

基于 InP/空气隙布拉格反射镜的长波长 谐振腔光电探测器*

黄 辉¹ 王兴妍¹ 王 琦¹ 黄永清¹ 任晓敏¹ 高俊华² 张胜利²
刘 宇² 祝宁华² 马骁宇² 杨晓红² 吴荣汉²

(1 北京邮电大学光通信中心, 北京 100876)

(2 中国科学院半导体研究所, 北京 100083)

摘要: 报道了一种长波长的 InP 基谐振腔(RCE)光电探测器. 采用选择性湿法刻蚀, 制备出基于 InP/空气隙的分布布拉格反射镜, 并将该结构的反射镜引入 RCE 光电探测器. 制备的器件在波长 1.510 μm 处获得了约 59% 的峰值量子效率, 以及 8GHz 的 3dB 响应带宽, 其中器件的台面面积为 50 μm × 50 μm .

关键词: 谐振腔增强型光电探测器; 长波长; 空气隙; 选择性湿法刻蚀

PACC: 4250; 7230C

中图分类号: TN215

文献标识码: A

文章编号: 0253-4177(2004)02-0170-04

1 引言

随着波分复用(WDM)光通信技术和光网络技术的飞速发展, 高速、高量子效率、窄光谱响应线宽、可调谐以及易于耦合等特性使得谐振腔增强型(RCE)光电探测器成为光通信中的关键器件之一^[1].

对于工作波长与光通信波长窗口(1.3 μm , 1.55 μm)相匹配的 InP 基 RCE 光电探测器, 目前在器件制备上, 仍存在一定的困难, 这是因为对于 RCE 光电探测器, 要获得高的量子效率通常要求构成谐振腔的底镜的反射率接近 100%^[2]. 由于 InP 基外延材料系的折射率差通常很小, 为了获得高反射率的分布布拉格反射镜(DBR), 要求组成的介质膜对数较多, 因此器件的外延生长比较困难^[3]. 目前为了实现具有高反射率 DBR 的 InP 基光电器件所采用的方法有: 在 InP 系材料上外延生长准晶态的 GaAs/AlGaAs 的 DBR^[4,5]; 将 InP 基的吸收层材料与 GaAs 基的 DBR 键合^[6,7]等. 与以上两种方法相

比, 利用选择性刻蚀在 InP 基材料上制备 InP/空气隙的 DBR 结构具有工艺相对简单、成本低廉的优势, 目前已经实现了基于该结构的滤波器和激光器^[8,9]. 但是对于具有 InP/空气隙 DBR 结构的 RCE 光电探测器, 还未见报道.

本文研究了 InP/InGaAs 材料的选择性湿法腐蚀, 制备出基于 InP/空气隙的 DBR, 并且将该反射镜结构引入 RCE 光电探测器, 所制备的 InP 基 RCE 光电探测器在波长 1.510 μm 处获得了约 59% 的峰值量子效率, 以及 8GHz 的 3dB 响应带宽, 其中器件的台面面积为 50 μm × 50 μm .

2 器件结构与制备

器件的设计外延结构如图 1 所示, 它是利用金属有机化学气相沉积(MOCVD)技术在 InP 衬底上外延生长而成的. 首先生长 500nm 的 InP 缓冲层, 接着生长器件的底镜, 它由 In_{0.53}Ga_{0.47}As/InP/In_{0.53}Ga_{0.47}As 组成. 当其中的 In_{0.53}Ga_{0.47}As 通过选择腐蚀除去后, 形成了光学厚度分别为 $\lambda/4$, $3\lambda/4$ 和

* 国家高技术研究发展计划(编号: 2002AA31229Z)和国家自然科学基金(批准号: 90201035)资助项目

黄 辉 男, 1974 年出生, 主要从事可调谐光波技术和集成解复用接收器件的研究.

2003-03-18 收到, 2003-09-20 定稿

$\lambda/4$ 的空气隙/InP/空气隙 DBR 结构, 其设计中心波长为 1550nm. 在底镜上继续生长 112nm 厚的 InP 保护层; 400nm 厚的 p 型掺杂 $\text{In}_{0.67}\text{Ga}_{0.33}\text{As}_{0.7}\text{P}_{0.3}$ 底电极接触层; 140nm 厚的本征 $\text{In}_{0.67}\text{Ga}_{0.33}\text{As}_{0.7}\text{P}_{0.3}$ 隔离层; 300nm 厚的本征型 $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}$ 吸收层; 350nm 厚的本征 $\text{In}_{0.67}\text{Ga}_{0.33}\text{As}_{0.7}\text{P}_{0.3}$ 隔离层以及 300nm 厚的 n 型掺杂 $\text{In}_{0.67}\text{Ga}_{0.33}\text{As}_{0.7}\text{P}_{0.3}$ 顶电极接触层. 其中, 112nm 厚的 InP 保护层使得当利用选择性湿法腐蚀制备 InP/空气隙的底镜时, 光电探测器的 pin 结构与腐蚀液隔离. 谐振腔的顶镜由 InGaAsP 材料与空气界面的反射实现, 在波长 1.55 μm 时, 其计算的反射率约为 27%; 1.5 对 InP/空气隙的底镜的计算的反射率约为 95%.

n- $\text{In}_{0.67}\text{Ga}_{0.33}\text{As}_{0.7}\text{P}_{0.3}$	300nm	$1 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$
i- $\text{In}_{0.67}\text{Ga}_{0.33}\text{As}_{0.7}\text{P}_{0.3}$	350nm	
i- $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}$	300nm	
i- $\text{In}_{0.67}\text{Ga}_{0.33}\text{As}_{0.7}\text{P}_{0.3}$	140nm	
p- $\text{In}_{0.67}\text{Ga}_{0.33}\text{As}_{0.7}\text{P}_{0.3}$	400nm	$1 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$
Undoped- InP	112nm	
Undoped- $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}$	387nm	
Undoped- InP	367nm	
Undoped- $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}$	387nm	
Undoped- InP buffer	500nm	
Undoped- InP substrate		

图 1 器件设计的外延结构

Fig. 1 Schematic diagram of epitaxial structure

器件结构如图 2 所示. 在沉积了 $\text{SiN}_x\text{O}_{1-x}$ 钝化膜后, 接着在器件台面两侧纵向刻蚀小孔, 然后置于 FeCl_3 溶液中, 腐蚀液则通过小孔横向腐蚀底镜中

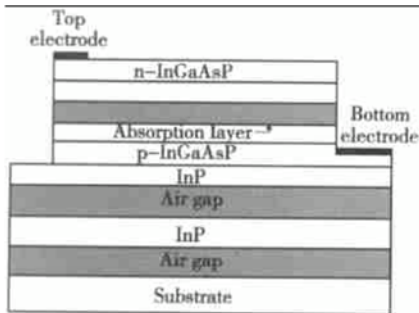


图 2 器件的结构示意图

Fig. 2 Schematic cross section of the photodetector

的两层 InGaAs 材料, 于是在器件的台面下就形成了 1.5 对的 InP/空气隙 DBR 结构. 所制备的 RCE 光电探测器的光学显微图像, 如图 3 所示. 其中器件的台面为 $50\mu\text{m} \times 50\mu\text{m}$, 入光面为 $35\mu\text{m} \times 50\mu\text{m}$ (未

被上电极挡住的台面面积).

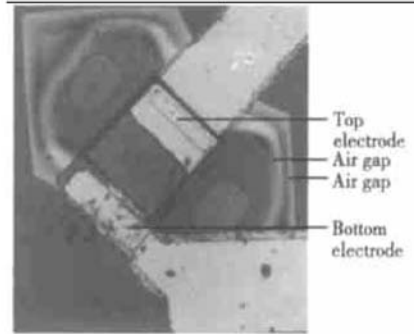


图 3 器件的光学显微图像

Fig. 3 Optical microscope image of the photodetector

3 理论分析与实验结果

对于 pin 异质结光电探测器, 限制其响应速率的主要因素有: (1) 载流子在耗尽层的渡越时间; (2) 固有和寄生电容的充放电时间; (3) 产生于非耗尽层的载流子扩散时间; (4) 异质结的电荷俘获. 由于吸收层两侧的隔离区采用宽带隙材料使其对所需要探测的光不吸收, 不存在载流子扩散时间的限制; 同时避免过大的异质结带隙差, 并且使异质结处于耗尽层的强电场中, 异质结的电荷俘获时间限制也可以忽略. 对于我们所制备的 RCE 光电探测器, 耗尽层的载流子渡越时间和器件的固有电容成为限制器件响应速率的主要因素^[2]. 对于图 1 所示的器件结构, 当器件台面面积为 $50\mu\text{m} \times 50\mu\text{m}$ 时, 计算得到的 3dB 响应带宽约为 7.5GHz.

利用传输矩阵法, 对器件的光谱响应进行模拟, 结果如图 4 所示. 模拟时考虑了外延生长的厚度偏差, 使用光栅单色仪和锁相放大器对器件的光谱响应进行测试, 结果如图 5 所示. 图 4、图 5 中的虚线

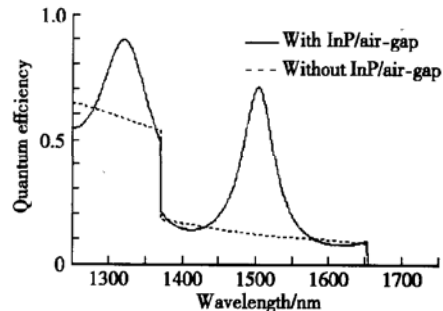


图 4 计算的模拟器件的光谱响应

Fig. 4 Calculated spectral response of devices

和实线分别对应还未腐蚀和已经腐蚀出 InP/空气隙 DBR 的器件.

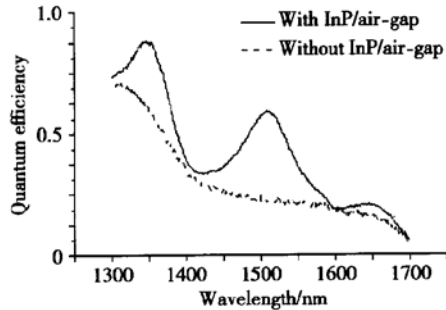


图 5 实际器件的光谱响应

Fig. 5 Measured spectral response of devices at 3V reverse bias

由图 5 可知, 器件在 1510nm 处的峰值量子效率约为 59%, 其半峰值宽度(FWHM)约 65nm. 对比图 4 与图 5, 可知实验结果与理论基本吻合, 实际器件的外延厚度为设计值的 97% (设计的工作波长为 1550nm). 实验结果说明所制备的 InP/空气隙成功地实现了 DBR 的功能. 如果接着在器件台面上蒸镀介质膜 DBR 以提高顶镜的反射率, 则会进一步提高器件量子效率和减小响应线宽.

利用 HP8703A 型光波元件分析仪, 在 3.0V 反向偏压下, 器件的响应带宽测试结果如图 6 所示. 由图可知, 器件的 3dB 带宽达到 8GHz. 进一步减小器件台面面积和优化器件结构, 则可以成倍地提高响应带宽.

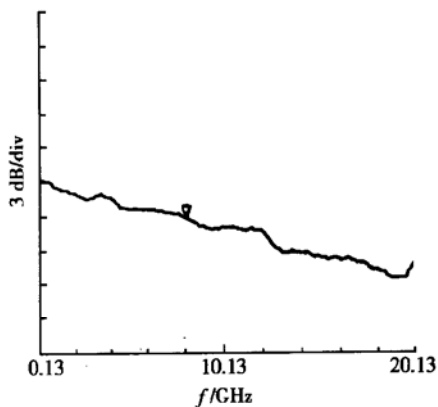


图 6 器件的响应带宽

Fig. 6 Measured frequency response of the photodetector

4 结论

我们利用选择性湿法腐蚀, 成功地制备出了 InP/空气隙的分布布拉格反射镜, 并且首次将该反射镜结构引入 RCE 光电探测器. 所制备的具有 InP/空气隙 DBR 的长波长 RCE 光电探测器, 在波长 1.510 μm 处获得了约 59% 的峰值量子效率, 以及 8GHz 的 3dB 响应带宽, 其中器件的台面面积为 50 μm \times 50 μm .

致谢 感谢周震、崇英哲、雷蕾和钟源博士对本试验的大力支持与帮助.

参考文献

- [1] Zhou Yuxin, Cheng J, Allerman A A. High-speed wavelength-division multiplexing and demultiplexing using monolithic quasi-planar VCSEL and resonant photodetector arrays with strained InGaAs quantum well. *IEEE Photonics Technol Lett*, 2000, 12(2): 122
- [2] Ünlü M S, Strite S. Resonant cavity enhance photonic devices. *J Appl Phys*, 1995, 78: 607
- [3] Dental A G, Kuchibhotla G, Campbell J C, et al. High quantum efficiency, long wavelength InP/InGaAs microcavity photodiode. *Electron Lett*, 1991, 27(23): 2125
- [4] Goldstein L, Fortin C, Stark C, et al. GaAlAs/GaAs metamorphic Bragg mirror for long wavelength VCSEL's. *Electron Lett*, 1998, 34(3): 268
- [5] Yuen W, Li G S, Nabiev R F, et al. High-performance 1.6 μm single-epitaxy top-emitting VCSEL. *Electron Lett*, 2000, 36(13): 1121
- [6] Tan I H, Dudley J J, Babic D I, et al. High quantum efficiency and narrow absorption bandwidth of the wafer-fused resonant In_{0.53}Ga_{0.47}As photodetectors. *IEEE Photonics Technol Lett*, 1994, 6(7): 811
- [7] Ohiso Y, Amano C, Itoh Y, et al. Long-wavelength (1.55 μm) vertical-cavity lasers with InGaAsP/InP-GaAs/AlAs DBRs by wafer fusion. *IEEE J Quantum Electron*, 1998, QE-34: 1904
- [8] Spisser A, Ledantec R, Scassal C, et al. Highly selective and widely tunable 1.55- μm InP/air-gap micromachined Fabry-Perot filter for optical communications. *IEEE Photonics Technol Lett*, 1998, 10: 1259
- [9] Streubel K, Rapp S, Andre J, et al. 1.26 μm vertical cavity laser with two InP/air-gap reflectors. *Electron Lett*, 1996, 32(15): 1369

Long Wavelength Resonant Cavity Photodetectors with InP/Air-Gap Bragg Mirrors*

Huang Hui¹, Wang Xingyan¹, Wang Qi¹, Huang Yongqing¹, Ren Xiaomin¹, Gao Junhua²,
Zhang Shengli², Liu Yu², Zhu Ninghua², Ma Xiaoyu², Yang Xiaohong² and Wu Ronghan²

(1 *Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China*)

(2 *Institute of Semiconductors, The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100083, China*)

Abstract: An InP based resonant cavity enhanced (RCE) photodetector is demonstrated. InP/air-gap distributed Bragg reflector (DBR) with high reflectivity is fabricated by using selective wet etching. Moreover, long wavelength RCE photodetectors with InP/air-gap DBR is realized for the first time. The quantum efficiency of 59% at 1.510 μm and 3dB bandwidth at 8GHz are achieved with devices active area of 50 μm \times 50 μm .

Key words: resonant cavity enhanced (RCE) photodetector; long wavelength; air gap; selective wet etching

PACC: 4250; 7230

Article ID: 0253-4177(2004)02-0170-04

* Project supported by National High Technology Research and Development Program of China(No. 2002AA31229Z), National Natural Science Foundation of China(No. 90201035)

Huang Hui male, was born in 1974. He is engaged in the research on metalorganic chemical vapor deposition.

Received 18 March 2003, revised manuscript received 20 september 2003

©2004 The Chinese Institute of Electronics