

文章编号: 1001-9014(2006)02-0105-04

应用于 40Gb/s 电吸收调制器的 Al_2O_3 高速热沉研究

田建柏, 熊兵, 王健, 蔡鹏飞, 孙长征, 罗毅
(清华大学 电子工程系集成光电子学国家重点实验室, 北京 100084)

摘要: 设计制作了面向 40Gb/s 电吸收调制器(EAM)的高速微波过渡热沉, 并进行了 EAM 管芯级封装测试的验证. 这种基于氧化铝(Al_2O_3)的热沉采用共面波导(CPW)传输线以实现低损耗微波传送, 以及 Ta_2N 薄膜电阻用于 EAM 的阻抗匹配. 采用 Ti/Cu/Ni/Au 金属材料作为 CPW 传输线电极材料, 从而保证 CPW 传输线与 Ta_2N 电阻材料之间良好的电接触, 使热沉的典型反射系数在 0 ~ 40 GHz 范围内均达到优于 -21 dB 的水平. 作为验证, 采用该种热沉用于高速 EAM 的管芯级封装, 测试得到小信号调制响应带宽超过 40 GHz.

关键词: 高速热沉; 电吸收调制器; 共面波导传输线; 薄膜电阻; 阻抗匹配

中图分类号: TN36, TN81 **文献标识码:** A

HIGH-SPEED Al_2O_3 -BASED SUBMOUNT FOR 40Gb/s ELECTROABSORPTION MODULATORS

TIAN Jian-Bai, XIONG Bing, WANG Jian, CAI Peng-Fei, SUN Chang-Zheng, LUO Yi
(State Key Lab of Integrated Optoelectronics, Department of Electronic Engineering,
Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: A high-speed submount was designed and fabricated for 40 Gb/s electroabsorption modulators (EAMs), and characterized in the chip-level packaging and testing of an EAM device. The Al_2O_3 -based submount contains a coplanar waveguide (CPW) for microwave signal feeding and a Ta_2N thin-film resistor for impedance matching of EA modulator. Ti/Cu/Ni/Au metal is introduced as the CPW electrode material, and good contact with Ta_2N thin-film is guaranteed accordingly. Therefore, the typical reflection coefficient of the submount is reduced to be lower than -21 dB up to 40 GHz. As a demonstration, a high-speed EA modulator was packaged by using the high-speed submount, and the small-signal modulation bandwidth was measured to be over 40 GHz.

Key words: high-speed submount; electroabsorption modulator (EAM); coplanar waveguide (CPW); thin-film resistor; impedance matching

引言

随着光纤通信系统的发展, 单路传输速率势必将从目前的 2.5 Gb/s、10Gb/s 向更高速率的 40Gb/s 发展, 必须研制相应的 40Gb/s 光通信光源. 40Gb/s 电吸收调制器 (EAM) 因其体积小、驱动电压低和可集成的优点, 将是未来光通信系统中不可或缺的光源器件之一^[1, 2]. 影响 EAM 性能的因素主要有 2 个: 一个是器件管芯本身的调制性能, 另一个也不容忽视的是 EAM 的封装因素. EAM 封装时首先进行管芯级封装, 即将 EAM 管芯焊接在过渡热沉上, 利

用引线键合实现热沉上信号电极和管芯焊盘的连接. 为确保 EAM 的高频调制特性, 制作的热沉必须具有很低的微波损耗和反射. 当微波信号频率达到 40GHz 时, 微波波长可与热沉尺寸相比拟, 因此不能用传统集总参数电路设计信号传输电路, 而必须采用分布参数电路进行微波传输线的设计, 比如采用共面波导(CPW)或者微带用于制作高速热沉^[3, 4]. 但目前很少见到详细讨论用于 40Gb/s EAM 的热沉的制作技术的文献报道.

本文针对 40Gb/s EAM 的需要, 设计并制作了基于 Al_2O_3 陶瓷的高速过渡热沉, 并通过 EAM 的管

收稿日期: 2005-03-28, 修回日期: 2005-09-19

Received date: 2005-03-28, revised date: 2005-09-19

基金项目: 国家自然科学基金(60244001, 60223001 和 60290084)、“863”高技术计划(2001AA312190 和 2002AA31119Z)和“973”重点国家基础研究(G2000-03-6601)资助项目

作者简介: 田建柏(1979-), 男, 湖北长阳人, 硕士研究生, 主要研究方向为 40Gb/s 高速集成光源.

芯级封装、测试试验,对高速热沉的实用性进行验证.由于EAM工作时加反压,电流和相应的发热量小,因此对热沉基底的导热性没有高要求,而着重考虑应采用低微波损耗材料作为基底.之所以本文采用 Al_2O_3 陶瓷作为基底,是因为该材料微波损耗低,还具有价格低廉的优点,有望实现低成本热沉.为实现微波的低损耗传输,采用CPW传输线作为微波传送波导;为帮助EAM实现阻抗匹配以减小微波反射,在CPW传输线末端制作 Ta_2N 薄膜电阻作为匹配负载.我们发现,选择合适的CPW传输线金属材料对于过渡热沉的微波特性非常重要,本文采用Ti/Cu/Ni/Au金属,实现了与 Ta_2N 电阻薄膜的可靠、低阻连接,从而解决微波反射特性恶化问题.最后,利用制作出的热沉对高速EAM进行管芯级封装,测得其3dB带宽超过40GHz.

1 热沉的设计与制作

图1所示的是本文的 Al_2O_3 基高速热沉结构,它包括一个CPW传输线和对称分布的 Ta_2N 薄膜电阻.考虑到实际制作工艺,本文取CPW电极厚度 t 为 $2\mu\text{m}$.由于测试时将采用微波探针连接,确定CPW传输线的电极间距为 $150\mu\text{m}$,为此信号电极宽度 W 和信号-地的电极间隔 S 之和设在 $150\mu\text{m}$ 左右为宜.为了确定地电极的适当宽度,我们曾制作了结构相似而地电极宽度不同的CPW传输线加以测量,结果显示地电极宽度大于 $700\mu\text{m}$ 的条件下,微波传输损耗变化很小^[5].为此,可采用无限宽的地电极模型简化设计.

在上述已确定的部分结构参数基础上,对热沉

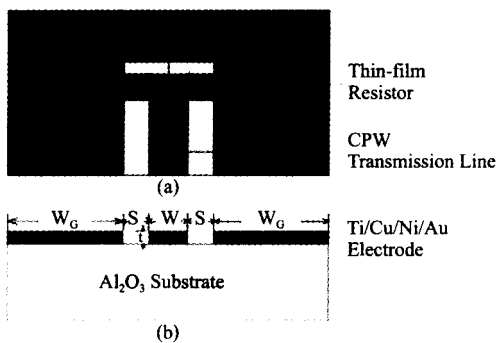


图1 Al_2O_3 高速热沉的结构示意图 (a) 顶视图

(b) 共面波导截面图

Fig. 1 Schematic structure of the Al_2O_3 -based submount (a) top view of the submount (b) cross section view of the CPW transmission line

结构进行仿真优化,最终选定 W 和 S 分别为 $92\mu\text{m}$ 和 $54\mu\text{m}$,计算得到的CPW传输线反射特性和传输损耗如图2所示,分别低于 -45dB 和 $0.08\text{dB}/\text{mm}$.为实现EAM器件的阻抗匹配,CPW传输线的末端采用一组对称的 Ta_2N 匹配电阻,每个电阻值设计为 100Ω .采用 Ta_2N 薄膜用于制作电阻,是因为该材料具有良好的热稳定性和高频稳定性^[6,7].

制作高速热沉的第一步,是在 Al_2O_3 衬底上制作出一定厚度和宽度的 Ta_2N 电阻条形,以满足制作匹配电阻的需要.工艺中,采用反应磁控溅射在 Al_2O_3 陶瓷上制作出 Ta_2N 电阻薄膜.溅射时,通过控制N2分压,形成具有良好温度特性的 Ta_2N 材料;通过控制薄膜厚度,使其薄膜方块电阻约为 $100\Omega/\square$.然后采用光刻胶为掩模,用氟硝酸($\text{HNO}_3:\text{HF}$)溶液腐蚀 Ta_2N 电阻条形,选择合适宽度以使匹配电阻在 50Ω 左右.

接下来,在薄膜电阻条上制作出CPW传输线电极.为此,本文首先重点研究了CPW电极与 Ta_2N 薄膜间的接触电阻大小及其对热沉特性的影响.若采用通常的Cr/Au金属制作CPW电极,由于Cr和Au的互扩散形成高阻合金^[8]会导致电极和 Ta_2N 薄膜

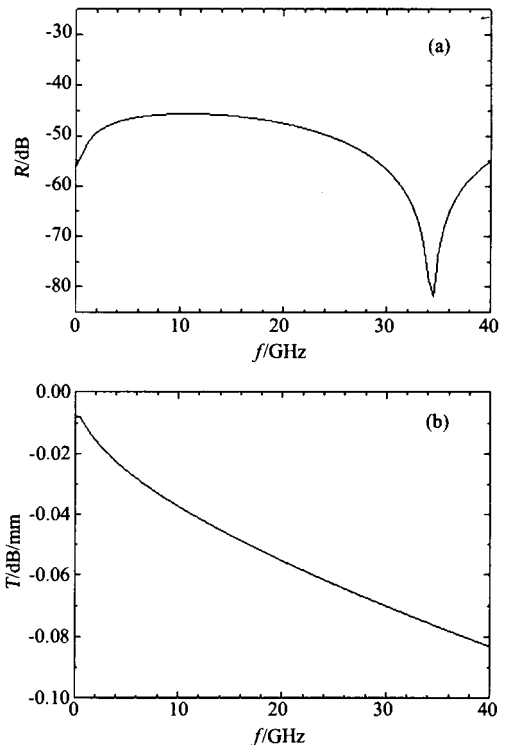


图2 基于 Al_2O_3 的CPW传输线模拟特性 (a) 反射特性 (b) 传输特性

Fig. 2 Simulated reflection (a) and transmission (b) of a CPW transmission line on Al_2O_3 substrate

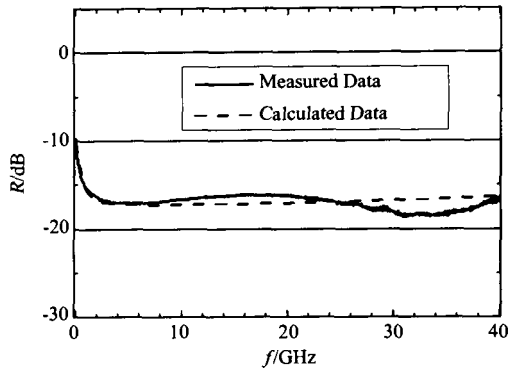


图3 Cr/Au 电极热沉反射特性测量及拟合计算结果
Fig.3 Measured and calculated reflection of a submount with Cr/Au as the electrode metal

接触的恶化,最终影响阻抗匹配性能.图3所示为采用 Cr/Au 作电极材料时低频段的反射特性,其问题主要是低频段反射很大且有陡降.我们建立如图4所示的等效电路模型来进行分析,该电路考虑了接触电阻和寄生电容的影响.其中, R_{se} 和 C_{se} 是 CPW 信号电极的接触电阻和电容; R_{ee} 和 C_{ee} 是 CPW 地电极接触电阻和电容; R_f 和 C_f 则为单边 Ta₂N 薄膜电阻值和寄生电容.计算得到如图3所示的拟合曲线,和实测曲线吻合很好,该曲线采用的参数 R_f 、 C_f 、 R_{se} 、 C_{se} 、 R_{ee} 和 C_{ee} 分别为 131Ω、0.005pF、20Ω、30pF、20Ω和 20pF.计算结果显示,低频段反射恶化主要由于 CPW 电极和 Ta₂N 薄膜材料接触电阻过大造成,要想改善低频微波反射特性,要解决接触电阻过大的问题.

本文改用 Ti/Cu/Ni/Au 复合金属材料来制作 CPW 电极,则极大改善了热沉传输线的微波性能. Ti/Cu/Ni/Au 复合金属材料曾在集成电路中被采用^[9],在导电金属 Au 和粘附金属 Ti 之间加入阻挡金属 Cu/Ni 可极大地阻止金属间的互扩散. Ni 层的引入是为了降低 Au 和 Cu 之间形成 Cu₃Au 高阻合金,从而保证电极金属在高温退火条件下仍然保持与 Ta₂N 薄膜的良好接触.如图5所示为 Cr/Au 和 Ti/Cu/Ni/Au 与 Ta₂N 接触电阻随着退火温度增加而变化的趋势. Cr/Au 电极接触电阻在超过 300 °C 时急剧增大,而对于 Ti/Cu/Ni/Au 电极接触电阻在达到 500 °C 范围内仍然较低而且保持稳定.

接下来在热沉上制作 CPW 传输线,首先在基片的 CPW 电极区显影去掉光刻胶,形成光刻胶掩模图形,然后采用溅射方法依次溅射上 Ti, Cu, Ni, Au 四层金属(厚度分别为 50nm、150nm、100nm 和

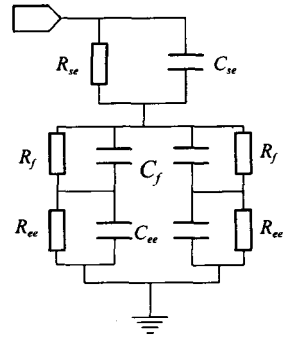


图4 考虑 CPW 电极和 Ta₂N 薄膜接触电阻的热沉等效电路
Fig.4 Equivalent circuit of the submount considering high contact resistance between CPW electrodes and Ta₂N thin-film

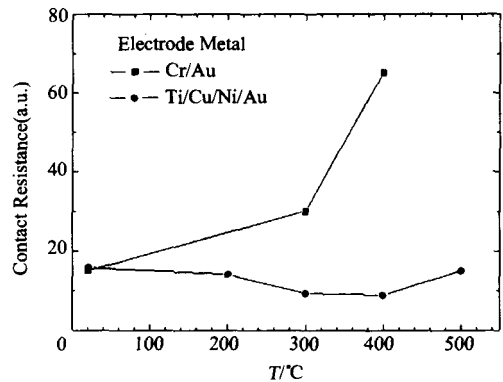


图5 电极和 Ta₂N 薄膜之间接触电阻在不同退火温度下的变化趋势
Fig.5 Contact resistance between the electrode metal and the Ta₂N film after annealing at different temperatures

60nm),接着采用超声抬离的方法形成 CPW 薄膜电极.为了减小微波损耗,本文采用电镀金的方法进一步提高金属电极厚度达到 2μm 左右.最后将热沉放在氮气中 300°C 加热退火 5min.

2 测试结果

对于制作完的高速热沉,我们采用 Agilent 8722 网络分析仪和 Cascade ACP40-GSG 探针来测量热沉的微波性能.图6所示为 Al₂O₃ 基高速热沉反射特性曲线,实线为测量数据,虚线为拟合结果.结果显示,在 40GHz 范围内热沉的反射系数均优于 -21dB,而等效电路的曲线拟和结果表明匹配电阻 $R_L = 49\Omega$,寄生电容为 $C_{PL} = 0.006\text{pF}$.

然后,我们利用该热沉进行了 EAM 的管芯级封装,以检验热沉应用性.采用 Agilent 8722 网络分析仪用于热沉的微波特性测试,从网络分析仪出来的

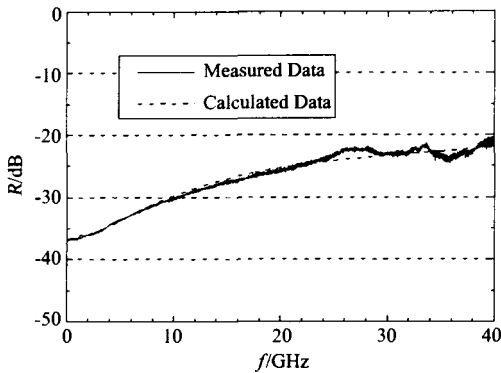


图6 Ti/Cu/Ni/Au 电极热沉反射特性的测量和拟合结果
Fig. 6 Measured and calculated reflection of a wide-band submount with Ti/Cu/Ni/Au as the electrode metal

高频信号通过 Cascade ACP40-GSG 微波探针加载到 CPW 传输线上并被传输加载到 EAM 上. 激光通过拉锥光纤耦合进入 EAM, 然后被调制并通过拉锥光纤耦合输出, 由 U2T-XPDV2020 光探测器转换为微波信号, 返回网络分析仪. 测试结果表明, EAM 电调制带宽超过了 40GHz, 可满足未来的 40Gb/s 光纤通信系统的应用要求, 这也验证了此 Al_2O_3 热沉在 40Gb/s 高速 EAM 封装中的实用性^[10].

3 结论

本文面向 40Gb/s EAM 的需要, 设计并制作了基于 Al_2O_3 陶瓷的高速过渡热沉, 通过应用于 40 Gb/s 高速 EAM 的管芯级封装、测试同时对其实用性进行了验证. 此过渡热沉采用 CPW 传输线以实现低损耗微波传送, 在传输线末端制作 Ta_2N 薄膜电阻实现 EAM 的阻抗匹配. 在 CPW 传输线中, 采用 Ti/Cu/Ni/Au 金属材料代替传统 Cr/Au 材料, 使 CPW 传输线与 Ta_2N 电阻材料之间实现稳定的低电阻接触, 解决了 Cr/Au 材料热沉的反射系数在低频恶化的问题. 我们成功制作了在了 0 ~ 40GHz 范围反射系数均优于 -21dB 的高速过渡热沉, 并应用于高速

EAM 的管芯级封装测试, 测得其小信号调制带宽超过 40GHz, 验证了此热沉的实用性.

REFERENCES

- [1] XIONG Bing, WANG Jian, SUN Chang-Zheng, *et al.* Study on DFB laser integrated EA modulators based on an identical epitaxial layer structure [J]. *J. Infrared Millim. Waves* (熊兵, 王健, 孙长征, 等. 同一外延层结构高速 DFB 激光器/EA 调制器集成光源的研究. *红外与毫米波学报*), 2002, **21**(S1): 19—22.
- [2] FU Shi-Jing, TONG Zhou-Sen, LIU Ye-Xin, *et al.* Design and analysis of millimeter traveling-wave electroabsorption modulator's electrode [J]. *J. Infrared Millim. Waves* (傅思镜, 童洲森, 刘叶新, 等. 毫米波行波电吸收调制器电极的设计与分析. *红外与毫米波学报*), 2004, **23**(4): 291—294.
- [3] Bond A E, Shtengel G, Singh P, *et al.* High speed packaged electroabsorption modulators for optical communications [C]. 50th Electronic Components and Technology Conference, Las Vegas, NV, USA, 2000.
- [4] Feng H, Makino T, Ogita S, *et al.* 40Gb/s electro-absorption-modulator-integrated DFB laser with optimized design [C]. Optical Fiber Communication Conference and Exhibit, Anaheim, CA, United States, 2002.
- [5] Xiong B, Wang J, Cai P F, *et al.* Novel low-cost wideband Si-based submount for 40Gb/s optoelectronic devices [J]. *Microw. Opt. Techn. Lett.*, 2005, **45**(1): 90—93.
- [6] Katz A, Pearton S J, Nakahara S, *et al.* sTantalum nitride films as resistors on chemical vapor deposited diamond substrates [J]. *J. Appl. Phys.*, 1993, **73**(10): 5208—5212.
- [7] Henderson R, Zurcher P, Duvallet A, *et al.* Tantalum nitride thin film resistors for integration into copper metallization based RF-CMOS and BiCMOS technology platforms [C]. Topical Meeting on Silicon Monolithic Integrated Circuits in RF Systems. Ann Arbor, MI. USA, 2001.
- [8] Poate J M, Tu K N, Mayer J W. *Thin Films: Interdiffusion and Reactions* [M]. New York: Wiley, 1978.
- [9] Morabito J M, Thomas J H, Lesh N G. Material characterization of Ti-Cu-Ni-Au (TCNA)-a new low cost thin film conductor system [J]. *IEEE Transactions on Parts, Hybrids and Packaging*, 1975, **11**(4): 253—262.
- [10] Xiong B, Wang J, Zhang L J, *et al.* High-speed (> 40 GHz) integrated electroabsorption modulator based on identical epitaxial layer approach [J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 2005, **17**(2): 327—329.