

一种降低直调电/光转换组件功耗的封装方法

笄余生^{1,2}, 唐彬洽¹, 张童童^{1,2*}, 景飞^{1,2}, 吕晓萌^{1,2}, 廖翱^{1,2}

(1. 中国电子科技集团公司第二十九研究所, 成都 610036; 2. 四川省宽带微波电路高密度集成工程研究中心, 成都 610036)

摘要: 为了降低直调电/光转换组件的功耗, 以对组件的散热分析结论为基础, 提出一种降低直调电/光转换组件功耗的封装方法, 即对组件变形敏感的区域采用传统的柯伐合金材料, 对半导体制冷器(TEC)底部要求快速散热的区域则采用热导率较高的金刚石铜材料。仿真与测试结果表明: 所提出的方法可以降低 TEC 热端面与组件底面之间的温差、TEC 的冷热两端面温差、TEC 的电流和 TEC 自身产生的功耗; 在工作温度为 70 ℃ 时, 电/光转换组件的单通道功耗从传统封装方式的 2.875 W 降低到 1.25 W, 功耗降低了 56.5%。

关键词: 电/光转换组件; 半导体制冷器; 金刚石铜; 功耗

中图分类号: TN929.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-5561(2023)05-0063-04

DOI: 10.13921/j.cnki.issn1002-5561.2023.05.013

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Packaging method for reducing power consumption of directly modulated electrical/optical conversion module

DA Yusheng^{1,2}, TANG Binhan¹, ZHANG Tongtong^{1,2*}, JING Fei^{1,2}, LYU Xiaomeng^{1,2}, LIAO Ao^{1,2}

(1. The 29th Research Institute of CETC, Chengdu 610036, China;

2. Sichuan Province Engineering Research Center for Broadband Microwave Circuit High Density Integration, Chengdu 610036, China)

Abstract: In order to reduce the power consumption of the directly modulated electrical/optical conversion module, based on the analysis of the heat dissipation of the module, a packaging method is proposed to reduce the power consumption of the directly modulated electrical/optical conversion module. The traditional Kovar alloy material is used in the area sensitive to module deformation, and the diamond copper material with high thermal conductivity is used in the area requiring fast heat dissipation at the bottom of the semiconductor cooler(TEC). The simulation and test results show that the proposed method can reduce the temperature difference between the hot TEC end face and the bottom of the component, the temperature difference between the cold and hot TEC ends, the current of TEC and the power consumption generated by TEC itself. At the operating temperature of 70 ℃, the single-channel power consumption of the electrical/optical conversion module is reduced from 2.875 W in the traditional package to 1.25 W, which is a 56.5% reduction in power consumption.

Key words: electrical/optical conversion module, semiconductor cooler, diamond copper, power dissipation

0 引言

微波光子技术是由传统的微波毫米波技术和光子技术融合发展形成的前沿交叉学科^[1], 在宽带无线接入网络、卫星通信、智能交通系统、电子对抗、雷达等系统中具有广阔的应用前景^[2-7]。目前的微波光子技

收稿日期: 2023-04-10。

作者简介: 笄余生(1987—), 男, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为宽带微波器件研究、宽带微波电路及系统设计、宽带微波高密度集成技术研究等, 先后荣获省部级科技进步奖 4 项。

*** 通信作者:** 张童童(1990—), 男, 硕士, 主要研究方向为微波电路及光电集成封装散热设计应用。



术主要是通过使用分立的器件搭建链路来实现的, 系统的体积和质量大、功耗高。为了进一步发挥微波光子技术的优势并扩大其应用范围, 国内部分学者将光子技术中的光路装配和微波器件的微组装机工艺部分(引线键合、电路板组装)在同一个组件中进行封装集成, 实现了微波光子组件的高密度集成^[8-12]。高密度集成使得微波光子集成组件体积大大减小, 同时也导致其散热能力急剧下降, 影响了其散热性能和工程应用。因此, 降低微波光子集成组件的功耗和提高电/光转换组件的散热性能对微波光子集成组件的工程化应用具有重要意义^[1]。本文提出一种降低直调电/光转换组件功耗的封装方法。

1 电/光转换组件散热分析

图1为典型的直调电/光转换组件封装示意图。该组件由射频部分、光学部分、逻辑控制系统和温度控制部分组成。射频部分负责放大并处理外部输入的微波射频信号;光学部分利用激光器芯片将射频信号转换为光信号。逻辑控制系统则进行电压分配,同时监测并反馈激光器输出光功率以及半导体制冷器(TEC)的温度控制情况。温度控制部分利用热敏电阻感知激光器芯片的温度,并使用TEC对激光器芯片进行恒温控制^[8]。

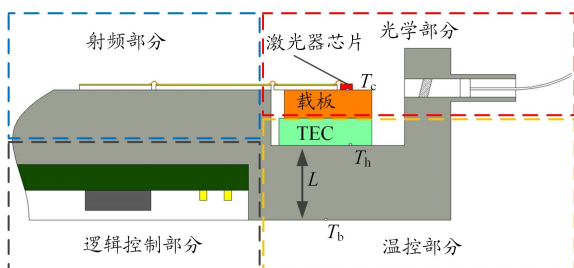


图1 典型直调电/光转换组件封装示意图

激光器芯片的输出波长对温度比较敏感^[14],因此激光器芯片需要在恒定的温度下工作,业界一般采用TEC对激光器进行恒温控制^[15-16]。从图1可以看出,TEC热端面安装在封装壳体的底部,激光器芯片通过载板安装在TEC的冷端面。载板为热导率很高的材料,热阻很小,因此激光器芯片的壳温 T_c 接近TEC冷端面的温度,TEC热端面的温度为 T_h ,冷热端面的温差 $\Delta T = T_h - T_c$ 。典型TEC在负载功耗为0.47 W时的工作曲线如图2所示。可以看出,随着 ΔT 的增加,TEC的电流急剧增加,当 ΔT 超过TEC最大承受温差 $\Delta T_{\max}$ 时,TEC将失控而烧毁。对于固定波长的激光器芯片,其温度 T_c 是固定的,TEC底面的温度 T_b 决定了TEC工作时的温差 ΔT , T_b 的表达式^[17]为

$$T_h = T_b + \frac{L}{S\lambda} Q \quad (1)$$

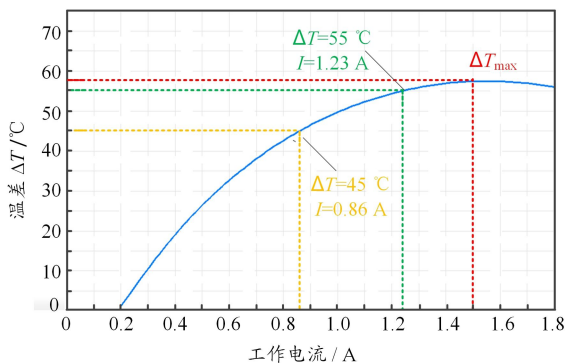


图2 典型TEC在负载功耗为0.47 W时的工作曲线

其中, T_b 为封装壳体底面的温度, L 为位于TEC底部的封装壳体的厚度, S 为TEC底面的散热面积, λ 为封装壳体的热导率, Q 为TEC热端面的净散热量。本文不考虑射频部分热传导带来的热量,则 Q 的计算如式(2)所示。

$$Q = P_j + I^2 R \quad (2)$$

其中, P_j 为激光器芯片的功耗, I 为TEC的电流, R 为TEC的电阻, $I^2 R$ 为TEC自身产生的功耗。

综合式(1)、式(2)可得

$$T_h = T_b + \frac{L}{S\lambda} (P_j + I^2 R) \quad (3)$$

由于 L 和 S 是相对变化较小的参数,而封装壳体的热导率 λ 是一个可以数量级变化的参数, λ 值的增大可以减小 T_h ,进而降低 ΔT ,使得TEC的电流 I 减小,降低组件的整体功耗。因此,增大封装壳体的热导率 λ 对降低直调电/光转换组件功耗具有显著的作用。

光子封装组件对变形比较敏感,通常要求其封装壳体在高低温环境下具有较小的变形量。柯伐合金在高低温环境下热变形较小,因此柯伐合金是一种常用的光学封装壳体材料^[18]。传统的直调电/光转换组件同样采用了柯伐合金作为封装壳体材料,但柯伐合金的热导率较低,仅为17.3 W/(m·K),热阻较大,这使得TEC热端面的温度 T_h 较高,降低了TEC的效率。

基于上述分析,本文提出了一种直调电/光转换组件低功耗的封装方法,即采用一种由柯伐合金材料、金刚石铜材料组成的复合封装壳体,增大TEC底部壳体的热导率 λ 。

2 电/光转换组件复合封装壳体结构

本文提出了一种电/光转换组件复合封装壳体结构,其结构图如图3所示。在组件中对变形敏感的区域采用传统的柯伐合金,而在TEC底部要求快速散热的区域使用热导率较高的铜金刚石材料,这种材料的热导率为600 W/(m·K)。在柯伐合金和铜金刚石材料之间采用金锡焊接工艺实现了气密焊接,这样兼顾了光学封装壳体变形小和TEC底面导热性能好的要求。

3 热仿真分析

3.1 材料参数设置

为了验证TEC底部嵌入复合封装壳体的效果,本文对纯柯伐材料封装和所提的复合封装壳体进行热仿真对比(不考虑射频链路区到恒温区的热传导),仿

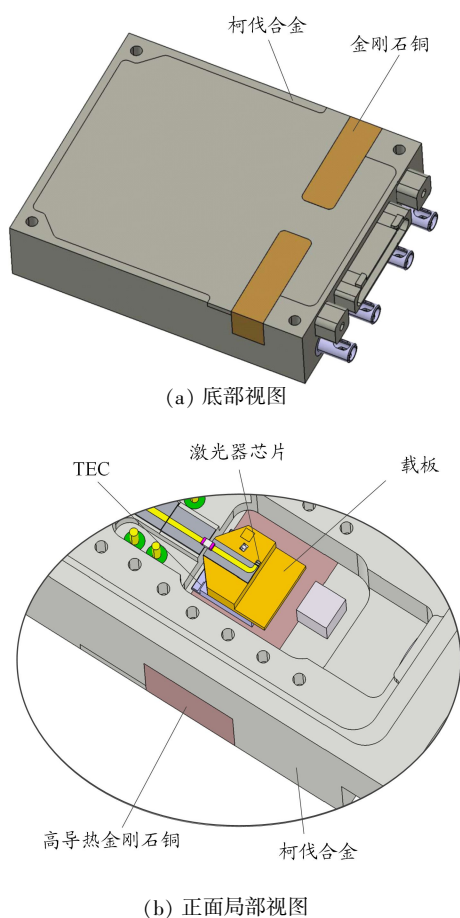


图3 电/光转换组件复合封装壳体结构图

真材料参数如表1所示。

3.2 仿真结果分析

当激光器芯片温度达到 20 ℃时,对纯柯伐材料封装壳体、复合封装壳体进行仿真,得到的温度云图分别如图4、图5所示。可以看出,TEC 热端面的温度分别达到了 82.3、70.3 ℃。

表1 仿真设置参数

参数名称	参数值
环境温度/组件底面温度/℃	70
激光器芯片功耗/W	0.2
热电制冷器型号	1MD04021-05
激光器芯片目标温度/℃	20
柯伐合金热导率/[W/(m·K)]	17.3
金刚石铜热导率/[W/(m·K)]	600

表2 TEC不同封装壳体的仿真结果

封装壳体材料	工作电流/mA	散热面净散热量/W	热端面的温度/℃	热端面与电/光转换组件底面的温差/℃	冷热端面的温差/℃	自身产生的功耗/W
纯柯伐材料	800	1.63	82.3	12.3	62.3	1.43
局部嵌高导热金刚石铜	620	1.08	70.3	0.3	50.3	0.88

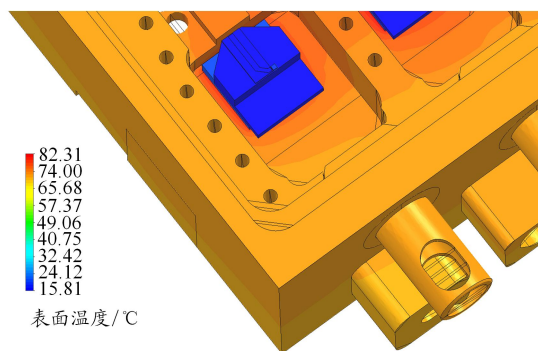


图4 采用纯柯伐封装壳体的温度云图

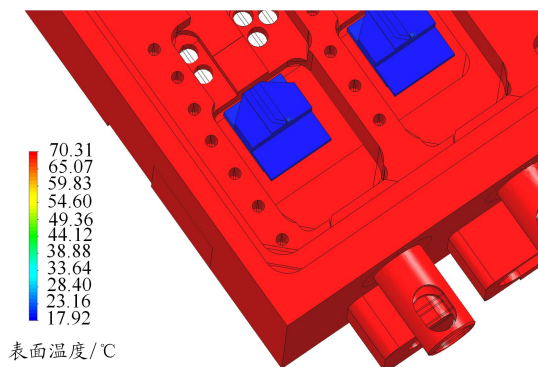


图5 复合封装壳体的温度云图

表2是上述2种封装壳体的仿真结果数据统计对比情况。可以看出,本文提出的复合封装壳体中嵌入了高导热金刚石铜,能够有效降低TEC热端面与电/光转换组件壳体底面之间的温差、TEC热端面的温度以及TEC冷热两端面的温差。此外,此方法可以使TEC的工作电流降低22.5%,同时TEC自身产生的功耗降低38.5%。

4 电/光转换组件功耗实测结果

本文采用在TEC底部局部壳体中嵌入高导热金刚石铜的方法,制备了4通道直调电/光转换组件,其实物样件如图6所示。同时,与采用传统的纯柯伐材料壳体封装的4通道直调电/光转换组件进行了对比测试,结果如表3所示。可以看出,采用本文提出的局部嵌入高导热金刚石铜封装方法,可使4通道电/光转换组件的单通道功耗相比传统封装方法降低1.625 W,总功耗降低56.5%,这表明该封装方法对直调电/光

笪余生,唐彬沅,张童童,等:一种降低直调电/光转换组件功耗的封装方法



高导热金刚石铜

图 6 4 通道直调电/光转换组件样件图

表 3 TEC 不同封装壳体的实测结果

封装壳体材料	工作温度/℃	电压/V	电流/A	组件总功耗/W	单通道总功耗/W
纯铜材料	70	+5	2.3	11.5	2.875
局部嵌入高导热金刚石铜	70	+5	1	5	1.25

转换组件的降功耗具有显著作用。

5 结束语

本文提出了一种降低直调电/光转换组件功耗的封装方法,并对其进行了仿真分析。仿真结果表明,该方法与传统封装方法相比,可将 TEC 底面与电/光转换组件底面之间的温差从 12.3℃降低到 0.3℃,将 TEC 的冷热两端面温差从 62.3℃降低到 50.3℃。此外,该方法还降低了 TEC 的电流和 TEC 自身产生的功耗。实测结果表明,采用本文提出的封装方法,在工作温度为 70℃时,电/光转换组件的单通道功耗从传统封装方法的 2.875 W 降低到 1.25 W,功耗降低了 56.5%。因此,该封装方法在大功率器件及散热要求较高的组件设计中具有较好的应用前景。

参考文献:

- [1] 蒲涛,闻传花,项鹏,等. 微波光子学原理与应用[M]. 北京:电子工业出版社,2015.
- [2] CAPMANY J, NOVAK D. Microwave photonics combines two worlds[J]. Nature Photonics, 2007, 1(6): 319–330.
- [3] YAO J P. Microwave photonics[J]. Journal of Lightwave Technology, 2009, 27(3): 314–335.
- [4] ALWYN J S, KEITH J W. Microwave photonics[J]. Journal of Lightwave Technology, 2006, 24(12): 4628–4641.
- [5] GHELFI P, LAGHEZZA F, SCOTTI F, et al. A fully photonics-based coherent radar system[J]. Nature, 2014, 507(3): 241–345.
- [6] PAN S L, ZHU D, LIU S F, et al. Satellite payloads pay off[J]. IEEE Microwave Magazine, 2015, 16(8): 61–73.
- [7] 陈丽强. 微波光子技术在电子信息系统中的应用[J]. 电子技术与软件工程, 2019(18): 102–103.
- [8] 蔡雪芳,吕晓萌,廖翱,等. 基于封装集成的四通道微波光子电/光转换组件[J]. 光通信技术, 2020, 44(6): 32–35.
- [9] 吕晓萌,伍艺龙,赵炳旭,等. 基于光电混合集成的四通道外调电/光转换组件[J]. 光通信技术, 2021, 45(2): 51–54.
- [10] 李琦,陈鹤鸣. 基于光子晶体 WM 腔和纳米线波导的电光调制与模分复用集成器件[J]. 光通信技术, 2022, 46(6): 10–17.
- [11] 魏莉,吴宇昌,位燕辉. 基于时分复用的四通道光纤旋转连接器设计与性能测试[J]. 光通信技术, 2023, 47(2): 64–67.
- [12] 仇浩,刘晓杰,刘书钢. 基于四象限探测器的激光稳定集成化系统设计[J]. 光通信技术, 2022, 46(6): 44–49.
- [13] 莫修辞,杨静,赵军. 机载微波光子技术应用需求与展望[J]. 真空电子技术, 2019(4): 13–17.
- [14] 周寒青,吴正茂,夏光琼. 温度变化对光纤光栅外腔半导体激光器激光波长的影响[J]. 激光杂志, 2003, 24(5): 65–66.
- [15] 孙冬娇,刘清倦,夏江涛. TEC 的半导体激光器恒温控制系统设计[J]. 机械与电子, 2014, (8): 52–55.
- [16] 徐德胜. 半导体制冷与应用技术[M]. 上海:上海交通大学出版社, 1992.
- [17] INCROPERA F P, DEWITT D P, BERGMAN T L, et al. 传热和传质基本原理[M]. 葛新石,叶宏,译. 北京:化学工业出版社, 2006.
- [18] 伍艺龙,吕晓萌,廖翱,等. 一种微波光子探测器组件的封装设计与实现[J]. 应用光学, 2020, 41(2): 400–404.