

AlGaIn/GaN MSM 紫外探测器特性

周 劲¹ 郝一龙¹ 武国英¹ 杨志坚² 张国义²

(1 北京大学微电子学研究所, 北京 100871)

(2 北京大学物理系, 北京 100871)

摘要: 在蓝宝石衬底下,用 MOCVD(金属有机物气相沉积)法外延生长 AlGaIn/GaN 异质结样品. 溅射 Ti/Al/Ni/Au 和 Ni/Au 金属膜,在氮气气氛中高温快速退火,分别与样品形成欧姆接触和肖特基接触. 随着退火时间的增加,MSM(金属-半导体-金属)结构的 $I-V$ 特性曲线保持良好的对称性,但 $C-V$ 曲线逐渐失去其对称性. MSM 探测器的紫外响应曲线具有良好的对比度和选择性,出现明显的光电导增益效应.

关键词: AlGaIn/GaN; MSM; 肖特基; 紫外响应曲线

PACC: 7240; 7340M

中图分类号: TN23

文献标识码: A

文章编号: 0253-4177(2005)S0-0247-05

1 引言

太阳辐射的紫外线被大气吸收的谱区,称为“日盲”区(大气层吸收 200~300nm 紫外光). 由于紫外线的“日盲”特性和在大气层中因均匀散射而呈现的背景条件,研制运用在军事高科技和民品市场等通信和成像的紫外探测器具有很高的价值. 由于 GaN 系半导体有很宽的直接带隙(3.4~6.2eV)、高光电转换量子效率、低表面复合率以及在苛刻的物理和化学环境中的高稳定性,GaN 紫外探测器的性能大大超过了传统的紫外光电探测器,如光阴极和固态探测器,以及 Si 和 SiC 探测器. GaN 基紫外探测器能够有效地探测、跟踪释放出大量紫外线的飞行目标,也可以在监控喷气发动机与汽车发动机、森林火灾预警等领域发挥作用^[1~4].

MSM(金属-半导体-金属)结构器件最早由美国的 Sze 等人于 1971 年首先提出概念,并研制出硅基 MSM 结构器件. 1985 年德国的 Roth 等人率先将其应用到光探测器,研制出 GaAs 基 MSM-PD. 目前,众多研究小组开展了 GaN 基紫外探测器的研究. 1991 年, Khan 小组研制成功光电导效应 GaN 紫外探测器. 1992 年研制出肖特基型紫外探测器. 1997 年,研制出的 GaN 基紫外探测器样管的零偏压响应为 0.21A/W(356nm),内量子效率达 82%,

NEP 为 6.6×10^{-15} W/Hz. 2001 年, Monroy 等人比较了多种结构的 AlGaIn 紫外探测器的特性. 2002 年, Morkoc 综述了 GaN 基 HEMT 和紫外探测器的理论和进展^[5~7]. MSM-PD 的迅速发展与其本身的特点是分不开的: (1) 工艺简单,而且从材料生长到器件工艺过程都可以与 FET 工艺兼容,容易实现单片集成的光接收机; (2) 响应速度快, RC 时间常数很小,主要取决于光生载流子在电极之间的渡越时间; (3) 在工艺上更容易实现探测器阵列.

本文研究在 AlGaIn/GaN 异质结上制作 MSM 探测器的结构特性和紫外响应特性. 讨论肖特基结的 $I-V$ 和 $C-V$ 曲线特性,研究 MSM 结构特性,为改良工艺参数和提高 MSM 紫外探测器性能奠定基础.

2 实验

为了深入研究 AlGaIn/GaN 异质结上的肖特基结特性,我们将图 1(a)所示叉指状肖特基结构和图 1(b)所示的 MSM 的结构作对比研究. AlGaIn/GaN MSM 采用了标准的工艺: (1) 用丙酮、乙醇、去离子水清洗样品; (2) 在样品上光刻出所需要的图形; (3) 溅射形成欧姆接触和肖特基接触的金属薄膜; (4) 剥离出金属电极; (5) 在氮气中快速退火; (6) 隔离单元刻蚀. Ti/Al/Ni/Au 多层膜在 700°C 下快速退火形

成欧姆电极; Ni/Au (20nm/200nm) 做肖特基结电极. 测量肖特基结的 $I-V$ 和 $C-V$ 特性曲线. Hall 测量得到样品的迁移率为 $228\text{cm}^2/(\text{V}\cdot\text{s})$, n 型载流子密度为 $6.3 \times 10^{18}\text{cm}^{-3}$. XRD 分析 AlGaIn/GaN 样品的晶体质量. 测量 MSM 探测器的紫外响应曲线需要的设备为氙灯、单色仪、斩波器、锁相放大器 and 监控计算机.

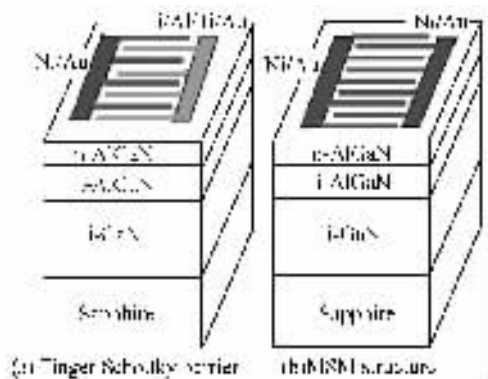


图 1 AlGaIn/GaN MSM 结构示意图

Fig. 1 Schematic of MSM structure on AlGaIn/GaN

3 结果与讨论

图 2(a) 为样品的 XRD 曲线, 位于 34.525° 的衍射峰来源于 GaN 的晶格衍射, 而位于 35.025° 的肩峰来自 AlGaIn 合金. 根据 Vegard 定律, AlGaIn 合金组分值可以计算出 ($x=0.3$). XRD 曲线表明外延生长的 AlGaIn/GaN 样品晶体质量满足器件要求.

制备 GaN 器件的一个关键工艺是在 GaN 材料上实现低阻的欧姆接触. 通过 $I-V$ 特性曲线测定的电阻包括三个部分: 接触电阻、GaN n^+ 层的电阻和电极间的体电阻. 通常忽略 GaN n^+ 层的电阻, 接触电阻为:

$$R = 2R_c + R_t$$

式中 R_c 为接触电阻, R_t 为 AlGaIn 薄层电阻.

$$R_t = R_s L/W = (1/qn_s \mu)(L/W)$$

式中 R_s 为 AlGaIn 薄层的面电阻. 根据传输线模型, 接触电阻可表示为 (当 d 较大时):

$$R_c = [(R_s \rho_c)^{1/2}/W] \coth((R_s/\rho_c)^{1/2} d) \\ \approx (R_s \rho_c)^{1/2}/W$$

接触电阻率 ρ_c 为:

$$\rho_c = (WR_c)^2/R_s$$

欧姆电极间电阻与接触区间距的关系如图 2(b) 所示. 当方块电阻间距比较大时 (大于 $10\mu\text{m}$), 欧姆电

阻与间距近似为线性关系. 当方块间距较小时 (小于 $10\mu\text{m}$), 欧姆接触电阻趋近于零. 接触电阻率可以根据公式计算出:

$$\rho_c = 2.4 \times 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}^2$$

表明欧姆接触比较好, 有利于制作良好的肖特基结.

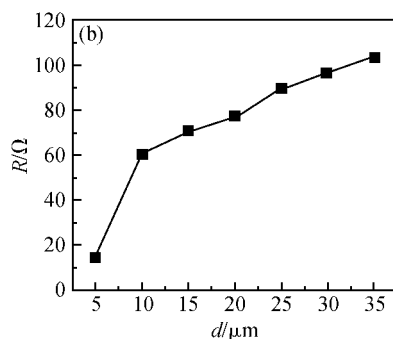
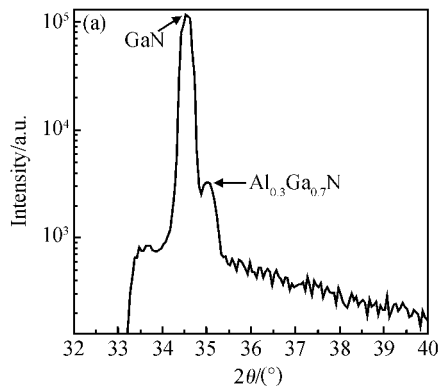


图 2 (a) AlGaIn/GaN 样品 XRD 曲线; (b) 方块电阻与方块间距的关系

Fig. 2 (a) XRD curves of samples; (b) Relation between square resistance and space

图 3(a) 为肖特基结在不同退火温度下的 $I-V$ 特性曲线. 在 450°C 快速退火时, 肖特基结的反向漏电流最小. 在 $0 \sim -40\text{V}$ 反偏下, 它的漏电流为 μA 量级. 退火前肖特基结 $I-V$ 特性曲线是光滑曲线, 而退火后, 肖特基漏电流曲线在 $-2 \sim -3\text{V}$ 之间出现转折, 随着反偏压的增加, 样品的漏电流的对数值显然与反偏电压成线性关系. 图 3(b) 为 MSM 结构的漏电流的退火效应曲线. 它与肖特基的漏电流曲线具有类似特性, 在 450°C 快速退火时具有最小的漏电流, 但其数值比肖特基结的反向漏电流大一个数量级. 而且 MSM 结构具有良好的对称性, 可以从 MSM 结构实质上是两个肖特基结背对背配置来解释. MSM 结构的转折电压比肖特基结的转折电压要大 0.6V , 这与肖特基结的导电电压相一致. 图 3

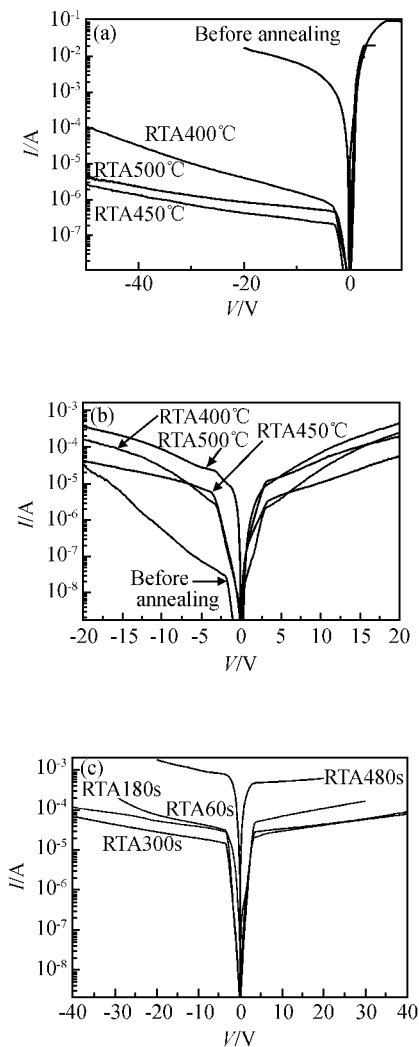


图 3 (a)肖特基结退火温度优化;(b)MSM 结构退火温度优化;(c)MSM 结构退火温度为 450°C 时,退火时间优化

Fig. 3 (a) Optimal RAT temperature of Schottky contact;(b) Optimal RAT temperature of MSM structure;(c) Optimal RAT time of MSM Structure

(c)所示为样品在最佳退火温度 450°C 下快速退火,改变退火时间的 MSM 结构的漏电流曲线.可以观察到,当退火时间为 300s 时,MSM 结构具有最小的漏电流.因此肖特基结和 MSM 结构最佳退火温度和退火时间分别为 450°C 和 300s.利用在最佳工艺条件下测出 $I-V$ 曲线计算得肖特基势垒高度为 0.87eV.退火温度和时间都对势垒高度有影响,这可以从表面态密度解释.当半导体的表面态密度较高时,可以屏蔽金属接触的影响,使得半导体内的势垒高度不仅和金属的功函数有关,而且还和半导体的表面性质有关.

肖特基结形成的电容随着反偏电压的变化,耗

尽区深入到缓冲层时,电容值降到最低.然而电容变化还取决于肖特基势垒高度. MSM-PD 无偏压时电容由电极的面积和电极与沟道的距离确定.电容与肖特基势垒关系如下:

$$1/C^2 = 2(V_{bi} - V)/[q\epsilon_s N_D]$$

$$N_D = (2/q\epsilon_s)[-d(1/C^2)/dV]^{-1}$$

图 4(a)是在 450°C 退火温度下的肖特基结的 $C-V$ 曲线.在反偏电压下, $C-V$ 成抛物线关系.快速退火 300s 时所得肖特基电容值最大.退火 480s 后,肖特基结的电容值最小,而且逐渐平坦.图 4(b)MSM 结构的 $C-V$ 曲线.可以观察到当退火时间为 60s 时, $C-V$ 曲线具有良好的对称性,可以看作两个独立分离的肖特基势垒电容.当退火时间为 180s 时,电容值变大,其对称性仍然存在,但两个波包含并成一个波包.当退火时间为 300s 时, $C-V$ 曲线失去了对称性.当退火时间为 480s 时,MSM 结构 $C-V$ 曲线退化成单个肖特基结的势垒电容特性.同时从图 3(c)的 MSM 结构 $I-V$ 曲线可知,退火时间为 480s 时,漏电流增大,反偏的肖特基结特性变坏.

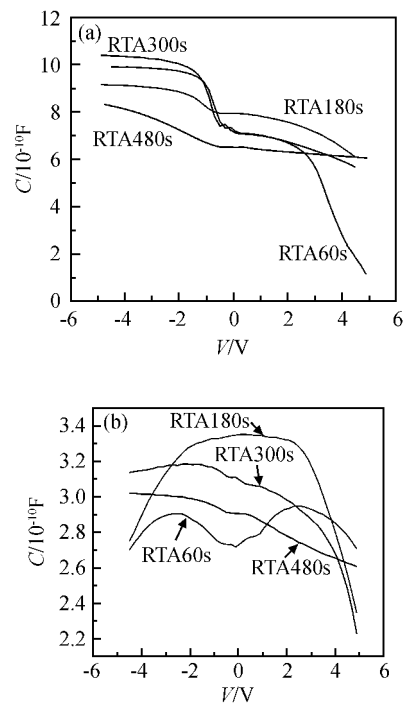


图 4 (a)肖特基结的 $C-V$ 特性曲线随退火温度变化;(b) MSM 结构的 $C-V$ 特性曲线随退火温度变化

Fig. 4 $C-V$ curves dependence on RTA temperature of (a) Schottky contact;(b) MSM structure

图 5 是 MSM 探测器的响应曲线,它们的截止波长都在 365nm 附近.从 280 到 360nm,在 0 ~

4.6V 偏压下,响应曲线随着电压增加而增加,可以观察到明显的光电导增益效应,光电导增益的大小是与波长有关.但在 8V 偏压下,响应值却相对下降,其原因有待进一步研究.紫外/可见光响应对比度大于 100,而且随着偏压的升高而增加.可以观察到偏压越大,响应曲线的下降部分越陡峭,表明波长选择性越好.响应曲线的噪声随着偏压的增加而增加,表明光生载流子在电场中输运时受到更多的散射,可能与 AlGaIn/GaN 的异质结有关.

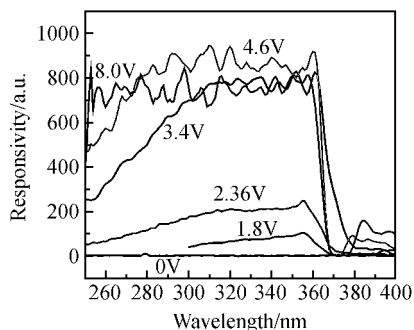


图 5 MSM 探测器紫外响应曲线

Fig. 5 UV response spectra of MSM detector

4 结 论

我们研制成了 AlGaIn/GaN 异质结紫外探测器,确定肖特基结和 MSM 结构最佳工艺参数.肖特基结反偏漏电流的对数值与反偏电压成线性关系,MSM 结构也具有类似性质.随着退火时间的延长,MSM 结构的 $I-V$ 特性曲线保持良好的对称性,但 $C-V$ 曲线逐渐失去其对称性.这种现象定性解释为两个独立的肖特基结势垒电容随退火时间延长,相

互作用逐渐增强,合并成一个肖特基势垒电容,同时肖特基结的特性变坏.MSM 探测器具有良好的对比度和选择性,在响应曲线中出现明显的光电导增益效应.

致谢 感谢马连荣女士在光刻工艺方面的帮助,王玮女士在溅射工艺方面的帮助.

参 考 文 献

- [1] Ferguson I, Tran C A, Karlicer R F Jr, et al. GaN and AlGaIn metal-semiconductor-metal photodetectors. *Materials Science and Engineering*, 1997, B50: 311
- [2] Averine S, Chan Y C, Lam Y L. Evaluation of Schottky contact parameters in metal-semiconductor-metal photodiode structures. *Appl Phys Lett*, 2000, 77: 274
- [3] Katz O, Garber V, Meyler B, et al. Gain mechanism in GaN Schottky ultraviolet detectors. *Appl Phys Lett*, 2001, 79: 1417
- [4] Monroy E, Calle F, Pau J L, et al. Analysis and modeling of $Al_xGa_{1-x}N$ -based Schottky barrier photodiodes. *J Appl Phys*, 2000, 88: 2081
- [5] Danielsson E, Zetterling C M, Ostling M, et al. Simulation and electrical characterization of GaN/SiC and AlGaIn/SiC heterodiodes. *Materials Science and Engineering*, 1999, B61/62: 320
- [6] Arulkumaran S, Egawa T, Ishikawa H, et al. Effects of annealing on Ti, Pd, and Ni/n- $Al_{0.11}Ga_{0.89}N$ Schottky diodes. *IEEE Trans Electron Devices*, 2001, 48(3): 573
- [7] Koyama Y, Hashizume T, Hasegawa H, et al. Formation processes and properties of Schottky and ohmic contacts on n-type GaN for field effect transistor applications. *Solid-State Electron*, 1999, 43: 1483
- [8] Sze S M. *Semiconductor devices physics and technology*. Beijing: Science Press, 1992: 178 (in Chinese) [施敏. 半导体器件物理与工艺. 北京: 科学出版社, 1992: 178]

Properties of Schottky Contact in MSM UV Detectors Based on AlGa_N/Ga_N Heterostructure

Zhou Jin¹, Hao Yilong¹, Wu Guoying¹, Yang Zhijian², and Zhang Guoyi²

(¹ *Institute of Microelectronics, Peking University, Beijing 100871, China*)

(² *Department of Physics, Peking University, Beijing 100871, China*)

Abstract: AlGa_N/Ga_N hetero-structure samples are grown on sapphire substrate by MOCVD method. Ti/Al/Ti/Au and Ni/Au metal films are sputtered on the samples, respectively. They are thermally annealed in the N₂ gas for the different time and temperatures, and become ohmic contact and Schottky contact, respectively. Both *I-V* curves and *C-V* curves are discussed in term of the measurement results. The *I-V* curves have very good symmetry, but *C-V* curves slowly lose their symmetry with the annealing time increasing. MSM PD have good performance on the UV/Visible contrast and selectivity and the photoconductive gain effect is observed in the MSM PD UV response curves.

Key words: AlGa_N/Ga_N; MSM; Schottky contact; UV response

PACC: 7240; 7340M

Article ID: 0253-4177(2005)S0-0247-05