

자동차용 LIDAR 애플리케이션 패키징 동향

작성자: Dr. Ajay Sattu, Weilung Lu, Mike Sleiman, Burt Barber, Amkor Technology, Inc.

오늘날 자동차 안전 기능의 획기적인 발전은 교통사고 사망 및 관련 비용을 감소시킬 것입니다. 전 세계적으로 매년 약 135 만 명이 도로 교통사고로 사망하며, 이는 대부분 국가에서 국내총생산(GDP) 3% 손실로 이어집니다[1]. 이러한 교통사고 사망자 발생의 주 원인은 인적 과실입니다. 미국 도로교통안전국(NHTSA) 2018 년 연례보고서(2020 년 발행)에 따르면, 미국 내 교통사고로 사망 약 34,000 건, 상해 190 만건, 재산피해 480 만건이 발생했습니다[2]. 자동차 제조업체(OEM)는 레이더(Radar), 카메라, 관성 측정장치(IMU), ABS 등의 센서 제품군을 오늘날의 자동차에 통합하였으며, 지속적인 개선으로 운전을 더욱 자동화할 것입니다. 최근 몇 년 간 라이다(LIDAR) 기술은 첨단 운전자 지원 시스템(ADAS), 자율주행(AD)와 같은 애플리케이션에 대한 적용 가능성을 확보했습니다. 자동차 업계가 ADAS 및 AD 기능을 갖춘 신형 차량으로 안전 범위를 확장해감에 따라, 다양한 첨단 솔루션의 전망이 밝습니다. 대부분의 OEM 및 시스템 (Tier1) 공급업체들은 확고한 안전 플랫폼을 위해 라이다, 레이더 및 카메라의 조합이 필수적이라고 생각합니다.

산업 동향

SAE International(기존 미국 자동차 공학회)에 따르면, 차량의 자율 주행 기능은 레벨 0 에서 레벨 5 까지 분류됩니다. 그림 1 에서 SAE J3016 표준에 따른 각 레벨의 설명과 가이드라인을 확인할 수 있습니다. 각 레벨의 주요 운전자 보조 기능은 다음과 같습니다. 예를 들어, 레벨 1 은 자동 긴급제동장치(AEB), 차선이탈 경고시스템(LDWS)을 포함, 레벨 2 는 차선이탈 방지 보조(LKA), 어댑티브 크루즈 컨트롤(ACC) 등의 추가 안전 옵션을 포함합니다. 레벨 2 는 차량의 운전자가 오랜 시간 운전대와 페달을 직접 조작하지 않아도 운전이 가능한 부분 자동화 단계입니다. 레벨 2 에서 운전자는 주행 환경을 계속 지켜보다가, 특정 상황에서만 개입하면 됩니다. 따라서, 레벨 3 은 부분 자동화에서 조건부 자동화로 전환되기에 더 큰 과제가 남아 있습니다.

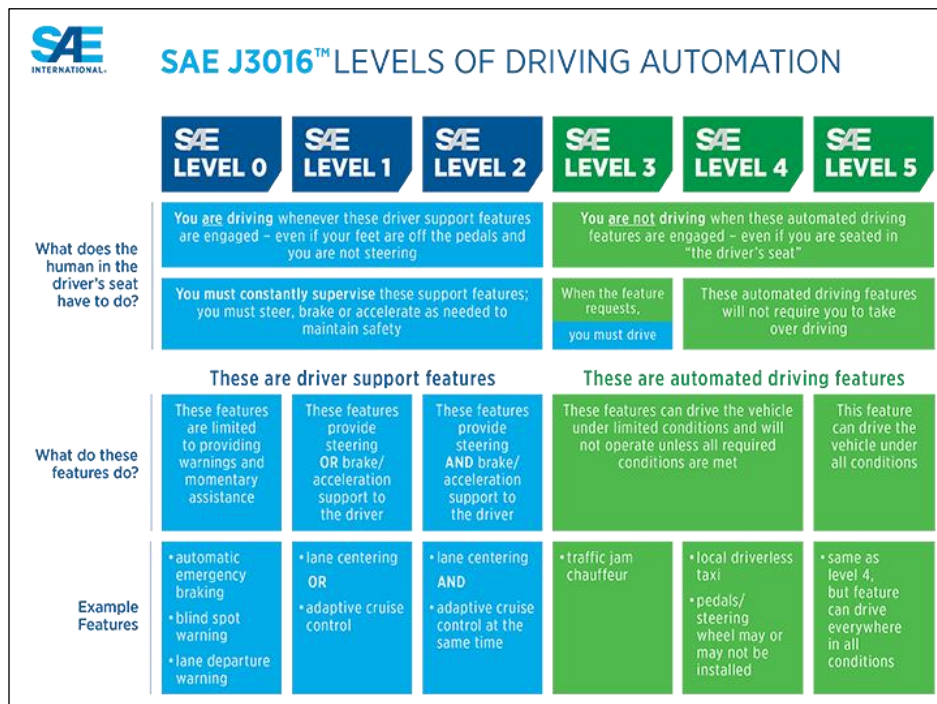


그림 1: SAE 자율 주행 레벨. 출처: SAE International

레벨 3 차량은 운전자와 차량 간 전환이 발생할 때, 혼잡구간 주행지원 시스템(TJA) 및 운전자 모니터링 시스템(DMS)과 같은 기능을 활성화 합니다. 레벨 2와 달리, 레벨 3의 차량 센서 제품군은 주변 환경을 모니터링 해야 합니다. 업계에서는 2+라는 중간 레벨을 지정하여 레벨 2에서 레벨 3로의 전환을 세분화했습니다. 레벨 2+는 최적 주행 조건과 차선 주행 조건 모두에서 수평선을 예측하는 고정밀 지도를 강화했습니다. 레벨 2+는 특히 차선이 없거나 생소한 목적지 운행 관련 경로에 대한 이해도를 높여줍니다. ADAS 레벨 4와 5는 고속도로를 비롯한 모든 장소에서의 오토 파일럿 (AP)을 탑재하여, 로봇형 차량에 필수적인 첨단 완전 자동화 기능을 제공할 것입니다.

현재 생산되는 차량의 대부분은 레벨 0이지만, 그림 2와 같이 레벨 1 이상의 채택이 증가할 것으로 예상됩니다. 예를 들어, 2019년에 판매된 자동차 6대 중 1대는 레벨 2 이상의 기능을 갖추고 있었습니다. 그러나 10년 내 자동차 2대 중 1대는 레벨 2 이상의 성능을 갖추어 예상됩니다. 대부분의 전형적인 OEM은 여러 레이더와 카메라 센서를 사용하여 레벨 2를 구현했습니다. 지금까지는 이러한 방법이 충분하였지만, 레이더나 카메라 센서에만 의존하면 레벨 3 이상의 레벨 실현이

어려워질 수 있습니다. 이외에 레이더와 카메라를 보완하는 특성을 지닌 LIDAR 와 같은 센서들도 주목받고 있습니다. 그림 3 은 유사한 측정 조건에서 비교된 각 센서를 포괄적으로 보여줍니다.

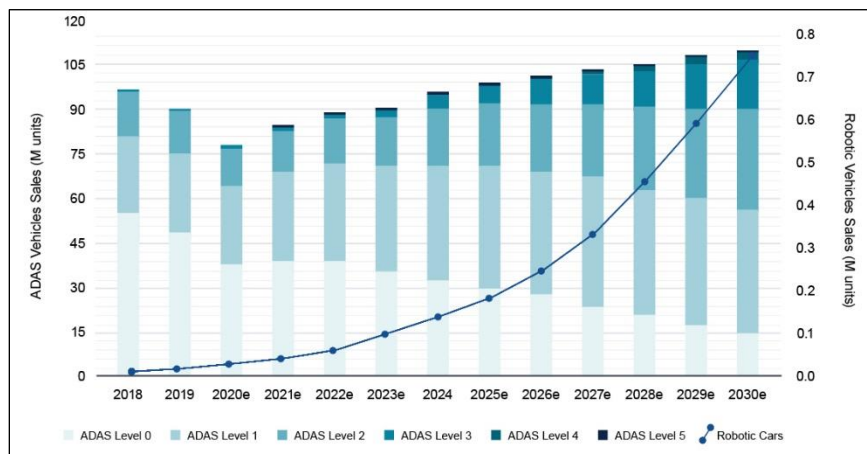


그림 2: 자동차 예측 및 ADAS 레벨. 출처: Yole, IHS Markit

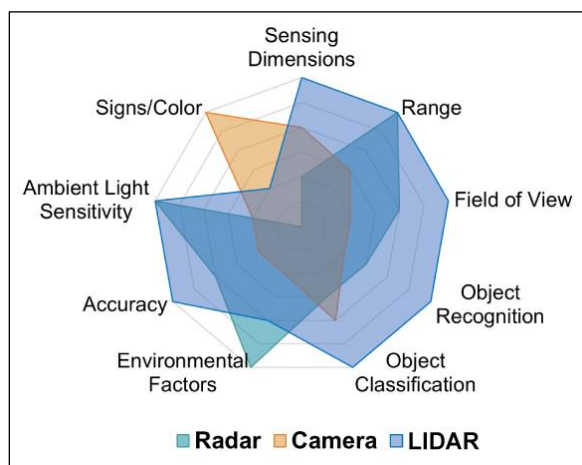


그림 3: 레이더, 카메라 및 LIDAR 비교. 출처: Quanergy, Velodyne

카메라는 포착된 이미지를 선명하게 처리하기 위해 훨씬 더 많은 컴퓨팅 성능을 필요로 합니다. 반면, LIDAR 센서는 아날로그 감지 또는 통계 기법을 사용하여 포인트 클라우드 이미지를 생성하기에 데이터 처리 과정이 짧습니다. LIDAR 센서는 카메라보다 범위, 해상도, 정확도는 우수하지만, 카메라가 가진 도로 교통 표지판, 색상 인식 기능이 없어 카메라를 대체할 수는 없습니다. 대신 ADAS 시스템의 선행기술인 레이더는 LIDAR 와 카메라 센싱을 보완할 수 있습니다. 예를 들어, 눈은 카메라 센서의 작동을 약화시킬 수

있으며, 기상 조건에 따라 전파 매체의 굴절률이 변경되고, LIDAR 감지 가능 범위가 축소될 수 있기 때문입니다.

LIDAR 센서의 전망

현재 LIDAR 센서 시장은 크게 광원, 광검출, 빔조향, 측정 네 부분으로 나눌 수 있습니다. 측정 기술은 ToF(Time of Flight)와 FMCW(Frequency Modulation Continuous Wave) 두 가지 주요 접근 방식으로 나누어져 있습니다. ToF는 펄스의 송수신 시간 차이를 확인하여 범위를 측정합니다. 이러한 시스템에 사용되는 펄스는 매우 높은 전력이지만, 폭은 좁은 편입니다. 감지 가능한 범위는 펄스의 피크 전력에 정비례합니다. 이 측정 기술에서 물체의 범위는 측정 가능하지만, 속도 측정은 불가능합니다.

ToF는 특히 밝은 환경에서 신호대잡음비(SNR) 문제 발생 확률이 높습니다. 현재 ToF 시스템의 실현 가능한 수신기 감도로 인해, 범위는 대부분 100-200 m로 제한됩니다. 한편, FMCW는 최대 레이저 출력이 아닌 방출된 레이저가 돌아오는 파형을 측정하기에 SNR 문제에 비교적 영향을 받지 않습니다. 또한, 일관된 감지 특성으로 인해 신호 처리와 관련된 파장만 증폭됩니다. FMCW는 상대적으로 낮은 전력으로 물체의 범위와 속도를 모두 감지할 수 있습니다.

방출 기술 측면에서 대부분의 설계자는 광섬유 레이저 등의 레이저보다 비용, 성능 및 시스템 수준 통합이 우수한 레이저 다이오드를 선호합니다. 자주 사용되는 레이저 다이오드 설계 중 EEL(Edge-Emitting Laser) 및 VCSEL (Vertical-Cavity Surface Emitting Laser)가 널리 연구되고 있습니다. EEL에서 빛은 측면에서 방출되기 때문에 어레이보다 개별 부품으로 더 적합합니다. 그러나 더 넓은 관측시야(FoV)와 더 긴 범위가 필요한 경우, 높은 피크 전력에서 작동하는 개별 다이오드보다 어레이가 선호되며, 이로 인해 냉각 시스템이 비용이 높아지는 경우가 종종 있습니다. 한편, VCSEL은 빛이 윗면에서 방출되기 때문에 어레이로 제조될 수 있습니다. 비록 VCSEL은 새로운 기술이지만, 자동차 애플리케이션에 채택됨에 따라 와트당 비용이 개선될 것으로 예상됩니다. EEL 광원의 범위는 최대 500 m까지이지만, 빔의 타원형 특성으로 인한 조도가 단점입니다. 대신 VCSEL은 EEL보다 더 좁은 빔 모양 때문에 최대 300 m까지 사용 가능합니다. 마지막으로, 방출 파장은 방출원에서 고려해야 할 또 다른 핵심 요소입니다. 현재

사용되는 대부분의 방출기는 약 905 nm 근적외선(NIR)이며, 높은 전력에서의 최대 허용 노광량은 인체의 눈에 다소 위험합니다. 이러한 우려 때문에, 눈에 더 안전한 1550 nm 의 단파 적외선(SWIR) 파장이 주목받고 있습니다.

수신 측면에서는, 반사광이 아날로그 탐지 또는 통계적 탐지를 통해 효과적으로 포착, 처리되도록 하기 위해 FoV 가 필수적입니다. 광검출기의 활성 영역, 렌즈의 초점 거리 및 광학 대역 필터 배치에 따라 FoV 가 결정됩니다. 원칙적으로는 넓은 FoV 가 선호되지만, 더 큰 광 감지기로 인해 더 높은 정전용량과 노이즈가 발생합니다. 오늘날 LIDAR 에는 포토다이오드(PD), 애벌랜치 포토다이오드(APD), 실리콘 광증배관(SiPM), 단일광자 애벌랜치 다이오드(SPAD) 등 다양한 유형의 검출기가 사용됩니다. NIR 방출기와 페어링된 검출기는 실리콘 기반이기에 비용은 문제되지 않습니다. 그러나 실리콘 기반이 아닌 SWIR 검출기는 상대적으로 고가이기에, 약 1550 nm 파장에서 시스템 비용이 더 높습니다. 이런 모든 유형의 검출기의 감도 및 적외선 감지 성능은 비슷하지만, SiPM 와 SPAD 의 성능이 더 뛰어난 편입니다. 효과적인 감지를 위해, 집광 렌즈의 조리개를 늘리거나 감광도가 검출기를 사용하여 수신 신호 전력을 늘려야 합니다. 낮에는 태양의 파장에서, 밤에는 가로등과 헤드라이트 파장에서 작동해야 하는 대역 필터 설계 또한 과제입니다. 결과적으로 아날로그 탐지에는 여전히 많은 과제가 남아 있습니다. 일부 설계자들은 수신 펄스 및 히스토그램 확장 원리로 작동하는 SPAD 를 사용하는 통계적 감지를 선택하기도 합니다.

마지막으로, 현재 적용 및 연구되고 있는 주요 빔 스티어링 기술 (그림 4 참고)에는 기계식, 미세 전자 기계 시스템(MEMS), 플래시, 광위상배열(OPA)이 있으며, 참조 [3]에 자세히 설명되어 있습니다. 기계식 LIDAR 는 오늘날 주로 로봇 자동차에 사용되며, 360° 회전하는 다중 레이저 및 감지기가 있는 다중 채널 장치입니다. 기계 설계는 부피가 크고, 비용이 많이 들며, 일반 고객에게는 심미적 문제를 제공하여 경승용 차량에서의 구현이 제한됩니다. MEMS LIDAR 는 빛이 비춰지는 중에 레이저 빔을 조정하는 실리콘 구동기와 통합된 마이크로 스캐닝 미러를 사용합니다. 이러한 설계는 기계식 LIDAR 에 비해 상대적으로 저렴하지만, 모든 지형 조건에 사용하기에는 신뢰성 문제가 있습니다. Flash LIDAR 는 전체 영역을 스캔하는 대신 레이저 빔 한 번에 모두 조사합니다. 이러한 LIDAR 에는 운동 부품이 없기 때문에 자동차에 사용 시 향상된 안정성을 제공합니다. 이미지를 형성하기 위해서는 명백히 다수의 감지기가 필요합니다. Flash 개념을 조금

바꾼 것으로 전체 대상에 한 번에 빛을 비추지 않고 열 단위로 비추는 순차 Flash 가 있습니다. 마지막으로 OPA 는 다수의 레이저 위상을 제어하여 조명을 조정합니다. Flash LIDAR 와 마찬가지로 운동부품이 없기 때문에 OPA 도 우수한 안정성을 제공합니다.

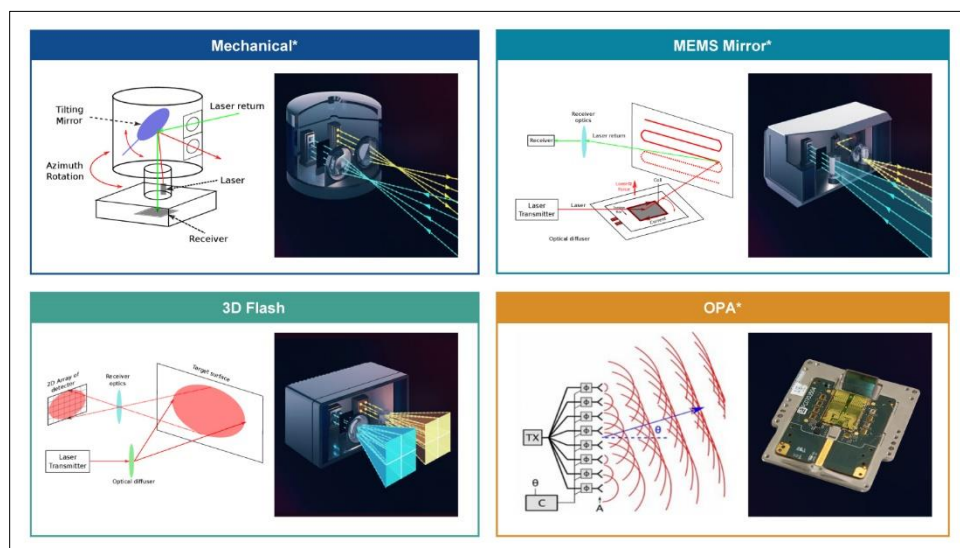


그림 4: LIDAR 빔 스티어링 기술 [3]. (*스캐닝 매커니즘을 보여줍니다.)

패키징 솔루션

LIDAR 에 대한 정부의 규제가 부족한 가운데, 차량 OEM 들은 자율 주행의 안전을 보장하기 위해 이중화 시스템을 선택했습니다. 카메라, 레이더, LIDAR 는 상호 보완할 뿐 아니라, 그림 3 과 같이 일부 응용 분야에서는 경쟁합니다. 당사는 ADAS 시장의 새로운 LIDAR 센서용 패키지 솔루션을 제공합니다. LIDAR 고객의 다양한 요구사항에 맞춰, 시장엔 매우 세분화된 솔루션이 마련되어 있습니다. 그러나 오늘날 LIDAR 시스템의 비용은 자동차와 같은 대중 시장용 기존 기술의 고비용과 부족한 규모의 경제성으로 인해 높아지고 있습니다. 그림 5 에 기계식 LIDAR 비용 분석의 예가 나와 있습니다. IHS Markit 에 따르면 64 채널 스캐닝을 탑재한 기계식 LIDAR 시스템의 비용은 2025 년까지 800 달러 미만의 가격대에 도달할 수 있습니다. 그릴 경우, 이와 같은 가격대의 LIDAR 모듈은 레벨 4 이상의 ADAS 기능을 갖춘 MaaS(Mobility as a Service)에 주력하는 OEM 에 합리적일 수 있습니다. 개인용 차량에는 더 저렴한 LIDAR 솔루션이 선호될 수 있습니다.

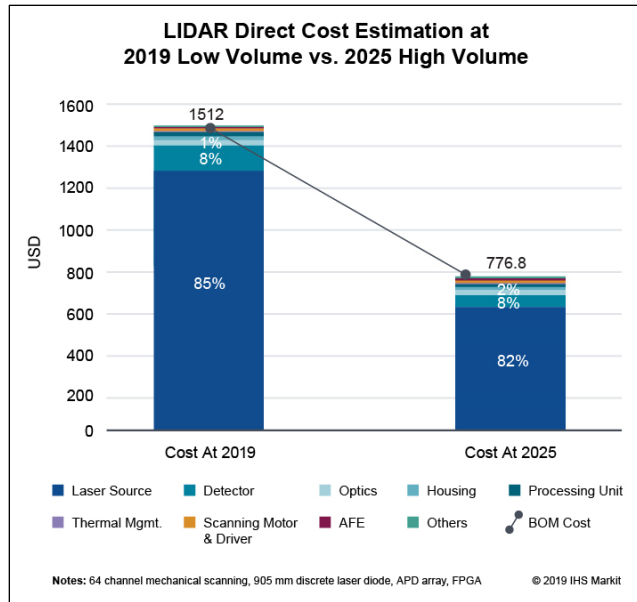


그림 5: LIDAR 비용 분류 및 동향. 출처: IHS Markit

당사는 OSAT 업체로서 기술과 규모의 경제를 기반으로 비용 효율성이 높은 솔루션을 제공합니다. 예를 들어, 당사 MEMS 센서 플랫폼을 통해 표준화된 공정은 비용을 성공적으로 절감하였습니다. 캐비티 BGA(Ball Grid Array)/LGA(Land Grid Array) 및 몰드 캐비티 BGA/LGA 표준 패키지는 생체 인식, 자동차, 휴먼 인터페이스, 환경 및 의료/피트니스와 같은 다양한 시장 분야가 대상 고객이 될 수 있습니다. 또한 표준화로 시장 출시 기간을 단축시킬 수 있습니다. 현재 대부분의 레이저 다이오드 및 검출기 패키징은 고가의 세라믹 기판을 사용하지만, 공급 업체의 라미네이트, 리드 및 몰드 컴파운드의 지속적인 개발 덕분에 저비용 솔루션의 품질과 성능도 보장되고 있습니다. LIDAR 시스템(그림 6) 구성 요소 파악은 비용절감과 기능개선 구조 이해에 도움이 될 것입니다. 현재 LIDAR 시스템의 구성 요소에는 장면을 비추는 방사체, 반사광을 캡처하는 감지기, 신호를 처리하는 ASIC(Application-Specific Integrated Circuit), 데이터 분석 처리 장치가 포함되어 있습니다. 오늘날 대부분의 솔루션은 개별적인 형태이지만, 단일 패키지에 여러 칩을 통합하거나 단일 기판에 여러 패키지 부품을 통합하는 것이 향후 추세가 될 수 있습니다.

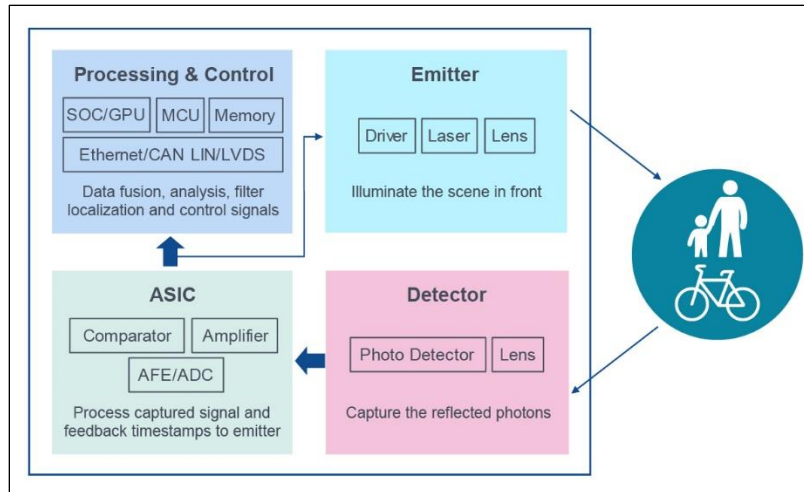


그림 6: LIDAR 빌딩 블록. 출처: IHS Markit

SiP 모듈이 인포테인먼트 등 차량용 응용 분야에서 성공적으로 적용되고 있기에, LIDAR 패키지 솔루션의 통합 범위와 트렌드 실현 가능 여부에도 관심이 모이고 있습니다. 예를 들어, 통합 APD 와 TIA(Trans-Impedance Amplifier) 또는 ASIC 이 포함된 통합 SPAD 는 병렬 또는 CoW(Chip-on-Wafer) 솔루션으로 패키징이 가능합니다. 또한, 디지털 신호 처리 (DSP) 다이는 PCB 또는 모놀리식 SoC(System on Chip) 검출기와 같은 하이브리드 솔루션을 통해 통합될 수 있습니다. 둘 다 장단점이 있습니다. 예를 들어, 모놀리식 솔루션은 낮은 NIR 감도와 더 나은 감지 속도를, 하이브리드 솔루션은 더 높은 NIR 감도와 더 나은 개구율을 제공합니다. 특히 감지 가능한 범위의 ToF 애플리케이션은 낮은 인덕턴스가 우선시 되기에 높은 전력과 짧은 펄스가 필요하며, 롱리드, 스루홀 레이저 패키지 (높은 인덕턴스 포함)에서 레이저 다이오드 어레이를 갖춘 표면 실장 패키지로의 전환이 핵심이 됩니다. 빔 품질은 패키지의 낮은 전력 손실과 밀접한 관련이 있습니다. 적절한 해결책을 찾기 위해 광학 지문 센서 및 MEMS 센서의 성공적인 기술 성과를 활용하면 LIDAR 고객에게 개선된 패키징 솔루션을 제공할 수 있습니다.

또한, 몰드 캐비티 지문인식센서 패키지(그림 7, 구조 A, B)는 Automotive Electronics Council 의 AEC-Q100 Grade 2 규격에 따라 자동차 애플리케이션으로 인증 받았습니다. 자동차 등급 패키지는 소비자 지문 센서보다 더 엄격한 요건이 필요하지만, 당사는 표준 공정으로 CMOS 이미지 센서, ToF 와 LIDAR 애플리케이션에 대한 인증을 받았습니다. 현재 몰드 캐비티 구조는 와이어 본드 대신 플립칩/구리 필러 본드, BGA

대신 LGA, 기타 애플리케이션을 위한 다양한 유리 접착 에폭시 등 고객 요구에 맞춰 변경 가능합니다.

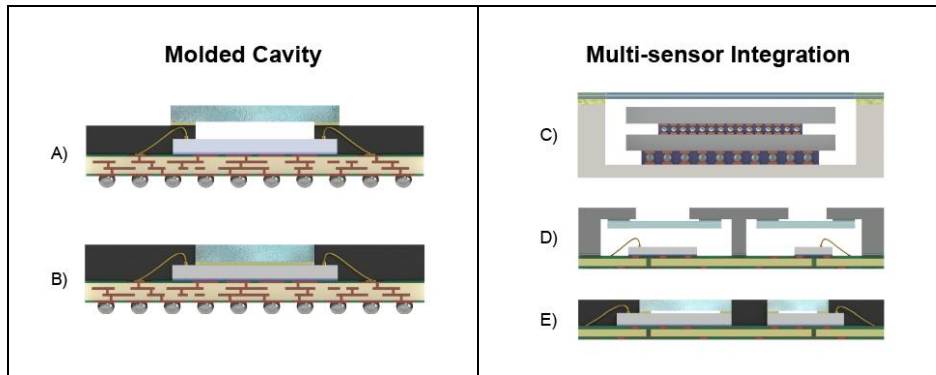


그림 7: Amkor 패키지 솔루션

위 논의의 예로, 제스처 컨트롤 애플리케이션을 위한 차량 내 ToF 센서는 고도로 선명하고 정확한 이미지가 필요하지 않을 수 있으므로, 에어갭을 없애고 투명 다이 부착 필름(DAF)를 이용하여 유리를 부착하면, 패키지 내 압력 증가를 줄일 수 있습니다. 그림 8은 다양한 적외선 스펙트럼(770-1000nm 파장)에서 투명도 93% 이상을 제공하는 투명 DAF 솔루션 접착제의 투명도를 보여줍니다. 구조 B(그림 7)는 투명 DAF를 사용하여 유리를 부착하는 반면, 구조 A는 자외선(UV) 경화형 에폭시를 사용하여 유리를 부착해 에어갭을 만듭니다. UV 경화형 에폭시는 열 경화형 에폭시로 증가되는 캐비티 내 압력 증가를 완화하는 데 도움이 됩니다. 유사한 기술을 활용하여 여러 센서를 하나의 패키지로 통합하고 계속 발전시킬 수 있습니다. 그림 7과 같이, 구조 C, D, E는 상부에 적층 다이 솔루션(구조 C)이 있는 세라믹 기판을 포함한 콤보 센서용 세 가지 솔루션을 보여줍니다. 장거리 LIDAR의 평균 전력은 약 12-25W로 높기 때문에, 세라믹 기판과 같은 최상의 솔루션이 필요할 수 있습니다. 최상의 솔루션은 최고의 열 성능과 최소한의 휘어짐으로, 열 발생이 많은 ToF 애플리케이션에도 적합합니다. 구조 D, E 모두 라미네이트 기판이 있는 와이어 본드 인터커넥트를 사용합니다. 구조 E는 몰드 솔루션을, 구조 D는 액정고분자(LCP) 리드를 사용한다는 것이 차이이며, 두 솔루션 모두 저전력 애플리케이션에 최적입니다. 그 예로 일반 전력 출력이 6W 미만인 단거리 LIDAR가 있으며, 이러한 패키지는 공급망 및 고객과의 전략적 파트너십을 통해 저비용 고품질 LIDAR 솔루션 시장 출시에 사용될 수 있습니다.

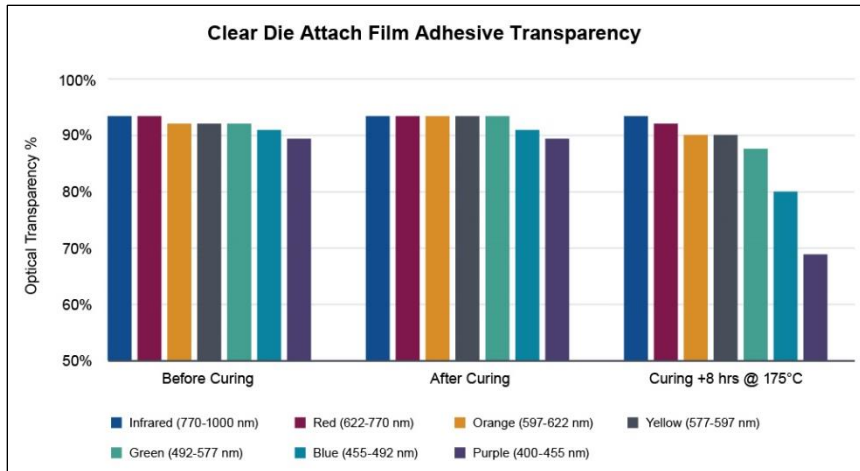


그림 8: 투명 다이 부착 필름 투명도 스펙트럼. 출처: Loctite, Henkel Adhesives

요약

환경적, 경제적, 사회적 요인에 따라 보다 정교한 자동차 안전 솔루션에 대한 수요가 증가할 것입니다. 안전 사양의 가격 경쟁력이 우선 시 되면서 LIDAR 는 ADAS 의 주요 구성 요소로 개발되고 있습니다. 당사는 카메라, 레이더, LIDAR 를 포함한 ADAS 의 각 분야에 대한 패키지 솔루션을 제공합니다. 세계 각지의 공장을 활용하여 전 세계 고객에게 자동차, 산업 및 소비자 어플리케이션 분야에서 전략적인 서비스를 제공합니다. 또한 LIDAR 블록의 광검출기 부분에 있는 기존 패키지 포트폴리오 제품을 생산하는 데 중점을 두고 있습니다. 하지만 LIDAR 가 비용 효율적인 솔루션으로 지속 발전함에 따라 단일 패키지/모듈에서 통합을 선도하는 센서-인-패키지 (방사체 및 수신기) 형태의 혁신적인 솔루션도 개발될 것입니다. 앞으로도 당사는 뛰어난 기술 노하우와 고객 파트너십을 통해 이러한 과제에 대한 첨단 솔루션을 제공할 것입니다.

참고 자료

[1] "Road Traffic Injuries", 세계보건기구, <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., 자율주행 Lidar: 자동차 Lidar 및 인식 시스템의 원리, 난제 및 동향, IEEE Signal Processing Magazine 37 호, 발간: 2020 년 7 월 4 일

약력

Ajay Sattu 는 애리조나 주 템피에 위치한 앰코테크놀로지의 오토모티브 제품 마케팅 수석 매니저로, 자동차 전기화, ADAS, 인포테인먼트 제품 마케팅 및 전략을 담당하고 있습니다. 앰코 입사 전에는 Infineon 에서 광대역 갭 반도체 기술 및 제품 개발을 관리했습니다. 상호 심사 논문 여러 편을 출간하고 업계 컨퍼런스에서 발표하기도 했습니다. UCLA 전기공학 박사학위와 UCLA Anderson 의 MBA 학위를 취득하였습니다. 이메일: ajay.Sattu@amkor.com

Burt Barber 는 애리조나 주 템피에 위치한 앰코테크놀로지의 MEMS 및 Sensors 컨설턴트입니다. MEC/Sun/Edison, Texas Instruments, Alcatel, Xilinx, Hitachi Semiconductor 에서 다양한 주요 마케팅 및 비즈니스/제품 개발 업무를 담당하며 20 년 이상 글로벌 반도체 서플라이 체인 관리 경력을 쌓아 왔습니다. Santa Clara University 전기공학 학사, University of San Francisco 의 MBA 학사를 취득하였습니다.