

引用本文: 廖翱, 唐彬洽, 张童童, 等. 新型热隔离高频信号传输结构[J]. 光通信技术, 2023, 47(5): 50-52.

新型热隔离高频信号传输结构

廖 翱^{1,2}, 唐彬洽¹, 张童童^{1,2}, 吕晓萌^{1,2}, 景 飞^{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: 为了保持直调电/光转换组件激光器恒温区域温度不变, 提出了一种新型的热隔离高频信号传输结构。该结构采用低热导率介质的电容来传输高频信号, 有效增大了电/光转换组件中射频和激光器芯片之间的传热热阻, 降低了从射频到激光器芯片恒温区之间的热传导。仿真结果表明: 与传统的电路片搭接结构、金丝级联结构相比, 所提传输结构使半导体制冷器的热负载分别降低了 20.5%、10%, 电流分别降低了 100、60 mA; 同时, 该传输结构在 2~18 GHz 频段内的回波损耗最大只有 -16.7 dB, 具备良好的射频传输性能。

关键词: 热隔离; 电容; 低热导率; 电/光转换组件; 半导体制冷器; 回波损耗

中图分类号: TN929.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-5561(2023)05-0050-03

DOI: 10.13921/j.cnki.issn1002-5561.2023.05.010

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



New thermal isolation high frequency signal transmission structure

LIAO Ao^{1,2}, TANG Binhan¹, ZHANG Tongtong^{1,2*}, LYU Xiaomeng^{1,2}, JING Fei^{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 maintain the constant temperature of the constant temperature region of the directly tuned electrical/optical conversion module laser, a new type of thermal isolation high-frequency signal transmission structure is proposed. This structure uses a capacitor of a low thermal conductivity medium to transmit high-frequency signals, increasing the heat transfer resistance between the radio frequency and the laser chip in the electrical/optical conversion module effectively, and reducing the heat conduction from the radio frequency to the constant temperature region of the laser chip. The simulation results show that compared with traditional circuit chip overlap structure and gold wire cascade structure, the proposed transmission structure reduces the thermal load of the semiconductor cooler by 20.5% and 10% respectively, and reduces the current by 100 mA and 60 mA respectively. At the same time, the maximum return loss of this transmission structure in the frequency range of 2~18 GHz is only -16.7 dB, which has good radio frequency transmission performance.

Key words: thermal insulation, capacitance, low conduction, electrical/optical conversion module, thermal electric cooler, return loss

0 引言

在微波光子领域, 直调电/光转换组件是一种将微波信号加载到激光器芯片上, 并对其输出的光信号进行调制的器件。此组件中的激光器芯片是对温度非

收稿日期: 2023-04-10。

作者简介: 廖翱(1983—), 男, 四川资阳人, 硕士, 高工, 主要研究方向是微波电路小型化及 SiP 封装、微波光子器件及其小型化、高性能小型化微波滤波器, 曾荣获中国电子学会科技进步二等奖 1 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。



常敏感的一种芯片^[1-9]。当其温度过高或过低时, 芯片产生的光波波长会发生偏移^[10], 导致系统的噪声系数和增益指标恶化, 甚至造成信号丢失。因此, 通常采用半导体制冷器(TEC)对激光器芯片进行恒温控制^[11-12], 使其工作在恒温区。然而, 然而, 在传统的直调电/光转换组件中, 为确保激光器芯片处于恒温工作状态, 加载微波信号至激光器芯片主要采用金丝级联或电路片搭接的传输结构来实现信号的传输与加载。但这种传输结构在高温环境中, 射频链路区域的热量会通过金丝或电路片底层金属传递至恒温区域的激光器芯片上; 在低温环境中, 激光器芯片恒温区域中的热

量会逆向传递至射频链路区域。因此,无论是高温还是低温环境,均会影响激光器芯片工作的恒温区域温度。为了保持激光器芯片恒温区域温度不变,本文提出一种新型的热隔离高频信号传输结构。

1 新型热隔离高频信号传输结构设计

在典型高频信号传输结构中,连接射频链路区域和激光器芯片恒温区域的金丝、传输电路片底层金属分别是纯金、纯铜,这种材料热阻很小,热量在射频链路区和激光器芯片之间容易相互传导。若采用增大该传输结构中的热阻方法,可以降低射频链路和激光器恒温区域之间的热传导。但是,在增大链路传热热阻的同时,很难保证该传输结构在 2~18 GHz 频段内的射频传输性能。因此,本文提出一种新的热隔离高频信号传输结构(电容搭接),用低热导率电容取代了传统结构中的金丝或传输电路片,其结构如图 1 所示。在这种新型的热隔离高频信号传输结构中,电容的 2 个金属电极分别安装在射频链路区域和激光器芯片恒温区域的 2 个电路片上,同时将导热率极低的绝缘

介质填充在电容的 2 个金属电极之间,起到传递高频信号和增大传热热阻^[4]的作用;恒温区域的电路片传输线和激光器芯片之间采用金丝键合的方式来实现微波信号的加载。

2 仿真分析

本文分别对传统的传输结构(电路片搭接、金丝级联)及所提出的新型热隔离高频信号传输结构进行热仿真和射频传输性能仿真。

2.1 热仿真对比分析

热仿真条件参数和 1MD04021-05 TEC 参数的设置情况分别如表 1、表 2 所示。在仿真过程中,通过调节 TEC 的电流,使处于 70 °C 环境温度下的激光器芯片在稳态时的温度稳定在 20 °C,温度仿真结果如图 2、表 3 所示。

从图 2 可以看出,与电容搭接传输结构相比,电路片搭接和金丝级联传输结构会将更多的热量传递到恒温区,这导致恒温区电路片的温度升高。而电容搭接传输结构几乎未引起恒温区电路片的温度变化。

表 1 热仿真参数

参数	值
环境温度/TEC 底面温度/°C	70
激光器芯片功耗/W	0.2
TEC 型号	1MD04021-05
电容绝缘介质(石英玻璃)/[W/(m·K)]	0.4

表 2 1MD04021-05 TEC 参数

环境温度/°C	$\Delta T_{\max}/K$	$Q_{\max}/W$	$I_{\max}/A$	$U_{\max}/V$
27	71	2.35	1.5	2.6
50	77	2.56	1.5	2.9

注: $\Delta T_{\max}$ 、 $Q_{\max}$ 、 $I_{\max}$ 、 $U_{\max}$ 分别表示 TEC 两端最大温差、TEC 的两端温差为 0 时的最大转移热量、TEC 允许通过的最大电流、当 TEC 通过最大电流时 TEC 两端的电压。

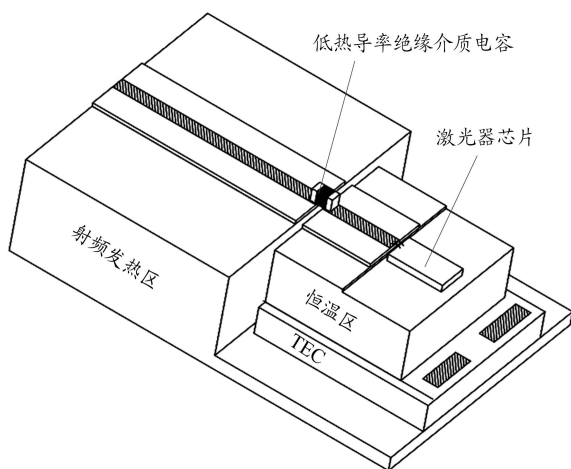


图 1 新型的热隔离高频信号传输结构

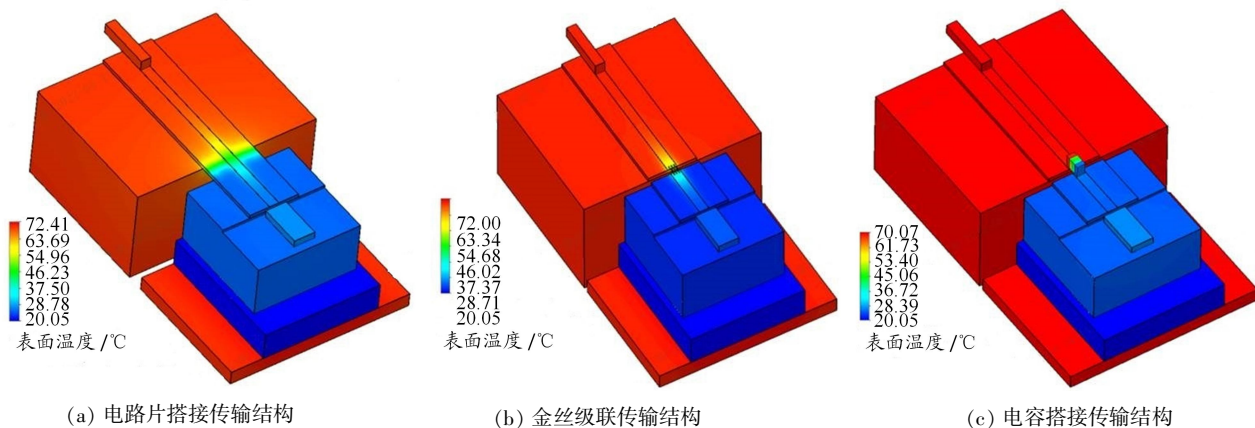


图 2 3 种传输结构的热仿真温度结果

廖翱,唐彬滢,张童童,等: 新型热隔离高频信号传输结构

表3 3种传输结构仿真结果统计

传输结构	区域间传导热量/W	区域间传热量占TEC热负载比例/%	TEC电流/mA	TEC热端面净散热量/W
电路片搭接	0.169	45.7	620	1.044
金丝级联	0.023	10.3	580	0.92
电容搭接	0.005	2.4	520	0.83

从表3可知,与采用典型的电路片搭接和金丝级联传输结构相比,采用本文提出的电容搭接传输结构时,TEC的电流降低了100 mA和60 mA,功耗降低了20.5%和10%。这表明本文提出的新型热隔离高频信号传输结构可有效降低射频链路区和激光器芯片恒温区之间的热传导。

2.2 射频传输性能仿真

本文对HFSS电磁环境中的3种信号传输结构(电路片搭接、金丝级联、电容搭接)射频传输性能进行仿真,建立了射频传输仿真模型,仿真参数、结果分别如表4、图3所示。

表4 HFSS电磁仿真参数

参数	值
工作频率/GHz	2~18
电路片材质	RT/duroid 5880(介电常数为2.2)
电容绝缘介质	石英玻璃(介电常数为4.3)
金丝直径/ μm	25

从图3可知,在2~18 GHz频段内,传统的电路片搭接结构插入损耗最大仅为-0.1 dB,回波损耗接近-30 dB,传输性能良好。而本文所提的电容搭接与金丝级联传输结构的性能基本一致,插入损耗最大值均约为-0.22 dB,回波损耗最大值约为-16.7 dB,且均出现在18 GHz频点处。在微波射频领域,信号传输的回波

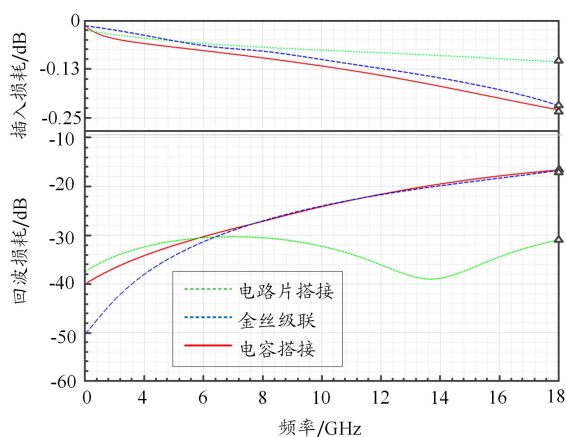


图3 3种传输结构在2~18 GHz频段内的射频传输性能仿真结果

损耗小于-15 dB,即可保证射频信号的良好传输^[15]。这表明本文提出的电容搭接传输结构与传统金丝级联传输结构的性能相当,可很好地满足2~18 GHz频段信号的射频传输要求。

3 结束语

本文提出了一种新型的热隔离高频信号传输结构,该结构采用低热导率介质的电容来传输高频信号,有效提高了射频和激光器芯片之间的热绝缘性能,保证了2~18 GHz频段内的射频传输性能,减少了射频发热区到激光器芯片恒温区之间的热量传递。当直调电/光转换组件的激光器芯片恒温区保持温度不变时,本文所提出的新型热隔离高频信号传输结构中的TEC负载功耗比传统的电路片搭接传输结构、金丝级联传输结构分别降低了20.5%和10%。这为多通道电/光转换组件的降功耗应用具有重大意义。

参考文献:

- [1] CAPMANY J, NOVAK D. Microwave photonics combines two worlds [J]. Nature Photonics, 2007, 1(6): 319-330.
- [2] YAO J P. Microwave photonics [J]. Journal of Lightwave Technology, 2009, 27(3): 314-335.
- [3] AIWYN J S, KEITH J W. Microwave photonics [J]. Journal of Lightwave Technology, 2006, 24(12): 4628-4641.
- [4] GHELFI P, LAGHEZZA F, SCOTTI F, et al. A fully photonics-based coherent radar system [J]. Nature, 2014, 507(3): 241-345.
- [5] PAN S L, ZHU D, LIU S F, et al. Satellite payloads pay off [J]. IEEE Microwave Magazine, 2015, 16(8): 61-73.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] 王飞,周雪芳. 一种基于半导体激光器光混沌的双向通信系统[J]. 光通信技术, 2023, 47(3): 52-55.
- [13] 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.
- [14] 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.
- [15] POZAR D M. 微波工程[M]. 张肇仪,周乐柱,吴德明,等,译. 北京: 电子工业出版社, 2010.