

1.3 μm InGaAsP/InP 双异质 结发光二极管的研究*

水海龙 张桂成 郭祥生 陈启屿 徐少华 杨 易 胡道珊
(中国科学院上海冶金研究所)

(一) 引言

随着光纤通信系统的发展,长波(1.1—1.7 μm)光源的研究已广泛引起重视. 因为在这一波长范围内,石英光纤具有低的传输损耗和材料色散. 文献[1]指出,用 InGaAsP/InP 发光二极管($\lambda = 1.3\mu\text{m}$)作光源的系统的传输容量比目前常见的用 GaAlAs/GaAs 发光二极管($\lambda = 0.85\mu\text{m}$)作光源的系统大 10 倍以上. 此外 InGaAsP/InP 材料在光纤窗口范围内都能生长晶格匹配的外延片,而且 InP 的热导率也比 GaAs 的大. 发光二极管由于它的线性好、发射功率的温度系数小、可靠性高、成本低,因而在短距离低码速($< 50\text{Mb/s}$)的光纤通信系统中优于激光器. 这一情况对长波通信系统,至今仍然如此. 因此对 InGaAsP/InP 发光管已进行了不少研究^[2-5]. 其中面发光型较多. 因为它具有加工简单、成品率高、易与光纤耦合等优点.

本文着重报道 1.3 μm InGaAsP/InP 双异质结面发光二极管的制备、特性参数的测量及其结果. 讨论了器件的伏-安特性和光谱特性. 对器件特性进行了分析并提出了改进措施.

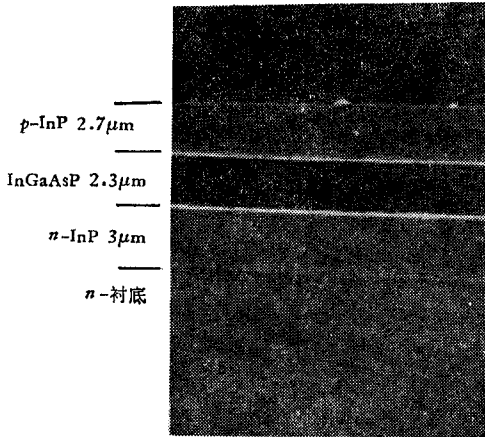


图1 三层结构的外延片剖面扫描电镜照相 $\times 3000$
Fig. 1 The SEM micrograph of the cross-section of the three layer epitaxial wafer

(二) 外延生长

InGaAsP 双异质结外延片是用液相外延法在水平滑移舟中生长的,用钽纯氢作保护气体,用液封直拉法控制的掺 Sn InP 单晶($n = 7 \times 10^{17} - 4 \times 10^{18}\text{cm}^{-3}$)作衬底^[6]. 用纯 In 或 In-InP 熔体回熔去除衬底表面热损伤层,然后依次外延生长 n-InP,不掺杂的 GaInAsP 层和 p-InP 层.

外延片用光学显微镜或扫描电镜观察各层厚度,如图 1 所示. 用光吸收法测定吸收波长^[7]或用电子阴极荧光法测定荧光波长,对有源层禁带宽度进行了估算;用 x 光双晶衍射仪测定了外延层的晶格失配程度 $\left(\frac{\Delta a}{a_0}\right)$;

* 1981 年 2 月 28 日收到.

用电化学电容-电压法测量了纵向载流子浓度分布和 $p-n$ 结位置^[8]; 同时还用电子轰击致导 (EBIC) 法测定了制成的宽接触管芯的 $p-n$ 结位置以作比较^[9].

(三) 器件的制作和测量

制作 InGaAsP/InP “Burrus” 型发光二极管采用的是标准器件工艺, 即在 p 面上沉积 SiO_2 介质膜, 光刻电极窗孔, 然后低温扩散 Zn, 再蒸发 Au-Zn 或溅射 TiPdAu 作 p 型电极, 蒸 AuGeNi 作 n 型电极, 最后 p 面朝下, 压焊在管座上.

测量了发光二极管的伏-安特性、电流-光功率输出特性^[10]、发射光谱、近场和远场特性. 测量光功率用的是我们研制、定标的大面积锗光电管. 测量发射光谱用的是带有锗光电管或 PbS 光导探测器的单色仪. 观测近场用的是红外电视选行扫描仪^[11].

(四) 特性参数

1. 伏-安特性和光功率输出特性 典型的 InGaAsP/InP 发光二极管的伏-安特性如图 2 所示. 图 3 给出了五种不同工艺制成的发光二极管的正向特性. 它们是四层结构表面扩 Zn(137-1D) 和不扩 Zn(137-1), 三层结构表面扩 Zn(98-1D) 和不扩 Zn(98-1) 以及三层 n 型外延材料 Zn 扩散型 (89-1).

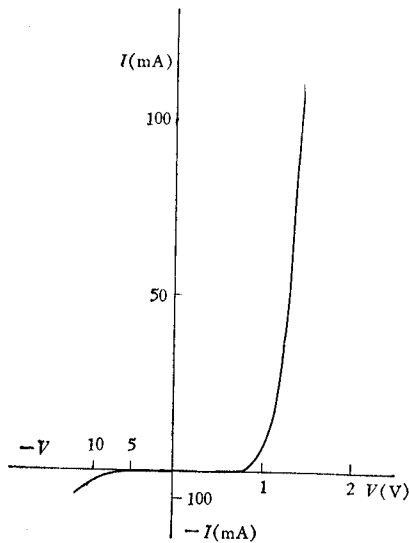


图 2 InGaAsP/InP 发光二极管的典型伏-安特性
Fig.2 The typical I-V characteristics of the InGaAsP/InP LED's

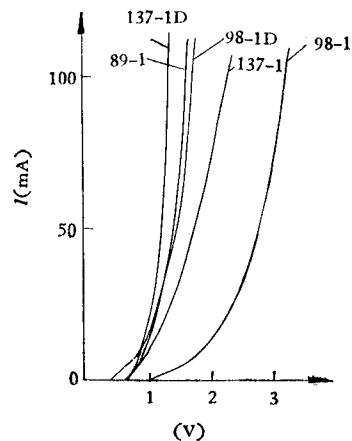


图 3 不同结构 InGaAsP/InP 发光二极管的正向特性
Fig.3 The forward biased characteristics of differently constructed LED's

发光管的电流-光功率输出特性如图 4 所示. 图中给出了三层结构器件 89-1-19 和四层结构器件 146-2-2 的电流-光功率输出特性.

2. 光谱特性 研制的 InGaAsP/InP 发光二极管的峰值波长为 $1.25-1.3\mu\text{m}$, 半宽为 $800-1150\text{Å}$, 典型的光谱特性曲线如图 5 所示. 与之对应的外延片的 $p-n$ 结位置见图 6, $p-n$ 结位于有源层中.

图 7 和图 8 是具有两个发射峰的光谱特性曲线, 与之对应的用 “EBIC” 法测定的结偏位照片见图 9. 图 9 中 $p-n$ 结位于缓冲层与衬底的界面上. 发光二极管的发射峰值波长

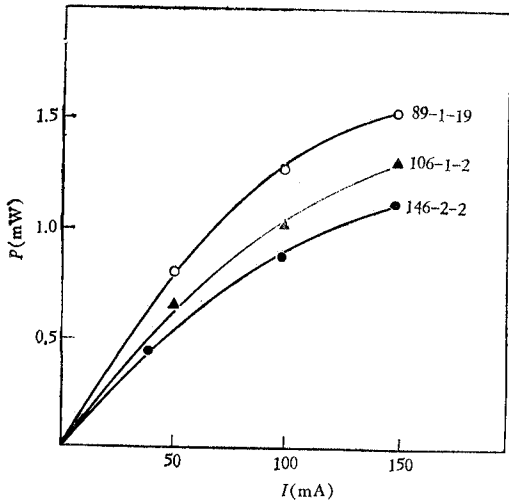


图 4 电流-光功率输出特性

Fig. 4 The characteristic curves of power output VS. current

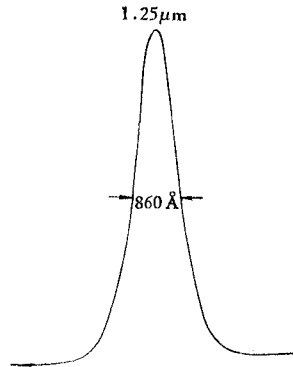


图 5 发光二极管的光谱特性

Fig. 5 The typical emission spectrum of the LED's

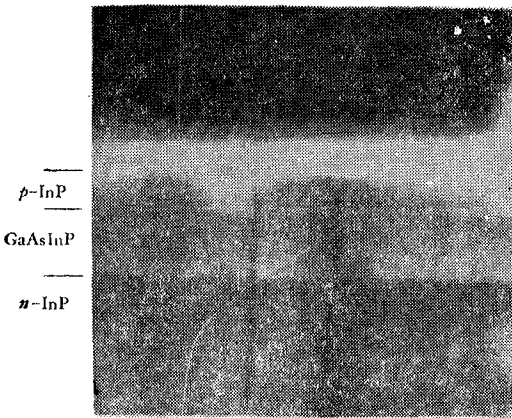


图 6 发光二极管 89-1 的 EBIC 照片, p-n 结在有源层中

Fig. 6 The EBIC micrograph of LED 89-1, the p-n junction is in the active layer

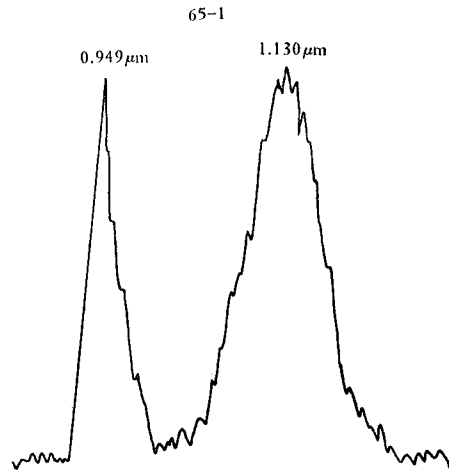


图 7 发光二极管 65-1 的光谱特性

Fig. 7 The spectrum of LED 65-1

随工作电流 (50, 100, 150mA) 变化的曲线如图 10 所示. 抽测了 15 只发光二极管的峰值波长随工作电流的位移. 计算电流从 30mA 增加到 100mA 时, 结温升为 8.8—24.4°C, 由此估算出器件的热阻为 37—240°C/W.

3. 近场和远场

用红外电视扫描仪观察了 InGaAsP/InP 发光二极管的近场特性, 如图 11 所示. 从图 11 可见, 发光区亮度均匀, 光斑直径为 45—60μm 的圆. 远场分布如图 12 所示. 实验值(实线)与按朗伯型光强分布的计算值(虚线)基本一致.

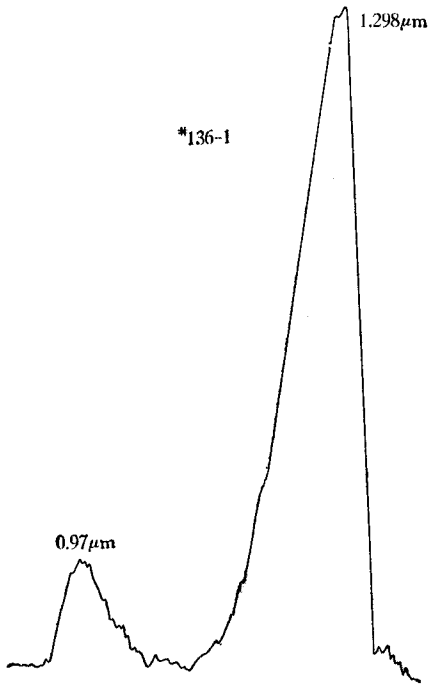


图 8 发光二极管 136-1 的光谱特性
Fig. 8 The spectrum of LED 136-1

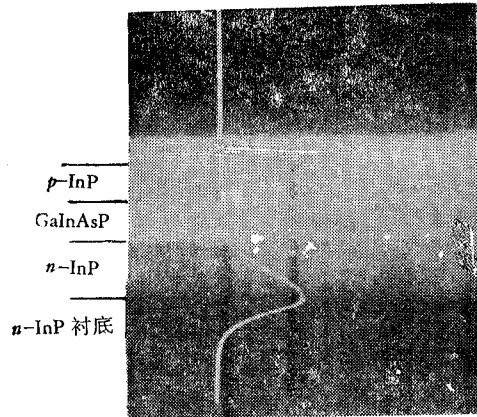


图 9 发光二极管 65-1 的“EBIC”照片, $p-n$ 结在缓冲层与衬底的界面上
Fig. 9 The EBIC micrograph of LED 65-1. The $p-n$ junction is at the interface between the buffer layer and substrate

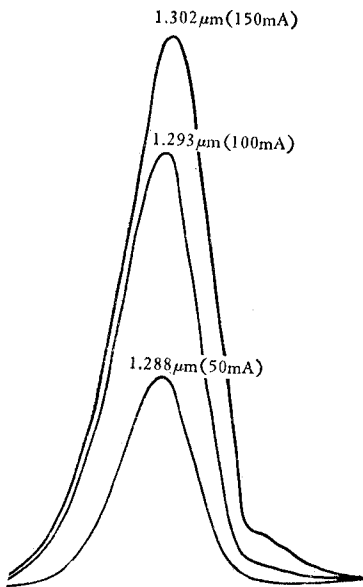


图 10 不同工作电流下的光谱特性
Fig. 10 The spectral characteristics at various currents

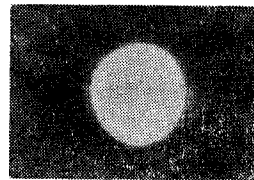


图 11 InGaAsP/InP 发光二极管的近场
Fig. 11 The near-field of InGaAsP/InP LED's

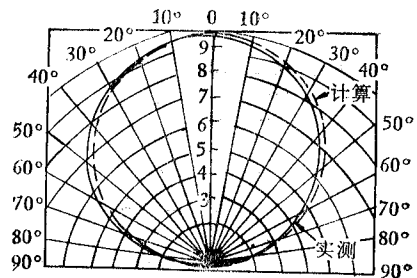


图 12 InGaAsP/InP 发光二极管的远场
Fig. 12 Far-field of InGaAsP/InP LED's

4. 工作寿命 器件经 100mA 直流老化 100 小时后,用红外电视扫描仪观测近场,剔除掉快退化和具有暗结构的管子,然后在实验室环境中进行老化试验.图 13 是器件的归一化功率随工作时间变化的曲线.从图可见慢退化的发光二极管,在长时间工作中,其归一化功率在 $\pm 10\%$ 的范围内波动.用红外电视扫描仪观测工作了 3000 小时以上的发光二极管的发光区,发现光斑的大小无明显变化,并且未见有暗结构产生,见图 14.

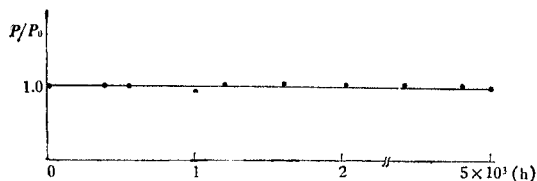


图 13 归一化功率与工作时间的关系
Fig. 13 The normalized output VS. the operating time

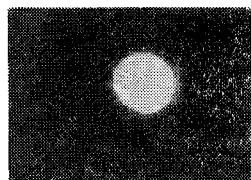


图 14 发光二极管老化 3000 小时后的近场图
Fig. 14 The near-field of LED after being aged 3000hs

(五) 讨论

1. 从伏-安特性曲线(图 2)可见,发光二极管一般在正向偏置为 0.7—0.8V 时电流开始上升.串联电阻的大小与器件的工艺和结构有关.从测量结果看,四层结构器件的串联电阻比三层结构的要小,尤以表面扩 Zn 的器件更为明显.这是由于掺 Zn p -InGaAsP 外延层的载流子浓度远比 p -InP 为高.采用表面扩 Zn 工艺提高外延片表面受主浓度,能显著降低器件的串联电阻 R_c .对三层结构而言,表面扩 Zn 器件的 R_c 为 2—3 Ω ,而不扩 Zn 器件的 R_c 为 5 Ω 以上.

从电流-输出功率特性曲线(图 4)可见,在电流小时,功率上升较快;100mA 时,功率达 1mW;这表示电流比较集中.当电流继续增大时,出现功率上升较慢的现象,这可能是发光区温升较大的缘故.因此还必须改进器件工艺,以提高输出功率.

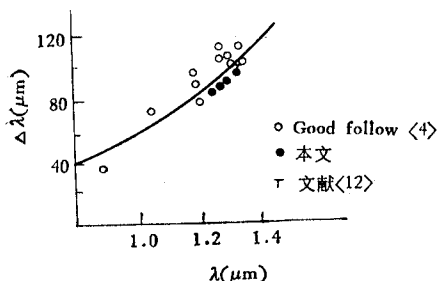


图 15 $\Delta\lambda$ 与 λ 的关系
Fig. 15 The relation between $\Delta\lambda$ and λ

2. 发光二极管光谱半宽度 $\Delta\lambda$ 与峰值波长 λ 的关系可用下式表示:

$$\Delta\lambda = \frac{\lambda^2}{1.24} (nkT),$$

按文献 [11] 报道 n 的理论值为 2. 图 15 是 InGaAsP/InP 发光二极管的 $\Delta\lambda$ 与 λ 的关系.图中实线是计算值($n = 3$).由图可见,本文的结果与文献 [4、12] 报道的数据相近.

3. 从图 7、图 8 可见,某些发光二极管的光谱曲线出现两个峰值,这可用形成“遥远结”来解释.

图 16 的电化学电容-电压法测试结果表明,发光二极管 65-1,由于工艺控制不当使 Zn 从第三层扩散到了第一层(图 9),从而使 p - n 结偏位到缓冲层与衬底界面处,形成了遥远结(图 16(a)),因此器件在正向偏置下可看到二个发射峰(图 7),一个是有源区发射峰,另一

个是遥远结发射峰。同理也可说明发光二极管 136-1 形成双峰的原因。从图 16(b)可见, 第三层 $p\text{-InP}$ 由于掺 Zn 浓度不足, 未能补偿掉其中的残余施主, 因而形成了部分 n 型, 致使 $p\text{-n}$ 结偏位到该层中, 形成遥远结, 从而产生双峰发射光谱曲线(图 8)。

在正常工艺条件下, $p\text{-n}$ 结位置能够被严格控制到有源层内(图 6 和图 16(c)), 使器件发射光谱仅有一个峰值(图 5)。

4. 从发光二极管的近场图 11 可见, 采用 SiO_2 介质膜作隔离层能满足限制发光区电流的要求。在发光区电极直径为 $50\mu\text{m}$ 时, 能获得光斑直径为 $40\text{--}60\mu\text{m}$, 亮度均匀的器件。从器件老化试验的初步结果可见, 筛选出的发光二极管在室温下工作 5000 小时以上, 未发现功率退化(图 13), 发光区内未出现暗结构以及光斑发生明显变化的现象。

(六) 结束语

1. 用液相外延技术生长的 InGaAsP/InP 双异质结三层和四层结构的外延材料制作了面发光型发光二极管。在 100mA 下, 光功率为 1mW , 发射峰值为 $1.3\mu\text{m}$, 半宽为 $850\text{--}1000\text{\AA}$, 压降为 $1.5\text{--}2.0\text{V}$, 寿命长于 5×10^3 小时。

2. 讨论了器件的伏-安特性、电流-光功率输出特性和光谱特性, 认为器件结构和制备工艺对器件的特性有明显的影 响。解释了发射光谱出现双峰的现象。双峰是由于 $p\text{-n}$ 结偏位的缘故。

本项工作中的样品测试工作是由陈自姚, 邵永富, 梁琦, 谭文玲, 陈沛然, 李允平, 陈连勇等同志完成的, 在此表示感谢。

参 考 文 献

- [1] W. M. Muska, et al., Electron Lett., **13**(1977), 605.
- [2] A. G. Dentai, Electron Lett., **13**(1977), 484.
- [3] P. D. Wright, IEEE Trans. on ED, **ED-26**(1979), 1220.
- [4] R. C. Goodfellow, IEEE Trans. on ED, **ED-26**(1979), 1215.
- [5] 安部正幸, 信学报, **78**(1979), 73.
- [6] 王祥熙, 方敦辅等, 半导体光电, 1981 年, 第 2 期, 第 209 页.
- [7] 杨易等, 半导体光电, 1981 年, 第 2 期, 第 199 页.
- [8] 陈自姚等, 半导体光电, 1981 年, 第 2 期, 第 207 页.
- [9] 邱祥生等, 半导体光电, 1981 年, 第 2 期, 第 186 页.
- [10] 陈瑞璋等, 光纤通讯, 1980 年, 第 2 期, 第 89 页.
- [11] 何樛昌等, 通信学报, (待发表).

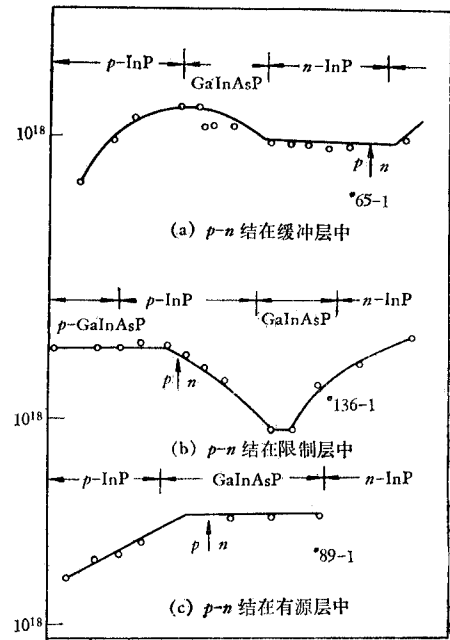


图 16 电化学电容-电压法测得的 $p\text{-n}$ 结位置

- (a) $p\text{-n}$ 结在缓冲层与衬底界面上
- (b) $p\text{-n}$ 结在限制层中
- (c) $p\text{-n}$ 结在有源层中

Fig. 16 The $p\text{-n}$ junction front measured by the electrochemical C-V method

- (a) The $p\text{-n}$ junction is at the interface between the buffer layer and the substrate
- (b) The $p\text{-n}$ junction is in the buffer layer
- (c) The $p\text{-n}$ junction is in the active layer

[12] 宇治俊男,昭和 54 年通信学会半导体材料部门全国大会演讲集,1977 年,第 326 页.

STUDY OF $1.3\mu\text{m}$ InGaAsP/InP DOUBLE HETEROJUNCTION LIGHT EMITTING DIODES

Shui Hai-long, Zhang Gui-cheng, Wu Xiang-sheng, Chen Qi-yu,
Xu Shao-hua, Yang Yi, Hu Dao-shan
(*Shanghai Institute of Metallurgy, Academia Sinica*)

InGaAsP/InP double heterostructure material was grown by liquid phase epitaxial technique and "Burrus type" light emitting diodes were made from it. The output power is 1 mW at 100 mA driving current. The emission wavelength is $1.3\mu\text{m}$ and the operating time has reached 3×10^3 hours.

The I-V, I-P characteristics and the emission spectrum of the light emitting diodes are discussed. And it is pointed out that the structure of the device and the fabrication technique do have influence upon the characteristics of the light emitting diodes, and the emission spectra of certain light emitting diodes have two peaks, it is due to the p - n junction displacement.