

## GaAs/Al<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>As 量子阱红外探测器光谱特性研究

胡小英,刘卫国,段存丽,蔡长龙,关晓

(西安工业大学 光电工程学院,陕西 西安 710032)

**摘要:** 采用金属有机物化学气相沉积法(MOCVD)生长 GaAs/Al<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>As 量子阱材料,制备 300 μm×300 μm 台面,内电极压焊点面积为 20 μm×20 μm,外电极压焊点面积为 80 μm×80 μm 单元量子阱器件两种。利用傅里叶光谱仪对 1#,2# 样品进行 77K 液氮温度光谱响应测试。实验结果显示 1#,2# 样品峰值响应波长分别为 8.43 μm,8.32 μm,与根据薛定谔方程得到器件理论峰值波长 8.5 μm 间误差分别为 1.0%,2.1%。实验结果说明 MOCVD 技术可以满足 QWIP 生长制备工艺要求,且器件电极压焊点位置与面积大小对器件峰值波长影响不大,而对峰值电流有一定影响。

**关键词:** GaAs/Al<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>As; 量子阱红外探测器; 金属有机物化学气相沉积法; 光谱特性  
**中图分类号:** TN215 **文献标志码:** A **文章编号:** 1007-2276(2015)08-2305-04

## Spectroscopic characteristics of GaAs/Al<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>As quantum well infrared photodetectors

Hu Xiaoying, Liu Weiguo, Duan Cunli, Cai Changlong, Guan Xiao

(School of Optoelectronic Engineering, Xi'an Technological University, Xi'an 710032, China)

**Abstract:** The method of metal chemical vapor deposition (MOVCD) was used to grow the GaAs/Al<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>As quantum well infrared photodetectors(QWIPs). The two sample-devices had large surface area 300 μm×300 μm. But its pressure welding area of electrode in was 20 μm×20 μm while that of the one out was 80 μm×80 μm. Their spectroscopic characteristics were measured at 77K by use of Fourier Transform Spectrometer. The results show that the peak wavelength of 1# and 2# are 8.43 μm and 8.32 μm respectively. While the theoretical one is 8.5μm according to Schrodinger equation. Thus the error between the experimental value and theoretical one of 1# and 2# are 1% and 2.1% respectively. Simulations demonstrate that metal chemical vapor deposition can satisfy quantum well infrared photodetectors processing needs and the different pressure welding area and position of electrode may has no influence on peak wavelength but has some influence on peak photocurrent.

**Key words:** GaAs/Al<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>As; quantum well infrared photodetectors; metal organic chemical vapor deposition; spectroscopic characteristics

收稿日期:2014-12-05; 修订日期:2015-01-10

基金项目:兵器预研基金项目(62201070821);总装光电专用(40405030104);陕西省重点实验室开放基金(ZSKJ201301);西北工业大学校长开放基金(XAGDXJJ1401);重点院长基金(13GDYJZ01)

作者简介:胡小英(1978-),女,副教授,博士,主要从事红外微光电子技术研究。Email: 490027874@qq.com

## 0 引言

量子阱红外探测器 (Quantum Well Infrared Photodetector, QWIP) 是先进的薄膜生长技术与微电子学相结合的一种新型红外探测器件<sup>[1]</sup>。因为量子阱材料与器件制备工艺成熟,且可实现多色、大面积高均匀性的焦平面阵列,以及能与读出电路集成等诸多优点而受到国内外研究学者的青睐<sup>[2-5]</sup>。为适应不同波段探测要求,可有目的地控制其多量子阱(MQW)材料生长参数以形成合适的能带结构。然而在实际 MQW 金属有机物化学气相沉积法(Metal Organic Chemical Vapor Deposition, MOVCD) 生长过程中<sup>[6]</sup>,由于响应波长对于量子阱工艺参数十分敏感,导致制备材料有时与设计值间存在明显差异<sup>[7-9]</sup>。由于器件制备工艺复杂,人们希望在器件制备前能从材料上直接获得探测器一些基本特性,如峰值响应波长等<sup>[10]</sup>。文中通过对具有不同电极压焊点面积与位置 QWIP 的 1#, 2# 样品进行光谱响应测试,旨在判断 MOVCD 生长工艺能否满足 QWIP 制备要求,为科学规范量子阱材料生长制备工艺提供参考与指导。并分析器件电极压焊点位置与面积大小是否影响器件光谱响应特性,以便为器件电极位置的确定提供理论依据。

## 1 实验样品

采用 MOVCD 生长 GaAs/Al<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>As 量子阱材料,用湿法刻蚀出面积为 300 μm×300 μm 台面,以 AuGeNi/Au 层做上下电极的欧姆接触层,制成两种电极位置与面积不同 QWIP 样品如图 1 所示。

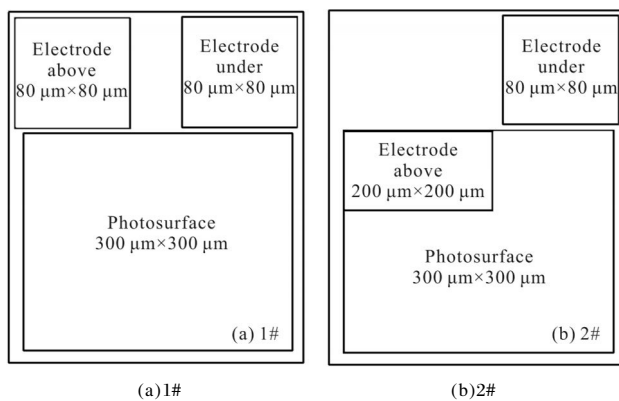


图 1 QWIP 样品结构示意图

Fig.1 Structure of QWIP samples

其中图 1(a)为 1# 样品:其上下电极对称分布于光敏外,压焊点面积为 80 μm×80 μm;而(b)为 2# 样品:其上电极位于光敏面上,压焊点面积 80 μm×80 μm,下电极位于光敏面外,压焊点面积 20 μm×20 μm。分别对其进行侧面 45°抛光,用金丝球焊出电极引线以待测试使用。这里需要说明的是,两样品是在相同生长工艺,相同生长环境与条件下制备而成,所不同的只是电极压焊点面积大小与位置而已。

## 2 实验平台

利用傅里叶变换法,通过对 PE-GX 型傅里叶变换红外光谱仪进行改进,设计了 QWIP 光谱响应测试系统方框图,如图 2 所示,其主要由光源、分光、制冷系统、标定部分、检测与数据采集部分、及综合型测试软件组成。实现了对器件光谱特性的检测、读取、处理、显示、保存及打印。

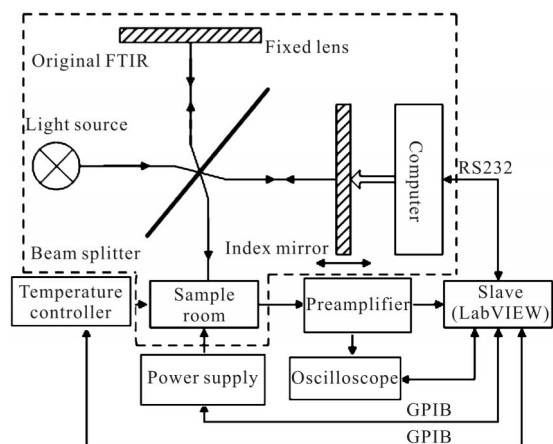


图 2 QWIP 光谱响应系统方框图

Fig.2 Block diagram of spectroscopic characteristics of QWIP

## 3 实验结果分析与探讨

实验在 Fourier 变换红外光谱仪上进行,将 QWIP 器件封装后置入样品室进行测试,采用液氮循环制冷机进行制冷,恒压源为探测器提供偏置电压 5.0 V,利用 SR570 电流前置放大器对样品输出信号进行放大。考虑该器件背景辐射限温度较低,设定样品测试温度为 77 K。可得 1#, 2# 样品光谱响应测试曲线,如图 3(a)、(b)所示。

由图 3(a)可知,1# 样品峰值响应波长为 8.43 μm,其截止波长为 8.85 μm;而由图 3(b)可知,2# 样品峰

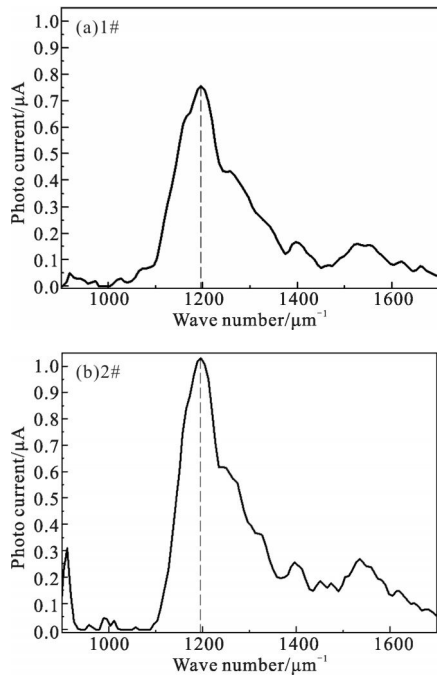


图 3 1#, 2# 样品光谱响应曲线

Fig.3 Spectral response curve of 1# and 2# QWIP

值响应波长为 8.32 μm, 其截止波长为 8.73 μm。根据 QWIP 探测峰值波长表达式:

$$\lambda_p = \frac{hc}{E_2 - E_1} \quad (1)$$

式中:  $E_1$  为阱中基态能级, 可由传输矩阵法获得;  $E_2$  为阱中激发态能级, 可由薛定谔方程求解;  $h$  为普朗克常量;  $c$  为光速。能级的计算基于有限深方势阱模型和有效质量近似理论。可得器件峰值波长理论计算值与实验值, 如表 1 所示。

表 1 1#, 2# 峰值响应波长理论值与实验值

Tab.1 Theoretical and experimental values of 1# and 2# peak response wavelength

No.	$\Delta E = E_2 - E_1 / \text{meV}$			Wavelength / $\mu\text{m}$		
	Calculations	Experiments	Deviation	Calculations	Experiments	Deviation
1#	146.9	147.1	0.2	8.5	8.43	0.07
2#	146.9	149.0	2.1	8.5	8.32	0.18

由图 3(a)可知: 1# 样品峰值响应波长为 8.43 μm, 实验值与理论值 8.5 μm 相差 0.07 μm, 误差约为 1.0%; 由图 3 (b) 可知: 2# 样品峰值响应波长为 8.32 μm, 实验值与理论值 8.5 μm 相差 0.18 μm, 误差为 2.1%。两样品峰值响应波长实验值与理论值

误差均小于 5%(这里忽略台阶表面和台阶四周离子运动), 笔者认为该误差主要是由测试系统与仪器设备引起, 说明器件电极压焊点位置与面积大小对器件峰值响应波长影响不大, 金属有机物化学气相沉积法可以满足 GaAs/AlGaAs 量子阱材料的生长制备要求。

而根据 QWIP 探测峰值波长计算公式(1)可得: 1# 样品电子跃迁能量为 147.1 meV, 而理论峰值响应波长 8.5 μm 所对应电子跃迁能量为 146.9 meV, 二者相差 0.2 meV; 2# 样品电子跃迁能量为 149.0 meV, 而理论峰值响应波长 8.5 μm 对应电子跃迁能量为 146.9 meV, 二者相差 2.1 meV。两样品电子跃迁能量实验值与理论值误差均小于 2%, 说明器件电极压焊点位置与面积大小对器件微观电子跃迁能级几乎没有影响, 以及制备该器件的量子阱材料生长工艺, 环境, 及条件相对较好。

但 1# 样品峰值光电流为 0.75 μA, 而 2# 样品峰值光电流为 1.25 μA。2# 样品峰值光电流是 1# 样品的 1.67 倍, 二者相差 0.5 μA。笔者认为引起 2# 样品峰值光电流过大的主要原因是其位于台面上的电极存在极间漏电所致, 这说明器件电极压焊点位置与面积大小对器件电流有一定影响, 尤其电极压焊点面积大小及焊接质量将直接决定极间漏电的大小, 同时建议采用 1# 样品的电极模式以避免影响器件的宏观电特性。

#### 4 结论

通过对实验结果分析表明, 两样品光谱响应实验值与理论值间误差主要由测试系统与仪器设备引起, GaAs/Al<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>As 量子阱红外探测器电极压焊点位置与面积大小对其宏观峰值响应波长与微观电子跃迁能级没有影响 (这里忽略台阶表面和台阶四周离子运动), 由此可知制备该器件量子阱材料的生长工艺、环境及条件相对较好, 说明 MOCVD 技术可以满足量子阱材料的生长制备工艺要求。但位于器件台面上的电极, 由于存在极间漏电而对器件峰值电流, 尤其器件的宏观电特性有一定影响。这对于宏观指导并确定光电器件电极压焊点的位置与面积大小提供了理论依据, 并为改进和优化 MOCVD 生长制备工艺奠定了基础。

## 参考文献:

- [1] Lu Wei, Li Ning, Zhen Honglou, et al. A new group of infrared opto-electronics—quantum well infrared photodetectors [J]. *Science in China (Series G: Physics, Mechanics & Astronomy)*, 2009, 39 (3): 336–343. (in Chinese)  
陆卫, 李宁, 甄红楼, 等. 红外光电子学中的新族—量子阱红外探测器 [J]. 中国科学 (物理学力学天文学), 2009, 39 (3): 336–343.
- [2] Hu Xiaoying, Liu Weiguo. Microstructure studies of GaAs/Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>As quantum well infrared photodetector [J]. *High Power Laser and Particle Beams*, 2013, 25 (6): 1405–1408. (in Chinese)  
胡小英, 刘卫国. GaAs/Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>As 量子阱红外探测器微结构研究[J]. 强激光与离子束, 2013, 25(6): 1405–1408.
- [3] Mehjabeen A Khan, Akeed A Pavel, Naz Islam. Intersubband transition in asymmetric quantum well infrared photodetector [J]. *IEEE Transactions on Nano Technology*, 2013, 12(4): 521–523.
- [4] Kwong-Kit Choi, Murzy D Jhabvala, David P Forrai, et al. Electromagnetic modeling and design of quantum well infrared photodetectors [J]. *IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics*, 2013, 19(5): 3800310.
- [5] Ribet-Mohamed I, Le Rouzo J, Rommeluere S, et al. Advanced characterization of the radiometric performances of quantum well infrared photodetectors [J]. *Infrared Physics & Technology*, 2005, 47: 119–131.
- [6] Hu Xiaoying, Liu Weiguo, Duan Cunli, et al. Research on dark current of GaAs/Al<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>As quantum well infrared photodetector by HRTEM[J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2014, 43(4): 3057–3060. (in Chinese)  
胡小英, 刘卫国, 段存丽, 等. GaAs/Al<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>As QWIP 暗电流特性 HRTEM 研究[J]. 红外与激光工程, 2014, 43(4): 3057–3060.
- [7] Zhang Chi, Chang Huiting, Zhao Fangyuan, et al. Design principle of Au grating couplers for quantum-well infrared photodetectors[J]. *Optics Express*, 2013, 38(20): 4037–4039.
- [8] Kwong-Kit Choi, Murzy D Jhabvala, et al. Electromagnetic modeling of quantum well infrared photodetectors [J]. *IEEE Journal of Quantum Electronics*, 2012, 48(3): 384–393.
- [9] Li N, Xiong D Y, Yang X F, et al. Dark currents of GaAs/AlGaAs quantum-well infrared photodetectors[J]. *Appl Phys A*, 2007, 89: 701–705.
- [10] Jin Jupeng, Liu Dan, Wang Jianxin, et al. 320×256 GaAs/AlGaAs long-wavelength quantum well infrared photodetector focal plane array [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2012, 41(4): 833–837. (in Chinese)  
金巨鹏, 刘丹, 王建新, 等. 320×256 GaAs/AlGaAs 长波红外量子阱焦平面探测器[J]. 红外与激光工程, 2012, 41(4): 833–837.