合。

除 Apple 外消费电子巨头布局 3D 摄像头情况

公司	时间	收购标的	标的简介
Intel	2012	TYZX	提供 3D 摄像头的软硬件服务，公司于 2012 年被 Intel 收购，现为英特尔感知计算部门的一部分。
Microsoft	2010	Canesta	是一家 Fabless 半导体公司，主要产品是基于 CMOS 的单芯片 3D 传感器，使用的是 ToF 技术，曾与本田展开合作。2010 年，公司被微软收购，目标是将 Kinect 一代所使用的结构光技术向 ToF 光飞时间技术转换升级。
Microsoft	2009	3DV Systems	被微软收购的另一家 ToF 厂商，公司目标市场是 PC 游戏中使用的网络摄像头，早期产品的理念与 Kinect 大致相同，公司于 2009 年被收购。
Sony	2015	SoftKinetic	是一家比利时公司，开发用于实时范围成像（3D）摄像头（如光飞时间摄像头）的手势识别硬件和软件。公司提供基于其技术的交互式数字娱乐，消费电子，健康和健身和严肃的游戏行业的手势识别解决方案。2015 年公司被索尼收购。德州仪器等芯片厂商部分使用 SoftKinetic 的技术授权。
Qualcomm&GIC	2015	Matterport	是一家沉浸式媒体技术公司，致力于打造 3D 媒体解决方案，为行业提供从房地产到娱乐服务。公司建立了业内第一个端到端媒体平台，允许用户轻松创建，修改，导航和构建真实场所的数字表示。
Heptagon	2014	MESA Imaging	是一家位于瑞士的 ToF 厂商，致力于研发快速电荷传输、低功耗、高对比度的
公司	时间	收购标的	标的简介
			Silo 像素架构技术。公司于 2014 被 Heptagon 收购。
Ams AG	2016	Heptagon	Heptagon 致力于 ToF 传感器的研发，公司产品在小型化，公司与 2016 年被奥地利 AMS 收购。

苹果在3D摄像头技术及其下游应用领域布局已久，我们预计iPhone十周年机型有望祭出这一杀手锏技术。纵观消费电子创新历史，大的终端客户具有培育新兴市场、引领创新趋势、带动行业技术革新的能力，一旦采用其他厂商高端厂商必定迅速跟进，整个产业有望迎来爆发式增长。

苹果最早于2010年在3D摄像头领域展开布局，目前已经收购多家3D成像、人脸识别及手势识别企业。在2010年9月收购瑞典算法公司Polar Rose，在2013年收购Prime Sense，在2015年收购机器学习与图像识别公司Perceptio和以色列3D摄像头技术公司LinX，以及动作捕捉公司Faceshift之后，苹果公司于2016年收购脸部识别系统公司Emotient。

苹果布局 3D 摄像头时间轴



苹果收购的相应公司

公司	简要介绍
Polar Rose	采用人工智能技术，主要从事图像视频分析、分类、搜索、共享方面的研究，从二维图像中提取三维信息，并允许用户对照片加注。
Perceptio	利用深度认知能力的图像识别系统对手机中的 AI 图像进行分类。
Faceshift	是一家利用 3D 传感实现动作、脸部表情捕捉技术的公司，并取得无标记（markerless）脸部动画捕捉技术的专利。Faceshift 曾面向动画软件 Maya 和 Unity 推出脸部动作捕捉解决方案 Faceshift Studio，该方案可将真人表情及脸部动作应用至虚拟动画人物。
Emotient	所开发的人工智能扫描人脸技术主要应用于解读消费者观看企业广告后的脸部表情。
PrimeSense	全球知名的 3D 摄像头解决方案提供商，公司主攻结构光方案，早期大量体感产品使用公司的方案，包括微软 Kinect 一代、Google Project Tango 一代、华硕 Xtion。2013 年公司被苹果以 3.6 亿美元收购。
LinX	一家以色列多摄像头技术公司，公司致力于通过多摄像头技术，提高拍摄质量，并且布局多角 3D 成像领域。2015 年公司被苹果以 2000 万美金收购。
RealFace	近期传言苹果已经完成对以色列人脸识别技术公司 RealFace 的收购，RealFace 已经完成过一款面部识别软件可提供生物识别登陆服务，让用户在登录移动设备或 PC 时无需输入密码。

专利方面，苹果自2005年开始对3D摄像头技术和相关应用进行专利积累，其中包括利用图像深度信息进行手势识别和通过使用红外线传感器等装置进行人脸识别。

苹果 3D 摄像头及相关应用的专利

申请日期	专利日前	专利名称
2005 年 8 月 11 日	2011 年 12 月 29 日	3D Object Recognition (3D 物体识别)
2008 年 3 月 6 日	2013 年 12 月 3 日	Personal computing device control using face detection and recognition
2011 年 3 月 16 日	2015 年 3 月 31 日	Locking and Unlocking a Mobile Device Using Facial Recognition (脸部识别锁定/解锁设备)
2012 年 12 月 3 日	2015 年 7 月 7 日	Low Threshold Face Recognition (低阈值脸部识别)
2012 年 8 月 17 日	2014 年 2 月 20 日	Combining Multiple Image Detectors (多图像探测器集合)
2015 年 5 月 7 日	2016 年 2 月 18 日	Three-Dimensional Hand Tracking Using Depth Sequences

iPhone在距离传感器的应用已炉火纯青3D Sensing摄像头配置于十周年纪念版成为必然

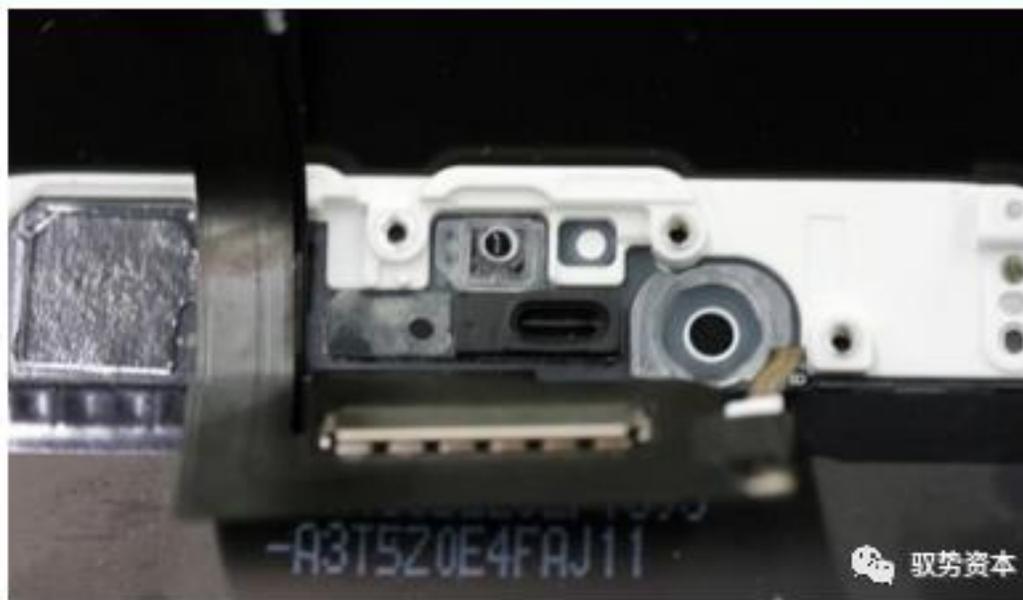
与3D Sensing在基本结构与基本原理上类似的距离传感器应用，苹果自iPhone3GS开始已成为标配。以下我们从结构、原理和功能对历代iPhone前置结构创新进行梳理。

苹果从初代iPhone开始就具有前置距离传感器的设计，主要用于判断用户头部与屏幕距离，当手机贴近耳朵的时候能够自动的关闭屏幕。历代iPhone均具有两个前置传感器（环境光传感器+红外距离传感器）和一个前置摄像头：从右到左是前置摄像头，光线传感器，红外距离传感器，其中光学传感器通常被油墨遮盖无法发现。

iPhone 前置摄像头与传感器



拆解后能够发现明显三孔设计

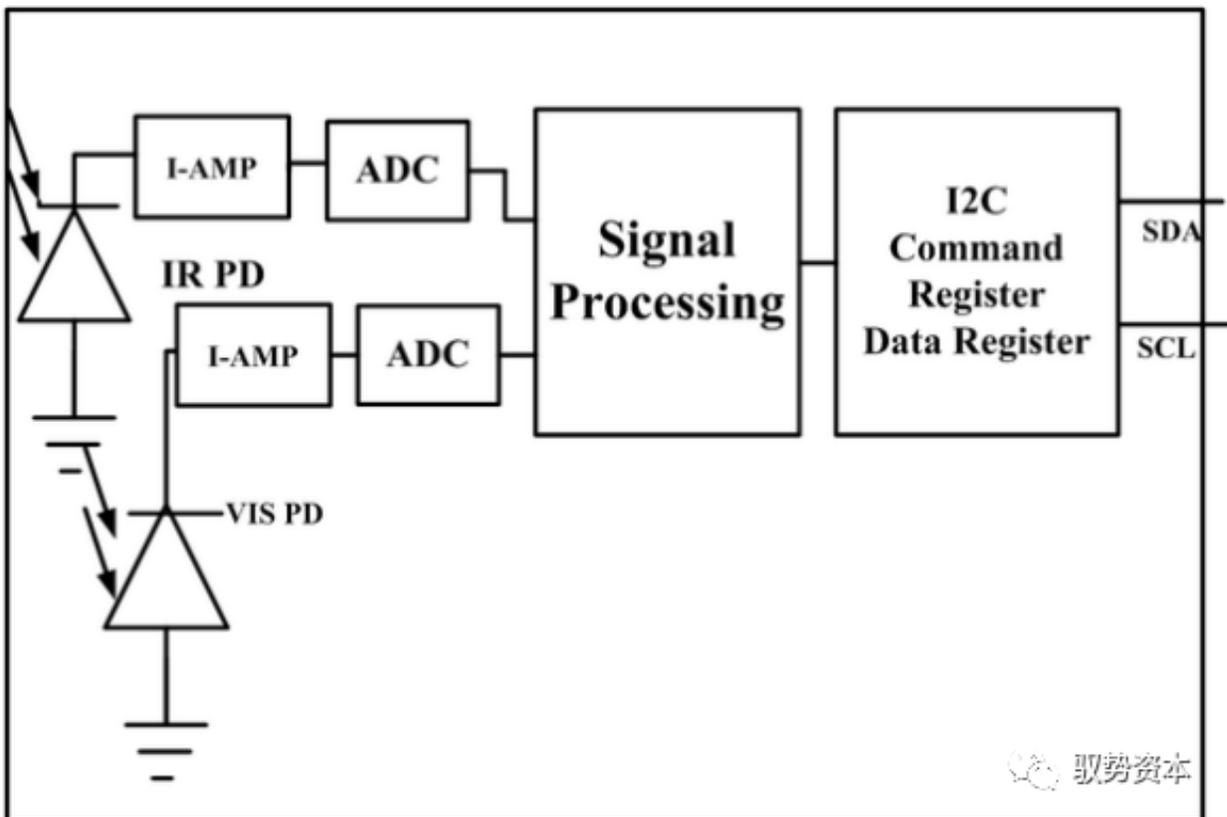


距离传感器：使用一个红外二极管，向外发射红外线，如果有物体靠近时会反射红外光线，此反射的红外光线被红外光探测器感知，并将此信号经过一些列逻辑控制操作传递给CPU，使CPU得以控制屏幕的唤醒与否。

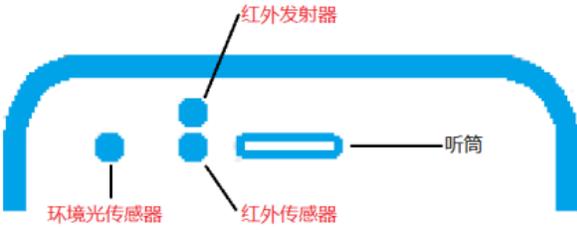
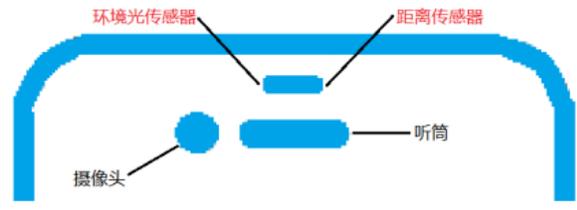
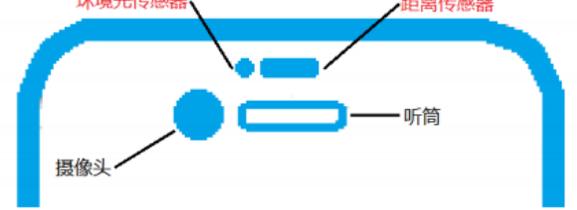
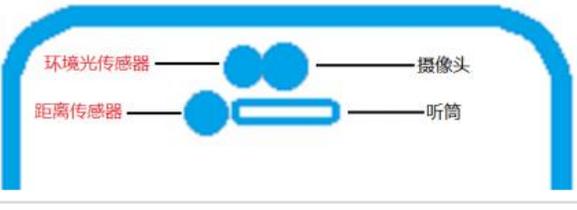
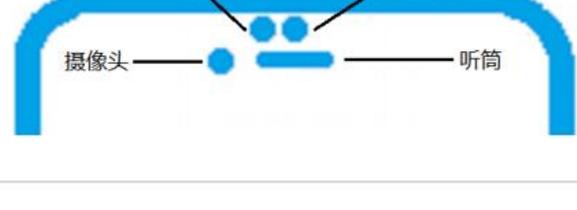
环境光传感器：主要用于探测环境中光信号的变化然后将其变化转换为数字信号输出给CPU。

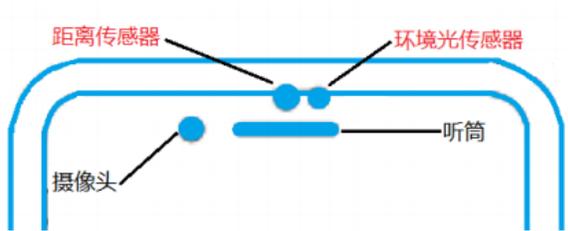
理论上距离传感器由发射和接收两个单元组成，但是为什么前置只有三个孔？这是因为苹果采取将环境光传感器和距离传感器接收端集成在一起的方式，在距离传感器中采用了两个光电二极管：一个宽带光电二极管检测300nm~1100nm波段的光学，另一个利用窄带滤光材料检测红外线，然后从宽带光电二极管接收到的光线中减掉红外线从而得到环境光信号。

双通道环境光传感器集成了了距离传感器接收端



历代 iPhone 的前置结构及部件功能

型号	前置结构	实现功能
iPhone 3GS		<p>红外发射器：LED 红外光源发射红外线。</p> <p>红外传感器：接受靠近物体所反射的红外线，并通过 CPU 转换成距离信息，以控制屏幕唤醒与否。</p> <p>环境光传感器：探测环境中的光信号并转换成数字信号传输给 CPU，以控制屏幕亮度。</p>
iPhone 4		<p>距离传感器发射端：将 LED 红外发射器与传感器放置于同一长条形开孔，在实现探测距离的同时，也达到工业设计上的效果。</p> <p>环境光传感器：与距离传感器处于同一开孔中，探测环境中的光信号并转换成数字信号传输给 CPU，以控制屏幕亮度。</p>
iPhone4S		<p>距离传感器发射端：将 LED 红外发射器与传感器放置于同一长条形开孔，在实现探测距离的同时，也达到工业设计上的效果。</p> <p>环境光传感器：探测环境中的光信号并转换成数字信号传输给 CPU，以控制屏幕亮度。</p>
iPhone5、 iPhone5S、 iPhone SE		<p>距离传感器发射端：LED 红外发射器。</p> <p>环境光传感器：集成了环境光传感器与距离传感器接收端，实现了开孔减少。</p>
iPhone 6/6P、 iPhone 6S/6SP		<p>距离传感器发射端：LED 红外发射器。</p> <p>环境光传感器：集成了环境光传感器与距离传感器接收端。</p>

型号	前置结构	实现功能
iPhone 7/7P	 <p>距离传感器</p> <p>环境光传感器</p> <p>摄像头</p> <p>听筒</p>	<p>距离传感器发射端：LED 红外发射器。</p> <p>环境光传感器：集成了环境光传感器与距离传感器接收端。</p> <p> 驭势资本</p>

可以看到，历代iPhone前置结构均包含一个前置摄像头、距离传感器以及环境光传感器，创新仅在于是否将距离传感器接收端与环境光传感器进行集成，功能上仅仅能够实现识别用户头部是否靠近听筒从而控制屏幕。我们认为，**距离传感器应用说明苹果已经将测距类模块在手机上的设计与使用运用的炉火纯青。**

我们推断，大客户十周年机型导入基于结构光或TOF技术的3D摄像头技术将是大概率事件，且3D摄像头模块很可能不止一个！这一技术将为新一代产品带来3D人脸识别及手势识别功能，开启新一轮消费电子创新趋势！

iPhone 在光学方案上的创新及未来预测

代数	光学方案
iPhone 4—iPhone 5S	前置：环境光传感器+距离传感器+摄像头，1 后置摄像头
iPhone 6/6P、iPhone 6S/6SP	前置：环境光传感器+距离传感器+摄像头，1 后置摄像头，6P、6SP 导入光学防抖功能
iPhone 7/7P	前置：环境光传感器+距离传感器+前置摄像头，7P 加入后置双摄
iPhone 8	预计为环境传感器+1~2 组深度传感器（VCSEL 光源，一组前置一组后置），导入人脸识别和手势识别功能，能够进行 3D 摄像
iPhone 9	预计为环境传感器+2 组深度传感器，在 iPhone8 基础上导入 AR 功能，能够实现对环境三维重建

摄像头

解密3D Sensing摄像头产业链

最大变化在于IR VCSEL模组（光源+光学组件）

拆解3D Sensing摄像头

3D摄像头在传统摄像头基础上引入基于TOF或结构光的3D感知技术，目前这两种主流3D感知技术均为主动感知，因此**3D摄像头产业链与传统摄像头产业链相比主要新增加红外光源+光学组件+红外传感器等部分**

。

下面结合具体产品拆解来看3D摄像头产业链，首先以Google tango平台的联想Phab 2 Pro手机为例。Tango是一个增强现实计算平台，由Google开发和创作。它使用计算机视觉使移动设备（如智能手机和平板电脑）能够检测其相对于周围世界的位置，而无需使用GPS或其他外部信号。

Tango平台的联想Phab 2 Pro手机背部结构，由上往下依次是主摄像头、红外传感器、红外发射器、闪光灯、运动追踪摄像头、指纹识别模组。

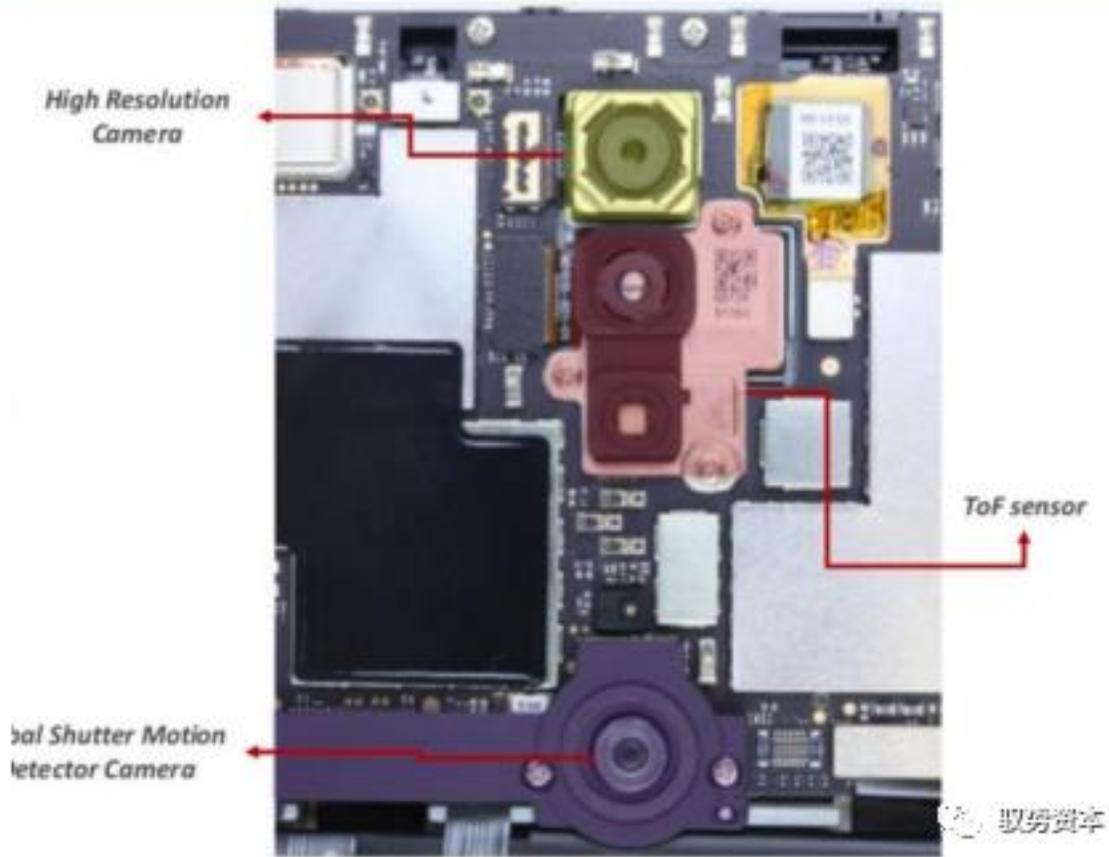
联想 Phab 2 Pro



红框部分是 ToF 传感器



Phab 2 Pro 3D 摄像头模块拆解



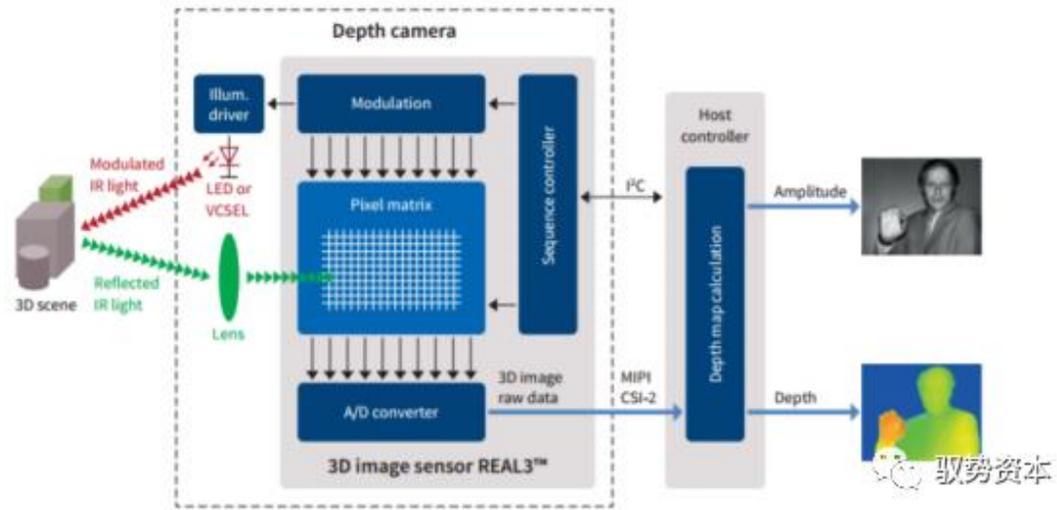
tango 产品所用的红外发射器



驭势资本

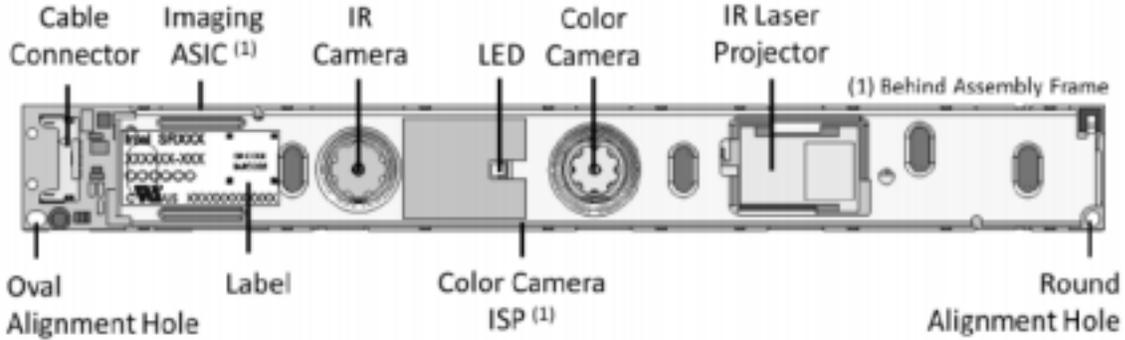
Phab 2 Pro的3D摄像头模块采用了infineon与PMD tec合作开发的REAL3™图像传感器芯片，这款芯片结合模拟和数字信号处理功能，并具备很高的数据速率。它在单一芯片上集成了像素阵列、控制电路、ADC和数字高速接口。

REAL3™图像传感器芯片基于 TOF 技术进行 3D 感知

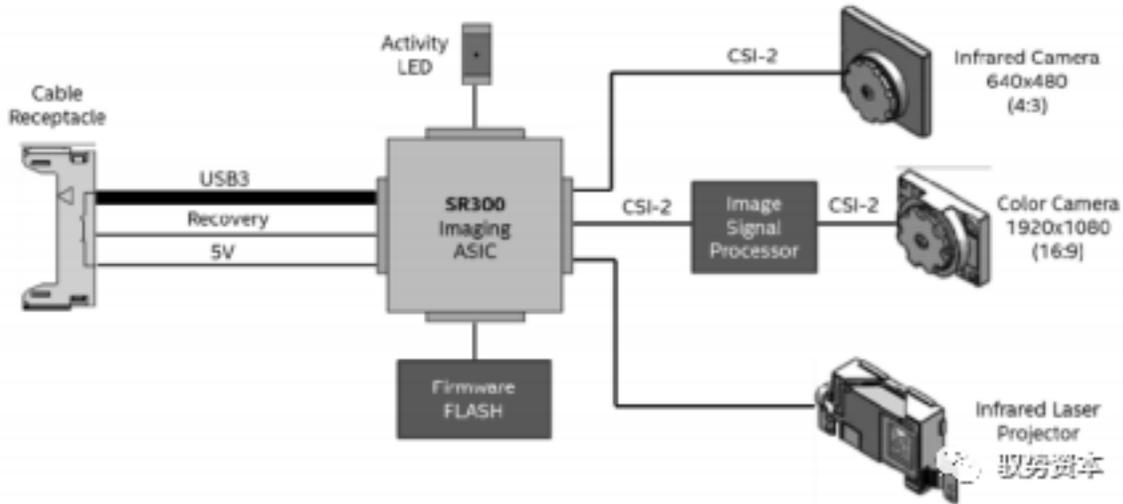


我们再以Intel开发的RealSense 3D摄像头为例，这块3D摄像头产品是基于结构光技术，同样是一种主动感知技术。

RealSense 3D 摄像头正面结构



RealSense 3D 摄像头架构

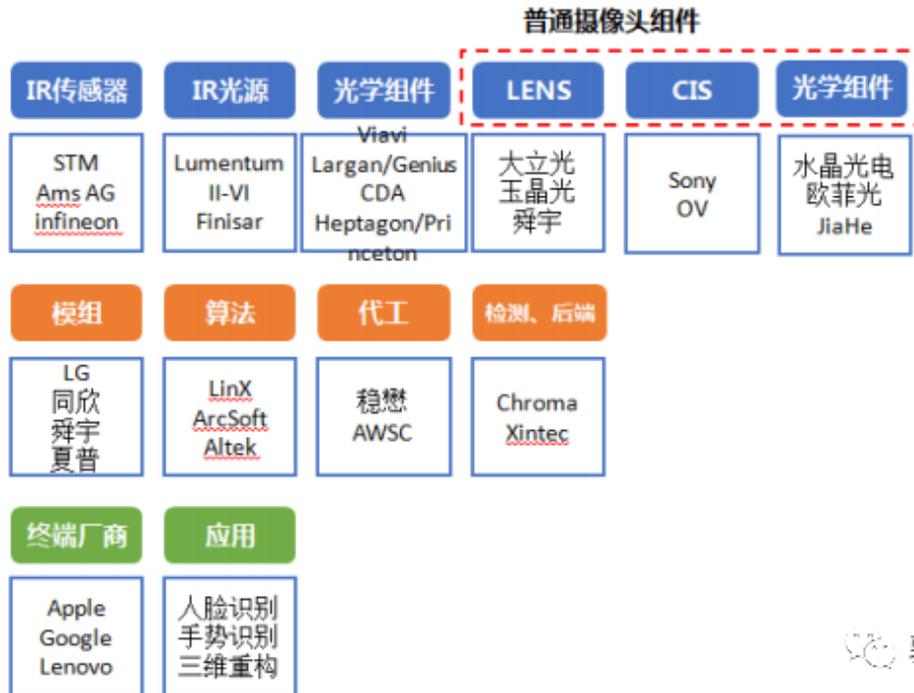


RealSense 3D摄像头主要由一个红外摄像头、一个普通摄像头、一个红外激光发射器和一块专用芯片（SR300 ASIC）组成：激光发射器发射红外光经由光栅照射至物体表面，摄像头来检测采集投射到物体表面上的图样，通过图样的位移变化，就能用算法计算出物体的位置和深度信息。

通过对已经上市的主流3D摄像头产品进行拆解分析，3D摄像头产业链可以被分为：

- 1、上游：红外传感器、红外光源、光学组件、光学镜头以及CMOS图像传感器；
- 2、中游：传感器模组、摄像头模组、光源代工、光源检测以及图像算法；
- 3、下游：终端厂商以及应用。

iPhone 3D Sensing 摄像头产业链梳理



驭势资本

领域及 ASP	厂商	产品应用情况
(\$1-2)	同欣	STM 传感器模组厂商
	Globetronics	AMS 传感器模组厂商
摄像头模组 (\$3-4)	LG	iPhone 双摄模组厂商
	夏普	iPhone 摄像头模组厂商
	舜宇光学科技	全球摄像头模组龙头厂商，为联想 Phab 2 Pro 提供镜头模组
光源检测	欧菲光	iPhone 摄像头前置模组厂
	Chroma	VCSEL 检测设备厂
WLC	Heptagon (AMS)	掌握大量晶圆级光学制程 Know-How, 同时也是 3D sensing 方案供应商
	Princeton	掌握大量 VCSEL 生长、封装、阵列技术
晶圆级后段处理	华天科技	CMOS 晶圆级封装厂
	晶方科技	
下游	Intel	开发 RealSense 3D 摄像头
	Lenovo	基于 TOF 技术的 Phab 2 Pro 智能手机
	Apple	iPhone 7 采用了基于 TOF 的距离传感器, 新产品有望导入 3D 摄像头技术
	Microsoft	HoloLens 采用了基于 TOF 的 3D 摄像头技术

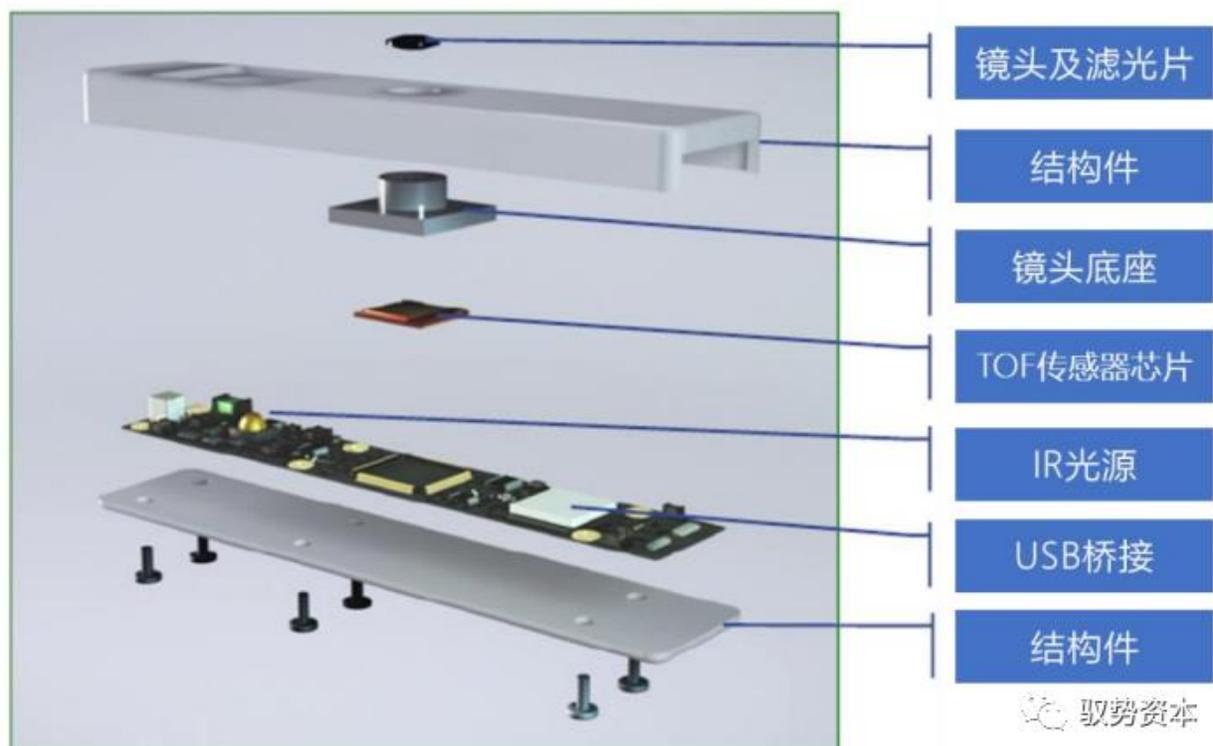
驭势资本

	领域及 ASP	厂商	产品应用情况
	(\$1-2)	同欣	STM 传感器模组厂商
		Globetronics	AMS 传感器模组厂商
	摄像头模组 (\$3-4)	LG	iPhone 双摄模组厂商
		夏普	iPhone 摄像头模组厂商
		舜宇光学科技	全球摄像头模组龙头厂商，为联想 Phab 2 Pro 提供镜头模组
	光源检测	欧菲光	iPhone 摄像头前置模组厂
		Chroma	VCSEL 检测设备厂
	WLC	Heptagon (AMS)	掌握大量晶圆级光学制程 Know-How, 同时也是 3D sensing 方案供应商
		Princeton	掌握大量 VCSEL 生长、封装、阵列技术
	晶圆级后段处理	华天科技	CMOS 晶圆级封装厂
晶方科技			
下游	终端厂商	Intel	开发 RealSense 3D 摄像头
		Lenovo	基于 TOF 技术的 Phab 2 Pro 智能手机
		Apple	iPhone 7 采用了基于 TOF 的距离传感器, 新产品有望导入 3D 摄像头技术
		Microsoft	HoloLens 采用了基于 TOF 的 3D 摄像头技术

驭势资本

3D摄像头产业链关键部件在于：1、红外线传感器；2、红外线激光光源；3、光学组件。

一个典型 TOF 3D 摄像头结构拆解



关键点之一——红外线传感器：距离传感器之高配版暂无国内企业切入的可能

距离传感器之高配版，虽然关键但并非纯弹性器件。 红外传感器目前主要分为AMS（奥地利微电子）/Heptagon和意法半导体两大阵营，TI和infineon也在这一领域有所布局。AMS从iPhone 4起为苹果供应环境光传感器，旗下Heptagon一直致力于小型化TOF传感器开发，2016年被AMS收购。意法半导体近年来开发多款集成红外传感器、红外激光发射器的3D摄像头模块，其中基于TOF技术的VL6180X方案已经被iPhone 7采用作为距离传感器使用。Infineon则与TOF Fabless厂PMD合作开发出REAL3 3D图像传感器芯片，已经用于tango第二代产品。**目前国内在传感器领域差距较为明显，短期不会有相关公司能取得突破；从投资的角度，我们不做重点分析。**

AMS IR 传感器



意法半导体 IR 传感器



驭势资本

关键点之二——IR VCSEL：从光通信到消费电子激光器迎来爆发

我们之前提到，激光器的应用将是未来大的方向与趋势；而激光器的种类繁多、且与之匹配的光处理元器件种类也较多。我们将在市场上率先独家展开解析，力求寻找最可能标的、并为后续研究做好基础。我们大胆预测，未来的激光器消费级应用打开之后，对于激光技术的升级与调整将会加速展开，就如触摸屏推出来之后，GG/GFF/GF/OGS/In Cell/On Cell等等技术纷至沓来一样。

针对以下五个问题展开分析：

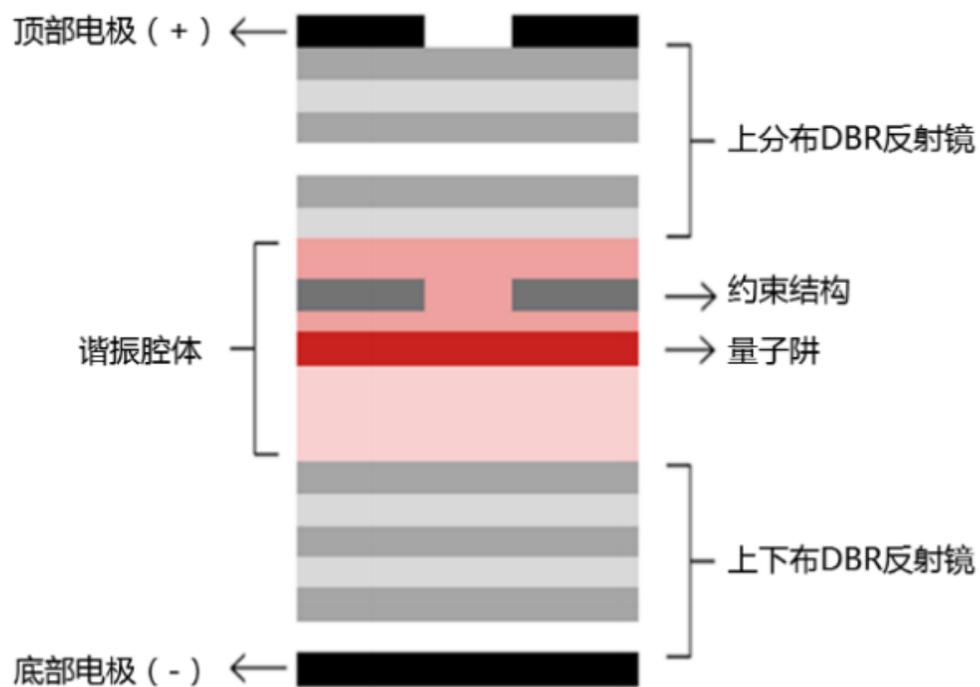
- 1) VCSEL是什么？
- 2) 为什么要用VCSEL作为消费电子应用的光源？

- 3) VCSEL行业有哪些主流玩家?
- 4) 海外映射的角度看, VCSEL如何从光通信领域扩展至消费电子领域?
- 5) VCSEL未来发展趋势? 消费电子的应用将为VCSEL进一步拓展创造条件。

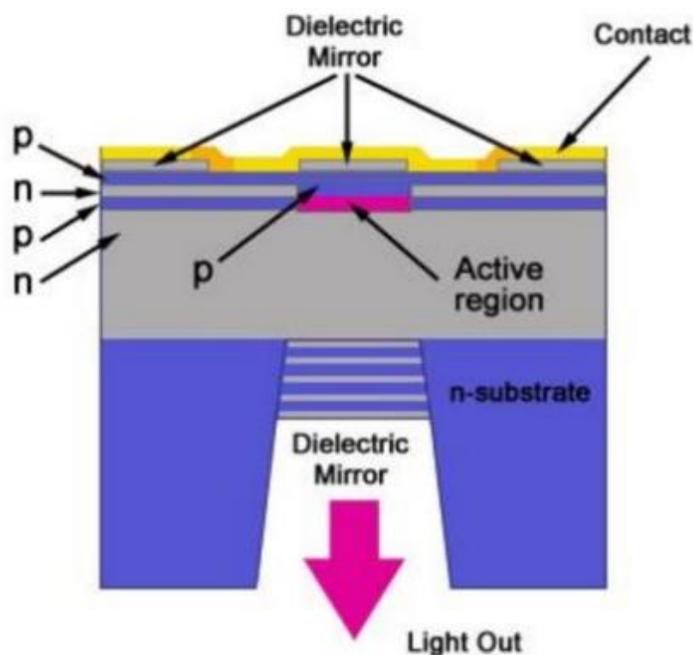
1、VCSEL是什么?

VCSEL (Vertical-Cavity Surface-Emitting Laser垂直腔表面发射激光器) 是一种垂直于衬底面射出激光的半导体激光器。基本结构是一个“三明治”结构, 由上下两个DBR反射镜和有源区这三部分组成。上下两个DBR反射镜与有源区构成谐振腔。有源区由几个量子阱组成, 作为VCSEL的核心部分, 决定着器件的阈值增益、激射波长等重要参数。高反射率的DBR由多层介质薄膜组组成, 实现对光的反馈。为得到较小的阈值电流, DBR反射镜的反射率一般在99.5%以上。

VCSEL 结构图



VCSEL 发光原理



驭势资本

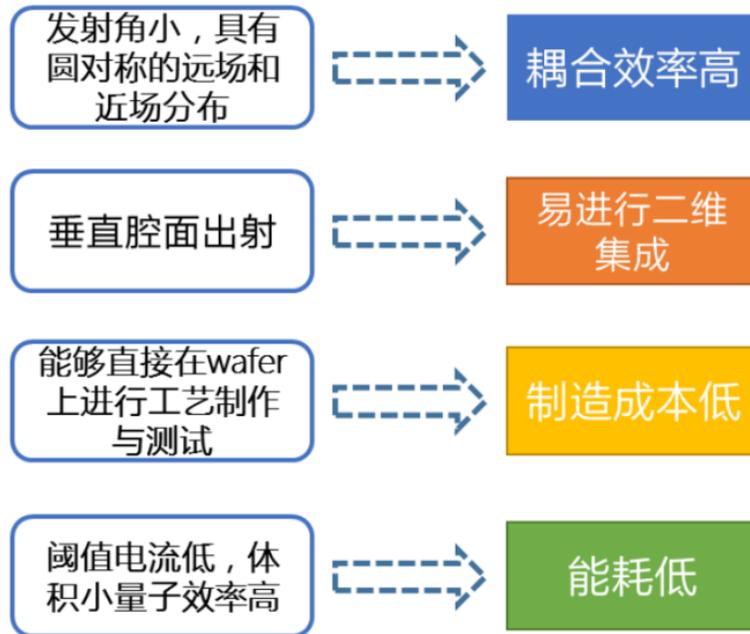
VCSEL常用的原材料有砷化镓、磷化铟或氮化镓等发光化合物半导体。发光原理方面，VCSEL与其它半导体激光发光原理一样，首先要实现是能量激发，通过外加能量激发半导体的电子由价带跃迁到导带，当电子由导带返回价带时，将能量以光能的型式释放出来。然后依靠上下两个DBR反射镜和增益物质组成的谐振腔实现共振放大，谐振腔使激发出来的光在上下两个DBR反射镜之间反射，不停地通过发光区吸收光能，使受激光多次能量反馈而形成激光。

2、为什么要使用VCSEL作为消费电子应用的光源？

原因在于VCSEL兼具低制造成本、优异性能和易集成三大优点！经过在电信、数据通信等领域多年发展，目前VCSEL已经具备耦合效率高、功耗低、传输速率快、制造成本低等优良特点。与LED和FP激光器、

DFB激光器相比，具有体积小、圆形输出光斑、单纵模输出、阈值电流小、价格低廉、易集成为大面积阵列等优点，广泛应用于光通信、光互连、光存储等领域。

VCSEL 的优良特点



驭势资本

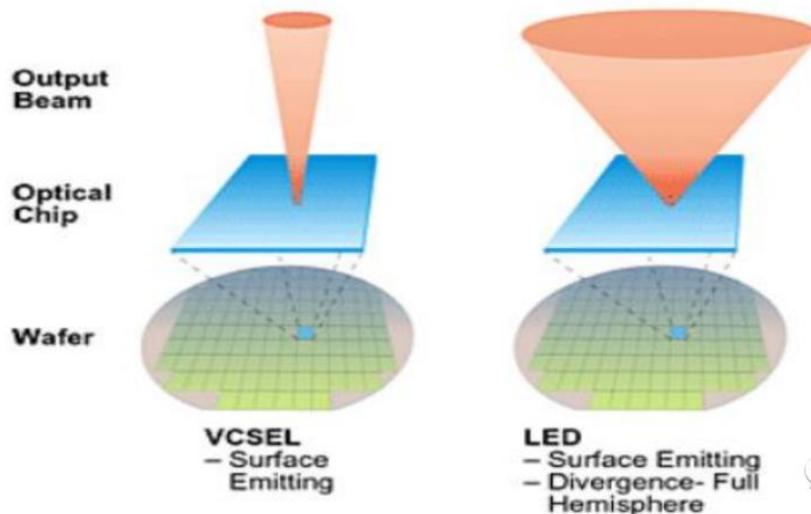
为什么用VCSEL不用LED? 主动感知的3D摄像头技术通常使用红外光来检测目标，早期3D传感系统一般都使用LED作为红外光源。在技术方面，由于LED不具有谐振器，导致光束更加发散，在耦合性方面也不如VCSEL。由于VCSEL在精确度、小型化、低功耗、可靠性全方面占优的情况下，现在常见的3D摄像头系统一般都采用VCSEL作为红外光源。

VCSEL 与 LED 光源性能对比

特性	VCSEL	LED
能耗	2-3mW	3-5mW
光束质量、与光学器件耦合性	好，低发散性	差，高发散性
阈值电流	较低	较高
光电转换效率	40%以上	20%以下
速度	10Gbps	0.1Gbps
温度稳定性	0.06nm/°C	0.25nm/°C
光谱宽度	1nm	20-30nm

驭势资本

VCSEL 指向性远胜于 LED

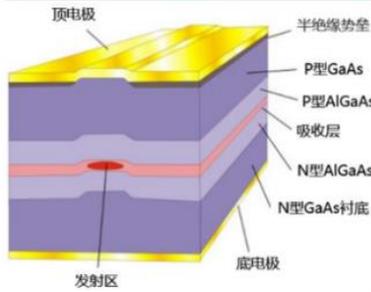


驭势资本

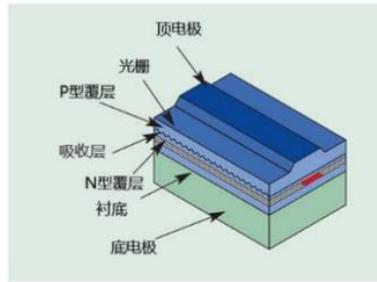
半导体激光器按照发射方向可以分为边发射激光器和面发射激光器，其中边发射激光器主要有法布里-珀罗激光器（FP laser）和分布反馈式激光器（DFB laser）两种，面发射激光器目前主要指VCSEL。

结构上FP激光器一般由衬底层、波导层、有源层，及金属导线层组成，普遍采用双异质结多量子阱有源层；DFB激光器在FP的基础上沿着谐振腔外部加一层光栅，依靠光栅的选频原理来实现纵模选择，以提升激光的单色性；VCSEL的三明治结构则在之前已做介绍。

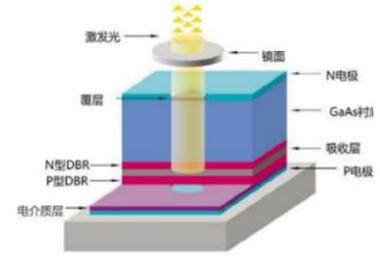
三种典型半导体激光器



FP激光器



DFB激光器



VCSEL

与传统边发射激光器相比，VCSEL在光束质量、与光纤耦合效率、腔面反射率上都具有较大优势，且因为VCSEL发射光线垂直于衬底而边发射激光器发射光线平行于衬底，因此VCSEL能够实现二维阵列而边发射激光器不行。

VCSEL 与边发射激光器进行对比

特征	VCSEL	边发射激光器
输出光方向	垂直于衬底	平行于衬底
光束质量	径向对称光束	不对称光束
与光纤的直接耦合效率	~100%	~50%
腔面反射率	>98%	>30%
谐振腔长度	~0.3um	~300um
特征	VCSEL	边发射激光器
集成化	易于实现二维阵列	仅一维阵列

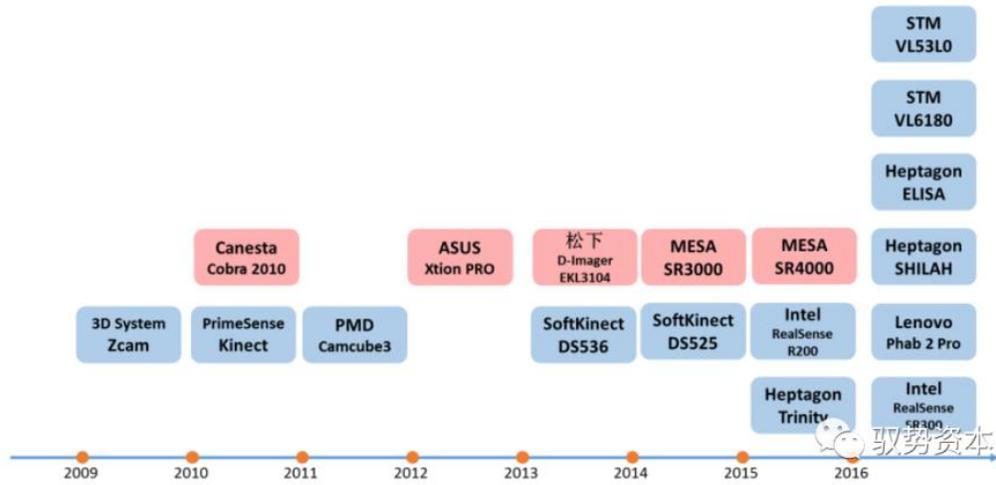
我们从成本优势、尺寸优势、波长热稳定性、功耗、通讯距离等方面对三种主流半导体激光器进行比较分析：

FP、DFB、VCSEL 三类激光器对比

比较项目	FP 激光器	DFB 激光器	VCSEL
成本优势	☆☆	☆	☆☆☆
尺寸优势	☆☆	☆☆	☆☆☆
线宽	☆	☆☆☆	☆☆
波长热稳定性	☆	☆☆	☆☆☆
光源调制速度	☆☆	☆☆☆	☆
二维集成	☆	☆	☆☆☆
通讯距离	☆☆☆	☆☆	☆
功耗优势	☆☆	☆☆	☆☆☆
阈值电流	☆☆	☆	☆☆☆

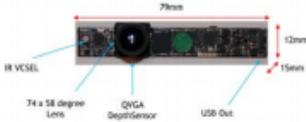
从最近上市的具有3D摄像头的产品也能看到，**红外光源由LED向VCSEL转变是必定趋势!**从2016年意法半导体及AMS旗下Heptagon发布的光学模块新产品来看，均采用VCSEL作为红外线光源，且消费级产品联想 Phab 2 Pro AR手机与Intel RealSense SR300也采用了VCSEL作为红外光源。

主流 3D 摄像头及模组光源选择 (红色为 LED, 蓝色为 VCSEL)

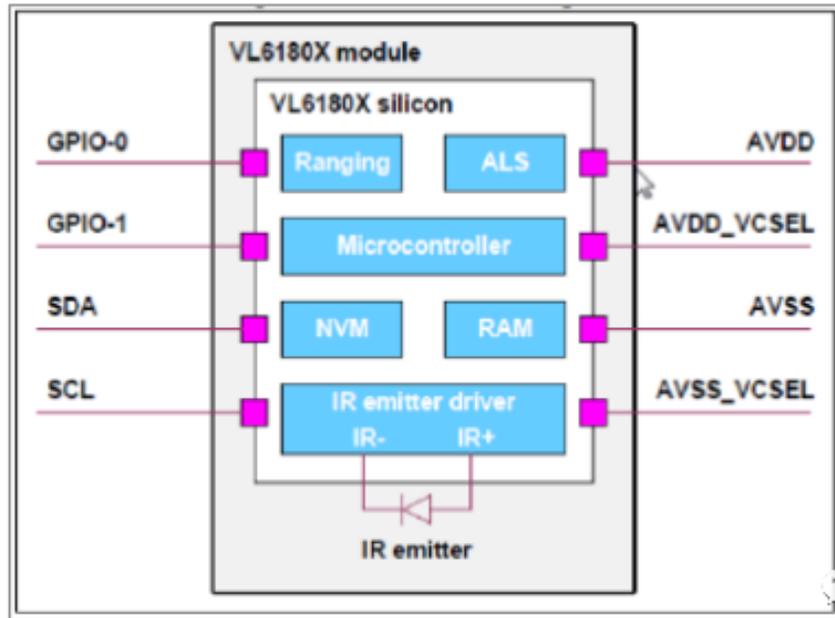


采用 VCSEL 光源的 3D 摄像头及模块一览

公司	产品型号	产品示意图	参数	发布时间
STM	VL53L0X		视角(°): 25 工作距离(m): <2 误差(%): 3-7	2016.5 (2014 年开始开发)
	VL6180X		视角(°): 42 工作距离(m): 0.1 误差(mm): 3	2016.6 (2014 年开始开发)
Heptagon	ELISA		工作距离(m): 0.1-5 误差(%): 10	2016.11
	SHILAH		视角(°): 70 工作距离(m): <3 误差(%): 15	2016.1
	TRINITY		视角(°): 30 工作距离(m): <3 误差(mm): 10	2015.12

<p>PMD</p>	<p>CamCube3</p>		<p>分辨率: 200 x 200 帧数(fps): 40 视角(°): 40 工作距离(m): 0.3-7 误差(mm): 3</p>	<p>2011.9</p>
<p>PrimeSense</p>	<p>Kinect2</p>		<p>分辨率: 320 x 240 帧数(fps): 30 视角(°): 57 x 43 工作距离(m): 1.2-3.5</p>	<p>2010.11</p> <p>驭势资本</p>
<p>SoftKinetic</p>	<p>DS536</p>		<p>帧数(fps): 25-60 视角(°): 74 x 58 工作距离(m): 0.15-1</p>	<p>2013.12</p>
<p>3DV System</p>	<p>Zcam</p>		<p>分辨率: 320 x 240 帧数(fps): 30 视角(°): 60 工作距离(m): 0.5-2.5 误差(mm): 20</p>	<p>2009</p> <p>驭势资本</p>

VL6180X 具有 VCSEL 接口



意法半导体 3in1 光学模组 VL6180X



ST 3in1 光学模组
-距离传感器
-环境光传感器
-VCSEL光源

3、VCSEL领域有哪些大玩家？

目前VCSEL领域主要厂商共有5家，分别是Lumentum、Finisar、II-VI、Philips Photonics和HLJ华立捷。我们可以看到，基本上都是来自于光通信芯片的龙头企业；可以说正是有了光电子在通信领域的经验，消费级应用变得顺理成章，两者产品具备很强的技术延展性。**重点关注光电子通信龙头，切入消费电子应用的爆发潜力。**

VCSEL 领域主要厂商

Lumentum	Lumentum 作为专业光学厂商，其前身是全球最大的光纤零件供应商 JDSU（后拆分为 Viavi 和 Lumentum）。凭借广泛的技术和制造经验，成为 VCSEL 的全球领先供应商，可靠性高，产能大。公司于 2005 年和 2007 年分别收购 Agility 通信和 Picolight 公司，为公司带来关键的短波 VCSEL 技术。 根据公司 2017Q2 电话会议，公司 3D sensing 产品已经成功打入某些移动设备供应链；
Finisar	Finisar 是世界领先的 VCSEL 厂商，持续引领 VCSEL 的应用，并且保持每年 1.5 亿件 VCSEL 出货量。公司提供 3 大系列 VCSEL 器件，包括高能、单模、多模。
	公司 VCSEL 器件耦合性好、发散性低，光束发散角度控制在 12-15 度，产品最高工作温度高达 60 度。 根据公司 2017Q2 电话会议，公司产品将进入消费电子 3D sensing 市场，虽然有不不确定性，但营收数字将会是 “incredibly exciting” ；
II-VI	II-VI 是业内领先的工程材料制造商，其激光部门推出了多款 VCSEL 产品，在某些 VR 产品上已经被采用，公司预计到 2020 年，在 AR/VR、3D sensing 的推动下，仅 VCSEL 产品的市场规模就将达到 20 亿美金。公司 CFO 在 2017 年 2 季度电话会议上表示， 公司 3D sensing 相关的产品，将在 2017 年下半年开始批量出货，公司已经与多位客户就可能的应用展开合作；
Philips Photonics	Philips Photonics 是 VCSEL 技术的全球领先者，自乌尔姆大学研究所起研发 VCSEL 接近 20 年，产品下游应用包括数据通信、消费电子和工业应用，公司设计、制造、销售基于 VCSEL 的解决方案。Philips Photonics 拥有非常全面的产品组合，包括用于数据通信的高速 VCSEL、用于安全监控和夜视应用的红外发射模块、用于 sensing 的单模 VCSEL、用于精确测量速度和距离的智能激光多普勒传感器。
HLJ	HLJ 华立捷科技，公司一直致力于改善 IR-LED 的多种缺点，推出 VCSEL 产品以取代 IR-LED 产品。公司在 15 年年报中表示 16 年产品升级重点将会是 3D sensing 相关应用，目前已进入量产阶段。公司 2016 年 11 月 4 日公告称 将于业内著名 3D 摄像头厂商 Heptagon 展开合作，设立合资企业。

II-VI VCSEL 芯片系列



Lumentum 公司的红外发射器产品



光纤耦合激光二极管



VCSELS

驭势资本

VCSEL 厂商代表性 VCSEL 产品介绍

公司	代表产品	产品示意图	参数
Finisar	HFE6x92-761		阈值电流(mA): <2 工作电压(V): <2.2 输出功率(mW): >0.4 波长(nm) : 840~860 发散性(°) : 12-15 工作温度(°C): 0-85

驭势资本

II-VI	APA8601010001		阈值电流(mA): <2.7 工作电压(V): <2.15 输出功率(mW): >0.45 波长(nm): 840~860 发散性(°): 14~19 工作温度(°C): 5~45
Philips Photonics	ULM850-L3-PL-S0101U		阈值电流(mA) : 1~2 工作电压(V) : 2.1~2.4 输出功率(mW): 3.5~5.5 波长(nm): 840~860 发散性(°) : <39 工作温度(°C) : 25~85
HLJ	VSCH-018-E-02		阈值电流(mA) : 0.4~1.5 工作电压(V) : <2.6 输出功率(mW): 3 波长(nm) : 840~860 发散性(°) : 14~22 工作温度(°C): 5~45



4、海外映射的角度看，VCSEL如何从光通信领域扩展至消费电子领域？

我们结合产业龙头Finisar及Lumentum的产品线变化对VCSEL器件发展历程进行分析。

1) 海外映射之一：VCSEL大玩家之Lumentum

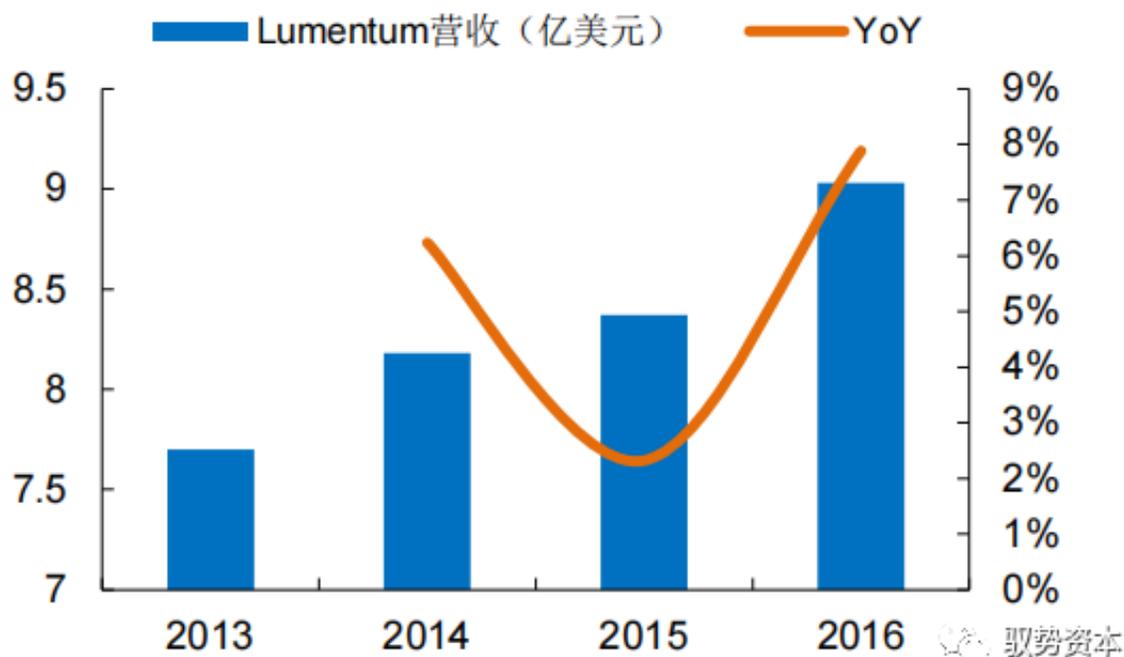
Lumentum是行业领先的光学产品供应商，前身是光通讯领域绝对龙头JDSU（2015年JDSU进行拆分，独立CCOP业务部门被命名为Lumentum，NE、SE和OSP业务部门改名为Viavi）。公司目前主要提供基于光学光电技术的解决方案，应用领域包括数据通信、电信网络、商用激光器以及消费电子领域的3D传感。

公司股价走势

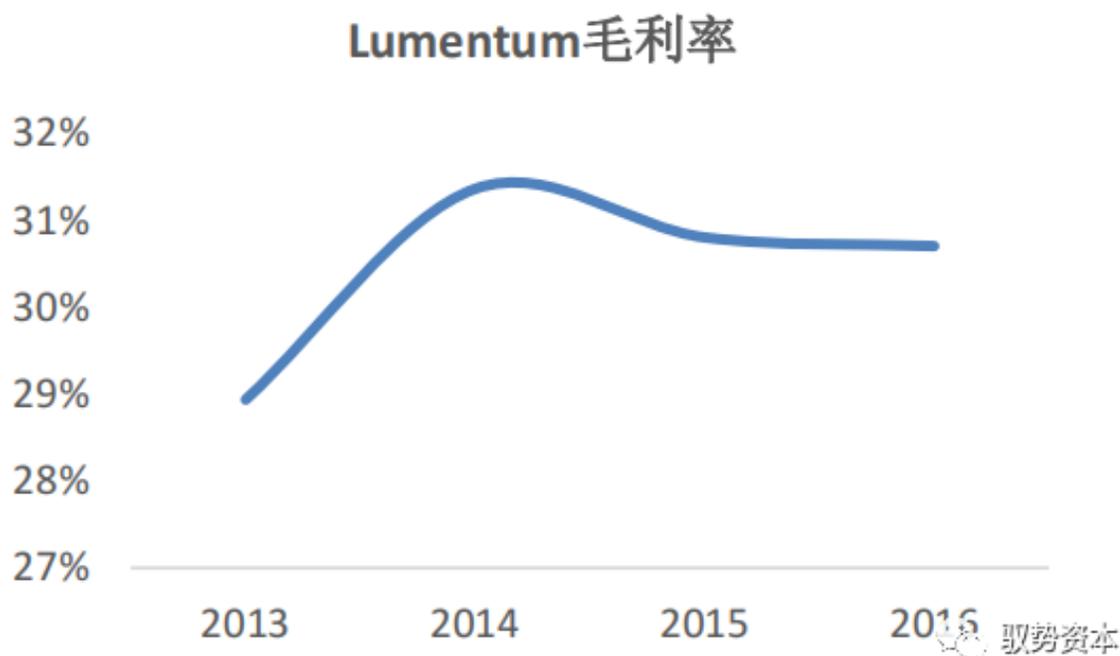


由于近年来数据中心大量建立以及100G数据通信产品强劲需求，公司营收保持稳定增长，2016财年实现营业收入9.03亿美元。受益于高端光器件、光模块以及商用激光器产品开发，公司毛利率呈上升趋势，近3年毛利率维持在30%以上。

Lumentum 营收



Lumentum 毛利率



目前公司产品主要分为光通信光器件及光模块、工业激光二极管和3DSensing三大领域。公司依托光器件及光模块领域深厚优势，近年来开展“纵向+横向”快速发展：

纵向上，公司向垂直一体化发展，实现了从晶圆设计与制造、光器件子部件、光模块集成的垂直整合生产；

横向上，公司在光通信领域之外积极扩展产品线及应用领域，凭借自身强大的垂直一体化生产能力向工业级应用如工业检测、测量，商业级应用如医疗成像、消费电子3D感知技术进行拓展，目前实现各种类型光器件应用全面覆盖。

光器件、光模块以及子系统产品示例



光学放大器



光学收发器



传输组件和模组



TrueFlex传输
模组和子系统



SDN白盒
驭势资本

在工业级应用激光产品线方面，公司主要产品有千瓦级激光器、超快激光器，Q开关激光器和低功率连续波激光器等。目前主流应用分为大型器件的机器加工和微小型器件的机器加工。大型器件的机器加工主要应用于汽车、航空航天等大型材料的加工，而微小型器件的机器加工主要应用于手机屏幕、医疗器械等小型材料的加工。

Lumentum 工业级应用激光器产品



千瓦级激光器



超快激光器



Q开关激光器



低功率连续
波激光器

公司在消费级领域激光产品线主要包括VCSEL、边缘发射激光二极管和光纤耦合激光二极管。其中VCSEL是公司在该领域绝对王牌产品，主要可以应用于智能终端的手势识别、移动设备的眼球跟踪、脸部识别等等。

公司在消费电子领域激光产品



VCSEL

光纤耦合激光二极管

边缘发射激光二极管

驭势资本

Lumentum 激光器产线齐全

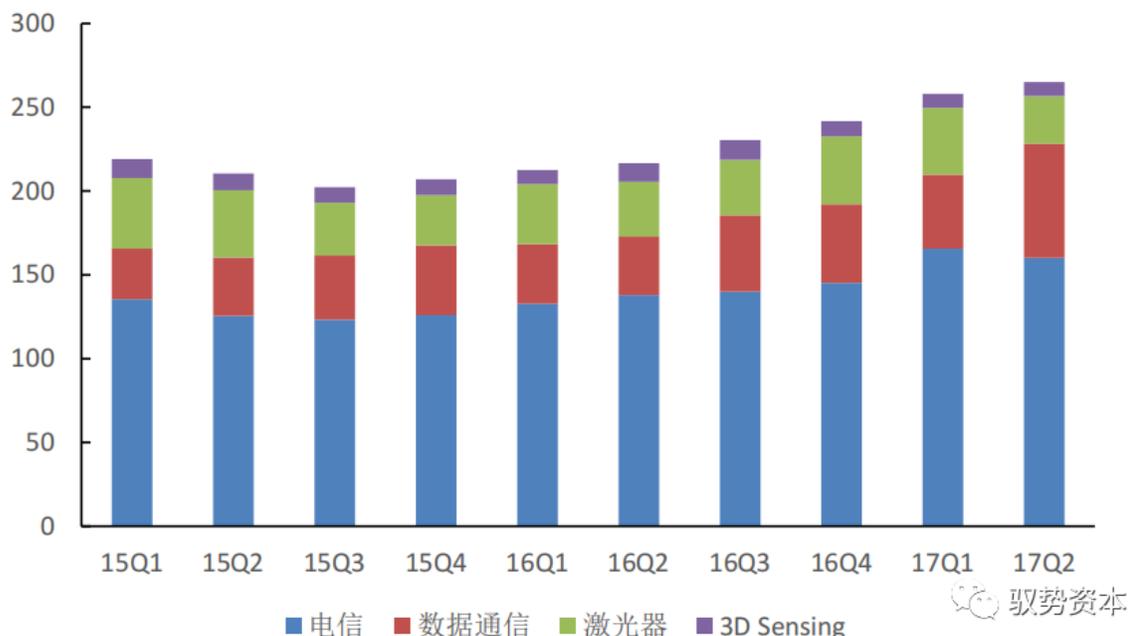
应用领域	主要产品	产品简介
光通信	泵浦激光器	提供广泛的泵浦激光器用于光放大，通过简化的泵浦设计减少空间从而减少了组装和光纤长度，以允许进一步的空间减少。
	激光源	在网络的前端，激光源提供通过网络传输的初始信号，可将数据速率高达 10G 的电信号转化为光功率。
工业级激光器	千瓦级激光器	提供输出功率可达数千瓦的大功率光纤激光器和二极管泵浦激光器，在金属材料激光加工领域广泛应用。
	低功率连续激光器	提供多种固体激光器和气体激光器，涵盖一系列波长，可广泛应用于半导体检测、生物仪器和计量设备等领域。
	飞秒激光器	飞秒激光器输出脉冲宽度在飞秒到皮秒范围内的超短脉冲激光束，为精密测量、传感、光电测试、光通信、医学诊断等领域提供了广泛的新应用。
	Q 开关激光器	Q 开关激光器将激光能量压缩到宽度极窄的脉冲中输出，从而使激光光源的峰值功率提高几个数量级。
3D 感应和工业二极管激光器	边发射二极管激光器	该种激光器的发光区被限制在一边的很小部分，有限的光发射区能改善与光纤耦合的效率。

	光纤耦合二极管激光器	二极管激光器为泵浦源并以光纤作为激光介质的激光器，其连续输出功率在数十毫瓦以上，由于该种激光器可以集成，因此有极广的应用范围。
	光纤电源	带驱动器的激光模块、光纤和光伏电源组成电源系统，光伏功率转化器将激光转化为电能，可应用于传感器、换能器、数据通信等领域。
	VCSEL	垂直腔面发射激光器具有体积小、圆形输出光斑、单纵模输出、阈值电流低、集成度高、成为大面积阵列等优点，广泛应用与光通信、光互连、光存储等领域。

目前公司主要面对电信，数据通信，工业用激光以及3D Sensing四大市场。收入占比最大的为电信市场，约占62%；其次为数据通信市场、占比约18%；工业用激光占比约19%；3D Sensing业务占比约1%。

受益于公司在电信和数据通信市场的持续优势，光通信业务在2017Q2财季销售额环比增长8%，同比增长27%。其中，电信网络业务收入1.60亿美元、同比增长16.10%、环比下滑3.3%，数据中心业务表现强劲，收入6810万美元、同比增长94.57%、环比增长54.1%。

公司 2014Q1-2017Q2 财季产品收入分布情况（百万美元）



尽管目前3D Sensing产品在公司总营收中占比较低，但从公司年报披露来看，2016~2017财年公司显著增加的研发费用主要投向3D Sensing业务。

在这里我们进行一个简单测算，2014年出货约2000万台的Kinect二代产品采用了公司的3D sensing产品，当年为公司带来接近5000万美元营收。我们假设2017年大客户采用3D摄像头的高端机型能够达到5000万，一台手机配备两个VCSEL部件，公司供应VCSEL器件ASP为1.5美元公司占据70%份额，则有望为公司带来1.05亿美元业绩增厚。

2) 海外映射之二：VCSEL大玩家之Finisar

Finisar是世界领先的VCSEL厂商，持续引领VCSEL的应用，近年来VCSEL出货量均保持在1.5亿件以上。目前公司VCSEL器件产品种类接近30种，且公司产品具有高度灵活性和可扩展性，允许客户自定义VCSEL阵列来满足各种应用要求。

finisar 上市以来营收（百万美元）



Finisar的产品最初主要用于电信（telecom）、数据通信（datacom）等光通信领域，主要应用于无线电收发机TxRx、有源光缆AOC和嵌入式光模块。

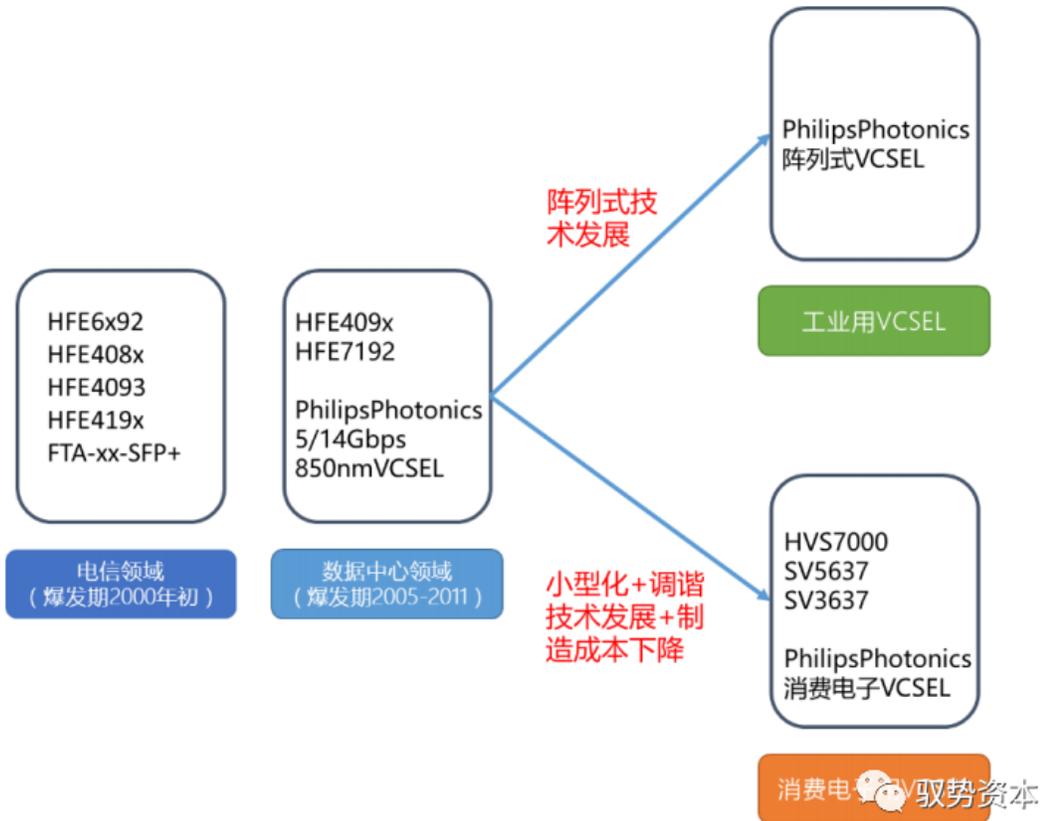
Finisar 的 VCSEL 产品一览

型号	示意图	用途	参数
HFE6x92-761		以太网, 光纤通道和 ATM 协议	工作温度(°C): 0~85 功率(mW): >0.4 阈值电流(mA): <2 工作电压(V): 1.6~2.2 峰值波长(nm): 840~860
HFE4093-332		用于 ANSI X2.T11 光纤通道协议的多模光纤上的 1/2/4/8 Gbps 数据通信	工作温度(°C): -20~85 功率(mW): >0.36 阈值电流(mA): <1.5 工作电压(V): 1.5~2.2 峰值波长(nm): 840~860
HFE419x		将电流转换成可用于光纤通信和其他应用的光能	工作温度(°C): -40~85 功率(mW): ~0.5 阈值电流(mA): 0.5~2.5 工作电压(V): 1.5~2.2 峰值波长(nm): 830~860

型号	示意图	用途	参数
HFE409x		与定制的功率监控二极管封装, 用于高速数据通信	工作温度(°C): -40~85 功率(mW): ~2.0~ 阈值电流(mA): 0.5~2.5 工作电压(V): <2.0 峰值波长(nm): 830~860
HVS7000		手势识别和 3D 相机(阵列式)	工作温度(°C): -10~60 功率(mW): >500 阈值电流(mA): ~500 工作电压(V): <3 峰值波长(nm): 840~870
SV5637-001		数据通信与 3D 传感器通用	工作温度(°C): 0~70 功率(mW): ~1.5 阈值电流(mA): 1.5~7 工作电压(V): 1.5~2.2 峰值波长(nm): 830~870
SV3637-001		数据通信与 3D 传感器通用	工作温度(°C): 0~70 功率(mW): ~1.5 阈值电流(mA): 1.5~7 工作电压(V): 1.5~2.2 峰值波长(nm): 830~870

2010年起在“外因”+“内因”双重作用下，公司逐渐开始布局消费电子领域应用。“外因”包括3D摄像头技术的逐渐涌现和VCSEL 的小型化、低成本化，“内因”则是公司在市场竞争越发激烈情况下通过持续研发不断推出差异化产品来面对同质化竞争，获得定价方面的话语权。

VCSEL 逐渐由光通信向消费电子、工业激光器领域发展



5、VCSEL发展趋势：高速度、高效率、低功耗、低成本，消费电子的应用将进一步拓展创造条件

VCSEL器件由问世，到运用于光通信领域，再到延伸至消费电子领域，本质上是其性能、工艺和材料的一部发展史，从技术看产业，我们结合VCSEL领域内主要玩家产品线变化和VCSEL发展历程探析。

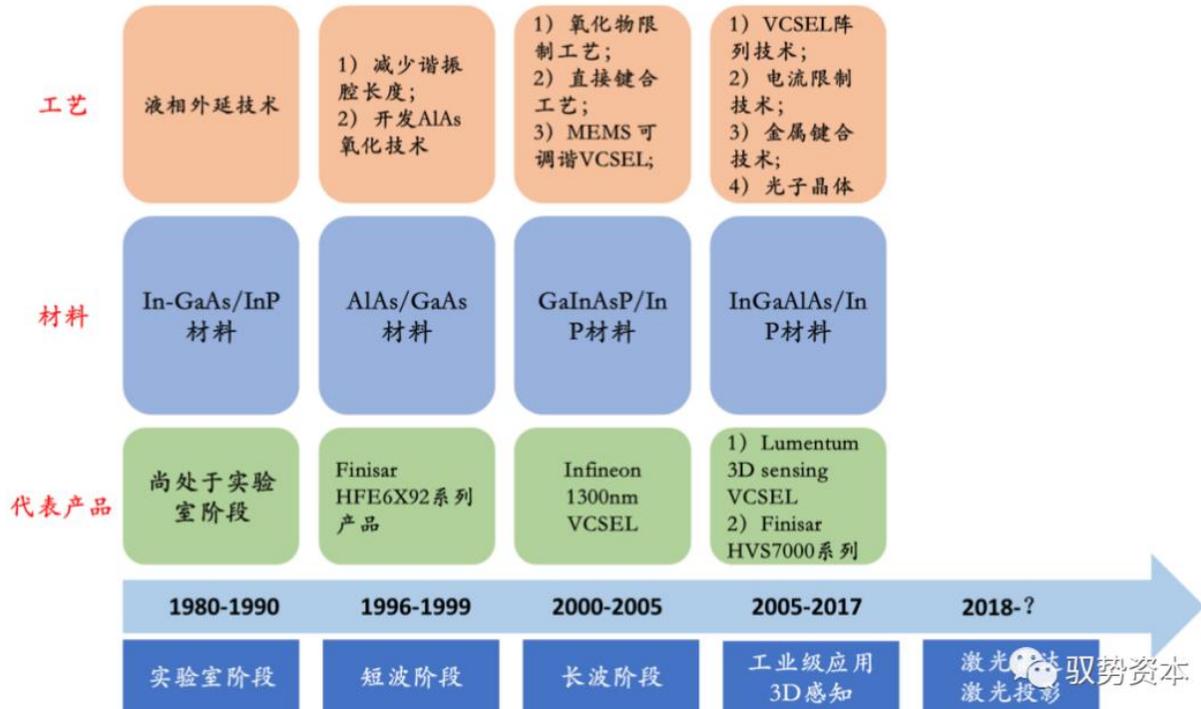
1、1990-1996：该阶段VCSEL刚刚问世，主要是采用液相外延技术（LPE）实现In-GaAs/InP材料。这时它在各方面性能并不具有优越性，发射方式为脉冲激射，中心波长为1.18um，阈值电流为900mA（远大于成熟技术）；

2、1996-1999：该阶段主要是650~850nm短波段的大范围应用发展。业界主要采用减少谐振腔长度的方法来降低阈值电流，并通过开发AlAs氧化技术来提升DBR反射镜的反射率，具有高反射率、高热传导率和良好的导电特性的AlAs/GaAs在这一阶段被应用于VCSEL，实现在850nm下超过80%的反射率，同时阈值电流降低至mA级别。1997年起VCSEL在单通道短距离光学互连市场占据了绝对的主导地位，此外也在650~670nm波段被应用于基于塑料光纤的数据通信系统（因为塑料光纤在650nm处有最小吸收）；

3、2000-2005：这一阶段主要是1300nm长波段的应用发展，主要解决波长变长带来的散热、电流限制、反射镜制作等问题。首先氧化物限制工艺被引入，这一技术能够极大地提升光电转换效率（50%以上）和光束稳定度，使其能够稳定地耦合进单模和多模光纤，同时氧化物限制方案能够继续降低阈值电流至几百μA，为解决此后VCSEL阵列严重过热问题打下基础。同时直接键合工艺在长波段VCSEL制作中得到广泛应用，因为长波长材料GaInAsP/InP与DBR两种材料折射率相差小，反射性能差，因此直接键合GaAs基DBR与InP有源区来制作长波段VCSEL成为热点，长波段VCSEL是大容量光通信系统和光互连的关键器件；

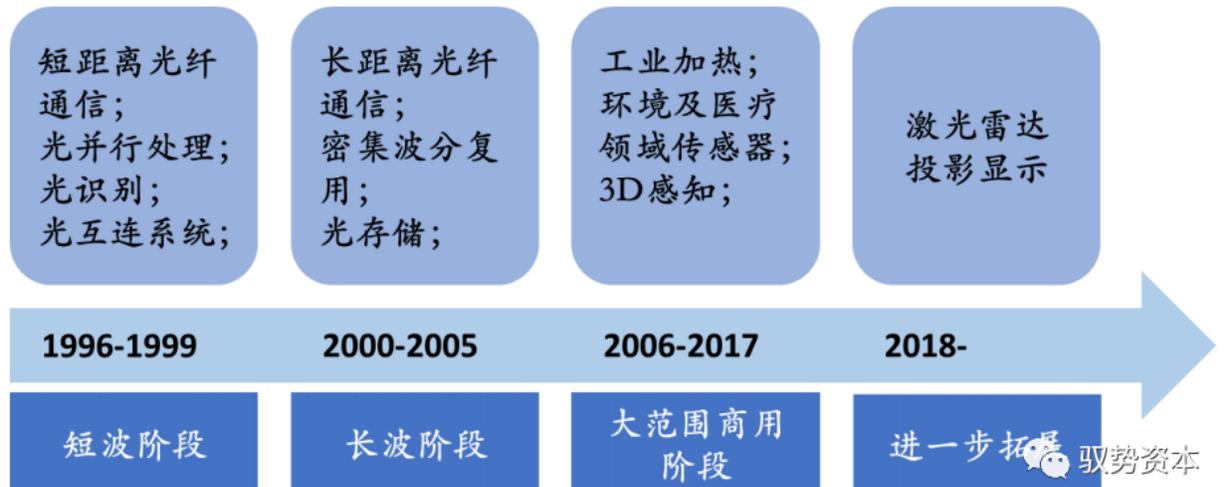
4、2005-2016：这一阶段VCSEL器件开始逐渐由光通信领域延伸至工业级应用及消费电子领域，发展趋势为阵列化和小型化。这一阶段核心工艺主要为基于MEMS技术的可调谐VCSEL技术、VCSEL阵列技术以及电流限制技术。阵列技术使得VCSEL器件向高功率、高速率发展，得以用于加热、探测等工业级应用领域。电流限制技术（离子注入、掩埋隧道结等）将电流限制在较小区域内，是VCSEL微型化的关键工艺。此外金属键合技术的引入改善了VCSEL的散热问题，使得它能够更好地应用于体感设备、智能手机等消费电子领域。

VCSEL 器件发展趋势



应用领域方面，VCSEL主要由光通信领域应用向商业级应用如工业加热、环境监测、医疗以及消费电子应用如3D sensing发展。850nm波段VCSEL商用化程度最为成熟，是短距离光纤数据传输系统的重要器件；此后开发出的长波段产品主要用于长距离光纤通信、光并行处理以及光识别系统；此后随着工艺、材料技术改进，VCSEL器件在功耗、制造成本、集成、散热等领域的优势开始显现，逐渐应用于工业加热、环境监测、医疗设备等商业级应用以及3D感知等消费级应用。

VCSEL 应用领域发展



VCSEL 应用领域变化



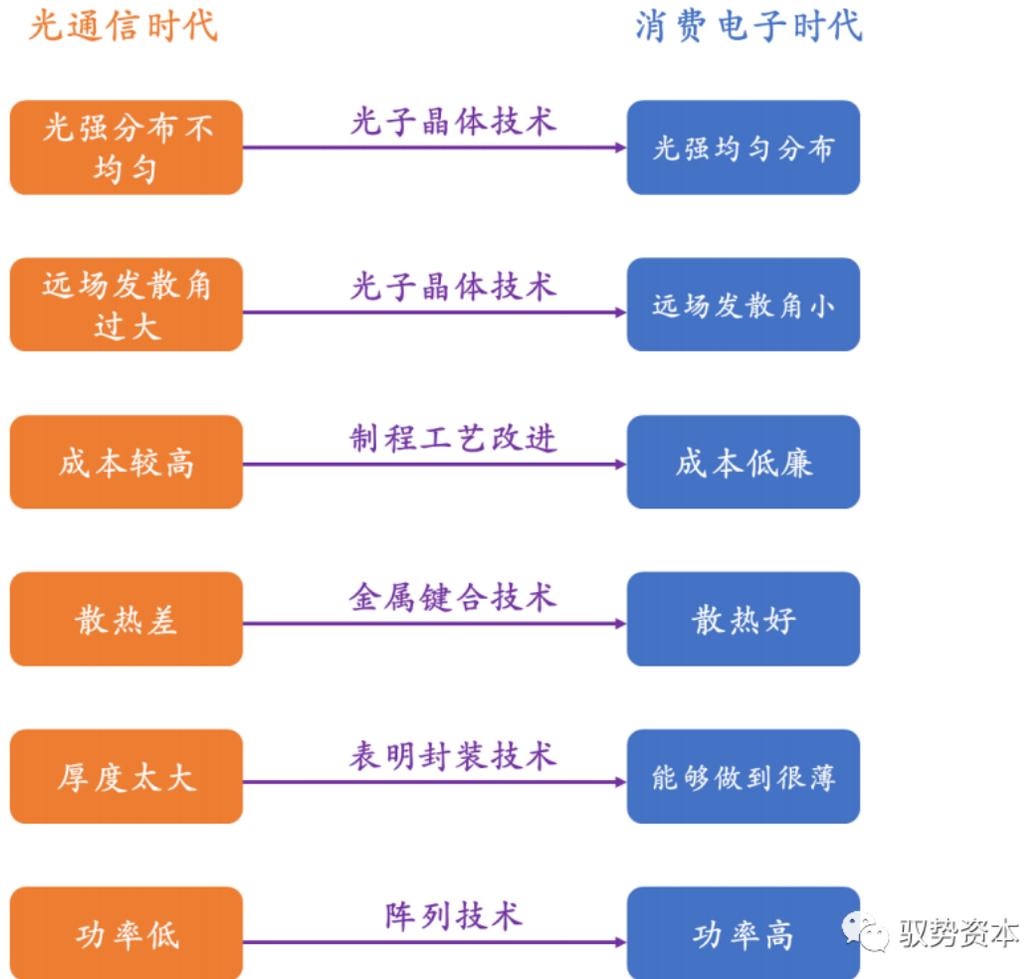
随着技术发展VCSEL在集成方面的优势也开始显现:

- 1) 占用面积小.一个器件大小为几到几十 μm , 与条形激光器的 $300\mu\text{m}$ 相比更小;
- 2) 从周围的各个方向都可以存取, 而条形激光器只限于两侧, 且其大小受谐振腔的长度限制;
- 3) 能够实现表面封装 (与边缘发射器的TO-can封装相比大大减少厚度);
- 4) 可构成二维阵列。集成方面的优势使得VCSEL器件既可以通过模块化组装成为高功率阵列作为加热激光光源使用, 又能够凭借小型化优势应用于各类消费电子产品。

制造工艺来看，一个完整的VCSEL从材料到器件要经过材料生长、外延结构表征、器件制作、性能测试等工艺，主要流程为：材料外延生长外延结构的表征（X射线衍射、反射谱、光致荧光谱、电化学C-V特性等）器件工艺（包括外延片清洗、晶片键合、刻蚀、金属膜溅射、光学镀膜等）后段工艺（包括引线键合、划片、封装、光纤耦合等）器件性能测试（包括I-V特性、I-P特性、发射光谱、频响特性等）。由于VCSEL的主要工艺外延生长（通常采用MOCVD/MOVPE）与LED制作工艺相容，加上可以在器件工艺或封装完成前通过芯片检测进行产品筛选，提高了成品率，因而近年来成本迅速降低。

VCSEL器件经过在光通信应用领域多年发展而得的“小型化+低成本+低功耗+高质量”使得其成为消费电子领域激光光源的首选方案！

VCSEL 由光通信向消费电子领域发展的技术基础



6、激光大时代即将来临：iPhone引领之规模化量产后激光应用开启潘多拉魔盒

进一步判断认为，随着苹果新机型的创新应用量产之后，将带动消费级市场的全面启动：

- 1) 一方面，以华为、OPPO、VIVO、三星等为首的高端机型第二梯队将快速响应与普及。
- 2) 另一方面，激光器量产供应链形成之后将带动产品价格的全面平民化、AR眼镜、智能驾驶雷达等一系列颠覆式应用将彻底从概念化小众市场得到快速普及。

AR 最核心技术在于光学，尤其是激光技术！ 无论是手势识别、三维重构还是成像，光学技术都是决定性基础。我们从目前几款主流产品拆解及技术原理进行分析。

HoloLens相比以往任何设备的强大之处，在于其能够实现对现实世界的深度感知并进行三维建模。

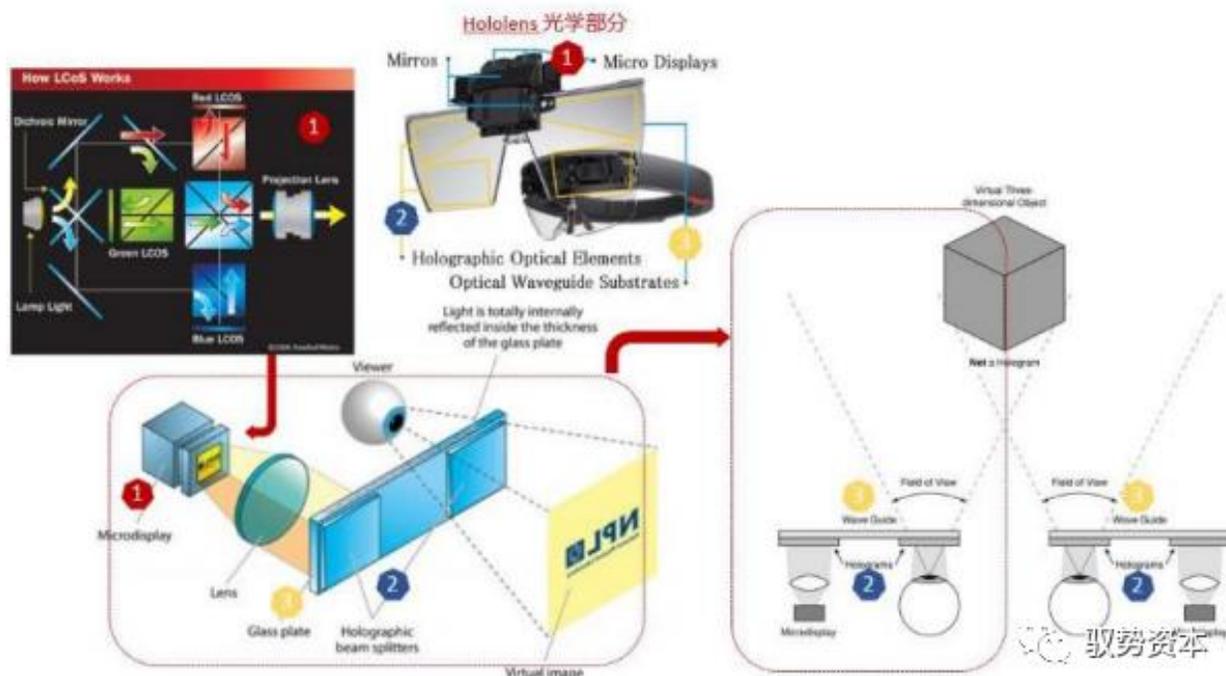
HoloLens拥有一组四个环境感知摄像头和一个深度摄像头，环境摄像头获得周围图像RGB信息，深度摄像头则利用TOF技术获得视觉空间深度图（Depth Map）并以此重建三维场景、实现手势识别。

HoloLens 各单元

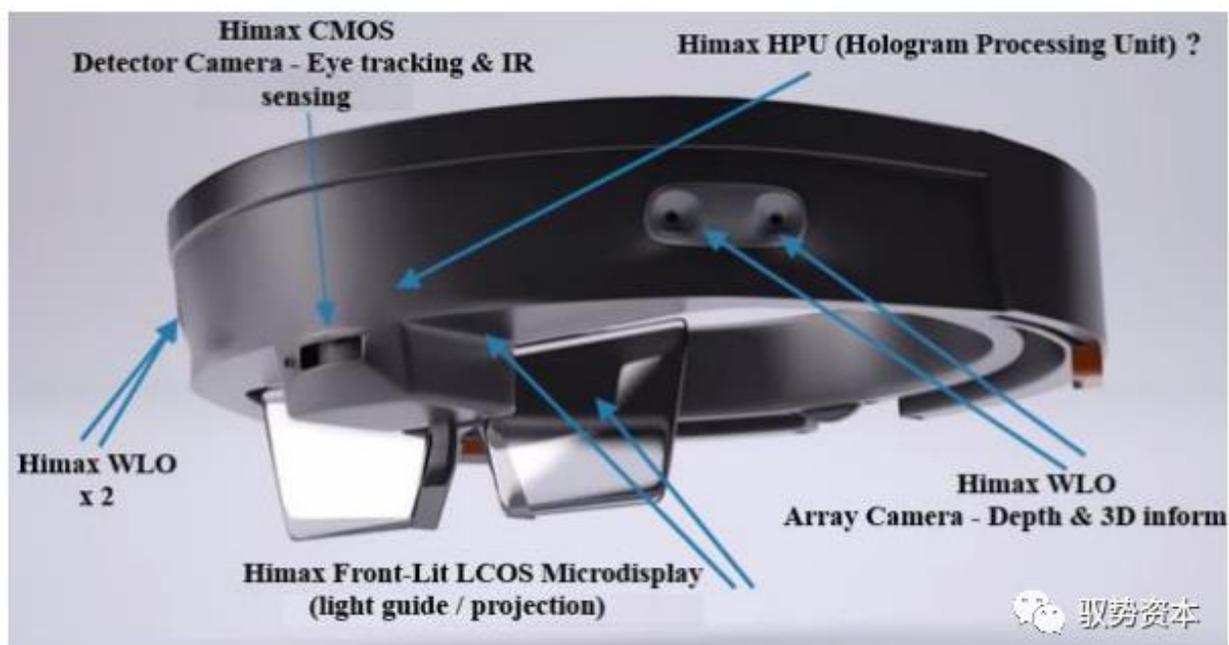


除了3D摄像模块，就是最关键的光学成像模块。 目前来看，HoloLens配备两块光导透明全息透镜，虚拟内容采用LCoS（硅基液晶）投影技术，从前方微型投影仪投射至光导透镜后进入人眼。

HoloLens 成像示意图



HoloLens 可能采用奇景光电 LCOS 组件



LCOS（液晶覆硅技术）是小型化AR头显的关键技术之一。三片式的LCOS成像系统，首先将投影光源发出的白色光线，通过分光系统系统分成红绿蓝三原色的光线，然后，每一个原色光线照射到一块反射式的LCOS芯片上，系统通过控制LCOS面板上液晶分子的状态来改变该块芯片每个像素点反射光线的强弱，最后经过LCOS反射的光线通过必要的光学折射汇聚成一束光线，经过投影机镜头照射到屏幕上，形成彩色的图像。在Hololens中，靠近鼻梁处的两处发光点就是LCoS微型投影仪所在处。目前在投影光源上主要有LED和激光两种方案，由于激光在光束质量、亮度、功耗和使用寿命上无可比拟的优越性，我们认为其将是未来的发展方向。

Hololens 上投影仪所在



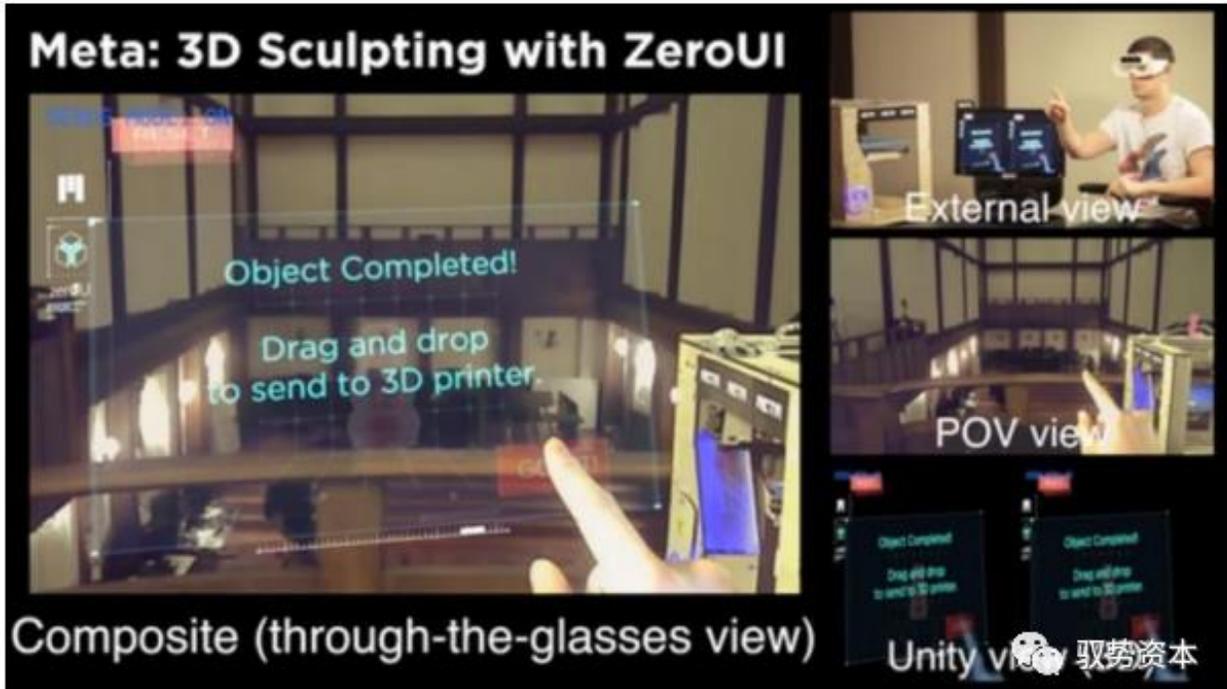
另一款主流AR产品Meta同样采用了基于TOF的3D摄像头技术以及利用基于半反半透镜的投影技术进行成像。

Metad 的 TOF 摄像头同样位于正前方

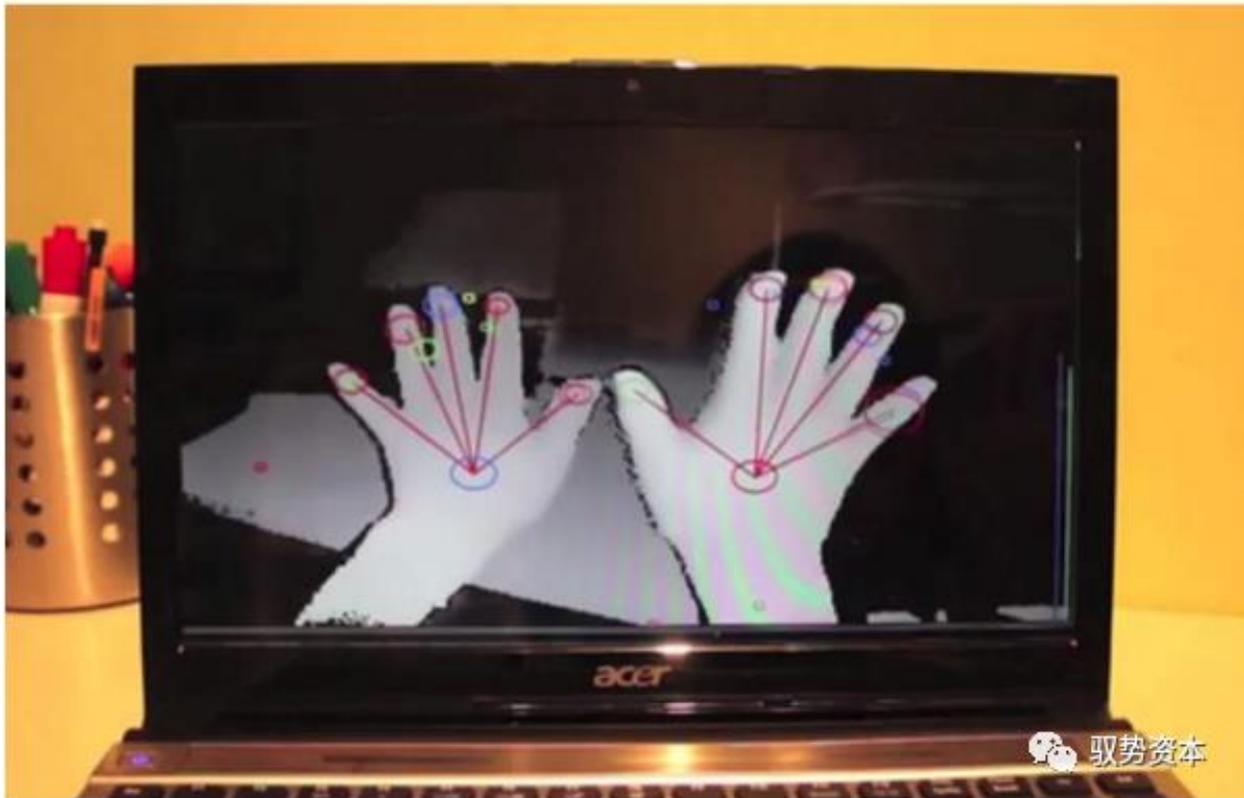


Meta的3 摄像头模块由一对高清摄像头和一个红外探测器组成，利用TOF技术获取图像深度信息，能够实现势识别、QR码（二维码的一种）跟踪、特征跟踪、惯性测量单元等核心功能。

Meta 的手势识别功能

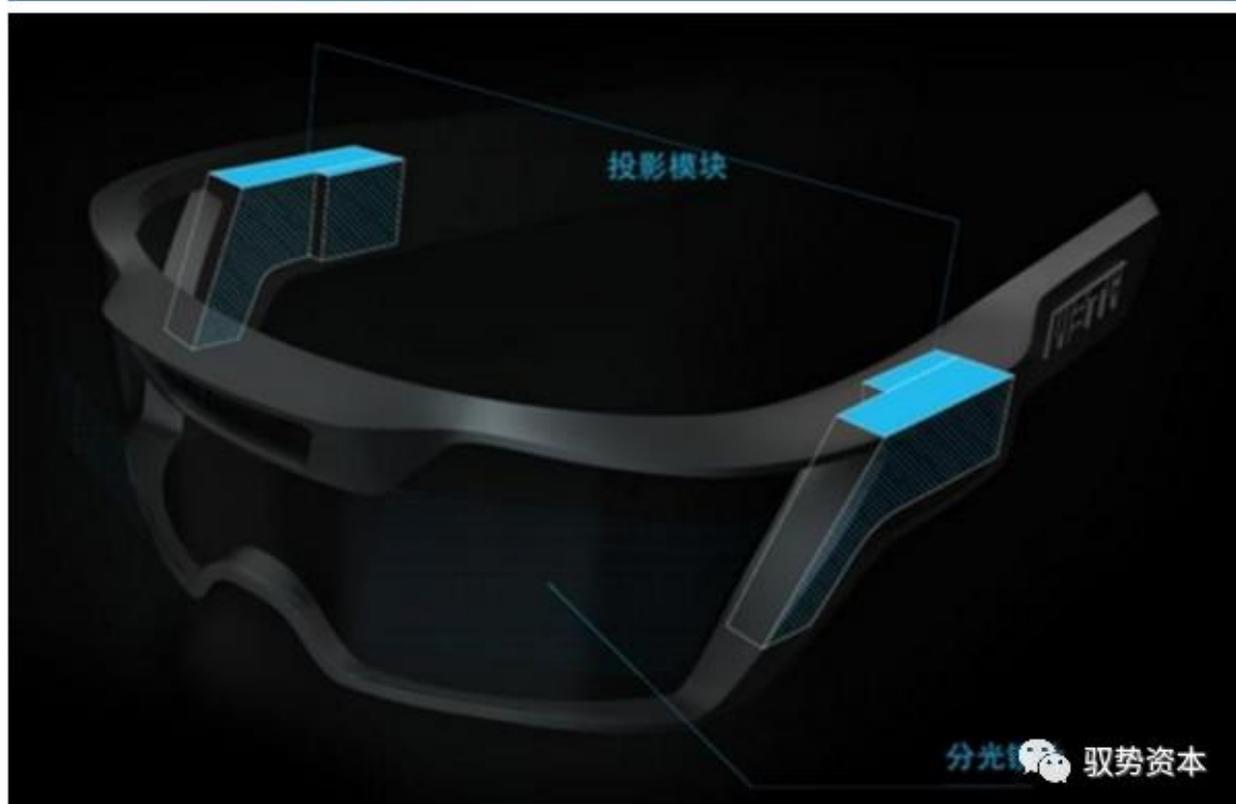


Meta 通过 3D 摄像头进行手势追踪识别

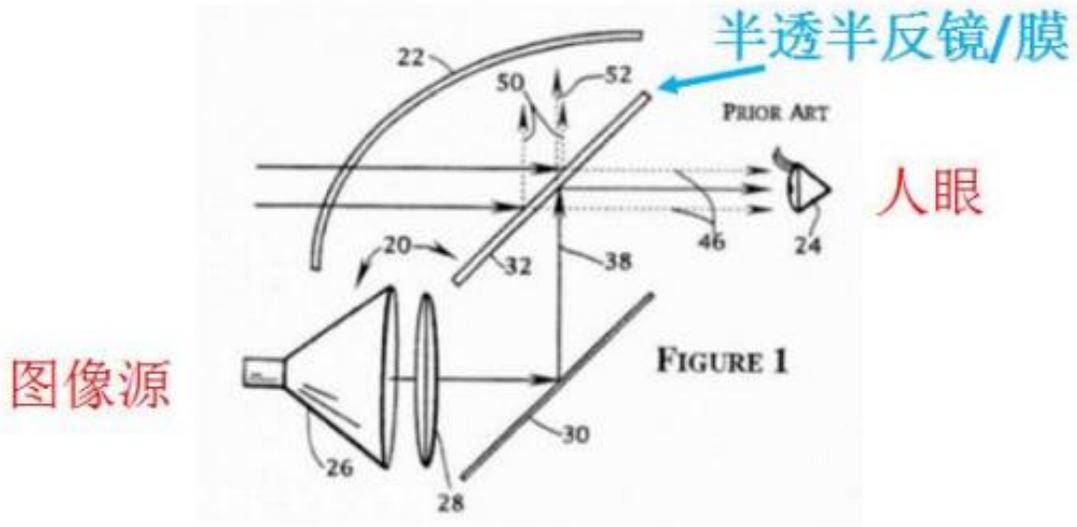


Meta的成像方式则是基于半反半透镜的投影技术，造型极其紧凑的投影仪藏在镜框内，左右各有一个。由LED光源将半透式LCD上的影像投射到半反半透膜上，然后发射进入眼进行成像，从而提供立体视觉。

Meta 的成像模块



Meta 的成像原理



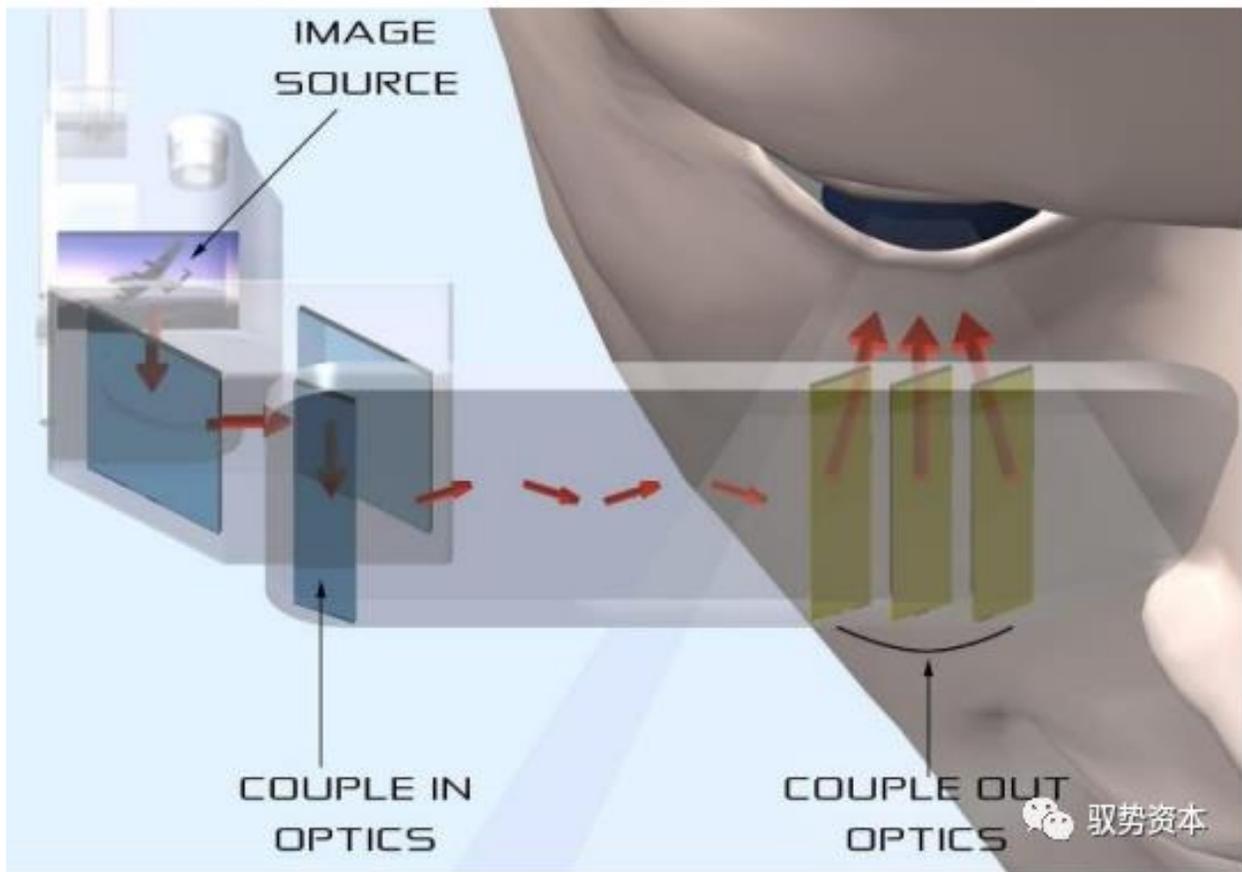
驭势资本

以色列Lumus的AR眼镜也采用了微型投影技术，成像关键部件由微型投影仪、光导元件（LOE）和反射波导组成。植入眼镜的微型投影仪（例如激光投影）将图像画面进行投放，通过光导元件、反射波导形成全反射。

lumus DK 眼镜拆解



lumus 也应用微投技术进行成像



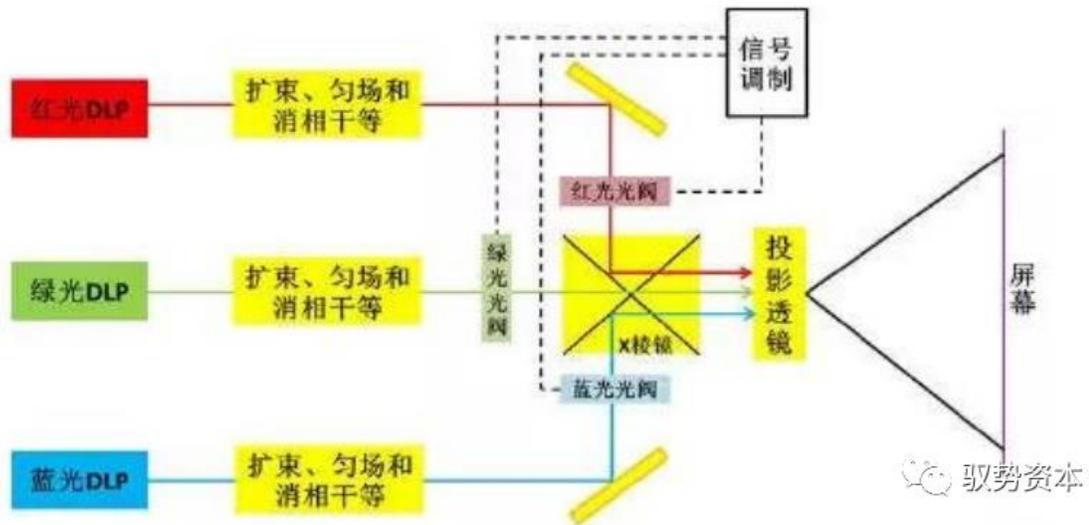
微投成像和3D摄像是未来AR产业两大核心技术，以VCSEL为代表的半导体激光器件将成为AR光学技术的最基础部件，引领消费电子光学时代到来！

随着投影显示技术的发展，对投影系统的亮度、解析度、色彩丰富性的要求将会越来越高，光源作为投影系统的重要部件，其发光特性将直接决定投影系统质量。激光光束色度、照度高度均匀，具有亮度高、单色性好、波长固定等传统光源无可比拟的优势，未来取代LED成为微型投影模块、投影仪、投影电视等设备光源将是大概率事件。

目前，激光显示技术主要有三基色纯激光、荧光粉+蓝光、LED+激光混合光源三种技术，对比来看，三基色纯激光优势较为明显。

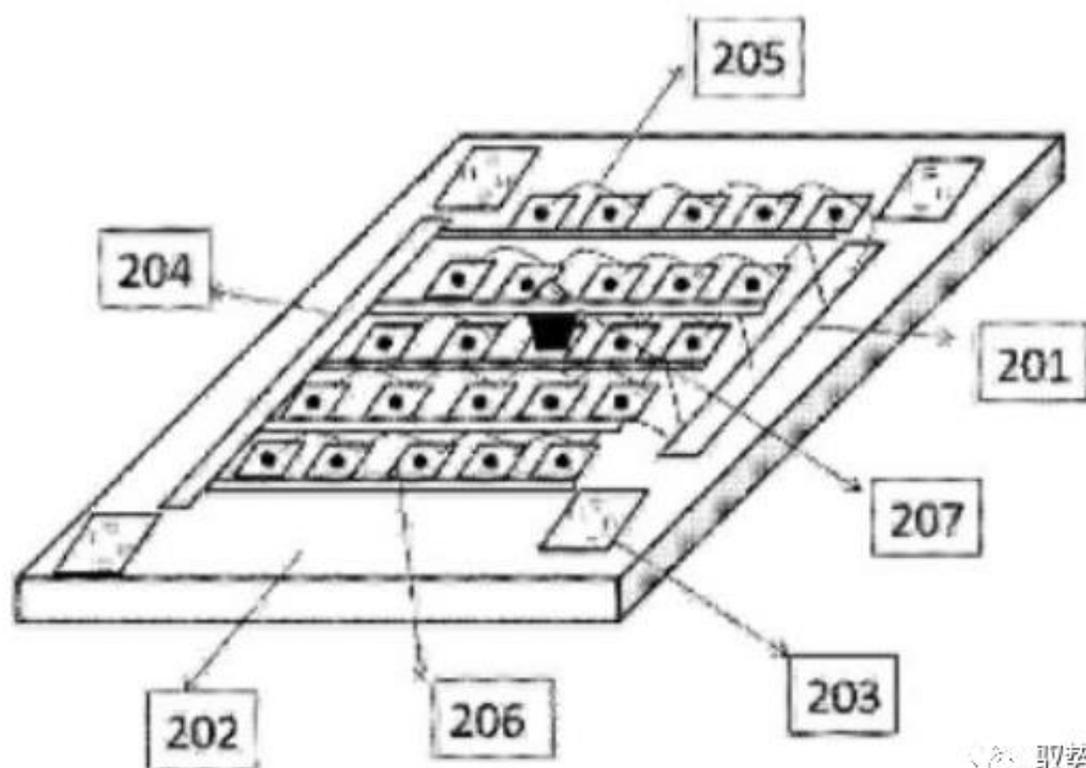
三基色激光被业界视为最正统的激光光源，其具有色域广、光效高、寿命长、功耗低、一致性好、色温亮度可调、稳定、安全可靠免维护、应用灵活等优点。三基色光源由单色光，红、绿、蓝三色光分别调制，彩色效果非常理想。

三基色纯激光显示原理示意图

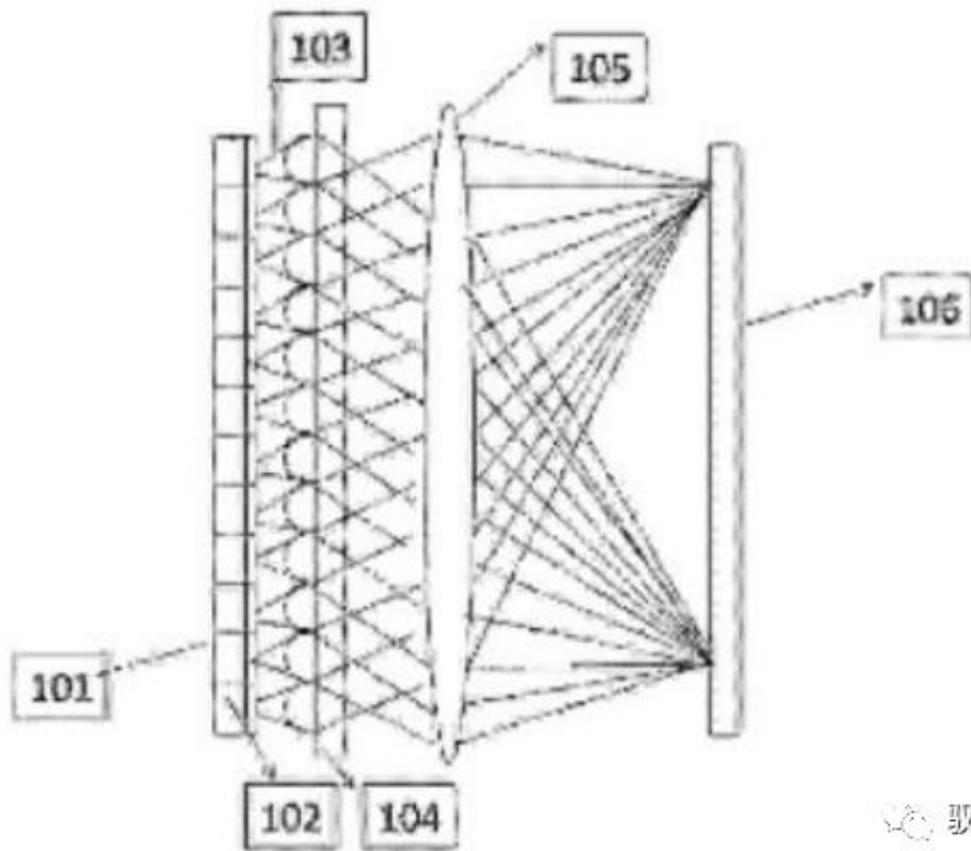


技术进展来看，红光激光二极管技术（包括VCSEL红光阵列）发展已经十分成熟，蓝光激光二极管价格尚高，绿光激光二极管则还有待发展。从已披露专利来看，目前已有“红光VCSEL阵列+蓝光VCSEL阵列+绿色全固体激光器”的解决方案，VCSEL单元用于发出圆化激光光束，经过微透镜阵列准直化后作为R、B光输出。此外，采用VCSEL面阵可以减少VCSEL激光器之间的干涉性，弱化激光散斑，从而提高投影显示质量。

采用 VCSEL 作为蓝光/红光阵列



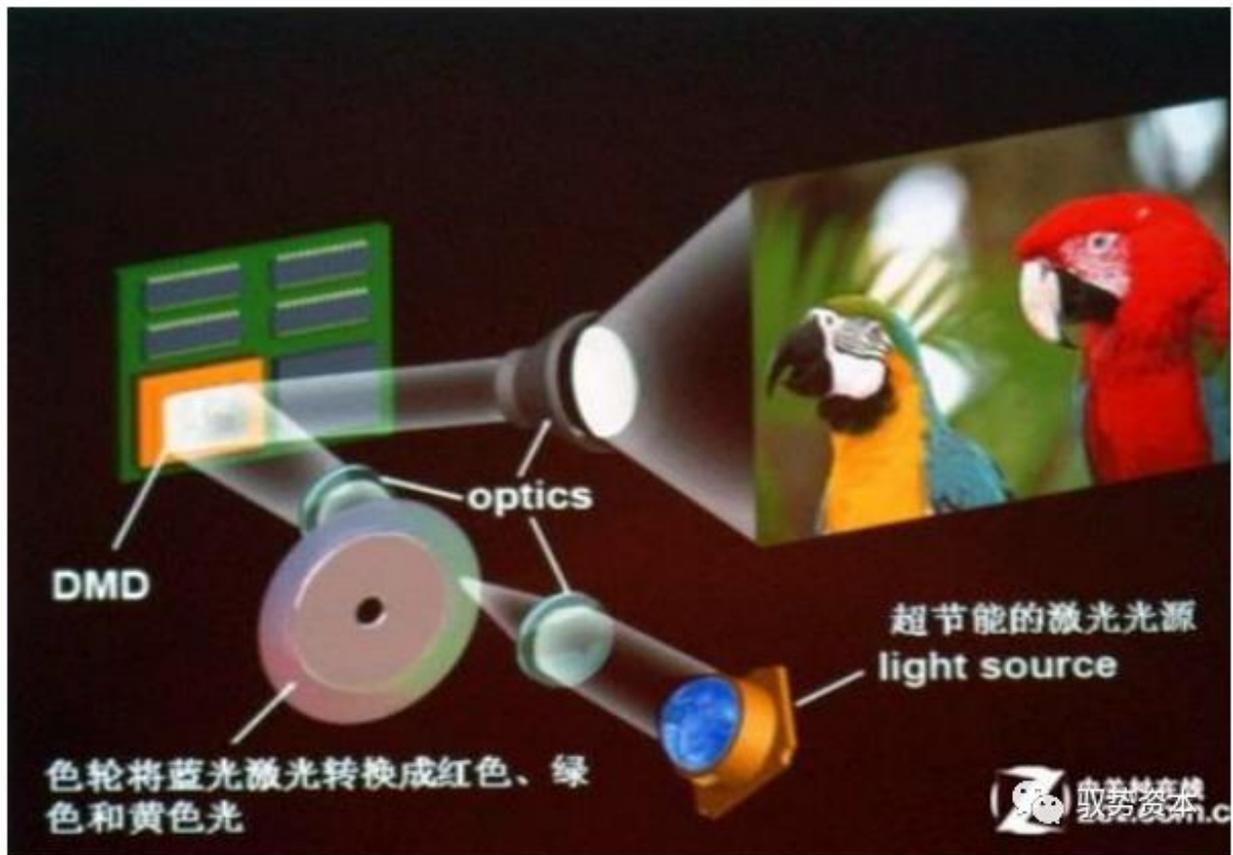
VCSEL 单元光束经微透镜准直化后输出



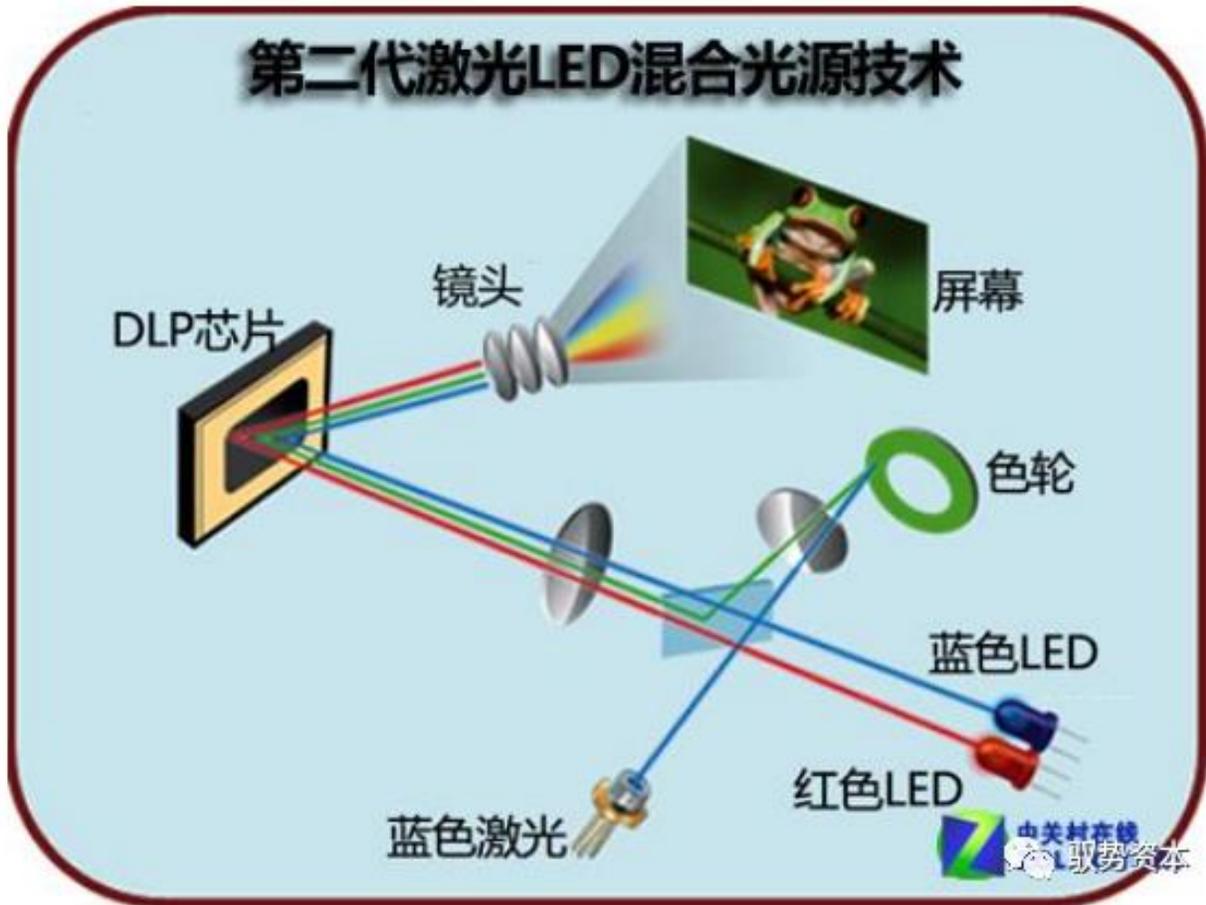
驭势资本

荧光粉激光即目前较为常见的单色激光+DLP技术和单色激光+3LCD技术，单色激光+DLP技术使用可以激发RGB不同颜色光的荧光粉色轮来实现，单色激光+3LCD技术则是通过单色激光照射荧光粉激发了高亮度白色荧光作为投影光源。这种通过激光激发荧光粉的技术从本质上来讲应该不是直接使用激光进行混合，而是使用荧光，这样的好处是消除了激光带来的安全隐患，但是亮度自然就无法达到更加理想的状态，一般最多可以达到5000流明。

基于单色激光+DLP 技术的投影方案



混合光源方案

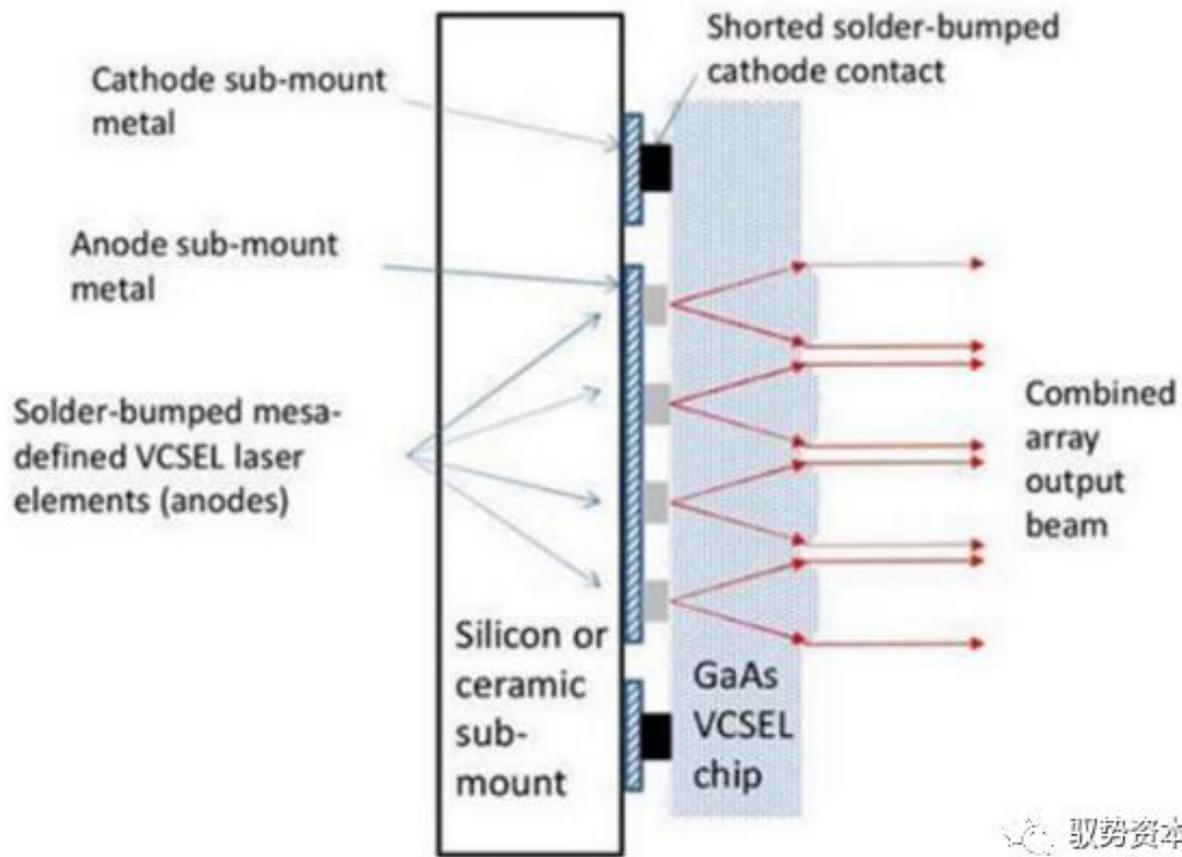


采用VCSEL或其他激光二极管+LED的混合光源方案是综合利用LED和激光两种光源的长处而形成的一种**新兴光源**。这一方案试图规避LED亮度低和激光偏色严重这两个最大的弊端来开拓一条脱离传统光源的新路，目前还处于起步阶段，不过已有公司开始面向商用市场推出混合光源的产品。

上图的混合光源结构是来自蓝色激光、红色LED发光体（或包括蓝色LED），部分蓝色激光发射到磷光体上产生出绿色光线，从而构成RGB三原色光线。混合光源投影机目前也是采用DLP投影技术，三原色光线照射到DMD芯片，经过芯片的调制形成图像并投射出去。混合光源的优势，是生产成本相对较低，在亮度上也相较LED光源有明显优势。

此外，高功率VCSEL阵列有望加速激光雷达商用推进。日本汽车电子厂家日本电装近期公布了对Trilumina公司的战略投资，Trilumina公司主要进行针对雷达设备的高功率VCSEL阵列开发，而这些雷达设备主要面向辅助驾驶和无人驾驶应用。在CES2017上，Trilumina公司展示了自己基于VCSEL阵列的256像素3D激光雷达解决方案，如若进展顺利，公司开发的光源模块可取代目前应用于自动驾驶汽车示范项目的大尺寸、高成本扫描激光雷达，将高清和远距离传感器功能整合进小尺寸、稳定且具成本效益的包装中，进而实现半自动和自动驾驶汽车的成功商业部署。

Trilumina 基于 VCSEL 阵列的激光雷达



激光雷达感应周围车距、三维重建



消费级、工业级应用市场拓展将带来VCSEL市场跨越式增长。根据研究机构Markets and Markets的预测数据，VCSEL的市场空间将在2014年6.1亿美元的基础上以22%的符合年增长率快速增长，预计2020年将达到约21亿美元。我们认为，随着大客户导入基于VCSEL光源的3D摄像头方案，其他厂商高端智能机以及AR产品将迅速跟进，加上VCSEL阵列技术在激光雷达领域逐渐渗透，未来市场空间将远不止于此！

关键点之三——VCSEL激光器光学组件

任何一种工作光源在满足工作需要的之前，都要进行性能调节，以达到需要的工作性能；激光也不例外。只是由于激光的光斑小、光束密集、能量高、速度快等特点，相应的激光器光学处理组件要求会更为严格。加上激光器一直处于工业应用中，本身的市场空间一直没打开，激光器光学处理组件市场显得更为小而

杂且专业。目前市场对于该领域的研究尚处于起步阶段，但我们认为随着激光器消费级市场的打开，未来该领域存在大幅爆发的机会；需要深入的剖析，寻找一批“懂激光”的激光器光学组件核心供应商。

1、VCSEL激光器光学组件推测版

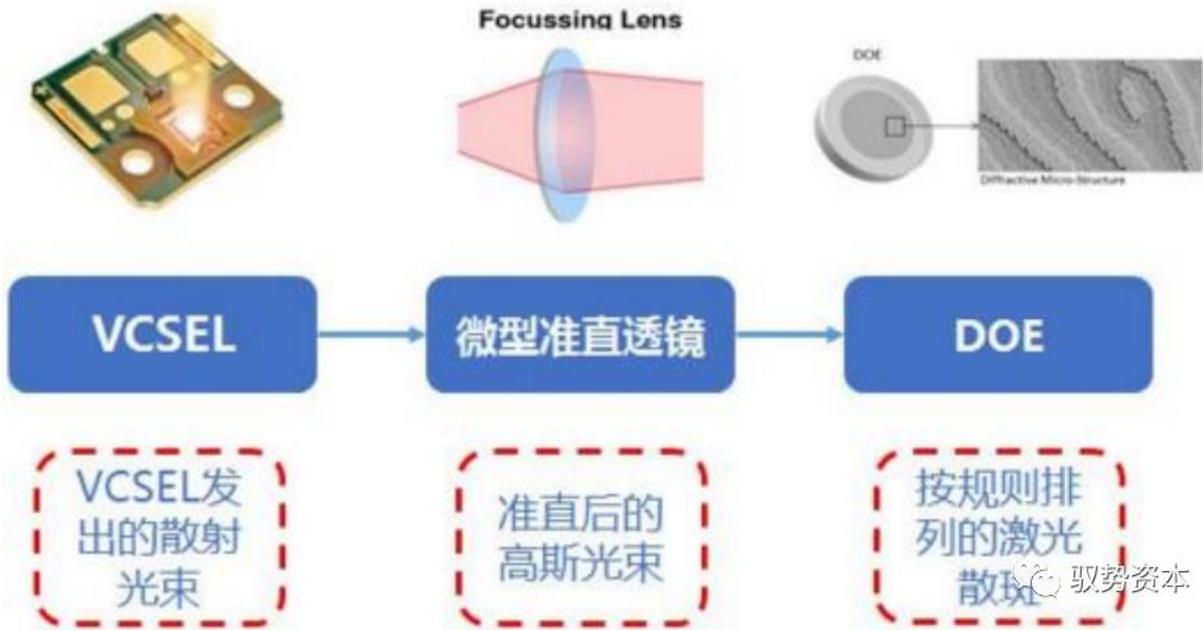
通过产业链调研，VCSEL激光器光学组件包括微型准直透镜、DOE（衍射光栅）等，（不排除还有其他光学组件没有验证到）。

微型准直透镜：是用来对发散的激光光源进行准直处理，达到平行、均匀光斑的作用。

DOE（衍射光栅）：是用来将平行发射的一束或多束光源，通过衍射光栅之后，均匀打出呈倍数的激光束，用以增加测量的精度与信息量，完成全面场景的录入。

滤光片（在接收端镜头上）：目前VCSEL发出去的是红外波长的光束，反射回来之后，通过传感器计算出距离。但外部环境对于光束会有影响，反射回来作为测量用的光束不是单纯的发射波段，因此需要滤光片过滤掉非工作波段的光波。

iPhone8 VCSEL 激光器光学组件推测版



涉及到相关产品线的A股公司包括，VCSEL-光迅科技：宣布自主研发的VCSEL阵列芯片将投入商用；微型准直透镜-福晶科技：为JDSU（Lumentum）、Finisar等光通信企业供给通信级准直镜头；DOE-福晶科技：为微软HoloLens联合研发相关光学组件；滤光片-水晶科技：为Kinect供应滤光片。

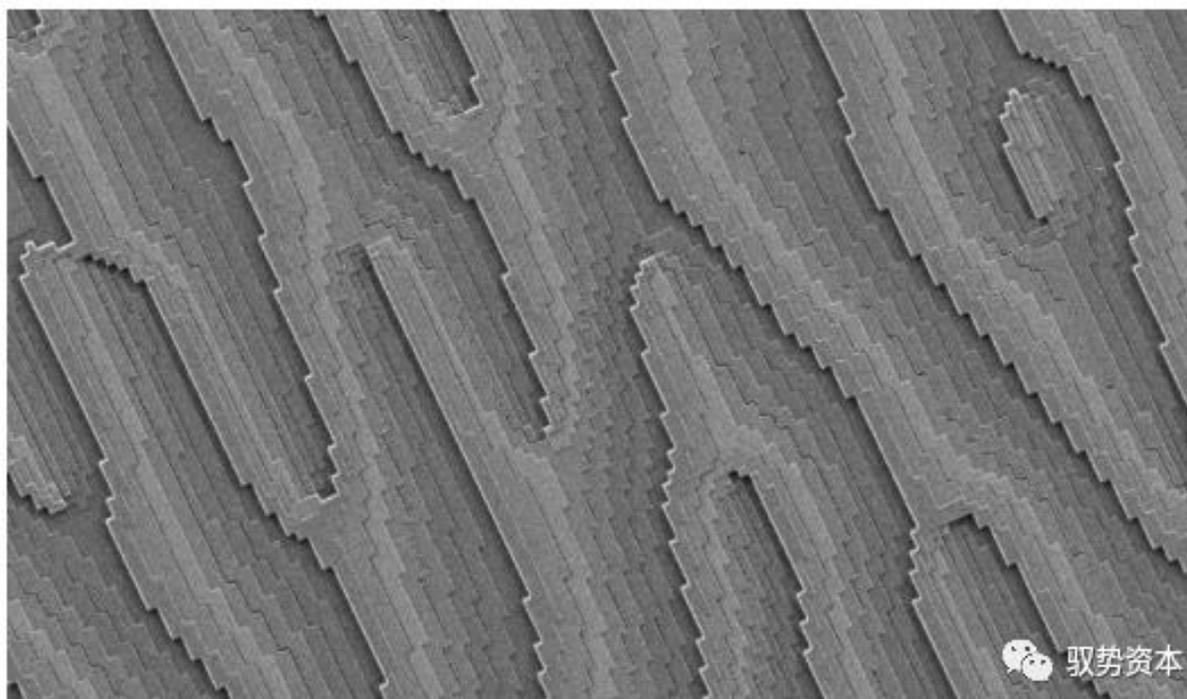
以下分别就三类比较重要的激光光学元件做分析，并对激光光学元件做全面梳理。

2、三种重要激光器光学元件分析之一：DOE

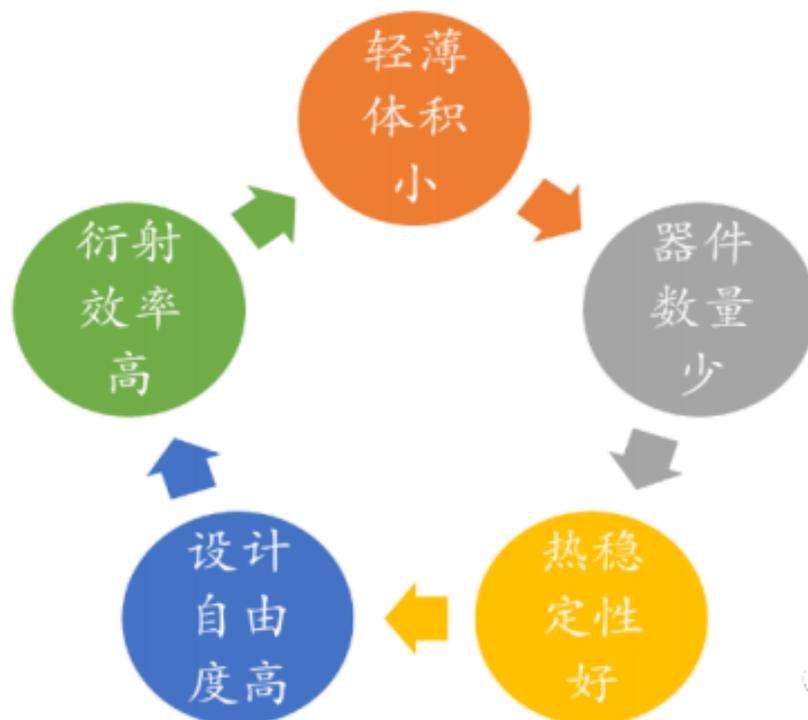
衍射光学元件（DOE, Diffractive Optical Elements）预计将是未来激光光束整形的最核心元件。它是利用计算机辅助设计，并通过半导体芯片制造工艺，在基片上(或传统光学器件表面)刻蚀产生台阶型或连续浮雕结构，形成同轴再现、且具有极高衍射效率的一类光学元件。DOE主要特性包括轻薄体积小、衍射效率高、设计自由度高、热稳定性良好、整形光路结构简单等优良特性，目前已经成为诸多光学仪器的重要元件。

。

衍射光学器件表面微结构



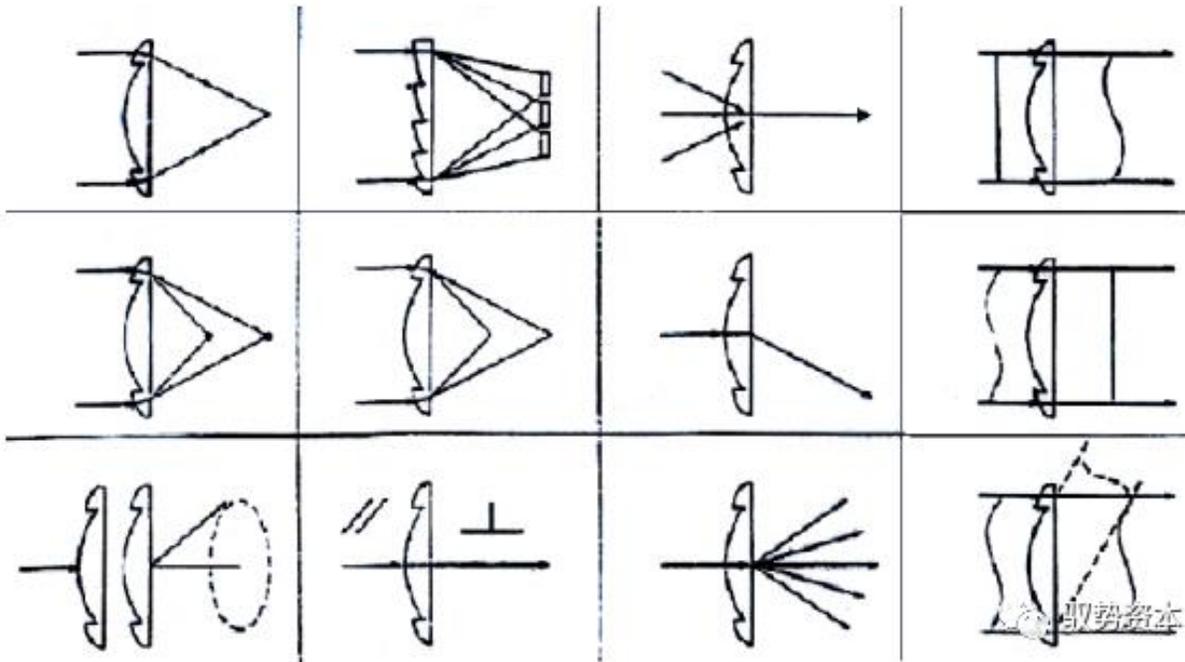
DOE 的优良特性



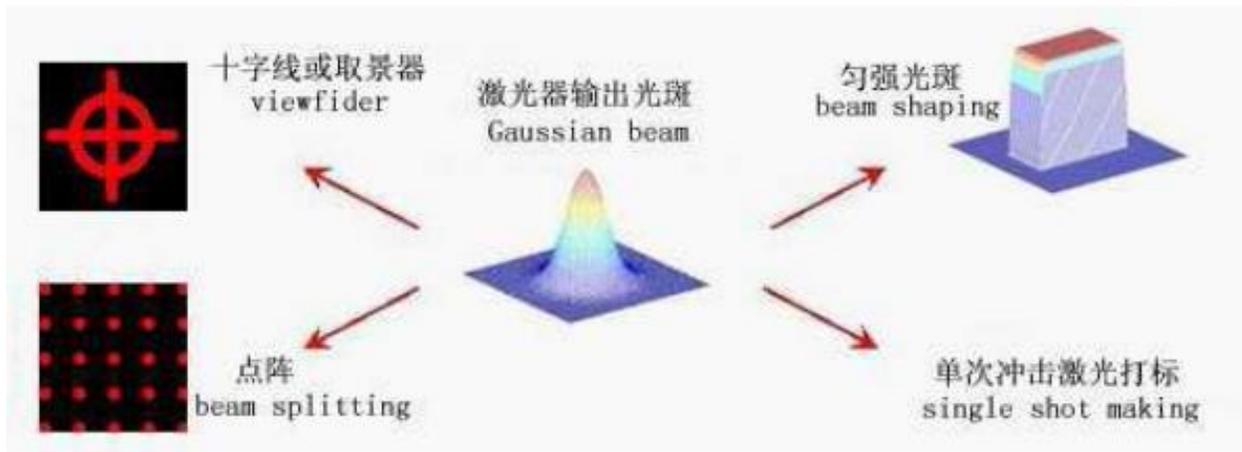
DOE的基本原理是利用衍射原理在元件表面制备一定深度的台阶，光束通过时产生不同的光程差。通过不同表面设计来控制光束的发散角和形成光斑的形貌，实现光束均匀化、准直、聚焦或形成特定图案等功能

。

DOE 通过不同设计实现多种光学功能



DOE 目前部分应用领域



驭势资本

目前DOE已经被应用于消费电子、医疗、激光加工等领域：

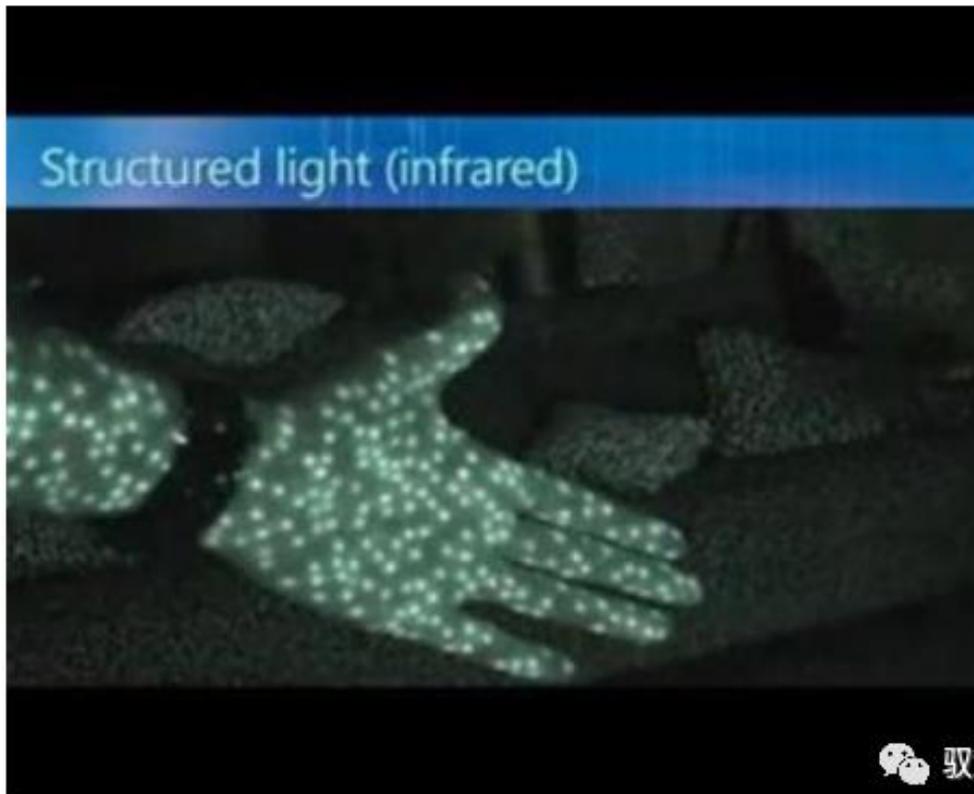
DOE 的应用领域及实现功能

领域	功能
消费电子	<ol style="list-style-type: none"> 1、对 VCSEL 等半导体激光器光束整形，实现匀束以及形成多个规则散斑投射至环境物体； 2、激光投影中，对光束进行准直、匀束处理以满足 LCOS、DMD、LCD 均匀照明要求。
医疗	<ol style="list-style-type: none"> 1、对去皱纹的 Er: Gass 激光束整形，将光束分成多个均匀光点进行治疗； 2、对治疗血管损伤的 KTP 激光束整形，使光束在治疗区均匀扫描； 3、对治疗眼角膜的准分子激光束整形，将光束变成完美的高斯光束以保证极高的治疗精度。
激光加工	<ol style="list-style-type: none"> 1、焊接中将 CO2 激光光束变成圆环形均匀光束以便将能量分布在两个焊接器件上； 2、切割中将 Nd:YAG 或 CO2 光束变成完美的高斯光束以保证极高的切割精度； 3、热处理技术中将 Nd:YAG,CO2 或准分子光束变成均匀分布的平顶光束以便均匀加工； 4、打标中将 Nd:YAG 或准分子光束变成均匀分布的平顶光束以便控制标记深度与宽度。
科研	<ol style="list-style-type: none"> 1、掺钛蓝宝石的泵浦光整形：将泵浦光 YAG 激光、倍频光束变成均匀的平顶光束，以免损坏掺钛蓝宝石晶体； 2、腔内激光束整形：作为腔内相位镜将前放光束整形为均匀方形光束； 3、飞秒激光束整形：掺钛蓝宝石飞秒激光光束整形以优化非线性效应。

 驭势资本

大客户新产品有望采用类似Kinect的结构光方案：VCSEL激光器发射出的光束通过准直镜准直后，通过DOE器件得到25*25的激光散斑，然后再利用光栅进行“衍射复制”后得到更大的散斑图案，从而扩大投射角度。之后红外传感器捕捉散斑信息，通过位移量算法计算出环境物体的深度信息。

Kinect 结构光方案投射出的激光散斑

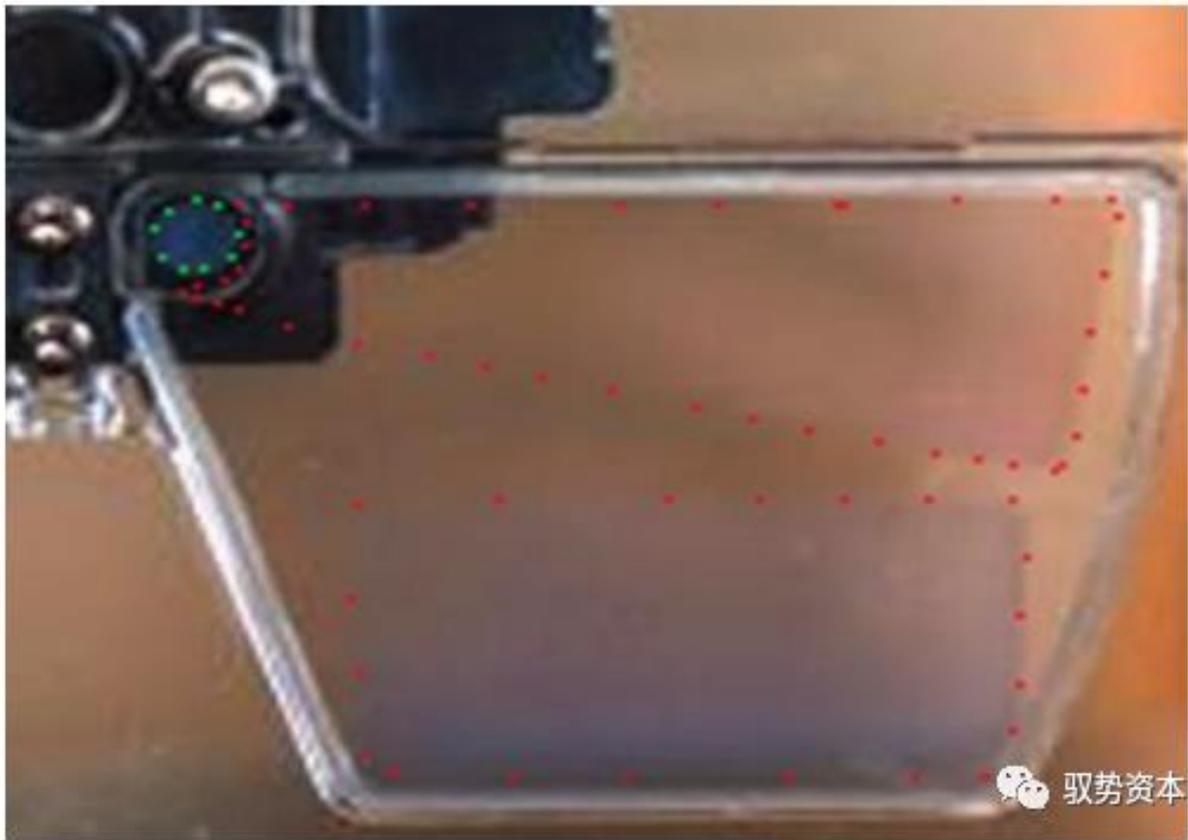


利用红光激光器和 DOE 投射出全息键盘

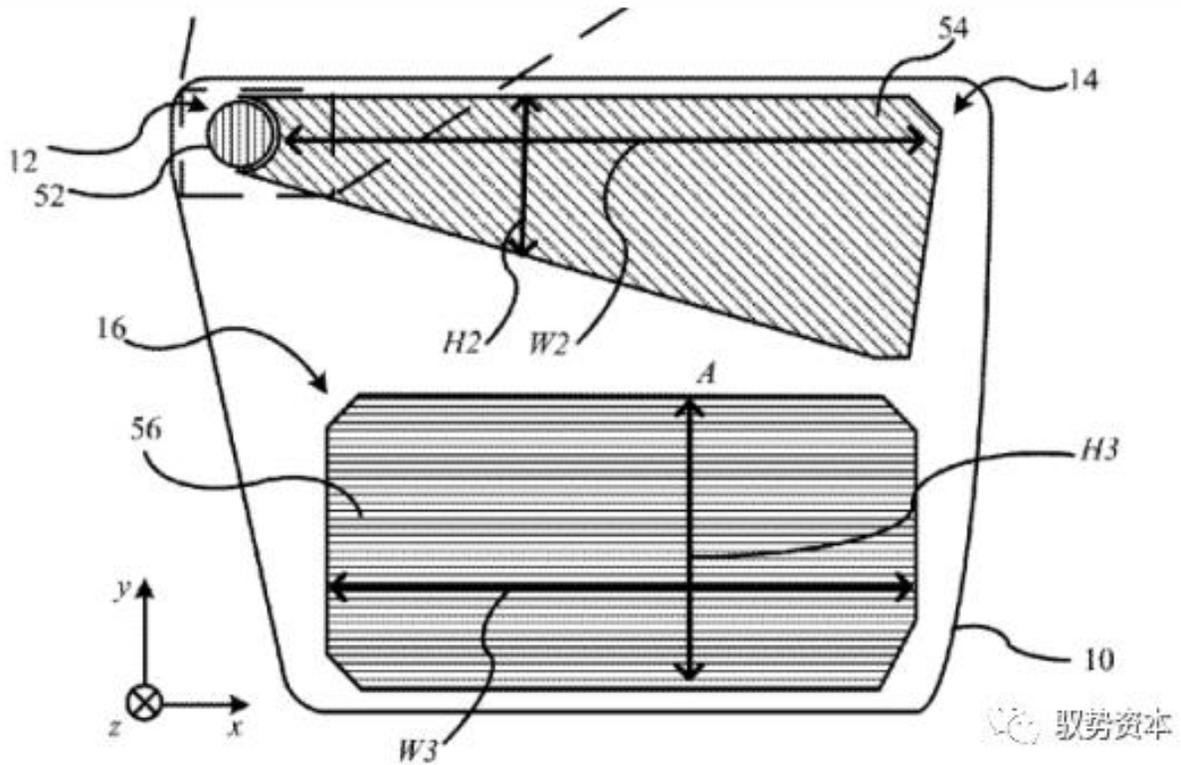


我们结合HoloLens采用的显示方案来对衍射光学器件（DOE）的应用进行说明。如下图所示，为实现混合现实效果，让自然光与投影图像同时进入人眼，微软在HoloLens单镜片上应用了三块表面刻蚀光栅（SGR，是DOE种），分别是下左图绿点与红点所圈出的三块区域，对应下右图中所标示的52、54、56三部分。

HoloLens 表明刻蚀光栅示意图

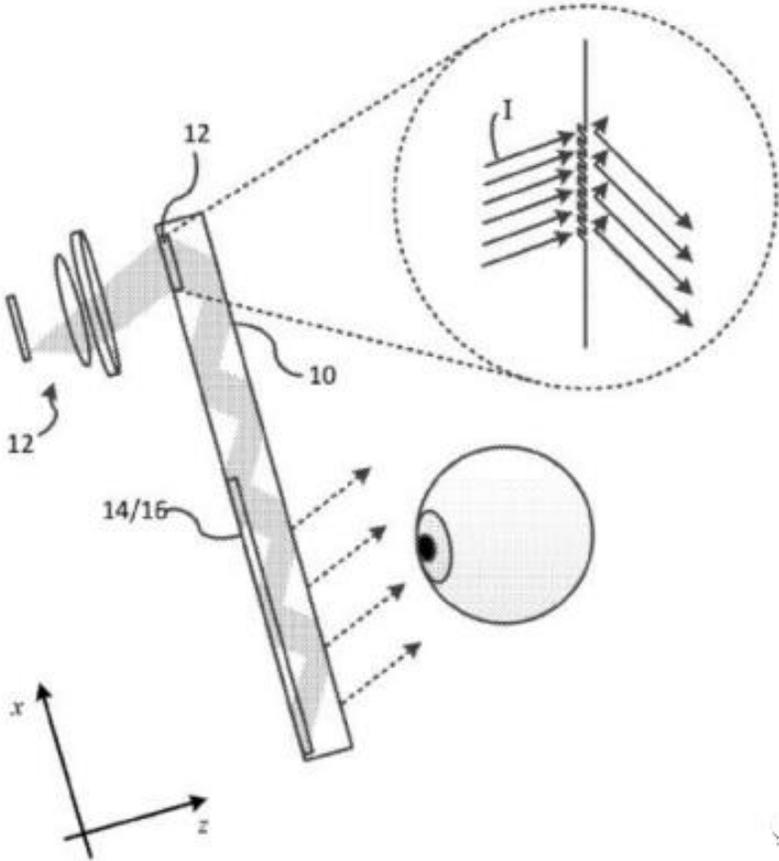


专利上示意图

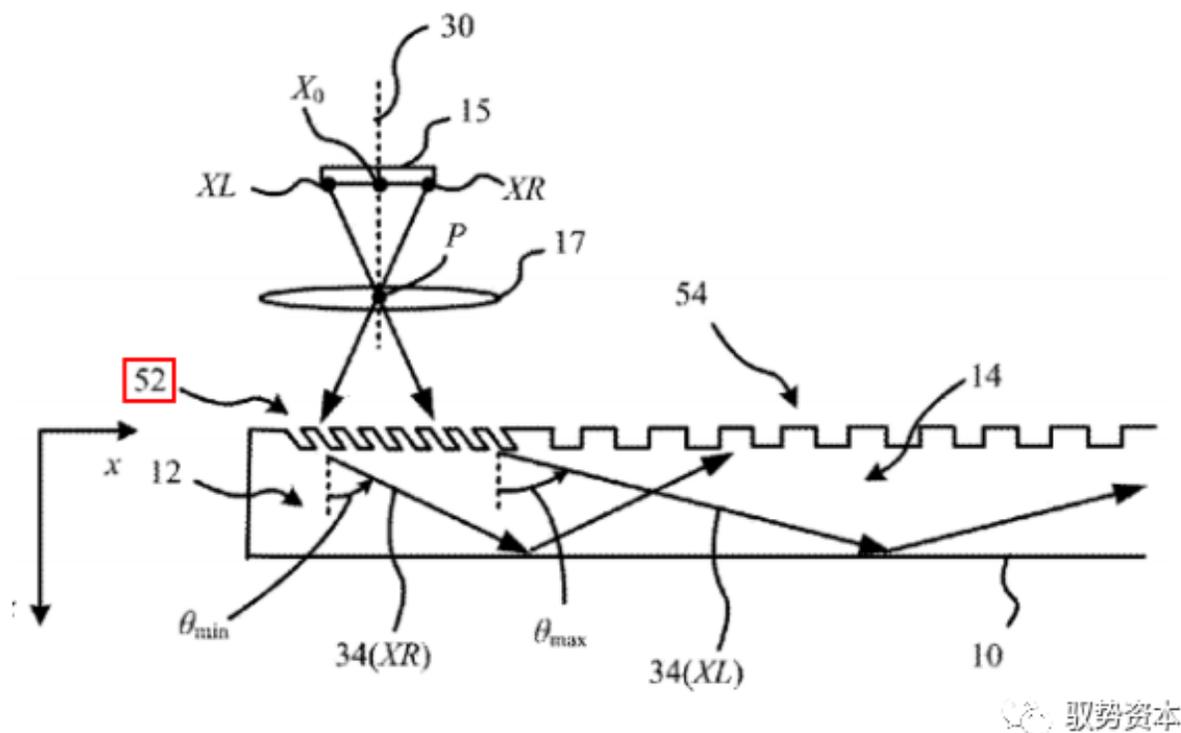


图像首先通过LCoS微型投影仪进入绿点所圈的 2号区域，也就是入耦合光栅（in-coupling SGR）。如下左图所示，在给定介质中，光线在特定角度下会实现全内反射。入耦合光栅的主要作用就是通过DOE的微观结构来通过衍射来使光线以特定角度入射，以实现光线在镜片内的全内反射。

全内反射示意图



光线通过入耦合光栅实现全内反射



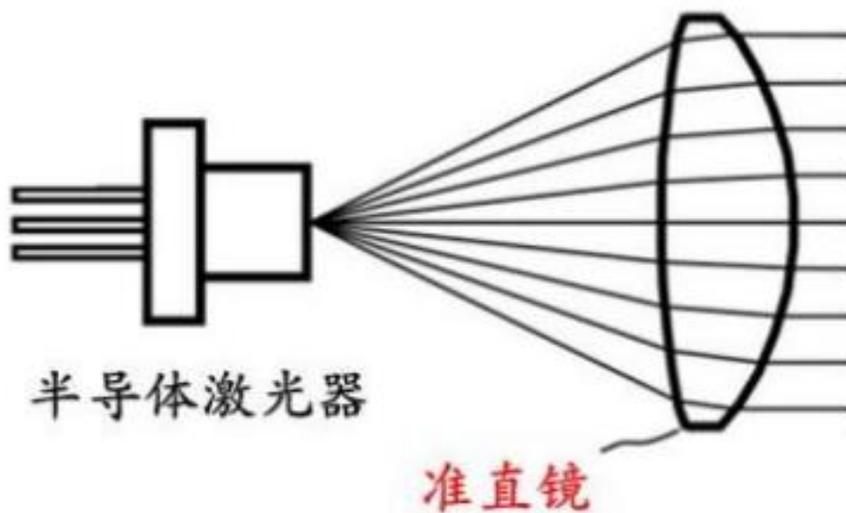
光线通过54号折叠光栅 (foldSGR) 所处的位置，折叠光栅会将图像折叠（偏转）90度，到达下方56号出口光栅处 (exit SGR)，出口光栅通过衍射来成像并以特定角度输出光线，使光线进入人眼的角度与虚拟物体所在位置重合，以达到增强现实 (AR) 的效果。

DOE体积小、衍射效率高、能够自由设计光学功能等优良特点于一身，未来将在激光投影、全息技术等领域大显身手。我们认为，随着准分子激光加工工艺、复制工艺的发展，DOE的制造成本将大幅降低并且能够实现规模化生产，有望成为促进光学系统实现微型化、阵列化和集成化的关键技术！**福晶科技已与微软联合研发HoloLens，预计其中就包括DOE等相关光学组件，微软Kincet是体感游戏机的鼻祖，亦是AR眼镜领域最受期待的厂商。**

3、三种重要激光器光学元件分析之二：准直镜头

在3D摄像技术以及激光投影等消费电子应用领域，对激光器发出的光束进行整形更加具有必要性。在激光投影技术中光束需要通过匀光、整形单元以满足LCD、LCoS、DMD的均匀照明需求；在基于结构光技术的3D摄像中也需要将光束进行匀光、分束均匀地分布投射至周围环境中，形成多个散斑来进行捕捉、分析。同时若不进行匀束的话光束中心能量过大还可能对人眼造成伤害。采用微准直透镜对VCSEL出射光束进行准直、形成散斑等整形处理。

激光器发射光束经准直器准直



驭势资本

准直器属于激光器件中用于输入输出的一个光学元件，其结构简单一般为透镜系统，作用是使发散光通过前置的准直系统变成平行光（高斯光束，越靠中心能量越高）。

在光通信及工业级激光加工领域，均需要通过准直器件将激光光束转变为平行光束，从而保证在高功率光束下的稳定光束质量或者使光最大效率的耦合进入所需的光通信器件。与光通信领域及激光加工领域不同，消费电子领域通常采用多片结构组成微型准直透镜，我们将在后文对制造微型准直透镜的WLO（晶圆级光学制程工艺）进行介绍。

福晶科技已为JDSU（Lumentum）、Finisar等光通信企业供给通信级准直镜头。

不同应用领域下的准直器件

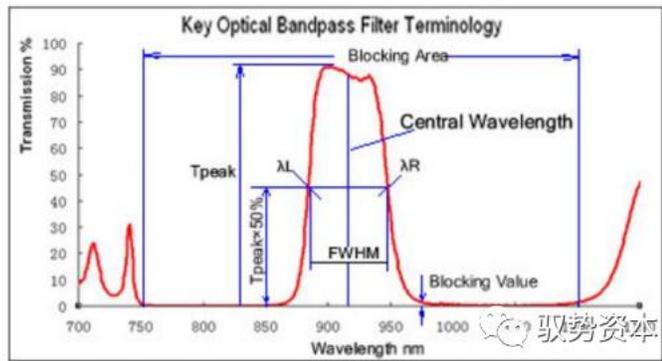
	描述	应用领域
激光加工	 <p>CO₂、Nd:YAG激光器通常采用扩束器进行准直，转变为平行光</p>	激光打标、激光焊孔
	 <p>适配光纤激光器的光纤准直器，接口提供水冷，保持在高功率光束下的稳定光束质量</p>	激光切割、焊接、打标
光通信	 <p>应用于光通信领域的准直器，具有低插入损耗、高回波损耗等优良性能</p>	光通信领域如WDM器件、光隔离器、CWDM模块
消费电子	 <p>应用于消费电子领域的微型准直透镜，采用传统注塑工艺或WLO工艺制造</p>	对VCSEL激光器出射光束进行准直

4、三种重要激光器光学元件分析之三：滤光片

近红外识别系统中所用到的窄带滤光片及超薄高性能镀膜也是基于结构光及TOF的3D摄像头技术关键。3D摄像头在接收反射光时要求只有特定波长的光线能够穿过镜头，拦截频率带之外的光线，即隔离干扰光、通过信号光凸显有用信息。

目前窄带红外滤光片领域主流厂商包括由JDSU分拆出的VIAVI，我国的水晶光电等等。Kinect一代体感设备所用的窄带滤光片即为水晶光电所供应，窄带滤光片置于CMOS之前，仅有近红外线能够通过并给CMOS感光，以获取景深数据。

一款典型 850nm 窄带滤光片产品及其曲线图



窄带滤光片的选取需要考虑多个光学指标，包括带宽、中心波长、截止波长、截止深度、峰值透过率、产品厚度等等。

滤光片选取考虑

光学指标	选取考虑
带宽	要根据所处的环境及采用的光源共同决定，太窄的带宽使滤光片的有效使用角度变得很小，有可能导致所拍的图像中间亮边缘暗的现象。一般而言 850nm 窄带滤光片选择 30nm 带宽或 20nm 带宽。
中心波长	考虑入射角度效应与 LED 发热问题，当窄带滤光片在遇到带角度的光线入射时，窄带滤光片的中心波长将向短波方向移动，当 LED 温度升高时，LED 的中心波长将向长波方向移动。
截止范围	窄带滤光片的截止范围主要是根据接收器本身的响应范围和接收器所处环境中的干扰源波长范围决定的。接收器 CCD 的响应范围为 400~1100nm。在人脸识别场合，干扰源主要是漫反射或散射的太阳光和周边的人造光源，跨越的波长范围很广，从紫外一直延伸到近红外。综合这两者原因，人脸识别用的窄带滤光片的截止范围可以确定为 400~1100nm。
截止深度	理论上讲，在截止范围内的透过率越低越好，但考虑到制作成本和实际需要，截止深度要选择在合理的数值，一般而言小于 1%时效果已能达标。
峰值透过率	要提高抗干扰能力需要进一步增加 LED 光的入射强度，使信号光的强度比干扰光的强度大数倍以上，此时 CCD 接收器的响应很容易饱和而使图像失真，这时需要窄带滤光片在滤除截止区域的干扰光的同时，对信号光波段要起到一定的衰减作用。一般取 40%~60%。
滤光片厚度	一般来讲滤光片不是放在 CCD 传感器前方而是放在镜头前方，要想把滤光片置于摄像头之前，要求滤光片厚度很薄，经过实践用 0.55mm 或 0.7mm 厚的滤光片是合适的。

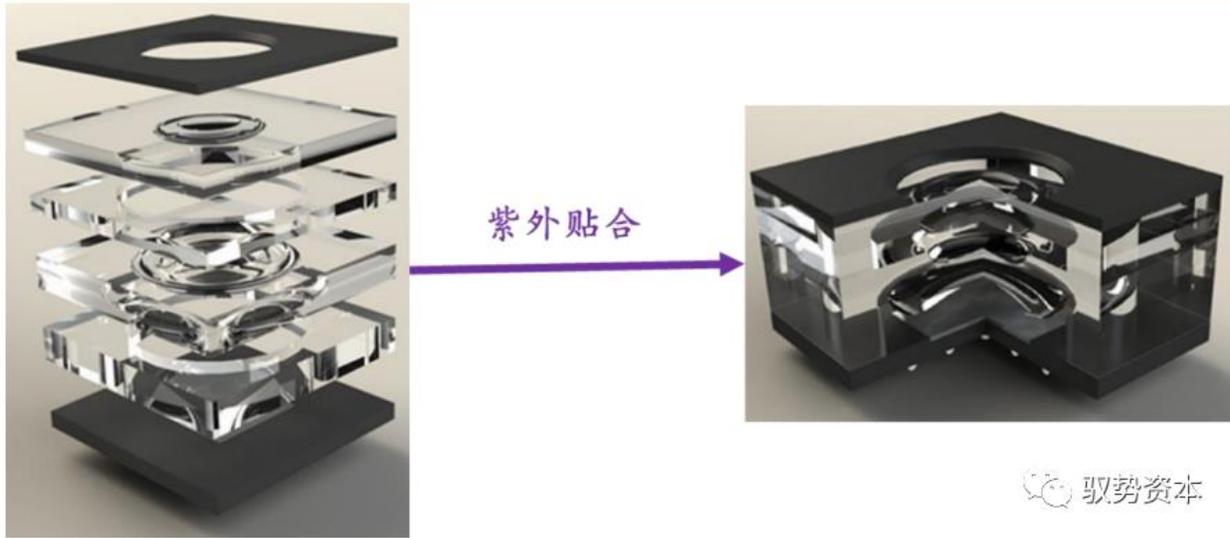
5、一种重要的光学镜头封装方式：WLO将大幅降低生产成本，提升效率和良率

工艺方面，晶圆级别光学制程（WLO）有望被大范围运用至光学传感器及微型光学器件（镜头、DOE等）生产。

近年来高精度的紫外压印光刻技术和紫外贴合技术为晶圆级别制程提供了技术基础，晶圆级别制程的运用为大幅降低微型光学透镜提供了可能，从而开始逐渐替代传统的筒形摄像头模组技术。

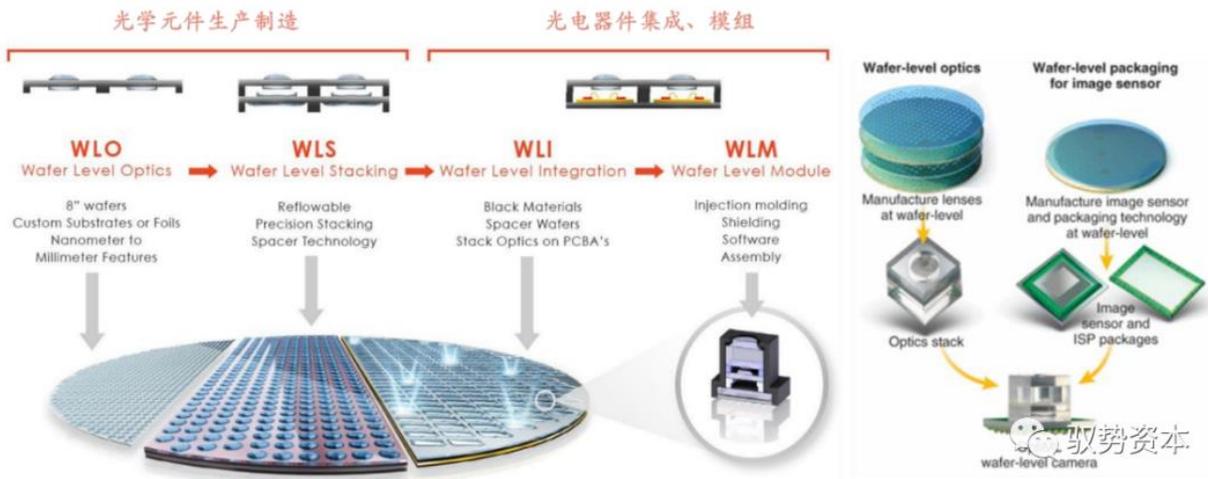
WLO首先利用紫外压印光刻技术（UV imprint）在晶圆级别生产微型透镜，之后利用紫外贴合技术（UV bonding）将各层透镜进行堆叠。如果是生产光学传感器的话，最后还要在晶圆级别上将透镜部分和传感器进行集成和模组。

利用紫外贴合技术进行光学透镜堆叠



因此当我们在谈论晶圆级别光学制程时，实际上包括：透镜制造、传感器制造、传感器封装、透镜堆叠、集成以及模组至少六项晶圆级别工艺。

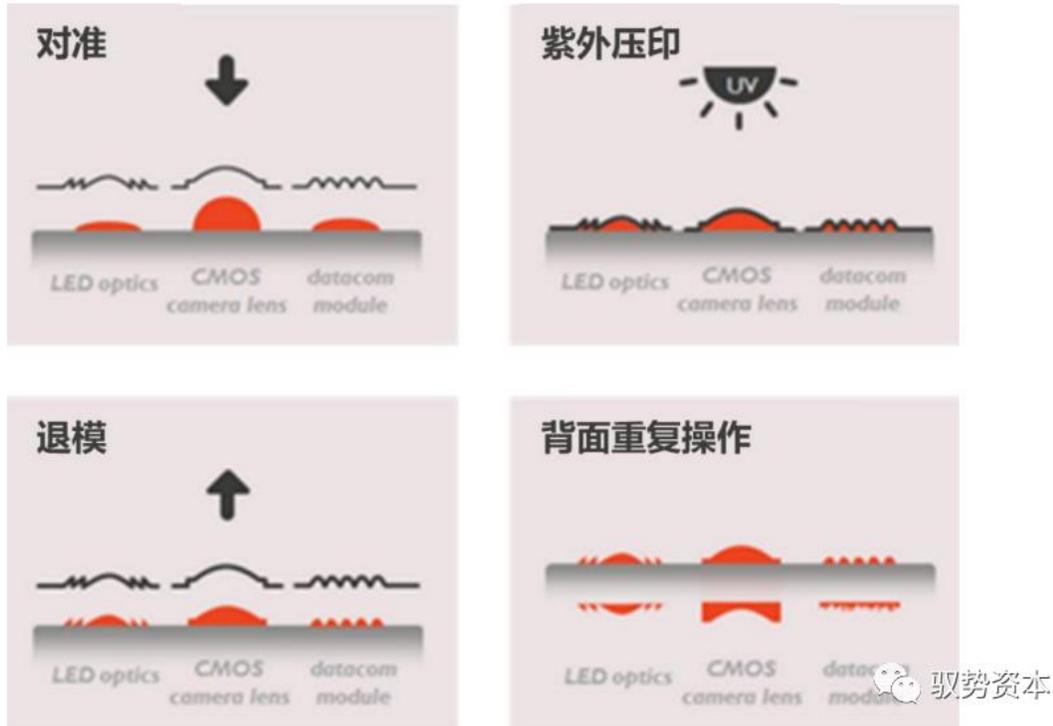
晶圆级别光学元件制造及光电器件集成示意图



基于紫外线的压印、固化以及贴合技术是WLO关键技术，从光学元件制造过程来看：首先将涂覆液体聚合物的衬底和透明压模（一般采用石英玻璃或PDMS）装载进对准机，完成光学对准后开始接触，透过压模

的紫外曝光促使压印区域的聚合物发生聚合和固化成型。固化后再进行退模、刻蚀等工艺就可以得到微型光学元件，继续进行后续的堆叠、集成等工艺。

WLO 光学元件制造过程



与传统光学制造工艺相比，晶圆级别光学制程主要具有以下优点：

- 1、大幅降低成本（不过设备价格十分高昂）；
- 2、基于紫外压印光刻和紫外贴合技术，能够实现高精度光学元件制造和堆叠；
- 3、完美切合微型化光学元件和光电器件；

目前WLO领域Know-How主要掌握在四大厂商Heptagon、Aptina、Himax、Visera以及设备厂EV Group手中，其中我们预计Heptagon和Himax有望为大客户新产品光学传感器及微型光学元件提供WLO工艺。中国大陆掌握晶圆级封装技术的厂商有晶方科技与华天科技。

6、激光器光学组件是激光发射处理的必须且重要环节

以上是针对目前了解到的IR VCSEL激光发射器的光学组件梳理，但必须强调的一点是，目前尚不排除仍然有其他光学组件集成于激光器组件中的可能性。因此，我们有必要对激光器光学组件做整体梳理。

光源之外，用于进行光束整形（包括匀束、分束、耦合等）的精密光学元件正在成为消费电子光学重要一环！激光由激光器发射后通常需要多种光学元件来对光束实现准直、匀束、分束等整形处理，有的时候还要根据特定情况采用Q开关、调谐部件等器件来产生光脉冲或是改变激光波长。我们在下图将目前主要的光束处理光学元件列出，其中DOE和微透镜阵列技术以及准直器在最近几年发展迅速，经常配合半导体激光器进行匀束、分束等整形过程。

常用的光束处理光学元件和功能

	气体激光器	分光镜	将一束激光分离成多束
	固体激光器	窗口片	保护敏感元件
	光纤激光器	偏光镜	用于偏振操作
	半导体激光器	棱镜	用于光束偏转
		准直器	将发散光变为平行光
		光阑	用于限制光束
		采样器	采集与主光束同分布的小束激光
		耦合器	功率分配器件
		Q-开关	产生脉冲
		调谐部件	在一定范围内改变激光波长
		DOE	衍射元件，用于匀束、分束等光束整形
		微透镜阵列	用于激光匀束、分束

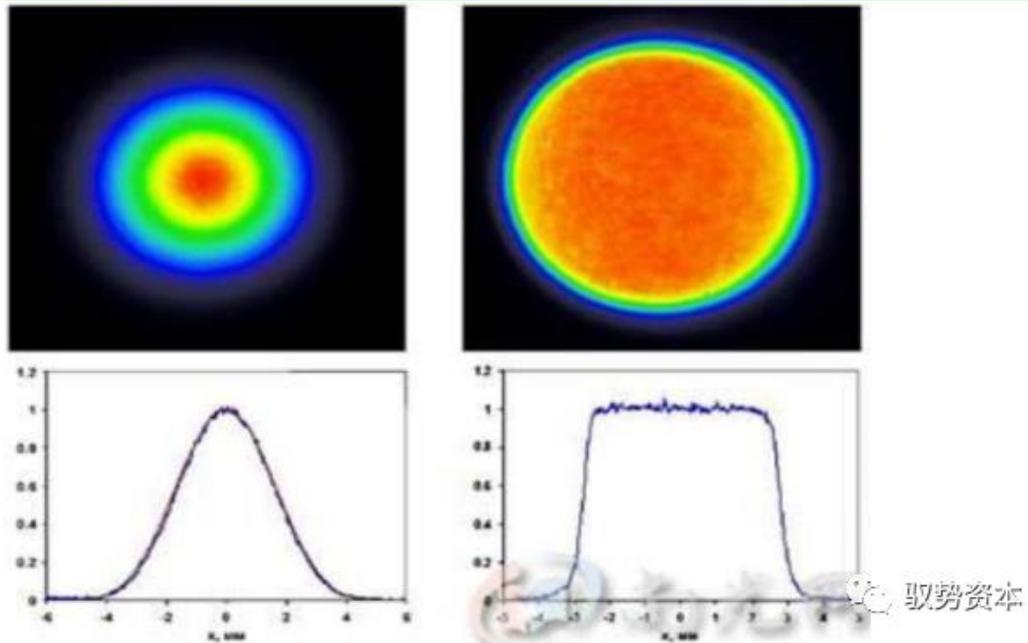
常配合半导体激光器应用

我们以激光加工为例说明对光束整形的必要性：未经处理的光束被概称为高斯光束，通常表现为中心处光强最强，向边缘方向光强逐渐减弱，呈高斯型分布。如果不进行处理直接利用高斯光束进行加工会有以下缺点：

- 1、在进行微加工时，高斯光束的大部分能量不能被有效利用；
- 2、高斯光束加工时为了保证均匀性，光斑间要重叠，因此会降低加工效率。因此我们需要利用光学元件来对高斯光束进行整形，将其转换为平顶光束使能量分布均匀，从而大幅提高加工质量，减小热影响区域，提高加工效率。

在3D摄像技术以及激光投影等消费电子应用领域，对激光器发出的光束进行整形更加具有必要性。在激光投影技术中光束需要通过匀光、整形单元以满足LCD、LCoS、DMD的均匀照明需求；在基于结构光技术的3D摄像中也需要将光束进行匀光、分束均匀地分布投射至周围环境中，形成多个散斑来进行捕捉、分析。同时若不进行匀束的话光束中心能量过大还可能对人眼造成伤害。

高斯光束 VS 平顶光束

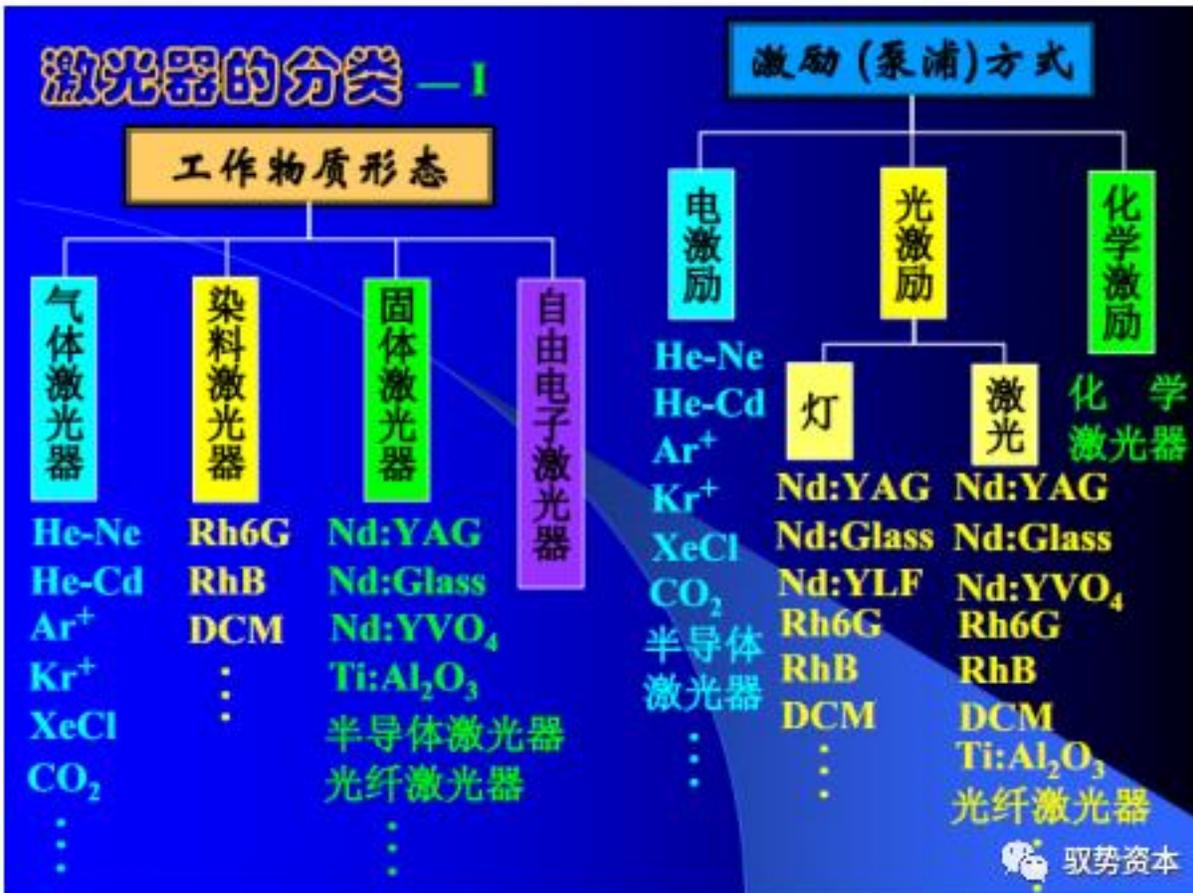


再以泵浦为例，很多次激光器并非一次激光发射器，需要二次或多次激发；与激光的能耗要求、波形特点等等相关，在使用光泵浦的情况下，需要加入激光晶体作为工作物质，实现功率的提升等要求的改善。

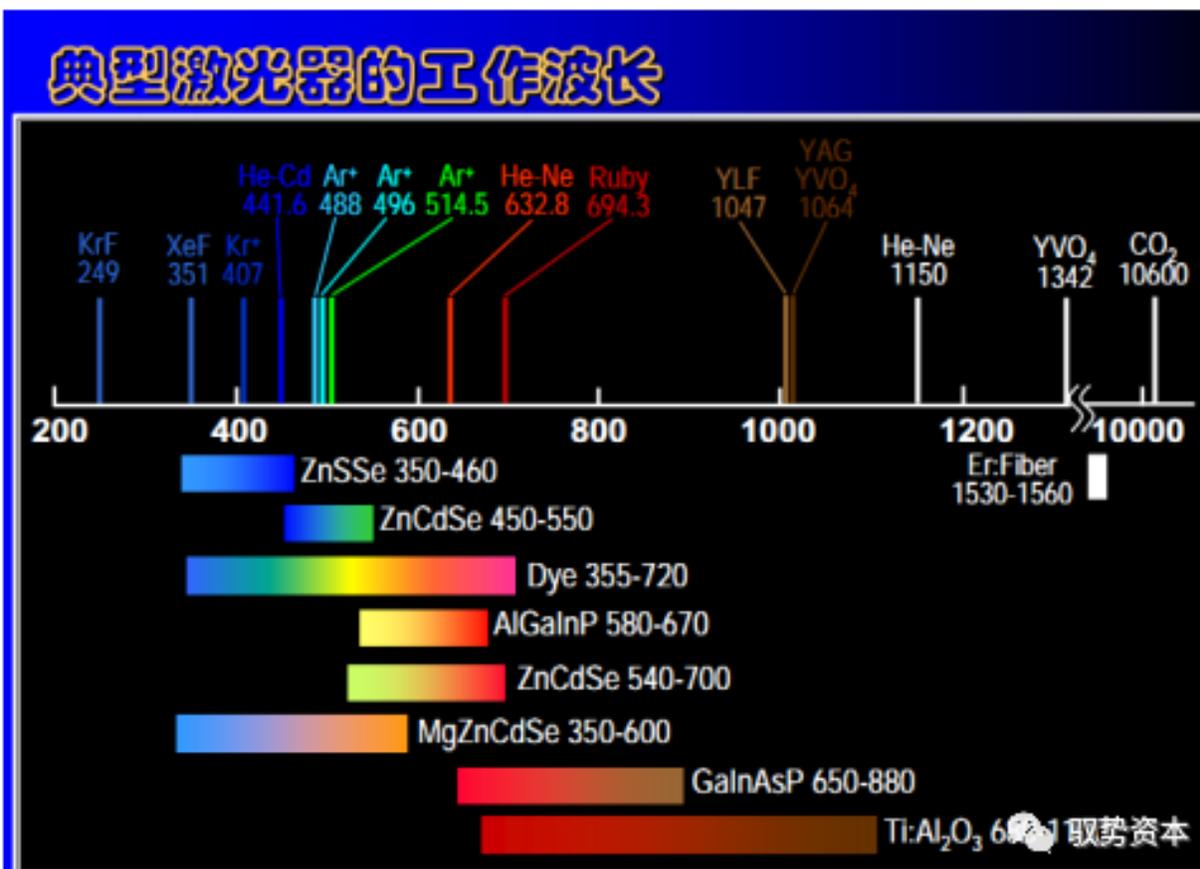
再以波长调控为例，激光器发出的波长在一定的范围内，但要实现特点工作要求的光波就必须使用相关的非线性晶体；进一步，如果要发射脉冲波长的激光，将非线性晶体做成调Q开关实现脉冲控制。

由于种类繁多，结构也比较复杂，我们将再以后针对激光器的变革做单独分析，可以明确的是，随着激光器在消费级以及汽车等领域的爆发，激光器光学组件的用量与产品种类均将快速发展。目前，国内在激光器光学组件做的最好的公司之一是福晶科技，并在激光器晶体与非线性晶体领域稳居全球龙头。

激光器分类



典型激光器工作波长



摄像头

几个对于VCSEL模组的思考

Eye-Safe是激光消费应用必须考虑的问题

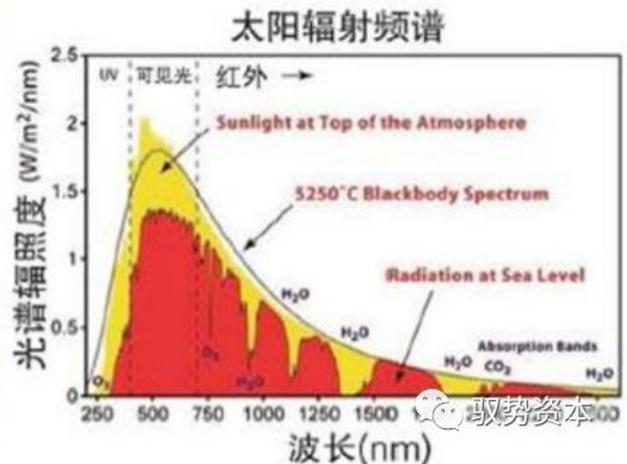
1、为什么VCSEL要从850nm做成940nm?

从850nm (1代) 与940nm (2代) VCSEL性能对比, 我们发现, 940nm在各方面都具备了压倒性优势。为什么会产生如此大的改变, 从而为消费级应用铺平道路呢? 我们认为最核心的原因在于芯片激光波长的选择。

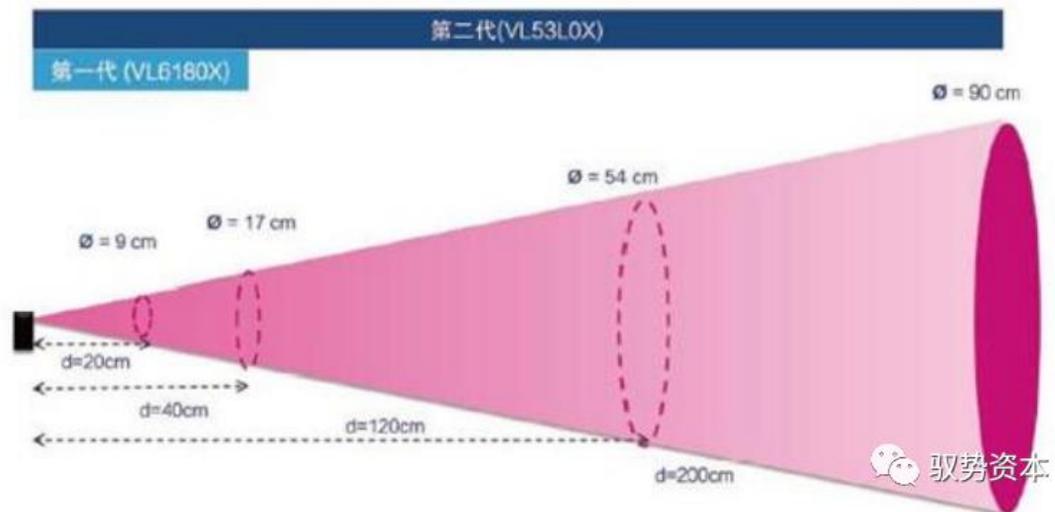
右下角是太阳辐射频谱图，我们发现，在传统工业与通信领域使用成熟的850nm波长并不利于在自然界传播，而在850nm附近的940nm波段中，存在环境含量最低的一个波谷。因此，由激光器所发射的940nm的波段在环境中数量很少，继而发出的光受到的干扰很小，第2代比第1代的有效距离将会长很多，测量精度也会有较高提升。

850nm 与 940nm VCSEL 性能对比

	第一代 VL6180X	第二代 VL53L0X
测距	最大40cm (*)	最大 2 m (*)
激光器 (Class 1)	850nm	940nm (无红光闪烁)
视野	25度	25度
环境光感知	有 (0-100klux)	无
测距速度	几毫秒(*)	第一代的二分之一 (可设置)
测距精度	±10mm (*)	±3% (*)
封装尺寸	2.8 x 4.8 x 1 mm	2.4 x 4.4 x 1 mm



940nm VCSEL 探测距离与范围成倍提升

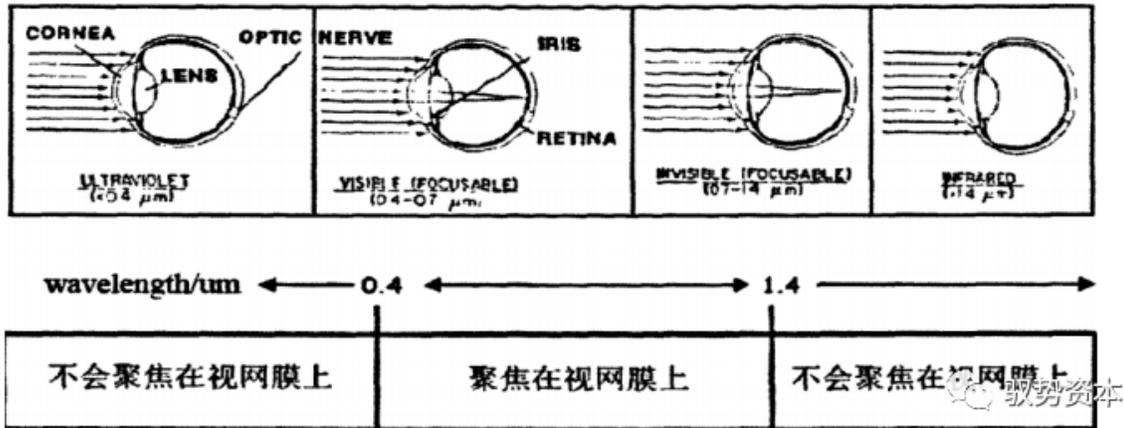


2、940nm VCSEL是否考虑了Eye-Safe?

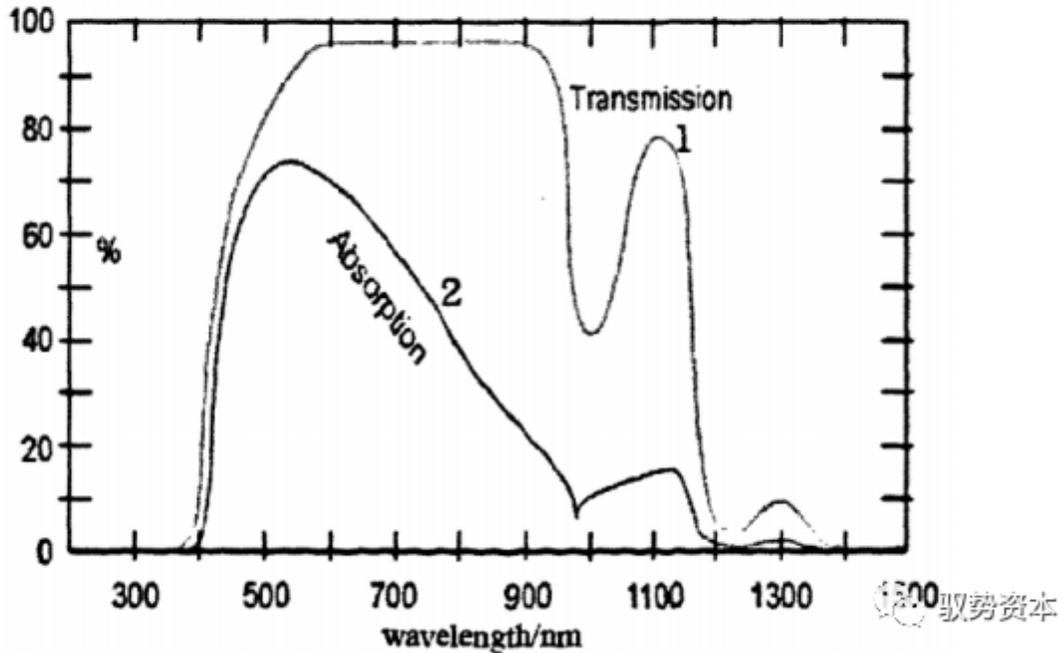
940nm VCESL是否考虑了Eye-Safe? 答案肯定是有, 如下图940nm除了在自然界受影响最小的波段的特点以外, 也是相邻波长中对于眼镜伤害最小的波段。

但我们通过原理分析发现, 940nm并不是绝对安全的波段, 且人眼结构将导致此种影响指数级扩大。激光对于人眼的伤害一般来说对比皮肤表面的伤害要更加显著, 一平行入射光进入人眼之后, 将聚焦于视网膜上的一小区域, 由于通过水晶体的聚焦, 将使光强度在单位面积上提升至10万倍, 即对于波长400nm-499nm的激光, 若入射至眼睛的强度为 $1\text{ mW} / \text{cm}^2$, 则视网膜却接收到约 $100\text{ W} / \text{cm}^2$ 的强度。同一介质对于不同波段光源的吸收率并不相同, 所造成的伤害也不一样, 对于眼球照射的曝光量大于某个临界值, 不论哪个波段的光源, 都将对眼球造成伤害。辐射波长在400nm以上到700nm的可见光波, 会穿透眼睛的视网膜、水晶体和玻璃体, 主要对眼睛的视网膜造成伤害; 近红外波段(780~1400nm)也会造成白内障、视网膜损伤; **但辐射波长在400nm以下以及1400nm以上的激光, 几乎都被晶体吸收了, 所以不会造成眼球内部的伤害。**

绝对安全的波长在小于 400nm、大于 1400nm



不同辐射波长聚焦在眼镜的位置



如何解决激光人眼安全安全问题一定是后续我们关注的重点。目前获得人眼安全激光的技术主要有Raman-shift laser技术、Er-doped glass laser技术和Optical Parametric Oscillators(OPO)技术。其中Raman-shift laser需要借助高压气体(CH_4 甲烷)才能实现, 激光器系统结构非常复杂, 可靠性差; Er-doped glass laser能够直接实现人眼安全激光输出, 但Er-doped glass是三能级激光系统, 振荡阈值高, 抗激光损伤能力差, 重复频率和激光能量较低。

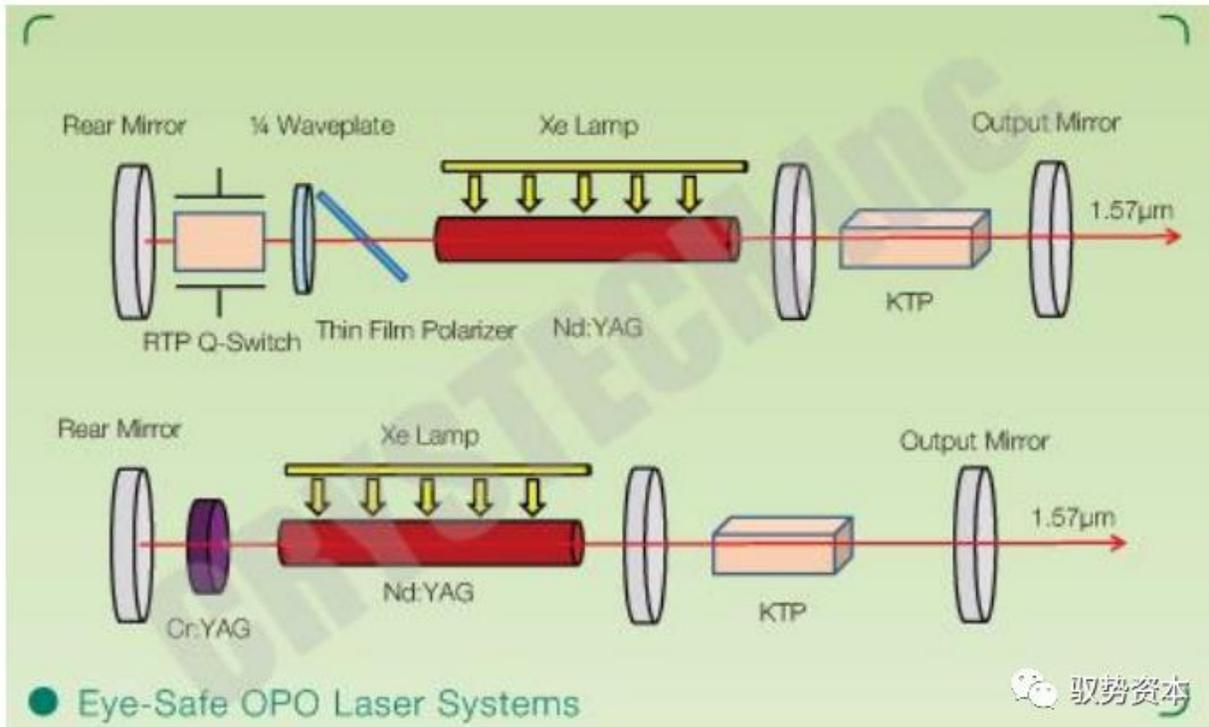
而OPO技术是目前最广泛使用的获取该波段的技术手段，只需在激光谐振腔中插入一块非线性晶体，其结构紧凑、体积小、重量轻、可靠性高，非常适合应用于小型化的固体激光器。

与其它方法相比，OPO技术更具有以下优势：

- 全固态激光器泵浦技术成熟、效率高，OPO信号光波长可做到精确调节；
- 容易获得高光束质量的激光输出，可满足激光光电系统的数据率和作用距离日益增长的需求；
- 有广泛可用的非线性晶体材料；
- 阈值功率密度比Raman-shift laser低，热效应比Er-doped glass laser弱；
- OPO技术亦可以获得1064nm / 1570nm双波长的激光，对特殊场合应用有重大意义。

目前，福晶科技全资子公司青岛海泰光电已掌握Eye-Safe OPO技术，同时他是国内最大的该类非线性晶体KTP供应商。

海泰光电 Eye-Safe OPO 技术示意图



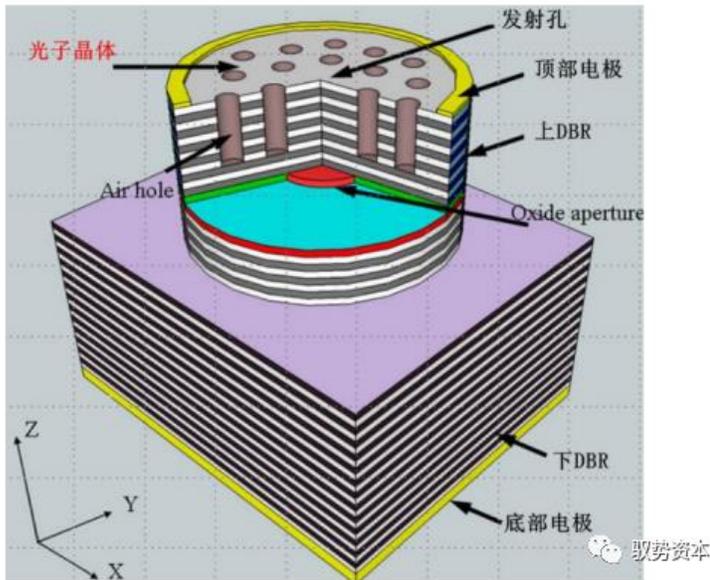
**VCSEL会否在结构上优化，
达到更低功耗、更高效率的要求**

1、一种明确的优化——单模光子晶体

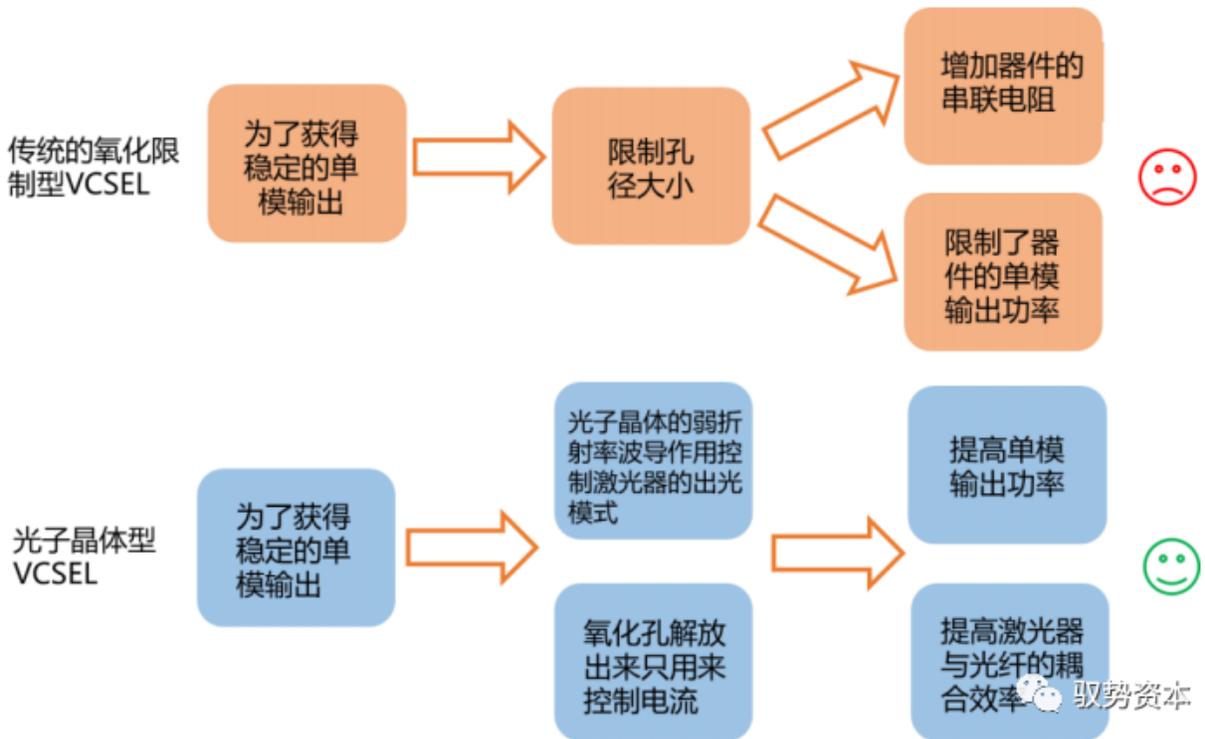
单模光子晶体VCSEL技术发展是VCSEL器件由光通信领域向3D sensing应用演进的一大驱动力。普通VCSEL具有多横模激射以及偏振方向不稳定等缺点，因此要想使VCSEL能够在传感器领域使用，就需要改善VCSEL的横向模式、实现激光器基横模工作。

光子晶体VCSEL是指在其上DBR中引入了二维光子晶体组成的周期性空气孔结构的VCSEL。这一结构能够有效控制垂直腔面发射激光器的模式，使器件工作在基横模状态，从而获得更小的远场发散角、更均匀的光强分布、更窄的光谱线宽。

引入光子晶体的 VCSEL 结构



光子晶体 VCSEL 较传统 VCSEL 有关键改善



2、会否有其他优化?

我们觉得优化的趋势将一直存在，将会集中表现在效率提升、成本下降等方面。

我们做个思考，在上面的讨论中提到VCSEL激光器是一种非常好的二次泵浦光源，意味着我们只需要加入一定的工作物质/晶体就能形成一个二次光泵浦结构，实现效率的快速提升；其中Nd: YOV4是性能最为优异的激光晶体（激光工作物质）。它的直接好处就是在同样性能的情况下，实现功率的下降-即省电。

此种推测我们尚不能得到确认，是一种可能性的升级思考。但我们通过产业链调研了解到，福晶科技（全球最大的Nd: YOV4激光晶体供应商）为主要的VCSEL龙头公司有提供相应的晶体材料。

<https://www.eet-china.com/mp/a78696.html>