

一种新颖 SLD 减反射区结构的设计*

陈维友 赵铁民 刘式墉

(吉林大学电子工程系 长春 130023)

摘要 本文用束传播方法研究了具有偏折波导吸收区两段式超辐射发光二极管减反射区结构对激光振荡的抑制作用,提出一种新颖的减反射区结构,这种结构包含一段偏折波导吸收区和一段透明窗口区.本文描述的设计及模拟结果表明:在长度相同的情况下,通过适当选择几何参数,这种结构较单一的一段偏折波导吸收区或透明窗口区,能得到更小的有效反射率,约小一到两个量级.

EEACC: 4130, 4140, 4150, 5210

1 引言

超辐射发光二极管(SLD)因其具有宽的发射光谱、短的相干长度、小的光束发散角和较高的输出功率,是光纤陀螺、光纤传感和中短距离光纤通信中的理想光源,近年来成为很吸引人的研究课题. SLD 的研制是在激光器的基础上,设法减小端面的反射率(接近零反射),从而抑制激光振荡的产生,实现对自发发射的放大.

抑制激光振荡的措施很多,归纳起来主要有这样几类:①在激光器的一个端面或两个端面蒸镀减反射膜^[1,2],这种方法的优点是可获得较高的输出功率,缺点是技术要求严格,工艺难度大,不适于批量生产^[3],另外,用这种方法难于获得光谱调制很小的器件^[4].②使端面不与光腔垂直(亦称倾斜条形结构)^[3,4],对于这种结构,光腔的斜度不能太大,否则会影响与光纤的耦合效率,一般在 5~7 度以内,并以折射率/增益导引波导(IGG)结构为佳^[4].③两段式结构,其中一段为增益区,另一段为有波导结构的吸收区^[5~14]或为无波导结构的透明窗口区^[15,16].两段式结构,也有在端面上蒸镀减反射膜的^[10~15].为叙述方便,这里把用来抑制激光振荡的区域称为减反射区,并把由减反射区反射耦合回增益区波导的光强与由增益区向减反射区传出的光强的比值定义为有效反射率,用 R_{eff} 表示.对于有波导结构的吸收区,尽管有时会出现吸收饱和的现象,然而,可通过适当设计波导结构使 R_{eff} 达到一合理小的值.窗式结构主要通过光的发散传播,实现减小 R_{eff} 的目标,这种结构原则上说可以通过增加窗口长度,达到近零反射(如对于器件端面反射率为 0.3 的窗式结构,要使 $R_{\text{eff}} < 10^{-4}$,窗口长度要大于 1mm^[16]),然而,器件太长对实际生产是不利的.两段式结构中,

* 国家自然科学基金资助项目

陈维友 男,1965年生,副教授,现从事 OEIC 及光波导器件 CAD 研究
1994年8月30日收到初稿,1995年2月28日收到修改稿

增益区也有设计成非直波导结构的^[14],这种结构对抑制激光振荡可能更好一些,但不宜实现较大功率输出.

对于有波导结构的吸收区,由于有波导存在,端面反射光或多或少肯定会有一部分耦合回波导,如果在光传到端面之前,进行一段发散传播,这样反射光不马上耦入波导,可进一步减小 R_{eff} ,如果波导是弯曲的或偏折的,使光传播方向不垂直端面,反射光偏向另一侧,可使 R_{eff} 更小. 这是本文把偏折波导吸收区和透明窗口区结合起来(以下简称 AWG)作为减反射区,以短的减反射区,实现小的有效反射率的出发点. 对于 AWG 结构,很明显,角度太小,反射光进入波导的较多,角度太大,大部分光很快散射出波导,同于窗式结构,也不好,因此,存在一个最佳偏折角度的选择问题.

用束传播方法(BPM)^[17]寻找最佳 AWG 结构是本文的主要研究内容. 用 BPM 设计 SLD 国外也有报道^[6],在我们的前期工作中也曾用过这种方法设计了具有锥形波导^[18]和弯曲波导^[19]吸收区的 SLD.

2 器件结构、几点假设和模拟过程

器件的二维结构见图 1,其中, L_g 为增益区长度, $L_{a1}+L_{a2}$ 为减反射区长度, L_{a1} 为有波导结构的吸收区长度, L_{a2} 为无波导结构的透明窗口区长度, α 为偏折波导的偏折角度. 器件

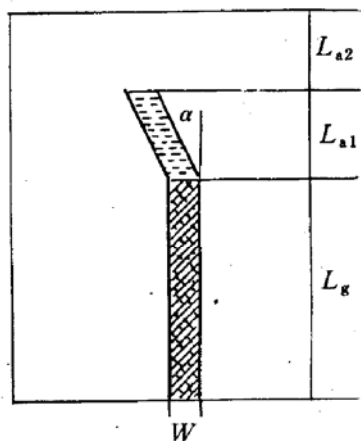


图 1 AWG-SLD 二维结构示意图

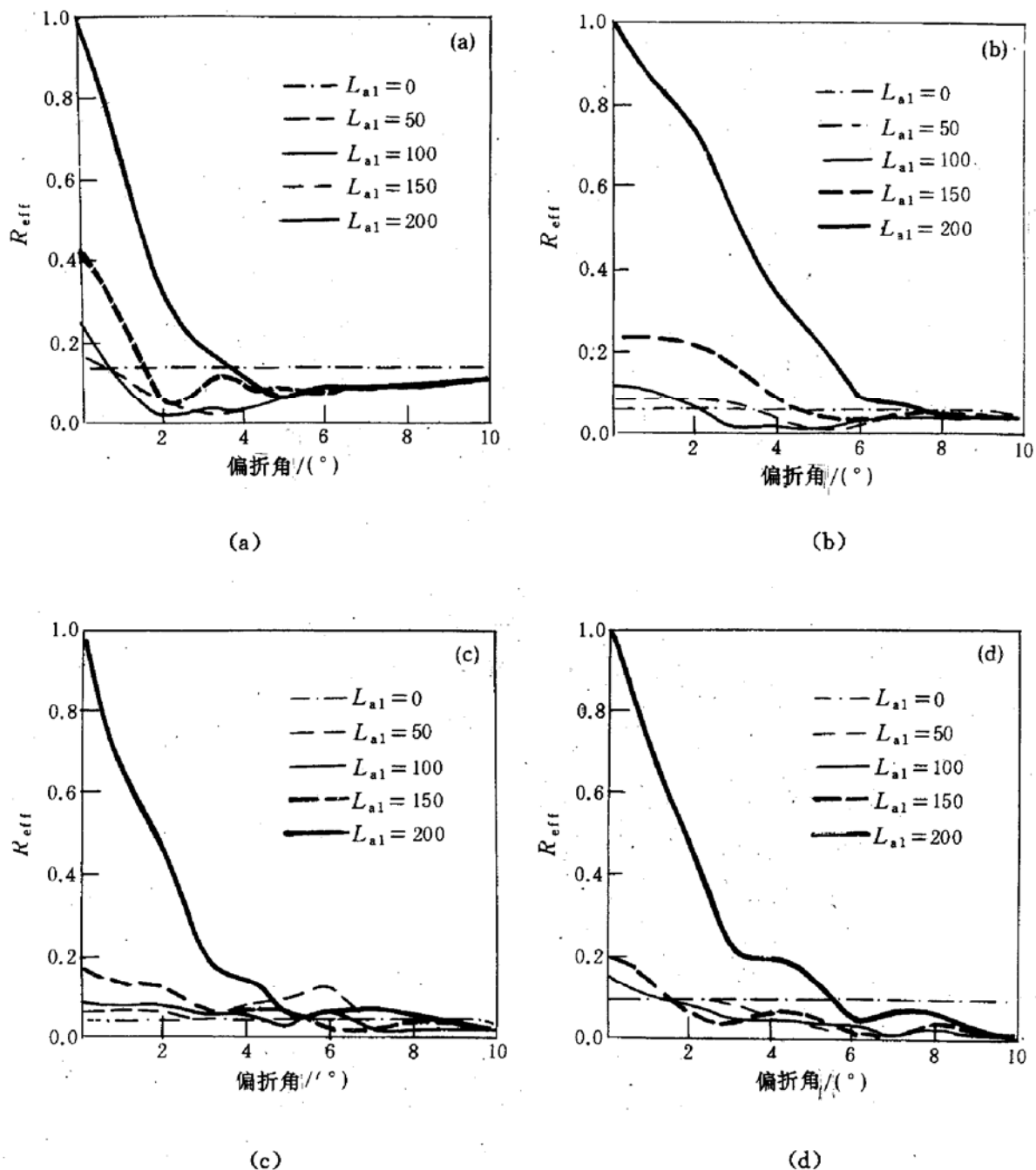
所用的材料为 InGaAsP/InP. 同文献^[6,18,19]一样,本文模拟过程中,假定增益区的增益为零,吸收区的吸收系数为零,减反射区端面的反射系数为 1,也就是说,模拟得到的 R_{eff} 比实际的大. 另外,为能用标量 BPM 处理这一问题,本文忽略增益区-吸收区界面对光的反射作用(反射率用 R_g 表示,如需考虑此作用,只需用式 $R_g + R_{\text{eff}}(1 - R_g)^2$ 计算有效反射率, R_g 可通过其它方法算出, R_{eff} 为本文的计算结果),以及吸收区-窗口区界面对光的反射作用(对于本文考虑的情况,如不考虑吸收区的吸收,这个界面的反射率小于 $((3.29 - 3.22) / (3.29 + 3.22))^2 \approx 0.00012$).

我们采用二维 BPM,在分析前用有效折射率方法把实际三维器件化为二维平面结构. 本文用 IOCAD^[17]进行模拟分析.

几个主要器件参数为:工作波长 $1.3\mu\text{m}$,波导区外的折射率 3.22,波导区内的折射率 3.50,对应波导厚度 $0.1 \sim 0.2\mu\text{m}$,其有效折射率 n_1 在 3.23~3.29 之间,波导宽度 $2\mu\text{m}$, $L_g = 400\mu\text{m}$, $L_{a1} + L_{a2} = 200\mu\text{m}$, α 在 $0 \sim 10^\circ$ 间变化. 用于计算 R_{eff} 的能量积分窗口取波导中心附近 $6\mu\text{m}$ 宽. 如不特殊说明,后面用到的折射率为有效折射率.

3 模拟结果及讨论

本文对 R_{eff} 随波导区有效折射率(n_1)、 L_{a1} 及 α 的变化情况作了较详细的研究,模拟结果见图 2. 图 2(a)~(d)对应的 n_1 分别为 3.23, 3.25, 3.27 和 3.29. 由图可见,每个图中都有

图 2 R_{eff} 随 n_1 及 α 的变化情况

(a) $n_1=3.23$, (b) $n_1=3.25$, (c) $n_1=3.27$, (d) $n_1=3.29$. 图中, L_{a1} 的单位: μm .

一条水平的点划线(对应 $L_{a1}=0$ 的情况), 其它曲线随 α 变化的大致趋势是: $\alpha=0$ 时, 都在水平线以上(且随 L_{a1} 增大, R_{eff} 增大, $L_{a1}=200\mu\text{m}$ 时, $R_{\text{eff}}=1.0$), 随 α 增大, R_{eff} 减小, 逐渐深入到水平线以下, 在某一 α 值时, R_{eff} 出现一极小值, 然后, 随 α 增大, 曲线缓慢上升, 逐渐接近水平线. 出现这种变化趋势的原因可解释为: 对应 $\alpha=0$, 随 L_{a1} 增大, R_{eff} 增大是很好解释的, 因 L_{a1} 大, 发散传播的距离短, 反射耦合回波导的光就多; 对于 α 很大的情况, 光几乎不沿波导传播, 即大部分光散射出波导外, 就和 $L_{a1}=0$ 时差不多, 所以接近水平线; 对应极小值情况, 散射出波导外的光很少, 光传出波导后沿一定角度(α)发散传播, 在端面产生反射, 反射光偏向另一个方向传播, 几乎没有光耦合回波导.

对于 $n_1=3.27$, $L_{a1}=50\mu\text{m}$ 的一条线是比较特殊的, 出现一个极大值, 这是碰巧出现的

一种情况.

另外,由图 2 可见,对应不同的 n_1 , 各图出现极小值的范围是不同的,趋势是, n_1 越大, 出现极小值的范围向大角度方向移动,对应图(a)~(d), 出现极小值的范围近似为 $1.8 \sim 4.0^\circ$, $2.5 \sim 6.0^\circ$, $4.8 \sim 8.0^\circ$, $6.0 \sim 10.0^\circ$. 为给读者一个数量级的概念,表 1 给出 $L_{a1}=0$, $L_{a1}=200\mu\text{m}$ (对应 $L_{a2}=0$)及模拟中得到的最佳情况的 R_{eff} .

表 1 几种特殊情况的 R_{eff}

折射率	3.23	3.25	3.27	3.29
$L_{a1}=0$	1.4×10^{-1}	5.8×10^{-2}	4.4×10^{-2}	9.4×10^{-2}
$L_{a1}=200\mu\text{m}$	6.3×10^{-2}	3.4×10^{-2}	2.6×10^{-2}	1.2×10^{-2}
$\alpha/^\circ$	5	6	10	10
	1.9×10^{-2}	5.4×10^{-3}	1.7×10^{-2}	3.6×10^{-3}
$L_1/\mu\text{m}$	100	100	100	150
$\alpha/^\circ$	2	5	7	7

为研究波导宽度(W)对 R_{eff} 的影响,图 3 给出了 $L_{a1}=0$, $n_1=3.23$ 时, R_{eff} 随 W 的变化关系. 由于 W 不同, 计算 R_{eff} 所用的能量积分窗口我们取两种方式, 一种为 W 加上波导左侧 $2\mu\text{m}$ 和波导右侧 $2\mu\text{m}$, 另一种是在波导中心附近取 $6\mu\text{m}$ 宽. 图 3 中符号 $\square$ 对应第一种取法, $\blacksquare$ 对应第二种取法, 可见二者的区别不大. 图中还可看到, W 也存在一个最佳值, 太小或太大都会使 R_{eff} 增大, W 在 $2 \sim 3\mu\text{m}$ 间是最好的, R_{eff} 近似为 0.18.

SLD 的发射光谱是有一定宽度的, 一般为十几到上百纳米, 因此, 有必要研究对于特定结构 R_{eff} 随工作波长的变化情况. 图 4 是我们给出的模拟结果, 对应 $n_1=3.23$, $\alpha=2^\circ$, $L_{a1}=100\mu\text{m}$. 由图可见, 在所考虑的波长范围 ($1.0 \sim 1.6\mu\text{m}$) 内, R_{eff} 随波长是波动变化的, 最小值为 1.4×10^{-3} , 最大值为 2.4×10^{-2} , 波动幅度 $< 2.4 \times 10^{-2}$, 随波长增大, 波动幅度减小. 这样看来, R_{eff} 随波长的变化不大.

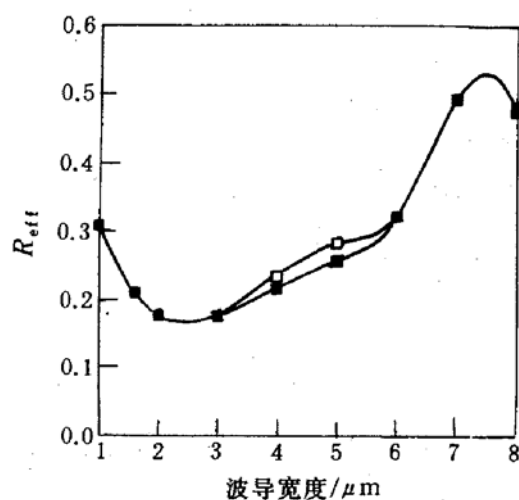


图 3 R_{eff} 随波导宽度的变化关系
 $n_1=3.23, L_{a1}=0$.

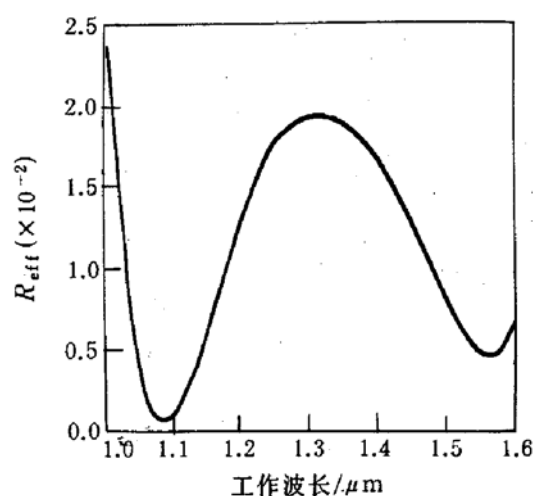


图 4 R_{eff} 随工作波长的变化关系
 $n_1=3.23, \alpha=2^\circ, L_{a1}=100\mu\text{m}$.

4 结论

本文提出一种新颖的减反射区结构, 通过适当选择几何参数, 这种结构较单一的一段偏折波导吸收区或透明窗口区, 能得到更小的有效反射率, 可小一到两个量级. 对应不同的波导区折射率, 不同的偏折波导吸收区长度, 有效反射率出现极小值时的偏折角度不同. 总的趋势是, 波导区折射率越大, 偏折波导吸收区长度越长, 最佳偏折角度增大. 对于增益区长度 $400\mu\text{m}$, 波导宽度 $2\mu\text{m}$, 减反射区总长度 $200\mu\text{m}$, 偏折波导吸收区长度 $100\mu\text{m}$ 左右, 对应波导区折射率 3.23, 3.25, 3.27 和 3.29, 最佳偏折角度分别出现在 $1.8\sim 4.0^\circ$, $2.5\sim 6.0^\circ$, $4.8\sim 8.0^\circ$ 和 $6.0\sim 10.0^\circ$ 范围内. 另外, 有效反射率与波导宽度有很大关系, 但随波长的变化不大.

致谢 作者感谢马东阁博士为本文提供多方面的技术资料.

参 考 文 献

- [1] N.K. Dutta and P.P. Deimel, IEEE J. Quantum Electron., 1983, 19(4):496.
- [2] I. Ladany, P.J. Zanzucchi, J.T. Andrews *et al.*, Appl. Opt., 1986, 25(4):472.
- [3] C.F. Lin, Electron. Lett., 1991, 27(11):268.
- [4] G.A. Alphonse, J.C. Connolly, N.A. Dinkel *et al.*, Appl. Phys. Lett., 1989, 55(22):2289.
- [5] T.R. Chen, Y.H. Zhuang, Y.J. Xu *et al.*, Appl. Phys. Lett., 1990, 56(25):2502.
- [6] K. Magari, Y. Hoguchi, K. Okamoto *et al.*, Electron. Lett., 1990, 26(18):1445.
- [7] S. Kondo, H. Yasaka, Y. Noguchi *et al.*, Electron. Lett., 1992, 28(2):132.
- [8] O. Mikami, Y. Noguchi, K. Magari *et al.*, IEEE Trans. Photonics Technol. Lett., 1992, 4(7):703.
- [9] S.A. Safin, A.T. Semenov, V.R. Shidlovski *et al.*, Electron. Lett., 1992, 28(2):127.
- [10] S.K.K. Norman, Y.L. Kam, B. C. Nadav *et al.*, Appl. Phys. Lett., 1987, 51(23):1879.
- [11] S.K.K. Norman and B.C. Nadav, Appl. Phys. Lett., 1989, 54(4):298.
- [12] H. Nagai, Y. Noguchi and S. Sudo, Appl. Phys. Lett., 1989, 54(18):1719.
- [13] K. Imanaka, IEEE Trans. Photonics Technol. Lett., 1990, 2(10):705.
- [14] A.T. Semenov, V.P. Shidlovski and S.A. Safin, Electron. Lett., 1993, 29(10):854.
- [15] K. Tateoka, H. Naito, M. Yuri *et al.*, IEEE J. Quantum Electron., 1991, 27(6):1568.
- [16] Y. Kashima, A. Matoba and H. Takano, J. Lightwave Technol., 1992, 10(11):1644.
- [17] 陈维友, 刘式塘, 半导体学报, 1994, 15(7):465.
- [18] 白冬菊, 陈维友, 刘式塘, 高技术通讯, 1992, 11:1.
- [19] 陈维友, 刘式塘, 光电子技术, 1993, 13(4):56.

Design of a New Antireflective Structure of SLD

Chen Weiyou, Zhao Tiemin and Liu Shiyong

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

Received 30 August 1994, revised manuscript received 28 February 1995

Abstract The effect of antireflective structure of SLD with angled waveguide on suppressing optical reflection is studied. A new antireflective structure with an angled waveguide absorbing region and a transparent window is proposed. It has been shown that at the same length, with this structure using single angled waveguide or transparent window by optimum choosing of the geometric parameters, a smaller effective reflectivity can be achieved.

EEACC: 4130, 4140, 4150, 5210