

单片集成透镜高速 1×4 InGaAs/InP pin 探测器阵列研究*

肖德元 任琮欣 陈学良

(中国科学院上海冶金研究所微电子学分部, 上海, 200233)

摘要 设计并制作了带有集成透镜的 1×4 InGaAs/InP pin 探测器阵列. 对器件纵向和横向结构参数及集成 InP 透镜几何参数进行了模拟设计与优化. 器件带宽达 1.0 GHz, 对宽带波分复用、光互连以及光计算网络有重要应用价值.

关键词 探测器阵列, 集成透镜, 高速器件.

引言

光纤通信朝着超高速相干光通信、波分/频分复用及单片多功能光电子集成方向发展. 单片集成探测器阵列是波分复用技术波长去复用装置中的关键性器件. 光探测器阵列还是光互连、光神经网络系统必不可少的元件. 因此, 开展这方面的研究具有重大意义^[1~3].

我们首次设计并制作了 1×4 单片集成透镜 InGaAs/InP pin 探测器阵列. 集成透镜的制作可以在提高灵敏度的同时使得单管器件与单模光纤的耦合变得很容易. 为此我们对器件纵向、横向结构参数及集成 InP 透镜几何参数进行了模拟设计与优化. 单片集成透镜阵列是采用烘烤光致抗蚀剂预成形, 用离子束刻蚀转移技术制作的. 器件结构为背进光形式, 采用聚酰亚胺树脂作钝化保护. 对所研制的器件进行了光电特性参数测试.

1 器件结构与制作工艺

1.1 结构设计

为了获得接近量子噪声限制的光接收灵敏度及响应速度, 器件必须具备高量子效率、低 pn 结电容和高耦合效率. 通常对于给定的探测器效率而言, 面积最小, 获得的带宽最大. 但减小光敏面, 势必影响器件接收灵敏度, 特别是单管器件很难与单模光纤耦合. 为此, 我们在器件结构中引入了集成透镜装置, 如图 1 所示. 通过把光聚焦到有源区可提高探测器的效率, 如不聚焦, 相当一部分光子将落在“死区”上, 降低器件的量子效率^[4].

* 中国科学院上海冶金研究所青年科学基金资助项目

本文 1993 年 9 月 17 日收到, 修改稿 1994 年 3 月 29 日收到

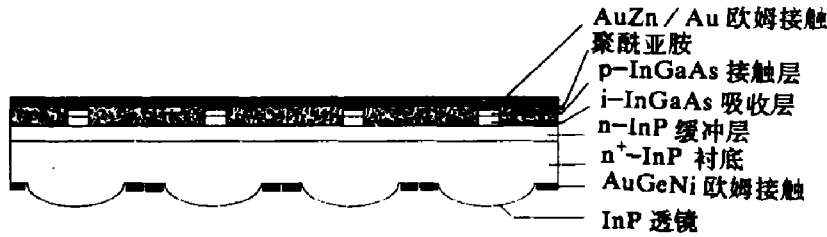


图 1 1×4 InGaAs/InP pin 探测器阵列剖面结构示意图

Fig. 1 Cross sectional view of 1×4 InGaAs/InP pin PD arrays with integrated lenses

我们采用几何光学原理设计器件的几何参数. 对于给定的透镜曲率半径 R 和 InP 透镜折射率 n , 透镜焦距 f 可由下式求得:

$$f = \frac{nR}{n-1} \quad (1)$$

而透镜曲率半径 R 与透镜孔径 Φ 和透镜厚度 t 有下列关系:

$$R = \frac{\Phi^2 + 4t^2}{8t} \quad (2)$$

图 2 曲线是根据式 (1) 和 (2) 并取 n 为 3.12 计算得出. 由透镜孔径 Φ 和厚度 t , 查图 2 可以确定透镜的焦距.

1.2 制作工艺

采用液相外延生长技术, 在掺 S(100) 晶向 InP 衬底材料上依次生长厚度约 $1\ \mu\text{m}$ 的 InP 缓冲层 ($n \cong 2 \times 10^{17}\ \text{cm}^{-3}$) 和 $5\ \mu\text{m}$ 不掺杂 InGaAs 本征层 ($n \cong 6 \times 10^{15}\ \text{cm}^{-3}$). 采用闭管深 Zn 扩散, 形成厚约 $2\ \mu\text{m}$ 的 p 型 InGaAs 接触层, 由此确定 InGaAs 本征吸收层厚度约为 $3\ \mu\text{m}$, 随后蒸发 AuZn 合金做 P 面欧姆接触电极. 经光刻, $\text{H}_2\text{SO}_4:\text{H}_2\text{O}:\text{H}_2\text{O}_2$ (25:1:1) 腐蚀周围的 InGaAs, 形成直径为 $15\ \mu\text{m}$ 的圆台面, 再涂敷聚酰亚胺作钝化保护, 衬底减薄至所需厚度.

接着制作 InP 集成透镜^[5]. 首先在 InP 衬底上涂敷一层厚的 AZ-135OJ 正性光致抗蚀剂, 套刻形成直径为 $75\ \mu\text{m}$ 的圆台面, 随后在高于光刻胶的玻璃软化温度下进行烘烤. 由于表面张力作用, 胶膜形成球面, 接着就可以采用离子束进行刻蚀转移. 图 3 为 InP 集成透镜制作工艺流程图. 在我们实验中, 离子束入射角度为 60° , 刻蚀过程中载片台匀速转动. 待光刻胶全部被刻蚀完毕, 即停止刻蚀. 透镜表面形状及厚度可由光刻胶的原始厚度及离子束入射角度确定. 采用 alpha-step 台阶仪和扫描电镜进行检测, 经测量得到透镜厚度为 $7\ \mu\text{m}$, 减薄后芯片厚度为 $130\ \mu\text{m}$. 因此, 透镜焦距符合设计要求. 透镜刻蚀好以

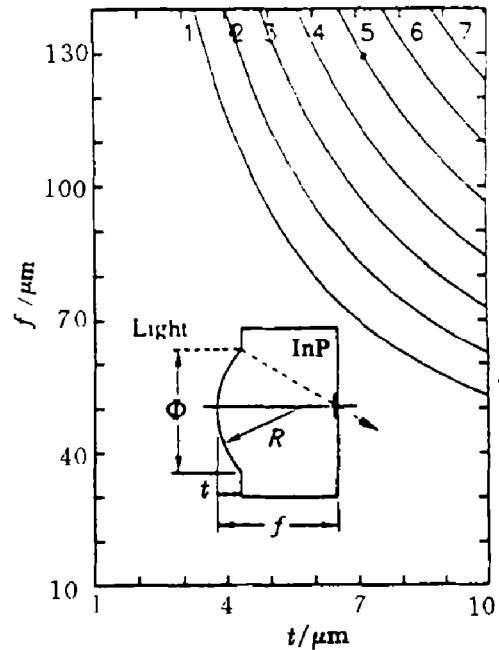


图 2 微透镜焦距与透镜孔径、厚度之间的关系 (曲线 1, 2, 3, ..., 7 分别代表 Φ 为 50, 55, 60, ..., 80 μm)
Fig. 2 Relationship between focal length f , lens aperture Φ , and thickness t of the microlens

后, 经清洗, n 面蒸发 AuGeNi 做欧姆接触电极, 在 N₂ 气氛中于 450°C 温度下合金化. 为简单起见, 集成透镜表面未沉积增透膜. 图 4 为探测器阵列集成透镜表面的扫描电镜照片.

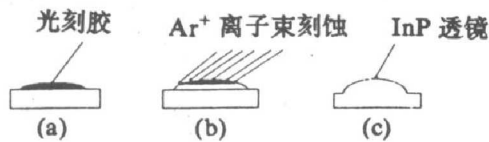


图 3 集成 InP 透镜的离子束刻蚀工艺过程
Fig. 3 InP microlens fabrication by ion-beam milling

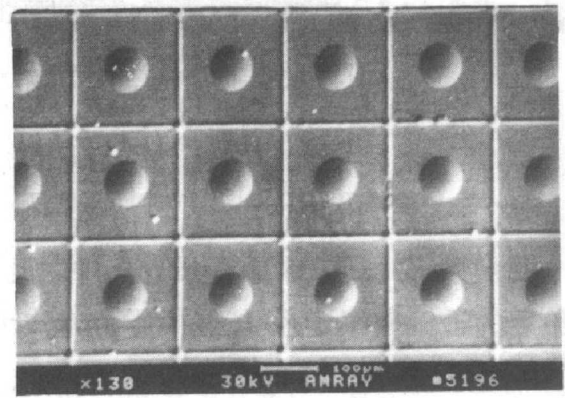


图 4 集成阵列芯片的扫描电镜照片
Fig. 4 SEM photograph of integrated lensed InGaAs/InP PD array chip

2 实验结果

采用探针点接触方法对器件进行光电特性参数测试, 从中挑选出 4 个 -10 V 偏置下暗电流为 20±5 nA、响应度为 0.5±0.08 A/W 探测器为一组进行划片解理封装. 同时, 我们还对单管器件进行单模光纤模拟耦合试验, 定义耦合对准容差为 0.5 dB 耦合损失单模光纤与探测器的偏移量. 研究表明, 纵向对准容差为 150 μm, 横向对准容差为 45 μm, 由此说明, 集成透镜使得器件与单模光纤的耦合变得很容易.

我们采用快速脉冲直接调制 1.3 μm InGaAsP/InP 双异质结激光器作光源测量探测器的脉响应, 图 5 为测试系统方框图. 测得集成透镜的 InGaAsP/InP pin 探测器的脉冲响应如图 6 所示, 上升时间为 360 ps, 脉冲半带宽 (FWHM) 为 300 ps, 相应的带宽为 1.0 GHz. 图 7 为 1 GHz 正弦波电信号输入下测得探测器电信号响应输出图样, 从图中可以看出图形未发生畸变, 说明器件具有 1 Gb/s 的调制接收能力.

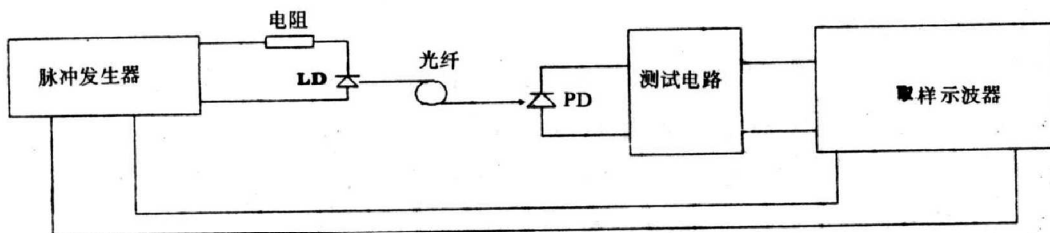


图 5 探测器脉冲响应测试装置图
Fig. 5 Set-up for the measurement of pulsed response of PD



图 6 探测器对 1 GHz 正弦波调制光讯号的响应
Fig. 6 1 GHz sinuous optical signal response for integrated lensed pin PD

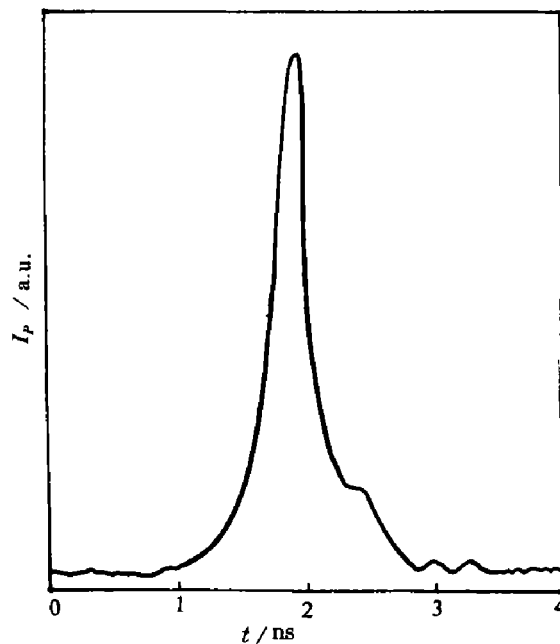


图 7 集成透镜 InGaAs/InP pin 探测器的脉冲响应
Fig. 7 Pulse response for integrated lensed InGaAs/InP pin PD

3 结论

为满足远距离、超大容量、超高速波分复用光纤通信的需要, 我们首次研制成功 1×4 超高速单片集成透镜 InGaAsP/InP pin 探测器阵列. 单片集成透镜的制作对提高器件的频率响应及改善耦合效率是极为有利的. 器件的响应度为 0.5 A/W , 调制带宽达 1.0 GHz . 与单模光纤的耦合对准容差达 $45 \mu\text{m}$, 在宽带波分复用、光互连以及光计算网络中将发挥重要作用.

参考文献

- 1 Lee WS, et al. *Electron. Lett.*, 1988, **24**(18):1143
- 2 Wada O. *J. Electrochem. Soc.*, 1984, **131**(10):2373
- 3 Makiuchi M, et al. *Electron. Lett.*, 1988, **24**(2):109
- 4 Hutley M, et al. *Phys. World*, 1991, **4**(7):27
- 5 肖德元, 等. *光学学报*, 1991, **11**(1):71

HIGH-SPEED 1×4 InGaAs/InP pin PHOTODIODE ARRAY WITH MONOLITHICALLY INTEGRATED LENS*

Xiao Deyuan Ren Zhongxin Cheng Xueliang

(Shanghai Institute of Metallurgy, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200233, China)

Abstract High-speed 1×4 InGaAs/InP pin photodiode arrays with integrated lenses were fabricated. The device parameters and InP microlenses were designed and optimized. The device performance of bandwidth of 1.0 GHz makes it well suited to broad-bandwidth wavelength division multiplexing, optical interconnection and optical computation.

Key words detector array, integrated lens, high-speed device.

*The project supported by the Youth Foundation of the Shanghai Institute of Metallurgy, Chinese Academy of Sciences