



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 118352425 B

(45) 授权公告日 2024. 09. 20

(21) 申请号 202410773714.X

(22) 申请日 2024.06.17

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 118352425 A

(43) 申请公布日 2024.07.16

(73) 专利权人 南京邮电大学

地址 210023 江苏省南京市栖霞区文苑路9号

(72) 发明人 施政 高翔 高绪敏

(74) 专利代理机构 北京中济纬天专利代理有限公司 11429

专利代理师 蒋名全

(51) Int.Cl.

H01L 31/109 (2006.01)

H01L 31/0352 (2006.01)

H01L 31/18 (2006.01)

G23C 14/35 (2006.01)

G23C 14/08 (2006.01)

G23C 14/06 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 113838940 A, 2021.12.24

CN 117594687 A, 2024.02.23

审查员 王歆茹

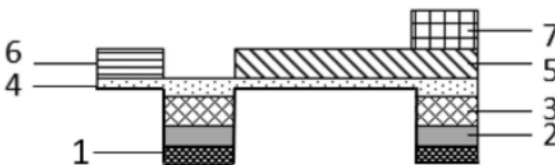
权利要求书2页 说明书7页 附图8页

(54) 发明名称

氧化镓/氮化镓异质结双紫外波段探测器及其制备方法

(57) 摘要

本发明公开了氧化镓/氮化镓异质结双紫外波段探测器及其制备方法,本发明属于第三代半导体紫外光电探测器技术领域。本发明的探测器包括硅衬底、氮化镓缓冲层、非掺杂氮化镓层以及p型氮化镓层;n型氧化镓层和p型金属电极层设置于p型氮化镓层的上端、n型金属电极层设置于n型氧化镓层上端;探测器正反面均为沟槽,使得p型氮化镓层正反面均裸漏;对比常规光电探测器,本发明采用硅基氧化镓异质结探测器展现了其在无驱动下的深紫外、近紫外波段卓越工作潜力,本发明磁控溅射法具有制备工艺稳定、易于集成等特点,此外设计后的顶层异质结构及背后衬底去除有效降低了界面暗电流大小,提高了器件的探测面积、响应速度、光电性能。



1. 氧化镓/氮化镓异质结双紫外波段探测器, 由下至上依次包括: 硅衬底(1)、氮化镓缓冲层(2)、非掺杂氮化镓层(3)以及p型氮化镓层(4); n型氧化镓层(5)和p型金属电极层(6)设置于p型氮化镓层(4)的上端、n型金属电极层(7)设置于n型氧化镓层(5)上端;

所述探测器正反面均为沟槽结构, 使得p型氮化镓层(4)正反面均裸露。

2. 氧化镓/氮化镓异质结双紫外波段探测器的制备方法, 其特征在于, 包括如下步骤:

一、在硅衬底(1)上依次生长氮化镓缓冲层(2)、非掺杂氮化镓层(3)以及p型氮化镓层(4), 得到样品;

二、在p型氮化镓层(4)上通过磁控溅射工艺, 与生长的n型氧化镓层(5)形成PN异质结构;

三、对n型氧化镓层(5)表面进行刻蚀处理, 直至露出刻蚀部位下方的p型氮化镓层(4);

四、在暴露出的p型氮化镓层(4)表面利用磁控溅射工艺沉积p型金属电极层(6), 并通过退火优化为欧姆接触;

五、在未被刻蚀的n型氧化镓层(5)表面利用磁控溅射工艺沉积n型金属电极层(7), 并通过退火优化为欧姆接触;

六、背面刻蚀硅衬底(1)、氮化镓缓冲层(2)以及非掺杂氮化镓层(3)形成沟槽结构, 露出p型氮化镓层(4)。

3. 根据权利要求2所述的氧化镓/氮化镓异质结双紫外波段探测器的制备方法, 其特征在于, 所述硅衬底(1)厚度为500um~1500um, 所述氮化镓缓冲层(2)厚度为600nm~1000nm, 所述非掺杂氮化镓层(3)厚度为2.5~3um, 所述p型氮化镓层(4)厚度为600nm, 载流子浓度为 $5 \times 10^{18} \text{cm}^{-3} \sim 5 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$, 所述步骤二中磁控溅射法生长的n型氧化镓层(5)厚度为100~200nm, 载流子浓度为 $5 \times 10^{17} \text{cm}^{-3} \sim 5 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 。

4. 根据权利要求2所述的氧化镓/氮化镓异质结双紫外波段探测器的制备方法, 其特征在于, 所述步骤二中磁控溅射工艺参数为: 纯度99.99%的氧化镓陶瓷靶材, 环境压强为 $1 \times 10^{-5} \text{Pa}$, 预溅射时间5min, 靶基距10cm, 生长气压为3~8mTorr, 生长氛围为氩气和氧气混合气, Ar流量10~40sccm, O_2 流量0~2sccm, 溅射功率50~150W, 溅射时间10~90min, 衬底温度为25~500°C, 旋转速度0~20rpm/min。

5. 根据权利要求2所述的氧化镓/氮化镓异质结双紫外波段探测器的制备方法, 其特征在于, 所述步骤三中n型氧化镓层(5)刻蚀的方式包括电感耦合等离子体、反应离子刻蚀或离子束物理刻蚀。

6. 根据权利要求2所述的氧化镓/氮化镓异质结双紫外波段探测器的制备方法, 其特征在于, 所述PN异质结构对应金属电极欧姆接触方式的形状包括矩形、圆形和叉指图形。

7. 根据权利要求2所述的氧化镓/氮化镓异质结双紫外波段探测器的制备方法, 其特征在于, 所述步骤四中的磁控溅射工艺参数为: 沉积Ni/Au电极的方式包括光刻和剥离; 溅射功率为80~150W, 生长气压为3~8mTorr, Ar流量10~40sccm, 溅射20~40nm的Ni, 溅射40~150nm的Au。

8. 根据权利要求2所述的氧化镓/氮化镓异质结双紫外波段探测器的制备方法, 其特征在于, 所述步骤五中的磁控溅射工艺参数为: 沉积Ti/Au电极的方式包括光刻和剥离; 溅射功率为80~150W, 生长气压为3~8mTorr, Ar流量10~40sccm, 溅射20~40nm的Ti, 溅射40~150nm的Au。

9. 根据权利要求2所述的氧化镓/氮化镓异质结双紫外波段探测器的制备方法, 其特征在于, 所述p型金属电极层(6)和n型金属电极层(7)退火温度为450~500°C, 退火氛围为氮气或空气, 退火时间为1min~5min。

10. 权利要求1所述的氧化镓/氮化镓异质结双紫外波段探测器或者权利要求2~9任一所述制备方法制得的氧化镓/氮化镓异质结双紫外波段探测器在航空航天以及通信产品上的应用。

氧化镓/氮化镓异质结双紫外波段探测器及其制备方法

技术领域

[0001] 本发明涉及第三代半导体紫外光电探测器技术领域,具体涉及氧化镓/氮化镓异质结双紫外波段探测器及其制备方法。

背景技术

[0002] 随着现代光电探测技术在军事、航空航天、工业及通信领域的蓬勃发展,紫外探测技术已成为继红外和激光探测之后的一个引人注目的领域。特别是第三代半导体,凭借其宽的禁带宽度、高的电击穿阈值和强大的抗辐射能力,在紫外探测领域显著突出。我们对常用的宽禁带半导体材料,如氮化镓、氮化铝、氧化镓、碳化硅等进行了深入研究,开发了集成度高、易于大规模生产且性能卓越的半导体探测器件。

[0003] 氧化镓材料的禁带宽度为4.9eV,使其紫外截止吸收边界位于260nm至280nm,正好覆盖了200-280nm的日盲紫外波段。同时,其在近紫外区的透光率超过80%,在可见光区域的透光率超过95%。氧化镓还展示出典型的光敏特性,当波长小于265nm的紫外光照射到基于氧化镓的异质结时,会产生显著的光电导/光伏效应。因其适宜的禁带宽度、稳定的物理化学特性及较低的加工成本,氧化镓在深紫外光电探测领域受到了广泛关注。

[0004] 在众多光电探测器件类型中,PN结因其独特特性而成为研究的热点。特别是在0偏压下,PN结的内建电场和结外载流子的扩散能产生自供电状态。由于氧化镓存在自补偿效应,其p型掺杂难以实现,通常会与其他p型材料形成异质结。其中,禁带宽度为3.39eV,对应吸收波段位于320~400nm近紫外区域的氮化镓在Mg掺杂后呈p型,其优异性能、高稳定性是与n型氧化镓形成PN异质结的首选。但目前,PN异质结光电探测器普遍存在暗电流大、响应速度慢、器件性能受限及加工成本高等问题。鉴于氧化镓和氮化镓异质结探测器当前的研究现状和主要缺陷,迫切需要开发性能更优异的紫外光电探测器。

发明内容

[0005] 为了克服暗电流大,响应速度慢,探测效率低且工艺成本高等问题,本发明提供了氧化镓/氮化镓异质结双紫外波段探测器及其制备方法。

[0006] 氧化镓/氮化镓异质结双紫外波段探测器,由下至上依次包括:硅衬底(1)、氮化镓缓冲层(2)、非掺杂氮化镓层(3)以及p型氮化镓层(4);n型氧化镓层(5)和p型金属电极层(6)设置于p型氮化镓层(4)的上端、n型金属电极层(7)设置于n型氧化镓层(5)上端;

[0007] 所述探测器正反面均为沟槽结构,使得p型氮化镓层(4)正反面均裸露。

[0008] 氧化镓/氮化镓异质结双紫外波段探测器的制备方法,包括如下步骤:

[0009] 一、在硅衬底(1)上依次生长氮化镓缓冲层(2)、非掺杂氮化镓层(3)以及p型氮化镓层(4),得到样品;

[0010] 二、在p型氮化镓层(4)上通过磁控溅射工艺,与生长的n型氧化镓层(5)形成PN异质结构;

[0011] 三、对n型氧化镓层(5)表面进行刻蚀处理,直至露出刻蚀部位下方的p型氮化镓层

(4) ;

[0012] 四、在暴露出的p型氮化镓层(4)表面利用磁控溅射工艺沉积p型金属电极层(6),并通过退火优化为欧姆接触;

[0013] 五、在未被刻蚀的n型氧化镓层(5)表面利用磁控溅射工艺沉积n型金属电极层(7),并通过退火优化为欧姆接触;

[0014] 六、背面刻蚀硅衬底(1)、氮化镓缓冲层(2)以及非掺杂氮化镓层(3)形成沟槽结构,露出p型氮化镓层(4)。

[0015] 优选的,所述硅衬底厚度为500um~1500um,所述氮化镓缓冲层厚度为600nm~1000nm,所述非掺杂氮化镓层厚度为2.5~3um,所述p型氮化镓层厚度为600nm,载流子浓度为 $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3} \sim 5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$,所述步骤二中磁控溅射法生长的n型氧化镓层厚度为100~200nm,载流子浓度为 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3} \sim 5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 。

[0016] 优选的,所述步骤二中磁控溅射工艺参数为:纯度99.99%的氧化镓陶瓷靶材,环境压强为 $1 \times 10^{-5} \text{ Pa}$,预溅射时间5min,靶基距10cm,生长气压为3~8mTorr,生长氛围为氩气和氧气混合气,Ar流量10~40sccm, O_2 流量0~2sccm,溅射功率50~150W,溅射时间10~90min,衬底温度为25~500°C,旋转速度0~20rpm/min。

[0017] 优选的,所述步骤三中n型氧化镓层刻蚀的方式包括电感耦合等离子体、反应离子刻蚀或离子束物理刻蚀。

[0018] 优选的,所述PN异质结构对应金属电极欧姆接触方式的形状包括矩形、圆形和叉指图形。

[0019] 优选的,所述步骤四中的磁控溅射工艺参数为:沉积Ni/Au电极的方式包括光刻和剥离;溅射功率为80~150W,生长气压为3~8mTorr,Ar流量10~40sccm,溅射20~40nm的Ni,溅射40~150nm的Au。

[0020] 优选的,所述步骤五中的磁控溅射工艺参数为:沉积Ti/Au电极的方式包括光刻和剥离;溅射功率为80~150W,生长气压为3~8mTorr,Ar流量10~40sccm,溅射20~40nm的Ti,溅射40~150nm的Au。

[0021] 优选的,所述p型金属电极层和n型金属电极层退火温度为450~500°C,退火氛围为氮气或空气,退火时间为1min~5min。

[0022] 优选的,所述减薄、抛光去除硅衬底的具体步骤为:将硅衬底由1500um逐渐减薄、抛光至200um。

[0023] 优选的,所述步骤七中深硅刻蚀采用电感耦合等离子体刻蚀部分剩余硅衬底、氮化镓缓冲层、非掺杂氮化镓层及部分p型氮化镓层。

[0024] 优选的,所述步骤七中刻蚀环境 C_4F_8 流量为200sccm, SF_6 流量为500sccm,刻蚀时间为20min,其中 SF_6 作刻蚀气体, C_4F_8 作钝化气体交替进行,刻蚀至背后透明,p型氮化镓层剩200~300nm。

[0025] 上述的氧化镓/氮化镓异质结双紫外波段探测器或者上述制备方法制得的氧化镓/氮化镓异质结双紫外波段探测器在航空航天以及通信产品上的应用。

[0026] 本发明的有益效果为:

[0027] 1、相较于传统氧化镓/氮化镓异质结探测器制作方法,本发明提供了一种新颖的、高效的、低成本的制作方法,通过磁控溅射法直接在p型氮化镓表面生长一定厚度n型氧化

镓薄膜,形成PN异质结,相较其他氧化镓薄膜生长技术,本发明工艺相对简单,且在高温下生长直接得到 β 相氧化镓,减少了薄膜后退火工艺,保证了器件的低暗电流值;同时在光刻、刻蚀等工艺下设计PN异质结结构及相应金属电极欧姆接触方式有效提高器件响应速度、光电性能;此外,在硅基衬底生长p型氮化镓层极大降低制备成本且方便后续器件集成,最后深硅刻蚀去除硅衬底优化了氧化镓基器件散热困难问题同时增大探测面积。

[0028] 2、本发明通过商业化的磁控溅射法在优化后的工艺参数下生长氧化镓薄膜,操作简单、可重复性高;同时,采用传统硅基衬底,成本低廉、易于集成;此外,设计并改进后的叉指电极结构及背后深硅刻蚀使异质结器件展现了卓越的深紫外、自供电探测性能。

[0029] 3、本发明在利用刻蚀完成异质结表面设计的同时,通过精准的深硅刻蚀技术去除了器件背后部分衬底硅、缓冲层等,制备了微米级以下的PN异质结器件;有效克服了硅基衬底器件相较蓝宝石衬底不透光、探测效率低的问题;背后刻蚀处理后解放了氮化镓的探测性能,使得器件实现了正反面分别对应p型氮化镓紫外线A波段320~400nm的近紫外和n型氧化镓紫外线C波段200~280nm远紫外的双紫外波段探测,大大提高PN异质结器件在无驱动电压下的有效探测面积、探测波段区间。

附图说明

[0030] 为了更清楚地说明本公开实施例或现有技术中的技术方案,下面将对实施例或现有技术描述中所需要使用的附图作简单地介绍,显而易见地,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动的前提下,还可以根据这些附图获得其他的附图。

[0031] 图1为本发明的氧化镓/氮化镓异质结双紫外波段探测器制备流程图。

[0032] 图2为本发明实施例3中的氧化镓/氮化镓异质结双紫外波段探测器表面 Ga_2O_3 薄膜的SEM图。

[0033] 图3为本发明实施例3中的氧化镓/氮化镓异质结双紫外波段探测器表面 Ga_2O_3 薄膜的AFM图。

[0034] 图4为本发明实施例3中的氧化镓/氮化镓异质结双紫外波段探测器表面 Ga_2O_3 薄膜的XRD图。

[0035] 图5为本发明实施例3中的氧化镓/氮化镓异质结双紫外波段探测器表面 Ga_2O_3 薄膜的XPS全谱图。

[0036] 图6为本发明实施例3和实施4中的氧化镓/氮化镓异质结双紫外波段探测器的不同偏压下暗电流值I-V图。

[0037] 图7为本发明实施例1中的氧化镓/氮化镓异质结双紫外波段探测器未深硅刻蚀前的立体结构正视图。

[0038] 图8为本发明实施例2中的氧化镓/氮化镓异质结双紫外波段探测器未深硅刻蚀前的立体结构正视图。

[0039] 图9为本发明实施例3中的氧化镓/氮化镓异质结双紫外波段探测器未深硅刻蚀前的立体结构正视图。

[0040] 图10为本发明实施例3中的氧化镓/氮化镓异质结双紫外波段探测器完成深硅刻蚀后的立体结构侧视图。

[0041] 图11为本发明实施例3中的氧化镓/氮化镓异质结双紫外波段探测器完成深硅刻

蚀后的背后结构图。

[0042] 图12为本发明的氧化镓/氮化镓异质结双紫外波段探测器最终结构图。

[0043] 主要元件符号说明如下：

[0044] 硅衬底1、氮化镓缓冲层2、非掺杂氮化镓层3、p型氮化镓层4、n型氧化镓层5、p型金属电极层6、n型金属电极层7。

具体实施方式

[0045] 下面将结合本发明实施例中的附图,对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例仅仅是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有作出创造性劳动前提下所获得的所有其它实施例,都属于本发明保护的范围。

[0046] 本发明目的的设计实现、功能特点及优点将结合实施例,参照附图做进一步说明。

[0047] 下面结合图1至图12,对本发明做进一步说明：

[0048] 应当理解,此处所描述的具体实施例仅仅用以解释本发明,并不用于限定本发明。

[0049] 实施例1

[0050] 本实施例提供了氧化镓/氮化镓异质结双紫外波段探测器及其制备方法：

[0051] 首先,将硅衬底1依次放入丙酮、乙醇、去离子水中,超声清洗15min,并通过氮气枪吹干备用;在清洗后的硅衬底1上利用金属有机化合物化学气相沉积法生长850nm厚氮化镓缓冲层2;在氮化镓缓冲层2上利用金属有机化合物化学气相沉积法生长2.5 μm ~3 μm 厚非掺杂氮化镓层,在非掺杂氮化镓层3上利用金属有机化合物化学气相沉积法外延生长150nm厚p型氮化镓层4;将已得样品再次按顺序超声清洗,氮气吹干。

[0052] 接着,在p型氮化镓层4上通过磁控溅射法生长100~150nm厚的 β 相n型氧化镓层5:采用纯度99.99%的氧化镓陶瓷靶材,环境压强为 $1 \times 10^{-5} \text{Pa}$,预溅射5min,靶基距10cm,生长气压为6mTorr,生长氛围为氩气和氧气混合气,Ar流量30sccm, O_2 流量1.5sccm,氧氩比为1:20,溅射功率100W,溅射时间45min,衬底温度为500 $^{\circ}\text{C}$,旋转速度10rpm/min。

[0053] 然后,将所得两英寸样品切割成1cm $\times$ 1cm方形,在n型氧化镓层5表面光刻所需图形,通过电感耦合等离子体,刻蚀气压为5mTorr, BCl_3 流量为30sccm,Ar流量为10sccm,刻蚀深度100~200nm,刻蚀区域为2.5mm $\times$ 10mm,刻蚀深度为100~200nm,直至露出刻蚀部位的下方p型氮化镓层4。

[0054] 通过磁控溅射在暴露出的p型氮化镓层4表面及在未刻蚀的n型氧化镓层5表面,利用金属掩模版遮挡下分别沉积出矩形形状电极,p型金属电极层6生长参数为:溅射功率为80W,生长气压为3mTorr,Ar流量20sccm,先溅射20nm的Ni,再溅射100nm的Au,并在氮气氛围下500 $^{\circ}\text{C}$ 快速热退火2min;n型金属电极层7生长参数为:溅射功率为80W,生长气压为3Torr,Ar流量20sccm,先溅射20nm的Ti,再溅射120nm的Au,并在氮气氛围下500 $^{\circ}\text{C}$ 快速热退火2min,其背后刻蚀前器件结构如图7所示。

[0055] 最后,对器件背面的硅衬底进行减薄、抛光至200 μm ,通过电感耦合等离子体接着逐步刻蚀剩余的硅衬底、氮化镓缓冲层、非掺杂氮化镓层及部分p型氮化镓直至保留200~300nm,完成深硅刻蚀工艺。

[0056] 实施例2

[0057] 本实施例提供了氧化镓/氮化镓异质结双紫外波段探测器及其制备方法:

[0058] 首先,将硅衬底1依次放入丙酮、乙醇、去离子水中,超声清洗15min,并通过氮气枪吹干备用;在清洗后的硅衬底1上利用金属有机化合物化学气相沉积法生长850nm厚氮化镓缓冲层2;在氮化镓缓冲层2上利用金属有机化合物化学气相沉积法生长2.5 μm ~3 μm 厚非掺杂氮化镓层,在非掺杂氮化镓层3上利用金属有机化合物化学气相沉积法外延生长150nm厚p型氮化镓层4;将已得样品再次按顺序超声清洗,氮气吹干。

[0059] 接着,在p型氮化镓层4上通过磁控溅射法生长100~150nm厚的 β 相n型氧化镓层5:采用纯度为99.99%氧化镓陶瓷靶材,环境压强为 1×10^{-5} Pa,预溅射5min,靶基距10cm,生长气压为6mTorr,生长氛围为氩气和氧气混合气,Ar流量30sccm, O_2 流量1.5sccm,氧氩比为1:20,溅射功率100W,溅射时间45min,衬底温度为500 $^{\circ}\text{C}$,旋转速度10rpm/min。

[0060] 然后,将所得两英寸样品切割成1cm $\times$ 1cm方形,在n型氧化镓层5表面光刻所需图形,通过电感耦合等离子体,刻蚀气压为5mTorr, BCl_3 流量为30sccm,Ar流量为10sccm,刻蚀深度100~200nm,刻蚀区域为2.5mm $\times$ 10mm,直至露出刻蚀部位的下方p型氮化镓层4。

[0061] 通过磁控溅射在暴露出的p型氮化镓层4表面及在未刻蚀的n型氧化镓层5表面,利用金属掩模版遮挡下分别沉积出圆形形状电极,p型金属电极层6生长参数为:溅射功率为80W,生长气压为3mTorr,Ar流量20sccm,先溅射20nm的Ni,再溅射100nm的Au,并在氮气氛围下500 $^{\circ}\text{C}$ 快速热退火2min;n型金属电极层7生长参数为:溅射功率为80W,生长气压为3Torr,Ar流量20sccm,先溅射20nm的Ti,再溅射120nm的Au,并在氮气氛围下500 $^{\circ}\text{C}$ 快速热退火2min,其背后刻蚀前器件结构如图8所示。

[0062] 最后,对器件背面的硅衬底进行减薄、抛光至200 μm ,通过电感耦合等离子体接着逐步刻蚀剩余的硅衬底、氮化镓缓冲层、非掺杂氮化镓层及部分p型氮化镓直至保留200~300nm,完成深硅刻蚀工艺。

[0063] 实施例3

[0064] 本实施例提供了氧化镓/氮化镓异质结双紫外波段探测器及其制备方法:

[0065] 首先,将硅衬底1依次放入丙酮、乙醇、去离子水中,超声清洗15min,并通过氮气枪吹干备用;在清洗后的硅衬底1上利用有机金属化学气相沉积法生长850nm厚氮化镓缓冲层2;在氮化镓缓冲层2上利用有机金属化学气相沉积法生长2.5 μm ~3 μm 厚非掺杂氮化镓层,在非掺杂氮化镓层3上利用有机金属化学气相沉积法外延生长150nm厚p型氮化镓层4;将已得样品再次按顺序超声清洗,氮气吹干。

[0066] 接着,在p型氮化镓层4上通过磁控溅射法生长100~150nm厚的 β 相n型氧化镓层5:纯度99.99%的氧化镓陶瓷靶材,环境压强为 1×10^{-5} Pa,预溅射5min,靶基距10cm,生长气压为6mTorr,生长氛围为氩气和氧气混合气,Ar流量30sccm, O_2 流量1.5sccm,氧氩比为1:20,溅射功率100W,溅射时间45min,衬底温度为500 $^{\circ}\text{C}$,旋转速度10rpm/min。

[0067] 然后,将所得两英寸样品切割成1cm $\times$ 1cm方形,在n型氧化镓层5表面光刻所需图形,通过电感耦合等离子体,刻蚀气压为5mTorr, BCl_3 流量为30sccm,Ar流量为10sccm,刻蚀深度100~200nm,刻蚀区域为2.5mm $\times$ 10mm,刻蚀深度为100~200nm,直至露出刻蚀部位的下方p型氮化镓层4。

[0068] 根据刻蚀尺寸,通过磁控溅射在暴露出的p型氮化镓层4表面及在未刻蚀的n型氧化镓层5表面,利用金属掩模版遮挡下分别沉积出叉指形状电极,叉指数量为8对,上一步刻

蚀所剩n型氧化镓层5叉指宽度为65um,叉指间距为35um,对应n型金属电极层7叉指宽度为15um,p型金属电极层6叉指宽度为15um,n型氧化镓层5与n型金属电极层7间距为25um,n型金属电极层7与p型金属电极层6的叉指间距为35um。对应p型金属电极层6生长参数为:溅射功率为80W,生长气压为3mTorr,Ar流量20sccm,先溅射20nm的Ni,再溅射100nm的Au,并在氮气氛围下500℃快速热退火2min;n型金属电极层7生长参数为:溅射功率为80W,生长气压为3Torr,Ar流量20sccm,先溅射20nm的Ti,再溅射120nm的Au,并在氮气氛围下500℃快速热退火2min;其背后刻蚀前器件结构如图9所示。

[0069] 最后,对器件背面的硅衬底进行减薄、抛光至200um,通过电感耦合等离子体接着逐步刻蚀剩余的硅衬底、氮化镓缓冲层、非掺杂氮化镓层及部分p型氮化镓直至保留200~300nm,完成深硅刻蚀工艺。

[0070] 实施例三中,深硅刻蚀后又指电极及相关立体结构设计如图10的器件侧面图所示,可见8对叉指按序排列,其中在n型氧化镓层5表面金属电极为Ti/Au,p型氮化镓层4表面金属为Ni/Au;图11为器件深硅刻蚀后倒置示意图,可见在部分减薄抛光后的硅衬底上选择刻蚀至保留部分p型氮化镓层4,所剩材料使器件整体透光,因此图中可以透过p型氮化镓层4,n型氧化镓层5从背面观察到正面顶层的电极设计,进而实现器件正面利用n型氧化镓层5完成深紫外波段200~280nm,背面利用p型氮化镓层4完成近紫外波320~400nm的双紫外波段探测;图2为在氮化镓上生长的氧化镓薄膜表面对应SEM图,可见Ga₂O₃薄膜在高温环境下生长致密,薄膜质量高可完成后续异质结光电探测;图3为在氮化镓上生长的氧化镓薄膜表面对应AFM图,其粗糙度为2.51nm,原子排列紧密,且粗糙度相对较低;图4为在氮化镓上生长的氧化镓薄膜表面对应XRD衍射峰,在去除原氮化镓衬底峰后,可以在18.81°,38.22°,59.03°对应找到β-Ga₂O₃的(-201),(-402),(-603)峰;图5为在氮化镓上磁控溅射生长氧化镓薄膜表面的XPS全谱图,可见C 1s,O 1s,N 1s,Ga 2p,Ga 3s,Ga 3p,Ga 3d及O KLL,Ga LMM,其中C 1s是由于表面暴露大气环境不可避免引入杂质,N 1s对应GaN基底,O 1s是表面Ga₂O₃薄膜组成元素体现。

[0071] 实施例4

[0072] 本实施例提供了氧化镓/氮化镓异质结双紫外波段探测器及其制备方法:

[0073] 首先,将硅衬底1依次放入丙酮、乙醇、去离子水中,超声清洗15min,并通过氮气枪吹干备用;在清洗后的硅衬底1上利用有机金属化学气相沉积法生长850nm厚氮化镓缓冲层2;在氮化镓缓冲层2上利用有机金属化学气相沉积法生长2.5um~3um厚非掺杂氮化镓层,在非掺杂氮化镓层3上利用有机金属化学气相沉积法外延生长150nm厚p型氮化镓层4;将已得样品再次按顺序超声清洗,氮气吹干。

[0074] 接着,在p型氮化镓层4上通过磁控溅射法生长100~150nm厚的β相n型氧化镓层5:纯度99.99%的氧化镓陶瓷靶材,环境压强为 1×10^{-5} Pa,预溅射5min,靶基距10cm,生长气压为6mTorr,生长氛围为氩气和氧气混合气,Ar流量30sccm,O₂流量1.5sccm,氧氩比为1:20,溅射功率100W,溅射时间45min,衬底温度为500℃,旋转速度10rpm/min。氧化镓薄膜生长完毕后放入管式退火炉中,在氮气气氛800℃下退火,升温速率为10℃/min,保持时间为90min。

[0075] 然后,将所得两英寸样品切割成1cm×1cm方形,在n型氧化镓层5表面光刻所需图形,通过电感耦合等离子体,刻蚀气压为5mTorr,BCl₃流量为30sccm,Ar流量为10sccm,刻蚀

深度100~200nm,刻蚀区域为2.5mm×10mm,刻蚀深度为100~200nm,直至露出刻蚀部位的下方p型氮化镓层4。

[0076] 根据刻蚀尺寸,通过磁控溅射在暴露出的p型氮化镓层4表面及在未刻蚀的n型氧化镓层5表面,利用金属掩模版遮挡下分别沉积出叉指形状电极,叉指数量为8对,上一步刻蚀所剩n型氧化镓层5叉指宽度为65um,叉指间距为35um,对应n型金属电极层7叉指宽度为15um,p型金属电极层6叉指宽度为15um,n型氧化镓层5与n型金属电极层7间距为25um,n型金属电极层7与p型金属电极层6的叉指间距为35um。对应p型金属电极层6生长参数为:溅射功率为80W,生长气压为3mTorr,Ar流量20sccm,先溅射20nm的Ni,再溅射100nm的Au,并在氮气氛围下500℃快速热退火2min;n型金属电极层7生长参数为:溅射功率为80W,生长气压为3Torr,Ar流量20sccm,先溅射20nm的Ti,再溅射120nm的Au,并在氮气氛围下500℃快速热退火2min。

[0077] 最后,对器件背面的硅衬底进行减薄、抛光至200um,通过电感耦合等离子体接着逐步刻蚀剩余的硅衬底、氮化镓缓冲层、非掺杂氮化镓层及部分p型氮化镓直至保留200~300nm,完成深硅刻蚀工艺。

[0078] 实施例四中,在薄膜生长阶段引入了后退火工艺,由图6可见,未退火器件在一定偏压下暗电流值较小,这说明退火导致氧化镓薄膜表面出现大量氧空位缺陷等,恶化了器件的光电性能表现。此外,I-V特性可见随偏压增大,暗电流值呈线性增长,这意味着薄膜表面与金属接触方式为良好的欧姆接触。

[0079] 在本说明书的描述中,参考术语“一个实施例”、“示例”、“具体示例”等的描述意指结合该实施例或示例描述的具体特征、结构、材料或者特点包含于本发明的至少一个实施例或示例中。在本说明书中,对上述术语的示意性表述不一定指的是相同的实施例或示例。而且,描述的具体特征、结构、材料或者特点可以在任何一个或多个实施例或示例中以合适的方式结合。

[0080] 以上显示和描述了本发明的基本原理、主要特征和本发明的优点。本行业的技术人员应该了解,本发明不受上述实施例的限制,上述实施例和说明书中描述的只是说明本发明的原理,在不脱离本发明精神和范围的前提下,本发明还会有各种变化和改进,这些变化和改进都落入要求保护的本发明范围内。

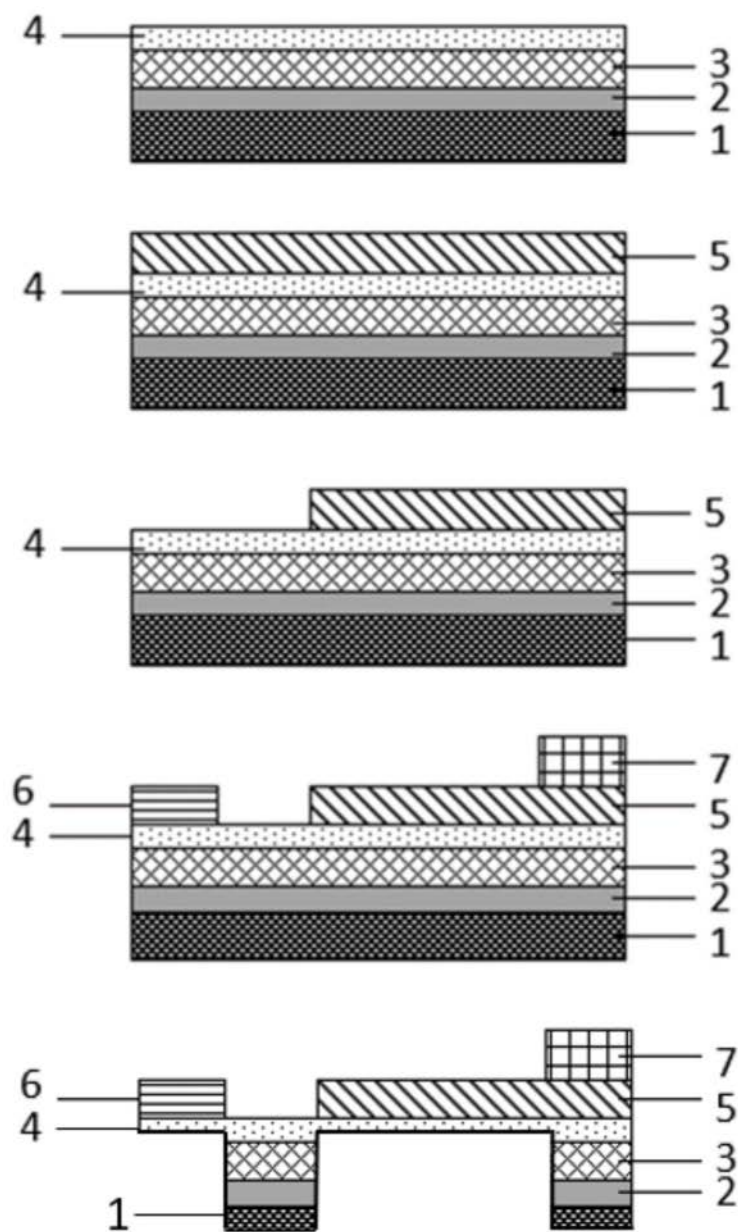


图 1

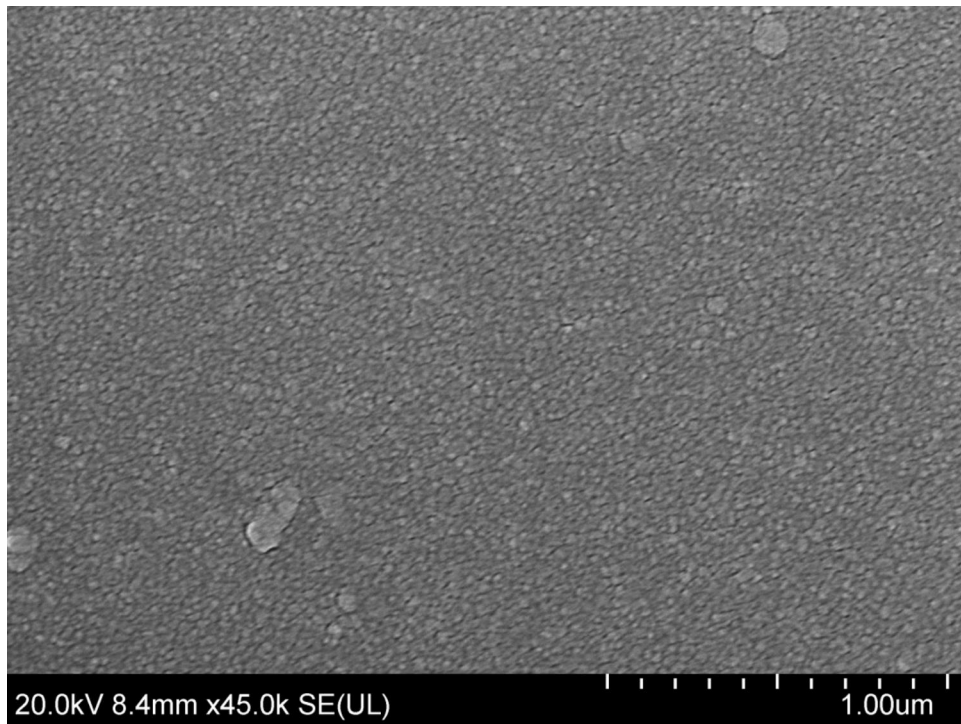


图 2

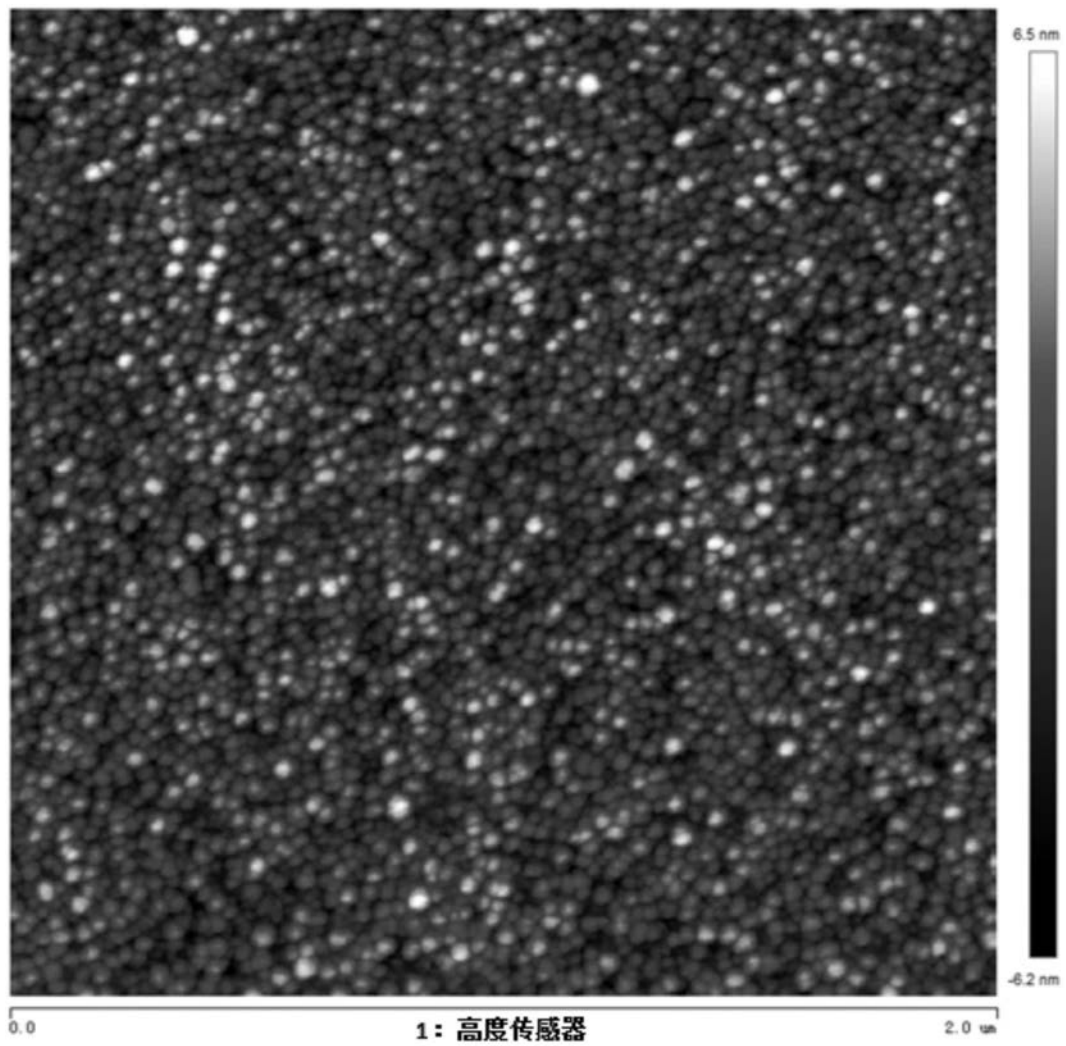


图 3

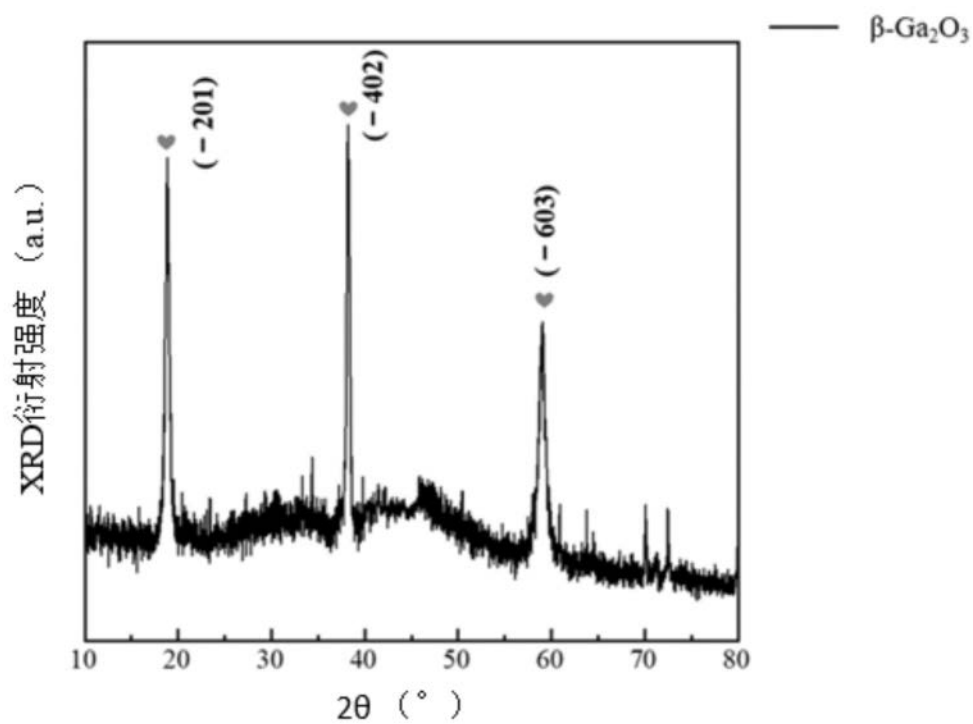


图 4

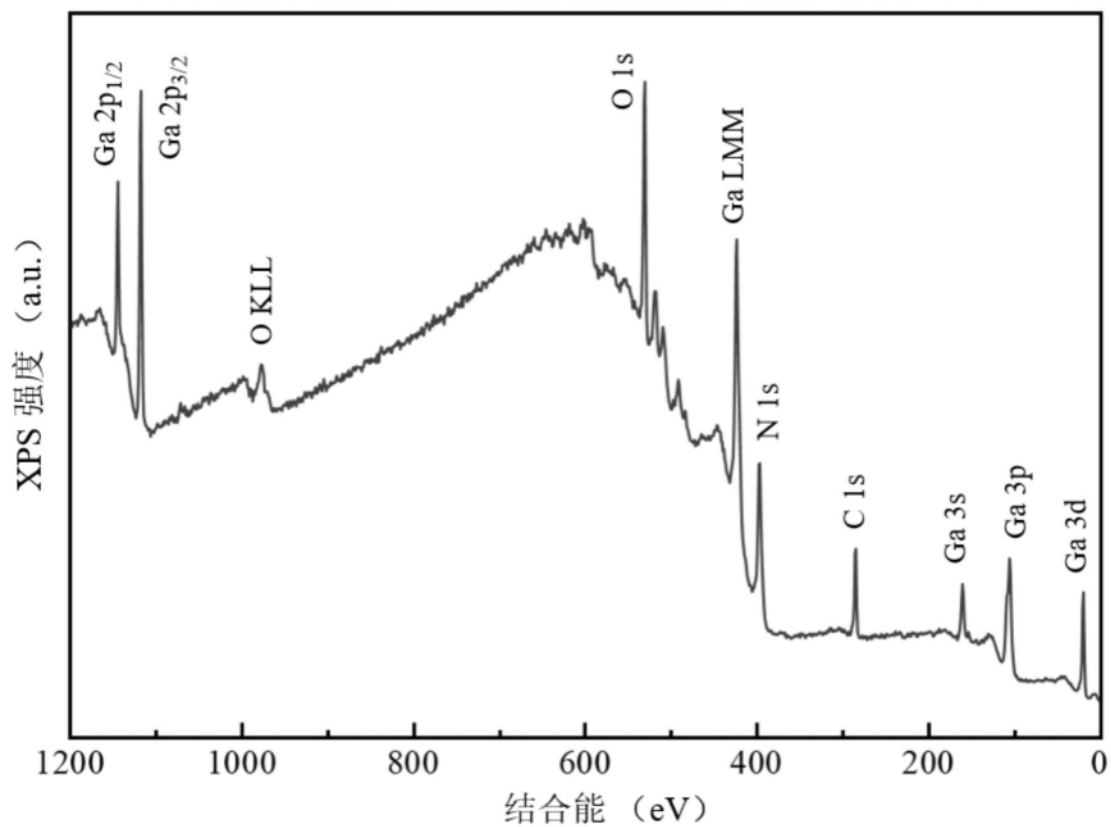


图 5

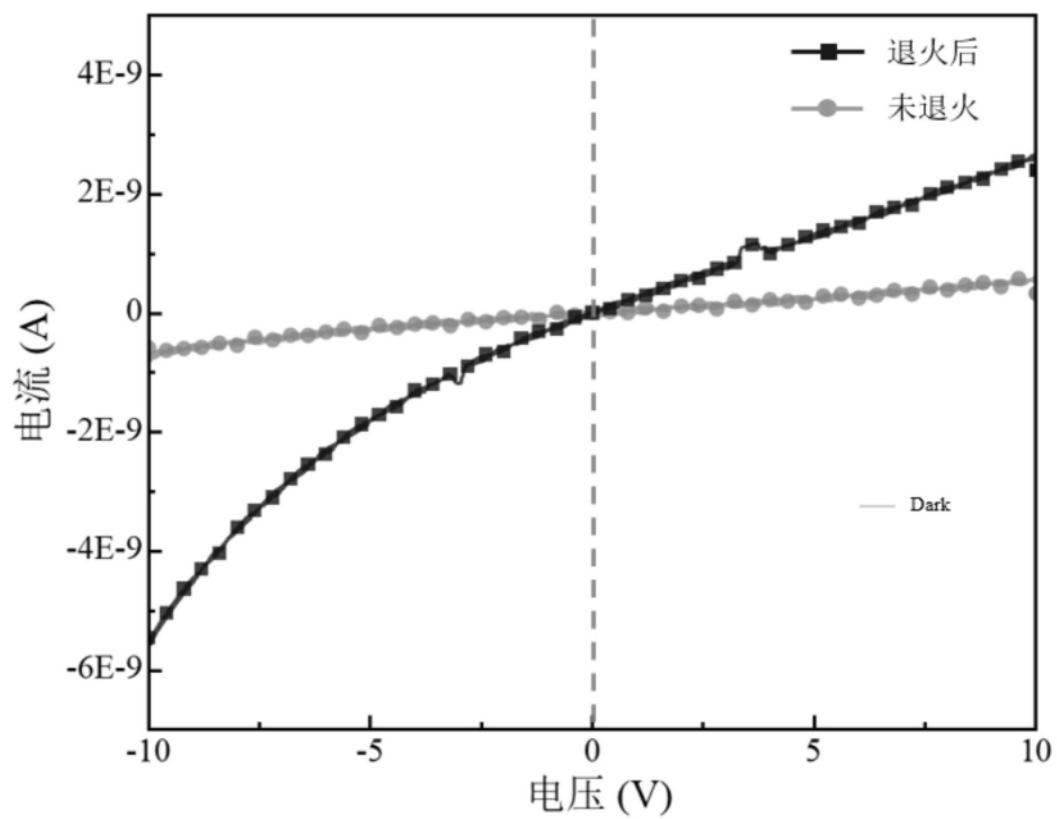


图 6

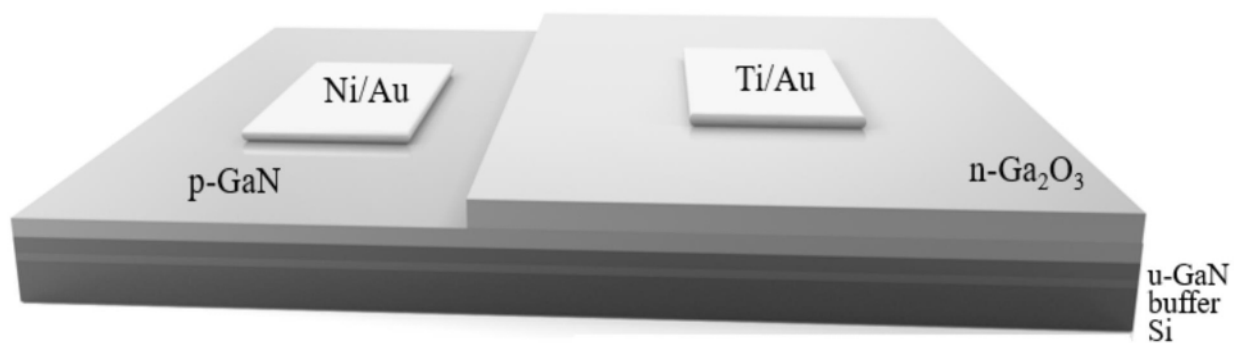


图7

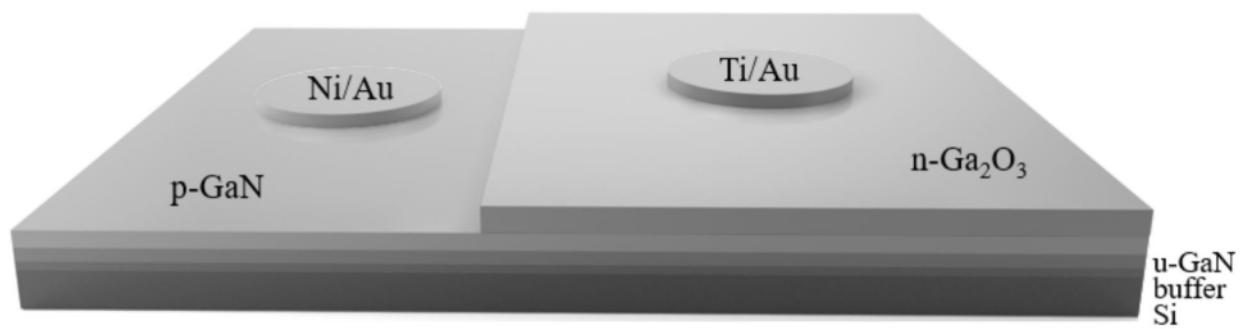


图8

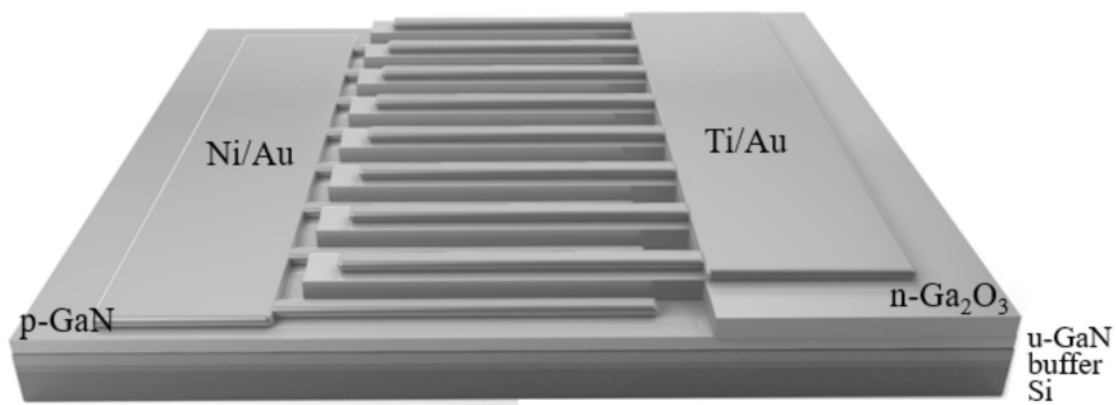


图 9

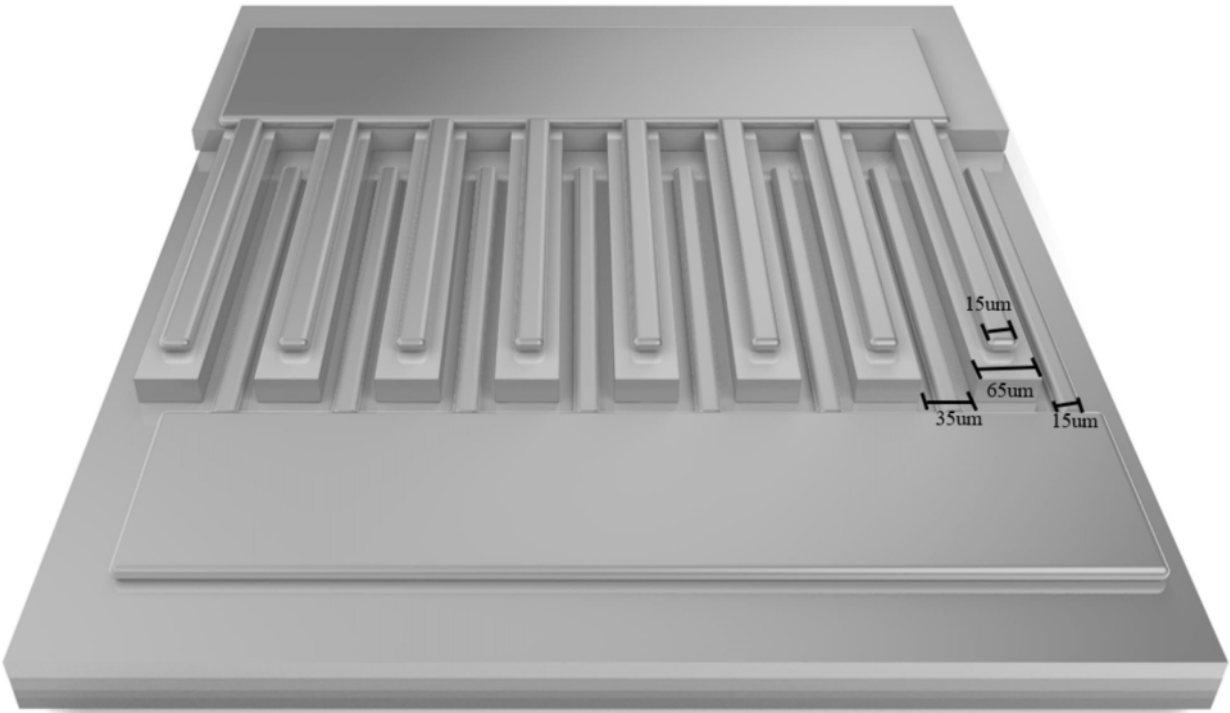


图 10



图 11

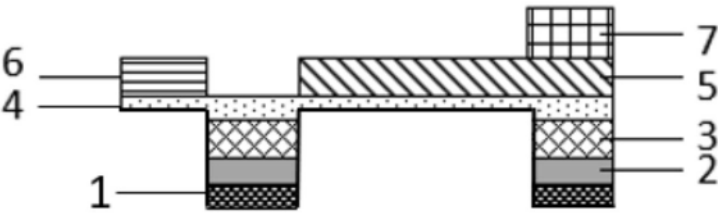


图 12