

n 型 6H-SiC 体材料欧姆接触的制备 *

张玉明 罗晋生

张义门

(西安交通大学微电子工程系 西安 710049)

(西安电子科技大学微电子所 西安 710071)

摘要 本文报道了采用 Au/NiCr 在 n 型 6H-SiC 体材料上制备欧姆接触的实验结果, 依次蒸发 NiCr 合金(重量百分比为 80%Ni : 20%Cr)和金层, 高温退火后形成欧姆接触, 用改进的四探针法测得最小比接触电阻 ρ_c 为 $8.4 \times 10^{-5} \Omega \cdot \text{cm}^2$. 达到了应用的要求.

PACC: 7340N, 7280; EEACC: 2530D, 2550F, 2520

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^[1,2], 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、欧姆接触、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.

SiC 材料在高温、大功率和高频半导体器件领域应用的关键工艺之一是制备高稳定性和低电阻的欧姆接触. 欧姆接触质量的好坏、接触电阻的大小直接影响器件的效率、增益和开关速度等性能指标. 本文报道了采用 Au/NiCr 在 n 型 6H-SiC 体材料上制备欧姆接触结果, 依次蒸发 NiCr 合金(重量百分比为 80%Ni : 20%Cr)和金层, 高温退火后形成欧姆接触, 用改进的四探针法测得最小比接触电阻 ρ_c 为 $8.4 \times 10^{-5} \Omega \cdot \text{cm}^2$. 达到了应用的要求.

2 实验过程和结果

2.1 材料

实验中使用的材料是从美国 CREE 公司^[4]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°C ($\langle 11\bar{2}0 \rangle$ 方向), 厚度 355.6 μm, 导电类型为掺氮的 N 型, 用探针测得其净掺杂 $8.0 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$.

* 国防预研基金资助项目

张玉明 男, 1965 年生, 讲师, 在职博士生, 从事器件物理和 VLSI-CAD 方面的教学和科研工作. 联系地址: 西安电子科技大学微电子所, 710071, Email: ymzhang@xidian.edu.cn

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

张义门 男, 教授, 博士导师, 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

1997 年 2 月 8 日收到初稿, 1997 年 4 月 29 日收到修改稿

2.2 合金层的选取

Au具有很好的导电性和抗腐蚀能力,是理想的欧姆接触材料,特别是Au的抗电迁移能力远高于Al,因而特别适合高温大电流应用。Au的致命的缺点是它在半导体中的扩散系数较大,这虽然有利于粘接和降低接触电阻,但严重影响器件高温工作的稳定性,且极易引起热退化。采用高熔点金属和金的混合物作为欧姆接触的金属材料是解决问题的简单方法。高熔点金属与半导体形成碳化物和硅化物,可作为接触层和金互扩散的中间隔离层。纯镍被广泛用于制作SiC欧姆接触^[5,6]。高温短时间退火(1000℃/min)后形成的镍硅化物(Ni₂Si)有低的接触电阻和较好的高温物理稳定性。但用纯镍制作欧姆接触有两个问题,一是金层和镍硅化物接触不太好,二是在高温应用时,必须有扩散阻挡层以限制金和镍硅接触层之间的互扩散。而用NiCr合金替代Ni时这些问题都消失了^[7]。这是因为高熔点金属铬(Cr)有很强的氧化倾向,很容易和半导体表面存在的氧结合而获得牢固的粘接强度,另一方面,Cr也极易与SiC表面多余的C形成碳化物而具有极好的物理和化学稳定性,此外,Cr也是优良的扩散阻挡层材料,因而它是理想的底层材料^[2]。所以,实验中我们采用了Au/NiCr结构。

2.3 工艺步骤

①将SiC材料依次用TCA,丙酮,甲醇和去离子水清洗。②在氮气中吹干后,涂上1650正胶并在90℃下烘干。③对胶进行曝光,然后在BOE中浸10秒钟刻出改进的四探针法^[1]测试图形。④依次蒸发100nm NiCr合金(重量百分比为80%Ni:20%Cr),300nm厚的金层。⑤用丙酮在超声清洗器中去掉多余的金属,形成测试接触图形。⑥在氢气气氛中,对样品分别进行:870℃/15min;950℃/5min和1030℃/3min合金均形成欧姆接触。

2.4 测试结果和讨论

采用测试体材料欧姆接触较准确的测试方法——改进的四探针法^[1]对样品进行测试。合金前测试为整流接触,合金后变为欧姆接触。对三种不同的合金温度下的样品测得其最低的比接触电阻 ρ_c 分别为 $6.0 \times 10^{-3} \Omega \cdot \text{cm}^2$ 、 $4.3 \times 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}^2$ 和 $8.4 \times 10^{-5} \Omega \cdot \text{cm}^2$ 。退火温度升高,接触电阻降低。由于金的熔点为1064℃,若要在更高的温度下合金,则应淀积NiCr合金层后先合金,然后再淀积金层。研究所采用的材料是非标准型的(既不是生产型也不是研究型),整个片子上的掺杂浓度误差非常大(2~3倍),且有较多的缺陷存在,所以,测试结果的误差在20%左右。Luckowski^[7]对不同厚度的NiCr接触层的欧姆接触进行了RBS和AES分析发现:在合金过程中,当NiCr和SiC相互反应时多余的碳快速通过接触层而堆积在表面,这种堆积过程的快慢是由碳源的浓度而不是扩散率决定,NiCr接触层表面较高的碳浓度会严重影响和金层的接触。Crofton^[8]的分析说明在合金过程中,Ni和Cr发生了分离,Ni向金半界面堆积,而Cr则向相反的方向移动,使金层和NiCr合金层界面丰富的Cr,这有利于接触层和金层的粘接,而且限制了二者之间的互扩散。所以一个优化的合金过程(合金化温度、时间以及加热和冷却的速度等)应使NiCr和SiC反应形成低的比接触电阻,同时要保证不在NiCr接触层表面形成碳的堆积,另外,退化过程使接触层表面Cr的浓度相对于Ni的高。

3 结论

镍铬合金(重量百分比为80%Ni:20%Cr)可以在中等掺杂的n型6H-SiC体材料制作低接触电阻的欧姆接触,用蒸发的方法淀积Au/NiCr金属层,在H₂气氛中高温合金形成欧

姆接触,测得其最小比接触电阻 ρ_c 为 $8.4 \times 10^{-5} \Omega \cdot \text{cm}^2$. 其结果已可以应用于实际器件的制造中,长时间高温测试^[7]说明由于 NiCr 合金表面浓度较大的 Cr 的阻挡作用,Au/NiCr/SiC 欧姆接触有很好的物理和化学稳定性,是一种较好的 SiC 欧姆接触结构. 然而目前的水平对于制作高温工作的实用大功率器件显然是不够的. 要提高欧姆接触的性能需要研究由于不同的处理方法而在 SiC 表面生成多余的 Si 或 C;衬底的方向和掺杂以及淀积金属的退火时间和温度等与接触的物理、化学和电学性能的关系,从而优化和控制半导体表面、合金组分配比、合金层厚度、合金化温度和时间以及加热和冷却的速度等.

致谢 作者感谢航天部 771 所 6 室的刘勇高级工程师、西安电子科技大学微电子所顾英研究员和韩孝勇同志在工艺和测试工作中所给予的帮助.

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] E. Kuphal, Solid-State Electronics, 1981, **24**: 69.
- [4] CREE research Inc. 2810 Meridian Parkway. Durham, Nc27713.
- [5] J. Crofton, J. M. Ferrero, P. A. Barnes *et al.*, Amorphous and Crystalline Silicon Carbide IV, edited by C. Y. Yang, M. M. Rahman and Harris (Springer, Berlin, 1992) p. 176.
- [6] J. Crofton, P. G. McMullin, J. R. Willian *et al.*, J. App. Phys., 1995, **77**(3): 317.
- [7] E. D. Luckowski, J. T. Willian, M. J. Bozack *et al.*, Mat. Res. Symp. Proc. Materials Research Society, 1996, **423**: 119~124.

Au/NiCr Ohmic Contacts to n-Type 6H-Silicon Carbide

Zhang Yuming and Luo Jingsheng

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

Zhang Yimen

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

Received 8 February 1997, revised manuscript received 29 April 1997

Abstract Au/Ni/Cr were deposited onto single crystal n type 6H silicon carbide wafers by electron beam evaporation. The contracts were ohmic after annealing at 1050°C for 3 min in H₂. The specific contact resistance were measured with the four-point method which accounts for the spreading resistance and yielded values ρ_c 为 $8.4 \times 10^{-5} \Omega \cdot \text{cm}^2$.

PACC: 7340N, 7280; **EEACC:** 2553D, 2550F, 2520