

半导体激光器高速同轴封装设计

谭科民¹, 柴广跃², 黄长统², 段子刚²

(1. 中国电子科技集团公司第十三研究所, 石家庄 050051;

2. 深圳大学 教育部光电器件与系统重点实验室, 深圳 518060)

摘要: 在光纤接入网等光通信领域, 低成本高速同轴封装半导体光电器件有着非常重要的作用。对于高速 TO-can 激光器 (LD), 由于已进入微波工作频段, 封装以及相关元件的分布参数已经成为制约高速激光器性能的主要参数之一, 分析了同轴封装结构的技术特点, 建立了激光器器件及封装相关元件的等效电路模型, 利用商用 CAD 分析软件对其进行了模拟和优化设计, 为半导体激光器高速同轴封装设计的工艺方案、封装材料的选择提供了依据, 并据此进行了部分相关实验。

关键词: 同轴封装; 半导体激光器; 高速; 等效电路模型; 接入网

中图分类号: TN365; TN305.94 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-353X (2011) 07-0566-04

Design of High-Speed Semiconductor Lasers with Coaxial Package

Tan Kemin¹, Chai Guangyue², Huang Changtong², Duan Zigang²

(1. The 13th Research Institute, CETC, Shijiazhuang 050051, China;

2. The Key Laboratory of Optoelectronic Devices and System for Ministry of Education, Shenzhen University, Shenzhen 518060, China)

Abstract: Low cost semiconductor optoelectronic devices with coaxial packages play an important role in optical fiber communication access network fields. Because it works at microwave bands for high-speed TO-can LDs, distribution parameters of package and other devices are the one of key parameters that restrict the capacity of high-speed LDs. The structure of coaxial packages was analyzed. The equivalent circuit models of LDs, other devices and packages were established, and it was simulated and optimized by the commercial CAD soft. It provided evidence for the technics design of high-speed semiconductor lasers with coaxial package and the selection of packages materials, and some experiments were made for TO-can LDs.

Key words: coaxial packages; semiconductor lasers; high-speed; equivalent circuit models; access network

EEACC: 4320J; 0170J

0 引言

随着数据业务的爆炸性增长以及信息网络的全球化, 用户对网络带宽的需求不断提高。未来几年, 随着网络电视 (IPTV)、高清视频 (HDTV)、视频点播 (VOD)、在线游戏等高宽带业务的发展, 单个用户的带宽需求将达到每秒数十兆比特甚至每秒上百兆比特, 以 xDSL (数字用户线) 为代表的现有最后一公里宽带接入技术已经难以满足用

户与日俱增的带宽需求, 而基于光纤技术 EPON 是目前实现光纤入户 (FTTH) 的主流方案。EPON 分为 1 G-EPON 和 10 G-EPON。

现有 1 G-EPON 技术所提供的带宽已远优于 xDSL, 但还不能很好地满足人们对高质量、高清晰视频信号的要求, 而 10 G-EPON 不仅将下行带宽提高了 10 倍 (10 Gbit/s), 同时与目前 1 G-EPON 方案的网络协议和拓扑结构兼容, 因此, 毋庸置疑 10 G-EPON 将引领下一代光纤接入技术毋

庸置疑，而在 10 G-EPON 系统中占据重要地位的器件之一是高速 LD，因此开发一种小尺寸、低成本、高速率的同轴封装 LD 器件，对 10G-EPON 的实际应用具有重要意义。

1 物理模型的建立

LD 器件由 LD 芯片、热沉和同轴管壳组成，建立它们的等效电路模型是模拟分析和优化设计的基础。为了达到这个目的，必须首先知道等效电路模型中各元件与实际结构尺寸和材料参数间的对应关系。

1.1 LD 芯片模型

高速半导体激光器多采用量子阱材料的脊波导结构，其芯片电路模型如图 1 所示，包括芯片本征和寄生两部分。芯片寄生网络由芯片寄生电容 C_c 和串联电阻 R_c 组成，代表了 LD 芯片电极和焊盘的影响。余下的本征网络不再包含芯片电极和焊盘的影响，反映了 LD 量子阱材料最本质的特性^[1]。

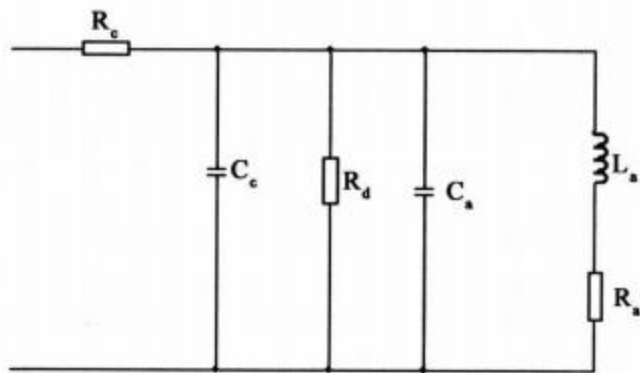


图 1 芯片电路模型

Fig. 1 Equivalent circuit model of LD chip

图 1 中各部分的物理意义为： C_c 表示载流子的存储效应，由有源区的结电容和扩散电容并联组成，结电容占据主导地位；电感 L_s 表示有源区将载流子转换为光子的存储效应，LD 光输出用 L_s 上的电流表示； R_a 和 R_d 用来模拟激光器的张弛振荡阻尼。张弛振荡频率为

$$f_T = \frac{1}{2\pi \sqrt{L_s C_s}} \quad (1)$$

$$L_s = \frac{2kT\tau_{ph}}{qI_{th}S_0} \quad (2)$$

式 (2) 中： q 是电子电荷； k 是玻耳兹曼常数； T 是绝对温度； I_{th} 表示阈值电流； S_0 表示稳态光子浓度； τ_{ph} 表示光子寿命。光子寿命与注入载流子的浓度

成反比，光子浓度随着注入载流子增加而增加，因此电感减小^[2]。

芯片串联电阻 R_c 包含体电阻和欧姆接触电阻，以欧姆接触电阻为主。芯片寄生电容 C_c 由芯片上下电极当作金属层、中间当作绝缘层构成的平板电容。它们构成一个 RC 低通滤波电路。随着器件工作频率的提高，芯片寄生参数对带宽的影响越来越大。

1.2 热沉

热沉的物理作用是对 LD 管芯提供支撑的同时还起到散热作用，减少温度对 LD 性能的影响。电连接多采用 25 μm 金丝球焊技术完成，金丝的电感和电阻将对 LD 器件的高频特性产生重要影响，通常导致带宽降低，幅频特性的平坦度变差。

金丝寄生电感由以下公式表示

$$L = \frac{\mu_0 l}{2\pi} \left[\ln\left(\frac{4l}{d}\right) + \mu_r \delta - 1 \right] \quad (3)$$

式中： μ_0 是真空磁导率，其值为 $1.256\ 63 \times 10^{-6} \text{ H/m}$ ； μ_r 是材料的相对磁导率； l 是金丝长度； δ 表示趋肤深度； d 表示金丝的直径^[3]。

1.3 同轴管壳

LD 器件的同轴管壳多采用 TO-56 管座，见图 2。

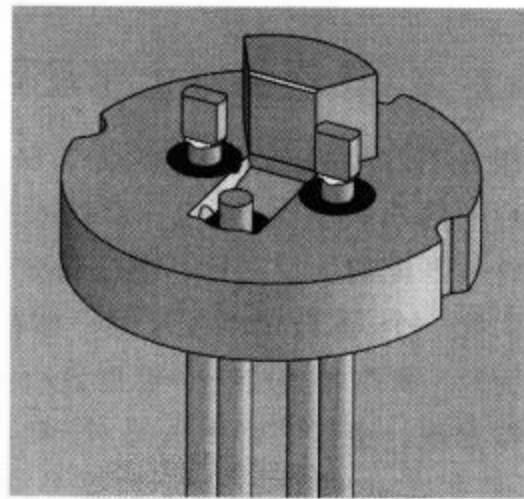


图 2 TO-56 管座示意图

Fig. 2 Schematic diagram of TO-56 header

管腿为镀金可伐材料棒，分为管壳上部、中间和下部三部分，上下两部分的物理模型均为金属棒，等效电路为电感

$$L = 2\mu_r l_m \left\{ \ln \frac{l_m + \sqrt{l_m^2 + r^2}}{r} - \sqrt{1 + \left(\frac{r}{l_m}\right)^2} + \frac{r}{l_m} \right\} \times 10^{-7} \quad (4)$$

式中： l_m 和 r 分别代表上下管脚的长度和半径； μ_r

是材料的相对磁导率。

中间部分的物理模型为同轴电容和电感组成的Γ型电路，电路模型见图3。

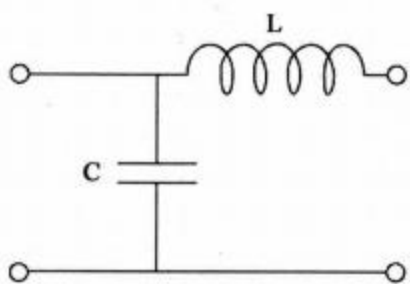


图3 管座中间部分电路模型

Fig. 3 Circuit model for middle part of TO-56 header

等效电容和电感由式(5)和(6)表示。由于频率很高，趋肤效应的影响不可忽略。

$$C = \frac{2\pi\epsilon_0\epsilon_r}{\ln(b/a)} \times d \quad (5)$$

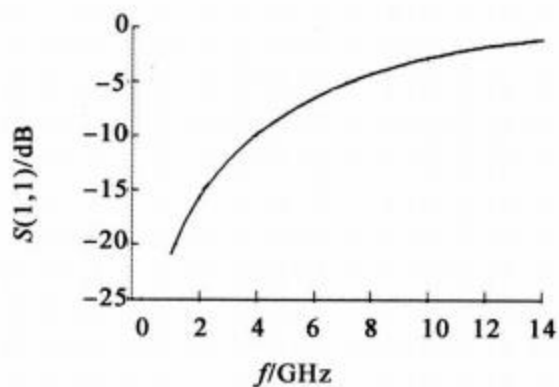
$$L = \left[\frac{\mu_0}{2\pi} \ln(b/a) \right] \times d \quad (6)$$

式中： ϵ_0 和 μ_0 分别是真空介电常数和真空磁导率； ϵ_r 是材料的相对介电常数； b 是管座内孔半径； d 是管座内孔深度； a 是管脚引线半径。管座厚度直接影响管脚与管座产生的寄生电容，管座越厚，寄生电容越大；同时管脚寄生电感也越大。管脚下部是用来焊接在PCB板上的，管脚越长，焊接越容易，但引入的寄生电感越大，严重降低了LD器件的带宽^[4]。

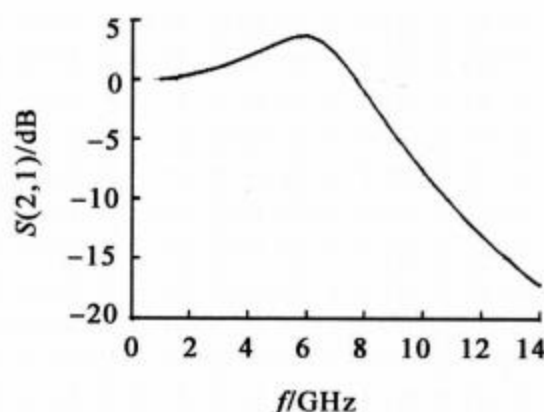
2 同轴封装LD模拟与优化设计

DFB激光器芯片的交流阻抗约为 $5\ \Omega$ ，而激光器驱动芯片的输出阻抗为 $25\ \Omega$ ，所以根据传输线理论，未进行匹配前，反射很严重。在激光器芯片信号回路上加一个 $18\ \Omega$ 的匹配电阻，减小反射。

采用HFSS软件对上述电路模型进行了模拟分析。经模拟发现，金丝的寄生电感对LD器件的高频参数影响极大，只有当金丝的寄生电感小于 $0.3\ \text{nH}$ 时才对芯片带宽几乎没有影响。根据上面分析，可以采用多根金丝并联焊接的办法减小寄生电感，并在LD芯片信号回路（热沉上）加一个 $18\ \Omega$ 的匹配电阻以减小反射。采取上述方案后，模拟发现封装后LD器件的调制带宽可以达到 $9\ \text{GHz}$ ，模拟结果见图4和图5，可以满足 $10\ \text{G-EPON}$ 系统的速率要求。



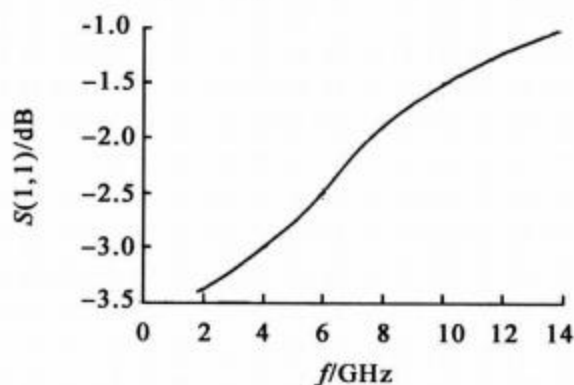
(a) LD芯片的S(1,1)参数



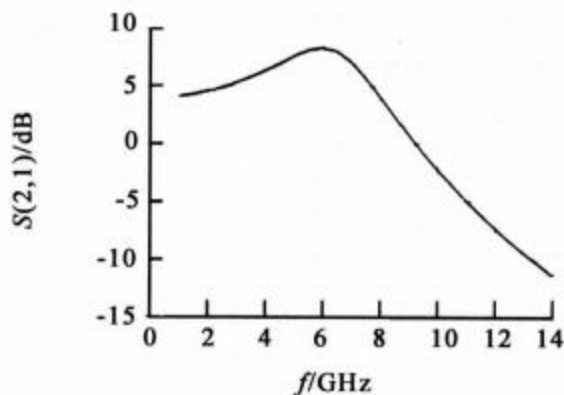
(b) LD芯片的S(2,1)参数

图4 LD芯片的散射参数

Fig. 4 S parameter of LD chip



(a)封装后LD芯片的S(1,1)参数



(b)封装后LD芯片的S(2,1)参数

图5 封装后LD的散射参数

Fig. 5 S parameter of packaged LD chip

3 实验结果

按照上述模拟优化的结果制作了DFB-LD器件，图6是LD器件烧结装配完成后的照片（芯片

键合以前)。对制作完成的 DFB-LD 器件,进行了 $L-I-V$ 测试和光谱特性测试,从图 7 所示的 $L-I-V$ 结果可知,该 LD 线性较好,由图 8 所示的光谱特性可知,该 LD 的边模抑制比较大。另外,为了检验该器件的高速数据传输性能,本文用该器件组装了 10 Gbit/s 光收发模块,采用短光纤进行了传输实验,测试条件为:工作速率: 10.312 5 Gbit/s; PRBS: $2^{31}-1$; 误码率: 10^{-3} 。

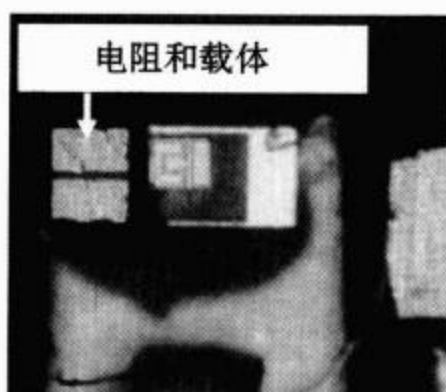


图 6 贴片后照片
Fig. 6 Photo of TO-can

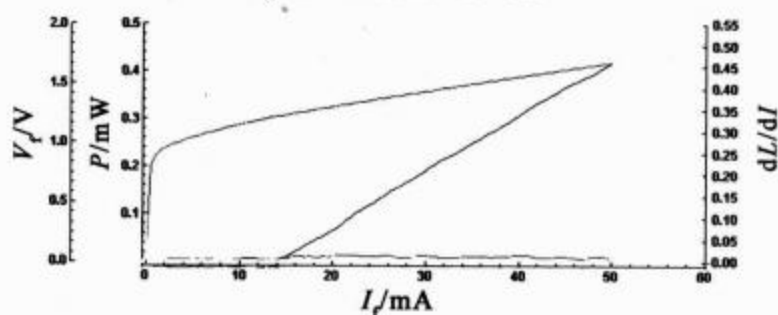


图 7 $L-I-V$ 特性曲线
Fig. 7 $L-I-V$ Chart of LD

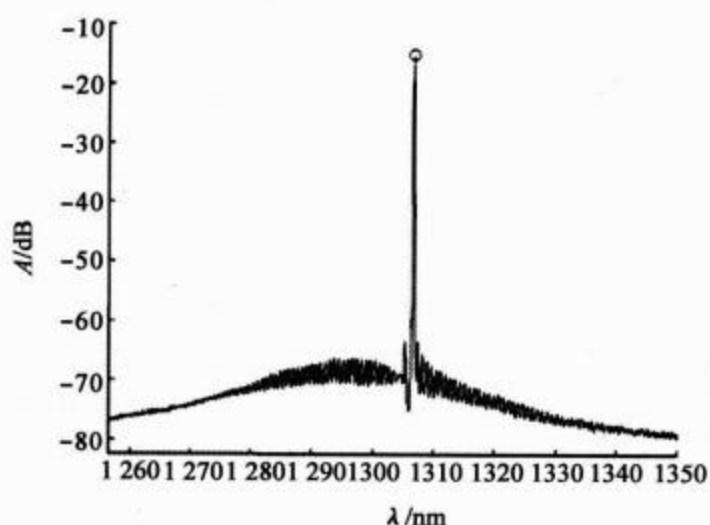


图 8 光谱特性图
Fig. 8 Spectrum chart

测得的眼图见图 9,在高速数据传输时,眼图较为清晰,因此该器件可满足 10 Gbit/s EPON 系统使用。

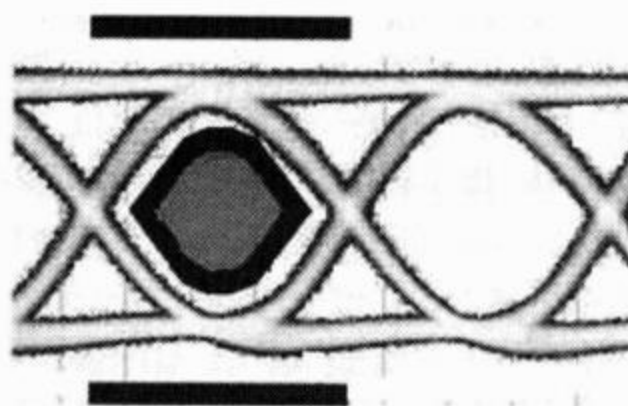


图 9 光模块眼图
Fig. 9 Eye diagram

4 结语

通过上面的实验可知,在进行高速 LD 结构设计时,首先根据物理结构对器件和管壳进行建模,同时采用 CAD 软件进行仿真,根据仿真结果对相关参数进行优化和改进,这样就能加快项目的完成进度,本实验只进行 10 G DFB-LD 的初步研究,今后还需要在带宽、结构等方面进一步开展工作。

参考文献:

- [1] 李金学. 10 Gbps 光收发模块及其关键技术 [D]. 湖北: 湖北工业大学, 2008: 4-13.
- [2] TCUKER R S. High-frequency characteristics of directly modulated InGaAsP ridge waveguide and buried heterostructure lasers [J]. Lightwave Tech, 1984, (2) 385-393.
- [3] XUE Y, WANG W, WANG Z Y. Measurement 3 dB bandwidth of laser diodes [J]. 半导体学报, 2003, (8) 794-797.
- [4] 高建军, 高葆新, 梁春广. 高速低阈值半导体激光器速率方程模型参数的直接确定 [J]. 固体电子学研究与进展, 2002, 22 (1): 127-130.

(收稿日期: 2011-03-25)

作者简介:

谭科民 (1970—), 男, 湖南益阳人, 工程师, 主要从事光通信有源器件的研究与规模化生产。

