

# 1.3 $\mu\text{m}$ InGaAsP/InP 大功率 短脉冲 SPB-BC 激光器

张佰君 孙 伟 衣茂斌 申智渊 李德辉 苗忠礼 高鼎三

(集成光电子学国家重点联合实验室吉林大学实验区 长春 130023)

**摘要** 本文在传统的掩埋新月型激光器的基础上,提出了一种 1.3 $\mu\text{m}$  InGaAsP/InP 大功率激光器结构-选择性质子轰击掩埋新月型激光器 (SPB-BC)。文中对其制作过程及特性进行了详细的描述和测量。它的最低阈值电流小于 10mA,对于 n-InP 衬底,它的最大输出功率为 65mW, p-InP 衬底,最大输出功率为 80mW。在重复频率为 2.1GHz 时,测得光脉冲的半宽度 (FWHM) 为 18ps

EEACC: 4320J, 4360

## 1 引言

1.3 $\mu\text{m}$  InGaAsP/InP 半导体激光器在长距离光纤通讯、相控天线阵雷达及光纤有线电视 (CATV) 等方面有广泛的应用。对于 InGaAsP/InP 这种材料激光器来说,掩埋新月型结构已经有比较成熟的制作工艺。我们所提出的这种大功率激光器结构模型就是在掩埋新月型结构基础上建立起来的。为了提高输出功率及调制带宽,减小限制层的漏电流及器件的寄生电容是非常必要的<sup>[1]</sup>。为了达到这个目的,曾有人采用长二氧化硅或氮化硅膜的办法,但这种方法并不理想,它有两个弱点:一是散热不好,另一个是存在电流的侧向扩展。另外,这种方法增加了器件的制作工序,也不利于作欧姆接触,器件的电阻往往比较大。目前,人们又提出了一种新的方法,用 MOCVD 在 InP 衬底上长一层掺 Fe 的 InP 半绝缘层<sup>[2~5]</sup>,来减小漏电流和寄生电容。这个半绝缘层的厚度一般为 4~5 $\mu\text{m}$ 。我们都知道用 MOCVD 长 4~5 $\mu\text{m}$  厚的掺 Fe 的 InP 半绝缘层需要很长的时间,不但费时,而且费料。另外,这种掺 Fe 的 InP 半绝缘层结构激光器还存在较大的缺点,这种结构的激光器在掺 Fe 的 InP 半绝缘层两侧有双注入现象<sup>[5]</sup>,使漏电流增大。目前,生长高质量的掺 Fe 的 InP 半绝缘层还是一项比较难的技术。因此,这种结构也不是理想的结构。在实验中,我们对质子轰击后的 InP 材料进行

\* 本文章工作是由吉林省科委资助

张佰君 男, 1971 年出生, 博士研究生, 从事高频、高功率、超短光脉冲激光器研究

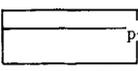
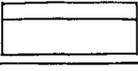
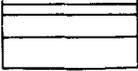
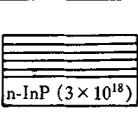
衣茂斌 男, 1935 年出生, 教授, 从事半导体物理与器件、光电子学研究

高鼎三 男, 1914 年出生, 教授, 中国工程院院士, 从事半导体物理与器件、光电子学研究

1997-04-15 收到, 1997-08-15 定稿

了研究,对轰击后 InP 材料的电阻率、击穿电压及电容进行了测量, P-InP 材料经过质子轰击后电阻率可达到  $10^7$  量级,与用 MOCVD 生长的掺 Fe 的 InP 半绝缘层的电阻率基本上相同,对 N-InP 材料,轰击后电阻率也可到达  $10^3 \sim 10^4$  量级<sup>[6,7]</sup>。为了模拟器件的实际情况,我们在衬底上生长了几层限制层,质子轰击后进行测量,表 1 中给出了测量结果,其中电容面积为  $250 \times 300 \mu\text{m}^2$ 。从表中可以看出轰击后限制层的电阻、击穿电压及电容特性都有了明显的改善。根据以上的结果,在传统的掩埋新月型激光器的基础上,利用质子轰击技术提出了一种低阈值、大功率的 InGaAs p/InP 激光器结构模型,我们称它为选择性质子轰击掩埋新月型激光器 (SPB-BC)。

表 1 InP 材料轰击前后不同结构的特性

	样品	电容/pF	击穿电压/V	电阻/ $\Omega$
1	 p-InP ( $1.5 \times 10^{18}$ ) n-InP ( $3 \times 10^{18}$ )	75	>3	50
2	 p-InP ( $7 \times 10^{17}$ ) n-InP ( $3 \times 10^{18}$ )	45	>5	60
3	 p-InP ( $7 \times 10^{17}$ ) n-InP ( $1 \times 10^{18}$ ) p-InP ( $7 \times 10^{17}$ ) n-InP ( $3 \times 10^{18}$ )	20	>6	$1 \times 10^2$
4	 p-InP ( $7 \times 10^{17}$ ) n-InP ( $1 \times 10^{18}$ ) p-InP ( $7 \times 10^{17}$ ) n-InP ( $3 \times 10^{18}$ ) n-InP ( $1 \times 10^{18}$ ) p-InP ( $1 \times 10^{18}$ )	12	>8	$2 \times 10^2$
5	 轰击区 p-InP ( $7 \times 10^{17}$ ) n-InP ( $3 \times 10^{18}$ )	10	>15	$1 \times 10^4$
6	 轰击区 p-InP ( $7 \times 10^{17}$ ) n-InP ( $1 \times 10^{18}$ ) p-InP ( $7 \times 10^{17}$ ) n-InP ( $3 \times 10^{18}$ )	1.5	>40	$4 \times 10^4$

## 2 选择性质子轰击激光器的制作

选择性质子轰击掩埋新月型激光器的制作过程与传统的掩埋新月型激光器的制作过程基本上相同,都是经过两次外延实现的。首先,用 LPE 技术生长电流阻挡层,在掺 S 的 n-InP 衬底上依次生长 n-InP 缓冲层(掺 Sn,  $3 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ ,  $5 \mu\text{m}$ ), n-InP 层(掺 Sn,  $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ ,  $3 \mu\text{m}$ ), p-InP 层(掺 Zn,  $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ ,  $0.7 \mu\text{m}$ ), n-InP 层(掺 Sn,  $7 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ ,  $2 \mu\text{m}$ ), InGaAs p 掩蔽层。经过光刻,用 HCl-CH<sub>3</sub>COOH-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (体积比 1:2:1, 室温) 腐蚀液,沿 011 方向把 InGaAs p 层开出  $2 \mu\text{m}$  宽的窗口,再用 HCl-H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> (体积比 3:1:2) 腐蚀液腐蚀出箭头形沟道,箭头的尖刚好刻透 p-InP 层,去掉 InGaAs p 掩蔽层,进行二次液相外延生长,依次为 n-InP 下限制层(掺 Sn,  $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ ), InGaAs p 有源区( $\lambda_e = 1.3 \mu\text{m}$ ), p-InP 上限制层(掺 Zn,  $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ ), p<sup>+</sup>-InGaAs p 接触层(掺 Zn,  $5 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ ,  $\lambda = 1.1 \mu\text{m}$ )。在外延片的 n 面蒸 Au-Ge-Ni, p 面蒸 Au-Zn, 合金之后,将有源区掩蔽,然后,采用质子轰击技术对芯片作选择性质子轰击。对有源区的掩蔽曾经采用两种方法:一种方法是用光刻胶作掩蔽,将减薄、合金

之后的芯片用光刻胶粘在一块非常平滑的玻璃板上, 然后进行光刻, 为了使有源区不被质子轰击损伤, 要求有较厚的光刻胶作保护, 实验中采用多次旋涂的办法使光刻胶可以达到  $4\sim 5\mu\text{m}$  厚, 光刻胶的厚度再增加时会给光刻中的曝光和显影带来困难, 对轰击能量为  $250\text{keV}$  的质子轰击来说  $4\sim 5\mu\text{m}$  厚的光刻胶能起到很好的掩蔽效果, 但是, 轰击能量进一步提高时光刻胶就会被轰透, 有源区将会受到损伤 为了使轰击的深度能够足够深, 有源区的掩蔽物必须能够承受很高的轰击能量 为此, 我们采用另一种掩蔽方法——钨丝掩蔽, 将直径为  $10\mu\text{m}$  的钨丝缠在一个具有与有源区相同周期的网上, 此网固定在一个可以微调的特殊框架上 然后, 把这个钨网与激光器芯片接触, 调整钨网的位置使钨丝把有源区掩蔽住, 将激光器芯片与钨丝压紧固定, 最后, 进行质子轰击 为了使质子轰击的效果更好, 在实验中采用多能量质子轰击的方法使轰击区域成为一条轰击带, 轰击的能量和剂量分别为  $400\text{keV}, 1\times 10^{15}\text{cm}^{-2}$ ;  $300\text{keV}, 6\times 10^{14}\text{cm}^{-2}$ ;  $200\text{keV}, 3\times 10^{14}\text{cm}^{-2}$ ;  $100\text{keV}, 2\times 10^{14}\text{cm}^{-2}$ . 图 1 为选择性质子轰击激光器的结构示意图与电镜照片. 实验中我们还在  $p\text{-InP}$  衬底上进行了实验, 制作的过程与在  $n\text{-InP}$  上相同 我们得到了更大的功率输出

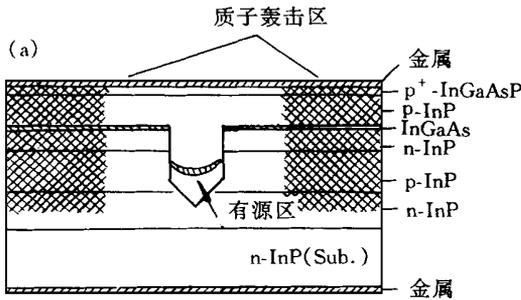


图 1 选择性质子轰击激光器的结构示意图与电镜照片

### 3 选择性质子轰击掩埋新月型激光器的特性

#### 3.1 SPB-BC 的 $L-I$ 特性

图 2 是 SPB-BC 激光器的  $L-I$  特性曲线、远场图及近场光斑 激光器的腔长为  $500\mu\text{m}$ , 两个腔面分别镀 91% 的增反膜和 5% 的增透膜, 在室温下, 连续工作, 对于  $p\text{-InP}$  衬底, 最大直流输出功率为  $80\text{mW}$ , 见图 2(a). 对于  $n\text{-InP}$  衬底, 最大直流输出功率为  $65\text{mW}$ , 见图 2(b). 从远场图中可以看出在输出功率为  $40\text{mW}$  时仍然是基横膜工作, 腔长为  $250\mu\text{m}$  时, 阈值电流小于  $10\text{mA}$ .

#### 3.2 SPB-BC 激光器的超短光脉冲特性

这种 SPB-BC 激光器借鉴了掩埋新月型激光器具有大功率这一特点, 同时又结合了质子轰击技术, 使激光器的功率特性得到了改善, 而且减小了器件的寄生电容, 使激光器的光脉冲特性也得到了改善 实验中, 我们对激光器采用了微波封装, 利用二次谐波 (SHG) 产生强度自相关法对激光器的光脉冲宽度进行了测量 图 3 是激光器直接调制产生  $\text{ps}$  光脉冲的测量原理方框图 图 4 是  $250\mu\text{m}$  腔长的 SPB-BC 激光器在调制频率为  $2.1\text{GHz}$  时产生的光脉冲强度自相关函数曲线, 光脉冲的半宽度 (FWHM) 为  $18\text{ps}$

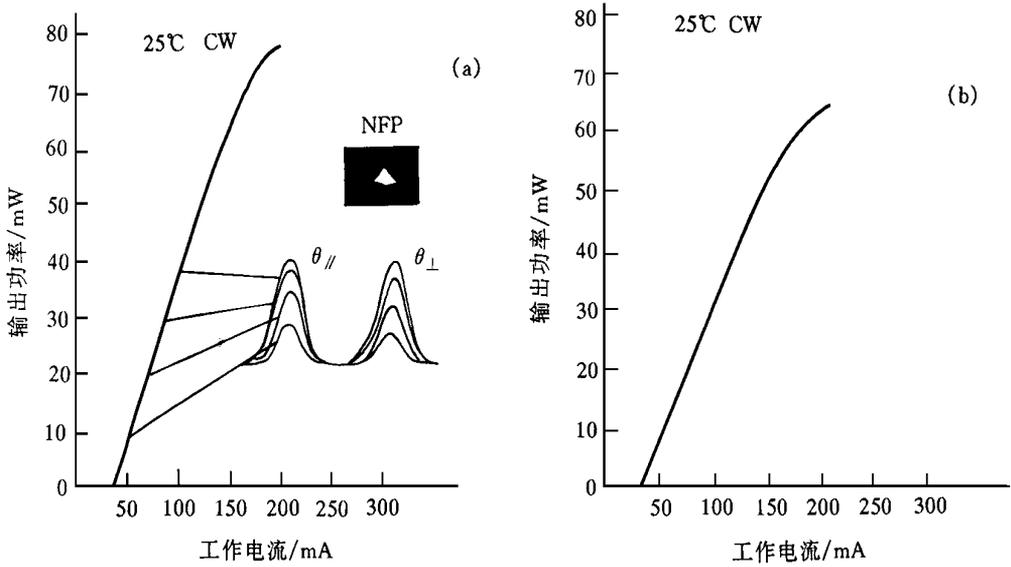


图 2 SPB-BC 激光器的  $L-I$  特性曲线、远场图及近场光斑

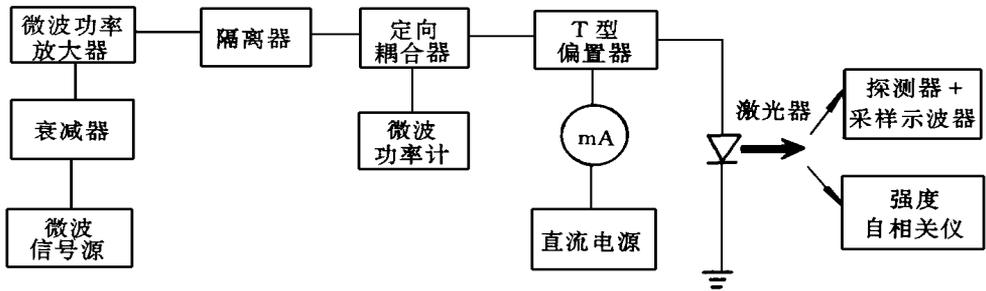


图 3 激光器直接调制产生 ps 光脉冲的测量原理方框图

### 3.3 SPB-BC 激光器的寿命测量

由于在 SPB-BC 激光器有源区两侧各有 2~3μm 的区域没有被轰击, 这个区域能够有效地阻挡轰击缺陷的扩展。因此, 质子轰击对激光器的寿命没有造成不利的影响。实验中把激光器分成两组进行老化, 一组老化温度为 65, 输出功率 3mW; 测得激光器的中值寿命为  $1.1 \times 10^4$  小时。另一组老化温度为 80, 输出功率 3mW, 测得中值寿命为  $2.8 \times 10^3$  小时。根据阿伦尼斯方程:  $\tau(T) = \tau_0 \exp(E_a/kT)$ , 可以推算出室温(25)条件下激光器的寿命为  $8.5 \times 10^5$  小时。

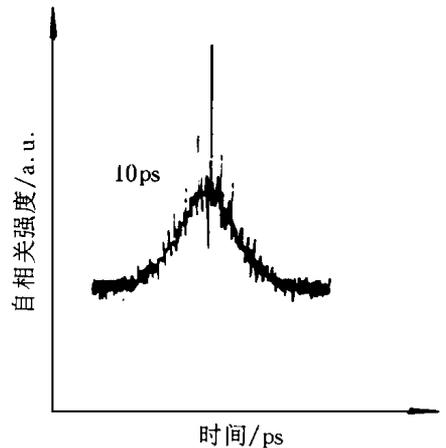


图 4 SPB-BC 激光器光脉冲强度自相关函数曲线  
调制频率为 2.1GHz

## 4 结 论

选择性质子轰击掩埋新月型激光器 (SPB-BC) 是在掩埋新月型激光器 (BC) 的基础上采用质子轰击技术建立起来的一种新型结构, 它具有工艺过程简单, 性能优良等特点, 是一种能够获得高功率、短脉冲、长寿命的理想激光器结构

## 参 考 文 献

- [ 1 ] I E Berishev, A. Yu Gorbachev and V. A. Mishourmyi, *Appl Phys Lett*, 1996, **68**(9): 1186~ 1188
- [ 2 ] H. Horikawa, H. Wada, Y. Matsui *et al*, *Appl Phys Lett*, 1989, **54**(12): 1077~ 1079
- [ 3 ] H. Wada, H. Horikawa, Y. Matsui *et al*, *Appl Phys Lett*, 1989, **55**(8): 723~ 725
- [ 4 ] W. H. Cheng, A. Mar, J. E. Bowers *et al*, *IEEE J. Quantum Electronics*, 1993, **QE-29**(6): 1660~ 1667.
- [ 5 ] W. H. Cheng, C. B. Su, K. D. Buehring *et al*, *Appl Phys Lett*, 1987, **51**(22): 1783~ 1785
- [ 6 ] J. P. Donnelly and C. E. Hurwitz, *Solid-State Electronics*, 1978, **21**: 475~ 478
- [ 7 ] J. P. Donnelly and C. E. Hurwitz, *Solid-State Electronics*, 1977, **20**: 727~ 730

## 1. $3\mu\text{m}$ InGaAsP/InP High-Power and Short-Pulse SPB-BC Lasers

Zhang Baijun, Sun Wei, Yi Maobin, Shen Zhiyuan,  
Li Dehui, Miao Zhongli, Gao Dingsan

(National Integrated Optoelectronics Laboratory, Jilin University Region, Changchun 130023)

Received 15 April 1997, revised manuscript received 15 August 1997

**Abstract** Fabrication procedure and characteristics of a novel structure of InGaAsP/InP laser are described. The lowest threshold current of less than 10mA, the maximum cw output power of 65mW for n-type substrate, and 80mW for p-type substrate have been achieved. The optical pulse-width of less than 18ps is obtained at a repetition rate of 2.1GHz.

**EEACC:** 4320J, 4360