

几种复合传输线特性阻抗的计算*

Characteristic Impedance Calculation of Composite Transmission Lines

吴正德 张志军 樊勇 唐小宏

(电子科技大学, 四川成都 610054)**

【摘要】 本文就高速光电器件微波封装提出了有希望的几种复合传输线(微带+共面线, 屏蔽微带+共面线, 微带+不对称共面线), 采用边界元法计算了它们的特性阻抗, 给出了几组有工程价值的计算曲线, 并讨论了实验结果。

关键词: 微波封装, 传输线, 特性阻抗, 边界元法

Abstract: A few promising composite transmission lines (microstrip+CPW, shielded microstrip+CPW and microstrip+asymmetric CPW) are proposed for the microwave packaging of the high speed optoelectronic devices in the paper. Using boundary element method, the characteristic impedance are calculated for the lines. Several sets of theoretical curves are given for the engineering design. The experimental results are discussed.

Key words: Microwave packaging, Transmission line, Characteristic impedance, Boundary element method

一、引 言

八十年代后期人们已经开始在不同的模拟微波系统和高速码率基带数字系统中采用半导体激光器和光电检波器。为了保证高速光电器件的转换效率和宽带特性, 除了对器件进行精心设计和制作外, 还必须设计合理的微波封装, 在不牺牲光电性能的同时, 提供很好的微波环境和牢固的机械壳体。半导体激光器在超过阈值电流后, 等效于几欧姆的低阻元件^[1], 最常用的微波宽带匹配, 是在紧靠激光器芯片处串联一集总电阻构成 50Ω 的匹配终端。但是, 这样消耗了绝大部分微波功率。文[2]为了实现激光二极管皮秒级脉冲调制, 提出了一种共面线和微带线结合, 并在共面线上方加鳍状接地平面构成的新型复合传输线, 用它设计了从 50Ω 到 5Ω 的指数渐变

线(TLT)。实验证实了 TLT 将改善封装的总带宽^[2]。然而, 由于鳍状接地薄片悬空, 所以机械强度欠佳, 位置精度难以保证。

本文提出了三种有可能在微波封装中采用的复合传输线(微带+共面线, 屏蔽带线+共面线, 微带+非对称共面线), 利用边界元法, 考虑包括带线有限厚度在内的诸多因素, 给出了导体上的电荷分布, 计算了传输线的特性阻抗, 绘制了几组理论计算曲线, 还以第三种传输线为例, 进行了实验研究, 讨论了与高次模式相关的谐振现象。

二、特性阻抗的计算

1. 微带+共面线

去掉文献[2]TLT 中的鳍状接地导体后, 即构成了微带+共面线的复合传输线, 如图 1 所示, 在相

* 1993年11月收到, 1994年8月修改定稿

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

同的几何尺寸下, 这种传输线的阻抗比 TLT 高, 但对于目前国内半导体激光器仍有意义, 因为国产激光器等效阻抗约在 10Ω 量级, 比国外器件高许多。

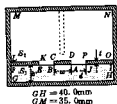


图1 微带+共面线的复合传输线
(虚线表示去掉的罐状接地平面)

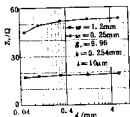


图2 复合线(微带线+共面线)的特性阻抗

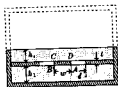


图3 屏蔽微带+共面线的复合传输线
(虚线表示微波封装壳体)

下面我们利用边界元法来计算复合传输线的特性阻抗。这种方法不需要事先假设带线上的电荷分布, 仅通过求解离散的边界积分方程便可求出电场在分区界面上的垂直分量, 进而决定带线上的电荷分布, 为传输线特性的深入研究建立很好的基础, 成功地解决了考虑许多因素(介质基片, 带线厚度和屏蔽壳体等)在内的复杂理论问题^[4]。相比之下, 有限元法、有限差分法和 FDTD 等需要在全空间进行场域划分, 所以边界元法计算速度快、收敛性好。

将复合传输线的横切面分成两个子区域 S_1 、 S_2 ,

其边界分别为 Γ_1 [ABEFGHUA] 和 Γ_2 [AD-CBEKLMNOPJA]。按边界元法步骤求解, 由于导体的宽度与厚度相差悬殊, 通常的数值积分将会在积分极点(A, B, C, D, E, K, P, J)附近反复迭代, 造成计算机死机, 因此有必要引入两种积分方法, 即辛普生积分法与自适应辛普生积分法, 同时采用自适应精度方法, 在保证精度的同时节省 CPU 时间。我们先计算了导体上的电荷密度, 中心导体上下两面的电荷密度呈现出严重的不对称性, 在上面(CD)中心处电荷密度很小, 若在此键合金线引入微小的不连续体, 不会对带线的特性带来明显影响。随后计算了复合线的特性阻抗, 图2是中心导体宽度 W 不同时特性阻抗 Z_0 随间距 d 的变化曲线, 从曲线看出, 在介质基片的厚度 h 和相对介电常数 ϵ_r 不变时, 增加中心带线宽度 W 将明显减小特性阻抗 Z_0 , 当带线宽度增大后, 改变带线之间的隙缝 d 对 Z_0 的影响程度减弱, 因为此时 d 的变化不会明显改善带线上的电荷密度和分布情况。

为了检验计算方法, 特根据[2]在不加罐状接地平面时的几何尺寸, 计算了渐变传输线两端的特性阻抗, 高阻端和低阻端分别为 52Ω 和 17.8Ω , 而文献[2]中测试值分别为 50Ω 和 18Ω , 可见计算和实验吻合很好。

2. 屏蔽微带+共面线

随着国产激光器的发展, 器件等效阻抗愈来愈低, 因此有必要进一步降低传输线的特性阻抗, 与文献[2]不同, 在这里将悬空罐状接地平面换成了平行平面, 构成如图3所示的屏蔽带线+共面线的复合传输线, 克服了 TLT 的缺点。

在具体计算时, 考虑到图1和图3在某种意义上的对称性, 参考前面的计算程序可将计算量减小一半。图4给出了特性阻抗随中心导体宽度的变化曲线, 应该指出, 如果我们按一定规律改变中心导体的宽度, 同样可以设计出从高阻到低阻的阻抗渐变线, 与 TLT 具有类似特性, 且中心导体的宽度也满足实际要求。

3. 微带+非对称共面线

在实际中, 激光器芯片和热沉组件如图5所示, 在热传导性良好的氧化铝基片上制作电极, 芯片焊接在电极上, 组装时再用金线来实现电极和射频传输线之间的连接, 这样额外的寄生参数将恶化封装的宽带特性, 同时封装壳体也不可能减小。观察热沉

上刻融的电极形状时发现,两个电极可以构成非对称共面线,如果我们按非对称共面线来设计电极条带的宽度和间隙,显然对于提高微波封装的电气性能,减小封装尺寸是有利的。

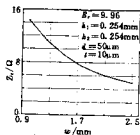


图4 复合线(屏蔽微带+共面线)的特性阻抗



图5 激光器芯片组件简图



图6 微带+非对称共面线的复合传输线

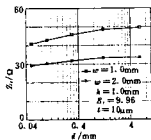


图7 复合线(微带+非对称共面线)的特性阻抗

了与前面相同的处理,图7给出了不同电极尺寸下复合线特性阻抗的变化曲线。倘若得知氧化铍介质基片的介电常数,选择合适的基片厚度,则可以在热沉上正确设计出这种复合传输线,使激光器芯片的射频匹配电路和直流馈电电路合为一体。

三、实验与讨论

边界元法主要应用于传输线准静态特性的分析,对以上三种复合线的传输特性及工作模式的研究是相当复杂的理论问题。为了增加这方面的知识,特地以第三种复合线为例,进行实验研究。根据理论计算,制作了一段50Ω复合线,如图8,两端直接安装SMA接头,用HP8756测试其 S_{11} 和 S_{22} ,图9是测试曲线。若不考虑在4.5、7.7、8和9.8GHz处出现的尖峰,可以认为复合线的确具有很好的传输特性,说明对特性阻抗的计算也是正确的。我们将非对称共面线地一侧近似看成是一个一端开口,其余侧面封闭,内部填充介质的矩形腔,正是复合线上存在横向泄漏的高次模式,矩形腔才在某些频率上谐振,使 S_{11} 和 S_{22} 呈现若干尖峰,因为矩形腔的高度远小于其他尺寸,电磁场沿高度方向不变化,所以利用图8的尺寸能计算出矩形腔的谐振频率为4.16、5.86、7.92和10.12GHz,计算与实验的微小差异证实了我们的分析。由此可见,由于三种复合线有一定的相似性,所以都会存在与高次模式相关的谐振现象,虽然很难从根本上消除,但是改变等效矩形腔的尺寸,能将谐振频率平移到工作频带以外。

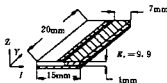


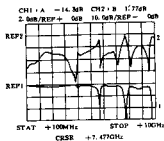
图8 第三种复合线测试原型

四、结语

本文就高速光电器件的微波封装提出了三种有希望的复合传输线,采用边界元法计算了复合线的特性阻抗与几何尺寸之间的关系曲线,理论计算得到了证实,并进行了实验研究,讨论了与高次模式有关的谐振现象,为采用这些新型复合传输线奠定了

为此,提出了微带+非对称共面线的复合传输线,图6是横截面结构。在边界元法计算中对积分作

基础。

图 9 第三种复合线 S_{11} 和 S_{21} 测试值

参 考 文 献

- 1 J. Schlafer, R. B. Lauer. Microwave packaging of opto electronic components. IEEE Trans. Microwave Theory Tech., May, 1990, MTT-38:518~523
- 2 M. C. Carvalho, W. Margulis. A transmission-line transformer. Electron. Lett., 1991, 27:138~139
- 3 M. C. Carvalho, W. Margulis. Laser diode pumping with a transmission line transformer. IEEE Microwave and Guided Wave Letters, Dec. 1991, 1:368~370
- 4 T. N. Chang, C. H. tan. Analysis of a shielded microstrip line with finite metallization thickness by the boundary element method. IEEE Trans. Microwave Theory Tech., Aug. 1990, MTT-38:1130~1132

吴正德 1945年生,1967年毕业于原成都电讯工程学院,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几篇,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。

唐小宏 1962年生,1983年毕业于原成都电讯工程学院,1990年获得博士学位,现任副研究员,在电子科技大学应用物理研究所从事电磁场与微波技术领域的科研和教学工作,先后发表学术论文十七篇,曾以第二主研身份获机电部科技进步二等奖一项。