

离子注入展宽 p-n 结终端

万积庆 陈迪平

(湖南大学应用物理系,长沙,410082)

廖晓华

(衡阳市晶体管厂)

1991年2月3日收到,91年5月28日修改定稿

研究了离子注入展宽 p-n 结终端工艺,介绍了离子注入剂量或者注入净电荷选择理论。实验证明采用本工艺获得产品的击穿电压高于耗尽层刻蚀工艺所得产品的击穿电压。

EEACC: 2560J, 2500

一、前言

双极晶体管要达到高击穿电压要求,面临如何处理表面极值电场与靠近结终端体峰值电场之间的矛盾。目前所掌握的各种 p-n 结外形设计原理都是努力减小表面电场,又同时防止结终端体峰值电场上升。如负角斜面和砂轮刻槽技术都是基于降低表面电场又不增加峰值体电场,但这些方法都存在工艺繁琐、效率低和成品率低的缺点。

采用耗尽层刻蚀配合聚酰亚胺作表面钝化,击穿电压可达一维理想值的 80%。小电流 H_{FE} 退化小,反向漏电流小,高温反向特性稳定^[1]。

耗尽层刻蚀技术是在 p-n 结的终端将重掺杂材料刻去一部分。在原理上类似负角斜面造型技术,都是迫使重掺杂一侧耗尽层展宽以降低表面电场又不增加体峰值电场,这是一种苛刻的刻槽技术。它对刻槽深度有严格要求。要求刻蚀到或者稍微进入理想击穿电压结的耗尽区。由于 p-n 结结深和轻掺杂衬底的杂质浓度存在分散性,刻蚀深度的要求难以一致。因此,在大批量生产中实际得到的 p-n 结击穿电压分散性较大,达到一维理想击穿电压值的 80% 的产品占少数。

本文所讨论的工艺是通过离子注入 p-n 结的终端来控制表面电场,而不是用刻蚀或改变现存的杂质层来控制表面电场。这种方法的优点是不要精确控制刻槽深度,槽深穿过 p-n 结即可,只要求精确控制注入杂质总量。在离子注入工艺中杂质总量控制到 1% 的精度并不困难。采用本工艺所制作的样品与耗尽层刻蚀工艺所制的样品相比击穿电压平均提高了 50 伏,其它参数两者都很理想。

二、实验与分析

图 1 为注入样品示意图,图 1(a)为台面结构,(b)为平面结构。虚线示意离子注入

区, X_z 表示环状注入窗口的宽度、 Y_z 表示刻槽深度。“*”示意体峰值电场和表面极值电场的位置。

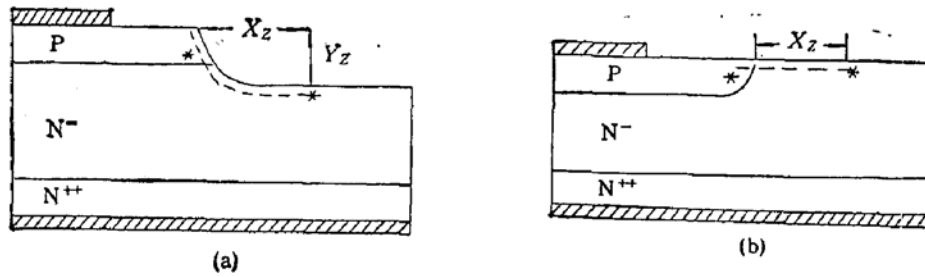


图1 注入样品示意图
(a) 台面结 (b) 平面结

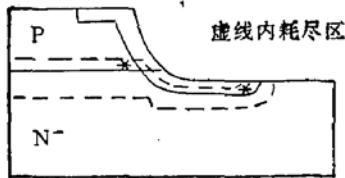


图 2(a) 平衡结耗尽区

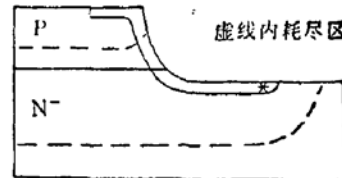


图 2(b) 加反偏结耗尽层展宽图

B^+ 注入后,在图 1 所示的注入区内迅速建立起电场,在结的顶端约零点几微米的范围内完全耗尽,如图 2(a),随外加反向电压的增加耗尽区从表面向体内扩展,扩展的速度与宽度受注入净电荷量限制。因此,控制注入电荷总量就能较好地控制表面电场的增长。同时随反向电压的增加体峰值电场回到正常的结区,并随反向电压的增加而增加,直至击穿。

从一维泊松方程可以获得理想击穿时的峰值电场 E_B ,再乘以 Si 的介电系数可以得到相应的理想耗尽层单位面积总电荷量 Q_B 。假如钝化层内没有电荷,根据静电平衡条件,注入杂质净活化电荷量 Q_i 属表面峰值电场所确定的 Q_B 的一部分,降低 Q_i 将导致表面电场下降。但是正常结区 Q_i 下降将导致体峰值电场上升。注入选择可考虑三种情况: 1) 表面钝化质量较差 Q_i 选 $0.6-0.5Q_B$, 2) 表面钝化较好 Q_i 选 $0.8-0.6Q_B$, 3) 表面钝化技术很完善 Q_i 可选 $0.9-0.8Q_B^{(2)}$ 。

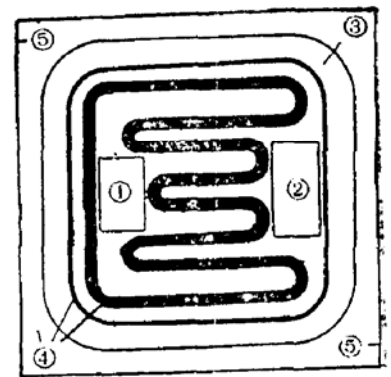


图 3 10W 功率管版图
(1) 发射区引线孔 (2) 基区引线孔
(3) 内台面沟槽

图 3 是 10W 功率晶体管版图,版图面积为 $2.7 \times 2.7 \text{mm}^2$,图中 3 为刻槽区,槽宽 $300 \mu\text{m}$,槽深 $40 \pm 5 \mu\text{m}$ 。解泊松方程所得试验片的参数值列入表 1。

插入注入 B^+ 的工艺流程如下:

……引线孔光刻(同时刻除内沟槽表面的 SiO_2 或 Si_3O_4)→蒸铝→反刻铝→磷蒸合金→环形内台面沟槽腐蚀(形成内台面)→注入 B^+ →PI-5 聚酰亚胺钝化→聚酰亚

胺固化(活化离子)。其中聚酰亚胺固化温度 380℃。时间 24 小时,以达到聚酰亚胺固化和活化注入离子双重目的。

表 1

N-集电区掺杂浓度 $\times 10^{14}/\text{cm}^3$	集电结结深 X_{jc} μm	理想集电结击穿电压 BV_{cbo} V	体峰值电场 E_B $\times 10^3 \text{V}/\text{cm}$	表面最大电场 E_s $\times 10^4 \text{V}/\text{cm}$	注入 $_{11}\text{B}^+$ 净活化电荷 Q_i $\times 10^{12}/\text{cm}^2$
2	30±4	1004	2.4	1.2—1.9	0.8—1.34
2.5	30±4	650	2.5	1.2—2	0.8—1.3

三、实验结果

同一圆片上半侧插入离子注入,半侧不做离子注入。

1. 击穿电压: 集电结击穿电压 BV_{cbo} 平均提高 50V。经离子注入的样品 $\overline{BV_{cbo}} = 557\text{V}$, 均方根差 $\sigma = 81$ 。不注入的样品 $\overline{BV_{cbo}} = 503\text{V}$, $\sigma = 75$ 。

2. 反向漏电流: $V_{cb} = 100\text{V}$, $\bar{I}_{cbo} = 5\text{nA}$, $V_{cb} = 300\text{V}$, $\bar{I}_{cbo} = 20\text{nA}$ 。两种样品最高偏差低于 $10\text{nA}^{[3]}$ 。

3. 高温特性: $T = 100^\circ\text{C}$, $V_{ce} = 100\text{V}$ 短时检测两种样品特性曲线都无上漂现象, 漏电流 μA 级。

4. 长时间高温贮存实验: 高温 175°C , 贮存时间 100 小时, 测 I_{ceo} 和 H_{FE} 。 I_{ceo} 贮存前后无明显变化。 H_{FE} 略有增加, 平均变化率 10%。

实验结果显示, 注入带的宽度 X_i 选择对结果并影响。对刻槽深度 Y_i 要求不苛刻, 能刻除 p-n 结终端大部分 P 型材料即可, 实验主要是选择净活化电荷总量。由于注入杂质浓度极低, 无需特殊高温处理, 在聚酰亚胺固化过程中可达到活化注入离子。

参 考 文 献

- [1] 万积庆, 廖晓华, 半导体学报, 10(10), 775(1989).
- [2] V. A. K. Temple, Proce. Int. IEEE. Meet E. D. p426 (1977年).
- [3] 廖晓华, 万积庆, 湖南大学学报, 4 期 p70 (1987).

Study of Junction Termination Extension with Ion Implantation

Wan Jiqing, Chen Diping
(Hunan University, Changsha, 410082)

Liao Xiaohua
(Hengyang Transistor Factory)

Abstract

Junction termination extension has been studied using ion implantation. Theory choosing the implanted net activated charge is presented. Experimental results show the breakdown voltage of the product obtained from this process is higher than that from the etch depletion process.

EEACC: 2560J, 2500