

# 1. $3\mu\text{m}$ 直条形吸收区超辐射发光管的 复折射率矢量束传播方法模拟

赵铁民 陈维友 彭宇恒 刘式墉

(吉林大学电子工程系 长春 130023)

**摘要** 束传播方法广泛的应用于无源波导器件的模拟与设计. 为了能够模拟有源器件, 例如金属包层波导和超辐射发光二极管(SLD), 我们将复折射率引入其中, 器件的增益和吸收通过折射率的虚部来描述. 用复折射率的有限差分矢量束传播方法, 我们对  $1.3\mu\text{m}$  直条形吸收区 SLD 进行了模拟与设计, 并且给出一种新结构.

EEACC: 4140, 1130B, 4130

## 1 引言

做为一个简捷、有效的算法, 束传播方法(BPM)<sup>[1,2]</sup>被广泛应用于光波导器件的模拟与设计, 目前, 该方法主要用于模拟无源波导器件, 实折射率的 BPM 即使用来模拟有源器件, 例如带锥形波导吸收区的 SLD<sup>[3]</sup>, 也是通过忽略器件的增益和吸收来近似实现的, 但是, 对于大多数器件, 尤其是强增益或强吸收的器件, 例如直条形波导吸收区的 SLD 或调制器的金属盖层, 材料吸收必须被严格处理, 为了处理器件的增益和吸收, 我们对矢量束传播方法进行了完善, 使之适用于复折射率的情况, 通过复折射率的虚部来描述器件的增益和吸收.

本文第二部分简略的给出复折射率的有限差分束传播方法(complex refractive index finite difference vector beam propagation method-CRI-FDVBPM)公式, 第三部分对一个 InP/InGaAsP  $1.3\mu\text{m}$ SLD 进行模拟, 对于不同的有源层厚度, 得到一组数值结果, 并且给出带金属层的直条形吸收区 SLD 的设计结果.

## 2 CRI-FDVBPM

复折射率的矢量波方程为:

$$\nabla \times \nabla \times \bar{E} - n^2 K_0^2 \bar{E} = 0 \quad (1)$$

其中  $K_0 = 2\pi/\lambda_0$ ,  $\lambda_0$  为光在真空中的波长, 复折射率  $n = n_r + in_i$ ,

赵铁民 男, 1968 年生, 硕士, 目前从事集成光波导器件计算机辅助设计工作  
1995 年 3 月 17 日收到初稿, 1995 年 12 月 23 日收到修改稿

$n^2 = \epsilon/\epsilon_0 = K = K_r + iK_i$ ,  $K_r$  和  $K_i$  分别为相对介电常数的实部与虚部。

$K_r, K_i$  和  $n_r, \alpha$  (光功率吸收系数) 的相互关系如下:

$$K_r = (4n_r^2 K_0^2 - \alpha^2)/4K_0$$

$$K_i = n_r \alpha / K_0$$

其中  $K_i < 0$  对应吸收,  $K_i > 0$  对应增益。

把光场的横截面电场分量 ( $\bar{E}_i$ ) 写做:

$$\bar{E}_i = \bar{\Psi}_i \exp(-jn_0 K_0 Z)$$

其中  $n_0$  为参考折射率(复数), 并且  $\bar{\Psi}_i = \Psi_x \cdot \bar{i} + \Psi_y \cdot \bar{j}$ 。

假设沿传播方向折射率缓变, 我们能在缓变包络近似下得到复折射率的有限差分方程组:

$$[1 + j\Delta_z \eta H_{xx}] \Psi_x^{i+1} = [1 - j\Delta_x (1 - \eta) H_{xx}] \Psi_x^i - j\Delta_x H_{xy} \Psi_y^i \quad (2a)$$

$$[1 + j\Delta_z \eta H_{yy}] \Psi_y^{i+1} = [1 - j\Delta_x (1 - \eta) H_{yy}] \Psi_y^i - j\Delta_x H_{yx} \Psi_x^i \quad (2b)$$

其中

$$H_{xx} \Psi_x = (1/2n_0 K_0) \{ [T_{m+1,n,l} \Psi_x(m+1,n,l) - (2 - R_{m+1,n,l} - R_{m-1,n,l}) \Psi_x(m,n,l) + T_{m-1,n,l} \Psi_x(m-1,n,l)] / \Delta_x^2 + [\Psi_x(m,n+1,l) - 2\Psi_x(m,n,l) + \Psi_x(m,n-1,l)] / \Delta_y^2 + [n^2(m,n,l) - n_0^2] K_0^2 \Psi_x(m,n,l) \}$$

$$H_{yy} \Psi_y = (1/2n_0 K_0) \{ [T_{m,n+1,l} \Psi_y(m,n+1,l) - (2 - R_{m,n+1,l} - R_{m,n-1,l}) \Psi_y(m,n,l) + T_{m,n-1,l} \Psi_y(m,n-1,l)] / \Delta_y^2 + [\Psi_y(m+1,n,l) - 2\Psi_y(m,n,l) + \Psi_y(m-1,n,l)] / \Delta_x^2 + [n^2(m,n,l) - n_0^2] K_0^2 \Psi_y(m,n,l) \}$$

$$H_{xy} \Psi_y = (-1/8n_0 K_0 \Delta_x \Delta_y) \{ [1 - n^2(m+1,n+1,l)/n^2(m+1,n,l)] \Psi_y(m+1,n+1,l) - [1 - n^2(m+1,n-1,l)/n^2(m+1,n,l)] \Psi_y(m+1,n-1,l) - [1 - n^2(m-1,n+1,l)/n^2(m-1,n,l)] \Psi_y(m-1,n+1,l) - [1 - n^2(m-1,n-1,l)/n^2(m-1,n,l)] \Psi_y(m-1,n-1,l) \}$$

$$H_{yx} \Psi_x = (-1/8n_0 K_0 \Delta_x \Delta_y) \{ [1 - n^2(m+1,n+1,l)/n^2(m,n+1,l)] \Psi_x(m+1,n+1,l) - [1 - n^2(m-1,n+1,l)/n^2(m,n+1,l)] \Psi_x(m-1,n+1,l) - [1 - n^2(m+1,n-1,l)/n^2(m,n-1,l)] \Psi_x(m+1,n-1,l) - [1 - n^2(m-1,n-1,l)/n^2(m,n-1,l)] \Psi_x(m-1,n-1,l) \}$$

并且

$$T_{m\pm 1,n,l} = 2n^2(m \pm 1,n,l) / [n^2(m \pm 1,n,l) + n^2(m,n,l)]$$

$$R_{m\pm 1,n,l} = T_{m\pm 1,n,l} - 1$$

$$T_{m,n\pm 1,l} = 2n^2(m,n\pm 1,l)/[n^2(m,n\pm 1,l) + n^2(m,n,l)]$$

$$R_{m,n\pm 1,l} = T_{m,n\pm 1,l} - 1$$

增长因子  $\eta$  用来控制方程组(2)的差分格式,并且  $\eta \geq 0.5$ .

将方程(2)展开整理,我们能够得到两个方程组,通过交替求解这两个方程组,就可以获得器件的传播特性.

### 3 模拟设计

在本文中,我们对 InP/InGaAsP  $1.3\mu\text{m}$  SLD 的直条形波导吸收区进行了三维模拟,吸收区长度  $L$  为  $200\mu\text{m}$ ,宽度为  $2.0\mu\text{m}$ ,有源层厚度  $s$  在  $0.16\mu\text{m}$  到  $0.24\mu\text{m}$  之间变化,波导区的功率吸收系数为  $50\text{cm}^{-1}$ ,衬底及波导区折射率分别为 3.17 和 3.51. 计算窗取为  $10 \times 20\mu\text{m}$ ,剖分为  $101 \times 81$  点,增长因子  $\eta = 0.51$ . 这里,我们忽略非波导区的自由载流子吸收,并且假设后端面全反射.

对应于不同有源层厚度,吸收区的等效反射率随吸收区长度  $L$  变化的曲线如图 1 所示,可以看到等效反射率随有源层厚度  $s$  的增大而减小,这是因为有源层越厚光限制因子越大,被限制在有源区内的导模部分就越大,由波导层材料吸收所产生的衰减就越大,数值结果显示在图 2 中.

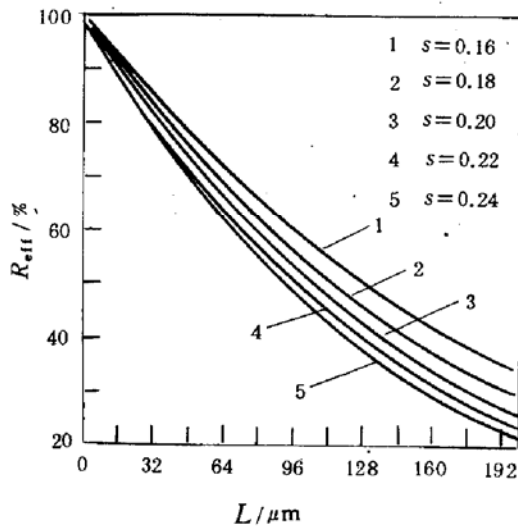


图 1 等效反射率( $R_{\text{eff}}$ )与吸收区长度( $L$ )的关系

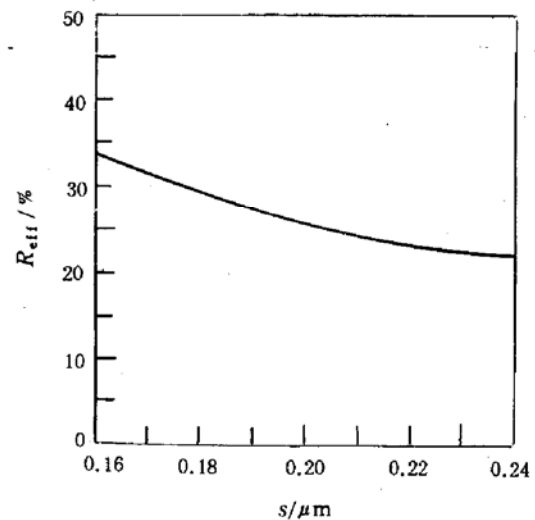


图 2 等效反射率( $R_{\text{eff}}$ )与有源层厚度( $s$ )的关系

为了有效的减小器件的等效反射率,缩短吸收区长度,我们在吸收区有源层上方适当位置加一层金属铝(Al),图 3 为一个简单的截面结构示意图. 铝的复折射率为  $1.75 - 8.5i$ ,吸收区的长度为  $100\mu\text{m}$ ,有源层宽度为  $2.0\mu\text{m}$ ,厚度为  $0.20\mu\text{m}$ ,其它参数与前面所述相同.

下面分析了铝层与有源层之间的空间距离  $h$  对光传播特性的影响,数值结果如图 4 所示,给出了对于不同的  $h$  大小等效反射率随着吸收区长度的变化情况,由图 1 可以很容易得到对于  $h = \infty$  即没有金属层时,等效反射率  $R_{\text{eff}} \approx 52\%$ ,对于  $h = 1.0\mu\text{m}, 0.8\mu\text{m}, 0.6\mu\text{m}$ ,等效反射率分别为  $41\%, 37\%, 10\%$ ,当  $h < 0.5\mu\text{m}$  时,等效反射率接近于零,和图 1 相比,在  $h = 0.5\mu\text{m}$  时其吸收区长度仅为不加铝层器件吸收区长度的  $1/6$ ,这表明当我们选择一个适当

的距离  $h$ , 可以有效的减小器件的吸收区长度及等效反射率, 对于本文中的结构应使  $h < 0.5\mu\text{m}$ .

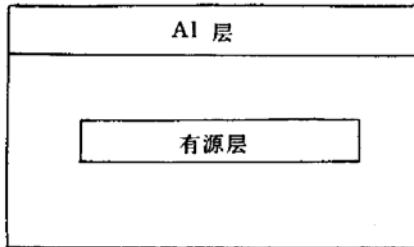


图3 吸收区波导的横截面

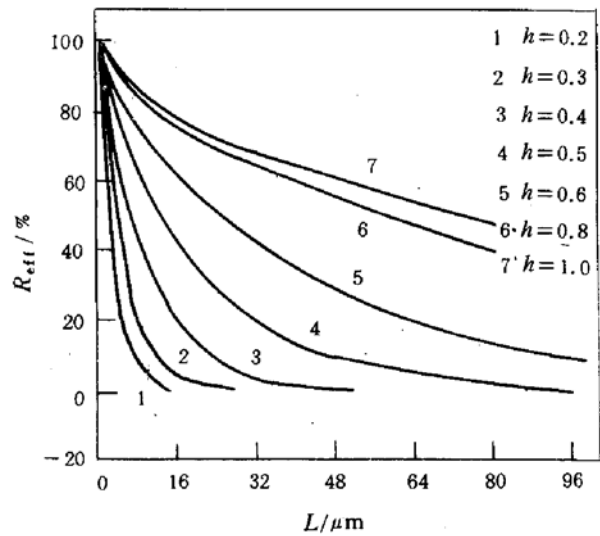


图4 等效反射率( $R_{\text{eff}}$ )与吸收区长度( $L$ )的关系

按照图4, 我们给出图5所示的两种光场传播情况, 显示出对于(a)  $h = \infty$  和(b)  $h = 0.5\mu\text{m}$  时光在整个吸收区上正向传播的场分布。

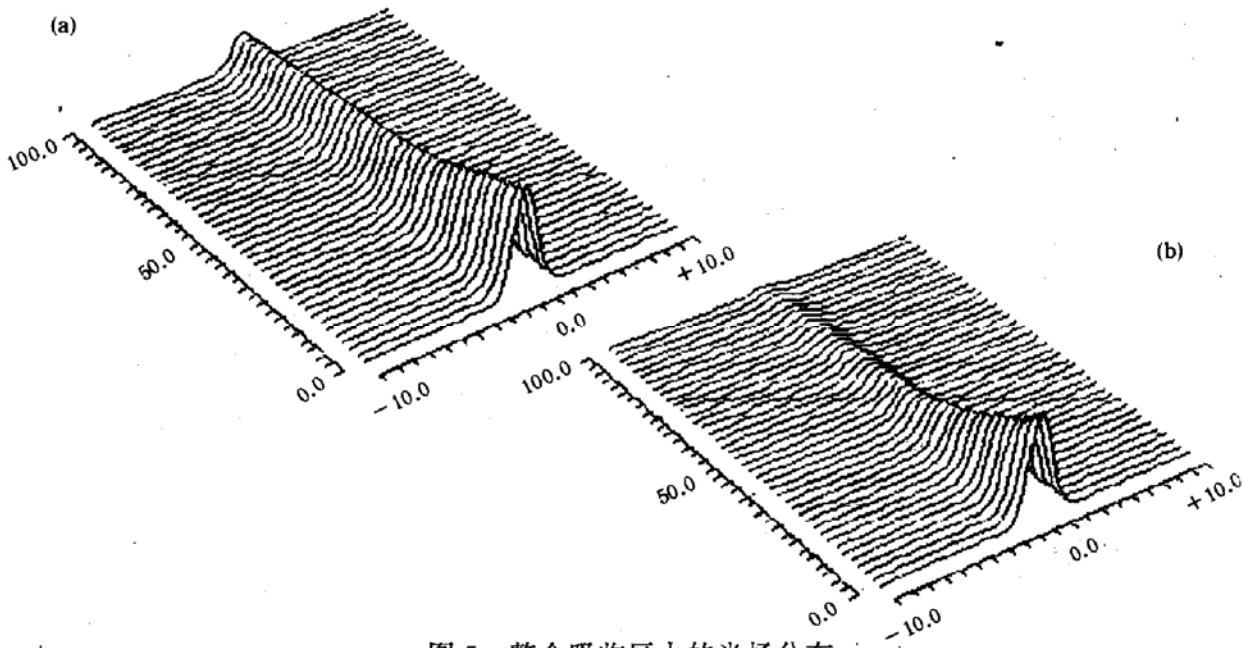


图5 整个吸收区上的光场分布

(a) 当  $h = \infty$  时, (b) 当  $h = 0.5\mu\text{m}$ 。

## 4 结论

我们将有限差分矢量束传播方法推广到复折射率的情况, 通过复折射率的虚部来描述光波导器件的增益和吸收, 并且通过该方法首次对具有直波导吸收区的超辐射发光二极管进行三维模拟分析, 在此基础上, 我们对吸收区加金属层的结构作了设计, 发现可以有效的减小吸收区的等效反射率, 缩短吸收区长度。

## 参 考 文 献

- [1] W. P. Huang, C. L. Xu and S. K. Chaudhuri, *IEEE Photonics Technol. Lett.*, 1992, **4**:148~151.
- [2] D. Yevick and B. Hermansson, *IEEE J. Quantum Electron.*, 1990, **26**:109~112.
- [3] K. Magri, Y. Hoguchi, K. Okamoto *et al.*, *Electron. Lett.*, 1990, **26**:1445~1446.

## Simulating for 1.3 $\mu\text{m}$ SLD with Absorbing Straight Waveguide by Complex Refractive Index Vector Beam Propagation Method

Zhao Tiemin, Chen Weiyou, Peng Yuheng and Liu Shiyong

(*Department of Electronic Engineering, Jilin University, Changchun 130023*)

Received 17 March 1995, revised manuscript received 23 Decemder 1995

**Abstract** A complex refractive index finite difference vector beam propagation method (CRI-FDVBPM) for the simulation of the waveguide devices with loss and gain, such as metal clad waveguides (MCWG) and superluminescent light emitting diode (SLD) is developed. The gain and loss of the devices are discribed by the image part of complex refractive index. For examples, by using the CRI-FDVBPM, the light propagation characteristics in SLD is studied.

**EEACC:** 4140, 1130B, 4130