

100mm InGaP/ GaAs HBT 及相关 电路关键工艺*

石瑞英¹ 孙海锋² 刘训春² 刘洪民²

(1 四川大学物理系, 成都 610064)

(2 中国科学院微电子研究所, 北京 100029)

摘要: 对 100mm In_{0.49}Ga_{0.51}P/ GaAs HBT 器件及相关电路制备中的 In_{0.49}Ga_{0.51}P 腐蚀问题、聚酰亚胺平面化、空气桥等几项关键工艺进行了研究, 解决了器件及电路制备过程中出现的难题, 尤其是用很简单的方法解决了 In_{0.49}Ga_{0.51}P 腐蚀过程中经常出现的腐蚀“岛”问题, 并且成功地制作出所设计的器件及电路。

关键词: In_{0.49}Ga_{0.51}P 腐蚀; 聚酰亚胺平面化; 空气桥

EEACC: 1350F; 2560J

中图分类号: TN385

文献标识码: A

文章编号: 0253-4177(2005)01-0106-05

1 引言

GaAs HBT 及相关电路在光纤通信及无线通信领域有着广阔的应用前景, 而我国在这方面的研究相对来说起步较晚, 制备工艺并不完善, 在器件及电路的制备过程中, 仍有许多有待解决的问题. 因此我国光纤通信及无线通信系统中的主要元部件主要依赖进口, 这严重制约了我国国民经济的发展, 甚至对国家的信息安全构成了巨大的威胁. 所以对 100mm GaAs HBT 及相关电路制备工艺的研究是至关重要的.

在 GaAs HBT 及相关电路的制备过程中存在许多工艺难题需要解决: (1) In_{0.49}Ga_{0.51}P 腐蚀过程中经常出现的腐蚀“岛”问题; (2) 由于台面结构存在的金属爬坡时的断线问题; (3) 如何减少交叉金属引起的寄生电容等问题. 对这些问题的解决直接影响到器件及其电路制备的成败. 本文针对 100mm In_{0.49}Ga_{0.51}P/ GaAs HBT 器件及电路中出现的上述难题进行了深入、系统的研究, 并在研究过程中解决了电路制备中出现的上述难题, 进一步完善了制备工艺, 制作出

了所设计的器件及电路, 并对所制备出的电路进行了测试和分析.

2 In_{0.49}Ga_{0.51}P 腐蚀过程中存在的问题

在 In_{0.49}Ga_{0.51}P/ GaAs HBT 的制备过程中, 往往采用 HCl 系腐蚀液, 尽管用这种方法腐蚀 In_{0.49}Ga_{0.51}P 已取得了巨大成功, 可有时在发射极金属周围会出现一些“小岛”, 如图 1 所示. 这些“岛”的存在将增加基区串联电阻, 影响后续工艺的制作和器件性能, 严重时将造成器件的 EB 结短路, 致使器件损坏. 为了提高器件的性能及成品率, 必须找到产生“岛”的原因并提出相应的解决方案.

我们采取分析与逐步排除的方法以寻求产生问题的原因并找到解决的方法. 首先研究腐蚀温度及腐蚀时间对“岛”的影响. 用 TiPtAu 作发射极金属, 腐蚀液的温度为 30℃, 腐蚀时间分别为 5、20 和 60s. 实验监测, 5s 之内即可把 In_{0.49}Ga_{0.51}P 腐蚀掉, 可是腐蚀时间为 5s 和 20s 时发现发射极金属周围有“岛”存在, 腐蚀时间为 60s 时没有发现“岛”. 在腐蚀

* 国家重点基础研究发展计划资助项目 (批准号: G200006830403)

石瑞英 女, 副教授, 目前主要从事化合物半导体器件及微波单片集成电路等方面的研究.

2003-12-16 收到, 2004-04-08 定稿

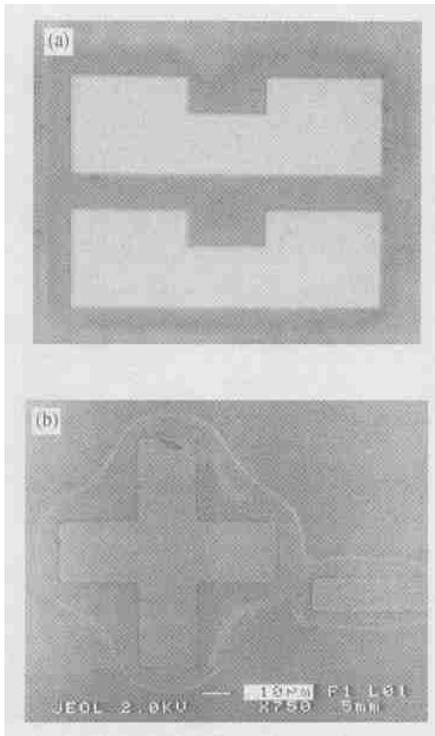


图 1 在用 HCl 系腐蚀液腐蚀 InGaP 时出现的腐蚀“岛” (a) 数码相机照片; (b) 电镜照片

Fig. 1 “Island” formation nearby the emitter contact as InGaP layer is etched in HCl solution (a) Digital camera picture; (b) SEM picture

液的温度为 50 时,重复上述实验,观察到类似的结果,所不同的是腐蚀时间为 20s 时,腐蚀液的温度高时样品表面的“岛”小.在腐蚀时间为 5s 之内已经腐蚀到基区,可腐蚀时间为 20s 时发射极周围仍有“岛”,这说明此时发射极周围仍有 $In_{0.49}Ga_{0.51}P$ 存在,也说明发射极金属周围 $In_{0.49}Ga_{0.51}P$ 的腐蚀速度慢,而远离金属处的腐蚀速度快.利用过腐蚀可以避免“岛”的产生.

为了证实是金属影响还是其他原因影响腐蚀速度的均匀性,实验中不蒸发射极金属,直接用光刻胶作掩膜,重复上述实验,发现在不同温度不同腐蚀时间下,发射极周围均无“岛”存在.这说明发射极金属的存在是“岛”出现的原因.

为了寻找不同金属对产生“岛”的影响,分别只用 Ti, Pt, Au 中的一种金属作发射极,重复上述不同温度、不同腐蚀时间 $In_{0.49}Ga_{0.51}P$ 的腐蚀实验.发现用 Ti 或 Pt 作为发射极金属时,在不同温度和腐蚀时间发射极周围均无“岛”存在,而用 Au 做发射极金属时,却有“岛”出现,所有实验结果列于表 1. 从上述实验结果可以看出, Au 是引起发射极金属周围

“岛”出现的原因.

表 1 不同掩膜,不同腐蚀时间,不同腐蚀温度时用 HCl 系腐蚀液腐蚀 $In_{0.49}Ga_{0.51}P$ 的实验结果

Table 1 Island formation nearby the emitter contact as InGaP layer is etched in HCl solution

温度/	30			50		
时间/s	5	20	60	5	20	60
TiPtAu	有	有	无	有	有	无
光刻胶	无	无	无	无	无	无
Ti	无	无	无	无	无	无
Pt	无	无	无	无	无	无
Au	有	有	无	有	有	无

从表 1 及上述分析可以看出,在用 TiPtAu 作发射极金属,用 HCl 系腐蚀液腐蚀 $In_{0.49}Ga_{0.51}P$ 时,只要把腐蚀时间延长到 60s,就不会出现腐蚀“岛”,如图 2 所示.我们用很简单的方法解决了制作过程中出现的难题.

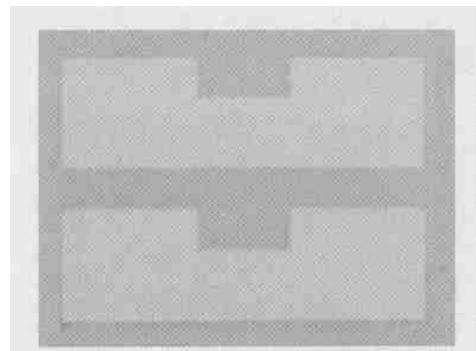


图 2 改进工艺条件后用 HCl 系腐蚀液腐蚀 InGaP 时的照片
Fig. 2 No island formation nearby the emitter contact as InGaP layer is etched in HCl solution after improved process

3 聚酰亚胺平坦化

由于 HBT 是台面结构,在引线爬腐蚀台面边沿时很容易出现断线等问题.为了避免断线的发生,在制作中我们采用了聚酰亚胺平面化工艺.聚酰亚胺除可用于器件的平面化以外,也可起到钝化作用^[1,2].聚酰亚胺的相对介电常数只有 2.9^[3],比 SiO_2 的 3.8 ~ 3.9 及 Si_3N_4 的 7.5 ~ 8.7^[1] 均低.由于它较低的介电常数及可用较厚的聚酰亚胺,因此它可以起到降低器件 BC 结寄生电容,提高器件截止频率的作用,另外,它还可降低布线金属的寄生电容使集成电路高速化^[4,5].从上面的分析可以看出,

在电路制备时采用聚酰亚胺平面化工艺对其制备工艺的研究是非常重要的。

在 HBT 器件及电路的制备过程中我们所用聚酰亚胺平坦化的工艺流程如下：

(1) 涂聚酰亚胺, 在 95 的热板上烘几十秒; 然后放入 120 的烘箱中, 随后再放入 180 的烘箱中烘干;

(2) 涂 9912 胶, 曝光, 显影;

(3) 用丙酮去 9912 胶;

(4) 固化: 先在 120 的烘箱中烘数分钟, 随后在固化炉中固化。

步骤(1)中在 180 烘箱中烘干的时间控制显影后图形的陡直程度, 样品在 180 烘箱中的时间越长, 图形钻孔就越小, 反之, 图形的侧向钻蚀就越严重, 所以要根据需要严格控制样品在 180 烘箱中的时间。聚酰亚胺平坦化后器件剖面的电镜照片如图 3 所示。从图中可以看出, 用聚酰亚胺平坦化后 HBT 的腐蚀台面处呈缓坡, 因此金属布线时连续, 有效地避免引线爬坡时出现的断线问题。

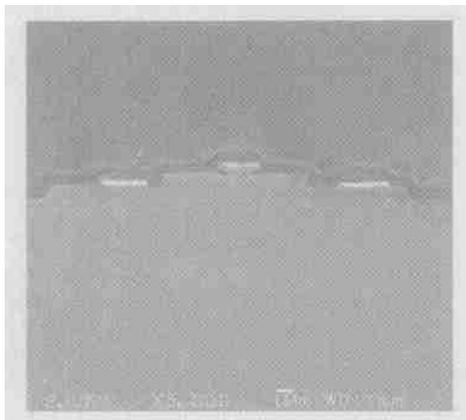


图 3 聚酰亚胺平坦化后器件剖面的 SEM 照片

Fig. 3 Cross section SEM picture of polyimide planarization

4 空气桥的制备

空气桥是微波器件及超高速单片集成电路制造中不可缺少的技术。它可使交叉布线产生的寄生电容减至最小, 从而提高器件的频率及电路的速度。

在制备空气桥时, “桥模”的制备是非常关键的步骤, 为了避免布线金属在爬“桥模”时断线, “桥模”边沿不能做成陡直形状, 必须具有一定的坡度。得到圆滑的“桥模”图形后, 用布线版光刻, 蒸发布线金属, 剥离, 空气桥制备成功。电路中的空气桥数码照

片如图 4 所示。

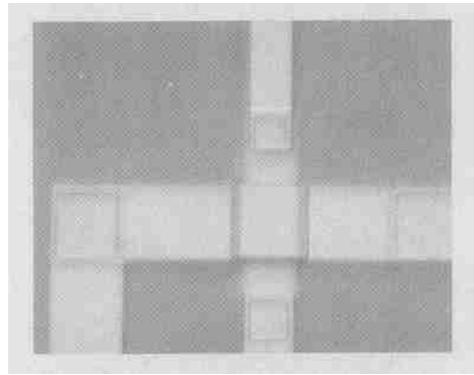


图 4 电路中所制备的空气桥照片

Fig. 4 Air-bridge picture on circuit

5 制备结果

在解决了 GaAs HBT 器件及电路制备中几项关键技术难题的基础上, 我们成功地制作了 $\text{In}_{0.49}\text{Ga}_{0.51}\text{P}/\text{GaAs}$ HBT 器件及所设计的光调制器驱动电路, 电路图如参考文献[6]所示。为了达到输出电压的要求, 采用两级差分输出, 两级差分管下均有恒流源。第一级差分对管下采用的是镜像恒流源; 第二级差分对管下为一普通恒流源, 它的基极为外加电压, 用 V_{ip} 表示, 它的值比电源电压高 1.5V 左右。在输出端另外有两个管子, 它们的集电极分别与两个差分输出管的集电极相连接, 发射极分别与电阻相接, 这两个管的基极连在一起, 基极电压为外加电压, 用 V_{bz} 表示。制备出的 $\text{In}_{0.49}\text{Ga}_{0.51}\text{P}/\text{GaAs}$ HBT 单管数码照片如图 5 所示。光调制器驱动电路照片如图 6 所示。用在片测试的方法对所制备电路的功能进行了测试分析。

在电源电压 V_{EE} 为 - 5.2V, 输入电压 V_{in} 为 - 0.8 ~ - 1.6V, 参考电压 V_{ref} 为 - 1.2V, 输出级恒流源基区电压 V_{ip} 比电源电压高 1.5V, V_{bz} 与电源电压相同时, 测得输出峰电压为 3V, 这时电路中总的电流为 200mA。输入与同相端输出电压波形如图 7 所示, 图中每格为 1V, 图的上半部分为输入电压波形, 下部分为同相端输出电压波形。同相端与反相端输出电压波形如图 8 所示, 图的上半部分为反相端输出电压波形, 下部分为同相端输出电压波形, 图中每一格为 1.5V。从图 8 中可以看出, 它的同相端与反相端输出电压的相位相反, 输出电压的幅度相同, 均达到 3V 的设计要求, 这说明电路的功能正常。

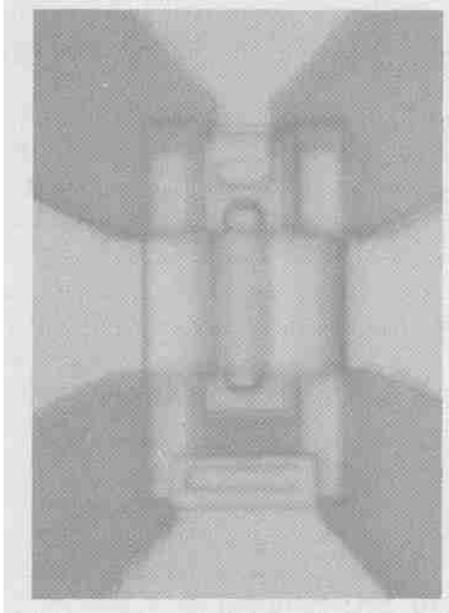


图 5 HBT单管照片
Fig. 5 Picture of InGaP/ GaAs HBT

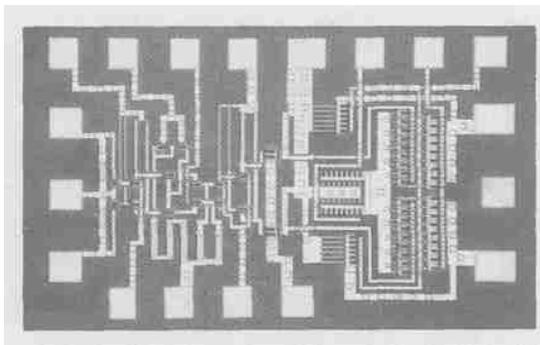


图 6 光调制器驱动电路照片
Fig. 6 Optical modulator driver circuit picture

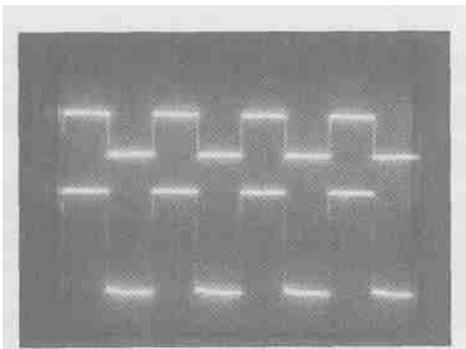


图 7 光调制器驱动电路输入与同相端输出电压波形
Fig. 7 Optical modulator driver circuit input and output voltage waveforms

调节电源电压的值可以改变输出电压峰值的幅度. 当电源电压 VEE 升高时, 输出电压的幅度增加,

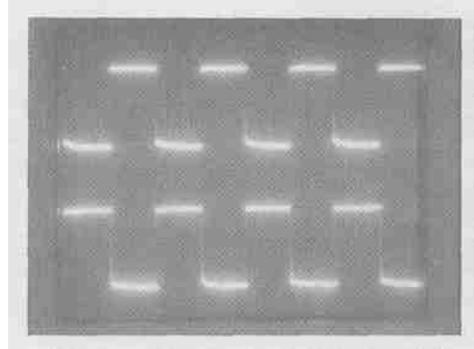


图 8 光调制器驱动电路反相端与同相端输出电压波形
Fig. 8 Optical modulator driver circuit output voltage wave forms

VEE 为 5.35V 时, 输出电压可达 4V; 而当电源电压 VEE 降低时, 输出电压的幅度也随之下降, VEE 为 4.83V 时, 输出电压降至 2.4V.

在其他条件不变的情况下, 改变输入电压的逻辑摆幅 V_{in} , 可以看出输出电压的幅度与输入电压的关系. 当 V_{in} 开始减小时, 输出电压的峰值不变; 当 V_{in} 降低到 0.2V 时, 输出电压的峰值开始下降; 当 V_{in} 下降到 0.1V 时, 输出电压的幅度才降到 1.3V, 可见该电路有较大的噪声容限.

6 结论

本文对 100mm $In_{0.49}Ga_{0.51}P/GaAs$ HBT 器件及其电路关键工艺进行了研究, 主要解决了电路制备过程中的以下难题: (1) $In_{0.49}Ga_{0.51}P$ 腐蚀过程中经常出现的腐蚀“岛”问题. 发现它是由金属 Au 周围 $In_{0.49}Ga_{0.51}P$ 腐蚀速度变慢造成的, 通过延长腐蚀时间这种简单的方法解决了困扰多时的工艺难题. (2) 对聚酰亚胺平面化工艺进行了研究, 并在器件和电路制备时采用了此项工艺, 避免了金属引线断线的发生, 同时也降低了器件 BC 结寄生电容, 提高了器件的截止频率, 它也可降低布线电容使集成电路高速化. (3) 在器件及电路制备时采用了空气桥工艺, 减少了交叉布线的寄生电容, 使电路的速度得以提高. 在对 $GaAs$ HBT 器件及电路关键工艺研究并解决了制备过程中出现问题的基础上, 制备出了所设计的电路和器件. 器件与电路的制备成功充分说明我们已经解决了 $GaAs$ HBT 器件与电路制备过程中的关键技术难题.

参考文献

- [1] Liu Xiuxi ,Gao Dajiang. Data handbook of semiconductor device fabrication. Beijing: Publishing House of Electronics Industry ,1992 :111 (in Chinese) [刘秀喜 ,高大江. 半导体器件制造工艺常用数据手册. 北京:电子工业出版社,1992 :111]
- [2] Tanaka S I, Kasahara K, Shimawaki H, et al. Stress current behavior of InAlAs/ InGaAs and AlGaAs/ GaAs HBTs with polyimide passivation. IEEE Electron Device Lett ,1992 ,13(11) :560
- [3] Masum J ,Parmiter P, Hall T J ,et al. Current analysis of polyimide passivated InGaP/ GaAs HBT. IEEE Proc Circuits Devices Syst , 1996 ,143(5) :307
- [4] Shin H, Gaessler C, Leier H. Reduction of base-collector capacitance in InP/ InGaAs HBT 's using a novel double polyimide planarization process. IEEE Electron Device Lett ,1998 ,19(8) :297
- [5] Iwanoto M, Shidoh S I. Electrical transport properties of polyimide Langmuir-Blodgett films incorporating MIS junctions fabricated by the LB technique. Proceeding of the 3rd International Conference on Properties and Applications of Dielectric Materials ,Tokyo , Japan ,1991 :189
- [6] Shi Ruiying ,Liu Xunchun. Improve transmit data bit rate and characteristic of optical modulator driver circuit by cascode HBT. Chinese Journal of Semiconductors ,2003 ,24(5) :534 (in Chinese) [石瑞英, 刘训春. 用新的电路形式提高 HBT 光调制器驱动电路的传输速率及性能. 半导体学报, 2003 ,24(5) :534]

Key Processes for Fabrication of Self-Aligned InGaP/ GaAs HBT Device and Circuit *

Shi Ruiying¹, Sun Haifen², Liu Xunchun², and Liu Hongmin²

(1 Department of Physics, Sichuan University, Chengdu 610064, China)

(2 Institute of Microelectronics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China)

Abstract : The key process-InGaP etching ,polyimide planarization process ,and air bridge for fabrication of self-aligned InGaP/ GaAs HBT devices and circuits are studied. The problems ,especially the formation of the "island " nearby the emitter contact during the etching of InGaP ,are resolved. InGaP/ GaAs HBT devices and circuits with good performances have been obtained.

Key words : island formation ; polyimide planarization process ; air bridge

EEACC : 1350F ; 2560

Article ID : 0253-4177 (2005) 01-0106-05

* Project supported by State Key Development Program for Basic Research of China (No. G200006830403)

Shi Ruiying female ,associate professor. Her research interests are compound semiconductor device and MMICs.

Received 16 December 2003 ,revised manuscript received 8 April 2004

©2005 Chinese Institute of Electronics