

文章编号: 1000-7032(2013)11-1517-04

氧化光栅型垂直腔面发射激光器的研究

张祥伟^{1,2,3}, 宁永强^{1*}, 秦 莉¹, 刘 云¹, 王立军¹

(1. 发光学及应用国家重点实验室 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033;

2. 中国科学院大学, 北京 100049; 3. 西安工业大学, 陕西 西安 710032)

摘要: 通过分析矩形出光孔径和亚波长金属光栅结构, 发现大孔径高功率垂直腔面发射激光器 (VCSEL) 的偏振控制的难点在于横模非常复杂。因此提出一种新型的氧化光栅型 VCSEL 结构, 不仅能够很好地在有源区内引入各项异性的增益结构, 并且最大的优势还在于能够完美地控制大孔径 VCSEL 的横模。通过有限元软件对器件有源区的电流分布进行了模拟, 发现当光栅脊的宽度为 $1.8 \mu\text{m}$ 时, 载流子在光栅两端聚集的现象基本上可以消除, 而且其电流密度分布差可以达到很高。

关键词: 垂直腔面发射激光器; 氧化光栅; 偏振控制;

中图分类号: TN248.4

文献标识码: A

DOI: 10.3788/fjxb20133411.1517

Study of Oxide-grating Vertical-cavity Surface-emitting Lasers

ZHANG Xiang-wei^{1, 2, 3}, NING Yong-qiang^{1*}, QIN Li¹, LIU Yun¹, WANG Li-jun¹

(1. State Key Laboratory of Luminescence and Applications, Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China;

2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. Xi'an Technological University, Xi'an 710032, China)

* Corresponding Author, E-mail: ningyq@ciomp.ac.cn

Abstract: The difficulty of controlling the polarization of larger aperture VCSEL is the complicated transverse modes after analysing the structures of rectangle aperture VCSEL and sub-wavelength metal-grating VCSEL. So we put forward a new type of structure-oxidation type grating VCSEL structure. This structure can not only introduce anisotropy gain into active region but its biggest advantage is able to perfect control of large aperture VCSEL transverse mode. The structure was simulated by finite element software, and it is found that the structure achieve two goals when the grating ridge is $1.8 \mu\text{m}$.

Key words: vertical-cavity surface-emitting laser; oxide-grating; polarization controlling

1 引 言

垂直腔面发射激光器 (VCSEL) 在光互连、光信号处理、泵浦固体激光器、光线耦合输出等方面的应用越来越引人关注^[1-3]。与边发射激光器相

比, VCSEL 有着更为优越的性能, 如非常低的阈值电流、单模输出、圆形光斑、非常方便的二位面阵集成等。VCSEL 很长时间以来都被定义为只能应用在低功率输出领域, 如高速数据传输等^[4-5]; 但是最近的研究结果表明, 高功率 VCSEL

收稿日期: 2013-04-27; 修订日期: 2013-05-23

基金项目: 国家自然科学基金(11074247, 61204056, 61234004, 61176045)资助项目

作者简介: 张祥伟(1985-), 男, 山东临沂人, 主要从事半导体光电子器件的研究。

E-mail: xwzciomp@gmail.com, Tel: (0431)86176335

也同样可以应用在工业和国防上。尤其是高功率 VCSEL 在最近几年也取得了非常突出的成就,自从长春光机所报道单管输出 1.95 W 以来,单管的功率也在不断地被刷新。拥有稳定偏振结构的高功率 VCSEL 可以应用到更多的领域,如激光显示^[6]、通信^[7]、探测^[8]等。但是圆柱状 VCSEL 结构有源区内有着各向同性的增益结构,因此在激光器发射时,两个相互正交的偏振方向会出现激烈的模式竞争效应,并且随着注入电流大小的改变,两个偏振方向也会发生偏振开关效应。通常采用的 VCSEL 偏振控制结构主要有外加偏振光反馈^[12]、施加外部应力^[13]、植入非均匀增益^[14]等。目前,这些偏振控制结构在小孔径 VCSEL 上应用比较广泛,产生的结果也令人满意;但是,在高功率 VCSEL 的偏振控制方面却产生了难以克服的困难,主要原因是大孔径 VCSEL 有着非常复杂的模式,高级横模的存在严重地制约了其偏振控制的精度。

在大孔径 VCSEL 的偏振控制方面,我们先后设计了两种控制偏振的方法:其一为矩形出光窗口,此结构得到了偏振比为 2^[15-17]的结果;其二是在器件的表面制作金属光栅从而在有源区内引入各向异性增益,此结构得到了偏振比为 4.8 的结果。虽然以上两种结构都取得了一定的效果,但并不令人满意,主要的原因依旧是横模太复杂,高阶横模太多。本文提出了一种新型结构——氧化光栅型 VCSEL,这种结构不仅能够控制电流注入的不均匀性从而在有源区内引入各向异性增益,而且能有效地抑制高阶模式的产生。因此,可以预见此结构能够得到很高的偏振比。

2 理论模拟

器件的结构如图 1 所示,它与普通 VCSEL 的结构的不同之处在于,需要首先将氧化限制层处理成光栅结构的氧化层,然后再通过二次外延工艺生长其余的部分。

自从侧氧化限制结构的出现,器件的阈值电流、调制速度、光电转换效率得到很大的改善。似乎这种结构已表现得近乎完美了;但是,这种结构也存在自身无法消除的缺陷,那就是在侧氧化之后,绝缘层的边缘的电流密度会比中心区域高。这种缺陷使器件无法消除光模式的增益重叠现象,即使电流在氧化限制层完美均匀注入,大部分

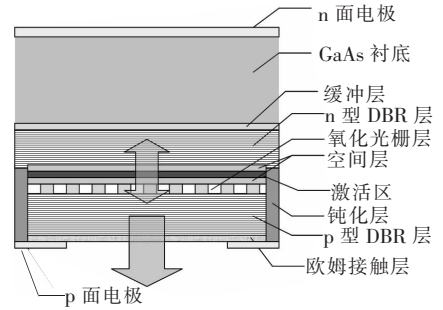


图 1 器件结构示意图

Fig. 1 Schematic diagram of the device

电流也会集中在氧化限制层边界上,主要是因为面积是半径的平方的关系。因此,光模式在中心达到最大,这样的结果就会导致孔径 10 μm 及以上的器件的阈值电流增大、效率降低还有空间烧孔变得更为严重。即使孔径缩小到 3 μm 左右的单模尺寸,增益重叠虽然可以得到改善但这种缺陷仍然不能消除,载流子在小孔径外的几微米范围内扩散,增加了阈值电流和寄生电容从而使光的散射也相应地被扩大。因此,必须消除这种载流子聚集的现象,才能抑制高阶模式的产生。氧化光栅结构就能够很完美地消除这种载流子聚集现象。

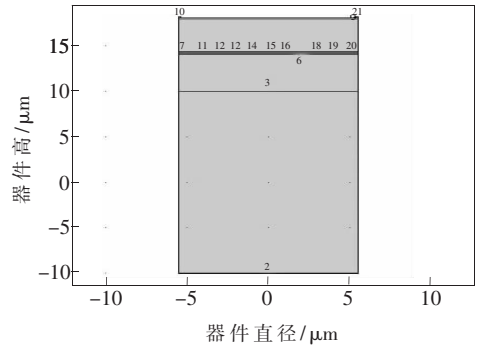


图 2 器件结构模拟建模图

Fig. 2 The device model

本文将通过 comsol 有限元软件对器件的电流在有源区里的分布进行模拟分析,图 2 为器件结构的建模示意图。电流分布满足公式(1):

$$\frac{\partial N}{\partial t} = \frac{J}{qd} - R_t(N) - R_{st}(N) + D_n \nabla^2 N, \quad (1)$$

其中 R_t 为包括辐射复合和非辐射复合的载流子再复合因子,并且等于式(2):

$$R_t(N) = \frac{N}{\tau_n} + B_{sp} N^2 + C_{Aug} N^3, \quad (2)$$

$R_{st}(N)$ 为受激辐射因子, N 为有源区内的非线性

载流子密度。

各层的电导率如表 1 所示。在模拟的过程中,我们设置光栅周期为 $2\ \mu\text{m}$,并且光栅的占空比可变,光栅脊的宽度为 $0.1\sim 1.8\ \mu\text{m}$ 。这样模拟的好处是,可以更为直观地选取所需要的光栅脊的宽度。

表 1 各层电导率

Table 1 Conductivity of each layer

层结构	横向电导率(S/m)	纵向电导率(S/m)
n-电极	1E7	1E7
衬底	4.5E4	4.5E4
n-DBRs	5.933E4	7.392E3
n-空间层	5.721E4	3.373E4
激活区	5.9E2	1.2E2
p-空间层	2.209E3	1.189E2
AlAs	1.5E3	1.5E3
氧化限制层	1E-5	1E-5
p-DBRs	2.761E3	4.454E2
盖层	4.259E4	3.065E4
p-电极	1E7	1E7

3 结果与讨论

通过模拟,我们得到光栅脊宽 $1\ \mu\text{m}$ 的有源区内电流的分布情况如图 3 所示。

图 3 所示在光栅条的边缘有明显的电流聚集

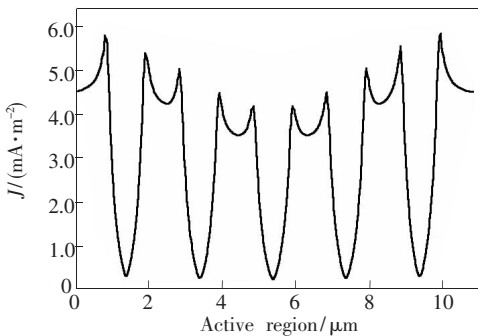


图 3 光栅脊为 $1\ \mu\text{m}$ 的结构有源区内横向的电流分布
Fig. 3 The current distribution of the structure with the grating ridge of $1\ \mu\text{m}$

现象。虽然电流分布在有源区内呈现明显的不均匀性,在控制偏振方面会有很好的结果,但是其在控制多横模方面却有很大的缺陷,因此占空比为 0.5 的光栅不是最理想的光栅。

光栅脊宽度为 $0.1, 0.5, 1, 1.4, 1.6, 1.8\ \mu\text{m}$ 的数据模拟结果如图 4 所示。从图 4 中可以看出,当光栅脊的宽度为 $1.8\ \mu\text{m}$ 时,载流子在光栅两端聚集的现象基本上可以消除,而且其电流密度分布差可以达到很高。也就是说当光栅脊宽度达到 $1.8\ \mu\text{m}$ 时,既能很好地控制其多横模的激励,又能很好地保证其偏振稳定性。

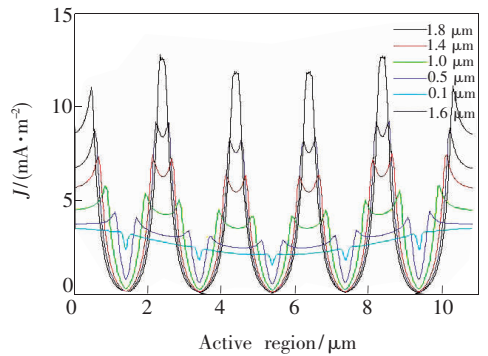


图 4 光栅脊宽度为 $0.1, 0.5, 1, 1.4, 1.6, 1.8\ \mu\text{m}$ 的数据模拟结果
Fig. 4 The results of the structures with the grating ridge of $0.1, 0.5, 1, 1.4, 1.6, 1.8\ \mu\text{m}$, respectively.

4 结 论

大孔径高功率 VCSEL 的偏振控制难点主要在于横模非常复杂。因此,本文提出一种新型的结构——氧化光栅型 VCSEL 结构,不仅能够很好地在有源区内引入各项异性增益,而且能够完美地控制大孔径 VCSEL 的横模。但是此结构也面临一个问题,就是它需要二次外延工艺,对工艺的要求非常高。但可以预见的是,此结构能够得到非常高的偏振比。

参 考 文 献:

[1] Wiedenmann D, King R, Jung C, et al. Design and analysis of single-mode oxidized VCSEL's for high-speed optical interconnects [J]. *IEEE J. Sel. Top. Quant.*, 1991, 5(3):503-511.

[2] Geels R S, Corzine S W, Coldren L A. InGaAs vertical cavity surface emitting lasers [J]. *IEEE J. Quant. Elect.*, 1991, 27(6):1359-1367.

[3] Mederer F, Jager R, Schnitzer P, et al. Multi-Gigabit/s graded-index POF data link with butt-coupled single-mode InGaAs VCSEL [J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 2000, 12(2):199-201.

[4] Margalit N M, Zhang S Z, Bowers J E. Vertical cavity lasers for telecom applications [J]. *IEEE Commun. Mag.*, 1997,

35(5):164-170.

- [5] Giboney K S, Aronson L B, Lemoff B E. The ideal light source for data nets [J]. *IEEE Spectrum*, 1998, 35(2):43-53.
- [6] Chellappan K V, Erden E, Urey H. Laser-based displays: A review [J]. *Appl. Opt.*, 2010, 49(25):F79-F98.
- [7] Ostermann J M, Debernardi P, Jalics C, *et al.* Surface gratings for polarization control of single- and multi-mode oxide-confined vertical-cavity surface-emitting lasers [J]. *Opt. Commun.*, 2005, 246(4):511-519.
- [8] Grabherr M, King R, Jager R, *et al.* Improved output performance of high-power VCSELs [J]. *IEEE J. Sel. Top. Quant.*, 2001, 7(2):210-216.
- [9] Jager R, Miller M, Thalmaier C, *et al.* Bottom-emitting VCSEL's for high-CW optical output power [J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 1998, 10(8):1061-1063.
- [10] Ning Y Q, Qin L, Sun Y F, *et al.* High power VCSEL device with periodic gain active region [J]. *SPIE*, 2007, 6782: 678200-1-8.
- [11] Wang Z F, Ning Y Q, Zhang Y, *et al.* High power and good beam quality of two-dimensional VCSEL array with integrated GaAs microlens array [J]. *Opt. Exp.*, 2010, 18(23):23900-23905.
- [12] Wilkinson C I, Woodhead J, Frost J E F, *et al.* Electrical polarization control of vertical-cavity surface-emitting lasers using polarized feedback and a liquid crystal [J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 1999, 11(2):155-157.
- [13] Di Sopra F M, Brunner M, Hovel R. Polarization control in strained T-bar VCSELs [J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 2002, 14(8):1034-1036.
- [14] Nishiyama N, Mizutani A, Hatori N, *et al.* Lasing characteristics of InGaAs-GaAs polarization controlled vertical-cavity surface-emitting laser grown on GaAs (311)B substrate [J]. *IEEE J. Sel. Top. Quant.*, 1999, 5(3):530-536.
- [15] Wang W, Ning Y Q, Tian Z H, *et al.* Coherent polarization stabilization in large-aperture rectangular post bottom-emitting vertical-cavity surface-emitting lasers [J]. *Opt. Commun.*, 2011, 284(5):1335-1338.
- [16] Shi J J, Qin L, Ning Y Q, *et al.* 850 nm vertical cavity surface-emitting laser arrays [J]. *Opt. Precision Eng.* (光学精密工程), 2012, 20(1):17-23 (in Chinese).
- [17] Zhang X, Ning Y Q, Zeng Y G, *et al.* Optimization of element structure in 980 nm high-power vertical-cavity surface-emitting laser array [J]. *Opt. Precision Eng.* (光学精密工程), 2011, 19(9):2014-2022 (in Chinese).