

微波光电调制器的封装设计

崇毓华, 曹继明, 田朝辉

中国电子科技集团公司第三十八研究所, 安徽 合肥 230000

摘 要 : 本文针对一种高频微波光电调制器, 重点讨论和研究了其射频封装、光耦合封装, 以及封装实现工艺。首先介绍了高速硅基光调制器的工作原理和整体封装设计。针对射频封装, 建立了完整的射频仿真流程。针对 GCPW 射频过渡形式, 综合考虑微波传输线过渡设计、金丝过渡仿真以及阻抗匹配设计, 完成了 40GHz 带宽射频过渡 GSG 设计。详细讨论对比了光纤垂直耦合和水平耦合两种类型的优缺点, 采用了剖面高度更低的水平耦合实现一个硅基调制器芯片光学耦合封装, 操作简单、易于实现, 封装管壳结构强度高、实用性强。

关 键 词 : 光电调制器; 阻抗匹配; 射频封装; 光耦合

Package Design Of Microwave Electro-Optic Modulator

Chong Yuhua, Cao Jiming, Tian Zhaohui

The 38th Research Institute of China Electronics Technology Group Corporation, Hefei, Anhui 230000

Abstract : In this paper, a kind of high frequency microwave electro-optic modulator, RF packaging, optical coupling packaging and packaging realization technology are discussed and studied. Firstly, the working principle and package design of high speed silicon based optical modulator are introduced. For RF packaging, a complete RF simulation process is established. Considering the microwave transmission line design, gold wire transition simulation and impedance matching design, the 40GHz bandwidth GSG transition design is completed for the GCPW RF transition form. The advantages and disadvantages of vertical coupling and horizontal coupling are discussed in detail. The horizontal coupling with lower profile height is used to realize an optical coupling package of silicon modulator chip, which is simple to operate and easy to implement, and has high strength and practicability.

Keywords : electro-optic modulator; impedance matching; RF packaging; optical coupling

引言

光纤网络和数据中心通信容量的快速扩展增加了对更快短程光互连的需求。硅光器件因其低成本、CMOS 兼容性和占地面积小的优点而被视为光学互连中有前景的技术。作为硅光子学的关键组件, 基于 PN 结载流子耗尽机制的硅基马赫曾德 (Mach Zehnder, MZM) 调制器在过去几十年中得到了广泛的研究^[1-3]。

为了满足光互连对高数据速率传输的需求, 迫切需要大带宽的高速硅光调制器。通过降低行波电极 (TWE) 的射频 (RF) 损耗, 预期可以大幅提高调制带宽, 因为调制带宽部分受到 RF 信号衰减的限制^[4]。与双驱动调制器相比, 单驱动推挽式硅光调制器具有更宽的电光 (EO) 带宽, 其中嵌入在两个调制臂中的两个 PN 结以相反的极性串联连接, 结电容减半, 从而降低了射频损耗并增加了调制带宽^[5-7]。此外, 单驱动调制器通过使用接地信号 (GS) 共面条形电极而不是双驱动调制器中的接地信号-接地 (GSG) 共面波导, 具有更小的占地面积。这些优点使得单驱动推挽式硅调制器在宽带通信方面具有广阔的应用前景^[8]。

微波光电调制器的封装内容包括: 射频封装和光耦合封装^[9]。其中射频封装包括模块输出射频连接器的设计、射频连接器与光芯片的微带过渡与阻抗匹配设计、微带与光芯片的金丝键合设计等^[10]。首先, 基于微波光电芯片器件的特征, 确定用于该芯片射频连接的射频过渡板 (下文称为 PCB 板)、芯片光学耦合封装形式; 并根据芯片、PCB 板、端面耦合光纤阵列 (FA) 的位置和尺寸关系, 确定金属壳体的外围尺寸和内部结构。此时, 需要综合考虑 PCB 板的设计与装配: 芯片需贴装在金属壳体底部并保证芯片上表面略高于 PCB 板上表面, 以便于 FA 的耦合对准时的观察, 从而大幅降低封装费用, 此外 PCB 板需通过导电胶或者钎焊的方式固定在金属壳体上。

本文围绕一种硅基光调制器芯片开展芯片高频封装和光学耦合设计, 具体包括: 优化设计片上金属电极与传输线, 降低微波传输损耗; 优化设计阻抗匹配和电场模式匹配, 避免电磁谐振; 为了降低器件的剖面高度, 优化选择端面光耦合方式。

一、高频过渡仿真设计

作为调制信号的输入接口, 外部调制信号通过同轴接头加载到传输线上, 继而加载到芯片上。封装结构与电路包括: 同轴高频接头、与同轴高频接头相连的在基片上制作的特征阻抗为 50 Ω 的共

作者简介: 崇毓华 (1985年5月), 男, 汉族, 安徽省天长市, 高级工程师, 博士, 从事微波光子技术研究。

面波导传输线、金丝，称其为封装电路。在封装结构设计中，其中需要考虑的核心问题是高频信号的有效馈送。通过对高频封装电路进行综合优化，以达到芯片高频性能的目的。

射频过渡仿真流程主要包含板材选择、建模仿真、阻抗匹配和参数优化等几个步骤，具体如下：

(1) 通过需要传输信号的类型与频率等信号特性选择合适的印制板材料；

(2) 建立调制器芯片模型与射频传输模型，然后设置端口激励、边界条件与求解类型等相关设置；

(3) 设置阻抗匹配。建立完成仿真模型之后，一般情况下，信号传输效果不是处于最佳状态，此时需要在信号传输线上设置阻抗匹配，并对阻抗的尺寸大小进行最优化扫描，使信号传输处于最佳状态；

(4) 将 HFSS 仿真结果导出信号传输矩阵数据，与芯片实测的 S 参数代入 ADS 软件进行联合仿真，此时的传输效果为一次仿真的信号射频传输结果；

(5) 判断信号传输效果是否符合指标要求，若符合，则完成仿真设计。若不符合指标要求。则返回信号建模流程，更改建模参数，如传输线宽度、传输线与地线间距等参数，进一步优化射频传输结构，直到射频传输仿真效果符合指标要求为止。

在高频封装结构的仿真设计中，共面波导传输线的接地电极与金属平台之间形成了接地共面波导（GCPW），接地电极与背面金属电极之间存在其他的高阶模式，例如类微带线模式（MSL）。为了抑制 GCPW 中的 MSL 模式对传输线的传输响应的影响，采用打接地通孔的微波传输线结构，金属通孔的存在会破坏 MSL 模式的电磁场边界条件，可以形成对微波谐振的抑制。

采用高频仿真软件 HFSS 建立了含接地通孔的 CPW 波导传输线模型，分析了通孔直径固定为 240 μm 情况下的性能。对于 MSL 中的最低谐振模式 TE₁₀₀ 模式而言，由于金属通孔的存在，其谐振频率主要受到通孔之间的 z 向距离和通孔之间 y 向距离的影响。当 y 向通孔间距为 0.42 mm 时。在信号传输线条上加匹配结构，对高频传输性能具有一定优化效果。匹配结构的尺寸根据 HFSS 仿真对其长度、宽度、位置进行参数扫描，最终确保匹配结构具有最优效果。射频耦合与过渡仿真结果表明可以实现 40 GHz 带宽内的微波谐振抑制。

二、光纤耦合设计

芯片上光纤耦合端口可设计为垂直耦合和水平耦合两种类型。对于垂直耦合封装，工艺难度容易实现，8° 倾斜角垂直封装后加固，由于需要安装光纤支架，封装体积较大，特别是 Z 轴需要高度超过 20mm。对于水平端面封装，对芯片集成位置有特色要求，封装难度相比垂直耦合更大一些，模场直径需大于 3.5 μm ，单端的封装损耗比垂直封装大。

根据芯片上输入输出光栅通道间距定制 FA 尾纤，典型值为 0.127mm 或 0.25 mm。将 FA 与芯片光口进行对准，通过三维调整臂控制芯片与 FA 的相对位置，并在 FA 输入端注入适当强度激

光信号，在 FA 输出端监测输出光功率大小。通过控制三维调制臂的不同位置，记录 FA 输出端输出光功率的值。当 FA 输出端光功率出现最大值时，认为 FA 与芯片输入输出光栅为最佳对准状态。

由于 FA 与芯片材料不同，存在折射率差，需要预先根据 FA 与芯片波导材料折射率调制胶水，以确保 FA 与芯片之间有最佳的传输效率。当 FA 与芯片处于最佳对准状态时，通过折射率匹配胶水固定 FA 与芯片，并放入恒温箱内待胶水固定。

本芯片为水平耦合端面，在定制所需的相应间距 FA 之后，将芯片与 FA 进行对准，最后使用特定折射率胶水进行固定。由于光耦合封装在电封装之后，实际光耦合封装需要在壳体内完成，因此需要在设计壳体时，提前预留光耦合夹具所需操作空间，并且 FA 尾纤部分也需预留足够空间用于 FA 尾纤的光纤固定。根据上述设计要求，针对一个硅基调制器芯片实现了射频与光耦合封装。

三、结论

针对高速电光调制器的宽带封装需求，本文研究了射频封装与光耦合封装。针对射频封装，建立了完善的射频仿真流程。针对 GCPW 射频过渡形式，开展了阻抗匹配设计，匹配结构的尺寸根据 HFSS 仿真对其长度、宽度、位置进行参数扫描，最终确保匹配结构具有最优效果。射频耦合与过渡仿真结果表明，可以实现 40 GHz 带宽内的微波谐振抑制。详细讨论对比了光纤垂直耦合和水平耦合两种类型的优缺点，实际封装采用了剖面高度更低的水平耦合。针对一个硅基调制器芯片实现了射频与光耦合封装，操作简单、易于实现，封装管壳结构强度高、实用性强。

参考文献：

- [1]Soref R. A. The past, present, and future of silicon photonics. IEEE Journal of Selected Topics in QuantumElectronics 12, 1678–1687 (2006).
- [2]Chagnon M. et al. Experimental study of 112 Gb/s short reach transmission employing PAM formats and SiPintensity modulator at 1.3 μm . Optics Express 22, 21018–21036 (2014).
- [3]Streshinsky M. et al. Low power 50 Gb/s silicon traveling wave Mach–Zehnder modulator near 1300 nm. OpticsExpress 21, 30350–30357 (2013).
- [4]Ding J. et al. Low-voltage, high-extinction-ratio, Mach–Zehnder siliconoptical modulator for CMOS-compatibleintegration, Optics Express 20, 3209–3218 (2012).
- [5]Dong P., Chen L., and Chen Y.-K., High-speed low-voltage single-drive push-pull silicon Mach–Zehnder modulators, Optics Express 20, 6163–6169 (2012).
- [6]Zhou Y. et al. Modeling and optimization of a single-drive push-pull silicon Mach–Zehnder modulator. PhotonicsResearch 4, 153–161 (2016).
- [7]夏雨楠. 先进射频封装技术发展面临的挑战. 电子与封装 16, 1681–1070 (2016).
- [8]汪金华, 刘亚东, 宣扬, 等. 一种前沿高速硅基光调制器的封装优化设计. 混合微电子技术 26, 6 (2015).
- [9]汪冰, 黄平, 杨磊. 高速光调制器的发展与封装技术研究. 电子与封装 13, 003, 2013.
- [10]祝宁华著. 光电子器件微波封装和测试. 科学出版社, 2011.