

氮化镓基感光栅极高电子迁移率晶体管器件设计与制备

朱彦旭 宋会会 王岳华 李赉龙 石栋

Design and fabrication of high electron mobility transistor devices with gallium nitride-based

Zhu Yan-Xu Song Hui-Hui Wang Yue-Hua Li Lai-Long Shi Dong

引用信息 Citation: *Acta Physica Sinica*, 66, 247203 (2017) DOI: 10.7498/aps.66.247203

在线阅读 View online: <http://dx.doi.org/10.7498/aps.66.247203>

当期内容 View table of contents: <http://wulixb.iphy.ac.cn/CN/Y2017/V66/I24>

---

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

加载功率与壳温对 AlGaIn/GaN 高速电子迁移率晶体管器件热阻的影响

Influence of power dissipation and case temperature on thermal resistance of AlGaIn/GaN high-speed electron mobility transistor

物理学报.2016, 65(7): 077201 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.65.077201>

新型 AlGaInP 系发光二极管饱和特性与寿命的研究

Investigation of the saturation characteristic and lifetime of the novel AlGaInP lightemitting diodes

物理学报.2014, 63(3): 037201 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.63.037201>

原子层沉积 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/n-GaN MOS 结构的电容特性

Capacitance characteristics of atomic layer deposited Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/n-GaN MOS structure

物理学报.2013, 62(19): 197203 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.62.197203>

AlGaIn/GaN 高电子迁移率晶体管漏电流退化机理研究

Degradation mechanism of leakage current in AlGaIn/GaN high electron mobility transistors

物理学报.2013, 62(15): 157202 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.62.157202>

AlGaAs/InGaAs PHEMT 栅电流参数退化模型研究

Gate current degradation model of the AlGaAs/InGaAs PHEMT

物理学报.2013, 62(15): 157203 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.62.157203>

# 氮化镓基感光栅极高电子迁移率晶体管器件设计与制备\*

朱彦旭<sup>†</sup> 宋会会 王岳华 李赉龙 石栋

(北京工业大学, 光电子技术教育部重点实验室, 北京 100124)

(2017年6月26日收到; 2017年9月14日收到修改稿)

GaN基高电子迁移率晶体管 (HEMT) 作为栅控器件, 具有 AlGa<sub>N</sub>/Ga<sub>N</sub> 异质结处高浓度的二维电子气 (2DEG) 及对表面态敏感等特性, 在栅位置处与感光功能薄膜的结合是光探测器领域重要的研究方向之一. 本文首先提出在 GaN 基 HEMT 栅电极上引入光敏材料锆钛酸铅 (PZT), 将具有光伏效应的铁电薄膜 PZT 与 HEMT 栅极结合, 提出一种新的“金属/铁电薄膜/金属/半导体 (M/F/M/S)”结构; 然后在以蓝宝石为衬底的 AlGa<sub>N</sub>/Ga<sub>N</sub> 外延片上制备感光栅极 HEMT 器件. 最后, 通过 PZT 的光伏效应来调控沟道中的载流子浓度和通过源漏电流的变化来实现对可见光和紫外光的探测. 在 365 nm 紫外光和普通可见光条件下, 对比测试有/无感光栅极的 HEMT 器件, 在较小  $V_{gs}$  电压时, 可见光下测得前者较后者的饱和漏源电流  $I_{ds}$  的增幅不下降, 紫外光下前者较后者的  $I_{ds}$  增幅大 5.2 mA, 由此可知, 感光栅 PZT 在可见光及紫外光下可作用于栅极 GaN 基 HEMT 器件并可调控沟道电流.

**关键词:** 高电子迁移率晶体管, 锆钛酸铅, 感光栅极, 光探测

**PACS:** 72.80.Ey, 73.40.Ns, 73.40.Kp

**DOI:** 10.7498/aps.66.247203

## 1 引言

氮化镓 (GaN) 及其系列材料 (包括 GaN, InN, AlN 及其合金) 被称为第三代半导体, 在光电子和微电子学领域都有着重要的应用价值和广阔的应用前景<sup>[1-4]</sup>. 极化材料 GaN 的禁带宽度大、耐击穿、化学性质稳定. 在 GaN 基高电子迁移率晶体管 (HEMT) 器件结构中, AlGa<sub>N</sub>/Ga<sub>N</sub> 异质结界面处的二维电子气 (2DEG) 迁移率高达  $2000 \text{ cm}^2/(\text{V}\cdot\text{s})$ <sup>[5]</sup>, AlGa<sub>N</sub>/Ga<sub>N</sub> 异质结结构导带的偏移比较大, 在异质结附近能产生很强的自发和压电极化效应, 可不需要特意掺杂便能在界面处堆积高浓度的 2DEG<sup>[6]</sup>, 异质结 AlGa<sub>N</sub>/Ga<sub>N</sub> 界面处会形成一个 2DEG 的表面通道, 势阱中的 2DEG

受控于栅极电压<sup>[7]</sup>, 且这层 2DEG 十分接近表面, 对表面的状态十分敏感. 当表面态变化时, 会引起 2DEG 浓度的变化, 因此可以通过表面态的变化来调节 2DEG 的浓度, 从而改变源漏之间的电流<sup>[8]</sup>. 一般意义上的光探测器指从紫外到红外的器件, 且被广泛的应用于军事、成像技术以及光通信等<sup>[9-12]</sup>. 目前 GaN 光探测器主要分为三种: 光电导型、p-n 结型和肖特基结型<sup>[13]</sup>. 利用 AlGa<sub>N</sub>/Ga<sub>N</sub> 异质结 HEMT 器件制备的传感器具有灵敏度高、响应快、探测面广、适用于恶劣环境的优势, 成为新型传感探测领域的研究热点<sup>[14]</sup>, 且与功能薄膜结合可达到不同探测机理并可实现更广的探测面成为一种新趋势.

锆钛酸铅是 ABO<sub>3</sub> 型钙钛矿结构的二元系固溶体, 其化学式为  $\text{Pb}(\text{Zr}_x\text{Ti}_{1-x})\text{O}_3$ , 简称 PZT. 它

\* 国家科技重大专项 (批准号: 2017YFB0402800, 2017YFB0402803)、教师队伍建设-15 青年拔尖项目 (批准号: 3011000543115002)、中山市科技计划项目 (批准号: 2014A2FC305)、电子薄膜与集成器件国家重点实验室中山分室开放基金 (批准号: 412S0601) 和北京市自然科学基金 (批准号: 4142005) 资助的课题.

<sup>†</sup> 通信作者. E-mail: zhuyx@bjut.edu.cn

是铁电体里最具代表性的一种功能材料, 因其优越的铁电、压电、热释电特性, 以及能够与半导体工艺相集成等特点, 近几十年来受到国内外学者的广泛关注, 成为国际上一种新颖的功能材料<sup>[15]</sup>. 铁电薄膜PZT的反常光伏效应在一定波长的光照下可以产生稳定的光诱导电流和远大于晶体禁带宽度( $E_g$ )的光生电压, 尤为特别的是其光伏响应可以通过外加电场来进行调控, 这些特点使其在紫外光伏探测器<sup>[16-18]</sup>有广泛的应用前景. 将铁电薄膜与HEMT器件结合, 在HEMT栅位置处淀积了一层导电金属电极, 其上淀积一定厚度具有光伏效应的敏感单元PZT. HEMT与PZT的结合将融合各自的优点, 以新的探测机制, 为光探测提供了新的研究方向, 具有重要的研究意义.

## 2 感光栅极的GaN基HEMT器件制备

GaN基HEMT是一种典型的栅控器件, 根据其原理可以人为改变栅极附加电压或者外界转换附加电压以达到输出源漏之间电流的改变. HEMT与PZT结合, 在HEMT金属栅极上淀积一层铁电薄膜PZT作为光感应层, 即感光栅极. 上电极制备的目的是为了极化PZT, 并用于后续探针接触测试. 当光辐射到栅极上时, 光感应层PZT产生光伏效应, 从而引起感光层表面电荷的变化, 进而引起半导体内2DEG的变化, 使输入电流发生变化, 达成对辐射光的探测. 感光栅极HEMT的结构示意图如图1, 其中栅源间距 $L_{gs} = 15 \mu\text{m}$ , 栅漏间距 $L_{gd} = 21 \mu\text{m}$ , 栅长 $L = 4 \mu\text{m}$ .

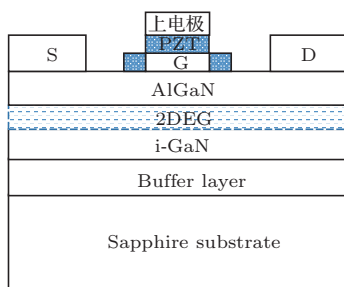


图1 感光栅极GaN基HEMT器件结构示意图  
Fig. 1. The structure schematic of the GaN base HEMT device.

感光栅极的GaN基HEMT器件工艺主要包括光刻套刻器件结构, 反应耦合等离子体(ICP)刻蚀

出有源区台面, 等离子体增强化学气相沉积 $\text{SiO}_2$ 隔离保护有源区, 源漏欧姆电极溅射淀积, 源漏电极退火形成欧姆接触, 栅极肖特基电极溅射淀积, 溅射制备感光栅极薄膜PZT及其上电极. 器件具体工艺步骤的流程图如图2所示.

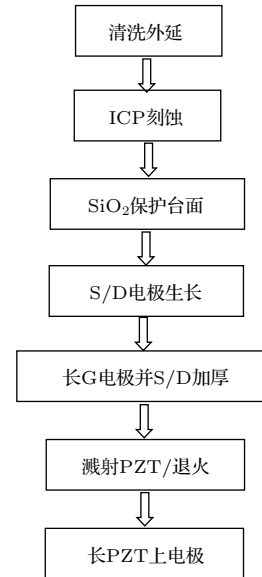


图2 感光栅极GaN基HEMT器件制备工艺流程  
Fig. 2. The process of preparation process of the grating electrode GaN base HEMT device.

实验采用锆钛酸铅( $\text{PbZr}_{0.52}\text{Ti}_{0.48}\text{O}_3$ )靶材, 纯度99.99%, 直径60 mm, 绑定铜背板后厚度为5.5 mm, 外延片采用苏州精湛半导体有限公司的蓝宝石( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )衬底AlGaN/GaN异质结外延片. 使用北京创世威纳科技有限公司MSP-300B全自动磁控溅射镀膜机在HEMT器件的栅极上沉积了感光单元PZT薄膜, 其优点在于: 设备简单易于操作, 镀膜面积大且附着力强, 易于控制薄膜厚度, 可以高温低气压下进行高速溅射, 薄膜质量好较致密, 而且易于集成在微电子器件上<sup>[19]</sup>. 采用斜靶溅射, 衬底加温 $300^\circ\text{C}$ , 真空度为 $5 \times 10^{-4}/\text{Pa}$ , 工作气氛 $\text{Ar}/\text{O}_2$ 比例为40 sccm:3.6 sccm, 溅射功率65 W, 工作气压0.8 Pa, 溅射2 h, 溅射厚度为242 nm (红色区域为PZT覆盖面积). 以 $650^\circ\text{C}$ -3 min进行退火晶化, 后溅射Ni/Cr(30 nm/200 nm)作为上电极金属, Ni/Cr合金具有较好的红外吸收能力, 既可作为上电极也可作为吸收层以吸收一定波长的光, 有利于光吸收和光探测<sup>[20,21]</sup>. 感光栅极GaN基HEMT器件实物图如图3所示.

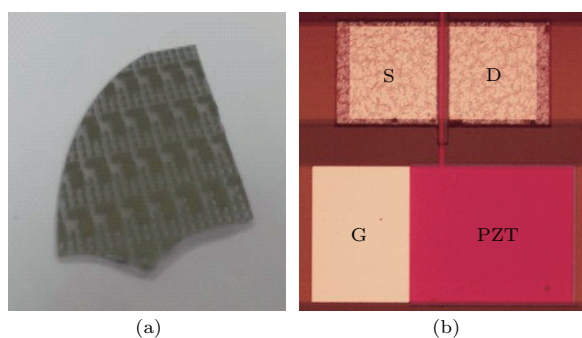


图3 感光栅电极 GaN 基 HEMT (a) 测试样品; (b) 测试单元

Fig. 3. Photosensitive gate electrode GaN based HEMT: (a) Test sample; (b) test cell.

### 3 测试分析

首先对无感光栅极的蓝宝石衬底 GaN 基 HEMT 基本结构器件在暗场、可见光 (普通光源) 及紫外光下分别进行测试, 然后对有感光栅极的蓝宝石衬底的 GaN 基 HEMT 基本结构器件在暗场、可见光及紫外光下分别进行测试. 统一测试条件:  $V_{ds}$  取 0—15 V 电压, 分别加三组  $V_{gs}$  电压为 -3, -2.5, -2 V (测试图 4—图 7 中  $w-V_{gs}$  是指无光条件下的栅电压,  $k-V_{gs}$  是指可见光条件下的栅电压,  $z-V_{gs}$  是指紫外光条件下的栅电压), 得到电流输出特性曲线, 发现该器件对 365 nm 的紫外光和可见光都有一定的响应.

#### 3.1 无感光栅极蓝宝石衬底 HEMT 器件测试

图 4 是蓝宝石衬底无感光栅电极 HEMT 的可见光及暗场对比输出特性曲线. 从图 4 得到, 可见光可以改变饱和和源漏电压, 使之提前达到饱和, 其中减小饱和漏源电压最大幅值约为 3 V;  $V_{gs}$  为 -2 V 时, 源漏饱和电流约增加 0.5 mA; 在  $V_{gs}$  为 -2.5 V 时, 源漏饱和电流约增加 0.6 mA; 在  $V_{gs}$  为 -3 V 时, 源漏饱和电流略有增加, 基本持平. 图 5 是蓝宝石衬底无感光栅电极 HEMT 的紫外光及暗场对比输出特性曲线. 从图 5 得到, 紫外光也可以改变饱和和源漏电压, 使之提前达到饱和, 其中减小饱和漏源电压最大幅值约为 4 V; 在  $V_{gs}$  为 -2 V 时, 源漏饱和电流约增加 2 mA; 在  $V_{gs}$  为 -2.5 V 时, 源漏饱和电流约增加 1.3 mA; 在  $V_{gs}$  为 -3 V 时, 源漏饱和电流约增加 1 mA. 图 4 和图 5 中在暗场下测试 -3 V 条件下出现反常的输出曲线,

这一物理现象和机理解释尚不明确, 有待进一步研究.

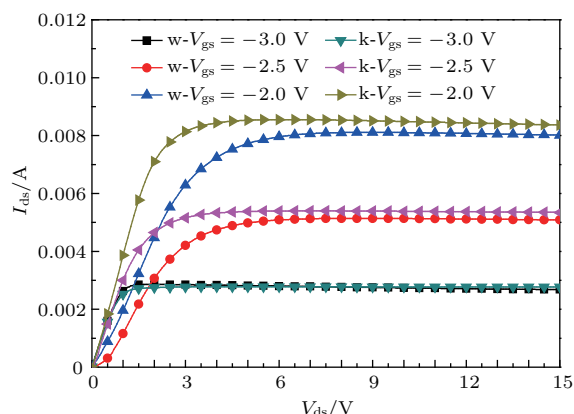


图 4 (网刊彩色) 蓝宝石衬底无感光栅电极 HEMT 的可见光及暗场对比输出特性曲线

Fig. 4. (color online) Visible light and dark output characteristic curves of the HEMT on sapphire substrate with no light-grating electrode.

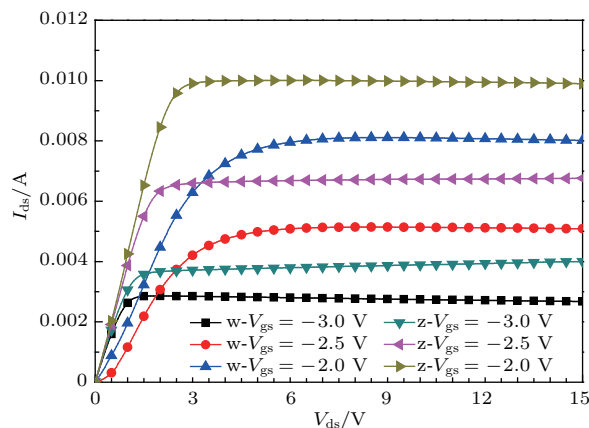


图 5 (网刊彩色) 蓝宝石衬底无感光栅电极 HEMT 的紫外光及暗场对比输出特性曲线

Fig. 5. (color online) Ultraviolet light and dark output characteristic curves of the HEMT on sapphire substrate with no light-grating electrode.

综上所述测试结果显示蓝宝石衬底的无光栅 HEMT 器件对可见光及紫外光有较好的响应, 减小了饱和漏源电压, 并增加了饱和漏电流  $I_{ds}$ , 其中紫外光响应更明显, 这是由于紫外光能激发 Al-GaN/GaN 材料产生了电子空穴对<sup>[22]</sup>. 器件的漏极电流达到饱和后会略微下降是由于自热效应增强了晶格无序散射并导致沟道电子迁移率下降<sup>[23]</sup>.

#### 3.2 有感光栅极蓝宝石衬底 HEMT 器件测试

图 6 是蓝宝石衬底有感光栅电极 HEMT 在可见光及暗场对比输出特性曲线. 从图中得到可见



光可以改变饱和和源漏电压, 使之提前达到饱和, 其中减小饱和和源漏电压最大幅值约为 4.5 V; 在  $V_{gs}$  为  $-2$  V 时, 源漏饱和和电流约增加 0.5 mA; 在  $V_{gs}$  为  $-2.5$  V 时, 源漏饱和和电流约增加 0.6 mA; 在  $V_{gs}$  为  $-3$  V 时, 源漏饱和和电流约增加 0.5 mA; 图 7 是蓝宝石衬底有感光栅电极 HEMT 在紫外光及暗场对比输出特性曲线. 从图 7 得到, 紫外光可以改变饱和和源漏电压, 使之提前达到饱和, 其中减小饱和和源漏电压最大幅值约为 5 V; 在  $V_{gs}$  为  $-2$  V 时, 源漏饱和和电流约增加 6 mA; 在  $V_{gs}$  为  $-2.5$  V 时, 源漏饱和和电流约增加 6.5 mA; 在  $V_{gs}$  为  $-3$  V 时, 源漏饱和和电流约增加 6 mA. 特别是在紫外光下有较好的响应, 减小了饱和漏源电压, 并增加了饱和漏电流  $I_{ds}$ , 图 8 可以解释这一现象.

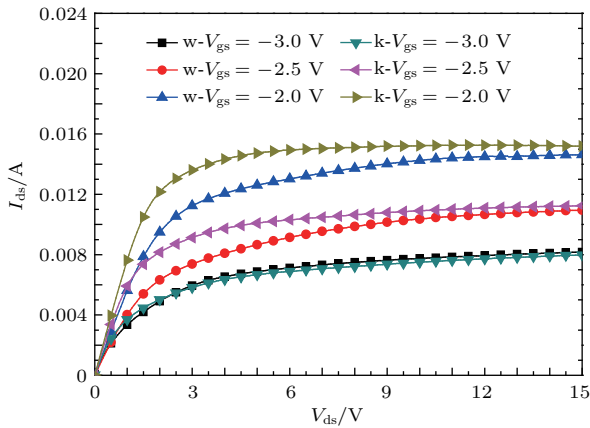


图 6 (网刊彩色) 蓝宝石衬底有感光栅电极 HEMT 的可见光及暗场对比输出特性曲线

Fig. 6. (color online) Visible light and dark output characteristic curves of the HEMT on sapphire substrate with a grating electrode.

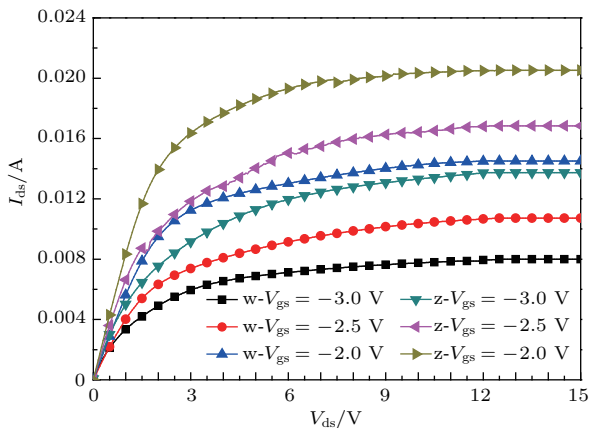


图 7 (网刊彩色) 蓝宝石衬底有感光栅电极 HEMT 的紫外光及暗场对比输出特性曲线

Fig. 7. (color online) Ultraviolet light and dark output characteristic curves of the HEMT on sapphire substrate with a grating electrode.

当光照在铁电薄膜上时, 在畴壁内激发出空穴-电子对, 迅速被铁电体内的极化电场拉开, 向两边畴壁漂移并在畴壁处积累. 这个过程和 p-n 结的光伏效应机制很像, 不同的是铁电薄膜内畴壁间的电场远高于 p-n 结内的自建电场, 同时这种畴壁间的内建电场遍布整个铁电薄膜内, 以铁电畴壁内的电场代替 p-n 结的自建电场, 光照射到铁电薄膜上将大大提高铁电薄膜的光伏电压, 铁电薄膜的禁带宽度在紫外波段处, 所以对紫外光响应最大 [24]. 综上测试结果显示蓝宝石衬底的有感光栅 HEMT 器件在可见光和紫外光下, 特别是在紫外光下源漏饱和和电流增加 6.5 mA 时, 响应更是明显.

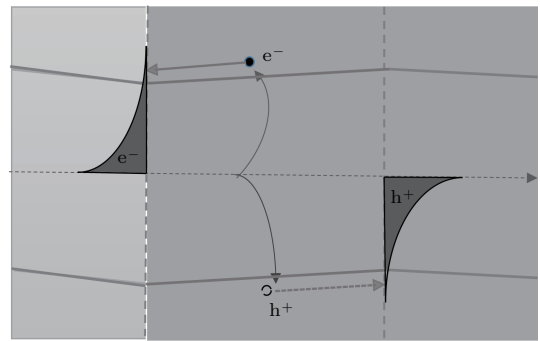


图 8 光照下铁电畴分离电子-空穴对模型

Fig. 8. Electron-hole pair model of ferroelectric domain separation under illumination.

## 4 结 论

本文对比了有/无感光栅 GaN 基 HEMT 感光测试结果, 得到可见光条件下, 两者的源漏饱和和电流最大增幅一致, 前者较后者没有下降; 紫外光条件下, 前者较后者的源漏饱和和电流最大增幅是 5.2 mA. 可见光下没有减少, 紫外光下有明显增加, 说明感光栅 PZT 在可见光及紫外光下有作用于蓝宝石衬底的 GaN 基 HEMT 器件, 并有调控沟道电流的趋势. 这是因为依据 GaN 基 HEMT 器件的基本结构和优点, 在其金属栅极上淀积一层铁电薄膜 PZT 作为光感应层, 当光辐射到栅极上时, 光感应层 PZT 由于光伏效应产生的附加电场作用于 2DEG, 通过调节沟道的宽窄, 使输出电流发生变化. 由此可见, 提出的新结构器件——感光栅极 GaN 基 HEMT 器件能够对可见光和紫外光进行更好的探测. 下一步将从材料结构、器件结构和制备工艺等方面入手, 进一步探究器件在宽波段的响应度及对铁电薄膜表面产生的影响.

感谢北京工业大学邹恕德研究员的讨论。

## 参考文献

- [1] Gu W P, Hao Y, Zhang J C, Wang C, Feng Q, Ma X H 2009 *Acta Phys. Sin.* **58** 511 (in Chinese) [谷文萍, 郝跃, 张进城, 王冲, 冯倩, 马晓华 2009 物理学报 **58** 511]
- [2] Hu W D, Chen X S, Quan Z J, Zhang M X, Huang Y, Xia C S, Lu W, Ye D P 2007 *J. Appl. Phys.* **102** 034502
- [3] Zhou Z T, Guo L W, Xing Z G, Ding G J, Tan C L, Lü L, Liu J, Liu X Y, Jia H Q, Chen H, Zhou J M 2007 *Acta Phys. Sin.* **56** 6013 (in Chinese) [周忠堂, 郭丽伟, 邢志刚, 丁国建, 谭长林, 吕力, 刘建, 刘新宇, 贾海强, 陈弘, 周均铭 2007 物理学报 **56** 6013]
- [4] Zhou M, Li C Y, Zhao D G 2015 *Chin. J. Lumin.* **36** 1034 (in Chinese) [周梅, 李春燕, 赵德刚 2015 发光学报 **36** 1034]
- [5] Matsunaga T, Hosokawa T, Umetani Y, Takayama R, Kanno I 2002 *Phys. Rev. B* **66** 064102
- [6] Ambacher O, Foutz B, Smart J, Shealy J R, Weimann N G, Chu K, Murphy M, Sierakowski A J, Schaff W J, Eastman L F, Dimitrov R, Mitchell A, Stutzmann M 2000 *Appl. Phys.* **87** 334
- [7] Lin Z J, Lu W, Lee J 2003 *Appl. Phys. Lett.* **82** 4364
- [8] Yu N, Wang H H, Liu F F, Du Z J, Wang Y H, Song H H, Zhu Y X, Sun J 2015 *Chin. J. Lumin.* **36** 1178 (in Chinese) [于宁, 王红航, 刘飞飞, 杜志娟, 王岳华, 宋会会, 朱彦旭, 孙捷 2015 发光学报 **36** 1178]
- [9] Zheng K 2016 *M. S. Thesis* (Hefei: Hefei University of Technology) (in Chinese) [郑坤 2016 硕士学位论文 (合肥: 合肥工业大学)]
- [10] Gao Q N, Zhu Y, Wang J G, Yang J H 2016 *Proceedings of the 14th International Asia Confererece on Industrial Engineering and Management Innovation* Tianjin, China, July 25–26, 2015 p297
- [11] Fu H, Yang L, Shang Z G, Yang Y P 2013 *Electronics World Infrared Light Communication Device* **18** 116 (in Chinese) [付辉, 阳璐, 尚治国, 杨栎平 2013 电子世界 **18** 116]
- [12] Xu K, Xu C, Guo W, Xie Y Y 2016 *Semicond. Photoelectr.* **1** 30 (in Chinese) [许坤, 徐晨, 郭旺, 解意洋 2016 半导体光电 **1** 30]
- [13] Zhang H B, Yao J D, Shao J M, Li H, Li S W, Bao D H, Wang C X, Yang G W 2014 *Sci. Rep.* **4** 5876
- [14] Wang Z J, Chu J R, Maeda R, Kokawaa H 2002 *Thin Solid Films* **416** 66
- [15] Zhu Y X, Wang Y H, Song H H, Li L L, Shi D 2016 *Chin. J. Lumin.* **37** 1545 (in Chinese) [朱彦旭, 王岳华, 宋会会, 李莱龙, 石栋 2016 发光学报 **37** 1545]
- [16] Yang B, Liu X X, Li H 2015 *Acta Phys. Sin.* **64** 038807 (in Chinese) [杨彪, 刘向鑫, 李辉 2015 物理学报 **64** 038807]
- [17] Frunza R, Ricinschi D, Gheorghiu F 2011 *J. Alloys Compd.* **509** 6242
- [18] Li F 2015 *M. S. Thesis* (Harbin: Harbin Institute of Technology) (in Chinese) [李飞 2015 硕士学位论文 (哈尔滨: 哈尔滨工业大学)]
- [19] Li J H 2009 *M. S. Thesis* (Shanxi: North University of China) (in Chinese) [李珺泓 2009 硕士学位论文 (山西: 中北大学)]
- [20] Wang C, Zhang J C, Hao Y, Yang Y 2006 *Chin. J. Semicond.* **27** 1436 (in Chinese) [王冲, 张进城, 郝跃, 杨燕 2006 半导体学报 **27** 1436]
- [21] Neamen D H (translated by Zhao Y Q, Yao S Y, Xie X D) 2010 *Semiconductor Physics and Devices: Basic Principles* (Beijing: Electronics Industry Press) p211, 212 (in Chinese) [尼曼 D H 著 (赵毅强, 姚素英, 解晓东译) 2010 半导体物理与器件 (北京: 电子工业出版社) 第 211, 212 页]
- [22] Qiao H, Yuan J, Xu Z Q, Che C Y, Lin S H, Wang Y S, Song J C, Liu Y, Khan Q, Hoh H Y, Pan C X, Li S J, Bao Q L 2015 *ACS Nano* **9** 1886
- [23] Liu Y H, Cao W, Li S J, Li Y, Sun S C, Fu K, Chen C Q, Zhang B S 2015 *Chin. J. Lumin.* **36** 1167 (in Chinese) [刘翌寒, 曹伟, 李绍娟, 李洋, 孙世闯, 付凯, 陈长清, 张宝顺 2015 发光学报 **36** 1167]
- [24] Sun Q 2012 *M. S. Thesis* (Shanghai: East China Normal University) (in Chinese) [孙倩 2012 硕士学位论文 (上海: 华东师范大学)]

# Design and fabrication of high electron mobility transistor devices with gallium nitride-based\*

Zhu Yan-Xu<sup>†</sup> Song Hui-Hui Wang Yue-Hua Li Lai-Long Shi Dong

(Key Laboratory of Opto-electronic Technology, Ministry of Education, Beijing University of Technology, Beijing 100124, China)

( Received 26 June 2017; revised manuscript received 14 September 2017 )

## Abstract

Gallium nitride (GaN) and its family of materials (including GaN, InN, AlN and their alloys) are known as the third generation of semiconductor, which has important applications in optoelectronics and microelectronics. In the structure of GaN-based high electron mobility transistor (HEMT) device, there is a relatively large conduction band offset in the AlGaIn/GaN heterojunction structure, and it can produce a strong spontaneous and piezoelectric polarization effect in the vicinity of the heterojunction, which can also accumulate high concentrations of two-dimensional electron gas (2DEG) under the condition of no need of intentionally doping at the interface. The surface of Heterojunction AlGaIn/GaN interface will form a 2DEG channel, and the 2DEG in potential well is controlled by the gate voltage, also the 2DEG layer is very close to the surface, which is sensitive to the state of the surface. When the surface state changes, it can cause a change in the 2DEG density, thus the concentration of 2DEG can be adjusted by changing the surface states, thereby changing the current between the source and drain. GaN-based HEMT serves as a gate control device, which has a high concentration of 2DEG and is sensitive to the surface state at the AlGaIn/GaN heterojunction. According to the basic structure and advantages of the GaN-based HEMT device, the ferroelectric thin film PZT is deposited on the metal gate serving as a light sensitive layer. When the light is incident on the gate, the photo-sensing layer PZT generates the photovoltaic effect, which causes the surface charge of the photosensitive layer to change, and also causes the 2DEG to change, so the input current changes. In this paper, firstly, a new “M/F/M/S” structure is proposed by introducing a photosensitive material PZT on a GaN-based HEMT gate electrode and combining the PZT of a ferroelectric thin film with photovoltaic effect. Secondly, the HEMT device is fabricated on the AlGaIn/GaN epitaxial wafer of sapphire substrate, and the photosensitive unit PZT is prepared on the gate, and thus the HEMT device with photosensitive is realized. Finally, the carrier concentration in the channel is regulated by the photovoltaic effect of PZT and 365 nm UV and visible light are detected through changing the source-drain current. The comparative tests under the conditions with and without a photosensitive gate HEMT device show that when the voltage  $V_{gs}$  is smaller, the saturation drain-source current  $I_{ds}$  measured under the irradiation of visible light in the former condition is not reduced compared with that in the latter condition, and the increment of  $I_{ds}$  measured in the former condition is 5.2 mA larger than in the latter condition. Therefore it can be seen that the PZT can act on the gate GaN-based HEMT device under the irradiation of visible and ultraviolet light and adjust the channel current.

**Keywords:** high electron mobility transistor, lead zirconate titanate, photo-sensitive grid, light detection

**PACS:** 72.80.Ey, 73.40.Ns, 73.40.Kp

**DOI:** 10.7498/aps.66.247203

\* Project supported by the National Key R&D Program of China (Grant Nos. 2017YFB0402800, 2017YFB0402803), the Construction of Teachers to 15 Top-Notch Youth Project, China (Grant No.3011000543115002), the Science and Technology Plan Project of Zhongshan Province, China (Grant No. 2014A2FC305), the State Key Laboratory of Electronic Thin Film and Integrated Devices, Zhongshan Branch Open Fund of China (Grant No. 412S0601), and the Natural Science Foundation of Beijing, China (Grant No. 4142005).

<sup>†</sup> Corresponding author. E-mail: zhuyx@bjut.edu.cn