

n^+ 多晶硅/ n^+ SiC 异质结欧姆接触*

张 林[†] 张义门 张玉明 汤晓燕

(西安电子科技大学微电子研究所, 教育部宽禁带半导体材料重点实验室, 西安 710071)

摘要: 采用器件仿真软件 ISE TCAD 模拟了 n^+ 多晶硅/ n^+ SiC 异质结形成欧姆接触的新的 SiC 欧姆接触制造技术. 模拟结果表明 n^+ 多晶硅/ n^+ SiC 异质结接触可以形成良好的欧姆接触, 具有工艺简单、性能优良的优点.

关键词: SiC; 欧姆接触; 多晶硅; 异质结

PACC: 7280; 7330; 7340S

中图分类号: TN305

文献标识码: A

文章编号: 0253-4177(2006)S0-0378-03

1 引言

SiC 材料具有禁带宽度大、饱和漂移速度和热导率大、化学性能稳定等优点, 使其成为制作高功率、高频、耐高温器件的理想材料, 在航天航空、石油勘探、核能等领域应用前景广阔. 近年来随着 SiC 的材料制备和外延技术逐渐成熟, 研究其基本工艺技术, 发挥出 SiC 材料的潜在优势, 制备出高性能的器件和电路是目前研究的热点.

在高温, 大功率和高频 SiC 半导体器件中, 欧姆接触质量的好坏直接影响器件的效率、增益和开关速度等性能指标^[1]. 目前 SiC 的欧姆接触主要是通过金半接触形成. 先用离子注入在 SiC 需要欧姆接触的区域进行高掺杂, 再淀积合适的金属, 然后通过高温退火后形成欧姆接触. 这种工艺需要经过多次高温退火, 工艺过程相对复杂和困难. 而且目前的实验发现金半接触形成的欧姆接触的质量除了杂质的类型、注入浓度、激活率, 金属的种类等因素外, 还在很大程度上依赖于淀积金属后的退火工艺. 退火的时间、温度、环境的不同都会极大影响欧姆接触的质量. 而对于退火过程影响欧姆接触质量的原因, 目前还没有清晰的理论解释. 这方面理论的缺乏大大限制了 SiC 欧姆接触工艺的改进^[2]. SiC 欧姆接触的制作比起 Si、GaAs 和 GaN 来说, 难度要大得多, 目前报道的 n 型 SiC 的欧姆接触水平大都为 $1 \times 10^{-5} \sim 1 \times 10^{-6} \Omega \cdot \text{cm}^{2[3]}$, 还有待进一步研究新的工艺技术, 以提高 SiC 的欧姆接触质量. 本文提出了一种新颖的采用 n^+ 多晶硅/ n^+ SiC 异质结在 SiC 衬底上

形成欧姆接触的方案, 并采用器件仿真软件 ISE TCAD 对该方案进行了模拟研究. 该方案利用目前非常成熟的多晶硅工艺, 除了可以在 SiC 上形成低电阻的欧姆接触外, 还具有工艺简单、工艺过程中可控性好等优点, 是目前在 SiC 上制备欧姆接触的一种很好的选择, 并具有良好的发展潜力. 目前尚未见相关报道.

2 器件工艺设计

该方案的主要工艺过程如下:

- (1) 用离子注入对 SiC 外延片进行 n 型高掺杂;
- (2) 用 LPCVD 法淀积多晶硅并进行原位 n 型高掺杂;
- (3) 在多晶硅上淀积 Ti 金属形成欧姆接触.

该方案工艺相对简单, 而且多晶硅工艺十分成熟, 因此适于制备性能优良且工艺可控性好的欧姆接触.

3 接触特性的模拟

模拟所采用的结构如图 1 所示, 高掺杂的 SiC 衬底的厚度约为 200nm, Ti 与多晶硅反应形成硅化物后剩下的高掺杂多晶硅的厚度约为 200nm. 本文使用的器件模拟软件是 DESSIS, 它是 ISE TCAD 7.0 软件包里的一个器件仿真软件. 针对所要模拟的器件的结构及尺寸, 本文是通过求解漂移扩散模型中的三组基本方程来实现的, 包括 Poisson 方程以及电子和空穴的电流连续性方程. 不同的材料和

* 国家自然科学基金(批准号: 60376001), 国防科技重点实验室(批准号: 51432040103D0102)和国家重点基础研究发展规划(批准号: 2002CB311904)资助项目

[†] 通信作者. Email: zhanglinxp@163.com
2005-10-11 收到, 2005-12-29 定稿

结构的器件需要选择不同的模型. 本文在基本器件模型的基础上, 针对 SiC 材料特有的“冻析”效应选择了部分电离模型, 并考虑到多晶硅和 SiC 接触的晶格失配加入了界面态.

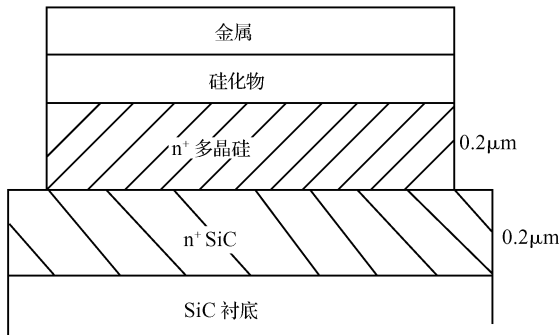


图 1 n^+ 晶硅/ n^+ SiC 形成欧姆接触的结构

Fig.1 Structure of n^+ polysilicon/ n^+ SiC formation ohmic contact

图 2 是零偏压时 n^+ 多晶硅/ n^+ SiC 的能带图. 从图上可以看到, 在多晶硅一侧出现了一个势阱, 而在 SiC 一侧出现了一个尖峰. 与异型异质结不同, 同型异质结中界面两边的载流子类型相同, 导致窄带一侧是电子的积累层, SiC 宽带一侧是净电荷为正的电荷区. 应该指出的是, 在空间电荷区中, 载流子耗尽不成立, 自由载流子对势垒区电荷是有贡献的.

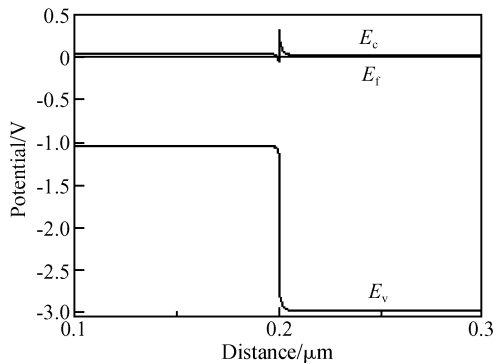


图 2 零偏压下 n^+ 多晶硅/ n^+ SiC 接触界面处的能带图

Fig.2 Band diagram of n^+ polysilicon/ n^+ SiC at zero bias

从能带图中看到, 由于是 n 型的同型异质结, 所以正反向电流特性主要都是电子参与导电, 不存在少子的存储. 电子的势垒是由 SiC 和多晶硅之间的导带断续 ΔE_c 引起的 (ΔE_c 约为 $0.3eV$ 左右), 所以正反向的电子势垒的高度都比较低, 而且势垒非常薄. 这样不但正反向电流较大, 而且能实现较好的线性度^[4].

图 3 是模拟的 n^+ 多晶硅/ n^+ SiC 界面两边掺杂都是 $2 \times 10^{19} cm^{-3}$ 时, 在不同温度下 ($300 \sim 800K$) 的

正反向特性. 考虑到金属/多晶硅欧姆接触的工艺已经很成熟, 通常比接触电阻可以达到小于 $1 \times 10^{-7} \Omega \cdot cm^2$, 所以在模拟过程中, 认为其接触电阻影响很小, 没有加入 $TiSi_2$ -polySi 层的影响, 主要研究多晶硅/SiC 之间的接触电阻大小. 从模拟中可以看到, 正反向电流的线性度都非常好. 加正向电压时势垒很快被拉平; 加反向电压时, 由于多晶硅一侧是载流子的积累, 界面处载流子的扩散再加上反偏时势垒变得更加薄, 所以载流子很容易越过和穿透势垒.

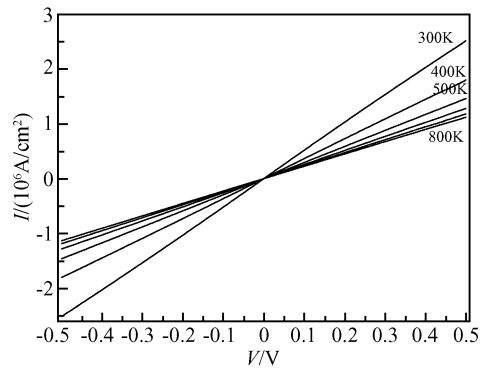


图 3 界面两侧掺杂为 $2 \times 10^{19} cm^{-3}$ 时 n^+ 多晶硅/ n^+ SiC 异质结的正反向特性

Fig.3 Characteristics of current versus voltage at various temperatures

多晶硅欧姆接触的高温热稳定性很好, $TiSi_2$ -polySi 结构的最高稳定温度可达 $850^\circ C$ ^[5]; 多晶硅和 SiC 在高温下也不会发生反应, 所以不会有化学反应导致输运机理的变化. 图 4 是不同掺杂浓度和不同温度下该欧姆接触的比接触电阻值. 从模拟结果可以看到, 在常温下界面两侧掺杂比较低 ($2 \times 10^{19} cm^{-3}$) 时, 该结构的比接触电阻为 $1.917 \times 10^{-7} \Omega \cdot cm^2$; 掺杂比较高时 ($2 \times 10^{20} cm^{-3}$) 模拟的接触电阻可低至 $3.888 \times 10^{-8} \Omega \cdot cm^2$; 从模拟中还可以看到比接触电阻随温度变化不大, 特别是掺杂比较高时尤其明显, 如界面两侧掺杂在 $2 \times 10^{20} cm^{-3}$ 时

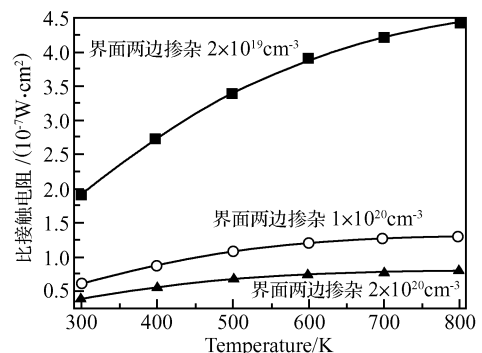


图 4 不同掺杂下 n^+ 多晶硅/ n^+ SiC 异质结的比接触电阻
Fig.4 Specific contact resistance under various conditions

800K 下比接触电阻为 $7.879 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{cm}^2$.

如果再加上多晶硅欧姆接触电阻的影响,那么在常温下该结构总的比接触电阻在 $1 \times 10^{-7} \Omega \cdot \text{cm}^2$ 左右,比目前 n 型 SiC 的欧姆接触水平低数倍甚至 1 个数量级.

4 结论

本文设计了一种新型的 SiC 欧姆接触工艺,并采用器件模拟软件 ISE TCAD 模拟了不同掺杂和温度下该欧姆接触的 $I-V$ 特性,并计算了比接触电阻.结果表明该方案形成的欧姆接触具有工艺简单、比接触电阻小、高温性能优良等优点,相当于将困难复杂的 SiC 欧姆接触转化为相对容易的多晶硅 SiC 异质结 + 多晶硅的欧姆接触,可以充分利用目前成熟的多晶硅工艺,将 SiC 的欧姆接触水平提升至目前多晶硅的欧姆接触水平,是目前制备 SiC 欧姆接

触的一个很好的工艺选择.

参考文献

- [1] Zhang Yuming, Luo Jinsheng, Zhang Yimen. An/NiCr ohmic contacts to n-type 6H-silicon carbide. Chinese Journal of Semiconductors, 1997, 18(9): 719 (in Chinese) [张玉明, 罗晋生, 张义门. n 型 6H-SiC 体材料欧姆接触的制备. 半导体学报, 1997, 18(9): 719]
- [2] Lu Weijin, Mitchel W C, Thornton C A. Carbon structural transitions and ohmic contacts on 4H-SiC. J Electron Mater, 2003, 32(5): 426
- [3] Frusin L G, Zhao J H, Weiner M. Nickel ohmic contacts to p- and n-type 4H-SiC. Electron Lett, 2001, 37(17): 1092
- [4] Yu Lisheng. Physics of semiconductor heterojunction. Beijing: Science Press, 1990: 94 (in Chinese) [虞丽生. 半导体异质结物理. 北京: 科学出版社, 1990: 94]
- [5] Wang Yangyuan. Poly-Si thin films and its application in integrate circuit. Beijing: Science Press, 1988: 218 (in Chinese) [王阳元. 多晶硅薄膜及其在集成电路中的应用. 北京: 科学出版社, 2001: 218]

Ohmic Contact on SiC Using n^+ Polysilicon/ n^+ SiC Heterojunction*

Zhang Lin[†], Zhang Yimen, Zhang Yuming, and Tang Xiaoyan

(Microelectronics Institute, Xidian University, Key Laboratory of the Ministry Education of Wide Band Gap Semiconductor Materials, Xi'an 710071, China)

Abstract: A novel SiC ohmic contact of n^+ polysilicon/ n^+ SiC heterojunction is simulated with the numerical simulator ISE TCAD. The simulated results show that the n^+ polysilicon/ n^+ SiC heterojunction can form excellent ohmic contact and has the advantages of simple process and excellent performance.

Key words: SiC; ohmic contact; poly-silicon; heterojunction

PACC: 7280; 7330; 7340S

Article ID: 0253-4177(2006)S0-0378-03

* Project supported by the National Natural Science Foundation of China (No. 60376001), the Key Laboratory Foundation of Science and Technology of National Defence (No. 51432040103D0102), and the State Key Development Program for Basic Research of China (No. 2002CB311904)

[†] Corresponding author. Email: zhanglinxp@163.com

Received 11 October 2005, revised manuscript received 29 December 2005

©2006 Chinese Institute of Electronics