

半导体激光器光场分析程序的算法研究

陆燧丽

(华中理工大学激光研究所)

本文利用有效介电常数法和等效传输线法两种技巧,导出了一种半导体激光器光场结构分析的计算机程序的算法,并给出了相应的该算法的程序框图。

Algorithm research for optical field analysis program of semiconductor laser

Lu Suili

(Huazhong University of Science & Technology)

Abstract

In this paper an algorithm of computer program for optical field analysis of semiconductor laser is derived using two techniques of the effective dielectric constant method and the equivalent transmission line method. And computer program flow chart is also given.

前 言

半导体激光器在光纤通信中起着十分重要的作用。了解具有确定结构的半导体激光器可能发生的光模分布及其有关特性,对分析已知结构的半导体激光器光场特性或设计有较好光场结构的半导体激光器均是十分重要的。由Maxwell方程组及其边界条件,原则上虽可求解场分布,但一般比较困难。本文利用有效介电常数法和等效传输线法两种技巧,导出了两种使用计算机分析半导体激光器光场结构的算法,可以较方便地对半导体激光器光场特性进行分析计算。

处 理 方 法

图1给出了一个GaAlAs/GaAs条形双异质结半导体激光器简化结构示意图。该激光器x方向可划分为三个区,y方向可视为三层平板介质结构,z方向由于器件尺寸远大于x,y方向尺寸可当无穷大处理。区域I在条形A的底下,当条形注入的电流超过阈值时,激光在该

区中的GaAs激活层中产生并沿z向传播。激光器内的光场，在y方向因为GaAs折射率高于GaAlAs折射率而限制于GaAs内，在x方向则因为激活介质的增益导引作用而限制于区域I内。

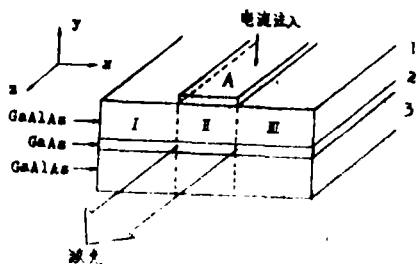


图1 半导体激光器示意图

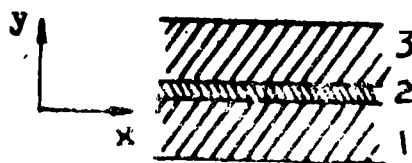


图2 每个区可看作为三层平板介质结构

对如图1这样的激光器，只要知道x-y横截面内的光场分布就足够了[1]，并近似地认为x方向、y方向可独立处理[2]。因此对于图1中的任何一个区域，在忽略边界效应的情况下，均可当作x、z方向为无穷大的三层平板介质光波导结构来处理，如图2所示。对这种平板介质光波导，可用一等效传输线来替代[2]。在横电波(TE)的情况下，该等效传输线上电压分布刚好等价于多层平板介质结构中的电场分布，而传输线上电流分布则与横磁波(TM)中的磁场分布相对应。用此方法，可求出任一x处场沿y方向的分布。

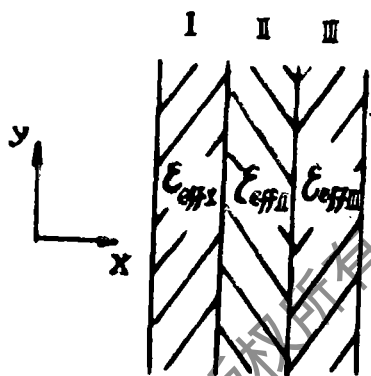


图3 三个区域用三层平板介质结构来替代

为了求得x方向的场分布，我们这样处理，对于图1中的每一个区，可先采用有效介电常数法(EDC法)[1]，算出该区域的有效介电常数 ϵ_{eff} ，然后设介电常数为 ϵ_{eff} 的介质替代该区。这样，原先三个区域的结构就可用一新的三层平板介质结构替代。这个介质层，x方向的层厚等于被替代的区域的宽度，而y、z方向均为无穷大，如图3所示。经过替代后，仿前述，采用等效传输线法就算出任意y处场沿x方向的分布。

实际的半导体激光器结构常比图1要复杂，它们既可能在x方向区域数或y方向层数有变化，也可能在不同区域有不同层结构，但处理方法却是完全相似的。

算法的推导

下面的推导中，设介质均匀无耗，且在z方向无穷延伸，以及x-y平面内任何处的介电常数是已知的(在激活区，由于增益导引存在，介电常数应为复数)。

1. 用等效传输线替代多层平板介质结构

图4a给出了一个 $(n+m+1)$ 层平板介质结构的x-y横截面图，x、z方向为无穷大，各层的介电常数、层厚及y方向的横向传播常数分别用 ϵ_i 、 d_i 、 K_i 表示。该平板介质结构的等效传输线如图4b所示。在TE情况下对应层l的传输线特性阻抗为 $j\omega\mu_i/K_i$ ，在TM情况下

为 $K_i/j\omega\epsilon_i$ ，其中 μ_i 为导磁系数（设各介质导磁系数都等于真空导磁系数 μ_0 ）， ω 为角频率。根据传输线公式，对长度为 d 、特性阻抗为 Z_0 、终端阻抗为 Z_L 的传输线，其输入端可用一输入阻抗 Z_r 来表示：

$$Z_r = Z_0 \frac{Z_L + Z_0 \tanh(K \cdot d)}{Z_0 + Z_L \tanh(K \cdot d)} \quad (1)$$

式中， K 为传播常数。在 y 的正、负方向上重复使用 (1) 式，可得出以参考平面为界的上阻抗 Z_+ 和下阻抗 Z_- ，如图 4c 所示。当然，参考平面是任选的，此处选在 0 层与 1 层的界面上。由于存在的光场满足横向谐振条件，因此对应的等效传输线应满足下式：

$$Z_+ + Z_- = 0 \quad (2)$$

考虑到分布在各介质内的同一光波沿 z 向传输时，其纵向传播常数 β 必须相同，则有：

$$\beta = \epsilon_i k_0^2 + K_i^2 = \epsilon_j k_0^2 + K_j^2, \quad i, j \in \{m, \dots, n\} \quad (3)$$

式中， K_0 为自由空间波数。(2) 式和 (3) 式正好提供了足够的方程数去求解 $m+n+1$ 个未知的 K_i 。

2. 工作场及场限制因子的计算

对于图 4a 示出的多层平板介质结构，设各层 y 方向传播常数 K_i 已求出，那么可用下面方法计算工作场的分布。

如图 5 所示的传输线，若已知 P 点处电压 V_P 或电流 I_P ，由传输线理论知，用下式求得 Q 点处电压 V_Q 或电流 I_Q ：

$$\begin{pmatrix} V_Q \\ I_Q \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} AB \\ CD \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 1/Z_L & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V_P \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} (A+B/Z_L)V_P \\ (C+D/Z_L)V_P \end{pmatrix} \quad (4)$$

$$\begin{pmatrix} V_Q \\ I_Q \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} AB \\ CD \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & Z_L \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ I_P \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} (A \cdot Z_L + B)I_P \\ (C \cdot Z_L + D)I_P \end{pmatrix} \quad (5)$$

式中， $A = \cosh(K \cdot d)$ ， $B = Z_0 \cdot \sinh(K \cdot d)$ ， $C = \sinh(K \cdot d) / Z_0$ ， $D = A$ 。符号 K 、 d 、 Z_0 分别表示传输线的传播常数、长度和特性阻抗， Z_L 表示 P 点处的负载阻抗。

对于 TE 模，因电场分布对应传输线中电压分布，则有：

$$E_Q = (A + B/Z_L)E_P \quad (6)$$

式中， E_Q 、 E_P 表示 Q 点和 P 点的电场。同样，对于 TM 模，因磁场分布对应于传输线中电流分布，则有：

$$H_Q = (C \cdot Z_L + D)H_P \quad (7)$$

式中， H_P 和 H_Q 表示 P 点和 Q 点的磁场。

从 (6) 式和 (7) 式看到，只要在多层介质平板结构某处定义一个工作场的值，就可利用

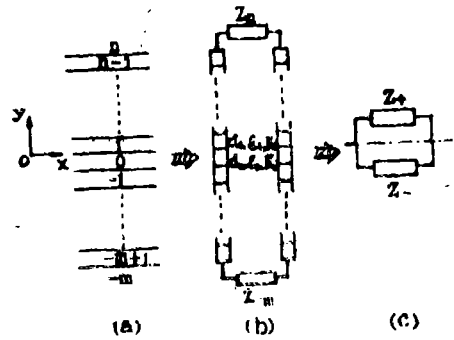


图 4 (a) 多层平板介质结构；(b) 等效传输线；(c) 相对于参考平面的 Z_+ 和 Z_-

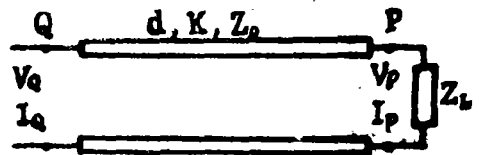


图 5 计算传输线上电压、电流示意图

(6)式和(7)式求得该工作场在多层介质平板中沿y方向的场分布。

场的限制因子 γ 根据定义采用数值解法求得:

$$\gamma = \frac{\int_0^{d_i} |\varphi(y)|^2 dy}{\int_{-\infty}^{\infty} |\varphi(y)|^2 dy} \quad (8)$$

式中, $\varphi(y)$ 为工作场, d_i 为层厚。

3. 用有效介电常数法求解x方向场分布

对于如图4a所示的 $(n+m+1)$ 层平板介质结构, 求得各层在y方向的传播常数 K_i 后, 用下式算得有效介电常数^[1]:

$$e_{eff} = e_i + K_i^2 / k_0^2, \quad i \in \{-m, \dots, n\} \quad (9)$$

e_{eff} 可理解为这样一种假想介质的介电常数: 一个平面波在该介质中传播的相速与原来那个平板介质中传播的表面波相速是相等的。用有效介电常数法, 图4a那样的多层平板介质结构则可表示为一个单一介电常数为 e_{eff} 的假想介质。

假想半导体激光器在x方向可划分为 $(P+s+1)$ 个区域, 那么对于每一个区域, 在忽略边界效应时, 应用有效介电常数法, 可表示为单一介电常数为 e_{eff} 的介质层。其中 $j \in \{-P, \dots, s\}$ 。这样, 原激光器沿x方向分区的结构可转化为一个沿x方向的多层平板介质结构, 如图6所示。

x方向的层厚等于原来激光器各区的区域宽度, y和z方向均为无穷大。同样对这样一个沿x方向的多层平板介质结构采用等效传输线法, 则可求出x方向的场分布及其场限制因子。

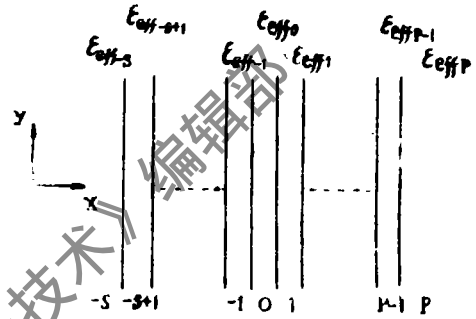


图6 x方向转化为多层平板结构示意图

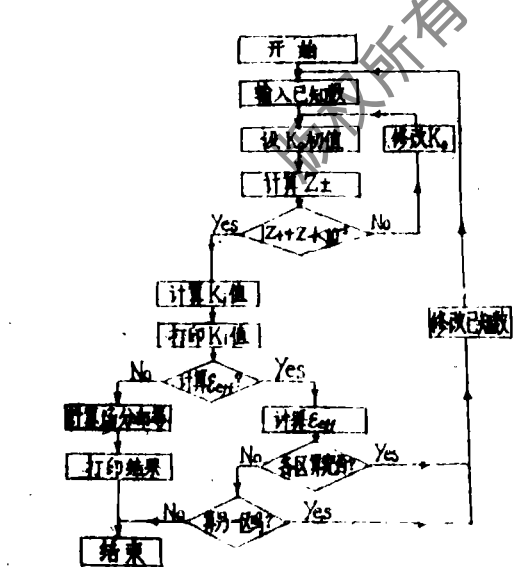


图7 程序流程图

程序流程图

用上节导出的算法, 可方便地编制计算机程序对半导体激光器场结构进行计算, 其程序流程图如图7所示。

综上所述, 利用有效介电常数法和等效传输线法两种技巧, 导出了一种便于编制计算机程序的算法, 用该算法可方便地对半导体激光器光场特性进行分析计算。

参考文献

- [1] Radio Science, 1977, Vol. 12, No. 4, P. 543.
- [2] IEE Proc., 1980, Vol. 127, No. 5, P. 221.

(下转第20页)

选取原料配方，其次是严格的工艺规程。光学性能是核心问题，要解决好这个问题，首先必须在原料配方的耐紫外辐射上狠下功夫，否则不易收到理想的效果。

为了尽快地推广应用，我们将在现有原料配方的基础上，进一步改进和提高成型工艺，生产多种系列的产品，以满足不同的使用要求。

作者简介：薛友苏，男，1949年9月出生。助理工程师。现从事激光器件与应用研制。

孙连玉，男，1942年出生。工程师。现在福建福日电视机有限公司工作。

收稿日期：1987年12月12日。

(上接第16页)

作者简介：陆姵丽，女，讲师。从事气体激光器、光学薄膜、计算机光学设计程序、半导体激光放大器等科研及教学工作。

收稿日期：1987年12月11日。

· 简 讯 ·

欧洲剪影：激光应用

欧洲各国正在多种产业中应用激光技术，如英国BRITE计划中即列入了自适应控制、薄板焊接、反馈、机器人系统、激光表面处理工程、高能激光材料加工等应用激光技术的课题；Eurolase I公司投标开发5种100kW的激光器；英国Imperial大学Steen博士报告了以下趋势：

- 机器人激光遥控正急起直追，工艺自动遥控的机器人将得到实现；
- 表面处理（如敷层、表面合金化）极有前途，特别对于活泼金属如钛，最近在铸铁处理方面获得有益信息；
- 继续提高激光切割效率：英国卡勒姆城研究者作了高压快速切割六角形喷嘴的实验；丹麦技术大学可能用新型氮氩混合气体器件进行无毛刺的不锈钢切割；英国拉夫巴勒大学的研究人员使用特殊效率的激光束，减少了激光切割的切纹；
- 利用声频反射镜监控焊接内部状态，促进焊接研究。

Fiat和Renault两家欧洲的汽车制造厂拥有车身和传动件焊接用的激光器。Volkswagen用关节臂把激光束传送到左右传动的产品进行加工。在美国的Leyland除熟知的领域外用于板的切割。

一些大型家用设备也引进了激光。如飞利浦公司在混频器生产中使用了激光焊；法国空调制造厂用激光切割成千的快速排放新型系统的配件。

据L.O.I., 1987, Vol.4, No.1, P.2.

(姚 摘)