

汽车 LIDAR 应用的封装趋势

作者 : *Ajay Sattu 博士、Weilung Lu、Mike Sleiman、Burt Barber、Amkor Technology, Inc.*

现代汽车安全性改革将会降低道路交通意外事故的死亡率及相关损失。每年，全球约有 135 万人死于道路交通事故。而且，这些事故造成的损失相当于大多数国家/地区国内生产总值的 3% [1]。人为疏失是导致大部分交通死亡事故的主要原因。根据美国国家公路交通安全管理局 (NHTSA) 的 2018 年年度报告（发表于 2020 年），在美国发生的导致人员死亡的交通事故将近有 3,4000 起；此外，还有 190 万起撞车事故导致人员受伤，480 万起造成财产损失 [2]。虽然汽车厂商（原始设备制造商 [OEM]）在现代汽车中已经集成了一系列传感器，如无线电探测和测距（雷达）、摄像头、惯性测量元件 (IMU)，以及防抱死制动系统 (ABS) 等，持续的改进还将进一步推动自动驾驶。近年来，光探测和测距 (LIDAR) 技术已在诸如先进驾驶辅助系统 (ADAS) 和自动驾驶 (AD) 等应用中验证可行。随着汽车行业不断提高具有 ADAS 和 AD 功能的新型汽车安全性，各种尖端解决方案展现出光明的前景。大多数 OEM 和系统 (Tier1) 供应商相信，LIDAR、雷达和摄像机组合对于稳定的安全平台来说必不可少。

行业趋势

根据 SAE International（前身为汽车工程师学会）的标准，汽车的自动驾驶功能可分为 L0 到 L5。图 1 即按 SAE J3016 标准为各个级别列明的一般描述和准则。下文将讨论每个级别所提供的关键驾驶辅助功能。例如，L1 包括自动紧急制动 (AEB) 和车道偏离警示系统 (LDWS) 功能，而 L2 具有车道保持辅助 (LKA) 和自适应巡航控制 (ACC) 等安全选项。在长时间驾驶一辆具有部分自动驾驶功能的 L2 级汽车时，司机的手和脚可以分别离开方向盘和踏板。虽然特定驾驶场景中可使用 L2 级功能，但司机需要持续关注驾驶环境。因此，对于 L3 级汽车来说，从部分自动驾驶到有条件自动驾驶的转变成了一项更艰巨的挑战。

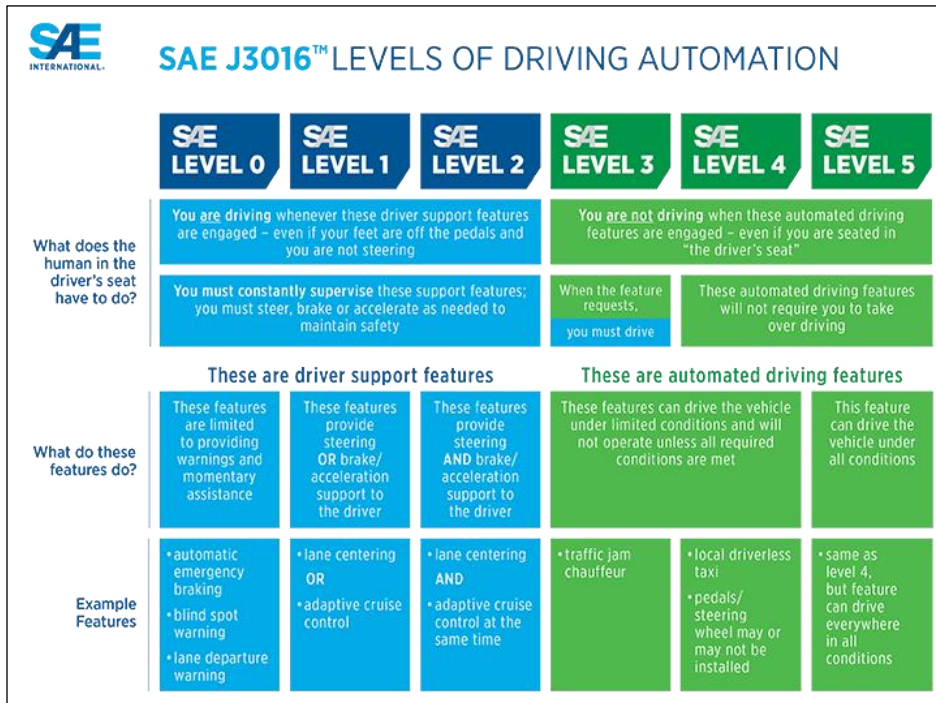


图 1：SAE 自动驾驶级别。资料来源：SAE International

随着从人类司机到机器驾驶的过渡，L3 级汽车将具有很多特殊功能，例如，塞车辅助 (TJA) 和驾驶员监测系统 (DMS) 等。有别于 L2，L3 级汽车将检测环境的重任放在汽车传感器套件的肩上。然而，从 L2 到 L3 的转变是细粒化的，因为行业定义了一种名为 L2+ 的中间级别。L2+ 得到高清地图的技术支持，并在最佳和次佳驾驶环境中对视野进行预测。从本质上来说，L2+ 提高了汽车对路径的理解，尤其在没有车道线以及对驾驶目的地不熟悉的情况下。比 L3 更高的 ADAS L4 和 L5 将包括在高速公路上以及任何其他地方自动驾驶 (AP)，并且具有机器人汽车必备的高自动化和全自动化功能。

目前生产的大部分汽车都属于 L0，但如图 2 中所示，采用 L1 或更高级别的汽车将有望增加。例如，在 2019 年，每六辆售出的汽车中有一辆具有 L2 或更高级别的功能。然而，再过大约十年左右，几乎每两辆汽车中就有一辆将搭载 L2 或更高级别的功能。大多数 OEM 在设计 L2 级汽车时所采用的一般方法就是使用多个雷达和摄像头传感器。虽然这种做法到目前为止已被接受，但仅仅依赖雷达和摄像头传感器可能还不足以实现 L3 或更高级

别。其他传感器，如 LIDAR，得益于与雷达和摄像头的互补性，正越来越多地受到关注。

图 3 显示的是，在类似的测量环境中，对这些传感器进行相互比较时所得的全方位的性能数据。

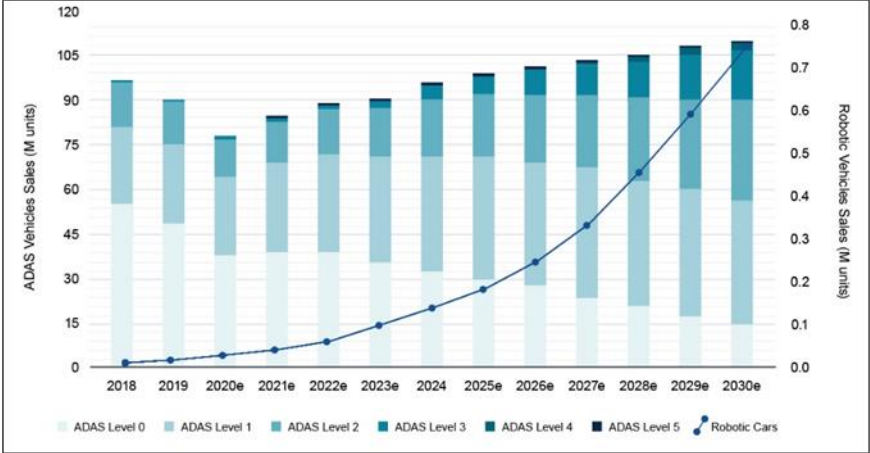


图 2：轻型汽车预测和 ADAS 级别。资料来源：Yole、IHS Markit

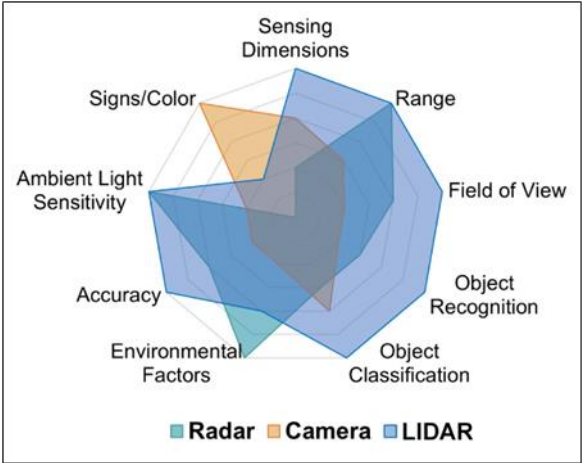


图 3：雷达、摄像机和 LIDAR 的相对比较。资料来源：Quanergy、Velodyne

从质量上来说，因为要处理获取的图像，摄像头需要明显更强的算力。另一方面，LIDAR 传感器依赖模拟侦测或统计方法来生成点云图像。因此，它需要较少计算周期。虽然 LIDAR 传感器的侦测距离、分辨率和准确性都优于摄像机，但它却无法取代摄像机，因为摄像机有能力识别道路交通标志和不同的颜色。另外，在 ADAS 系统中，LIDAR 和摄像头的感知都获益于雷达的前处理。例如，摄像头传感器的运行性能因下雪而降低，而且天气条件可以改变传播介质的折射率，并且缩小 LIDAR 的可能侦测距离。

LIDAR 传感器的前景

为了理解潜在的驱动力，可将 LIDAR 传感器市场的当前发展前景大致分为四个部分：测量技术、发射源、探测器，以及光束控制。在测量方面，飞行时间 (ToF) 和调频连续波 (FMCW) 是被采用的两种最主要的方法。在 ToF 中，通过确定传输和脉冲到达的时间差来计算距离。此类系统所使用的脉冲通常具有非常高的功率，但脉冲宽度较小。可侦测的距离与脉冲的峰值功率成正比。采用这种测量技术，物体的距离是可测的，但速度不可测。

如果是 ToF，信噪比 (SNR) 问题会更突出，尤其在光线充足的环境中。由于当前 ToF 系统的可实现接收器敏感度有限，其侦测距离通常被限制在 100-200 米之间。相较之下，FMCW 相对不受 SNR 问题的影响，因为这项技术依赖被传输光子的数量，而不是峰值激光功率。此外，由于其具有相干检测性质，只有相关的波长会被放大并进行信号处理。FMCW 能够以相对较低的功率同时侦测物体的距离和速度。

在发射器技术方面，大多数设计师倾向于选择激光二极管而不是光纤激光器或其他类型，因为它们可以提供更出色的性价比和系统级集成。在较常用的激光二极管设计当中，边射型激光器 (EEL) 和垂直腔面发射激光器 (VCSEL) 被广泛地讨论。由于光线从 EEL 的边缘射出，它们更适合用作分立元件而不是阵列。然而，如果视野 (FoV) 较宽而且距离较远，阵列则比分立二极管以及以高功率运行的发射器更适合。但这通常会导致冷却系统的成本升高。另一方面，考虑到 VCSEL 的顶部发射特性，它们可以被制造出来作为阵列元件。虽然 VCSEL 技术属于新兴领域，但随着在汽车中的使用，其每瓦成本有望降低。据信，EEL 光源的侦测距离可达 500 米，但因为光束的椭圆特性，照度是它的一项缺点。而 VCSEL 比 EEL 的光束形状更紧凑，可用距离最远 300 米。最后，发射波长是发射源要考虑的另一项关键因素。在最大允许的照射量情况下，今天所使用的大多数发射器都大约为近红外 (NIR) 905 纳米，若功率较高，它对人眼较不安全。出于这点考虑，短波红外 (SWIR) 波长在 1550 纳米左右的发射器正越来越受到瞩目，因为它对于人眼更加安全。

至于接收端，FoV 成为确保反射光被高效捕捉，并通过模拟侦测或统计侦测进行处理的关键所在。光电探测器的有效区域、镜头焦距以及光带通滤波器的位置都会对 FoV 造成影响。原则上来说，较宽的 FoV 更受欢迎，但它需要的光电探测器晶片较大，从而产生更大的极间电容和噪音。今天，LIDAR 中所使用的侦测器有很多种类型，如光电二极管 (PD)、雪崩光电二极管 (APD)、硅光电倍增管 (SiPM) 和单光子雪崩二极管 (SPAD)。采用 NIR 发射器的侦测器都是硅基的，因此成本不成问题。但 SWIR 探测器为非硅基，其相对较昂贵，1550 纳米左右波长的系统成本更高。虽然所有这些探测器的敏感度和红外探测性能都可被接受，但 SiPM 和 SPAD 的优点要多得多。为了有效探测，如果不增加聚光透镜的孔径或使用高光敏性的探测器，就无法提高信号接收功率。另一项挑战是设计带通滤波器，使其能在白天的日光波长，以及夜晚的路灯和车头灯照射下运作。因此，模拟侦测仍然要克服很多挑战。有些设计师选择采用 SPAD 的统计侦测，因为 SPAD 的工作原理是接收脉冲，然后制作直方图。

最后，现在正在实施和研究的光束控制技术（见图 4 所示）包括：机械式、微机电系统 (MEMS)、面阵快闪 (Flash) 和光学相控阵 (OPA)，而且在参考资料 [3] 中有更深入的讨论。机械 LIDAR 目前主要用于机器人车辆。这些都是多通道器件，搭载可 360° 旋转的多个激光器和侦测器。对于普通消费者来说，机械设计笨重、昂贵而且不够美观，限制了它在轻型载客汽车上的使用。MEMS LIDAR 采用在硅上与致动器集成的微扫描镜，从而对照射期间的激光束进行控制。与机械 LIDAR 比起来，这些设计相对便宜，但在全地形条件下可靠性存疑。在 Flash LIDAR 中，全部激光束要同时照射，而不是扫描整片区域。此类 LIDAR 中没有可移动的部件，因此可为汽车使用案例提供更高可靠性。显然，要形成一张图像，需要一个探测器阵列。连续闪光与快闪概念稍有不同，不会同时照射全场景，而是按列依次照射。最后，OPA 则通过控制激光的阵列相位来引导照射。与 Flash LIDAR 类似，OPA 没有可移动的部件，因此也可以提供出色的可靠性。

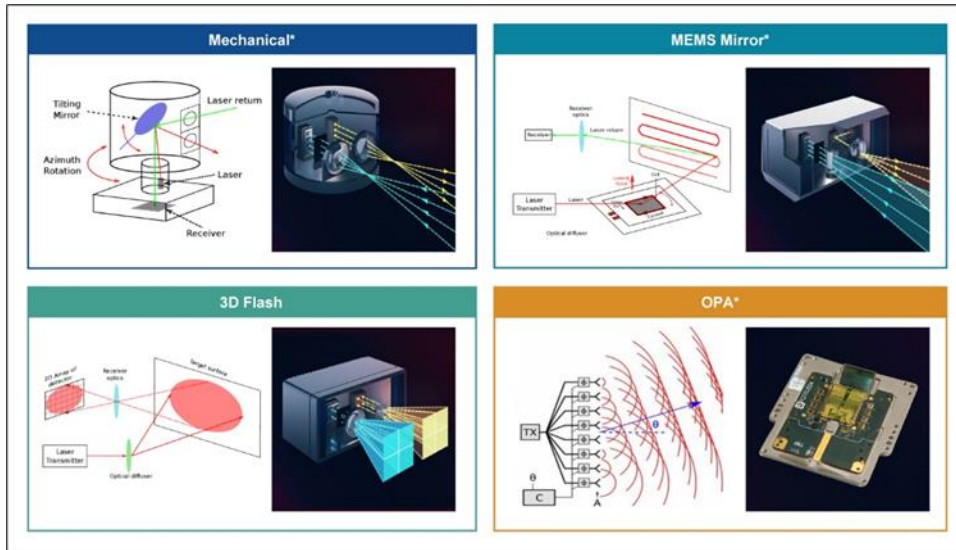


图 4：LIDAR 光束控制技术 [3]。（* 说明扫描机制。）

封装解决方案

因为缺乏政府对 LIDAR 的强制规范，汽车 OEM 选择以冗余来确保自动驾驶的安全。摄像头、雷达和 LIDAR 不仅互补，而且在某些应用中也可以竞争，如图 3 所示。我们能为 ADAS 市场中新兴的 LIDAR 传感器提供封装解决方案。由于 LIDAR 客户的要求各异，市场中充斥着高度碎片化的各种解决方案。但现在，LIDAR 系统的成本更高，究其原因是因为规模经济效益低，而且大规模市场（如汽车市场）当前所采用的技术本身成本高昂。图 5 中显示的是机械 LIDAR 的成本细分示例。根据 IHS Markit 的数据，针对具有 64 通道扫描的机械 LIDAR 系统，其成本有望在 2025 年前低于 800 美元。一旦实现，专注于以 L4 以上 ADAS 能力提供出行即服务 (MaaS) 的 OEM 也许可以承受这种价格的 LIDAR 模块。但对于个人使用的车辆，成本更低的 LIDAR 解决方案可能更加受到青睐。

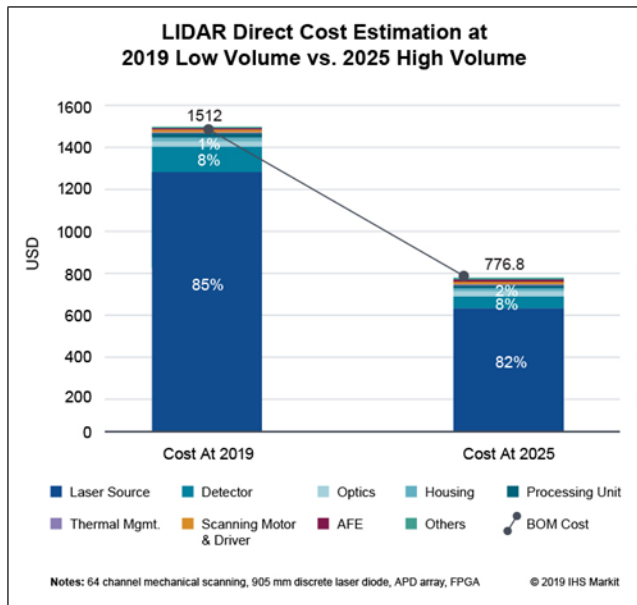


图 5：LIDAR 成本细分和趋势。资料来源：IHS Markit

作为半导体封装与测试外包 (OSAT) 供应商，我们借助于深厚的专业知识和规模经济来提供经济高效的解决方案。例如，通过在我们的 MEMS 传感器平台上使用标准化工序流程成功降低成本。空腔球栅阵列 (BGA)/平面栅格阵列 (LGA) 和模塑空腔 BGA/LGA 标准化封装可以应对很多市场，如生物特征识别技术、汽车、人类接口、环保和医疗/健康。标准化还可以缩短上市时间。虽然目前大多数激光二极管和探测器封装都使用高成本陶瓷基板，层压板、罩盖和模塑化合物在供应商的不懈改进下可以用来确保低成本解决方案的质量和性能。要进一步明白如何降低成本和优化功能，就需要了解 LIDAR 系统的组成模块（图 6）。目前这些模块包括照射场景的发射源、捕捉反射光的探测器、处理信号的专用集成电路 (ASIC) 以及用于分析数据的处理单元。虽然当前大部分解决方案都采用分立形式，但未来可能的发展趋势是多芯片集成于单个封装或多个封装体集成于单块基板上。

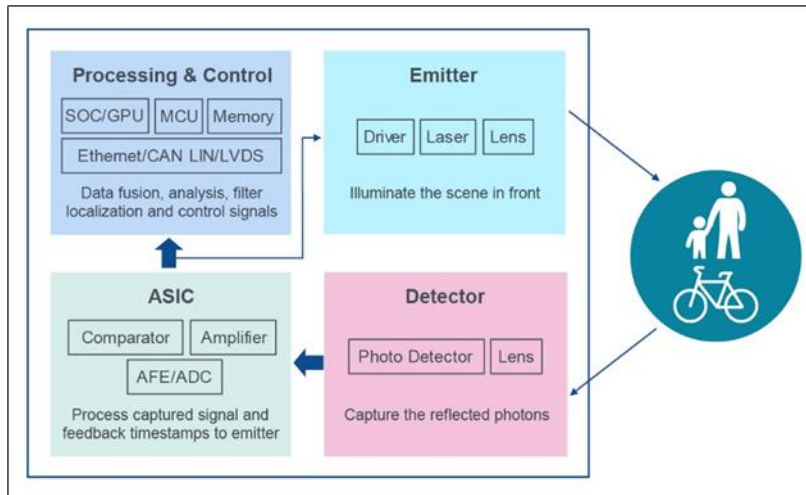


图 6：LIDAR 组成模块。资料来源：IHS Markit

系统级封装 (SiP) 模块在诸如信息娱乐这类汽车电子应用中的成功，引发了 LIDAR 封装集成解决方案如何实现的问题，以及对各趋势的可能性的探讨。例如，集成 APD 和跨阻放大器 (TIA)，或集成 SPAD 和 ASIC，均可以采用并排或 chip-on-wafer (CoW) 封装解决方案。此外，可通过印刷电路板 (PCB) 级混合封装方案或单芯片片上系统 (SoC) 探测器方案来集成数字信号处理 (DSP) 晶片。两者都有自身的优缺点。例如，单芯片解决方案提供低 NIR 敏感性，而且探测速度更加出色，而混合封装方案的 NIR 敏感性较高，具有更佳孔径比。要优先满足低电感要求，特别是在 ToF 可探测范围内，就需要高功率、短脉冲，且关键是从长引脚通孔激光封装（具有高电感）过渡到激光二极管表面贴装阵列。光束质量是另一项要求，很大程度上取决于如何减少封装的电损耗。为找到正确的发展方向，可利用光学指纹传感器和 MEMS 传感器的成功技术成果来为 LIDAR 客户优化封装解决方案。

此外，模塑空腔指纹传感器封装（图 7，结构 A 和 B）已成功通过汽车电子委员会的 AEC-Q100 Grade2 车规认证。虽然车规封装需要满足比消费类指纹传感器更严苛的标准，我们已经能够采用标准化流程并证明其专门适用于汽车 CMOS (互补型金属氧化物半导体) 图像传感器、ToF 和 LIDAR 应用。当前的模塑空腔结构可在不同应用中根据客户需求而变化，包括采用倒装芯片/铜柱焊接取代焊线，LGA 取代 BGA，以及粘贴玻璃的各种环氧树脂。

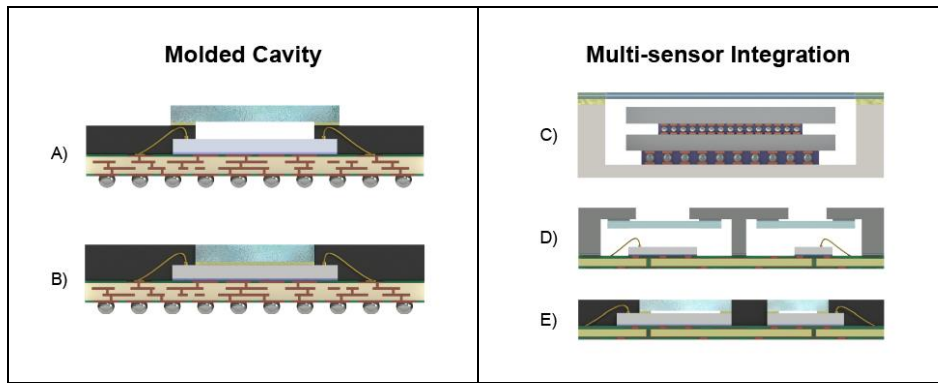


图 7：Amkor 的封装解决方案

在上文讨论的例子中，考虑到适用于手势控制应用的车舱内 ToF 传感器可能并不需要极端清晰而精确的图像，因此无需气隙并使用透明贴片胶 (DAF) 贴装玻璃，封装内的压力升高可以得到缓解。图 8 显示了在红外光谱（770-1000 纳米波长）中可提供超过 93% 透明度的一款透明 DAF，在不同波长时的透明度。结构 B（图 7）使用透明 DAF 来粘贴玻璃，而结构 A 则利用紫外线 (UV) 固化环氧树脂来粘贴玻璃以形成气隙。UV 固化环氧树脂有助于缓解热固化树脂引起的腔内压力升高。通过运用类似技术，可将多件传感器集成到一个封装当中，并且在未来继续发展。如图 7 中所示，结构 C、D 和 E 显示适用于组合传感器的三种不同解决方案，包括顶部采用堆叠晶片解决方案的陶瓷基板（结构 C）等。由于远距离 LIDAR 的平均功率较高，大约为 12-25 瓦，可能需要顶部陶瓷基板方案。由于散热性能最好且翘曲最小，该解决方案对于很多高发热 ToF 应用来说也是最佳选择。结构 D 和 E 都采用焊线与层压基板互连。区别在于一种使用模塑解决方案 (E)，而另一种则是液晶聚合物 (LCP) 盖板 (D)。两种解决方案都完美适用于较低功率应用。短距离 LIDAR 可能就是其中的一个例子，其典型的功率输出可能小于 6 瓦。通过和供应链和客户开展战略合作，我们可为市场带来这些低成本高质量的 LIDAR 封装解决方案。

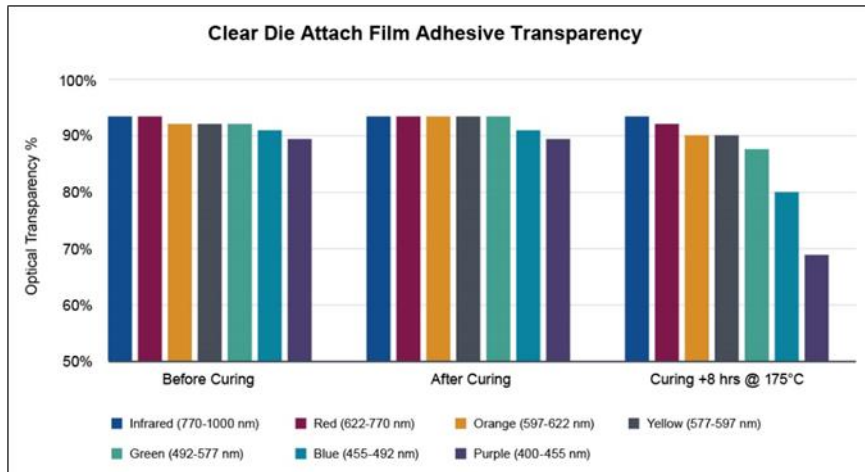


图 8：透明晶片贴片胶透明度光谱。资料来源：Loctite、Henkel Adhesives

总结

在环境、经济和社会因素的驱动下，对复杂的汽车安全解决方案的需求将会增加。可负担的安全性排在优先位置，而 LIDAR 已被开发为 ADAS 的重要组成部分。我们的定位是为 ADAS 的每个细分市场提供封装解决方案，包括摄像头、雷达和 LIDAR 等。利用全球分散分布的工厂，我们有战略性地向全世界的汽车、工业和消费类应用客户提供服务。随着 LIDAR 继续朝着高经济效益解决方案的发展方向越走越远，在专注于为 LIDAR 的光电探测器市场提供现有封装组合产品的同时，我们的传感器封装的创新解决方案（发射器和接收器）也将不断涌现出来，进一步引领单封装/模块集成的发展。展望未来，我们将依赖雄厚的技术知识以及与客户之间的合作关系打造先进封装方案迎接挑战。

参考资料

[1] “Road Traffic Injuries,” World Health Organization, <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/road-traffic-injuries>

[2] “Traffic Safety Facts Annual Report Tables,” NHTSA, <https://cdan.nhtsa.gov/tsftables/tsfar.htm>

[3] Y. Li, J. Ibanez-Guzman et al., “Lidar for autonomous driving: the principles, challenges, and trends for automotive Lidar and perception systems,” IEEE Signal Processing Magazine, Vol. 37, Issue: 4, July 2020.

关于作者

Ajay Sattu 是坐落在亚利桑那州坦佩市的 Amkor Technology, Inc. 汽车产品营销高级经理。他主要负责汽车电气化、ADAS和信息娱乐产品营销和战略工作。在加入 Amkor 前，他曾就职于Infineon，管理宽带隙半导体的技术与产品开发。他发表过多篇经同行评议的文章并在行业会议上做过演讲。Ajay持有南卡罗莱纳州大学的电气工程博士学位，以及加州大学洛杉矶分校安德森商学院的 MBA 学位。他的电子邮件地址为：ajay.Sattu@amkor.com

Burt Barber 是亚利桑那州坦佩市 Amkor Technology, Inc. 的 MEMS 和传感器顾问。他拥有超过 20 年全球半导体供应链工作的经验，曾在 MEMC/Sun/Edison、Texas Instruments、Alcatel、Xilinx 和 Hitachi Semiconductor 担任过多个关键的营销和业务/产品开发职务。Burt 持有圣克拉拉大学的电气工程理科学士学位，以及旧金山大学的 MBA 学位。