

用于宽带光纤用户网的高速 $1.3\mu\text{m}$ InGaAsP/InP DH LED*

郭康瑾 肖德元 陈启琦 徐少华 陈瑞璋 张晓平

(中国科学院上海冶金研究所, 200233, 上海)

1990年6月17日收到, 8月5日定稿

本文设计并制作了带有集成透镜的高速 $1.3\mu\text{m}$ InGaAsP/InP DH LED。器件的调制带宽达 425MHz, 与梯度折射率多模光纤的耦合效率高达 7.5%, 适用于四次群以上的宽带光纤通讯系统, 在未来的宽带 ISDN 中将发挥重要作用。

一、前言

随着社会的发展,特别是随着计算技术的应用,人们对信息的需求量越来越大,这就要求半导体光电器件适应这种技术发展的要求。过去一般认为,只有激光器(LD)才能满足高速大容量的要求,但八十年代中期以来,人们纷纷开展高速 $1.3\mu\text{m}$ InGaAsP/InP DH LED 的研究与开发。使用 LED 进行高速传输的实验也逐年增加,其调制带宽达 500 Mbit/s ~ 2Gbit/s, 传输 $3\sim 20\text{km}^{[1-4]}$ 。与激光器相比,发光二极管具有性能可靠,寿命长,价格便宜,使用方便等优点。因此,高速 LED 的研究将为中短距离的宽带 ISDN, LAN 提供可靠、实用的光源器件。

本文报道了国内首次成功地用离子束铣技术制作带有集成透镜的高速 $1.3\mu\text{m}$ InGaAsP/InP DH LED 的研究结果。器件的调制带宽为 425MHz, 与梯度折射率多模光纤的耦合效率达 7.5%。

二、器件的设计与制作工艺

1. 器件的设计考虑

LED 的频响特性取决于注入有源层载流子的复合过程以及器件的寄生电容效应和驱动电路。研究表明,减小辐射复合寿命是提高器件频响特性的有效途径。对于有源区为 P 型掺杂的情况,辐射复合寿命可表达为^[5]:

* 本研究得到上海市自然科学基金的资助。

$$\tau_r = \frac{ed}{2j} \{ [P_0^2 + (4j/Bed)]^{1/2} - P_0 \} \quad (1)$$

式中 e 为电子电荷, d 为有源层厚度, P_0 为有源区掺杂浓度, B 为复合常数。由此可见, 有源区重掺杂和器件工作在高电流密度状态, 是实现高速 LED 的技术途径。通常为 保证器件的寿命, 重掺杂是较佳的选择。

八十年代中期, 人们用计算机模拟对 InGaAsP/InP 系材料的液相外延生长进行了研究, 但未考虑掺杂的影响。高速 LED 要求重掺杂, 因此我们在上述工作的基础上, 考虑了掺杂的影响, 对 InGaAsP 的液相外延进行了计算机模拟设计。为此, 引入了掺杂固相组分:

$$x' = M_q \cdot N / (\rho_q \cdot N_0)$$

式中 M_q 、 ρ_q 分别为四元合金的摩尔质量和密度, N 为掺杂浓度, N_0 为阿伏加德罗常数。结果表明^[6], N型和P型掺杂剂对禁带宽度的影响可用下述关系式表示:

$$E_g = E_{g0} - 2.29 \times 10^{-8} n^{1/3} \quad (2)$$

$$E_g = E_{g0} - 2.97 \times 10^{-8} p^{1/3} \quad (3)$$

式中 E_g 、 E_{g0} 分别为掺杂和不掺杂材料的禁带宽度, n 和 p 分别为掺杂浓度。同时, 当杂质的分凝系数较小时, 为保证晶格匹配及发射波长, 液相组分必须调整; 并且重掺杂还会影响外延生长速率。

有源区重掺杂 ($P \sim 5 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$) 还易产生结偏位问题, 因而影响量子效率。研究表明^[7], 有源层的电流注入效率与扩散结位移有如下关系:

$$\eta = 1 / \cosh(d_0 / L_n) \quad (4)$$

式中 d_0 为位移深度, L_n 为载流子扩散长度。为保证器件有良好的输出功率和响应特性, pn 结位移必须小于载流子扩散长度的 1/4。

2. 器件的制作工艺

带有集成透镜的高速 $1.3\mu\text{m}$ InGaAsP/InP DH LED 结构如图 1 所示。在掺 S(100) 晶向 InP 衬底上采用两相溶液液相外延生长技术依次生长四层结构: $8\mu\text{m}$ 厚 Te 掺杂 n 型 InP 缓冲层 ($n \sim 2 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$), $0.3\mu\text{m}$ 厚 P 型 InGaAsP 有源层 ($P \sim 5 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$), $1\mu\text{m}$ 厚 P 型 InP 限制层 ($P \sim 10^{18} \text{cm}^{-3}$) 和 $0.8\mu\text{m}$ 厚 P 型 InGaAsP 帽子层 ($P \sim 5 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$), P 型掺杂剂为 Zn。为防止制作高速 LED 时高浓度掺 Zn 引起的 pn 结偏位以及对外延系统的沾污, 我们在晶体生长时采取了缩短外延生长时间, 降低有源层生长温度以及选择最佳的缓冲层载流子浓度等措施。制得的外延片, 经清洗后, P 面淀积厚约 $0.2\mu\text{m}$ 的 SiO_2 介质掩膜, 光刻直径为 $10 \sim 20\mu\text{m}$ 的圆形窗口进行 Zn 扩散以降低接触电阻, 蒸 AuZn 做欧姆接触; 然后, n 型衬底减薄、抛光清洗, 为制作集成透镜作准备。集成透镜的制作采用离子束刻蚀技术, 刻蚀过程示于图

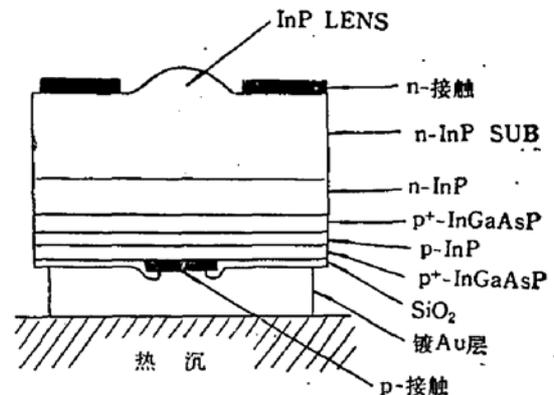


图 1 高速 LED 结构示意图

制得的外延片, 经清洗后, P 面淀积厚约 $0.2\mu\text{m}$ 的 SiO_2 介质掩膜, 光刻直径为 $10 \sim 20\mu\text{m}$ 的圆形窗口进行 Zn 扩散以降低接触电阻, 蒸 AuZn 做欧姆接触; 然后, n 型衬底减薄、抛光清洗, 为制作集成透镜作准备。集成透镜的制作采用离子束刻蚀技术, 刻蚀过程示于图

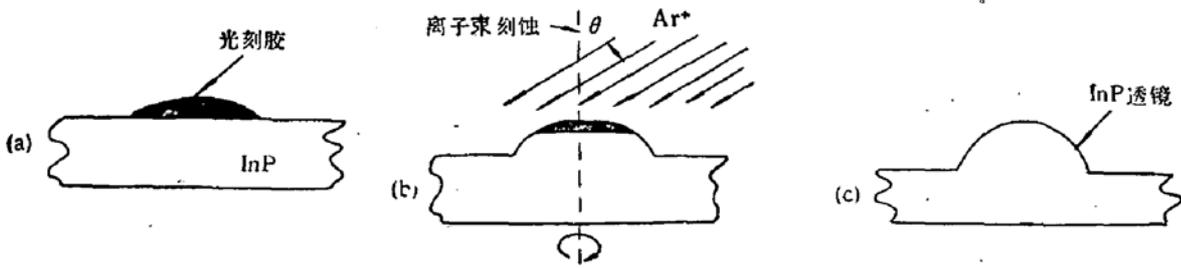


图 2 InP 球透镜离子束刻蚀工艺过程

(a) 球形表面光刻胶掩膜的形成 (b) 离子束刻蚀转移 (c) 光刻胶掩膜刻蚀完,完整的透镜已形成

2. 首先在 InP 衬底上涂敷厚约 $3\mu\text{m}$ 的 AZ-1350 光刻胶,经光刻后,在高于光刻胶的玻璃软化温度下进行烘烤,使胶膜形成球面(a).

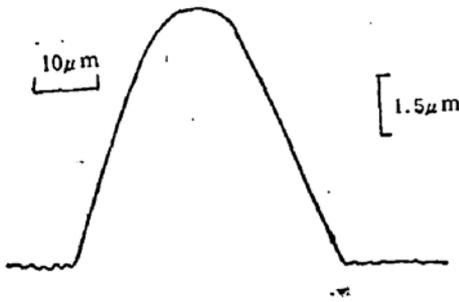


图 3 由 alpha-step 仪测得的 InP 刻蚀表面形状曲线

然后,用离子束铣装置进行刻蚀转移(b).由于光刻胶与 InP 的刻蚀速率不同,制得透镜的曲率大于球形光刻胶掩膜的曲率(c).在我们的研究中,离子束入射角为 60° ,刻蚀过程中,载片台匀速转动,待光刻胶被全部刻蚀完毕,即停止刻蚀.透镜的表面形貌用 alpha-step 表面剖面仪和扫描电镜进行测量检查.图 3 给出 alpha-step 仪的测量结果.透镜做好以后,分别蒸发 AuGeNi 和 AuZn

做 N 面和 P 面接触电极,并在 N_2 气氛中于 425°C 合金化.经初测筛选的芯片倒装在 Cu 热沉管座上,并与球端光纤用激光焊接、金属化封装技术耦合.

三、结果与讨论

对制得器件进行了特性参数测试.其 100mA 下的正向压降为 1.5V 左右,反向击穿电压大于 4V .从红外显微电视装置观察 LED 近场图案,可以清楚地观测到集成透镜的聚焦作用.典型的带有集成透镜 LED 与平面型 LED 光强远场分布如图 4 所示,从图

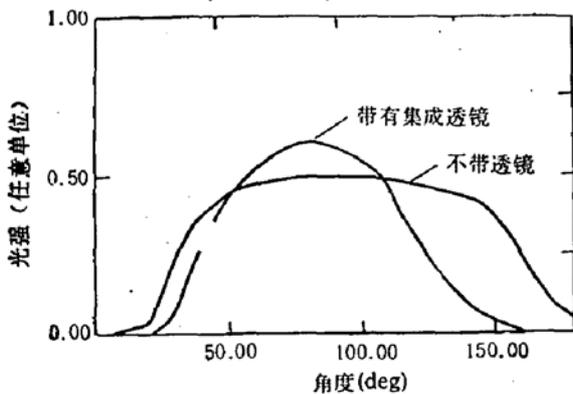


图 4 典型的带有集成透镜与不带透镜 LED 的光强远场分布图样

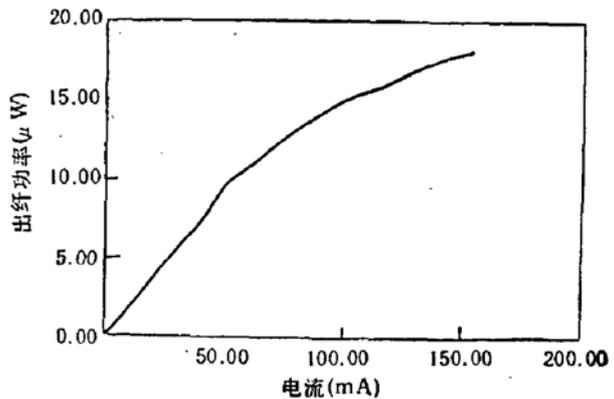


图 5 集成透镜 LED 耦合光功率与驱动电流的关系.梯度折射率多模光纤,芯径 $50\mu\text{m}$,数值孔径 0.2

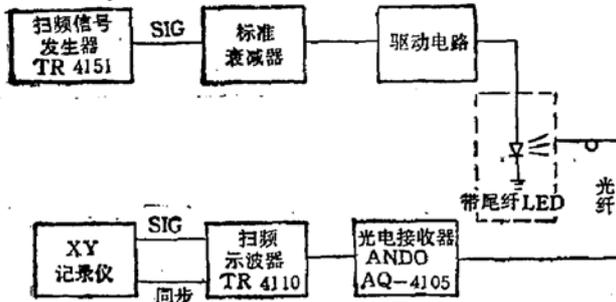


图 6 测量频率响应特性的系统框图

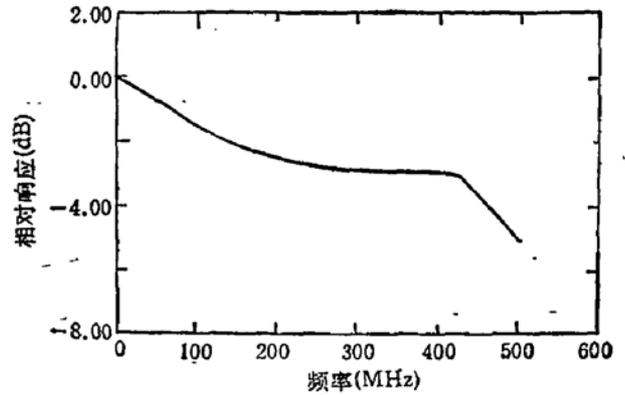


图 7 带有集成透镜 LED 的频响特性曲线

中可以看到,集成透镜 LED 远场光强发散角比平面型小 30 至 40 度。图 5 给出集成透镜 LED 与多模标准球端光纤的耦合光功率随偏置电流变化的关系曲线。器件的入纤功率为 $17.8\mu\text{W}$, 比常规的中、低速 LED 要小一些,但其耦合效率达 7.5%,比无透镜 LED 的耦合效率有明显的提高。器件光谱半宽 (FWHM) 小于 100nm。

采用扫频法测量 LED 带宽的框图如图 6 所示。在 150mA 直流偏置下,器件的小信号调制频率响应特性曲线如图 7 所示,测得 LED 的调制带宽为 425MHz。

四、结 论

为满足中、短距离,高速大容量光纤通信的需要,我们在国内首次成功地用离子束刻蚀技术制作了带有集成透镜的高速 $1.3\mu\text{m}$ InGaAsP/InP DH LED, 器件的 -3dB 调制带宽达 425MHz, 与光纤的耦合效率达 7.5%, 可望用于四次群以上的宽带光纤通信系统,在未来的宽带 ISDN 中将发挥重要作用。

参 考 文 献

- [1] J. L. Gimlett, *et al.*, *Elect. Lett.*, 21, 1198(1985).
- [2] S. Fujita, *et al.*, *Elect. Lett.*, 23, 636(1987).
- [3] W. C. King and N. A. Olsson, *Elect. Lett.*, 22, 761(1986).
- [4] A. Suzuki, *et al.*, *IEEE, Electron Devices*, ED-32, 2609(1985).
- [5] H. Namizaki, *et al.*, *Appl. Phys. Lett.*, 24, 486(1974).
- [6] D. Y. Xiao and K. J. Guo, *Rare Metals* (to be published, No.1, 1991).
- [7] A. Suzuki *et al.*, *Elect. Lett.*, 20, 273(1984).

High-Speed 1.3 μm InGaAsP/InP DH LED for Broad-Band Optical Fiber Subscriber Loops

Guo Kangjin, Xiao Deyuan, Chen Qiyu
Xu Shaohua, ChenRuizhang and Zhang Xiaoping
(Shanghai Institute of Metallurgy, Academia Sinica, Shanghai, 200050)

Abstract

High-speed 1.3 μm InGaAsP/InP DH LEDs with integrated InP lens have been fabricated by ion-beam milling technique. The bandwidth of the devices is of 425 MHz and a coupling efficiency of 7.5% into standard optical fiber has been achieved.