

文章编号: 0253-2239(2010)s100218

单片集成长波长四镜三腔谐振腔增强型 半导体光探测器

黄永清 段晓峰 王伟 颜强 邸菁 任晓敏 黄辉 王琦 张霞
(北京邮电大学信息光子学与光通信教育部重点实验室, 北京 100876)

摘要 报道了一种单片集成的 1550 nm 的四镜三腔谐振腔增强型(RCF)半导体光探测器。通过多腔的设计解决了传统 RCE 光探测器量子效率、高速响应和光谱响应线宽之间的相互制约问题;利用 InP/GaAs 低温缓冲层技术解决了大失配异质外延生长的问题,器件可以同时获得高速、高量子效率和窄的光谱响应线宽。制备的器件响应波长为 1550 nm,峰值量子效率接近 70%,其光谱线宽为 0.5 nm,3 dB 响应带宽大于 8 GHz。

关键词 探测器;单片集成;谐振腔增强型;波长选择性

中图分类号 TN303 文献标识码 A doi: 10.3788/AOS201030.s100218

Monolithically Integrated Resonant Cavity-Enhanced Photodetector with Four-Mirror and Three-Cavity for Long Wavelength

Huang Yongqing Duan Xiaofeng Wang Wei Yan Qiang Di Jing
Ren Xiaomin Huang Hui Wang Qi Zhang Xia

(Key Laboratory of Information Photonics and Optical Communications, Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China)

Abstract A 1550 nm monolithically integrated resonant cavity-enhanced (RCE) semiconductor photodetector with four-mirror and three-cavity (M4C3) is reported. The contradiction among high quantum efficiency, high response speed and narrow spectral response linewidth is overcome by multi-cavities structure. High-quality GaAs/InP heteroepitaxy is realized by employing a low-temperature buffer layer. By adopting M4C3 structure, high quantum efficiency, high response speed, and narrow spectral response linewidth can be obtained simultaneously. Peak quantum efficiency of about 70%, spectral linewidth of 0.5 nm and 3 dB bandwidth of 8.0 GHz have been obtained in this device.

Key words photodetector; monolithically integrated; resonant cavity enhanced; wavelength selectivity

OCIS codes 250.0250; 040.5160; 230.4170; 230.7408

1 引 言

波分复用光纤通信系统与智能光网络的迅速发展,催生了许多新一代的通信光电子器件,其中具有细锐波长选择特性、高响应速度以及波长可调谐特性的半导体集成解复用接收器件-高性能光探测器是典型的代表。这类器件的典型代表是以谐振腔增

强型(RCE)光探测器为基础的系列光探测器。

RCE 光探测器是由 K. Kishino 等^[1,2]于 1991 年提出的一种集成解复用光电探测器结构。其基本结构是将吸收层引入到法布里-珀罗(F-P)谐振腔中,因而探测器本身就具有了波长选择特性。此外,由于谐振腔的增强效应,此类器件在较薄的吸收层

收稿日期: 2010-07-29; 收到修改稿日期: 2010-10-12

基金项目: 国家 973 计划(2010CB327600)、国家 863 计划(2007AA03Z418)、国家自然科学基金国际(地区)合作与交流项目(90201035)、北京市教育委员会共建项目和高等学校学科创新引智计划(B07005)资助课题。

作者简介: 黄永清(1963—),女,教授,博士生导师,主要从事光通信及半导体光电子器件方面的研究。

E-mail: yqhuang@bupt.edu.cn

情况下即可获得较高的量子效率,同时较薄的吸收层也减少了光生载流子在耗尽层的渡越时间,提高了器件的响应速度。在保证高量子效率的同时大大提高了器件的响应速度。但是由于其谐振腔中有吸收层,使得它的光谱响应线宽相对较宽,很难获得小于 1.7 nm 的光谱响应半峰全宽(FWHM)^[3],存在着量子效率与其响应速度和光谱响应线宽相互制约的问题。

为解决传统 RCE 光探测器存在的固有问题,提出了两类新型的器件结构,一种是平行多腔结构即四镜三腔光探测器^[4],另一种为一镜斜置三镜腔光探测器^[5~7]。这两类探测器能够实现高的量子效率和窄的光谱响应线宽度,能够解决量子效率与其响应速度和光谱响应线宽相互制约的问题,目前一镜斜置三镜腔光探测器可以实现在 1550 nm 波段达到 78.4% 的峰值量子效率、10.5 nm 的波长调谐范围、0.6 nm 的光谱响应半峰全宽以及 12 GHz 的 3 dB 响应带宽^[8]。由于这两类器件在结构上需要具有高反射率的反射镜,因此在工艺实现上有采用键合技术和大失配异质外延技术两类实现方案^[9~11]。其中四镜三腔光探测器在制作工艺上不像一镜斜置三镜腔光探测器那样需要特殊的工艺,因而更容易实现。目前这两类器件的设计和制作方案已经应用到可调谐光探测器阵列器件的制作中^[12]。

本文报道了一种单片集成的 1550 nm 的四镜三腔 RCE 半导体光探测器。利用 InP/GaAs 低温缓冲层技术解决了大失配异质外延生长的问题,器件可以同时获得高速响应、高量子效率和窄的光谱响应线宽。

2 器件原理和结构

长波长四镜三腔光探测器是一种基于 RCE 结构的高性能光探测器。它是将 RCE 光探测器的谐振腔分为了三个子腔—滤波腔、隔离腔和吸收腔,应用此结构的器件可以同时实现光探测器的量子效率与其响应速度和光谱响应线宽的解耦。而且,它的量子效率和光谱响应线宽可以在其相应的子腔中分别予以优化,同时具有高速、高量子效率和窄线宽的特性。

四镜三腔光探测器结构如图 1 所示,其中的 4 个反射镜可以由半导体或介质材料的四分之一波长堆栈构成。反射镜 M1 和 M2 构成了 F-P 滤波腔;吸收层位于镜 M3 和 M4 之间,它们共同形成吸收腔;反射镜 M2 和 M3 构成隔离腔,它把上两个子腔

联结起来,使之形成一个完整的器件结构。

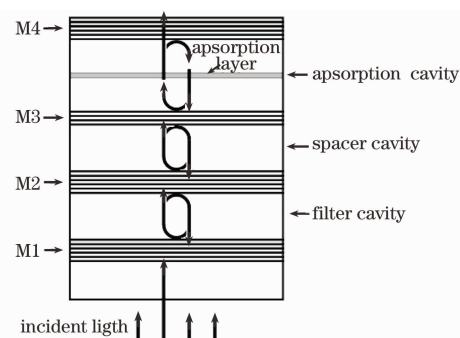


图 1 四镜三腔光探测器的结构示意图

Fig. 1 Schematic structure of the photodetector with four-mirror and three cavities

器件结构中,反射镜 M1, M2 和 M3 为 GaAs/AlGaAs 分布布拉格反射(DBR),吸收层为 InP 基 p-i-n 结构。以上部分由金属有机化合物气相沉积(MOCVD)一次生长完成,生长过程中采用 InP/GaAs 低温缓冲层技术解决大失配异质外延问题。受 MOCVD 中生长厚度的限制,反射镜 M4 采用镀膜的方法实现,沉积 3 对 Si/SiO₂ 高反射膜。器件的外延结构如表 1 所示。

表 1 四镜三腔光探测器的层结构

Table 1 Layer structure of the photodetector with four-mirror and three cavities

Material	Doping / cm ⁻³	Thickness / nm
M4 Si/SiO ₂ DBR (3 pairs)		
In _{0.53} Ga _{0.47} As	p+1×10 ¹⁹	200
InP	undoped	250
In _{0.53} Ga _{0.47} As absorber layer	undoped	350
InP	undoped	450
In _{0.53} Ga _{0.47} As	undoped	40
InP	n+2×10 ¹⁸	250
In _{0.53} Ga _{0.47} As	undoped	50
InP	undoped	1200
InP low temperature buffer	undoped	50
M3 GaAs/AlGaAs DBR (6 pairs)		
GaAs space layer		
M2 GaAs/AlGaAs DBR (20 pairs)		
GaAs resonator cavity layer		
M1 GaAs/AlGaAs DBR (20 pairs)		
Semi-insulating GaAs substrate		

3 器件测量结果

器件光谱响应的测试光源采用 Anritsu Tunics SCL 型外腔可调谐激光器,采用高精度 Keithley 2000 型数字万用表测量负载电阻上所产生的电压

值,从而得到探测器对不同波长的光波的响应。入射光功率为 1 mW,在 6 V 的反向偏压下,器件的光谱响应如图 2 所示。从图中可以看出,器件的峰值量子效率接近 70%,器件光谱响应线宽小于 0.5 nm。

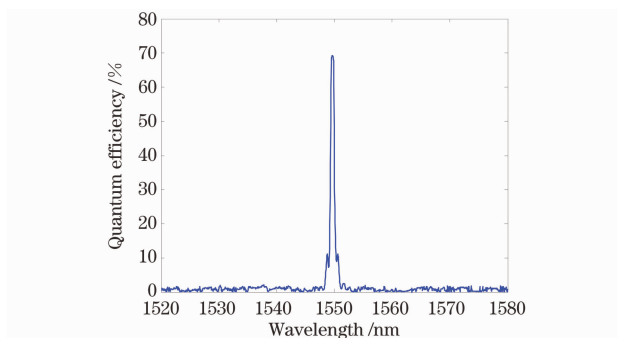


图 2 四镜三腔光探测器的光谱响应

Fig.2 Spectral response of the photodetector

器件频率响应的测量采用频域法。采用 Anritsu Tunics SCL 型外腔可调谐激光器作为测试光源,通过 HP8703A 光波器件分析仪测量器件的频率响应带宽。器件频率响应带宽的测试结果如图 3 所示,外加反向偏压 6 V,测得 3 dB 带宽为 8.1 GHz,器件的吸收层厚度为 350 nm,台面直径为 62 μm 。

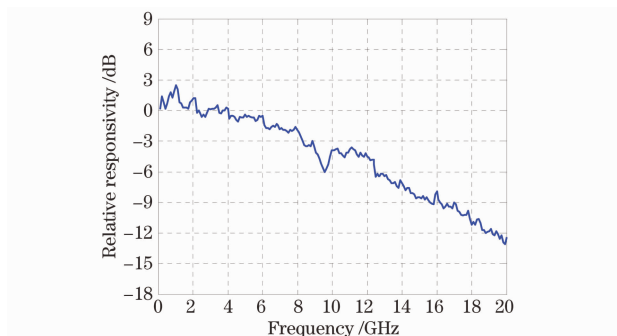


图 3 四镜三腔光探测器的频率响应特性

Fig.3 Frequency response of the device

4 结 论

报道了一种单片集成的 1550 nm 的四镜三腔

谐振腔增强型半导体光探测器。器件可以同时获得高速响应、高量子效率和窄的光谱响应线宽。制备的器件响应波长为 1550 nm,峰值量子效率接近 70%,其光谱线宽为 0.5 nm,3 dB 响应带宽大于 8 GHz。通过减小器件的台面面积,或者采用单向载流子传输光探测器结构可以进一步调高器件的响应带宽。

参 考 文 献

- 1 K. Kishino, M. S. Unlü, J. Chyi *et al.*. Resonant cavity-enhanced (RCE) photodetectors [J]. *IEEE J. Quantum Electron.*, 1991, **27**(8): 2025~2034
- 2 M. S. Unlü, S. Strite, Resonant cavity enhanced photonic devices[J]. *J. Appl. Phys.*, 1995, **78**(2): 607~639
- 3 Knodl T, Choy K H. RCE photodetector based on VCSEL structure[J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 1999, **11**(10): 1289~1291
- 4 Liu Kai, Huang Yongqing, Ren Xiaomin. Theory and experiments of a three-cavity wavelength-selective photodetector [J]. *Appl. Opt.*, 2000, **39**(24): 423~620
- 5 Ren Xiaomin, Campbell J C. A novel structure: one-mirror-inclined three-mirror-cavity high performance photodetectors[C]. Technical Proceedings of International Topic Meeting on Photoelectronics (ITMPE'97) Beijing: OSC, 1997: 81~84
- 6 Xiaomin Ren, Hui Huang, Yongqing Huang *et al.*. Long wavelength integrated optical demultiplexing and receiving device based on one-mirror-inclined three-mirror cavity structure[C]. *SPIE*, 2006, **6352**: 635218
- 7 Huang Yongqing, Huang Cheng, Wang Qi *et al.*. Analysis of a one-mirror-inclined three-mirror-cavity photodetector for high-speed application[J]. *Chin. Opt. Lett.*, 2005, **3**(1): 53~56
- 8 W. Wang, X. Ren, H. Huang *et al.*. Tunable photodetector based on GaAs/InP wafer bonding [J]. *IEEE Electron. Dev. Lett.*, 2006, **27**(10): 827~829
- 9 Qi Wang, JiheLv. Metamorphic $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}$ p-i-n photodetector grown on GaAs substrates by low-pressure MOCVD[J]. *Chin. Opt. Lett.*, 2007, **5**(6): 358~360
- 10 J. Lü, H Huang, X. Ren *et al.*. Monolithically integrated long-wavelength tunable photodetector[J]. *IEEE J. Lightwave Technol.*, 2008, **26**(3): 338~342
- 11 W. Wang, X. Ren, H. Huang *et al.*. Tunable photodetector based on GaAs/InP wafer bonding [J]. *IEEE Electron. Dev. Lett.*, 2006, **27**(10): 827~829
- 12 Xiaofeng Duan, Yongqing Huang, Xiaomin Ren *et al.*. Reconfigurable multi-channel WDM drop module using a tunable wavelength-selective photodetector array [J]. *Opt. Express*, 2010, **18**(6): 5879~5889