

# 一维阵列 MSM 4H-SiC 紫外光电探测器的研制

杨伟锋<sup>1</sup> 蔡加法<sup>1</sup> 张 峰<sup>1</sup> 刘著光<sup>1</sup> 吕 英<sup>1</sup> 吴正云<sup>1,2,†</sup>

(1 厦门大学物理系, 厦门 361005)  
(2 厦门大学萨本栋微机电中心, 厦门 361005)

**摘要:** 采用 Ni/Au 作为肖特基接触制备了一维阵列 MSM 4H-SiC 紫外光电探测器, 并测量和分析了阵列器件的  $I$ - $V$ 、光谱响应特性. 结果表明, 阵列探测器性能均匀性好, 击穿电压均高于 100V. 阵列中单器件暗电流小, 在偏压为 20V 的时候, 最大暗电流均小于 5pA (电流密度为 5nA/cm<sup>2</sup>), 光电流比暗电流高 3 个数量级以上. 其光谱响应表明, 单器件在电压为 20V 时的响应度约为 0.09A/W, 比 400nm 时的比值均大 5000 倍, 说明探测器具有良好的紫外可见比.

**关键词:** 4H-SiC; 金属-半导体-金属; 一维阵列; 响应度

**EEACC:** 2530D; 2520M; 2560H

**中图分类号:** O434. 2

**文献标识码:** A

**文章编号:** 0253-4177(2008)03-0570-04

## 1 引言

SiC 半导体材料因其具有禁带宽度大、击穿电场强度高、饱和电子漂移速度大、热导率及抗辐照性能强等一系列优点, 特别适合制作高压、高温、高频、高功率、耐辐照等半导体器件<sup>[1~3]</sup>. 由于 SiC 相应的本征温度在 800°C 以上, 用其做成的器件, 最高工作温度有可能超过 600°C. 高热导率使 SiC 器件可以在高温下长时间稳定工作. 此外, SiC 还是目前唯一可以用热氧化法生成高品质本体氧化物的化合物半导体, 这使其可以象 Si 一样用来制造 MOSFET 和 IGBT 这样的含有 MOS 结构的器件<sup>[4~7]</sup>.

紫外光电探测器由于在国防、紫外天文学、环境监测、火灾探测、涡轮引擎燃烧效率监测、可燃气体成分分析和生物细胞癌变检测等方面有着广阔的前景, 具有极高的军事和民用价值, 是近年来国际上光电探测领域的热点. 4H-SiC 的禁带宽度约 3.26eV, 制备的探测器对红外光与可见光信号不响应, 是紫外探测器特别是日盲区探测器的理想材料. 目前探测器的结构主要有肖特基二极管、金属-半导体-金属 (MSM) 探测器、PIN 以及雪崩二极管 (APD)<sup>[8~11]</sup>. 而 MSM 结构探测器因具有结构与工艺简单、响应速度快、量子效率高、适宜制备阵列器件等特点而在探测器应用中得到重视. 而线性阵列探测器是分光镜、图像应用和光通信的一个重要技术<sup>[12~14]</sup>.

本文采用 RCA 标准清洗法, 在 4H-SiC 上热氧化一层 SiO<sub>x</sub>, 经光刻刻蚀出叉指状图形后, 溅射约 40nm/40nm 金属电极 Ni/Au, 形成 MSM 接触. 接着在 SiO<sub>x</sub> 层上溅射约 300nm/50nm 的 Ti/Au 金属焊盘, 制备了一维 (1×40) 阵列探测器. 之后, 器件在 550°C 的氩气中快速退火 12min. 本文对阵列器件的  $I$ - $V$  和光谱响应特性进行测试和分析.

## 2 实验

实验样品结构是在 n 型掺杂浓度为 10<sup>20</sup> cm<sup>-3</sup> 的 4H-SiC 衬底上外延一层厚度约为 5μm, 掺杂浓度小于 1×10<sup>16</sup> cm<sup>-3</sup> 的 n 型层. 样品在制备前, 经过标准的 RCA 清洗程序后, 置入氧化炉通湿氧气氧化 1h 得到厚度约为 20nm 的 SiO<sub>x</sub> 牺牲层, 然后用 50% 的 HF 腐蚀溶液去掉此牺牲层, 得到一个新鲜的 SiC 面. 用氮气吹干后, 马上置入氧化炉, 经过干氧-湿氧-干氧, 氧化得到厚度约为 42nm 的 SiO<sub>x</sub> 钝化层. 经光刻、显影后, 用缓冲 HF 刻蚀出叉指状图形后, 置入磁控溅射炉中, 沉积厚度为 40nm/40nm, 长度为 500μm 的金属电极 Ni/Au, 经剥离工艺后形成叉指状 MSM 电极. 再进行第二次光刻、显影、溅射、剥离, 再沉积厚度为 300nm/50nm 的焊盘金属 Ti/Au. 成功制备了一维 (1×40) 阵列探测器 MSM 紫外探测器, 阵列由 40 个单元器件组成. 其中一边的焊盘连接, 形成总线 (Bus), 如图 3 所示. 单元器件光学窗口面积为 200μm×500μm, 叉指状电极宽度为 3μm, 间距为 6μm, 焊盘面积为 200μm×200μm. 单元器件如图 1 所示, 采用此工艺制备的探测器, 其焊盘金属位于 SiO<sub>x</sub> 层上, 不与 SiC 表面接触, 可以降低器件的暗电流. 图 2 和图 3 分别为单元器件和阵列器件俯视图.

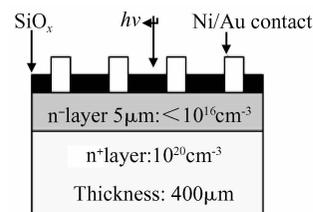


图 1 4H-SiC MSM 探测器的截面图

Fig. 1 Cross section of 4H-SiC MSM photodetector

† 通信作者. Email: zhywu@xmu.edu.cn

2007-08-16 收到, 2007-10-30 定稿

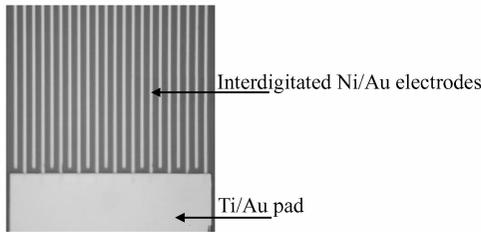


图 2 4H-SiC MSM 阵列中一单元探测器的半边俯视图  
Fig. 2 Top view of half unit of 4H-SiC MSM linear array

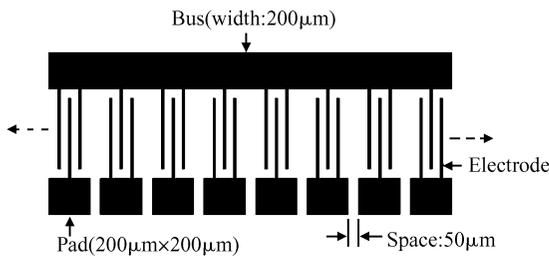


图 3 一维阵列 4H-SiC MSM 探测器的俯视图  
Fig. 3 Top view of a 4H-SiC MSM linear array

### 3 结果分析

#### 3.1 I-V 特性

使用 Keithley6514 型静电计表和 Keithley2410 型源表,以及电功率 450W 的氙灯紫外光源对所制备的阵列探测器进行了光照和暗电流特性测量.测试系统如图 4 所示,在测试暗电流特性时,光源关闭;在测试光电流及光谱响应特性时,光源开启.

图 5 和图 6 所示为阵列中单元器件的 I-V 特性.结果显示:

(1) 40 个单器件组成的线性阵列器件中,38 个合格,2 个不合格(pixel 32 和 pixel 37),造成原因为叉指状电极金属未剥离完全,而电极之间距离很小,引起短路.对于阵列器件,制备工艺的成熟程度直接影响着阵列器件的均匀性和成品率.该阵列器件制备过程受缓冲 HF 腐蚀 SiC 表面热氧化的 SiO<sub>x</sub> 层的工艺控制,影响着电极尺寸大小的准确度;另外电极金属 Ni/Au 由于线条宽度小(3μm),长度长(500μm),间距小(6μm),剥离

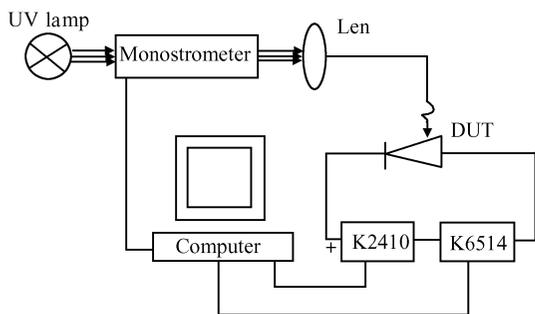


图 4 I-V 和光谱响应测试系统示意图  
Fig. 4 Configuration of the system for I-V characteristics and photo responsivity measurement

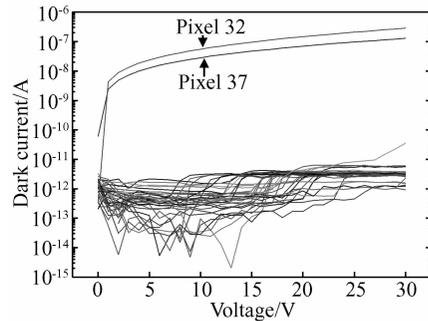


图 5 一维阵列器件(1×40)中各单元器件的 I-V 特性  
Fig. 5 I-V characteristics of a 4H-SiC MSM linear array containing 40 pixels

难控制,容易引起电极断线和电极间短路,以至影响了阵列的成品率.

(2) 合格单器件在 20V 时的暗电流均小于 5pA,保持在 pA 数量级,均匀性良好.用 Ni/Au 金属与 SiC 表面接触,形成肖特基接触,经过特定温度退火,改善接触性能,我们之前阐述过<sup>[15]</sup>.暗电流低的原因之一是在器件表面热氧化生成比 PECVD 生长方法更为致密的 SiO<sub>x</sub> 钝化层,在电极之间形成良好隔离.其次,器件的焊盘没有直接与 SiC 接触,而是搭在 SiO<sub>x</sub> 层上,不仅降低了暗电流,同时能让电流不直接从焊盘流到半导体表面,而从叉指状电极扩展,使得电流能充分并均匀地扩展到整个器件,改善器件性能.

(3) 器件的光电流在 20V 时,在波长 310nm 处显示峰值,最大光电流密度可达 1.7×10<sup>-5</sup> A/cm<sup>2</sup>.光电流与暗电流之比大于 5×10<sup>3</sup>.

此外,本文采用型号 XJ4810 半导体管特性图示仪对器件的击穿电压进行测试.发现单元器件在偏压高于 100V 时,依然保持完整的整流特性,说明各单元器件的击穿电压均高于 100V.

#### 3.2 光谱响应特性

探测器的光谱响应测试系统如图 4 所示,系统由功率为 450W 的氙灯作为紫外光源,经单色仪分光后,由透镜聚焦到紫外光纤,再经 Reflecting Objective 聚焦入射到探测器上,聚焦后光斑直径为 50μm.其中,光源由标准 Si 探测器进行校准.

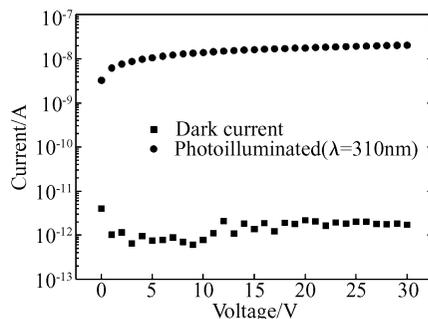


图 6 阵列器件中单元器件 pixel 3 的 I-V 特性  
Fig. 6 I-V characteristics of a 4H-SiC MSM photodetector (pixel 3)

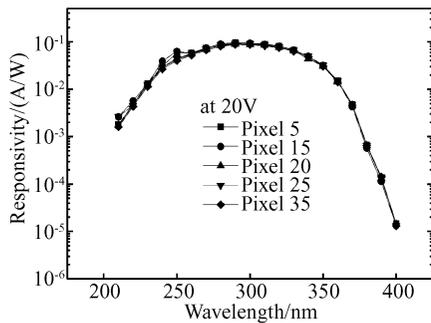


图 7 一维阵列器件中随机抽取 5 个单元器件的光谱响应特性

Fig. 7 Spectral response of five 4H-SiC MSM photodetectors in linear array ( $1 \times 40$  units)

图 7 为阵列器件中随机抽取 5 个单元器件的光谱响应曲线,探测器的光谱响应在 290nm 处达到最大,响应度均匀性良好,20V 工作电压下约在 0.085 ~ 0.095A/W 之间.该处的响应度比 400nm 处的比值大 5000 倍,说明探测器具有良好的紫外可见比.器件的紫外可见比虽高,但因 MSM 结构本身的特点,其响应度或量子效率受到限制.原因在于:第一,由于 MSM 叉指状电极厚度超过 10nm,为非透明薄膜,占用器件光敏面的约 33%,导致该电极下的 SiC 表面无法接收到光;第二,金属电极之外的占总面积 67%的面是  $\text{SiO}_x$  层,紫外光透过率虽高,但由于表面光滑,光在  $\text{SiO}_x$  层表面,以及  $\text{SiO}_x$  和 SiC 界面存在反射现象,损失了部分有效光源,在一定程度上降低了器件的光谱响应度.降低电极占光敏面比例的方法是保持电极宽度不变,而增加电极间的间距.我们研究发现电极间距离超过一定宽度时,光响应度开始下降.因为虽然产生的光生载流子多,但因电极距离过大,光生载流子在达到电极之前部分已被复合,导致光响应度反而降低.

## 4 结论

本文采用 Ni 金属作为肖特基接触金属,在 4H-SiC 材料上成功制备了一维阵列 MSM 结构紫外探测器,并对阵列器件的光电性能进行了测试.结果表明,阵列器件的性能均匀性良好,单元器件的击穿电压大于 100V.器件在 30V 以下,暗电流均在 pA 级,而光电流比暗电流大 3 个数量级以上.单元器件在 20V 的响应度约

在 0.09A/W,比 400nm 处的比值大 5000 倍,说明探测器具有良好的紫外可见比.

## 参考文献

- [1] Saxena V, Su J N, Steckl A J. High-voltage Ni-and Pt-SiC Schottky diodes utilizing metal field plate termination. *IEEE Electron Devices*, 1999, 46(3): 456
- [2] Kestle A, Wilks S P, Dunstan P R, et al. Improved Ni/SiC Schottky diode formation. *Electron Lett*, 2000, 36(3): 267
- [3] Defives D, Noblanc O, Dua C, et al. Electrical characterization of inhomogeneous Ti/4H-SiC Schottky contacts. *Materials Science and Engineering B*, 1999, 61/62: 395
- [4] Noborio M, Suda J, Kimoto T. 4H-SiC lateral double RESURF MOSFETs with low ON resistance. *IEEE Trans Electron Devices*, 2007, 54(5): 1216
- [5] Potbhare S, Goldsman N, Pennington G, et al. Numerical and experimental characterization of 4H-silicon carbide lateral metal-oxide-semiconductor field-effect transistor. *J Appl Phys*, 2006, 100(4): 044515
- [6] Zhu L, Balachandran S, Chow T P. Comparison of high-voltage 4H-SiC insulated-gate bipolar transistor (IGBT) and MOS-gated bipolar transistor (MGT). *Silicon Carbide and Related Materials 2004 Materials Science Forum*, 2005, 483: 917
- [7] Singh R, Ryu S H, Capell D C, et al. High temperature SiC trench gate p-IGBTs. *IEEE Trans Electron Devices*, 2003, 50(3): 774
- [8] Sciuto A, Roccaforte F, Franco S D, et al. High responsivity 4H-SiC Schottky UV photodiodes based on the pinch-off surface effect. *Appl Phys Lett*, 2006, 89: 081111
- [9] Wu Z Y, Xin X B, Yan F, et al. Fabrication of MSM structure UV photodetector on 4H-SiC. *Chinese Journal of Quantum Electronics*, 2004, 21(2): 269
- [10] Yan F, Qin C, Zhao J H, et al. Demonstration of 4H-SiC avalanche photodiodes linear array. *Solid-State Electronics*, 2003, 47: 241
- [11] Chen X P, Yang W F, Wu Z Y. Visible blind p-i-n ultraviolet photodetector fabricated on 4H-SiC. *Microelectronic Engineering*, 2006, 83: 104
- [12] Mazzeo G, Reverchon J L, Duboz J Y, et al. AlGaN-based linear array for UV solar-blind imaging from 240 to 280nm. *IEEE Sensors Journal*, 2006, 6(4): 957
- [13] Chen R T, Lin L, Choi C C, et al. Fully embedded board-level guided-wave optoelectronic Interconnects. *Proceed of the IEEE*, 2000, 88(6): 780
- [14] Liu Y, Strzelecka E M, Nohava J, et al. Smart-pixel array technology for free-space optical interconnects. *Proceedings of the IEEE*, 2000, 88(6): 764
- [15] Yang W F, Yang K Q, Chen X P, et al. Annealing effect on Cu-, Ni/4H-SiC Schottky barrier. *Chinese Journal of Semiconductors*, 2005, 26(supplement): 277

## Fabrication of 4H-SiC MSM Photodiode Linear Arrays

Yang Weifeng<sup>1</sup>, Cai Jiafa<sup>1</sup>, Zhang Feng<sup>1</sup>, Liu Zhuguang<sup>1</sup>, Lü Ying, and Wu Zhengyun<sup>1,2,†</sup>

(1 *Department of Physics, Xiamen University, Xiamen 361005, China*)

(2 *MEMS Center, Xiamen University, Xiamen 361005, China*)

**Abstract:** Metal-semiconductor-metal (MSM) photodetector linear arrays of 40 pixels based on 4H-SiC, in which nickel Schottky contacts are used, are designed, fabricated, and characterized. Current-voltage and spectral responsivity measurements are carried out at room temperature. The linear arrays show uniform performances, including responsivity, breakdown voltage, and low leakage current. The breakdown voltage of the unit is beyond 100V. The detector shows a peak responsivity of about 0.09A/W, a dark current smaller than 5pA at 20V, and a displayed peak response wavelength at 290nm. The ratio of responsivity at 290nm to that of at 400nm is more than 5000, implying that the photodetector has an improved visible blind performance.

**Key words:** 4H-SiC; metal-semiconductor-metal; linear arrays; responsivity

**EEACC:** 2530D; 2520M; 2560H

**Article ID:** 0253-4177(2008)03-0570-04

† Corresponding author. Email: zhywu@xmu.edu.cn

Received 16 August 2007, revised manuscript received 30 October 2007