

# SiC 肖特基势垒二极管的研制

张玉明 张义门

罗晋生

(西安电子科技大学微电子所 西安 710071) (西安交通大学微电子工程系 西安 710049)

**摘要** 本文报道了采用电子束热蒸发的方法用铂(Pt)做肖特基接触在 n 型 6H-SiC 体材料上制作肖特基二极管的工艺过程和器件特性 对实验结果进行了比较分析,  $I-V$  特性测量说明 Pt/6H-SiC 肖特基二极管有较好的整流特性, 热电子发射是其主要的输运机理, 理想因子为 1.23, 肖特基势垒高度为 1.03eV, 开启电压约为 0.5V.

**PACC:** 7340N, 7340V; **EEACC:** 2560H, 2530D, 2520M

## 1 引言

SiC 材料禁带宽度大, 击穿电场高, 饱和漂移速度和热导率大, 化学性能稳定, 抗辐射能力强, 结实耐磨损 这些内在材料优越性能使其成为制作高功率、高频、耐高温、抗辐射器件的理想材料, 在航天、航空、石油勘探、核能、通信等领域有广泛的应用前景 最近 SiC 体材料生长和外延技术的研究有了突破性的进展<sup>[1,2]</sup>, 基本解决了器件制造中的材料问题 对 SiC 研究的重点已转移到器件制作的基本工艺技术, 如刻蚀、氧化、金属半导体接触、掺杂和封装等, 以发挥 SiC 材料的潜在优势, 制造出高性能器件和电路

理论研究表明, 制作低开启电压, 击穿电压超过 5kV 的肖特基整流器是完全可以实现的 Yoshida 等人用 3C-SiC 第一次成功地制作了击穿电压为 8V 的肖特基势垒二极管<sup>[3]</sup>. Bhatnagar<sup>[4]</sup>和 Raghunathan<sup>[5]</sup>分别用 6H-SiC 和 4H-SiC 制作了较高击穿电压的肖特基势垒二极管, 而且具有很低的开启电压 本文报道用 Ni/Cr 合金做欧姆接触, 铂(Pt)做肖特基接触制作 Pt/6H-SiC 肖特基二极管的工艺过程和器件性能

## 2 实验过程

实验中使用的材料是从美国 CREE 公司<sup>[6]</sup>购买的 它是单晶六角(6H)体材料, 禁带宽度 3.03eV, 晶向为偏离{0001}3.5°(1120 方向), 厚度 355.6 $\mu\text{m}$ , 导电类型为掺氮的 N 型, 汞探针测得其净掺杂浓度为  $8.0 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ . 在淀积金属前依次用  $\text{NH}_4\text{OH}$   $\text{H}_2\text{O}_2$   $\text{H}_2\text{O}$

\* 国防预研基金资助项目

张玉明 男, 1965 年出生, 博士, 副教授, 从事器件物理和 VLSI-CAD 方面的教学和科研工作

张义门 男, 教授, 博士生导师, 从事半导体器件模型和模拟、高低温器件方面的教学和科研工作, E-mail: ymzhang@xidian.edu.cn

罗晋生 男, 教授, 博士生导师, 长期从事半导体物理、器件和工艺的教学和科研工作

1998-05-02 收到, 1998-07-07 定稿

= 1 1 5 的混和液清洗 SiC 片 10min; 用加热到 70 的 HCl H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> H<sub>2</sub>O = 1 1 5 的混和液清洗; 去离子水冲洗, 去除表面杂质离子. 可能是由于工艺条件等方面的因素, 在实际蒸发过程中, 如果背面仅仅淀积一层 200nm 左右的 Ni, 其粘附性较差 所以, 我们选择 NiCr 合金, 而且在合金上面再蒸了一层 Au 起压附作用 制备方法采用电子束热蒸发, 在背面依次蒸 NiCr 合金(Ni 和 Cr 重量比为 80% ~ 20%, 厚度  $d = 200\text{nm}$ )和蒸 Au; 在氮气气氛高温 ( $T = 900$  )条件下退火 5min 形成欧姆接触<sup>[7]</sup>; 然后进行后清洗; (用 HF 除去表面金属, 用有机溶剂, 加热的 K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, 王水, HF 逐次清洗, 最后用去离子水冲洗表面杂质). 在  $4 \times 10^{-5} \sim 6.7 \times 10^{-5} \text{Pa}$  真空下, 将衬底加热到 140 用电子束热蒸发淀积 Pt; 同时淀积 NiCr 合金, 起压附作用 在淀积 Pt 的同时加热衬底的作用是增加 Pt 与 SiC 的粘附性, 这是为了消除 Pt 和衬底膨胀系数的不同所引起的应力作用, 否则粘接很差

最初, 我们曾采用表面淀积 Au 来做肖特基接触, 结果是令人沮丧的, 几次实验的结果表明, 实际接触非常困难 据报道<sup>[8]</sup>, Au 是与 SiC 接触性能较好的金属之一, 也就是说, 用 Au 做肖特基接触应该是可行的, 主要原因是工艺因素, 在此提出两点建议仅供参考: (1) 由于水和其它蒸汽会在半导体表面产生界面层, 蒸发金属之前, 衬底加热到 100~ 200 可去除界面层, 增加粘附性 (2) 采用溅射接触或化学淀积法, 用溅射法能产生一个机械性能较好的薄膜

### 3 结果分析

采用上述方法成功地研制出了 Pt/6H-SiC 肖特基二极管 图 1 是使用 HP-4165 半导体参数测试仪测得的器件  $I$ - $V$  特性, 图 2 是在半对数坐标系中的正向特性, 由图中可以看出, 整个器件的整流特性是非常明显的, 但反向漏电流较大, 击穿电压较小

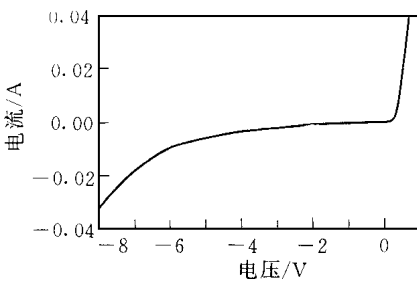


图 1 Pt/6H-SiC 肖特基二极管的  $I$ - $V$  特性

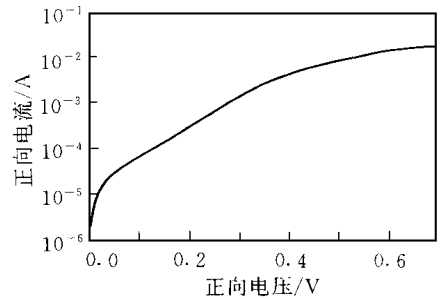


图 2 Pt/6H-SiC 肖特基正向  $I$ - $V$  特性

由图 2 中可以看到, 当正向电压小于 0.5V,  $\ln I$ - $V$  为线性关系, 用公式:

$$I = I_s \exp(qV/nkT) [1 - \exp(-qV/kT)] \tag{1}$$

对曲线进行拟合得到理想因子  $n$  和  $I_s$  分别为 1.23 和  $2.37 \times 10^{-9} \text{A}$ , 说明热电子发射机理是 Pt/6H-SiC 肖特基二极管电流运输的主要因素

肖特基势垒高度  $\phi^v$  可由方程:

$$I_s = SA^* T^2 \exp[-q(\phi^v - \Delta\phi/kT)] \tag{2}$$

得到 其中  $S$  为有源区面积,  $A^* = 120(m^*/m)A \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{K}^2$ , 为有效理查逊常数,  $\Delta\phi$  包含了镜像力的作用,  $\Delta\phi$  和隧道效应引起的势垒降低  $\Delta\phi$ , 它们分别由以下方程确定:

$$\Delta\phi_i = \left[ \frac{q^3 N_D}{8\pi(\epsilon_s)^2 \epsilon_c} \left( \phi_0 - V - \xi - \frac{kT}{q} \right) \right]^{1/4} \quad (3)$$

$$\Delta\phi_0 = \left( \frac{3}{2} \right)^{2/3} (E_{00})^{2/3} (\phi_0 - V - \xi)^{1/3} \quad (4)$$

式中,  $\epsilon_s$  和  $\epsilon_c$  分别是高频和低频介电常数,  $\xi = kT \ln \left[ \frac{N_D}{N_c} \right]$  为费米势,  $E_{00} = \frac{\hbar}{2} \left[ \frac{N_D}{m^* \epsilon_c} \right]^{1/2}$  为隧道效应中的重要作用参数. 对研制中采用的 6H-SiC 材料其参数为:  $m^* = 0.892m_0$ ,  $\epsilon_s = 6.82\epsilon_0$ ,  $\epsilon_c = 10\epsilon_0$ ,  $N_c = 1.09 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ . 可得  $E_{00} = 5.2 \times 10^{-3} \text{eV}$ ,  $\xi = 0.0714 \text{eV}$ , 从而得到零偏压下的肖特基势垒高度为  $\phi_0^V = 1.03 \text{eV}$ , 这与文献(4)的结论(1.04eV)一致. 此时相应的  $\Delta\phi_i = 0.1015 \text{eV}$ ,  $\Delta\phi_0 = 0.0389 \text{eV}$ , 说明镜像力是影响其势垒高度的主要因素, 由公式(3)和(4)可以看到, 在正向偏压时, 它们都随有效势垒高度增大而增大, 使半对数坐标系中电流-电压偏离线性关系, 这与  $n$  值大于 1 是等效的. SiC 材料电子寿命短( $10^{-9} \text{s}$ ), 电子和空穴在耗尽层中的复合十分重要, 这种复合产生一个  $n=2$  的电流分量使电流-电压偏离指数关系, 并且在低压时可能非常明显. 当偏压很高时, 相应的电流密度也很大, 这时势垒区的漂移和扩散影响不能忽略, 单纯的热发射理论不再适用. 当偏压超过 0.5V 时, 由于串联电阻效应明显增大, 电流随着电压的增加不再有指数关系. 即 Pt/6H-SiC SBD 的开启电压约为 0.5V.

由图 1 中可以看到, 反向时器件的漏电流较大, 且随反向电压的增加而迅速增大, 这是由于实验中采用的 SiC 半导体材料掺杂浓度较高, 可能建立起热场发射, 另外在器件制作中, 采用上下分别淀积金属的方法, 没有采用隔离环, 这样在金属接触的边缘, 电力线集中, 电场很高(而且势垒很薄), 这种边缘效应使热场发射更加显著. 研制中使用的是有效使用面积为 50% 的非标准材料, 有大量微管缺陷, 难以承受很大的电场.

#### 4 结论

本文报道了采用电子束热蒸发的方法用铂(Pt)做肖特基接触在  $n$  型 6H-SiC 体材料上制作肖特基二极管的工艺流程和器件特性. 对实验结果进行了比较分析,  $I$ - $V$  特性测量说明 Pt-6H-SiC 肖特基二极管有较好的整流特性, 热电力发射是其主要的运输机理, 理想因子为 1.23, 肖特基势垒高度为 1.03eV, 开启电压约为 0.5V.

#### 参 考 文 献

- [1] R. F. Davise, G. Kelner, M. Shur *et al.*, Proc IEEE, 1991, **79**: 677.
- [2] P. A. Ivanov and V. E. Chelnokov, Semicond Sci Technol, 1992, **7**: 863.
- [3] S. Yoshida, K. Sasaki, E. Sakuma *et al.*, Appl Phys Lett, 1985, **46**: 766.
- [4] M. Bhatnagar, P. K. McClarty and B. J. Baliga, IEEE Electron Device Lett, 1992, **13**(10): 501.
- [5] R. Raghunathan, D. Alok and B. J. Baliga, IEEE Electron Device Lett, 1995, **16**(6): 226.
- [6] CREE research Inc 2810 Meridian Parkway, Durham, Nc27713.
- [7] 张玉明, 罗晋生, 张义门, 半导体学报, 1997, **18**(9): 718.
- [8] A. Itoh and H. Matsunami, Phys Stat Sol (A), 1997, **162**: 389.

## Pt Schottky Barrier Diodes on n-type 6H-Silicon Carbide

Zhang Yuming Zhang Yimen

(Microelectronics Institute of Xiidian University, Xi'an 710071)

Luo Jinsheng

(Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049)

Received 2 May 1998, revised manuscript received 7 July 1998

**Abstract** This paper describes the fabrication and characteristic of the Schottky barrier diodes using e-beam-deposited platinum on n-type 6H-SiC. Measurements of the  $I$ - $V$  characteristics of these diodes show that the devices have good rectifier property and their ionization current is the dominant conduction mechanism for these Schottky contacts. The ideality factor and barrier height are 1.23 and 1.03eV, respectively.

**PACC:** 7340N, 7340V; **EEACC:** 2560H, 2530D, 2520M