

GaAs 和 GaN 裸片组件和处理程序

Qorvo 应用工程部门员工

摘要

本白皮书概述了电子组件中使用 GaN 和 GaAs 微波单芯片集成电路 (MMIC) 的适当处理方法、元件布局、最佳贴装方法以及互联技术。

GaAs 和 GaN 裸片组件和处理程序

元件布局

注意：GaAs 和 GaN MMIC 对静电放电 (ESD) 非常敏感。应对接地设备、环境、工作站和操作人员采取适当的预防措施，以最小化/消除在裸片处理、组装和封装期间的 ESD。操作人员应佩戴适当的 ESD 接地手环。测试和组装设备和基站应适当接地并定期测试，以确保符合 ESD 规范。

元件布局涉及元件在电路和微波模块组装中的拾取和布局。只能使用自动或半自动拾取系统和适当的拾取工具来拾取 GaAs 和 GaN MMIC。真空笔和/或真空筒夹是首选的拾取方法。尽管可以使用镊子，但可能导致 MMIC 边缘出现缺口。这些缺口可能会使裂纹蔓延整个 MMIC，产生可靠性问题。拾取参数需要仔细定义，以免损坏 MMIC 的上表面或下表面。任何自动布局时，应避免空气桥位置，防止造成空气桥变形以及其他损坏。在自动操作模式中，由于 GaAs 器件的脆性，拾取和布局期间的冲击力至关重要。GaN MMIC 更为稳固些，但由于上述原因，处理裸片时仍应小心谨慎。在 GaAs 和 GaN 产品上进行拾取和放置操作之前，应进行一次评估，以确定具体设备可接受的力量配置。

元件布局组件注意事项：

- 真空笔和/或真空筒夹是首选的拾取方法
- 避免在拾取和布局时避开空气桥
- 自动配置模式中，冲击力至关重要

焊接

建议使用溶剂清洗预成型焊片和基板/封装，以去除加工、封装、处理等过程中任何已有的表面污物。GaAs 和 GaN MMIC 在回流之前可使用氧气或等离子清洗流程进行清洗；然而，如果 MMIC 在干氮环境中存储适当，便无需清洗。

利用回流工艺进行焊接，在此期间预成型焊片应达到其溶解温度，并应将 GaAs 和 GaN 裸片贴装至基板或基片材料上。当合金与两个表面均已加热时，贴装操作也就完成了，合金会在特定温度下熔化，具体取决于其元素组成。由于其金属特性，焊接合金可在两个表面之间实现最佳的电气和热连接性，以及机械完整性。

由于金锡合金（金锡含量比为 80/20）可与金基元件完美兼容，且具有长期可靠性，因此是业内 GaAs 和 GaN 焊接装配最常用的合金。AuSn 焊料往往作为预成型焊片提供，通常厚度为 0.5-2 mil，切割后比待焊接 MMIC 小几 mil。

由于 AuSn 焊料是硬焊料，而 GaAs 是非常易碎的材料，所以必须特别小心，以确保基板或基片材料的热膨胀系数 (CTE) 与 GaAs 的 CTE (5.73 ppm/°C) 匹配。虽然与 GaAs 相比，SiC 基 GaN 使用 AuSn 焊料时更为稳固，但在组件设计过程中仍应注意基础 CTE。可接受的典型 CTE 范围 (CTE 值为 6 至 10 ppm/°C) 会使 GaAs 处于稍微受压的位置。在这个 CTE 范围内的一些材料包括 Al₂O₃、Cu-W、Cu-Mo 以及常见的铁镍合金 Alloy 46。不得使用 CTE 低于 GaAs CTE 的材料（铁镍钴合金或氮化铝合金），因为在组装期间或在环境暴露或调节时，器件所用材料的应力破裂性可能会进一步发展。适用于 GaAs 的基础材料亦可用于 GaN 器件，且不会造成任何损坏。GaN 可采用具有不同 CTE 值的材料，但是必须进行适当的机械分析，以确保所用方法的热循环具有适当的接合强度和鲁棒性。

大多数微波组件在采用合成气体气氛的传送带式熔炉中进行回流。由于熔炉内的还原气氛，在贴装操作期间无需使用助焊剂。合成气体或氢气气氛可适当减少贴装表面上的氧化物。在许多情况下，需使用固件将 MMIC 对齐和/或压低到位，以防止在通过传送系统移动期间组件内部发生位移，并防止由于焊料达到其熔点时裸片下方弯月面成形而可能导致的 MMIC 浮动。

图 1 显示了适用于传送带式熔炉系统的通用 Au-Sn 焊接曲线。注意，焊接曲线取决于所用熔炉的类型、焊接裸片的尺寸和数量、整个组件（包括传送盘、固件等）的热质量；需针对给定组件确定最终曲线。

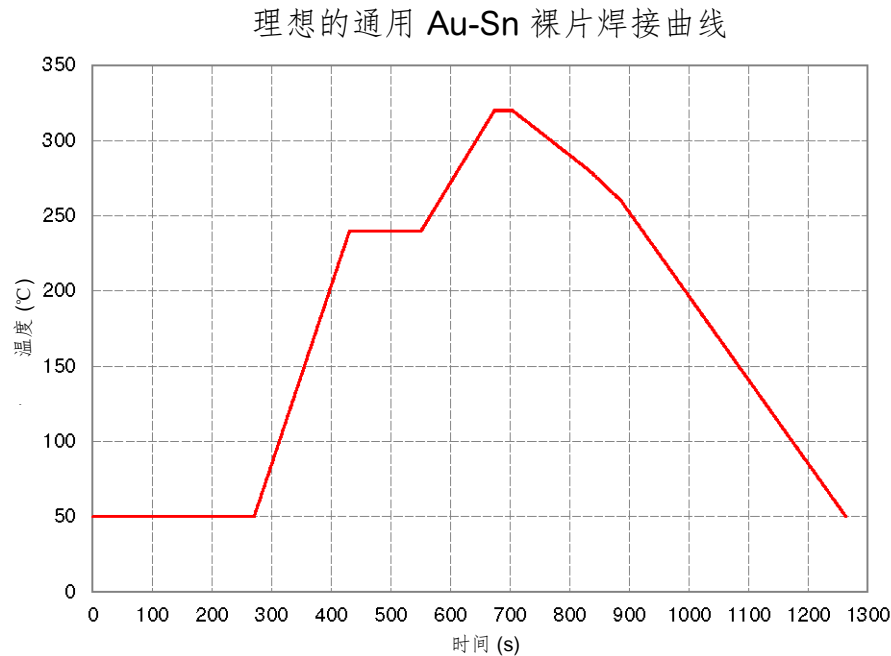


图 1.通用 Au-Sn 焊接曲线

从 MTTF 角度来看，在 320°C 或以上温度下延长时间对 GaAs 器件是有害的。例如：对 Qorvo 0.25 μm pHEMT 工艺来说，暴露在 320°C 温度下 30 秒相当于在通道温度为 140°C 的条件运行了约 545 小时，类似示例还包括各种 GaAs 工艺和运行通道温度。由于 GaN 器件具有较长的使用寿命和更高的温度处理能力，暴露在 320°C 以上的温度下不会对器件 MTTF 产生严重影响。建议 GaAs 和 GaN 的最高回流温度为 320°C，最长回流时间为 30 秒。

尽管焊接设备产热的最简单方法就是使用热板，但空气中使用热板的材料的典型回流通常都需要助焊剂。助焊剂是一种松香基材料，可通过清洁待配合使用的两个表面提高材料的湿润性，同时还可移除氧化物和污物，并在贴装操作期间防止配合面氧化。由于助焊剂一旦暴露就会出现电气和机械降解，所以不得用于 GaAs 和 GaN 器件的组件中。在热板上使用合成气体层，便无需使用助焊剂。合成气体气氛可提供一个适当的还原环境，以便在回流过程中防止氧化物形成。正是出于这个原因，当不能使用助焊剂时，常使用这些类型的合金站进行返工。

由于无助焊剂焊接，所以通常不需要进行焊后清理。对 AuSn 焊点进行目视检查可确定焊接工艺是否满足要求。明亮光滑的银色焊点表明回流时间/温度适当，而黯淡粗糙的或者金色焊点则表明超过了理想的回流温度。

从电气和机械角度来看，实现无空洞的焊接至关重要。无空洞的焊接面可降低 MMIC 裸片的地与组件外壳之间的阻抗。更重要的是，实现无空洞的裸片贴片可优化组件散热器的热导率，确保裸片在尽可能低的通道温度下工作。这可优化器件在给定环境温度下的电气性能，同时实现最佳的器件 MTTF。功率放大器中有源器件区域的空洞会导致足够高的操作温度，从而至少导致输出功率性能低于标准，并有可能出现过热引起的早期器件失效。裸片焊接位置的空洞会导致裸片在施加线焊工具的超声波振动和压力时发生破损。使用 X 光或声学（例如 C-SAM）检查方法可查出焊接面的空洞程度。最佳检查方法就是检查组件类型和组件所用材料的功能。

焊料回流工艺组件注意事项：

- 金锡合金（金锡含量比为 80/20）是目前 MMIC 裸片贴装最常用的合金
- 热膨胀系数匹配对于确保长期可靠性至关重要，尤其是对 GaAs MMIC 来说
- MMIC 应存储在干氮环境中
- 使用还原气氛的传送式熔炉是进行初装的首选热源；使用还原气氛的热板合金站可用于组件返工
- 不得使用助焊剂
- 最高温度限制为 320°C，且不得超过 30 秒

环氧树脂贴装

可使用有机粘合剂（例如环氧树脂）将 GaAs 和 GaN 器件贴装在基板上。在过去，只有在不存在器件热传导问题的低功率应用中才建议使用这些有机物。环氧树脂技术（例如：AbleBond 84-1、ATROX D800HT5）已经改善至热管理和电气性能接近 AuSn 焊料性能的高度。然而，使用环氧树脂贴装大功率 MMIC 器件不仅取决于环氧树脂的热导率，还取决于待贴装器件的耗散功率和热通量，以及基板的特性（热导率和 CTE）。使用环氧树脂实现较薄的结合层（0.001 英寸以下）有助于减轻环氧树脂的热导率影响。实现这些较薄的结合层需要精心设计点胶模式以及固化过程中的裸片布局和固定。较厚的结合层可能有助于减轻裸片 CTE 与基板的 CTE 之间的不匹配，尤其是 GaN 裸片（能够处理较高不匹配性），但却会导致可能无法接受的热阻提高问题。较厚的结合层可能并不会对低功耗器件（LNA、控制元件等）造成大问题。

尽管采用了有机贴装法，基板与 GaAs/GaN 器件的热膨胀系数 (CTE) 匹配问题仍令人担忧。在不匹配的情况下，由于有机物能够吸收压力，所以可能不会出现初期失效。相反，在环境变化后，当有机粘合剂发生变化时，例如由于聚合物链的额外交联聚合作用而出现硬化，促进不匹配基板的应力传递，可能会出现失效。至于 AuSn 焊接，GaAs/GaN 贴装基板的首选 CTE 范围为 6 - 10 ppm/°C。此外，SiC 基 GaN 可承受的 CTE 不匹配性更多一点，但是由于适用于 GaAs 器件 CET 的材料很常见，GaAs 的 CTE 值应同样适用于 GaN 器件。

环氧树脂在 100°C 至 200°C 的温度下固化，减少了 AuSn 焊接所需高温带来的影响。固化工艺应在对流烤箱内进行，且该烤箱应配备用于在固化过程中排放稀释剂和溶剂的排放装置。采纳环氧树脂制造商的点胶和固化建议，确保最佳裸片贴装效果。微波或辐射固化技术可能会导致组件加热不均。这可能会因黑体过度加热而导致 GaAs 器件失效，在这种情况下器件升温快于周围元件，并且会吸收产生的所有热能。

上述材料准备/清洁以及无空洞裸片贴装注意事项和确定的相关信息适用于使用环氧树脂和焊料的裸片贴装工艺。

粘合剂贴装组件注意事项：

- 有机贴装可用于低功率应用，还可用于对环氧树脂、基板材料 CTE、结合层厚度、功耗以及待贴装元件的热通量进行了审慎选择、考虑了系统运行环境的一些大功率应用
- 固化工艺应在对流烤箱内进行；出于安全考虑，该烤箱应配备适当的排放装置
- 由于加热不均匀，不得使用微波或辐射固化工艺

互连

组件互连包括通过使用焊线和/或焊带实现组件内部元件的电气连接。针对 GaAs 和 GaN 组件，焊线和焊带通常为含量为 99.99% 的黄金。热超声线焊工艺是最常用的技术。在热超声焊接工艺中，焊线或焊带由压力、热和超声能量形成。热量通过焊接阶段提供，简单来说，就是在一个温控板上放置模块/组件，焊接工具的移动向焊线或焊带施加压力，而超声能量则通过焊接工具从换能器传输至结合层。这与更古老的热压缩技术（结合层主要是通过热量、压力和时间形成）形成强烈对比。

在热超声焊接工艺中，焊接阶段的温度通常保持在 150°C 左右；建议最高阶段温度为 200°C，以最小化器件损毁。压力或力、结合时间、超声功率、环路配置以及结合位置都是自动焊接设备中的程序化参数。力、时间和超声功率对被焊器件的可靠性至关重要。

大多数互连都是通过使用球焊线形成。焊线一端由球焊实现电路连接，另一端使用楔形焊接或缝合的方式连接。在某些情况下，使用楔形焊接（两端带楔形的焊线，而不是一端带球形的焊线）和带式焊接（使用矩形金丝带，而不是圆柱形焊线）。通常，楔形和带式焊接用于毫米波应用等必须将引线电感保持在最低限度的情况，可通过降低球焊所需的环路高度实现；或用于满足较高的电流要求，在这种情况下可使用少量带式焊接替代大量球焊。电气性能的需求要求在所需焊线数量和执行焊接操作所需时间中取得平衡。自动球焊往往比楔形焊接或带式焊接更快，并且如果需要同时使用线焊和带式焊接，还需要时间更换工具。

使用 0.001 英寸 (25 μm) 金制焊线的球焊或楔形焊接的最小接合焊盘尺寸为 0.004 英寸 \times 0.004 英寸 (100 μm \times 100 μm)。由于焊盘尺寸限制，小型分立式 FET 器件通常使用 0.0007 英寸 (18 μm) 焊线进行楔形焊接。带式焊接通常使用 0.001 \times 0.003 英寸焊带，也可以使用其他尺寸。

由于 GaAs 和 GaN 器件目前都配备了镀金焊盘，所以只能使用金制焊线或焊带进行互连。由于金属间增生以及因此在焊接面中产生的“柯肯达尔孔洞”，铝线会导致可靠性问题，因此不得使用。

互连工艺组件注意事项：

- 热超声球焊是首选的互连技术
- 力、时间和超声波都是至关重要的参数
- 焊盘尺寸较小的分立式 FET 器件应采用 0.0007 英寸焊线进行焊接
- 最高阶段温度不得超过 200°C
- 不得使用铝线