第4卷 第3期 半导体学报 Vol. 4, No. 3
1983年5月 CHINESE JOURNAL OF SEMICONDUCTORS May, 1983

电流扩展效应对氧化物条形激光器阈值的影响

杜国同 全宝富 邓希敏 苗忠礼 高鼎三
(吉林大学半导体系)

1982年6月8日收到

提 要

本文报道了电流扩展效应对氧化物隔离条形激光器阈值影响的一些实验研究工作. 在 $I \ll I_{th}$ 下,用荧光近场分布观测并比较了不同条宽、最外两层掺杂和厚度不同激光器的有源区载流子分布情况.

一、引 言

电流的横向扩展效应是影响某些条形激光器阈值电流和激射特性的一个很重要的因素. 我们对不同条宽的氧化物条形激光器的电流扩展情况做了实验研究. 通过对电流扩展效应和其它结构参数的控制,制得了阈值低于100mA的氧化物条形激光器.

二、实 验

Yonezu 等人和 Tsang W. T. 对平面条形和氧化物条形激光器的电流扩展效应作了较为详尽的理论分析[1,2],由分析可知氧化物条形激光器的电流扩展效应和最外两层的薄层横向电阻 R_x 有密切的关系. 为了清楚地了解对应不同条宽 S 的激光器,不同 R_x 对电

表1 不同薄层横向电阻 R_x 样品参数表

数据 \ 项目 / 批号	有源区厚度 (μm)	第III层 $Al_xGa_{1-x}As$ 层参数				第IV层 GaAs 层参数				R_x (Ω)
		掺Ge量 (mg)	杂质浓度 (cm^{-3})	电阻率 (Ω·cm)	厚度 (μm)	掺Ge量 (mg)	杂质浓度 (cm^{-3})	电阻率 (Ω·cm)	厚度 (μm)	
80-11-14	0.25	9.86	1.8×10^{17}	0.45	1.8	15.03	3.9×10^{18}	0.016	2.4	65 } ≈70
80-11-13	0.20	16.67	3.0×10^{17}	0.26	1.6	20.37	5.3×10^{18}	0.012	1.6	72 } ≈70
81-6-29	0.30	19.28	3.5×10^{17}	0.23	1.3	3.94	1.0×10^{18}	0.061	1.2	4.0×10^{2}
81-6-8	0.50	17.37	3.2×10^{17}	0.25	1.5	未掺	估计 1.0×10^{17}	估计 0.60	2.0	1.1×10^{3} } $\approx1.1\times10^{3}$
81-6-28	0.40	17.20	3.2×10^{17}	0.25	1.2	未掺	估计 1.0×10^{17}	估计 0.60	2.2	1.2×10^{3} } $\approx1.1\times10^{3}$

注: 表中所列的电阻率和杂质浓度是在同样条件生长的单层外延片上,用 Van der Pauw 法测得的值. 对第四层未故意掺杂,利用第三层拖拽混源掺杂的外延片,准确测试目前还有困难.

流扩展的影响，通过对第四层 GaAs 中掺杂的控制，制造了不同 R_x 的激光器．对器件的阈值电流密度、载流子浓度分布进行了测量．所测量的样品参数列于表 1．

我们将制得的不同条宽的激光器的阈值电流密度与按文献 [2] 给出的电流扩展公式所计算的值进行了对比，结果如图 1 所示．为了便于比较将计算值和实测值均除以该激光器的有源区厚度，归一化为 $d = 1\mu m$ 的值．计算时取 $L = 300\mu m$．

由于影响阈值的因素很多，为了更直观地分析电流扩展情况，必须对各种条件下激光器载流子浓度分布进行测量．我们在注入电流远小于阈值的情况下，用测量激光器的荧光近场光强分布来代表有源区的载流子浓度分布．在电流 $I \ll I_{th}$ 时，激光器发出的荧光以自发辐射为主．解理面单位面积有源区的荧光光功率：

$$P \propto N = R_c = \frac{n}{\tau}. \tag{1}$$

N 为单位时间单位体积复合发射的光子数，R_c 为自发辐射复合率，τ 为复合寿命，n 为注入到该体积的过剩载流子浓度．把 τ 近似看成常数，则有：

$$P(y) \propto \frac{n(y)}{\tau} \propto n(y). \tag{2}$$

但当 I 增加时，τ 不再为常数，和 n 有关 $\tau = \tau(n)$．这时所测量的荧光近场不再能代表载流子浓度分布了．我们观察到，在光功率-电流曲线的荧光功率直线部分（图 2 中 OA 段）的电流范围内，荧光近场分布半宽变化规律（即随注入电流的增加，半宽减少的规律）和计算的载流子浓度半宽变化规律符合得较好．在 AB 段的电流范围内，荧光近场半宽比理论计算的载流子浓度半宽减小的速度快，显然这一电流范围内不能再把 τ 看成常数了．虽然每个激光器 P-I 曲线形状不同，但在 $I \leqslant \frac{1}{2} I_{th}$ 注入水平内，用荧光近场分布来代表载流子浓度相对分布还是近似得较好的．

图 3(a) (b) (c) 分别画出了 $R_x = 70$、400、1100Ω，$S = 10$、20、30μm 激光器所测量

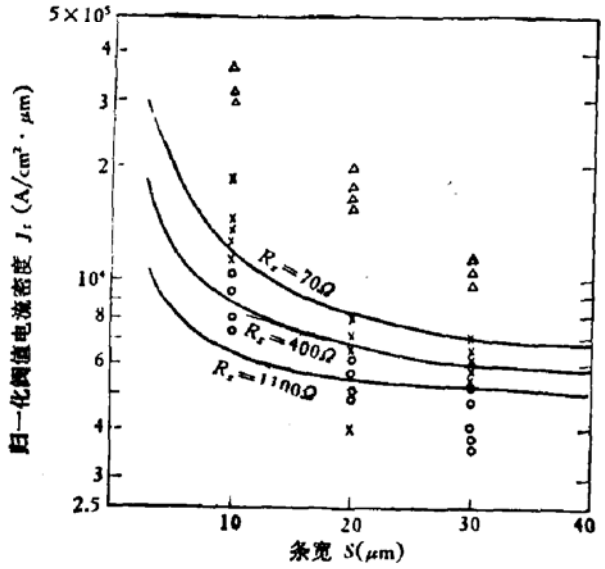


图 1　对于几个不同 R_x 值计算的激光器归一化总阈值电流密度与条宽的关系及其实测点．△ 80-11-14#、80-11-13#，× 81-6-29#，○ 81-6-8#、81-6-28# 值，——理论计算曲线

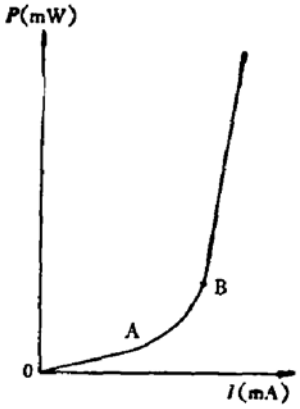
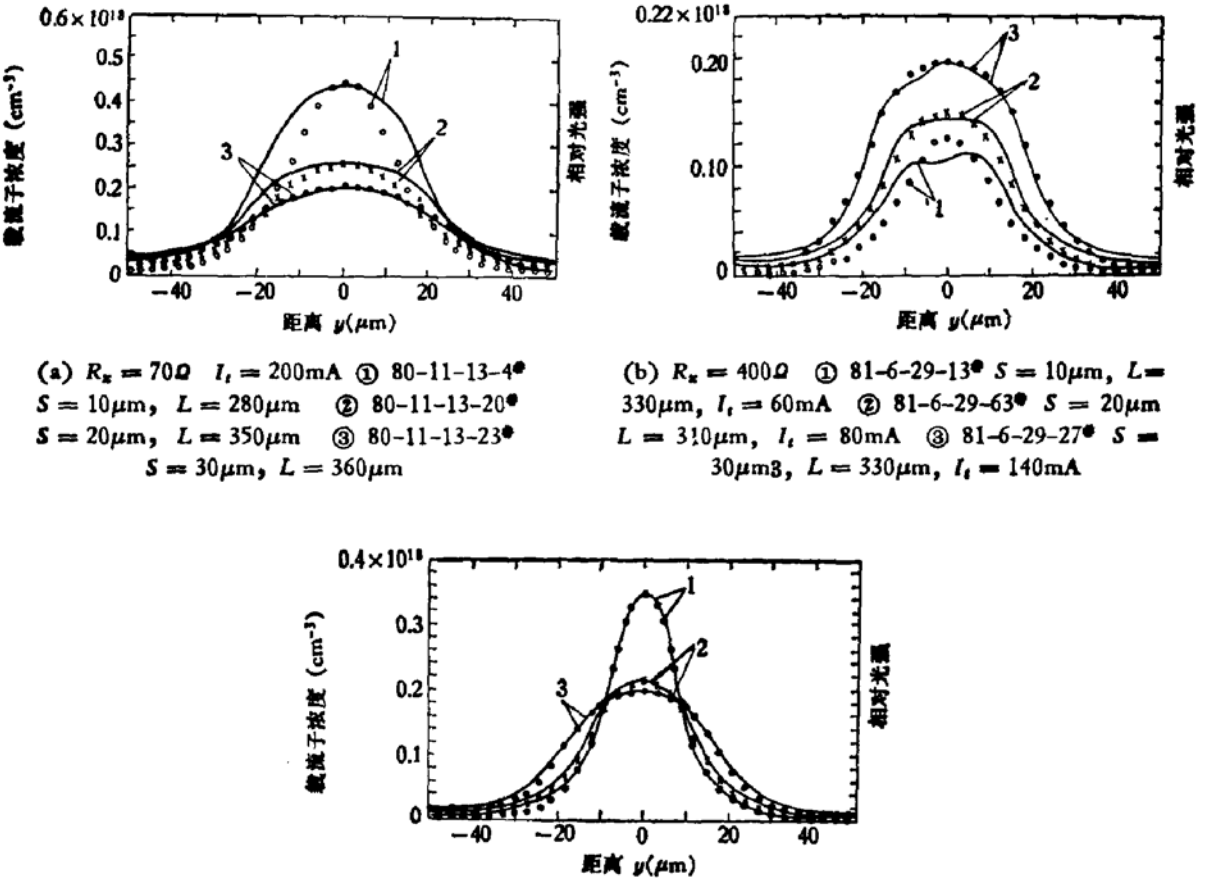


图 2　一般激光器 CW 光功率-电流曲线



(a) $R_x = 70\Omega$ $I_t = 200mA$ ① 80-11-13-4* $S = 10\mu m$, $L = 280\mu m$ ② 80-11-13-20* $S = 20\mu m$, $L = 350\mu m$ ③ 80-11-13-23* $S = 30\mu m$, $L = 360\mu m$

(b) $R_x = 400\Omega$ ① 81-6-29-13* $S = 10\mu m$, $L = 330\mu m$, $I_t = 60mA$ ② 81-6-29-63* $S = 20\mu m$ $L = 310\mu m$, $I_t = 80mA$ ③ 81-6-29-27* $S = 30\mu m3$, $L = 330\mu m$, $I_t = 140mA$

(c) $R_x = 1100\Omega$ ① 81-6-28-43* $S = 10\mu m$, $L = 260\mu m$, $I_t = 100mA$ ② 81-6-8-25* $S = 20\mu m$, $L = 460\mu m$, $I_t = 150mA$ ③ 81-6-28-38* $S = 30\mu m$, $L = 260\mu m$, $I_t = 100mA$

图 3 三种 R_x 不同条宽激光器载流子浓度分布(计算值○×·)和荧光相对光强分布(实测值——)计算时取 d 均为 $1\mu m$、$L_x = 7\mu m$、$\tau = 3ns$

的荧光近场相对光强分布，和按文献 [2] 给出的载流子浓度分布公式计算的载流子浓度分布.

三、讨 论

(1) 从图 1 可以很明显的看出，R_x 增加电流扩展减少，同样条宽的器件阈值电流密度相对减少. R_x 相同 S 减小时，由于电流扩展的影响阈值电流密度要增加.

(2) 从图 3 可以看出，一些激光器的载流子浓度分布的理论值和荧光近场分布符合得比较好. 可见，用荧光近场分布观察某些种类激光器载流子浓度分布，分析其电流扩展是一个较好的方法，并且测试容易，观察方便直观. 但不是每个激光器都符合得较好的，如图 3(a) 中曲线 ① 就有明显的偏差. 这一偏差的原因一方面是，外延片的不均匀性，层厚和杂质浓度等测量误差较大. 另一方面，文献 [1] 中对电流扩展的分析时，假设在电极条区下面向下流动的电流是均匀分布的，而条宽较窄电流较大时尤其在薄层横向电阻比较小时，这一假设不再成立，以及其它理论局限性的存在. 为了对几批片子有个统计的

比较，对载流子浓度分布和荧光近场分布的半值宽度进行了分析．这两个半宽都随着注入电流的增加有所减少，但对同一个激光器在$I \leqslant \frac{1}{2} I_{th}$范围内，变化值相对半宽值一般不超过10%．因此可以用这两个半宽来对比激光器的电流扩展情况．图4给出了不同R_x值所计算的载流子浓度半宽和测试的荧光半宽随条宽变化曲线．

(3) 总之，适当增加R_x是控制氧化物条形激光器电流扩展、降低阈值的有效途径．目前通过掺杂控制第III层、第IV层杂质浓度均约1×10^{17} cm^{-3}，厚度第III层约1μm、第IV层0.2—0.5μm．可使R_x增至$3—5\times10^3\Omega$，最大$1\times10^4\Omega$．当然R_x很大（如$R_x \geqslant 2000\Omega$）时，影响载流子浓度分布主要因素将是载流子的扩散[2]．通过电流扩展效应的控制，加上有源区厚度、腔长等结构参数的控制，得到了批量的脉冲阈值80—100mA，室温直流阈值90—100mA的氧化物条形激光器．还测到过脉冲阈值低于50mA（约30mA）的管芯（条宽10μm 腔长200μm、阈值电流密度约1500A/cm^2）．预期进一步控制好各结构参数，阈值水平会进一步降低．

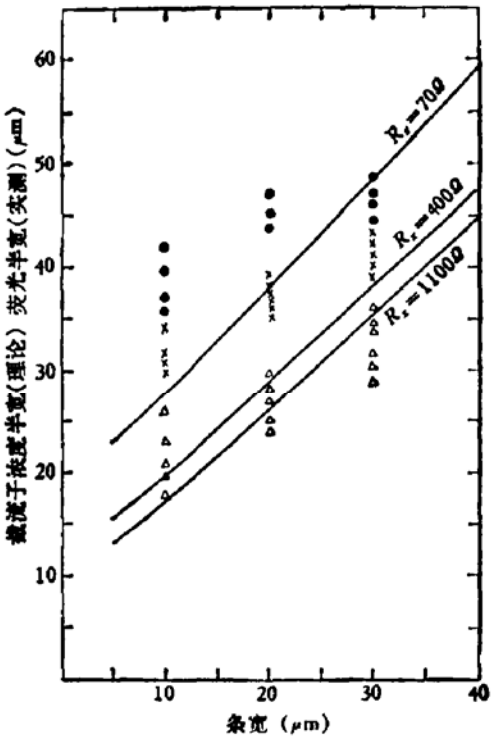


图4　载流子浓度半宽、荧光半宽与条宽的关系
——理论曲线
● 80-11-13#、80-11-14# 实测值
× 81-6-29# 实测值
△ 81-6-8#、81-6-28# 实测值

参　考　文　献

[1] H. Yonezu, I. Sakuma, K. Kobayashi, T. Kamejima, M. Ueno and Y. Nannichi, *Jpn. J. Appl. Phys.*, 12, 1585 (1973).
[2] W. T. Tsang, *J. Appl. Phys.*, 49, 1031 (1978).

Consequence of Current Spreading Effect on Threshold Current of Oxide Stripe-Geometry DH Lasers

Du Guotong, Quan Baofu, Deng Ximin, Miao Zhongli and Gao Dingsan
(Department of Semiconductors, Jilin University)

Abstract

Experimental studies concerning the consequence of current spreading effect on the threshold current of oxide isolated stripe-geometry DH lasers are reported. Carrier concentration profiles for the lasers of various stripe widths and of various doping concentrations and thickness in the two top layers were measured and compared at $I \ll I_{th}$, with near-field intensity distributions of the spontaneous emission.