

电吸收调制器和 DFB 激光器集成器件的测量*

王幼林 刘 宇 孙建伟 祝宁华

(中国科学院半导体研究所, 北京 100083)

摘要: 提出了一种测量电吸收调制器和激光器集成器件芯片散射参数的新方法. 根据电吸收调制器和封装寄生参数的等效电路模型, 对测量的反射系数进行拟合, 得到封装寄生参数和电吸收调制器的等效电路元件的参数值. 通过分析发现测试封装寄生参数对电吸收调制器的测试结果有很大影响. 去除了封装寄生参数的影响后, 得到了调制器的反射和传输参数的真实频响特性.

关键词: 电吸收调制器; 集成光电器件; 分布反馈激光器; 散射参数; 测量

EEACC: 4270; 4230J; 7310N

中图分类号: TN365

文献标识码: A

文章编号: 0253-4177(2003)09-0955-05

1 引言

高速电吸收调制器和激光器集成器件由于其诸多的优点而受到人们的普遍关注, 近几年得到了很大的发展. 现在此类器件实用化产品的调制带宽已经达到 20GHz 以上^[1,2]. 当电吸收调制器和激光器集成器件的隔离电阻较高和调制器光输出端的反射系数较小时, 可以认为集成器件的频响特性只与调制器有关^[3,4]. 在反向偏压下调制器呈现高阻, 当把 50Ω 的电阻与调制器并联时, 可实现阻抗实部的匹配. 但从直流到微波的整个频段内, 调制器的电容所产生的容抗在很大的范围内变化, 这就为阻抗匹配带来很大困难^[5]. 为了优化调制器的匹配电路, 需要得到调制器的真实特性.

在器件测试过程中必然引入热沉和金丝的寄生参数, 如电容和电感, 在几个 GHz 以上的频率下, 它们的影响不可忽略. 通常在调制器芯片测量的数据中, 都包含这些寄生参数的影响. 为了准确地得到调制器的真实频率响应特性, 必须排除这些影响. 很多文献报道了激光器和探测器芯片的测量方法, 利用误差校准技术和对器件(包含封装电路)等效电路进行模拟分析, 从而可以去除寄生参数的影响, 得到芯

片的真实频率响应特性^[6~10]. 但是到目前为止, 还未见到有关电吸收调制器芯片高频特性精确测量的报道.

本文首先利用误差校准技术去除测试探针的影响, 得到准确的实验数据. 根据热沉、金丝和调制器的双端口模型, 把反射参数的数值模拟结果和实验数据进行比较, 得到封装带来的寄生参数和调制器本身的参数. 采用匹配阻抗与调制器直接并联的等效电路进行计算, 去除寄生参数的影响, 得到调制器的反射和传输参数的真实频响特性.

2 微波测试探针的误差校准

对于大多数半导体光电子芯片, 如激光器、调制器、探测器等, 通常两个电极分别在芯片的上下两个面. 在测试和封装过程中, 需要将芯片焊接在具有共面电极结构热沉的一个电极上. 用金丝将上电极与热沉的另一电极相连. 图 1 给出测试装置示意图. 微波测试探针压在热沉的两个电极上进行测量. 测试使用的光电探测器是 New Focus Model 1014, 响应带宽达到 45GHz^[11], 因此探测器的响应认为是平坦的. 由于通常网络分析仪仅校准到同轴端口, 这需要对探针进行校准, 把探针的影响排除. 校准后测试参

* 国家“863”(Nos. 2001AA312030, 2001AA312190)、“973”(No. G2000036601)和国家杰出青年基金(批准号: 69825109)资助项目

王幼林 男, 1970 年出生, 博士研究生, 目前从事高速光通信器件的封装测试研究.

祝宁华 男, 1959 年出生, 研究员, 博士生导师, 目前从事高速光通信器件的封装测试研究.

2002-11-01 收到, 2002-12-30 定稿

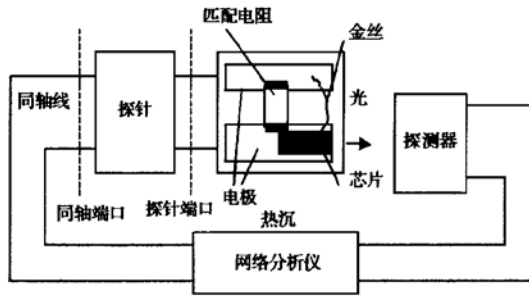


图 1 测试装置示意图

Fig. 1 Schematic diagram of measurement setup

考面就移到探针的尖端上. 在测量中, 先采用 HP85052D 3.5mm 的校准标准对网络分析仪 HP8720D 进行校准. 采用短路-开路-匹配 (open-short load, OSL) 单端校准方法^[12]和扩展 OSL 方法^[13]可以确定探针的散射参数:

$$S_{P11} = \Gamma_{MM} \quad (1)$$

$$S_{P22} = \frac{\Gamma_{MO} + \Gamma_{MS} - 2\Gamma_{MM}}{\Gamma_{MO} - \Gamma_{MS}} \quad (2)$$

$$S_{P21}S_{P12} = S_{P11}S_{P22} + \frac{(\Gamma_{MO} + \Gamma_{MS})\Gamma_{MM} - 2\Gamma_{MS}\Gamma_{MO}}{\Gamma_{MO} - \Gamma_{MS}} \quad (3)$$

下标中, P 表示探针, O、S 和 M 表示终端接标准开路、短路和匹配.

对器件进行测量的结果中包含探针的影响. 利用上面校准得到的探针的数据, 可以通过下列式子排除探针的影响:

$$S_{D11} = \frac{-S_{P22} + S_{M11}}{S_{P12}S_{P21} + S_{P11}(S_{P22} + S_{M11})} \quad (4)$$

$$S_{D21} = \frac{S_{P21}S_{M21}}{S_{P12}S_{P21} + S_{P11}(S_{P22} + S_{M11})} \quad (5)$$

其中 D 表示扣除探针的影响后, 被测器件的结果. 图 2 给出对器件和热沉的直接测量和扣除探针的影响后的测量结果. 从图中可以看出, 探针的影响得到了去除, 校准后的结果更加准确. 这些精确的测量结果对从集成器件的等效电路模型和实验数据提取器件参数是非常重要的^[6]. 下面使用的实验数据都是指经过校准后得到的数据.

3 封装等效参数的确定

在高频下, 热沉的共面电路和金丝具有分布参数的电阻、电容和电感, 它们的分布式集总参数模型是非常复杂的. 在我们考虑的 14GHz 以下的频率

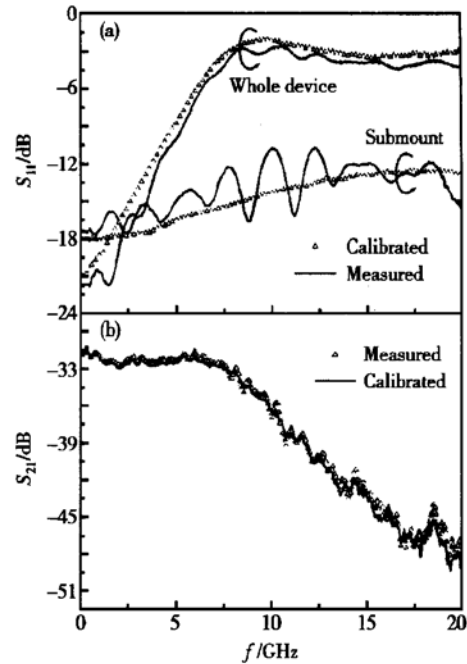


图 2 S_{11} 和 S_{21} 直接测量和校准后的结果比较

Fig. 2 Comparison of directly measured and calibrated S_{11} and S_{21} responses

范围内, 为简单起见, 采用了较为简单的模型: 把匹配电阻看成直流电阻和电感串联; 共面电极是一段传输线, 考虑其在匹配电阻两边, 因此用两个集总参数电感等效; 另外, 共面电极两端开路, 用两个电容等效. 图 3 给出了热沉和金丝等效电路图.

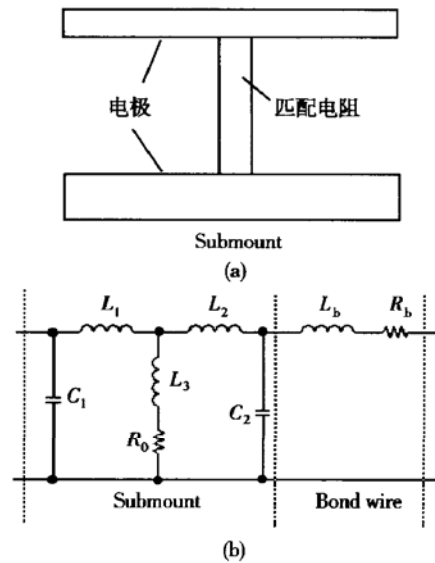


图 3 (a) 热沉示意图; (b) 热沉和金丝等效电路图

Fig. 3 (a) Schematic diagram of submount; (b) Equivalent circuit model of the submount and bond wire

根据热沉的等效电路模型,图4给出热沉反射参数的模拟结果和测试结果的比较,从图中可以看出,在低于14GHz的频率时模拟结果与实测结果符合较好.在频率高于14GHz时,二者偏差较大,这是因为我们采用较为简单的等效电路模型,它并不能准确代替分布参数的微波电路,但这并不影响在我们所考虑的频率范围内模拟数据的准确性.通过直接测量可以得到匹配电阻 $R_0=41.5\Omega$,模拟得到的寄生参数最佳数据为: $C_1=0.020\text{pF}$, $C_2=0.023\text{pF}$, $L_1=0.17\text{nH}$, $L_2=0.18\text{nH}$, $L_3=0.19\text{nH}$.

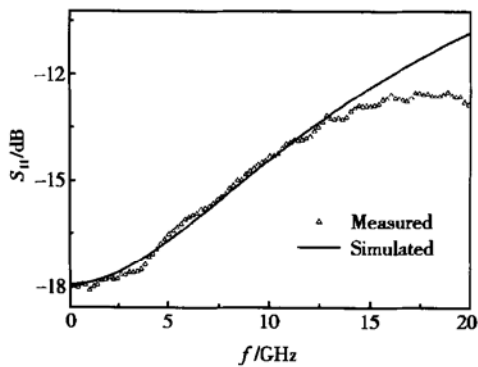


图4 热沉的 S_{11} 测量和模拟结果的比较

Fig. 4 Comparison between measured and simulated S_{11} response of submount

用于连接调制器上电极和热沉电极的金丝可等效为电感和电阻的串联电路,对于直径为 $25\mu\text{m}$,长度为 1mm 的金丝,相应的电感和电阻值约为 1nH 和 2Ω ^[9].相应的金丝长度约为 0.4mm ,金丝的电感 $L_b=0.4\text{nH}$,电阻 $R_b=0.8\Omega$.

4 调制器参量的获得

图5为热沉、金丝和调制器的等效电路图.在电吸收调制器和激光器集成器件中,如果调制器和激光器之间的隔离电阻足够大(大于 $10\text{k}\Omega$),那么它们之间就可以产生足够的电隔离^[4].由于调制器出光端面的反射光可以引起器件的啁啾,所以要在调制器的出光端面镀抗反射膜.另外,在调制器上加一定的反向偏压,可以使反射光对激光器的影响变小.通过器件的优化,调制器抗反射膜的反射系数小于1%,在一定的反向偏压下,可以使器件对反射光不敏感^[14].对于我们的试验样品,隔离电阻大于 $12\text{k}\Omega$,反射率小于1%,试验中所加反向偏压为 1V .在对器件小信号频域测量时,由于所加的RF信号

为 5dBm ,对于 50Ω 的输出阻抗,RF信号电压振幅约为 15mV .这相对于直流反向偏压是很小的,反射光导致的啁啾效应很微小,基本不会对器件的频响产生影响,所以图5中并没有画出激光器部分的等效电路.电阻 R_m 在调制器加反向偏压时通常大于几个 $\text{k}\Omega$,它对器件频响特性影响也很小.

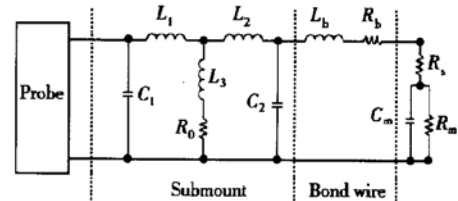


图5 完整的器件等效电路图

Fig. 5 Equivalent circuit model of the whole device

热沉和金丝的寄生参数数据从第3节中已经得到.根据图5中等效电路对器件的反射参数进行模拟,图6给出了实验数据和模拟的结果.模拟得到调制器的电容 $C_m=0.51\text{pF}$,串联电阻 $R_s=4.2\Omega$.在反向偏压下直接测量 R_m 为 $10.6\text{k}\Omega$.从图中可以看出,在调制频率低于 14GHz 时,模拟结果和实验结果符合得很好.在频率高于 14GHz 时,模拟结果和测试结果有较大的偏离,原因也如第3节所述.

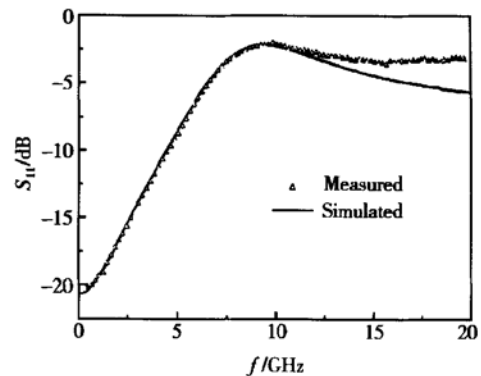


图6 整个器件的 S_{11} 测量和模拟结果的比较

Fig. 6 Comparison between measured and simulated S_{11} response of the whole device

5 寄生参数影响的去除

需要去除热沉上的电容和电感及金丝对测量调制器本身高频特性的影响.由于前面我们已经得到调制器的电容和串联电阻,因此可以直接把匹配电阻 R_0 和调制器并联,如图7所示,这样热沉和金丝的影响可以去除,根据计算结果便得到器件的真实

反射和传输频响特性.

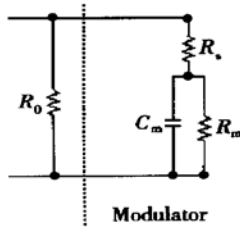


图 7 匹配电阻和调制器并联等效电路图

Fig. 7 Equivalent circuit model of paralleling matched resistance and modulator

图 8 给出器件反射参数和传输参数测量结果和计算结果的比较. 从图中可以看出, 封装带来的寄生参数对器件的真实特性测量产生很大影响, 本实验所用的热沉和金丝使得反射损耗变大. 在频率为 6GHz 时, 器件反射损耗的测量值已经大于 6dB, 而对于同样的损耗, 计算值的频率为 8.5GHz. 同样寄生参数也使得器件的 3dB 带宽变窄, 两者比较相差大约 2GHz.

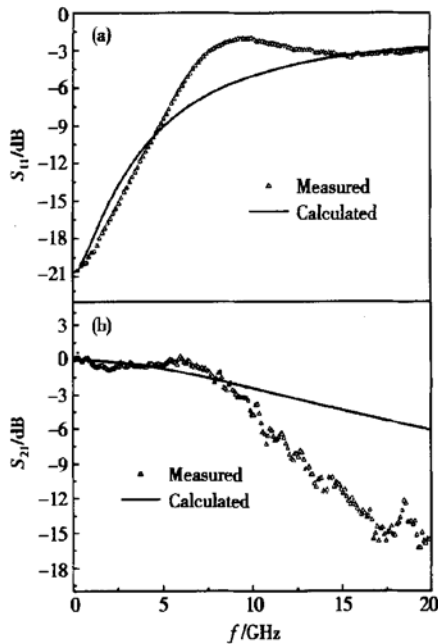


图 8 调制器 S_{11} 和 S_{21} 的测量和计算结果的比较

Fig. 8 Comparison between measured and calculated results of S_{11} and S_{21} of modulator

6 结论

本文提出了一种精确测量激光器和调制器集成器件高频响应的新方法. 首先对测试探针进行校准,

从而得到准确的实验数据. 根据封装和测试的热沉和金丝的高频特性, 建立了等效电路模型, 对该模型的反射频响特性进行模拟, 得到了较准确的热沉和金丝的寄生参数优化值. 同样对于激光器和调制器集成器件, 考虑到调制器和激光器的相互独立性, 对包含热沉、金丝和调制器的等效电路进行模拟, 得到了调制器的串联电阻和电容. 通过直接把匹配电阻和调制器并联, 这样就去除热沉和金丝的寄生参数对测量结果的影响, 计算得到调制器固有的高频响应.

参考文献

- [1] Wakita K, Sato K, Kotaka I, et al. 20Gbit/s, 1.55 μ m stained-InGaAsP MQW modulator integrated DFB laser module. *Electron Lett*, 1994, 30(4): 302
- [2] Kawanishi H, Yamauchi Y, Mineo N, et al. Over-40-GHz modulation bandwidth of EAM-integrated DFB laser modules. *Optical Fiber Communication Conference, OFC ' 2001*, Anaheim, California, USA, Paper MJ3
- [3] Aoki M, Suzuki M, Sano H, et al. InGaAs/InGaAsP MQW electroabsorption modulator integrated with a DFB laser fabricated by band-gap energy control selective area MOCVD. *IEEE J Quantum Electron*, 1993, 29(6): 2088
- [4] Yamaguchi M, Kato T, Sasaki T, et al. Requirements for modulator-integrated DFB LD's for penalty-free 2.5Gb/s transmission. *IEEE J Lightwave Technol*, 1995, 13(10): 1948
- [5] Lee S H, Ahn J H, Oh Y K, et al. High performance modules of 2.5Gbps modulator integrated DFB lasers using new RF impedance matching technique. *IEEE Trans Advanced Packaging*, 2001, 34(3): 407
- [6] Tucker R S, Pope D J. Microwave circuit models of semiconductor injection laser. *IEEE Trans Microw Theory Tech*, 1983, 31(3): 289
- [7] Debie P, Martens L. Correction technique for on-chip modulation response measurements of optoelectronic devices. *IEEE Trans Microw Theory Tech*, 1995, 43(6): 1264
- [8] Delpiano F, Paoletti P, Audagotto P, et al. High frequency modeling and characterization of high performance DFB laser modules. *IEEE Trans Compon, Packag Manuf Technol Part B*, 1994, 17(3): 412
- [9] Zhu N H, Liu Y, Pun E Y B, et al. Scattering-parameter measurements of laser diodes. *Opt Quantum Electron*, 2002, 34(8): 747
- [10] Hale P D, Clement T S, Williams D F, et al. Measuring the frequency response of gigabit chip photodiodes. *J Lightwave Technol*, 2001, 19(9): 1333
- [11] Model 101X User's Manual. New Focus, Inc. [Http://www.NewFocus.com](http://www.NewFocus.com)

- [12] Webster R T. Determination of InP HEMT noise parameters and S-parameters to 60GHz. *IEEE Trans Microw Theory Tech*, 1995, 43(6): 1216
- [13] Chen Z Y, Wang Y L, Zhu, N H. Two-port calibration of the test fixtures with different test ports. *Microw Opt Technol Lett*, 2002, 35(4): 299
- [14] Ishizaka M, Yamaguchi M, Sakata Y, et al. Modulator integrated DFB lasers with more than 600-km transmission capability at 2.5 Gb/s. *IEEE Photonic Technol Lett*, 1997, 9(10): 1406

Reflection Coefficient and Small-Signal Response Measurement of Electroabsorption Modulated DFB Laser^{*}

Wang Youlin, Liu Yu, Sun Jianwei and Zhu Ninghua

(*Institute of Semiconductors, The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100083, China*)

Abstract: A new method of measuring the real scattering parameters of electroabsorption modulated DFB laser is presented. According to the equivalent circuit model of parasitic parameters of the submount, bond wire and intrinsic parameters of the electroabsorption modulated DFB laser, the measured data are modeled and those parameters are extracted. It is presented that the parasitic parameters have large effects on the true measurement of the device. After the effects of the parasitic parameters are eliminated, the real frequency responses of the device can be obtained.

Key words: electroabsorption modulator; integrated optoelectronic device; scattering parameter; measurement

EEACC: 4270; 4230J; 7310N

Article ID: 0253-4177(2003)09-0955-05

* Project supported by National High Technology Research and Development Program of China (863) (Nos. 2001AA312030, 2001AA312190), National Basic Research and Development Plan (973) (No. G2000036601) and National Natural Science Foundation as a Distinguished Young Scientist (No. 69825109)

Wang Youlin male, was born in 1970, PhD candidate. His current research interest is in packaging and measurement of high speed devices for optical communication.

Zhu Ninghua male, was born in 1959, professor and advisor of PhD candidates. His current research interest is in packaging and measurement of high speed devices for optical communication.

Received 1 November 2002, revised manuscript received 30 December 2002

©2003 The Chinese Institute of Electronics