

# 48V 生态系统和功率封装趋势

*Dr. Ajay Sattu, Sr Manager, Automotive Strategic Marketing, Amkor Technology, Inc.*

随着时间的推移，新兴增长应用领域（如汽车、云计算、工业自动化和电信 (5G) 基础设施）正受到越来越多的关注。虽然应用领域有所不同，但在如何实现系统级电压转换和功率分配方面存在共性。减少碳排放的系统需求变得愈发重要。因此，新的 48V 生态系统正被开发和部署以达成各种目标，包括获得极高效率。不管是供电、计算元件或内存块，半导体都是解决这些需求的关键所在。本文重点是讨论这些应用领域的市场和技术发展趋势，并就创新的功率封装平台如何努力满足电气和热需求的问题分享想法。。

## 汽车

如今，大多数豪华车要运行数百万行代码，网络连接了多达 100 个电控单元 (ECU) [1]。一辆汽车中的电气化、舒适性功能和高级驾驶辅助功能 (ADAS) 的程度越高，对于总功率预算的需求也会越高。随着部分此类如今在豪华汽车中提供的高级功能逐渐也被运用到普通汽车当中，额外成本的产生变得不可避免，但不能以牺牲电源系统的效率作为代价。今天现有的汽车“电源树”直接采用 12V 电池为机械辅助负载（通常小于 5-7 kW）供电，如水泵和油泵、空调压缩机、主动侧倾控制、车头灯和车尾灯等。这些负载，再加上需遵守企业平均燃料经济性 (CAFE) 标准和高耗能 ADAS 系统的所需的更严格的排放标准，使提高效率变得更具挑战性。虽然汽车原设备制造商 (OEM) 多年来将机械驱动元件替换成对应的电气元件，仍然需要更新的架构，如 48V 系统。从短期来看，OEM 及其一级供应商可能会选择使用双架构（12V 和 48V），直到在将来永久性地转用 48V 电网。

汽车 OEM 和 Tier1 最近推出了多种轻混合动力汽车 (MHEV) 解决方案。例如，奥迪推出了新的皮带发电机系统 (BAS)，以 12 千瓦的发电能力为其轻混合动力汽车提供动力，并且同时在传统的 12V 系统中采用 DC-DC 转换器 [2]。类似地，戴姆勒也为其 S 级汽车引入了集成起动发电机 (ISG)，其发电能力最高可以达到 16kW [2]。和 Audi 一样，戴姆勒也为传统 12V 负载使用 DC-DC 转换器组。而 Tier1 供应商 法雷奥 推出了它的 eCruise4u 平台，将自动驾驶和 48V 混合动力系统整合在一起。作为此平台的产品之一，e4AWD 智能整合了集成带起动发电机 (iBSG) 和电子后轴驱动 (eRAD)，为其 MHEV 系统增加了 22 kW 发电能力，并因此将油耗降低了 17%。另一家 Tier1 供应商 德尔福 已推出了 48V 混合动力系统，如图 1 所示，其

中包含一种可将燃油效率提高 15% 的电子增压器。此电子增压器还可能采用了动态跳跃点火 (DSF) 停缸技术，将 CO2 排放量减少了 13% [2]。

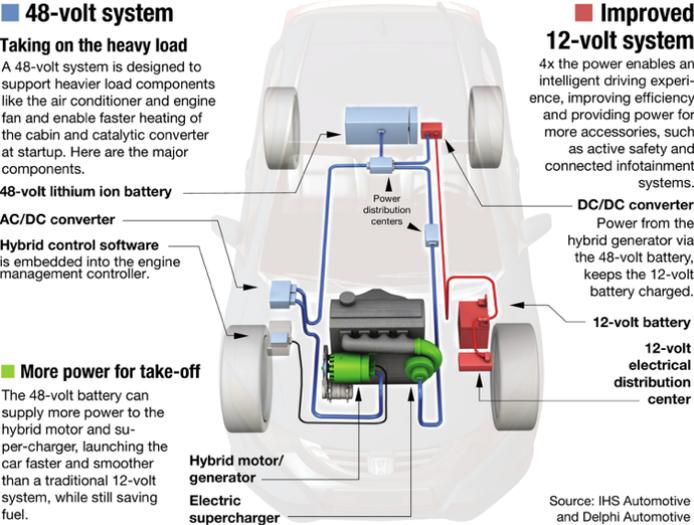


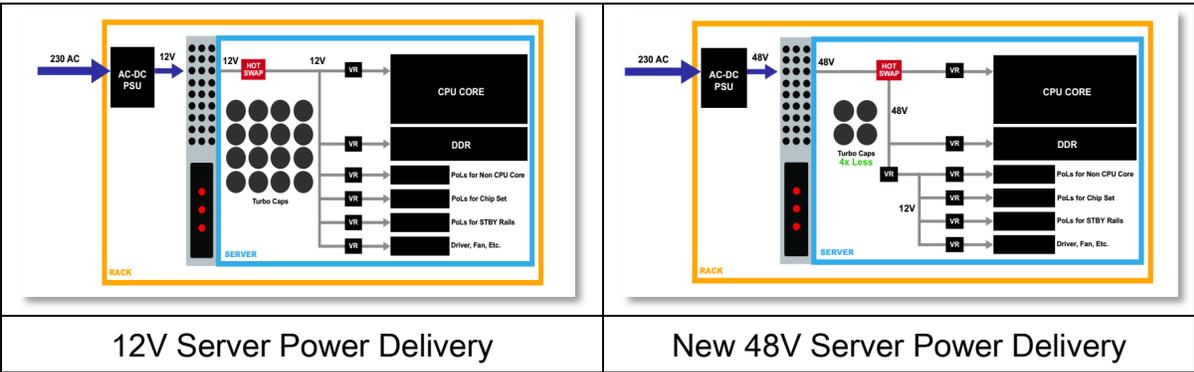
图 1 : Delphi Technologies (前身为 Delphi Automotive) 的 48V 轻混合动力系统

转用 48V 电网可带来线束截面和重量减轻等多项好处，使车辆变得更轻并减少排放。随着转向器、舒适和便利功能，以及其他系统中的机械元件转为电气化，采用电机的轻混合动力技术 (< 25kW) 将有显著的实际好处。一项估计 [1] 表明，MHEV 将 CO2 排放减少 15%，相当于以全混合动力系统约 30% 的成本，获得约 70% 的收益。显然，相对于为全混合动力额外支付约 4500 美元，消费者更愿意额外拿出 1500 美元左右购买轻混合动力汽车，这一点预计也将推动 MHEV 汽车的发展。此外，48V 电网还能在车联网 (V2X) 和 ADAS 方面使系统为未来应用做好准备 (负载点控制)。由于 L3-L5 级自动驾驶车辆有望在未来十年里得到大规模普及，ADAS 系统的能耗只会激增。现在 L2 级的能耗需求已经达到大约 1kW，而 L4/L5 级系统的需求可能 10 倍于此。这些再加上成本和排放方面的优势，48V MH 被看作是拓展 EV 市场的必由之路。

### 云计算

今天，全球需要七百万个数据中心，来管理个人和商业活动每天产生的超过 2.5 quintillion (百万的三次方) 字节数据。到目前为止，在所有已产生的 44 Zetta 字节 (44 万亿 GB) 数据中，90% 产生于最近 2 年 [3]。随着通过互联网直接面向观众 (OTT) 的流媒体服务、5G、物联网 (IoT) 和社交媒体时代的到来，大数据预计将显著改变云和边缘数据中心市场。典型的

数据中心可以提供包括数据存储、处理、联网和分发等在内的各种服务。要管理这些服务，运营商需要大约数百 MW 的大量电力。高达 40% 的数据中心运营成本来自为服务器机架供电与冷却所需的能源 [4]。电源使用效率 (PUE) 和总拥有成本 (TCO) 是数据中心运营商降低成本，优化利用率的两项非常重要的指标。平均而言，平均而言，从交流电网到单个服务器的微处理器的转换过程中，大约30-35%的电力被浪费掉了。沿着这条电源路径，能够降低损耗的主要集中在三个方面—通用电源 (UPS，电网到数据中心)、服务器机架电源，以及单个服务器电源。直到几年前，数据中心还被设计为每机架 4 到 5kW，而现在，这个数字已经高达每机架 10kW。将机架功率密度提高到 30kW 或更高将成为未来的发展趋势 [5]。因此，由于可优化 PUR，对于更小型、更高效电源的需求会越来越高，从而提高服务器密度和每英尺占地面积所产生的额外收入 (\$/ft)。



今天，全球需要七百万个数据中心，来管理个人和业务活动每天产生的超过 2.5 quintillion (百万的三次方) 字节数据。到目前为止，在所有已产生的 44 zetta字节 (44 万亿 GB) 数据中，90% 产生于最近 2 年 [3]。随着通过互联网直接面向观众 (OTT) 的流媒体服务、5G、物联网 (IoT) 和社交媒体时代的到来，大数据预计将显著改变云和边缘数据中心市场。典型的数据中心可以提供包括数据存储、处理、联网和分发等在内的各种服务。要管理这些服务，运营商需要大约数百 MW 的大量电力。高达 40% 的数据中心运营成本来自为服务器机架供电与冷却所需的能源 [4]。电源使用效率 (PUE) 和总拥有成本 (TCO) 是两项对于旨在降低成本，优化利用率的数据中心运营商来说非常重要的指标。平均而言，大约有 30-35% 的电力在将交流电网转换到单个服务器微处理器时被损耗掉。沿着这条电源路径，能够降低的损失主要集中在三个方面—通用电源 (UPS，电网到数据中心)、服务器机架电源，以及单个服务器电源。直到几年前，数据中心还被设计为每机架 4 到 5kW，而现在，这个数字已经高达每机架 10kW。将机架功率密度提高到 30kW 或更高将成为未来的发展趋势 [5]。因此，由

于可优化 PUR，对于更小型、更高效电源的需求会越来越高，从而提高服务器密度和每英尺占地面积所产生的额外收入 (\$/ft)。

### 5G 基础设施

要克服当前 4G 网络的缺点，5G 网络应能够很好地应对大流量（基于以太网的无线传输）和大容量（IoT、连接密度和带宽），同时还要非常可靠（边缘计算、延迟）。关键变化包括新的频谱、更多数量站点，以及多接入边缘计算。当前 4G LTE 网络传输带宽的理论上限为 150Mbps，无法满足 5G 的要求。要获得更高带宽，5G 网络要使用更高频 C 波段。此外，大规模多输入多输出 (MIMO) 技术是改善吞吐量的关键。如图 3 所示，在拓扑结构方面，现有的 4G 网络更适用于分布式无线接入网络 (DRAN) 架构，此类架构的天线、射频拉远头 (RRH) 和基带单元 (BBU) 都是独立的。但 5G 网络更倾向于支持集中式或云 (C-RAN) 分布，整合基带功能，并将其从蜂窝基站转移到集中式位置。在 5G 网络中，预计将集成 RRH 和天线，而 BBU 池将继续位于边缘站点。BBU 池（或核心网络）使用相同的物理基础设施，包括网络设备，如路由器、物理基础设施、电力和冷却系统。不过，更多站点和更高计算要求将进一步提高网络耗能。

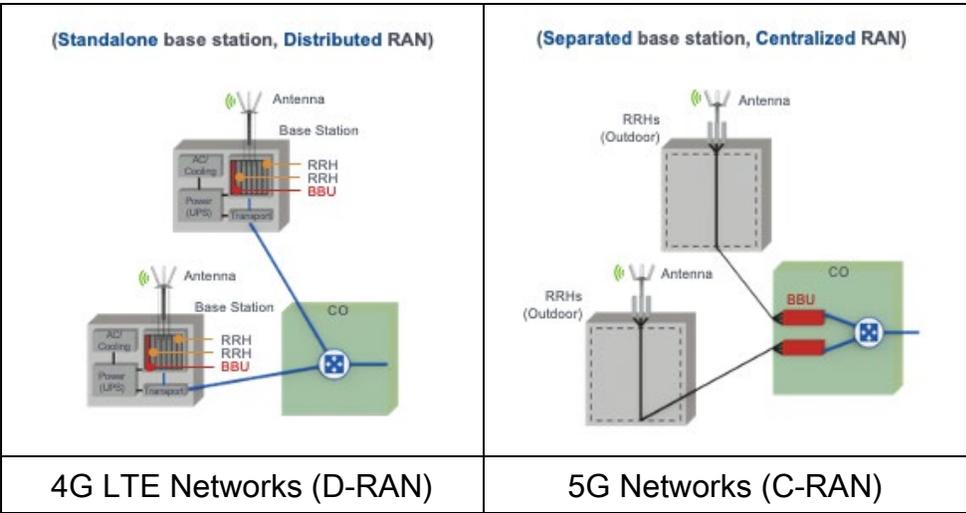


图 3：4G LTE 拓扑结构 vs. 5G 网络拓扑结构

根据电信运营商的数据，单波段 5G 设备的能耗可能为类似配置 4G 的 350% [6]。5G BBU 能耗大约为 300W，而 RRU 在 30% 负载下消耗约 900W（峰值约为 1.4kW）。由于未来 3 年会增加更多频段，峰值能耗将提高到大约 14kW。除此以外，因为有了毫米波，峰值能耗

更可能达到 20kW [6]。虽然现有 4G 电信电源设计基于 -48V 系统，但这些电源单元与 5G 需求并不兼容。4G 系统供电电缆的绝对功率损耗在 1kW 功率情况下还较小。然而，5G 系统中相同供电电缆长度的绝对损耗更高，导致电压沿着电缆更快地下降。和大多数电源一样，一旦电压降到“低输出电压”阈值以下，电源就会关闭。为了缓解此问题的影响，电源设计师可能采用额外的DC-DC转换器来提高电压等级到 -57V 左右，以实现有效运行 [6]。因此，5G 网络能耗的增加给整个电源系统带来了挑战。

### 48V 对半导体的影响

与上文讨论的市场需求相符，半导体供应商的新市场机会也大幅增加。在汽车行业，轻混合动力汽车大约占当今总产量的 1.5% 到 2%；在这个十年末，这个数字有望成长到 15% 左右。随之而来的是，由于采用轻混合动力系统，每辆汽车所含功率半导体元件的价值预计将增加到大约 75 美元/每辆汽车。类似地，随着超大规模和 5G 数据中心转用 48V 电网，功率器件物料清单 (BOM) 将注定增加 40 美元左右。最后，因为 5G 基础设施的部署，机柜和刀片电源需求将提高对功率晶体管的需求。48V 生态系统为半导体供应商带来在这些应用领域应用协同效应的机会。从整体的新市场机会出发，图 4 概述了关键应用市场及相应的成长前景。无论是汽车和云计算的 48V 系统还是 5G 电源的 -57V 方案，底层的封装和测试业务也注定在下一个十年有长足的发展。

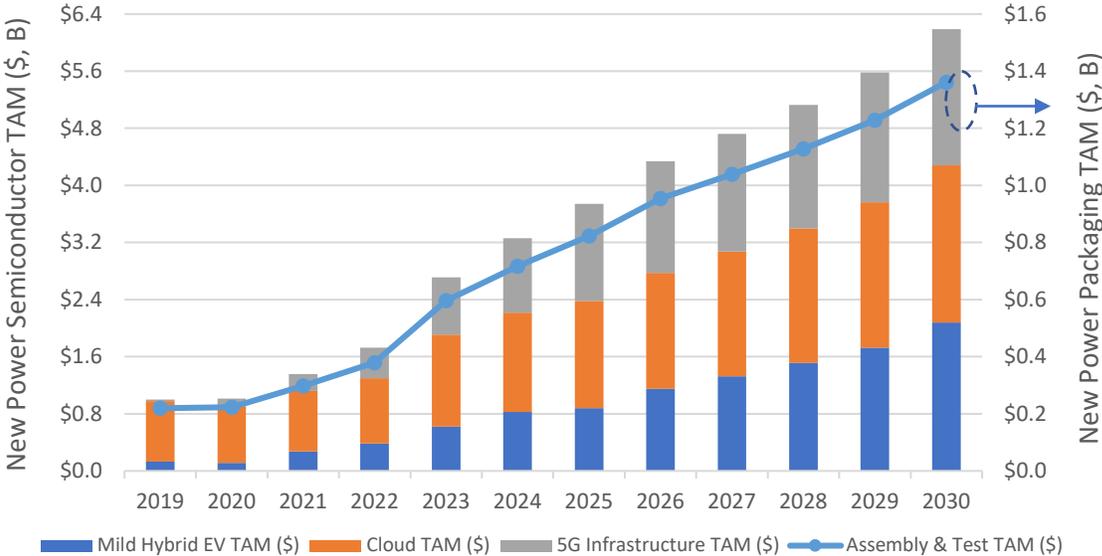


图 4 : 48V 生态系统的新总体有效市场 (TAM) ( Amkor 的预计 )

## 技术趋势

考虑到迄今为止所讨论的应用趋势，共同的主题是客户需要高效、占用空间小，而且非常可靠的功率半导体解决方案。在过去超过 30 年时间里，由于硅 (Si) 功率 MOSFET 技术、功率封装和电路拓扑结构方面的创新，功率转换效率和成本 (\$/W) 都有稳定改善。虽然硅一直都是此类发展背后的动力，但其品质因数 ( $R_{on} \times Q_g$ 、 $R_{on} \times Q_{oss}$ ) 都已达到理论极值。更新的材料系统，如氮化镓 (GaN)，已进入市场并提供更出色的性能。不过，要取得系统效益，要避免封装技术对电气和热性能的限制。在过去，功率器件封装已经从具有长引脚的通孔封装，如 TO-247 和 TO-220 发展到表面贴装型引线元件，如 D2PAK、DPAK、SO-8，等等。此外，引线封装也被无引线表面贴装方案所取代，如 TO 无引线封装 (TOLL) 和 PQFN。随着对更高功率密度和高可靠性解决方案需求的升高，封装行业必须提供创新选项，以满足新兴发展趋势。客户可能需要通过双面冷却、芯片级封装和多晶片集成打造有效热管理的解决方案，从而降低寄生。当然，这需要成本、性能和可靠性之间的权衡。

这里提供一个有助于理解的汽车应用例子。皮带起动机应用需要大约 12kW，而电源系统中轨为 48V。逆变相级为电机供电，此类电机采用额定电压高于 48V，电流大于 500A 的 MOSFET。一般来说，多个 MOSFET 并联才能满足全功率要求。在电源级中，器件在高端和低端支路中并联以实现完整 3 相，印刷电路板 (PCB) 空间很宝贵，尤其当电源极集成在电机内部时。D2PAK 7L 是此类功耗的应用例中常用的封装，其封装尺寸为 15x10x4.4 mm。不过，当电源级需要多个封装时，需要优先考虑空间占用。与 D2PAK 类似，TOLL (11.7 x 9.9 x 2.3 mm) 也是一种针对高功率和高可靠性应用优化的模塑封装。但 TOLL (图 5) 的尺寸小了 30%，外形减小 > 50%，使紧凑设计、高电流和低热阻 ( $R_{thJC}$ ) 成为可能。要注意的另一个关键方面是不断演进的任务要求，汽车半导体需要满足更高水平的板级可靠性。

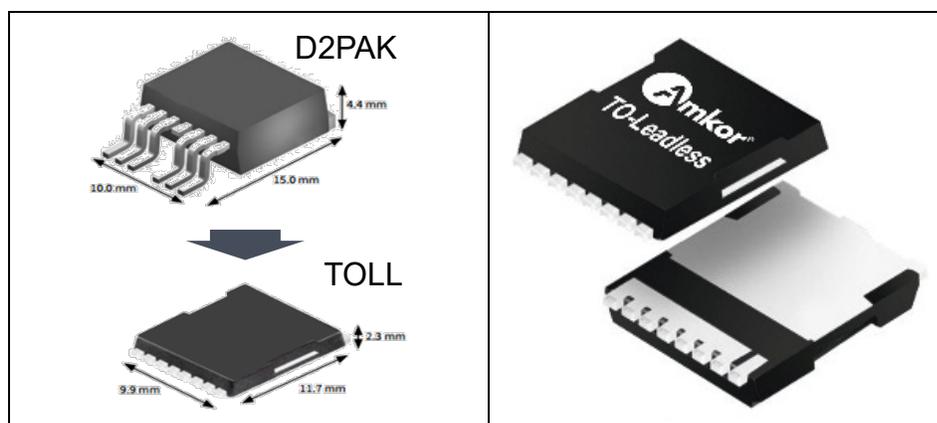


图 5 : D2PAK 7L vs. TOLL 功率封装

云和边缘数据中心中的服务器电源，为 CPU 核心、DDR 存储器 and 负载点（如待机轨、风扇和驱动器）供电的电源，供电要求各不相同。若应用更倾向于采用分布式负载点 (POL) 架构，单个封装中的功率装置或功率级是最佳选择。由于其集成灵活性，包括 PQFN（图 6）在内的封装日益受到欢迎。PQFN 封装可优化晶片封装比和外露式散热片，从而提高服务器电源的功率密度。更大尺寸的 PQFN 可通过采用铜 (Cu) 夹片技术的晶片堆叠集成多个 FET（功率块），如图 6 的 PQFN 双层堆叠所示。另一种选项是将栅极驱动与高端和低端功率 FET（电源极）集成，以实现智能电源应用，如 DrMOS，见图 6 的单堆叠选项。此外，PQFN 还被用于包括电信基础设施、基带板和 DC-DC 转换器在内的应用。

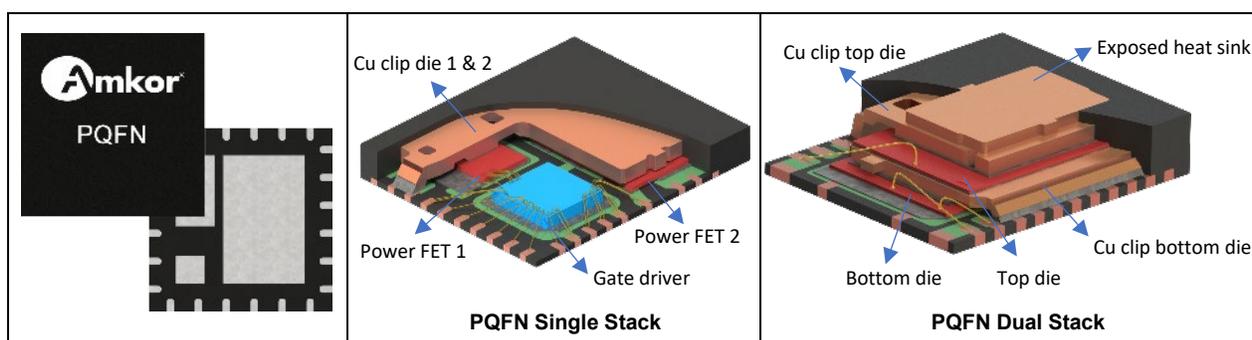


图 6：PQFN 多晶片配置

## 48V 生态系统的功率封装趋势

作为一家领先的外包封装与测试 (OSAT) 供应商，Amkor 在新兴的 48V 生态系统领域提供多样化的产品组合。这项优势源于我们的全球分布，以及与顶尖半导体供应商的合作关系。我们两处不同工厂可支持功率封装，分别是 Amkor Malaysia (ATM) 和 Amkor Japan Fukui (JFI)。扩展来说，我们可以提供多项价值创造型功能和差异化技术优势，例如先进引线框架技术 (XDLF)、铜夹片互连、铝 (Al) 楔焊，以及节省空间的表面贴装和扁平引脚设计。正如上文所讨论的那样，功率封装已经从通孔 (TO) 类型发展到表面 (SMD) 封装。最近，SMD 无引线封装（如 TOLL）受到越来越多关注。这些封装完全符合汽车电子委员会的 AEC-Q101 标准，具有出色的板上功率循环和温度循环 (TCoB) 性能。然而，其在可靠性、电流容量或封装寄生端可能存在局限性。因此，下文将讨论一些新兴的封装概念，它们或能满足新 48V 生态系统功率封装市场的要求。

依照 IPC International 的 IPC-9701 标准，TOLL 可以满足 1000 次循环（板上）的标准要求，具体取决于尺寸和厚度。但需要高晶片封装比和/或更高可靠性的设计师可能发现它非常具

有挑战性。所采用的典型基板包括 FR4、铜基介金属基板 (IMS) 或铝基 IMS。不过，在考虑一种基板选项（如铝基 IMS）时，TOLL 的板级可靠性问题可能会因为差异较大的热系数而进一步加剧。铜引线框架和铝基 IMS 之间的不匹配将对焊料带来更大应力，导致焊料疲劳和开裂。通过在 TOLL 中采用鸥翼型设计（见图 7），TOLG 可以大幅优化可靠性，同时依然提供同等热和电性能。鸥翼设计的灵活性显著改善了可靠性性能。由于最终用户的任务不断变化，更高的应力和可靠性成为一项关键的系统要求，因此上述设计变得必不可少。

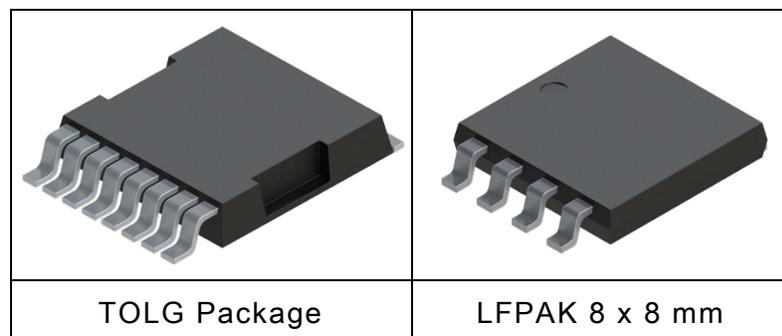


图 7：TOLG 和 LPAK 8 x 8 mm 封装

另外，随着数据中心服务器群迁移到 48V 架构，针对 PUE 的功率密度要求成为一个关键问题。设计师所面对的优化功率器件的品质因数趋势似乎已经到了尽头。更加新型的封装，如 8x8 mm 更大尺寸的 LPAK（见图 7）将成为绝佳的附加选项。相对于传统 7L D2PAK，8x8 mm LPAK 的机械尺寸变小 60%，体积更降低了 80%。在互连技术方面，线焊决定了功率产品的电流承载能力。以 D2PAK 为例，所使用的焊线最大直径为 20 mil。不过，在 LPAK 8 x 8 mm 中，通过采用铜夹片互连技术，电流承载能力将会高得多。夹片技术还将显著降低线焊的寄生电阻和电感。此封装方式缓解了对于可实现功率密度的部分担忧。

在服务器架构中，微处理器所需的快速瞬态响应促使采用 POL 转换器和稳压器。传统功率电子封装在工作频率超过 1 MHz 时的寄生阻抗无法接受。在这方面，Amkor 正在探索适用于功率晶体管的芯片级封装—PowerCSP™ 封装，如图 8 所示。此创新概念是一种基于引线框架的芯片级封装，可提供双侧冷却，将顶部/引线框架一侧连接到散热片或水冷却装置。封装的底部可贴装到采用热通孔和功率铜层的 PCB。PowerCSP 概念的关键优势在于，它避免使用线焊和/或铜夹片，降低了寄生电阻和杂散电感，从而分别减少了传导和切换损耗。而且，PowerCSP 寄生电感的降低还有助于实现更高的切换频率和功率密度。与塑料功率封装相比，如 PQFN 或 LPAK，PowerCSP 设计的构建可采用简化制程，因此也减少了可能导致

可靠性问题的来源。此外，PowerCSP 封装还提供了多晶片集成的途径，可用于打造封装内转换器类型解决方案。

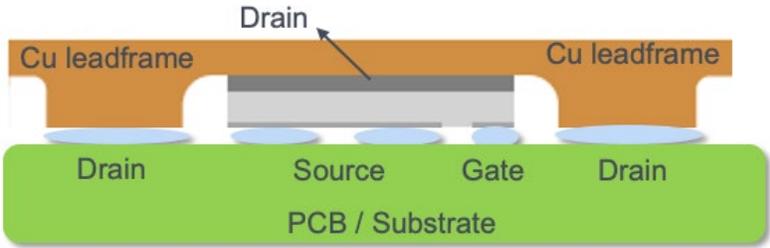


图 8 : PowerCSP™ 封装概念

### 总结

在环保、经济和社会因素的驱动下，对于复杂的功率电子解决方案的需求将会不断增加，以降低总拥有成本。新兴的 48V 生态系统为功率半导体封装领域的持续发展打开了大门。虽然功率封装本已十分成熟，但为了满足新的趋势要求，依然存在改进的空间。不管是优化晶片封装比，降低封装寄生或提高互连的电流承载能力，各种现有的产品组合和创新的新方法都能提供相应的解决方案。要克服这些挑战，需要具备扎实的技术基础以及牢固的客户合作关系。Amkor 不仅可以满足这些要求，还具有经济和技术方面的优势，对设备与设施进行大量投资，并且为其汽车和其他功率产品客户提供长期支持。

### 参考资料：

- [1]。Manish Menon 等，“48V Architecture: A Cost-effective Proposition for OEMs to Meet Growing Emission Norms”，2018 年 8 月 14 日
- [2]。Automotive IQ 等，“The rise of 48V technology – an Automotive IQ eBook”，2018 年 8 月 14 日
- [3]。Branka Vuleta 等，“How much data is created every day?”，2020 年 1 月 30 日
- [4]。Energy Innovation 等，“How much energy do datacenters really use?”，2020 年 3 月 17 日
- [5]。wiwynn 等，“48V: An improved Power delivery system for Data Centers”，2017 年 6 月

[6]。 Global ICT Energy Efficiency Summit 等 , “5G Telecom Power Target Network” , 2019 年 10 月

PowerCSP 是 Amkor Technology, Inc. 的商标

© 2020, Amkor Technology, Inc.保留所有权利。