

10 km 高速同轴激光器的研究

李林科^{1,2} 刘倚红^{1,2} 曹芳^{1,2} 徐红春^{1,2}

(¹ 光纤通信技术和网络国家重点实验室, ² 武汉电信器件有限公司, 湖北 武汉 430074)

摘要 对速率 10 Gb/s 传输距离可达 10 km 的高速同轴连接型光发射组件(TOSA, 又称高速同轴激光器)进行了研究。通过对该器件的光学结构和电高频性能等核心部分的深入分析和优化设计, 成功研制出了可直接应用于小型化 10 Gb/s XFP 光收发合一模块的 TOSA。测试结果表明, 在 10.709 Gb/s 的调制速率下, 消光比大于 7 dB, 光眼图裕量大于 15%, 其整体性能达到了国外同类产品的先进水平。

关键词 激光器; 光耦合; 光发射组件; 高速同轴激光器

中图分类号 TN248.4

OCIS 230.3120 140.3510

文献标识码 A

Study on 10 km High Speed Coaxial Laser Diode Assembly

Li Linke^{1,2} Liu Yihong^{1,2} Cao Fang^{1,2} Xu Hongchun^{1,2}

(¹ State Key Laboratory of Optical Communication Technologies and Networks,
² Wuhan Telecommunication Devices Co., Ltd., Wuhan, Hubei 430074, China)

Abstract The high speed coaxial laser diode assembly with data rate up to 10 Gb/s and transmitting distance up to 10 km is studied. Based on the in-depth analysis of the key characteristic inside the assembly covering from optical structure to high frequency electrical performance, and after a series of optimized design, the transmitter optical sub-assembly (TOSA) has been developed successfully, which can be directly adopted by 10 Gb/s small factor XFP transceiver. The final test shows that better than 7 dB extinction ratio and margin of more than 15% at 10.709 Gb/s are obtained, which keeps well compatible with the one of those advanced level products over the world.

Key words lasers; optical coupling; transmitter optical sub-assembly; high speed coaxial laser

1 引言

光收发合一模块是光纤通信系统中的关键有源器件, 随着通信系统的高速发展, 10 G 光模块已经成为未来几年内最具市场潜力的光器件之一。目前应用比较广泛的 10 G 光模块有 300 pin, Xenpak, Xpak, X2 和 XFP^[1] 等多种封装形式, 与其他的几种光模块相比, XFP 具有其独特的优势^[2]。相对而言, XFP 属于光收发器(Transceiver), 不是光收发模块(Transponder)的范畴, 而光收发器实际上是一个光电转换器件, 负责完成光/电信号的转换, 其他功能则由系统电路板上的芯片实现, 因此可以普遍适用于 10 G 以太网^[3]、10 G FC 和 OC-192 SDH 等, 其通用性对设备制造商非常有利, 可以大大降低系统成本。XFP 占用印刷电路板(PCB)的面积只有 Xenpak 的 20%, 功耗只有 1.5~2.5 W, 因此, XFP 光模块可轻松实现高端口密度的应用。此外, XFP 提供一个两线的串行接口, 可以实现数据诊断功能, 实时监控光模块的各种参数, 如温度、激光器偏置电流、发送光功率、接收光功率和工作电压等。目前, 由于在小型化、热插拔、低功耗和低成本等方面的显著优势, XFP 光模块已在 10 Gb/s 高速光通信的应用中占据了主流。

目前国内已有公司推出了 10 G XFP 模块产品, 但是, 在其核心部件 10 G 激光器组件高速同轴连接型光发射组件(TOSA, 又称高速同轴激光器)上, 我国一直都依赖于进口。因此, 10 G TOSA 的成功研制以及商用化, 对降低器件以及系统的成本和提高国内光器件制造商的竞争力具有深远意义。本文将着重对该器件的光学结构和电高频性能等核心部分进行深入分析和优化设计, 旨在研制出可直接应用于小型化 10 Gb/s

收稿日期: 2010-03-16; 收到修改稿日期: 2010-05-10

作者简介: 李林科(1982—), 男, 硕士, 工程师, 主要从事光通信有源器件方面的研究。E-mail: lkli@wtd.com.cn

XFP 光收发合一模块的满足其商用要求的 TOSA。

2 光学分析与设计

10 G TOSA 组件的光耦合设计,主要考虑以下 3 个方面:1)耦合效率满足实际应用需求;2)尽可能大的容差以降低实际生产中的工艺要求;3)光反射的影响。当然,还必须考虑到实现电学性能时对光学性能造成的影响。

在激光器组件光学封装中,聚焦透镜、光纤端面等都会引入光反射,部分反射光重新耦合进入激光器芯片会增大激光器相对强度噪声和线宽,引起模式混乱^[4,5],严重影响组件的性能,尤其对于 10 Gb/s 高速信号调制和传输,光反射的影响将会更加明显。由于光纤的插拔重复性及环境因素的影响,PC 端面光纤连接的回损难以得到保证,因此 10 Gb/s 的 TOSA 中必须加入隔离器以隔绝反射对激光芯片的影响;另外,为减小光纤端面间的多次反射对 RIN 的影响^[6],耦合光纤需采用倾斜 8° 的斜端面光纤。

为适用于 10 G 以太网、10 G FC 和 OC-192 SDH 等各种系统,10 G TOSA 功率范围一般为 -6 ~ -1 dBm,考虑高低温组件结构变化对出射功率的影响,常温功率范围应为 -4 ~ -1.5 dBm,典型值为 -2.5 dBm,依据激光芯片斜率效率和高频调制时所需偏流大小,对应耦合效率约为 5%,通过计算发现,此耦合效率值采用普通球透镜即可满足要求。

图 1 为计算得到的不同物距[激光二极管(LD)芯片到球心距离]下耦合效率随像距(光纤到球心距离)的变化曲线,图中每条曲线对应一个确定的物距,计算时忽略了隔离器对耦合效率的影响,因隔离器引入的像差远小于球透镜的小像差。从图 1 可知,耦合效率最大值可达 15%,超出实际需求,因此实际耦合时耦合点应取在非“焦点”(耦合极大值点)位置。仔细对比在“欠焦”(图 1 中“焦点”右侧)和“过焦”时耦合效率随轴向位置的变化,可以看出“过焦”时耦合变化更为缓慢。因而耦合点应取在“过焦”位置,这对光纤耦合横向容差也是相对有利的。因为“过焦”位置的横向(XY)容差大于焦点位置的横向容差,如图 2 所示。从图 2 还可知,光纤耦合下降 0.5 dB 的容差达到 ±1.5 μm 以上,可以保证激光焊接前后和温度循环前后功率基本不变化。

由于耦合最大值在物距变化时基本不变,因此依据容差选择合适物距显得更为重要。对光纤横向容差而言,光路几何放大倍数 M (像距/物距)越大,光纤横向容差越大(因为放大倍数越大,激光场经透镜成像后的光斑越大);并且从图 1 可知,此时光纤轴向容差也越大。从这两点来看,选择大的放大倍数是有利的。但 M 越大,对芯片的贴片要求会越高,因为芯片轴向位置变化 Δz_1 时,光纤轴向耦合“焦点”变化量 Δz_f 为

$$\Delta z_f = M^2 \Delta z_1.$$

两者并不是 M 倍的关系,而是 M^2 的关系,因此为了不对芯片安装要求造成过重的负担, M 不应选择过大。另外, M 太大会使得组件长度过长,给予模块的空间就会越少。

3 电高频分析与设计

高频特性上,等效电路可以方便地对其进行分析设计,TOSA 的等效电路如图 3 所示^[7]。从图 3 电路模

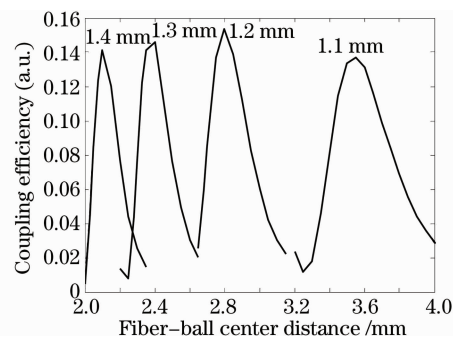


图 1 不同物距下耦合效率随像距的变化

Fig. 1 Coupling efficiency versus image distance with different object distances

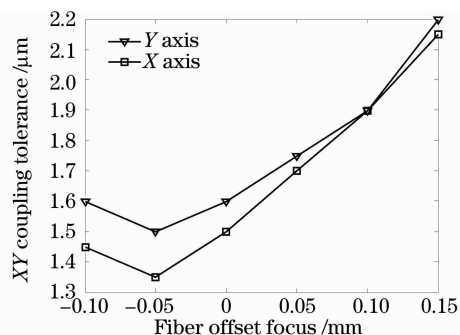


图 2 物距不变时,光纤 XY 方向耦合容差随光纤-焦点偏移量的变化(以“过焦”为正)

Fig. 2 XY coupling tolerance versus fiber offset to focus with fixed object distance (positive value as over focus)

型上看, TOSA 由封装寄生网络、芯片寄生网络和本征激光器三部分构成, 每一部分都与组件的响应特性产生一定的影响。本征激光器的寄生电容与有源区的面积有关, 在一定程度上, 有源区的面积越小, 寄生电容也会减小。芯片电极焊盘将引入并联寄生电容, 该电容将对光电流进行分流, 特别是对高频调制信号, 分流的结果导致高频响应信号幅度下降。芯片电极焊盘引入的电容值与电极下的绝缘材料和焊盘尺寸有关, 通常焊盘的直径大于 $50\ \mu\text{m}$, 因而焊盘尺寸的减少对降低寄生参数是有限的。目前, 激光芯片的频率响应特性已经可以完全满足 $10\ \text{G}$ 的应用需求^[8], 因此, 封装设计显得格外关键。

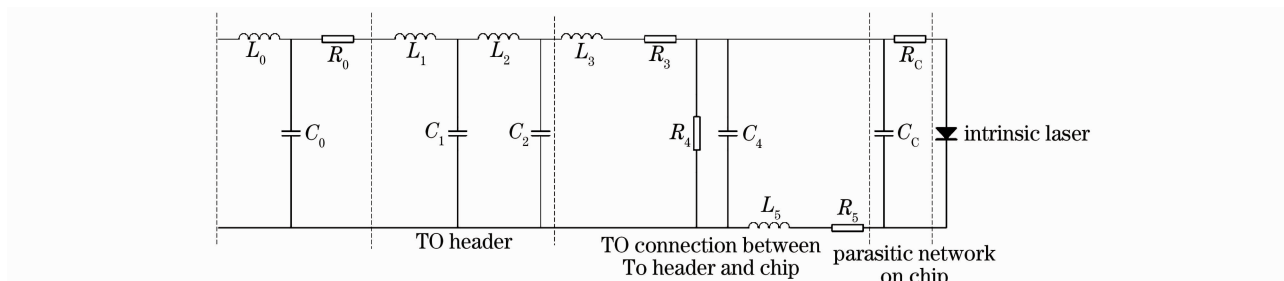


图 3 TOSA 的等效电路模型

Fig. 3 Equivalent circuit model of TOSA

在激光器组件的射频封装设计中, 希望寄生参数越小越好, 元部件之间相互影响越小越好, 主要有:

1) 设计或选择高频特性良好的 TO 管座

虽然在 $10.2\ \text{G}$ 以内普通的同轴型 TO 座不会降低半导体激光器的频响带宽^[9], 但这仍不足以满足 $10\ \text{G}$ 传输 $10\ \text{km}$ 的应用需求。现阶段经过优化设计后的 TO 管座频率响应已可达 $25\ \text{G}$, 这些 TO 管座选用了高频损耗小的材料和进行了阻抗匹配设计, 并采用了特殊的结构设计。

2) 设计制作高频特性匹配的载体

载体的阻抗匹配设计至关重要, 阻抗不匹配引起信号反射, 劣化组件响应特性, 并造成电磁干扰 (EMI)。

3) 设计连接芯片和载体的金丝形态

芯片和载体一般通过金丝进行连接, 由于金丝呈现感性, 其作用类似于一个串联电感, 阻碍了高频电流注入到激光器芯片, 将劣化器件的频响特性; 对通常所用的 $25\ \mu\text{m}$ 金丝, 在 $50\ \text{MHz}\sim 20\ \text{GHz}$ 频率范围内, $1\ \text{mm}$ 长金丝的等效电感约为 $1\ \text{nH}$ 。在实际应用中, 金丝的寄生电感大, 会导致在信号眼图中的测量出现过冲和振铃, 从而导致误码率的升高。

4) 实现载体与 TO 管座、TO 管座与驱动源之间^[10] 良好的高频连接。

4 性能测试

激光器组件测试包括连续波 (CW) 光电特性测试和调制光发射眼图测试, 光电特性测试数据如表 1 所示, 图 4 为组件封装到 XFP 模块的光发射眼图, 在 $10.709\ \text{Gb/s}$ 的调制速率下, 消光比大于 $7\ \text{dB}$, 眼图裕量大于 15% 。可以看出, 研制的 $10\ \text{G}$ TOSA 满足 $10\ \text{G}$ 以太网、 $10\ \text{G}$ FC 和 OC-192 SDH 等系统传输要求, 与国外同类器件性能较为一致。

表 1 $10\ \text{G}$ TOSA 光电特性

Table 1 O/E characteristics of $10\ \text{G}$ TOSA

Parameter	Min	Typ	Max
Threshold current /mA		10	15
Monitor output current / μA	100		800
Central wavelength /nm	1290	1310	1330
Spectral width(-20 dB) /nm			1
Side mode suppression ratio /dB	30		
Optical output power /dBm	-4	-2.5	-1.5
Tracking error /dB	-1.0		+1.0

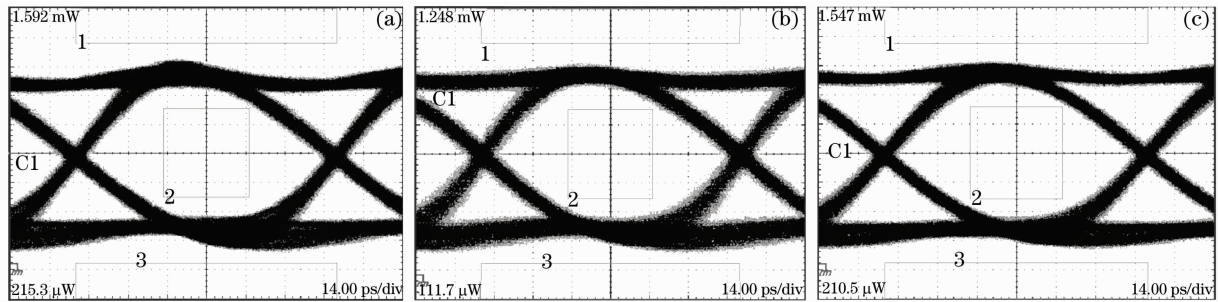


图4 调制速率为10.709 Gb/s下的光发射眼图。(a) $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$, 16%裕量;(b) $25\text{ }^{\circ}\text{C}$, 21%裕量;(c) $70\text{ }^{\circ}\text{C}$, 19%裕量
Fig. 4 Optical eye diagram at 10.709 Gb/s. (a) $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$, 16% margin; (b) $25\text{ }^{\circ}\text{C}$, 21% margin; (c) $70\text{ }^{\circ}\text{C}$, 19% margin

5 结 论

对应用于10 km短距离传输的10 G TOSA的关键部分进行了光学分析和电高频性能分析,通过优化设计,成功研制出了可直接应用于XFP光收发合一模块的TOSA。经实际测试表明,组件整体性能达到XFP模块的商用要求及国外同类产品的先进水平。该组件的研制成功缩小了在该领域我国与国际先进水平的差距,对提高国内光器件制造商的竞争力具有重要的现实意义,目前其已具备批量化的生产能力,可望在高速光通信系统中得到广泛的应用。

参 考 文 献

- 1 SFF Committee. INF-8077i. 10 Gigabit Small Form Factor Pluggable Module[S]. [http://www.xfpmsa.org/XFP_Rev4_5_SFF_INF_8077i\[1\].pdf](http://www.xfpmsa.org/XFP_Rev4_5_SFF_INF_8077i[1].pdf)
- 2 Song Guodong, Cheng Weisen, Cheng Guodong. 10 gigabit ethernet optical interface and its implementation[J]. *Zhongxing Telecom Technology*, 2004, (S1): 40~43
宋国栋,程伟森,程国栋. 10 G以太网光接口及其实现[J]. *中兴通信技术*, 2004, (S1): 40~43
- 3 LAN MAN Standards Committee of the IEEE Computer Society[S]. IEEE Draft P802.3ae. Media Access Control (MAC) Parameters, Physical Layer, and Management Parameters for 10 Gb/s Operation
- 4 K. Peterman. External optical feedback phenomena in semiconductor lasers[J]. *IEEE J. Sel. Top. Quantum Electron.*, 1995, 1(2): 480~489
- 5 Cao Liangping, Deng Tao, Lin Xiaodong *et al.*. Investigation on nonlinear dynamic behaviors of the distributed feedback semiconductor laser subjected to optical feedback[J]. *Chinese J. Lasers*, 2010, 37(4): 939~943
操良平,邓涛,林晓东等. 光反馈半导体激光器的非线性动力学动态行为[J]. *中国激光*, 2010, 37(4): 939~943
- 6 J. L. Gimlett, N. K. Cheung. Effects of phase-to-intensity noise conversion by multiple reflections on gigabit-per-second DFB laser transmission systems[J]. *J. Light. Technol.*, 1989, 7(6): 888~895
- 7 Zhu Ninghua. Microwave Design and Characterization of Optoelectronics Devices and Packaging[M]. Beijing: Science Press, 2007. 45~46
祝宁华. 光电子器件微波封装与测试[M]. 北京: 科学出版社, 2007. 45~46
- 8 Dingli Wang, Ning Zhou, Ruikang Zhang *et al.*. High speed and wide temperature range uncooled $1.3\text{ }\mu\text{m}$ ridge waveguide DFB lasers[J]. *Chin. Opt. Lett.*, 2009, 7(9): 809~811
- 9 Zhang Shangjian, Liu Chao, Chen Cheng *et al.*. Influence of TO packaging on the high-frequency response of semiconductor laser: analysis and experiment[J]. *Acta Optica Sinica*, 2005, 25(9): 1214~1218
张尚剑,刘超,陈诚等. 半导体激光器同轴封装的高频影响: 分析与实验[J]. *光学学报*, 2005, 25(9): 1214~1218
- 10 Cheng Mu, Wu Chongqing, Wang Dan *et al.*. High-speed interfacing between laser and laser driver[J]. *Acta Optica Sinica*, 2009, 29(5): 1168~1172
程木,吴重庆,王丹等. 激光器驱动和激光器之间的高速连接[J]. *光学学报*, 2009, 29(5): 1168~1172