

GHz级半导体激光器组件的设计与实现

张正线 林志媛

(东南大学, 南京, 210008)

摘要: 本文使用 DC-PBH 半导体激光器(LD)芯片, 研制了 GHz 级“蝴蝶”型 LD 组件。组件包括 LD 芯片, LD 背光监测 pin 光电二极管, 半导体制冷器和一个热敏电阻。使用高频等效电路和散射(S)参数进行了 LD 组件的微波设计。测试了研制的组件微波阻抗和小信号高频特性。组件的电谐振频率为 3.34GHz, 光响应的 3dB 带宽大于 1.5GHz。其最高调制频率可达 2.7GHz。

关键词: 半导体激光器组件 光纤通信 微波

Design and make of laser diode module of the order of GHz

Zhang Zhengxian, Lin Zhiyuan

(Southeast University)

Abstract: Recently, the “butterfly” high speed laser diode (LD) module of the order of GHz has been developed. The LD module consists of a DC-PBH laser diode, a pin photodiode for monitoring the laser power, a thermoelectric cooler, and a thermister. In designing the LD module, the high frequency equivalent circuits are employed and reported in this paper. The small signal high frequency characteristics of the module are measured, and the 3 dB bandwidth of electrical response of the module is more than 1.5 GHz, the modulation frequency is high up to 2.7 GHz.

Key words: laser diode module, optical fiber communication, microwave

半导体激光器组件在 GHz 级(或 Gb/s 级)具有优良高频特性在超高速或微波副载波光通信系统中是非常重要的。在一般情况下,光发射机的高频特性劣化的原因有三个:首先是激光二极管芯片本身的频率特性,激光器芯片的频率特性受半导体工艺过程(寄生电容与串联电阻)和光反射等因素限制^[1];其次是激光器组件的频率特性,组件频率特性受到激光器组件封装中电引线 and 激光器芯片引线等的寄生电抗的限制,在一般 LD 组件中这一因素的影响最为严重;再就是激光器驱动电路的频率特性,驱动电路的频率特性由电路形式、电路元件、输出阻抗和电路的寄生电抗决定。国内目前实际使用的大多是双列直插式半导体激光器组件。但这种组件的电引线和激光器芯片引线产生的寄生电感和寄生电容较大,难以应用至 GHz 级(或 Gb/s 级)以上的光纤通信系统中。目前,国际上超高速光纤通信用半导体激光器一般采用“蝴

蝶”型封装结构,其调制频率可达 4GHz 以上^[2]。

本文使用武汉电信器件公司生产的双沟道掩埋异质结构(DC-PBH)型激光器芯片,利用高频等效电路和散射(S)参数,对 LD 组件进行微波电路设计,研制了具有半导体制冷器的“蝴蝶”型封装结构的激光器组件。并测试了该组件的微波输入阻抗和小信号高频特性。

一、组件结构与高频设计

图 1 为研制的半导体激光器组件的照片。组件有 14 个引脚,包括一个激光二极管(LD),一个监视光功率的光电二极管(PD),一个半导体制冷器(TEC)和一个热敏电阻。LD 芯片为 DC-PBH 结构 1.3 μm 法珀激光器或 1.55 μm 分布反馈(DFB)激光器。

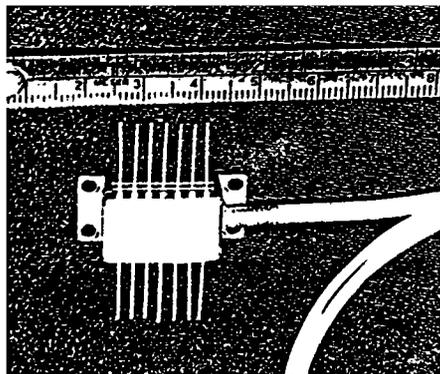


Fig. 1 External photograph of LD module

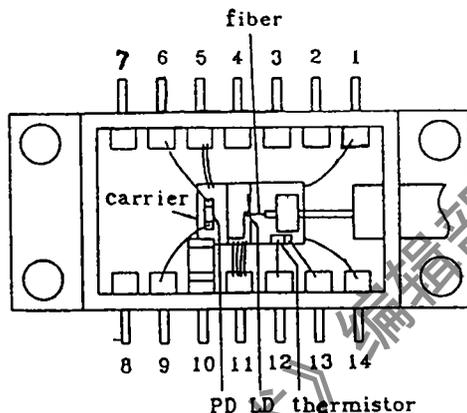


Fig. 2 Internal structure of LD module

组件的内部结构见图 2。LD 芯片置于 SiC 载体上,p 面向上焊接,PD 芯片置于陶瓷载体上,热敏电阻固定在热沉上,热沉焊在半导体制冷器上。耦合光纤用单模光纤,半球透镜端面,金属化耦合定位。尾纤接陶瓷光纤活动连接器。1 脚和 14 脚接 TEC,12 脚和 13 脚接热敏电阻,6,9 脚连 PD,11 脚连 LD 负极,5,10 脚和封装壳体相连,2,3,4,7 脚和 8 脚为空脚,壳体与引脚线之间用陶瓷隔离。

LD 芯片置于 SiC 载体的 50 Ω 微带线上,微带线与 11 脚的连接可采用多种方式,如金丝焊线、丝网、大截面圆形或矩形导体。LD 正极接热沉,由于制冷器的尺寸较大,存在分布电抗,为减小高频电流泄漏到制冷器,热沉与壳体之间的电抗要尽可能地小。如果使用电感量小的大截面导体作为热沉与壳体之间的连线,则壳体的热趋于向热沉传导,使 TEC 的制冷特性在一定程度上恶化。为避免这一热效应,重新设计了连线方式,使其具有较低的电抗和较大的热阻。

我们采用高频等效电路来设计和分析 LD 组件。图 3 和附表给出了等效电路和元件值。 L_0 是壳体外 LD 负级引线,长 2mm。 L_2, L_4 是金丝焊线电感,金丝直径 18 μm 。本设计为减小寄生电感采取了相应措施。 L_3, C_7 为 SiC 载体上微带线的等效电感和电容。 L_1, C_1 为电极引线与壳体之间带状线的等效电感和电容。 R_{LD} 和 C_{LD} 是 LD 芯片的寄生电抗。由金丝焊线电感 L_5 与并联电容 C_3 以及 TEC 的寄生电抗组成热沉与壳体之间的电抗,因为 L_5 与 C_3 的

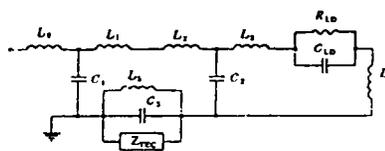


Fig. 3 Equivalent circuit of LD module

并联电抗较小,在分析中没有考虑 TEC 电抗的影响,而实际电路中,TEC 的存在对高频特性是有一定影响的。

Table Elements of the equivalent circuit of the LD module^[3]

elements	L_0	L_1	C_1	L_2	L_3	C_2	L_4	L_5	C_3	R_{LD}	C_{LD}
estimated values	0.8	0.36	0.63	1.08	1.5	0.56	1.17	5.5	0.1	5.7	12
units	nH	nH	pF	nH	nH	pF	nH	nH	pF	Ω	pF

图 3 等效电路的输入阻抗可由下式表示:

$$Z_{in}(s) = L_0 s + \frac{R_{LD} + As + Bs^2 + Ds^3 + Es^4 + Fs^5}{1 + Gs + Hs^2 + Is^3 + Js^4 + Ks^5 + Ms^7} \quad (1)$$

这里 s 是拉普拉斯因子, $A \sim M$ 是常数,由(2)~(12)式定义:

$$A = L_1 + L_2 + L_5 \quad (2)$$

$$B = AU + V + C_3 L_5 R_{LD} \quad (3)$$

$$D = (L_1 + L_2) L_5 C_3 \quad (4)$$

$$E = V(L_5 C_3 + C_2 A) + BD \quad (5)$$

$$F = VDC_2 \quad (6)$$

$$G = (C_1 + C_2 + C_{LD}) R_{LD} \quad (7)$$

$$H = (C_1 + C_3) L_5 \quad (8)$$

$$I = (C_1 + C_2) V + [H + (L_1 + L_2) C_1] U + C_1 C_3 L_5 R_{LD} \quad (9)$$

$$J = DC_1 \quad (10)$$

$$K = [(C_1 + C_2) L_5 C_3 + C_1 C_2 A] V + JU \quad (11)$$

$$M = FC_1 \quad (12)$$

式中, $U = (C_2 + C_{LD}) R_{LD}$, $V = (L_3 + L_4)(1 + R_{LD} C_{LD})$ 。

图 5 中的虚线是根据附表元件值计算的 S_{11} 参数 Smith 圆图曲线。起始和终止频率分别为 0.5GHz 和 4GHz。在低频段,阻抗接近于 6Ω 的纯阻抗,在高频段呈感性,在 3.7GHz 阻抗已趋于无限大,发生谐振。减小 L_2 的电感值,还可提高谐振频率。

二、测试结果与讨论

本文测试了激光器组件的微波阻抗,小信号响应和 LD 与 PD 之间的电泄漏。在组件制作中,使用了 $1.3\mu\text{m}$ DC-PBH 法珀激光器。

微波阻抗测试装置见图 4。测试仪器是美国 HP 公司生产的 HP8720B 自动矢量网络分析仪(0.1~20GHz)。参考位置距组件壳体 2mm 处,LD 和 PD 的正极接地(壳体)。 S_{11} 参数的 Smith 圆图曲线见图 5。初始、间隔和终止频率分别为 0.5, 0.1 和 4GHz。当偏置电流大于阈值电流($I_{th} = 25\text{mA}$)时, S_{11} 参数几乎不随工作电流变化。LD 组件实测谐振频率为 3.34GHz,和理论计算值 3.7GHz 基本吻合。在 2.0 和 2.5GHz 处, S_{11} 值(反射系数)明显减小(图 5 中测试曲线圆环处),可认为在该频段时,信号泄漏较大。小信号响应的测试装置如图 6 所示。使用了 HP8757C 自动标量网络分析仪(0.1~8.4GHz)测量组件小信号响应。光电探测器是 InGaAs pin 二极管,偏置在 -5V 。图 7 是测得的小信号频率响应。LD 的偏置电流为 1.4 倍阈值电流,

测量范围从 300MHz 到 3GHz。由图 7 可知,LD 芯片的弛豫振荡频率小于组件的电谐振频率 (3.34GHz),光响应曲线的 3dB 带宽大于 1.5GHz,LD 组件实测最高调制频率已达 2.7GHz。

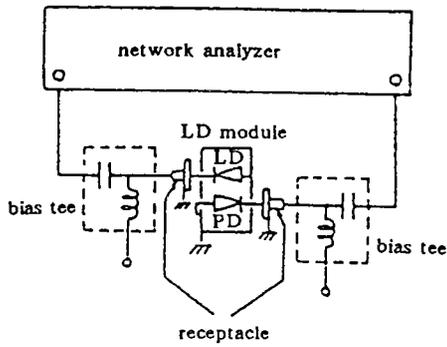


Fig. 4 Microwave impedance measurement setup

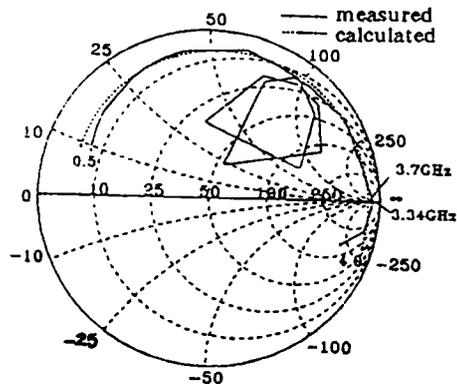


Fig. 5 Smith chart plot of S_{11} parameter of LD module

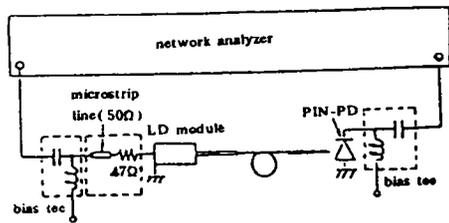


Fig. 6 Small signal high-speed optical response measurement setup

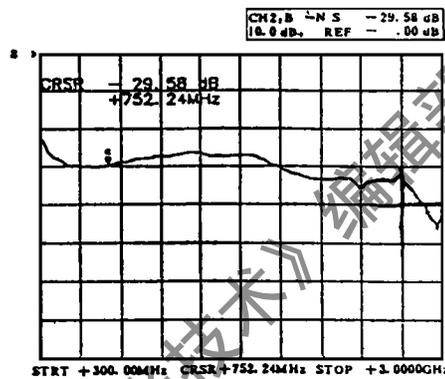


Fig. 7 Small signal frequency response characteristics of LD module ($I=1.4I_{th}$)

LD 到 PD 的电信号泄漏情况见图 8。测量装置如图 4 所示。测量中,LD 偏置电流小于阈值电流(约 $0.8I_{th}$)以排除光响应。图 8 显示在 2~3GHz 范围内,电信号泄漏量稍大,约在 -20~-24dB 之间,相当于 LD 的驱动信号 6%~10% 泄漏到 PD。对应于 S_{11} 参数曲线(图 5)在此频率范围内有两个圆环,组件特性受到一定影响。当然,其中也有 TEC 造成的影响。

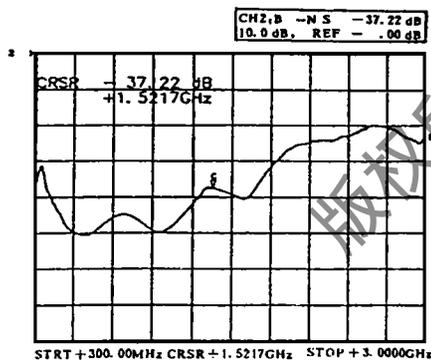


Fig. 8 Electrical leakage characteristics from LD to PD path of LD module

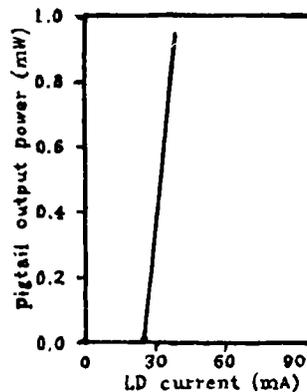


Fig. 9 Optical power output characteristics from a pigtailed fiber of the module

图 9 给出了组件 LD 电流与出纤功率的关系。从以上分析和测试结果可看出,优化组件的

内部结构,并使用弛豫振荡频率高的 LD 芯片,可进一步改善组件的频率特性。如果对组件的热效应和机械振动的可靠性进行测试和改进,可将该种 LD 组件实用化和商品化。

三、结 论

本文研制了高速蝴蝶式半导体激光器组件,利用组件的高频等效电路和微波阻抗设计组件内部连线方式,并考虑了其对半导体制冷器制冷效率的影响。所研制的组件获得了高速调制特性,偏置在 1.4 倍阈值电流时,组件的电谐振频率为 3.34GHz,光响应的 3dB 带宽大于 1.5GHz。组件的最高调制频率达到 2.7GHz。

激光器组件的制作工作得到了合作者武汉电信器件公司张根深、杨桂生和郑云生等同志的大力协助和支持,特此致以衷心感谢。

参 考 文 献

- 1 Nakano H, Sasaki S, Maeda M. Effect of optical feedback on bit-error-rate characteristics with use of 1.5 μ m wavelength semiconductor laser. in Proc. First Optoelectronic Conf' 86, 1986,214~219
- 2 NEC. L & O, 1992,11(1);37
- 3 卡兰塔罗夫 П.Л. 电感计算手册. 北京:机械工业出版社,1992

* * *

作者简介:张正线,男,1963年2月出生。硕士,现正攻读博士学位。主要从事高速光电组件、高速光通信系统和微波副载波光通信系统方面的研究。

收稿日期:1993-10-18 收到修改稿日期:1993-12-29

· 产品简讯 ·

二极管泵浦的 Nd : YAG 激光器

美国加州圣克拉拉的 Continuum 公司推出的 HPO-300 型高功率二极管泵浦 Nd : YAG 激光器,在 1064nm 波长输出 3mJ。该激光器重复率在 1~300Hz 可产生接近衍射极限的脉冲。选择谐波发生可输出 532,355 或 266nm 波长的高能脉冲。TTL 接口使之能适用于微型机械、光学测距和各种皮肤病学应用的遥控电路。

译自 L F World, 1994;30(1):157 中尧 译 马理 校

混合 InGaAs 光电二极管阵列

ETX 128FPA 是 16384 元 InGaAs 焦平面阵列,供 1.0~1.7 μ m 波段内的近红外成像使用。这种 128 \times 128 元的二维光电二极管阵列是使用钢冲击结合技术把 InGaAs 材料结合到高级的 CMOS 倍增管上而制成的。该探测器单元尺寸为 40 μ m \times 40 μ m,间隔为 50 μ m。典型的象素输出率大于 99%,探测率 D^* 具有 10¹³cmHz^{1/2}/W 量级,读出噪声是 600 个电子。

译自 L F world, 1994;30(1):153 邹福清 译 刘建卿 校