

一种基于顶部热沉的混合集成电源结构设计

杨正男¹, 王勇², 欧长江¹, 胡梅¹, 张雨萌¹

(1.中国电子科技集团公司第四十三研究所, 安徽 合肥 230088;
2.中国电子科技集团公司第四十三研究所 微系统安徽省重点实验室, 安徽 合肥 230088)

摘要:介绍了一种基于顶部热沉的混合集成电源结构设计,该电源结构的载体为ALN陶瓷基板,内部采用多层布线结构,功率芯片植球后倒扣焊到陶瓷基板的焊盘上,无源器件采用高温焊料焊接在陶瓷基板焊盘上,顶部的热沉通过有机胶与陶瓷基板的边缘粘接,热沉和芯片背面、电感顶部之间采用导热胶填充,以提高芯片和电感的散热效果。该结构在抗辐射负载点电源中应用,验证了该方案的可行性。

关键词:顶部热沉;ALN陶瓷基板;倒扣焊;负载点电源

中图分类号: TM46

文献标识码: A

DOI: 10.16157/j.issn.0258-7998.222836

中文引用格式: 杨正男, 王勇, 欧长江, 等. 一种基于顶部热沉的混合集成电源结构设计[J]. 电子技术应用, 2022, 48(10): 40–42.

英文引用格式: Yang Zhengnan, Wang Yong, Ou Changjiang, et al. The design of hybrid integrated power supply structure based on the top heat sink[J]. Application of Electronic Technique, 2022, 48(10): 40–42.

The design of hybrid integrated power supply structure based on the top heat sink

Yang Zhengnan¹, Wang Yong², Ou Changjiang¹, Hu Mei¹, Zhang Yumeng¹

(1. The 43rd Research Institute of CETC, Hefei 230088, China;

2. Anhui Province Key Laboratory of Microsystem, the 43rd Research Institute of CETC, Hefei 230088, China)

Abstract: This paper introduces a design of hybrid integrated power supply structure based on the top heat sink. The carrier of the power supply structure is ALN ceramic substrate, and a multi-layer wiring structure is used inside. To improve the heat dissipation effect of the chip and the inductor, firstly, the power chip is flip-chip welded to the pad of the ceramic substrate after planting the ball. Secondly, the passive devices are connected to the pad of the ceramic substrate with high-temperature solder and the top heat sink is bonded to the edge of the ceramic substrate through organic glue. Lastly, the gaps between heat sink and back of the chip or top of the inductor are filled with heat conducting-glue. The feasibility of the scheme is verified by the application of the structure in radiation hardened POL power supply.

Key words: top heat sink; ALN ceramic substrate; flip chip; point of load power supply

0 引言

随着卫星装备的小型化,整机系统的轻量化需求日趋明显,对空间用抗辐射DC/DC变换器的体积、重量和封装结构提出了更高的要求^[1-3],国内外现有的抗辐射DC/DC变换器多为金属封装,体积和重量均已无法更好满足对供电电源的使用需求。为了解决上述问题,本文介绍了一种基于顶部热沉的混合集成电源结构,可将功率器件的热传导到顶部热沉,解决功率器件散热问题,同时可为抗辐射混合集成电源尤其是负载点电源提供一种微型化、轻量化的解决方案。

1 整体结构设计

基于顶部热沉的混合集成电源整体结构图如图1所示,该结构整体采用陶瓷多层基板与金属全包围式顶部热沉结合的形式,基板背面引出端采用CLGA、CBGA

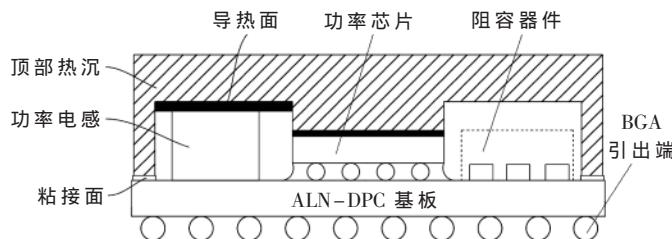


图1 基于顶部热沉的混合集成电源结构设计

或CCGA。基板采用ALN多层共烧陶瓷,内部采用钨导体进行多层布线,实现基板正反面的互连;功率芯片采用倒装焊工艺与基板互连,为保证芯片PAD间距与基板的匹配,基板表层金属化采用薄膜工艺;为保证产品通流,降低损耗,基板表面薄膜金属化后采用直接镀铜

(Direct Planting Copper, DPC) 工艺镀厚铜；内部电阻、电容、电感采用高温回流焊接工艺；顶部的热沉通过有机胶与陶瓷基板的边缘粘接；热沉和芯片背面、电感顶部之间采用导热胶填充，以提高芯片和电感的散热效果。

1.1 DPC 基板设计制作

为保证一体化陶瓷体的强度，采用 HTCC 多层共烧陶瓷^[4-5]，内部采用钨导体进行多层布线，实现基板正反面的互连。ALN 陶瓷的热导率达 $170 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ 以上，可以较好地满足功率器件的散热需求；同时 ALN 陶瓷的热膨胀系数为 $4.5\sim5.0 \text{ ppm}$ ，与芯片的热膨胀系数接近，使得 ALN 基板与芯片之间产生的热应力小，为芯片的应用提供了很好的基础^[6-8]。

为减小体积，提高组装密度，芯片采用倒装焊工艺，陶瓷基板表面导体如直接采用印制导体的方式制作，其印制导体的线宽、线间距等无法与芯片 PAD 间距相匹配。为了解决上述问题，基板表层导体采用薄膜工艺制作，同时，为保证产品通流，降低损耗，提高效率，在氮化铝基板上，通过磁控溅射工艺进行基板表面金属化，先溅射种子层，沉积铜层，然后通过掩膜、光刻、选择性电镀铜等技术对导体进行电镀增厚，最后通过腐蚀、去胶等技术，形成导体厚度 $50 \mu\text{m}$ 以上 DPC 基板^[9]。DPC 基板制作工艺示意图如图 2 所示。

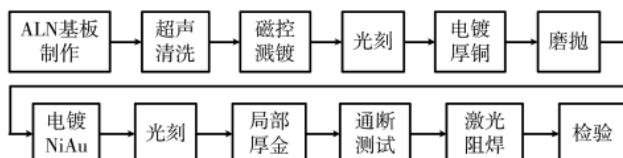


图 2 DPC 基板制作工艺示意图

通过采用差异化镀金的方式在一体化基板不同焊区表面镀镍金，对于金凸点焊区表面采用厚镀层且厚度差值不超过 $4 \mu\text{m}$ ，可确保芯片倒装焊无虚接；对于其他无源器件的焊区表面采用薄镀层，防止焊接工艺产生金脆风险。

1.2 功率芯片倒装焊设计与制作

功率芯片倒装焊结构图如图 3 所示，主要制作过程包括芯片 PAD 金属化、金凸点制备、倒装、底部填充等^[10]。

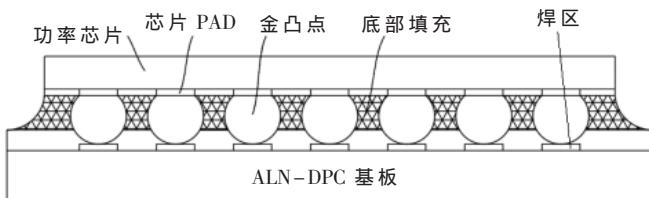


图 3 功率芯片倒装焊结构图

为了避免金凸点芯片 PAD 键合界面产生金铝金属间化合物，产品在后续使用中存在产生科肯达尔空洞风

险^[11]，采用溅射工艺在芯片表面制作 CuNiAg，用作金凸点与芯片 PAD 之间的阻挡层。

金凸点制备的原理为超声热压技术，基于金属材料间的塑性变形，在超声、压力和温度的作用下加速金属原子间的相互扩散，从而形成可靠的互联界面。金凸点制备过程具体为：通过电火花放电将线径为 $25 \mu\text{m}$ 的金丝烧制成球状，通过调整电火花放电电流、放电时间等参数控制金球尺寸，金球直径通常为线径的 2~3 倍。通过劈刀施加超声和压力，与金属焊盘形成可靠的结合，随后劈刀抬起一段距离，在水平方向快速来回扯动，使金丝在金球颈部预先形成微裂痕，保证随后线夹断丝时，在金球颈部断裂，通过该侧向裁剪技术有效控制金丝的断裂位置，增加不同金凸点之间的高度一致性。

金凸点与一体化基板焊接过程具体为：将一体化基板放到工作台加热，然后将芯片倒置，凸点向下反扣在基板焊盘上，通过超声、键合力和温度的共同作用，将芯片凸点键合到基板焊盘，使凸点金属与焊盘金属间发生互溶扩散，从而使原子间产生吸引力形成互连。

倒装芯片组装后的底部填充方法基于毛细流作用，使填充胶水迅速流入倒装芯片底部，其毛细流动最小空间为 $10 \mu\text{m}$ ，下填料沿着组装后芯片的单边或相邻的两边涂布，形成底部填充料池，可提供在器件的支撑间隙中的毛细流，表面张力的作用拉动芯片下的下填料。底部填充工艺不仅能够增加芯片与一体化基板的粘结强度，补偿芯片、金凸点以及一体化基板之间热膨胀系数的差异，还可以避免芯片在温度循环、机械冲击等应力作用下，出现金凸点与一体化基板结合力下降的问题，同时还能够起到塑封的作用，避免了芯片长期暴露在有害气氛环境中，导致键合点出现腐蚀，导致金凸点的连接失效。

1.3 一体化顶部热沉设计

一体化顶部热沉结构图如图 4 所示，可采用高导热率的 AlSiC 材料，它主要包括互联面、功率芯片腔、功率电感腔、器件腔。一体化热沉的互联面通过粘接胶与 DPC 基板相贴合固定，功率电感与功率电感腔顶面、功率芯片与功率芯片腔顶面之间通过高导热胶接触相连，使功率电感以及功率芯片在正常工作的过程中所产生的热量能够通过顶部的热沉及时导出，进一步延长电源模块的使用寿命。

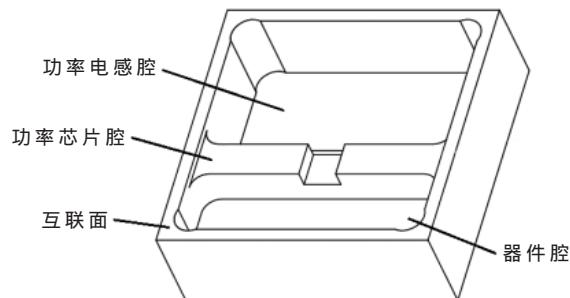


图 4 一体化顶部热沉结构图

2 应用实例

采用基于顶部热沉的混合集成电源结构研制的抗辐射 POL 电源体积可减小为 $17\text{ mm} \times 17\text{ mm} \times 7.8\text{ mm}$, 重量仅为 7.5 g , 功率密度高达 320 W/in^3 。该电源具有输出电流大、功率密度高、重量轻、抗辐射等特点, 与同类型产品相比, 功率密度提升了 52% , 体积减小 37% , 重量降低 53% 。

3 结论

本文介绍了一种基于顶部热沉的混合集成电源结构, 该电源结构由一体化基板、无源器件、功率器件及散热结构件构成, 其中无源器件采用高温焊料焊接到陶瓷一体化基板上, 功率芯片植球后倒扣焊到一体化基板上, 功率器件通过导热胶与散热结构件粘接, 散热结构件采用粘接胶粘接到一体化基板上。采用陶瓷一体化工艺结构, 可实现混合集成电源的微型化、轻量化; 采用倒扣焊后的功率器件通过导热胶将热量传递到顶部的散热结构, 便于用户安装结构件进行散热。

该结构在抗辐射 POL 电源中应用, 验证了该方案的可行性, 与同类型产品相比, 功率密度提升了 52% , 体积减小 37% , 重量降低 53% 。

参考文献

- [1] 方唱凯, 王卫国, 郭显鑫, 等.国外星载大电流直流开关电源均流技术综述[J].航天器工程, 2021, 30(2): 128–135.
- [2] 张小龙, 龚科, 李文琛, 等.宇航用系统级封装产品可靠性设计综述[J].质量与可靠性, 2019(6): 17–21.
- [3] 董硕, 陈辉, 许娟, 等.星载 DC–DC 电源 MOS 管驱动电路

(上接第 39 页)

- 北京: 电子工业出版社, 2010.
- [2] 李康艺, 王兴蔚, 龚军勇.单输出有源钳位正激 DC–DC 变换器设计[J].工艺技术应用, 2010, 41(5): 60–63.
- [3] 何登峰. 低压大电流正激变换器的关键技术研究[D]. 西安: 西安科技大学, 2010.
- [4] 周睿. 有源钳位正激变化器的研究[D]. 徐州: 中国矿业大学, 2019.
- [5] 陈光亮. 有源钳位器设计研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2014.
- [6] 邱力军. 基于 LM5026 的有源钳位正激 DC–DC 变换器设计[J]. 工艺技术应用, 2014, 46(3): 54–57.
- [7] 贺东. 基于同步整流技术的有源钳位正激变换器的研究[D]. 成都: 电子科技大学, 2014.
- [8] 彭国平, 杨旭, 鱼振民. 有源钳位正激变换器的分析和设计[J]. 电力电子技术, 2003(10): 29–33.
- [9] 陈道炼, 严仰光. 有源钳位正激变换器的分析与设计[J]. 电气传动, 1999(1): 30–33.

的设计[J].通信电源技术, 2015, 32(5): 12–15, 19.

- [4] 姬忠涛, 张正富.共烧陶瓷多层基板技术及其发展应用[J].中国陶瓷工业, 2006(4): 45–48.
- [5] 陆琪, 刘英坤, 乔志壮, 等.陶瓷基板研究现状及新进展[J].半导体技术, 2021, 46(4): 257–268.
- [6] 高陇桥, 崔高鹏, 刘征.氮化铝陶瓷金属化技术的探讨[J].真空电子技术, 2020(1): 32–36.
- [7] 张伟儒, 高崇, 郑彧.氮化硅:未来陶瓷基片材料的发展趋势[J].新材料产业, 2016(11): 34–37.
- [8] 李发, 刘征, 鲁燕萍, 等.高导热 AlN 陶瓷材料制造及其应用研究[J].真空电子技术, 2002(3): 56–58.
- [9] 郝自亮.应用化学镀的 DPC 陶瓷基板制备技术研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2015.
- [10] 李泊, 王海, 王东, 等.焊料凸点倒装焊技术[J].半导体情报, 2000(2): 40–44.
- [11] 吕晓瑞, 林鹏荣, 刘建松, 等.倒装焊封装工艺缺陷及检测方法研究[J].信息技术与标准化, 2021(7): 16–20.

(收稿日期: 2022-04-09)

作者简介:

杨正男(1986–), 男, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向: 开关电源设计、混合集成电路设计。

王勇(1987–), 男, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向: 工艺结构设计。

欧长江(1992–), 男, 硕士, 工程师, 主要研究方向: 开关电源设计。



扫码下载电子文档

- [10] 张磊, 岳改丽. 基于 UCC2891 的有源钳位正激变换器的分析与设计[J]. 电力电气, 2013, 32(13): 58–61.
- [11] 赵修科. 实用电源技术手册磁性组件分册[M]. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 2002.
- [12] 马文超. BUCK 电路外围器件参数选型分析[J]. 电子与封装, 2019, 19(2): 28–31.
- [13] 陈小明. 基于正激有源钳位拓扑的 DC–DC 变换器的研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2006.
- [14] TI.LM5025C Active Clamp Voltage Mode PWM Controller [DB/OL]. [2008-09-xx]. <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/LM5025C.pdf>.
- [15] 庄启超, 康冲, 张伟. 基于 LM5025 的模块电源设计[J]. 电子元器件应用, 2010, 12(1): 36–38.

(收稿日期: 2022-02-04)

作者简介:

马文超(1987–), 男, 硕士, 工程师, 主要研究方向: 电源类集成电路应用、技术支持、产品规划等。



扫码下载电子文档

版权声明

经作者授权，本论文版权和信息网络传播权归属于《电子技术应用》杂志，凡未经本刊书面同意任何机构、组织和个人不得擅自复印、汇编、翻译和进行信息网络传播。未经本刊书面同意，禁止一切互联网论文资源平台非法上传、收录本论文。

截至目前，本论文已经授权被中国期刊全文数据库（CNKI）、万方数据知识服务平台、中文科技期刊数据库（维普网）、DOAJ、美国《乌利希期刊指南》、JST 日本科技技术振兴机构数据库等数据库全文收录。

对于违反上述禁止行为并违法使用本论文的机构、组织和个人，本刊将采取一切必要法律行动来维护正当权益。

特此声明！

《电子技术应用》编辑部

中国电子信息产业集团有限公司第六研究所