

高速半导体激光器等效参数的提取

Extraction of Equivalent Parameter of High Speed Semiconductor Laser Diode

吴正德 张志军 樊勇 唐小宏

(电子科技大学应用物理研究所,成都 610054)**

【摘要】 本文克服了背地共面线谐振现象的有害影响,制作了国产高速半导体激光器非匹配微波封装组件,测试了组件的频响特性,由此提取了器件的等效参数,讨论了改善国产器件性能的技术途径。

关键词: 半导体激光器, 等效参数, 参数提取

Abstract: After overcoming the bad effect of the resonance phenomena on the back-ground CPW, a non-matching microwave package is developed for the laser diode (LD) made in China. Its frequency response to the direct modulation is measured. Then the equivalent parameters of LD are extracted. The technical way is discussed to improve the properties of LD in China.

Key words: Semiconductor laser diodes, Equivalent parameters, Parameter extraction

一、引言

在大容量光纤通信系统和光纤-微波线路中,高速半导体激光器(LD)起着极为重要的作用^[1,2]。随着国内LD管芯制作技术的发展,国产LD管芯等效网络参数的提取工作显得更加迫切。为了充分发挥现有LD的电气性能,利用微波CAD及其它机辅软件,对LD的微波封装和系统应用进行优化设计,需要合理、准确的器件等效参数;为了不断改进和完善LD的制作工艺,有必要提取现有管芯等效参数,借助计算机模拟参数变化对器件性能的影响,寻求改进管芯性能的技术途径。

本文克服了背地共面线谐振现象的有害影响,制作了以国产LD为终端负载的非匹配微波封装组件,实测了组件的频响特性,参照国外LD等效模型,通过对频响特性的计算机模拟,提取了国产LD的等效参数,进而讨论了改善国产器件调制频响特性的技术措施。

二、LD非匹配微波封装组件

只有根据实际测试的LD特性,才有可能提取出表征LD的正确参数,因此设计合理的测试装置(即LD的微波封装组件)很重要。这样就必须选择一种射频传输线,它不仅具有良好的传输特性,而且在封装中,在与LD键合时,不应引入明显的不连续性,给器件实测特性的分析和等效参数的计算带来困难。倘若选用通常的微带,将会遇到大的麻烦:在 $\epsilon_r=9.96$ 、厚度1mm的氧化铝基片上,50 Ω 微带的导带宽度为1mm,远远大于LD管芯的尺寸,带线与管芯直接键合在射频下会产生较强的反射。另外,微带的导带和地分别在基片的上、下两面,要想在从直流到射频的很宽频带内实现真正的接地是相当困难的。

在文献[3]中,我们提出了微带和共面线复合的

* 1994年6月收到,1994年11月修改定稿

** Wu Zhengde, Zhang Zhijun, Fan Yong, Tang Xiaohong (University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 610054)

新型传输线,即背地共面线,分析表明,在基片不变的情况下,背地共面线的特性阻抗随着导带和共面地之间的隙缝减小而降低,这样在标准的氧化铝基片上,压缩背地共面线的隙缝可以使 50Ω 传输线的导带宽度从 1mm 减小到很小,有利于导带与管芯的键合。另外,在这种传输线上能直接将管芯跨接在导带和共面地之间,保证器件在直流和射频下都端接良好。

在背地共面线传输特性的实验研究中^[3],我们还发现共面地和背地构成了等效的谐振腔,致使横向传输的高次模式在多个频率上谐振,因此在传输线的 S_{11} 和 S_{21} 曲线上出现若干尖峰,破坏了宽带传输特性。其实,这是所有背地共面线的基本特性,要想从根本上消除是很困难的,比较现实的方法是设法让谐振峰向高端平移,离开所关心的频率范围。

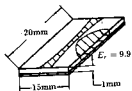


图1 微带-非对称背地共面线-微带

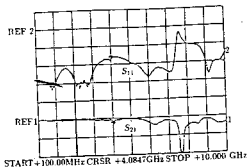


图2 微带-非对称背地共面线-微带的 S_{11} 和 S_{21}

为此,我们制作了图1的电路,即微带-非对称背地共面线-微带的一段 50Ω 传输线,共面地面积大大减小,这样最低的谐振峰已平移到 7.6GHz ,如图2所示的测试曲线。因此,这种类型的传输线能够获得良好的传输特性。若将它从中心处一分两段,则可直接应用于 LD 微波封装结构中,此时谐振峰将移向更高频率,LD 键合同样也很方便。

在上面的研究基础上,我们专门制作了一个测试装置——以国产 LD 管芯端接的非匹配微波组件,如图3所示。这里的射频馈电采用微带-对称背地共面线的 50Ω 传输线,其中,第一段为 50Ω 微带线,第三段为 50Ω 的对称背地共面线,两段之间为过渡段。在线的尾部控制中心导带与共面地之间的隙缝使导带宽度与 LD 管芯大小相比拟,LD 管芯直接焊接在共面地上,再通过很短的金线键合在中心导带上,使金线的走向与射频电流的流向一致,保证电流的连续性,最大限度克服键合工艺带来的不良影响。

三、LD 调制的频响特性

利用上节给出的测试装置,我们采用常规方法用 HP8510B 测试了在 10GHz 以下频率范围上 LD 组件的 S_{11} 和 S_{21} ,结果如图4所示, S_{11} 表征输入端的反射特性, S_{21} 反映了从微波-光-微波整个过程中微波信号的损耗。实验中为了不引入额外的不连续性,LD 所需的直流通通过外接 HP 公司的宽带隔离器供电。

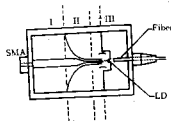


图3 非匹配微波封装组件

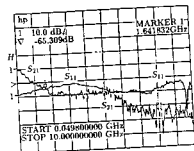


图4 国产 LD 组件的 S_{11} 和 S_{21} 测试值
从图4可见,背地共面线的谐振峰已平移到近

10GHz, 远远高于所给 LD 的调制范围(最高调制频率约为 5.5GHz), 与厂家预计的情况基本一致。但是在 2GHz 以下的区域, 微波转换效率出现明显的跌落, 总落差达 20dB。由于曲线变化相当平滑, 所以可以排除这是测试系统连接状态不好造成的。如果是微波泄漏所致, 那末随着频率升高, 微波泄漏将不断加剧, S_{21} 曲线应该一直缓缓下降。然而, 事实却相反, 在 2GHz 以上曲线相当平直。另外, 上一节的详细讨论已表明, 微带-背地共面线作馈线具有良好的传输特性。因此我们认为, 曲线的变化走势是 LD 本身固有特性造成的。比较而言, S_{21} 的变化更明显, 以后若将 S_{21} 作为模拟计算对象将有利于克服其他的系统误差。

四、LD 等效参数的提取

下面先来分析国外 LD 非匹配端接在 50Ω 传输线上的情况, 将有助于对国产 LD 管芯性能的研究。我们采用文献[4]给出的等效模型来表示 LD, 如图 5 所示, 图中 L_s 是管芯到射频传输线的键合金线造成的引线电感, C_s 是金线对地的电容, 它们都很小, 分别为 0.05nH 和 0.07pF。 $R_L = 2\Omega$ 是管芯有源区等效阻抗, C_p 和 R_p 是管芯上、下台面之间的总电容和相关的电阻, $C_p = 4.1\text{pF}$ 和 $R_p = 0.5\Omega$ 。在理想非匹配端接微波封装中, 由于没有引入任何不连续性, 所以从 LD 等效端口向外看, 是一个内阻为 50Ω 的电压源, 因此可以很方便地计算出网络的 S_{11} 和 S_{21} , 图 6 是相应的计算曲线。通常情况下 LD 电光转换效率、光电检波器的光电转换效率在相当宽的频带内, 与频率无关, 所以这里计算的 S_{21} 曲线直接反映了 LD 调制频响特性的变化规律。当改变 C_p 为 20pF、 R_L 为 4Ω 时, S_{21} 的变化一定程度上与图 4 给出的实测 S_{21} 曲线类似。

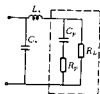


图 5 LD 的等效网络模型^[4]

因为国产 LD 为双异质结条型结构, 沿用图 5 给出的等效电路模型是合理的。因为在测试结构中, C_s 和 L_s 控制得很小, 在我们关心的频率范围内, 它

们对频响特性影响很微弱。在模拟计算中, 曾经将它们扩大数倍, 但没有导致器件特性的明显变化, 所以在等效电路中可取与国外器件同样的数值。另外, R_L 可以直接从器件的 V-I 曲线测得, 本管芯 $R_L = 8\Omega$ 。当然在频率升高时, 由于趋肤效应的影响, R_L 会有一些变化, 但在几千兆赫的频率上, 变化是可忽略的。参照图 6 给出的模拟计算曲线, 我们认为, 国产 LD 频响特性主要是受到 C_p 和 R_p 的制约, 因此应该从图 4 的实测曲线 S_{21} 的变化规律来提取参数 C_p 和 R_p 。在调制频率的高端, C_p 可近似为短路, 而在低频时 C_p 近似开路, 因此根据 S_{21} 在频率高端和低端之间 20dB 的跌落值, 计算出 R_p 的值为 1.2Ω。然后, 再代入曲线 S_{21} 终止跌落时的频率 2GHz, 计算出 C_p 的值为 30pF。与国外 LD 管芯相比, 国产 LD 的 $R_p = 6.7$, 国外器件为 4, 国产 LD 的 $C_p = 30\text{pF}$, 国外器件为 4.1pF。

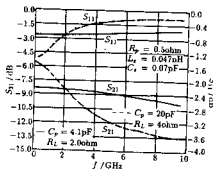


图 6 LD 频响特性的计算机模拟^[4]

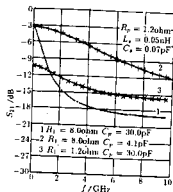


图 7 国产 LD 调制特性随 C_p 和 R_L 变化的模拟

为了探索改善国产 LD 性能的技术途径,在图 7 上给出了 3 根计算机模拟计算曲线。曲线 2 表明,随着 C_p 的减小, S_{21} 终止下跌处的频率向高端移动, S_{21} 在低频区下降速率减慢。从曲线 3 可以看到,当 R_L 减小时, S_{21} 跌落的绝对值减小,反之,曲线变得更陡峭。当 R_L 减小后,在高频上 R_S 对 R_L 的分流进一步减弱。因此为了有效地改进国产 LD 的调制频响特性,在今后的制造工艺中应设法减小电容 C_p 和 R_L 。

五、结 语

我们克服了背地共面线谐振现象的有害影响,用微带-对称背地共面线制作了非匹配端接国产 LD 的微波封装结构,实测了组件的调制频响特性,沿用国外类似器件的等效电路,通过计算机模拟提取了国产 LD 的等效参数,进而讨论了参数变化对频响特性的影响,提出了改善器件调制频响特性的技术途径。为了发挥现有国产器件的潜力,目前正在积极研究某些高通传输网络,对现有 LD 频响特性进行修正。

参 考 文 献

- 1 Ogawa, Hiroyo. Fiber-optic millimeter-wave-subcarrier transmission links for personal radio communication. IEEE Trans., 1992, MTT-40: 2285~2293
- 2 H. Blavurelt, D. B. Huff, G. J. Stern and I. L. Newberg. Reduced insertion loss of X-band RF fiber-optic links. IEEE Trans., 1990, MTT-38: 662~664

- 3 吴正德,张志军,樊勇,荆小宏. 几种复合传输线性阻抗的计算. 电子学报, 1995(3)
- 4 A. Ghiani and A. G. Pimath. Novel wide-bandwidth matching technique for laser diodes. IEEE Trans., 1990, MTT 38: 673~675



吴正德 1945 年生, 1967 年毕业于电子科技大学, 1981 年和 1984 年获得硕士和博士学位。1985 年后在电子科技大学应用物理研究所工作, 现任教授, 博士生导师, 全国政协委员, 美国纽约科学院院士。多年来致力于电磁场理论与微波技术领域的科研和教学工作, 先后在国内外刊物和学术会议上发表论文四十多篇, 曾以第一主研身份获国家级科技进步三等奖两项, 1991 年被授予“做出突出贡献的中国博士学位获得者”称号。现为中国电子学会微波专业委员会委员。



张志军 1971 年生, 1992 年毕业于电子科技大学电磁场与微波技术专业, 现为电子科技大学应用物理研究所硕士生。

樊勇 1963 年生, 1985 年毕业于原华东工学院, 1992 年获电子科技大学电磁场与微波技术硕士学位。现在电子科技大学应用物理研究所从事电磁场理论与微波技术领域的科研和教学工作。