

# InP/InGaAs SHBT 器件自对准结构 设计和工艺实现\*

李献杰 蔡道民 赵永林 王全树 周 州 曾庆明

(中国电子科技集团公司第 13 研究所, 石家庄 050051)

摘要: 从 InP 湿法腐蚀各向异性特性实验出发, 利用传统的基极-发射极自对准工艺和改进的基极-发射极工艺制作了两种 InP/InGaAs SHBT 自对准结构, 比较了两种自对准工艺对减小基极与发射极台面间距的效果, 为制作高频特性 InP/InGaAs SHBT 提供了工艺途径。

关键词: InP; SHBT; 自对准工艺; 湿法腐蚀

PACC: 7280E; 7340L

中图分类号: TN32

文献标识码: A

文章编号: 0253-4177(2005)S0-0136-04

## 1 引言

随着高速大容量光纤通信技术和微波毫米波无线通信技术的蓬勃发展, InP 基 HBT 技术以其在频率性能、集成度、电流驱动能力以及功耗和噪声特性等方面的综合优势, 越来越受到人们的关注. 在 InP 基 HBT 发展初期, 主要研究工作集中在器件物理、外延层材料结构设计和材料生长技术; 随着对器件物理研究的不断深入和外延层生长技术的日臻成熟, 相关研究工作逐渐转向各种相关自对准横向器件结构和器件制作工艺研究, 使得 InP 基 HBT 器件高频性能不断提高, 迅速成为目前速度最快的实用化器件之一<sup>[1~3]</sup>.

本文从提高 InP/InGaAs 单异质结双极晶体管 (SHBT) 的频率性能出发, 重点描述了 InP/InGaAs SHBT 基极-发射极自对准结构设计与工艺实现。

## 2 影响 InP/InGaAs SHBT 的频率性能的主要因素

表征 HBT 高频特性的两个重要指标是电流增益截止频率  $f_t$  和最高振荡频率  $f_{max}$ . 通常  $f_t$  和  $f_{max}$  通过下面公式与器件结构参量和物理参量联系起

来<sup>[4]</sup>:

$$\frac{1}{2\pi f_t} = \frac{kT}{qI_c} (C_{be} + C_{bc}) + (R_{ex} + R_c)C_{bc} + \tau_b + \tau_{cd} \quad (1)$$

$$f_{max} = \sqrt{\frac{f_t}{8\pi R_b C_{bc}}} \quad (2)$$

其中  $R_{ex}$ ,  $R_b$  和  $R_c$  分别为发射极、基极和集电极寄生电阻;  $C_{be}$  和  $C_{bc}$  分别为发射结和集电结电容;  $\tau_b$  和  $\tau_{cd}$  分别为基区和集电结耗尽区渡越时间;  $I_c$  为集电极电流. 可以看出, 从器件横向结构的设计考虑, 提高 InP/InGaAs SHBT 的  $f_t$ , 特别是  $f_{max}$ , 最关键的是降低基极电阻  $R_b$  和集电结电容  $C_{bc}$ . 从器件结构和器件工艺角度考虑, 可采用基极-发射极自对准电极工艺, 减小基极金属到发射极台面的间距  $W_{gap}$  从而降低  $R_b$ ; 同时在工艺设计中可考虑减小 B-C 结面积  $A_{bc}$  以降低集电结电容。

## 3 基极-发射极自对准结构设计和工艺实现

图 1 为基极-发射极台面结构示意图. 对于非自对准基极-发射极 (B-E) 结构 HBT,  $W_{gap}$  减小到  $1\mu m$  对一般光刻工艺对准精度和金属化工艺来说, 已是非常困难; 要进一步减小  $W_{gap}$  只能借助于自对准 E-

\* 国家高技术研究发展计划资助项目 (批准号: 2002AA312040)

B 结构设计,如图 1(b)所示,E-B 自对准结构设计的前提是在发射极台面腐蚀过程中,使台面底部形成对顶部各边的“下切”效应,从而依靠金属电子束蒸发的方向性,使基极金属电极在淀积过程中与发射极电极自动分离;通过控制基极挖槽工艺,可以很容易使  $W_{\text{gap}}$  减小到  $0.1 \sim 0.3 \mu\text{m}$ 。

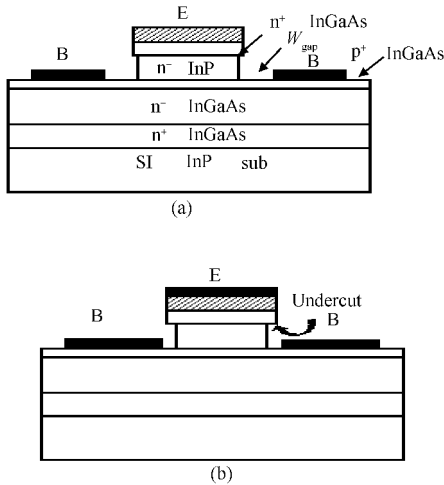


图 1 E-B 台面结构对比 (a)非自对;(b)自对准

Fig.1 Structure of E-B mesa (a) Un-self aligned; (b) Self aligned

InP/InGaAs SHBT 基极-发射极自对准结构设计和发射极金属电极的形状和方向有关.这是由发射区 InP 的湿法化学腐蚀的各向异性特性决定的.湿法化学腐蚀过程中,InP 在与  $[011]$ ,  $[010]$  和  $[001]$  方向平行的掩模边均可形成一定程度的“下切”;但在沿  $[01\bar{1}]$  方向的平行边则不能形成“下切”.如果发射极金属采用长方形条形,长方形的两组平行边分别平行于  $[011]$  和  $[01\bar{1}]$  晶向,由于在基极挖槽过程中,InP 在沿  $[011]$  平行边两侧均可形成有效的“下切”,而由于 InP 对  $(111)$  和  $(1\bar{1}\bar{1})$  晶面的腐蚀速率慢于对垂直方向  $(100)$  晶面的腐蚀速率,在  $[01\bar{1}]$  平行边随着腐蚀深度增加,InP 会沿  $(111)$  和  $(1\bar{1}\bar{1})$  晶面自掩模边缘自呈斜面伸出,如图 2 所示.这样就会在基极电极淀积过程中造成在  $[01\bar{1}]$  平行两边基极金属与发射极金属不能有效分离而出现 E-B 短路.这就要求在 InP/InGaAs HBT 设计时避免发射极电极边与  $[01\bar{1}]$  晶向平行,我们采用条状六边形发射极图形,其一组平行边与  $[011]$  晶向平行,另两组平行边分别与  $[001]$  和  $[010]$  晶向平行,从而在各边均可形成实现自对准结构所要求的“下切”效果。

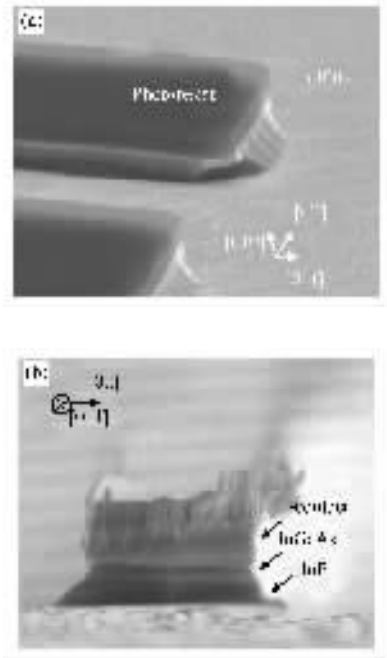


图 2 (a)平行  $[011]$  和  $[01\bar{1}]$  晶向的长方形正性光刻胶掩模下 InP 化学湿法腐蚀形貌显微照片;(b)与  $[01\bar{1}]$  晶向平行的发射极台面

Fig.2 (a) SEM photograph of the wet chemical etching profile of InP with a rectangle photoresist mask parallel to the crystal direction  $[011]$  and  $[01\bar{1}]$ ; (b) Emitter mesa parallel to the crystal direction  $[01\bar{1}]$

在工艺实现方面,我们实验了两种工艺.第一种较为通用,首先用剥离工艺制作发射极电极金属,然后用发射极金属电极为掩模进行化学湿法选择腐蚀 InGaAs 和 InP 至基区表面,腐蚀液分别为  $\text{HCl} : \text{H}_2\text{O}$  和  $\text{H}_3\text{OP}_4 : \text{H}_2\text{O}_2 : \text{H}_2\text{O}$ ,然后淀积基极金属并剥离形成 E-B 自对准结构.但是,在发射极台面形成过程中,由于采用全湿法化学选择腐蚀工艺,这样自上而下有两次选择腐蚀,分别为 InGaAs 帽层和 InP 发射区,相应地存在两次侧蚀过程,即 InGaAs 帽层对金属电极和 InP 对 InGaAs 帽层,因此对腐蚀液的配比和腐蚀时间的控制要求非常严格,否则容易造成过蚀而导致  $W_{\text{gap}}$  过大,影响自对准工艺效果.由于 n 型发射区帽层和 p 型基区均为高掺杂 InGaAs,二者欧姆接触电极都可以用非合金 Ti/Pt/Au 金属结构,因此我们采用一种改进的 B-E 自对准工艺,先用光刻胶作掩模腐蚀出发射极台面,然后淀积 Ti/Pt/Au,利用发射极台面腐蚀过程中 InP 腐蚀的各向异性和 InGaAs/InP 湿法选择腐蚀形成的“下切”,自对准一次完成发射极和基极欧姆接触

电极的制作. 与通用自对准工艺相比, 改进的自对准工艺有如下优点: (1) 由于发射极台面腐蚀过程中, 只存在一次侧蚀过程(即 InP 对 InGaAs 帽层), 因而  $W_{\text{gap}}$  容易控制; (2) 发射极和基极欧姆接触电极一次完成, 减少了一次金属化工艺; (3) 发射极台面腐蚀过程中结合 InGaAs 帽层对光刻胶的侧蚀和 InP 对 InGaAs 帽层的侧蚀的控制, 可以在不提高光刻精度的情况下实现从  $0.5 \sim 3 \mu\text{m}$  宽度的发射极结构. 图 3(a) 和 (b) 为两种 E-B 自对准工艺中形成的发射极台面照片.

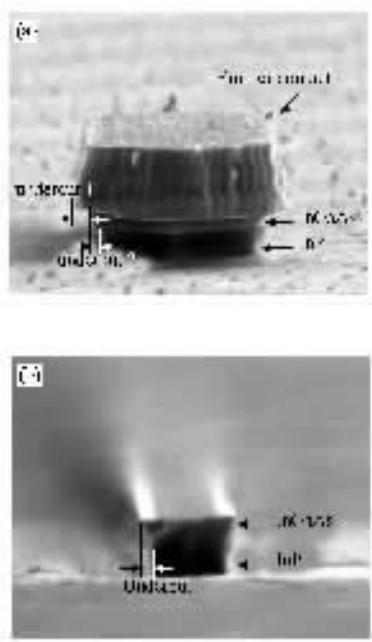


图 3 发射极台面 SEM 照片 (a) 传统自对准结构; (b) 改进自对准结构

Fig. 3 SEM photograph of emitter mesa (a) Conventional self-aligned structure; (b) Improved self-aligned structure for emitter mesa

图 4 为改进自对准结构 InP/InGaAs SHBT 互连前的照片, 发射极条宽为  $1.5 \mu\text{m}$ ; 在腐蚀 B-C 结台面时, 我们采用以基极金属为掩膜, 并适当控制侧向腐蚀, 以尽可能减小 BC 结台面.

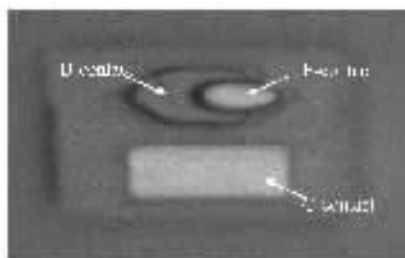


图 4 改进自对准结构 InP/InGaAs SHBT 互连前的照片  
Fig. 4 Photograph of improved self-aligned InP/InGaAs SHBT before interconnection process

## 4 结 论

通过对 InP 湿法腐蚀各向异性特性实验, 实验了传统的基极-发射极自对准工艺和改进的基极-发射极工艺两种 InP/InGaAs SHBT 自对准结构, 比较了两种自对准工艺对减小基极与发射极台面间距的效果, 为制作高频特性 InP/InGaAs SHBT 提供了工艺途径.

致谢 本文工作是在中国电子科技集团公司第 13 研究所光电与新型器件实验室全体工艺人员的协助下完成的, 在此表示衷心的感谢.

## 参 考 文 献

- [1] Yamahata S, Kurishima K, Ito H, et al. Over-220-GHz and InP/InGaAs double heterojunction bipolar transistors with a new hexagonal-shaped emitter. Proc of the GaAs IC Symp, 1995;163
- [2] Matine N, Dvorak M W, Pelouard J L, et al. InP in HBTs by vertical and lateral wet etching. Proceeding of IPRM, 2000; 132
- [3] Matine N, Dvorak M W, Pelouard J L, et al. Fabrication and characterization of InP HBTs with emitter edges parallel to [001] and [010] crystal orientations. Jpn J Appl Phys, 1999, 38;1200
- [4] Williams R. Modern GaAs processing methods. Artech House, 1990;229

## Design and Process for Self-Aligned InP/InGaAs SHBT Structure\*

Li Xianjie, Cai Daomin, Zhao Yonglin, Wang Quanshu, Zhou Zhou, and Zeng Qingming

(13th Institute of CETC, Shijiazhuang 050051, China)

**Abstract:** A traditional base-emitter contact self-aligned structure as well as an improved one is designed and processed for InP/InGaAs SHBT based on wet chemical anisotropy etching experiment of InP. The effect of shorting the gap between the base contact and the emitter mesa for the two structures is compared, which provides the effective method for high frequency devices.

**Key words:** InP; SHBT; self-align structure; wet etching

**PACC:** 7280E; 7340L

**Article ID:** 0253-4177(2005)S0-0136-04

---

\* Project supported by the National High Technology Research and Development Program of China(No. 2002AA312040)

Received 12 November 2004, revised manuscript received 26 December 2004

©2005 Chinese Institute of Electronics