

GaN 基金属-半导体-金属探测器

刘文宝[†] 孙 菟 王小兰 张 爽 刘宗顺 赵德刚 杨 辉

(中国科学院半导体研究所, 北京 100083)

摘要: 采用 MOCVD 方法在蓝宝石衬底上生长出非故意掺杂的 GaN 外延层, 并在 GaN 层上制作 Ni/Au 肖特基电极形成金属-半导体-金属(MSM)结构的探测器. 对探测器暗电流进行了测试分析, 发现在大电压下老化以后暗电流减小, 小电压下出现电流反向, 经白光照射后能够恢复. 光谱响应测量中发现带隙内 368nm 处有光电导性质的异常峰值响应, 808nm 的激光对其有明显的淬灭作用, 并根据陷阱模型对这些现象做出了解释.

关键词: GaN; MSM 探测器; 暗电流; 光谱响应; 陷阱模型

PACC: 7220J; 7240; 7340

中图分类号: TN364

文献标识码: A

文章编号: 0253-4177(2007)S0-0588-03

1 引言

GaN 材料具有宽的直接带隙、高的热导率、化学稳定性好、高的击穿电场、高电子饱和迁移率等性质和强的抗辐照能力, 在微电子器件和光电子器件方面都有着广阔的应用前景^[1]. 尤其在紫外探测器领域, GaN 更是由于其优良的性能而备受关注. 目前世界上许多国家已经研制出多种结构的 GaN 基紫外探测器, 如光电导型^[2]、p-n 结型^[3]、单肖特基型^[4], 以及金属-半导体-金属(MSM)型^[5]等. 其中 MSM 型由于其制作工艺简单, 响应度大, 响应速度快, 平面器件结构易集成等优点而受到更多的重视^[6].

本文介绍了 GaN 基 MSM 型探测器制作及其测试. 对 MSM 型探测器表现出的两个重要问题——小电压下暗电流反向和光响应的淬灭行为进行了分析.

2 实验

实验中使用的样品是在蓝宝石(0001)衬底上采用低压 MOCVD 方法生长的非故意掺杂的六方相 GaN. 其生长过程是: 使用三甲基镓、高纯氨气、氢气分别作为 Ga 源、N 源和载气, 首先在 550°C 下生长一层低温 GaN 缓冲层, 随后在 1100°C 下生长 4 μ m 厚的非掺杂 GaN 外延层. 在制作 MSM 型探测器时使用标准光刻的方法制作 Ni/Au 叉指透明电极, 然后在 N₂、O₂ 混合气氛下 500°C 退火, 形成肖特基接触. 最后在 Ni/Au 上溅射 Ti/Al/Ti/Au 作为压焊

点. 整个器件的结构如图 1 所示.

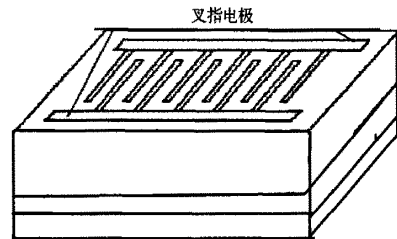


图 1 MSM 型探测器的结构示意图

Fig. 1 Schematic structure of MSM-type photo detector

探测器的暗电流测试是使用 Keithley6430 源表. 光谱响应测试系统使用的光源为 150W 氙灯, 光经过单色仪分光后再通过斩波器调制, 然后照射到探测器上. 而探测器与一个取样电阻串联, 和外加直流电源一起构成回路. 这样用锁相放大器测得取样电阻上的交流同步电压信号实际上就是探测器的响应.

3 结果与讨论

在首先进行的暗电流测试中, 因为 MSM 型结构实际上是两个背靠背串联的肖特基结, 外加偏压时总是一个结为正向偏置另一个结为反向偏置, 所以正反向暗电流显示了较好的对称性. 在 100V 偏压下暗电流为 4nA.

测试中我们发现, 在外加 100V 电压持续老化 200s 后电流在小电压下出现振荡. 相同电压下电流都比老化前小, 如图 2(a)虚线所示. 并且暗电流在

[†] 通信作者. Email: wbliu@semi.ac.cn

2006-12-04 收到, 2006-12-22 定稿

小电压下反向(见图 2(b)),经光照后 $I-V$ 特性能够恢复.

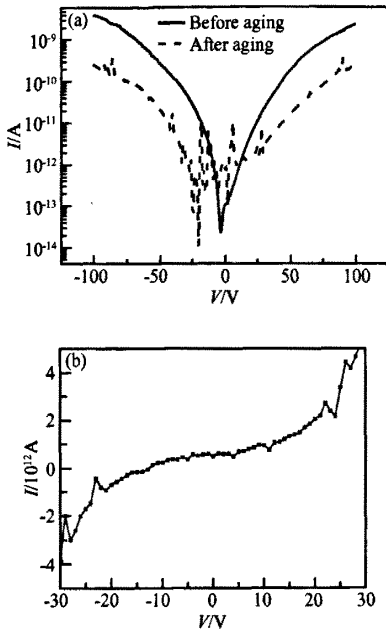


图 2 (a) 电压老化前后的暗电流曲线; (b) 电压老化后小电压下电流反向
Fig. 2 (a) Dark current curves before and after voltage aging; (b) Reverse current under small voltage after voltage aging

老化后电流减小的原因可能是老化过程中缺陷密度增加,对载流子的散射作用增强,从而导致电流降低.对于小电压下电流反向的问题,我们根据陷阱模型^[7]进行解释.如图 3 所示,电子输运有四个过程:①电子隧穿到界面深能级态;②电子继续隧穿越过势垒;③电子被热激发到高能态;④电子从高能态回到金属.

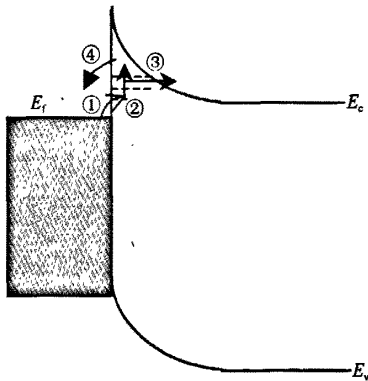


图 3 肖特基电子输运模型

Fig. 3 Model of electron transport across Schottky junction

当加偏压测量后从金属隧穿到半导体的电子被界面陷阱俘获①,在随后的测量中,被俘获的电子逐渐又被释放到金属中④,从而形成一股反向电流.这一点从老化后小电压下电流振荡可以得到证实.经白光照射,长波光使陷阱中电子被提前释放掉,这样反向电流就会消失.

在光谱测量中,我们发现在带隙内 368nm 处有明显的峰值响应,并且响应随斩波器频率的增大而明显减小,表明其响应具有光电导的性质.用红外 808nm 激光器的光作淬灭光源,发现对光电导有着明显的淬灭作用.

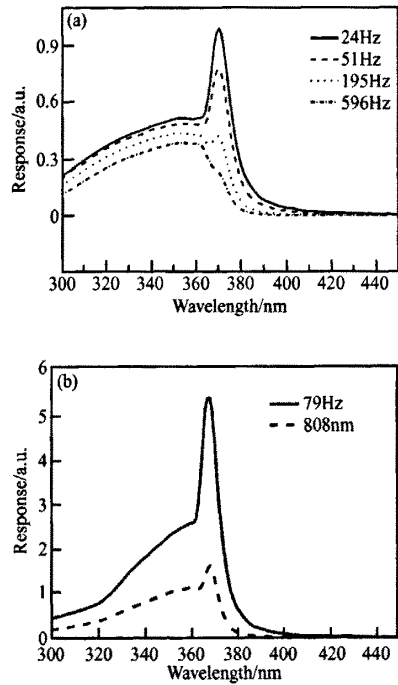


图 4 (a) 光谱响应对频率的依赖; (b) 808nm 激光器的光对光谱响应的淬灭行为
Fig. 4 (a) Dependence of photo response on chopping frequency; (b) Quenching characteristic of 808nm laser beam on photo response

利用前面提到的陷阱模型,光生空穴被带隙内的陷阱俘获后在导带就存在一定量的电子以保持平衡.这些电子在电场作用下形成并联的光电流,并且表现出光电导的性质.当外加一定波长的淬灭光后,陷阱俘获的空穴被激发回到价带,从而使并联光电流减小,表现为光谱响应的淬灭.

4 结论

在蓝宝石衬底上采用 MOCVD 方法生长的非故意掺杂 GaN 外延层上制作了 MSM 结构的探测

器. 暗电流正反向显示了较好的对称性, 在 100V 偏压下暗电流为 4nA. 大电压下老化后电流在小电压下出现振荡并且有反向现象. 在 368nm 处显示了光电导性质的峰值光谱响应. 根据陷阱模型解释了 MSM 型探测器的这些性质.

参考文献

- [1] Strite S, Morkoc H. GaN AlN and InN: A review. *J Vac Sci Technol B*, 1992, 10(10):1237
- [2] Khan M A, Kuznia J N, Olson D T, et al. High-responsivity photoconductive ultraviolet sensors based on insulating single-crystal GaN epilayers. *Appl Phys Lett*, 1992, 60(23): 2917
- [3] Chen Q, Khan M A, Sun C J, et al. Visible-blind ultraviolet photodetectors based on GaN p-n junctions. *Electron Lett*, 1995, 31(20):1781
- [4] Khan M A, Kuznia J N, Olson D T, et al. Schottky barrier photodetector based on Mg-doped p-type GaN films. *Appl Phys Lett*, 1993, 63(18):2455
- [5] Carrano J C, Grudowski P A, Eiting C J, et al. Very low dark current metal-semiconductor-metal ultraviolet photodetectors fabricated on single-crystal GaN epitaxial layers. *Appl Phys Lett*, 1997, 70(15):1992
- [6] Monroy E, Calle F, Pau J L, et al. AlGaIn-based UV photodetectors. *J Cryst Growth*, 2001, 230:537
- [7] Carrano J C, Li T, Grudowski P A, et al. Campbell current transport mechanisms in GaN-based metal-semiconductor-metal photodetectors. *Appl Phys Lett*, 1998, 72(5):542

Characteristics of Metal-Semiconductor-Metal Photodetectors Based on GaN

Liu Wenbao[†], Sun Xian, Wang Xiaolan, Zhang Shuang, Liu Zongshun,
Zhao Degang, and Yang Hui

(*Institute of Semiconductors, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100083, China*)

Abstract: Metal-Semiconductor-Metal type (MSM) photodetectors were fabricated on unintentional doped GaN epitaxial films which were grown on sapphire substrate by metal organic chemical vapor deposition (MOCVD). Their characteristics of dark current and photo response were investigated. It was found that the dark current degraded after voltage ageing, and there was an abnormal reverse current under small voltage which can be restored with white light exposure. In addition, a peak photoconductive response around 368nm was observed, and it can be quenched under 808nm laser irradiation. According to a trap model the mechanism behind was supposed.

Key words: GaN; MSM photodetectors; dark current; photo response; trap model

PACC: 7220J; 7240; 7340

Article ID: 0253-4177(2007)S0-0588-03

[†] Corresponding author. Email: wbliu@semi.ac.cn

Received 4 December 2006, revised manuscript received 22 December 2006