

Technical White Paper

毫米波技术的进步：适用于汽车雷达的封装上装载 (LoP) 技术



Habeeb Ur Rahman Mohammed, Ph.D., Systems and Applications Manager

EP Radar

摘要

汽车雷达技术的格局已经发生了重大变革，尤其是在毫米波半导体封装技术和 3D 波导天线领域。从最初使用微带贴片天线发展到 3D 天线，人们一直在坚持不懈地追求性能和效率的提升。TI 的封装上装载 (LoP) 技术可以通过 PCB 内的波导将信号从封装辐射元件直接传输到 3D 天线，从而实现高效的电磁信号传输。在当今时代，LoP 技术成为关注的焦点，其搭配先进的 3D 波导天线，用于提供更出色的距离和物体检测。

内容

1 毫米波和 LoP 技术在汽车雷达中的重要性.....	2
2 从采用微带贴片天线的非 LoP 发展到采用 3D 天线的 LoP.....	2
3 TI 封装上装载 (LoP) 简介.....	3
4 LoP 设计和在 77GHz 下运行.....	3
5 毫米波雷达芯片采用 LoP 技术的优势.....	5
6 在前置雷达和角雷达中的应用.....	6
7 挑战和未来发展.....	6
8 结语.....	6

插图清单

图 2-1. 德州仪器 (TI) 在毫米波封装方面的创新.....	2
图 3-1. 德州仪器 (TI) 封装上装载技术.....	3
图 4-1. LoP 改进 - “矩形波导发射”变成“双脊波导发射”.....	4
图 4-2. 采用 3D 天线的 LoP 技术与采用微带贴片天线的非 LoP 技术之间的性能比较.....	4
图 4-3. 具有 3D 波导天线和 DCA1000 捕获板的 AWR2544 LoP EVM 设置.....	5

表格清单

表 2-1. 性能提升 - 非 LoP 与 TI LoP 技术的对比.....	2
---	---

1 毫米波和 LoP 技术在汽车雷达中的重要性

利用毫米波频率，特别是 77GHz 左右的频率，对于增强汽车雷达系统的功能至关重要。该频率范围可提供最佳分辨率和精度，而这对于防撞、自适应巡航控制、盲点检测和侧向来车警示等应用至关重要。毫米波技术能够在雨雾等恶劣天气条件下有效运行，这进一步强化了毫米波技术在现代汽车雷达技术中的重要性。

2 从采用微带贴片天线的非 LoP 发展到采用 3D 天线的 LoP

从采用微带贴片天线的标准封装发展到采用 3D 波导天线的先进 LoP 封装，是为了满足市场对更高性能和适应性的需求。微带贴片天线虽然有效，但在波束形成和方向性方面存在限制。过渡到 3D 天线标志着一个显著的飞跃，提供了以更高精度操控雷达波束的改进能力（请参阅图 2-1）。

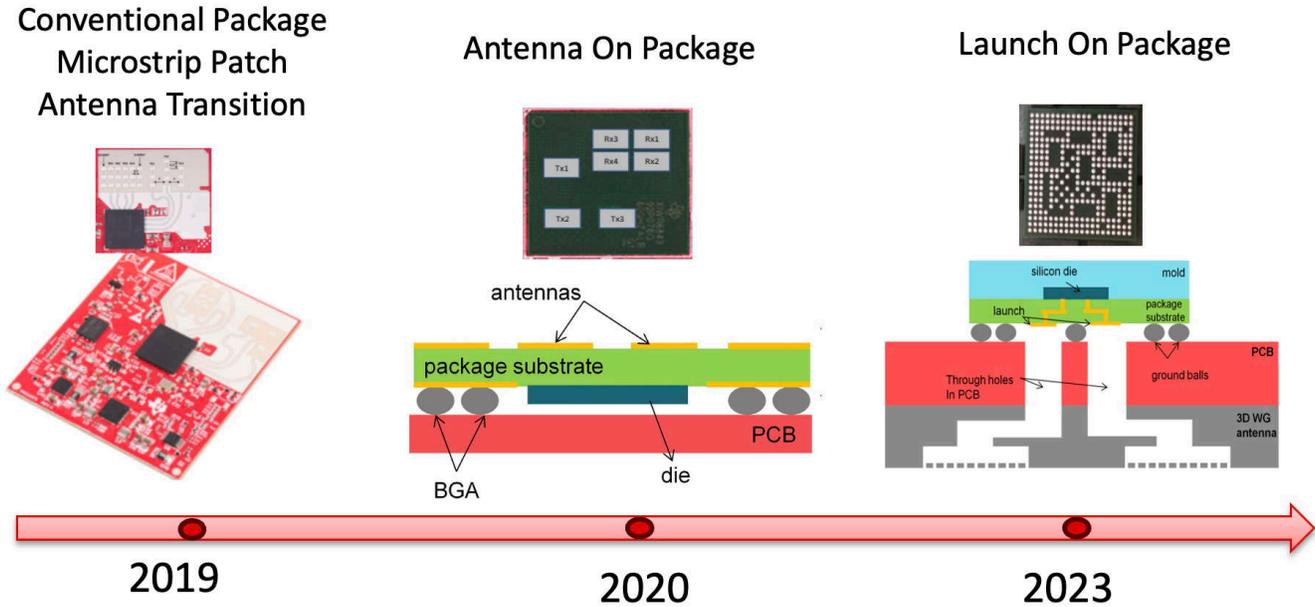


图 2-1. 德州仪器 (TI) 在毫米波封装方面的创新

多年来，德州仪器 (TI) 一直致力于毫米波雷达封装技术的创新。早期的 TI 毫米波雷达集成电路通过 BGA 焊球路由来自 FCCSP 封装（非 LoP）的信号，其中信号必须通过从裸片到封装基板再到 BGA 再到 PCB 的四次射频 (RF) 转换，然后再馈送到微带贴片天线或 3D 波导天线。在随后几代产品中，毫米波雷达设计的尺寸成为了一个重要的考虑因素，例如在用于障碍物检测的雷达门把手等应用中，TI 创新了封装天线 (AoP) 技术，其中天线元件集成在封装内。当前的 TI 产品采用了 LoP 技术，该技术发明了一种将射频信号连接到 3D 天线的新方法。该连接技术只需从裸片到封装基板再到波导发射的两次射频转换，然后便可以通过 PCB 波导将射频信号直接馈送到 3D 天线。这些改进减少了信号损失并提高了整体 SNR。

表 2-1. 性能提升 - 非 LoP 与 TI LoP 技术的对比

参数	标准封装 (非 LoP)		封装上装载
	微带贴片天线	3D 天线	3D 天线
射频转换	4 次 (裸片 > 封装基板 > (1)BGA > (1)PCB > 微带贴片天线)	4 次 (裸片 > 封装基板 > (1)BGA > (1)PCB > 波导发射 > 3D 天线)	2 次 (裸片 > 封装基板 > 波导发射 > 3D 天线)
SNR 性能	基线	基线	基线 + (约 1 + dB)

(1) 额外射频转换

3 TI 封装上装载 (LoP) 简介

毫米波 LoP 是雷达封装技术的最新创新。这些进步侧重于将毫米波雷达集成芯片与 3D 天线进行无缝集成，在设计 and 功能方面呈现出了范式转变。TI LoP 技术提供了一个很有前景的途径来优化性能、减少辐射和散热问题、保持信号完整性和优化雷达系统整体性能。

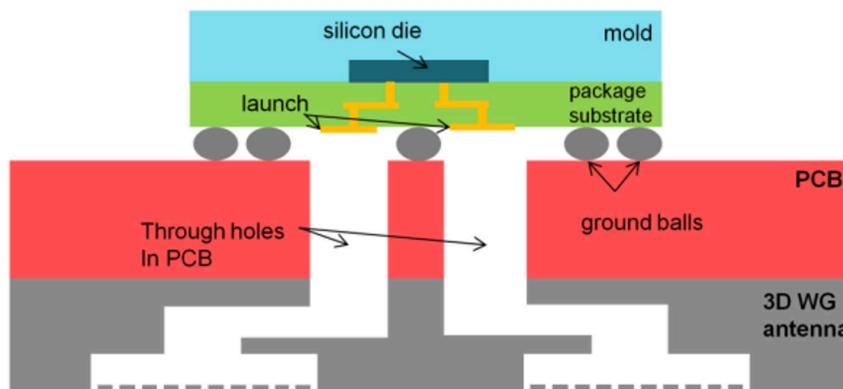


图 3-1. 德州仪器 (TI) 封装上装载技术

图 3-1 展示了 TI 的 LoP 封装技术。硅片位于封装塑封材料内，而射频信号从芯片凸点通过封装基板传播到辐射元件。辐射元件通过 PCB 的波导直接将射频信号发射到 3D 天线中。TI LoP 技术支持将信号直接从封装传输到天线，这与传统的 MMIC 封装形成了鲜明的对比，后者要首先将信号传输到 PCB，然后再传输到天线。发射元件嵌入到封装底层，而发射元件周围的 BGA 焊球会在信号通过 PCB 波导孔传播到 3D 天线时提供射频屏蔽。

4 LoP 设计和在 77GHz 下运行

设计在 77GHz 频率下运行的毫米波集成电路和封装时，需要考虑一系列挑战和注意事项。这一频率的复杂性要求对细节的密切关注，以实现最佳性能。设计工程师必须考虑信号传播、阻抗不匹配、干扰和天线增益等因素，以确保雷达系统在 77GHz 频谱范围内以峰值效率运行。

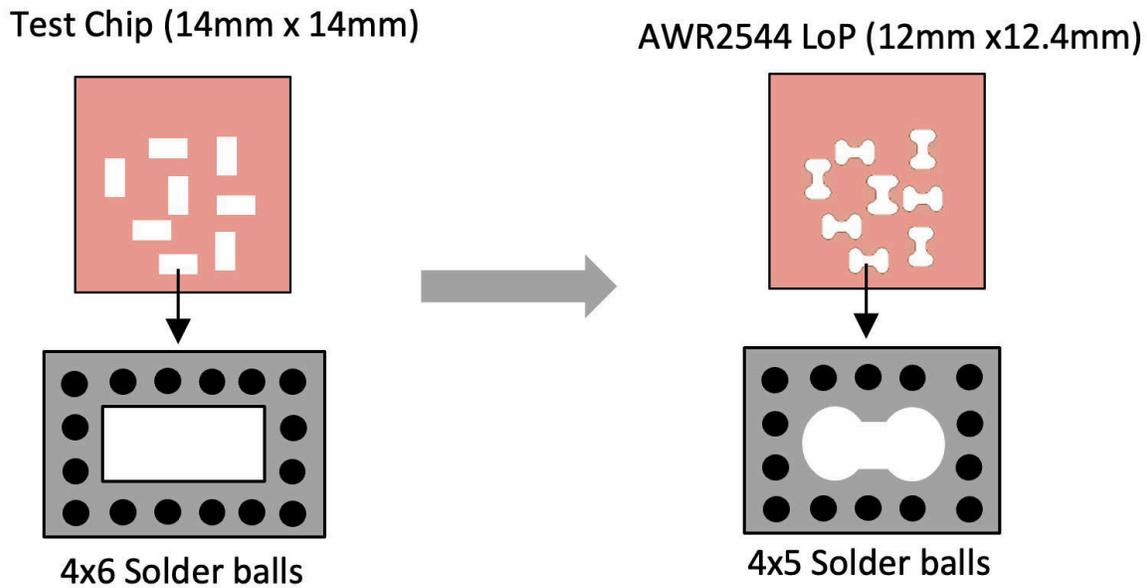


图 4-1. LoP 改进 - “矩形波导发射” 变成 “双脊波导发射”

图 4-1 显示了 TI 在 LoP 技术上所做的改进。在使用矩形波导发射完成了概念验证后，TI 开发了一款双脊波导发射，实现了更小的尺寸和更好的性能。AWR2544 器件是一款由 FMCW 收发器组成的 76GHz 至 81GHz 单芯片毫米波传感器，其采用 LoP 封装发射到 PCB 上的双脊波导结构。AWR2544 传感器是一款适用于卫星架构的低功耗、自监控、超精确雷达器件，有助于实现汽车系统的集中化。

在毫米波雷达工作的频率下，从功率放大器输出到封装基板，以及从射频 BGA 到天线，在这些信号转换中，保持低损耗和高信号完整性非常重要。如果在这些频率下因波长较短而未能在整个链路中建立正确的匹配，雷达高级驾驶辅助系统 (ADAS) 系统可能会失效。

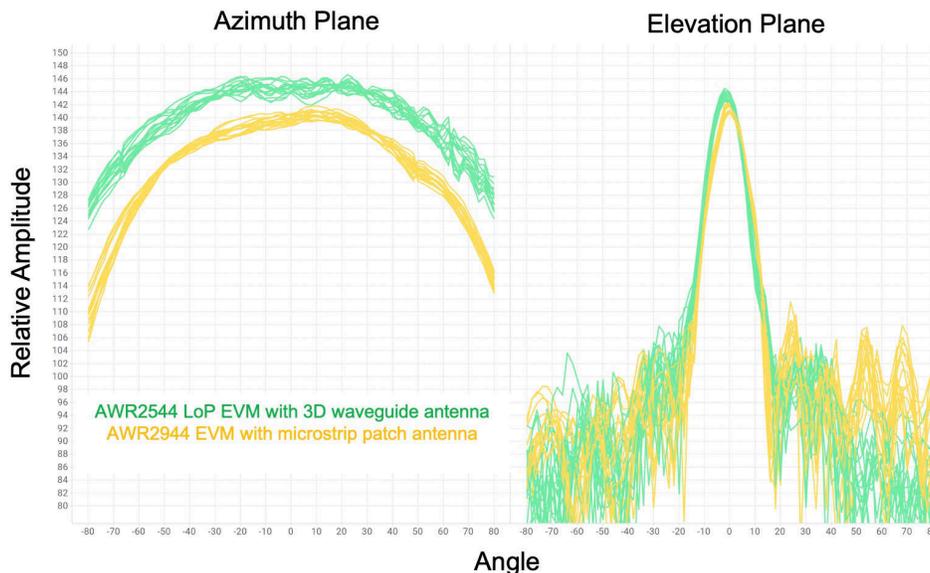


图 4-2. 采用 3D 天线的 LoP 技术与采用微带贴片天线的非 LoP 技术之间的性能比较

图 4-2 比较了采用 3D 波导天线的 AWR2544 LoP 评估模块 (EVM) 的性能与采用 AWR2944 非 LoP 封装 (在 AWR2944 EVM 上采用微带贴片天线) 时的性能。AWR2944 器件是一款单芯片全集成式 77GHz 至 81GHz 调频连续波 (FMCW) 边缘雷达传感器，可提供高性能检测来实现安全性和舒适性功能。AWR2944 具有与 AWR2544 类似的射频前端。非 LoP 和 LoP EVM 方法之间的一个主要区别是，微带贴片天线 (AWR2944EVM) 需要高质

量、低损耗的昂贵 PCB 材料。然而，对于 LoP 3D 天线，PCB 可以使用相对较为便宜的基板 (AWR2544EVM) 制成。图 4-3 显示了具有 3D 天线和 DCA1000 捕获设计的 AWR2544 LoP EVM 设置。

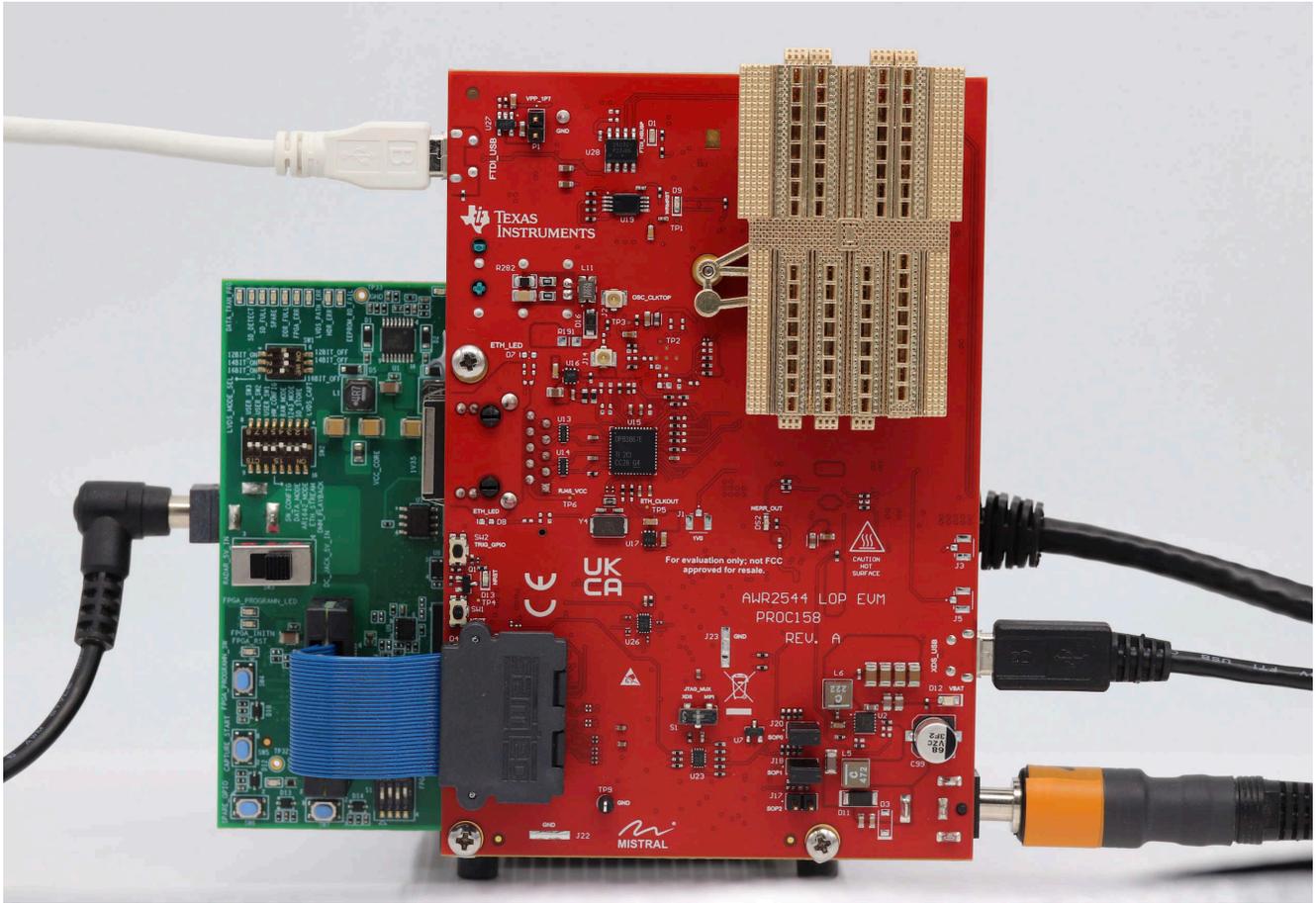


图 4-3. 具有 3D 波导天线和 DCA1000 捕获板的 AWR2544 LoP EVM 设置

5 毫米波雷达芯片采用 LoP 技术的优势

集成 LoP 技术提供了多种优势：

- **性能优势：**TI LoP 可以实现较低的转换功率损耗，因为从 MMIC 到天线的转换通过 PCB 波导进行。与传统封装相比，这在传感器层面上具有 SNR 优势，并可以在相同的角分辨率和 FOV 下实现更远的最大距离。此外，与微带贴片天线相比，3D 天线的信道间性能更加稳定。
- **热管理：**采用 TI LoP 技术时，发射元件位于封装的底部，因此可在顶部放置散热器来实现热管理。
- **辐射性能优势：**采用 TI LoP 技术时，发射元件位于封装的底部，因此可以降低 EMI/C 问题，因为 3D 天线放置在 PCB 的一侧，毫米波集成芯片位于 PCB 的另一侧，从而增强从 MMIC 到 3D 天线的隔离。
- **成本和尺寸优势：**由于 PCB 材料和尺寸，TI LoP 技术可以在传感器级别带来成本优势。由于能够使用较为便宜的 PCB 材料，因此可节省 PCB 成本。由于无需微孔，因此可以进一步节省 PCB 成本。另外还可以减少 PCB 接地层的潜在数量，从而减少 PCB 总层数。
- **灵活性：**采用外部 3D 天线的 LoP 可在多个传感器设计之间实现更好的 PCB 重复使用，因为可以为具有不同视场的多个传感器更换波导天线。具有较少 PCB 型号的雷达传感器设计可以实现更高的产量，从而减少物流工作并降低成本。此外，由于采用非优质射频基板，市场上有更多的 PCB 供应商可供选择。

因此，通过更大限度地减少信号损失并优化集成，TI 的 LoP 技术能够显著提高毫米波雷达芯片的效率和可靠性。通过 TI LoP 技术实现的紧凑型设计可以无缝集成到汽车雷达系统中。

6 在前置雷达和角雷达中的应用

毫米波 LoP 技术的影响延伸到车辆的前置雷达和角雷达系统。TI LoP 技术实现的高精度提高了物体检测的准确性，而这在碰撞减缓和盲点监测等应用中是不可或缺的。TI LoP 和 3D 波导天线之间的协同作用推动汽车雷达系统进入了安全和自主的新前沿。

7 挑战和未来发展

虽然 TI LoP 技术取得了可喜的进步，但也存在一些设计挑战。发射元件必须设计为可将最大功率从毫米波集成电路传输到 3D 天线，从而尽可能地减少回波损耗和信号泄漏。设计必须可靠，能够确保 3D 天线和 LoP 的机械稳定性，以承受不利的温度变化和环境应力。需要进一步改进高精度制造和组装实践，从而更好地对齐 PCB 和天线，以尽可能地减少电磁信号的泄漏并优化成本。

向 L3 自动驾驶方向发展需要更高的角分辨率（方位角和仰角），以解析静态环境（高架结构、护栏、道路杂物）并改善物体分类。这一需求导致发射器和接收器通道的数量增加。因此，设计集成大量通道但尺寸减小、隔离和成本降低的 LoP 封装是一项挑战。最后，另一个挑战是 3D 天线要比微带贴片天线更高，因此会增加整体传感器尺寸。

我们正在努力研发，旨在克服这些挑战，引领汽车雷达毫米波半导体和天线技术的下一波创新。

8 结语

总之，将 TI LoP 技术与 3D 波导天线进行集成是汽车雷达系统毫米波雷达传感器发展过程中的一个重要里程碑。这些 77GHz 技术进步所带来的能力为实现更安全、更复杂的自动驾驶系统铺平了道路。随着挑战的解决和技术的不断发展，汽车雷达技术领域未来有望迎来更多突破性的发展。

重要声明和免责声明

TI“按原样”提供技术和可靠性数据（包括数据表）、设计资源（包括参考设计）、应用或其他设计建议、网络工具、安全信息和其他资源，不保证没有瑕疵且不做任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性、某特定用途方面的适用性或不侵犯任何第三方知识产权的暗示担保。

这些资源可供使用 TI 产品进行设计的熟练开发人员使用。您将自行承担以下全部责任：(1) 针对您的应用选择合适的 TI 产品，(2) 设计、验证并测试您的应用，(3) 确保您的应用满足相应标准以及任何其他功能安全、信息安全、监管或其他要求。

这些资源如有变更，恕不另行通知。TI 授权您仅可将这些资源用于研发本资源所述的 TI 产品的应用。严禁对这些资源进行其他复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。您应全额赔偿因在这些资源的使用中对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 的销售条款](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款/TI 产品随附的其他适用条款的约束。TI 提供这些资源并不会扩展或以其他方式更改 TI 针对 TI 产品发布的适用的担保或担保免责声明。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

邮寄地址：Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265

Copyright © 2024，德州仪器 (TI) 公司