(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 110993684 A
(43)申请公布日 2020.04.10

(21)申请号 201911169340.6

(22)申请日 2019.11.26

(71)申请人 西安电子科技大学
地址 710071 陕西省西安市太白南路2号

(72)发明人 赵胜雷 刘俊伟 张进成 陈大正 朱家铎 朱卫东 刘志宏 许晟瑞 郝跃

(74)专利代理机构 陕西电子工业专利中心 61205
代理人 王品华 黎汉华

(51)Int.Cl.
H01L 29/417(2006.01)
H01L 29/872(2006.01)
H01L 21/329(2006.01)

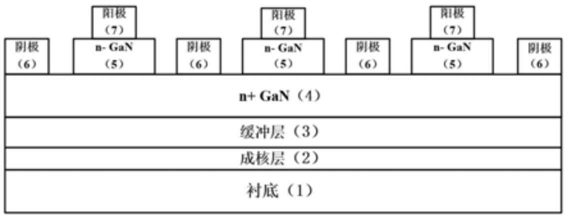
权利要求书2页 说明书6页 附图3页

(54)发明名称

基于阴阳极环形嵌套的大功率GaN准垂直肖特基二极管及其制备方法

(57)摘要

本发明公开了基于阴阳极环形嵌套的大功率GaN准垂直肖特基二极管及其制备方法，主要解决目前GaN准垂直肖特基二极管输出功率无法满足更高功率需求的问题。其自下而上包括：衬底(1)、成核层(2)、缓冲层(3)和n+型GaN层(4)，n+型GaN层(4)的上部设有n-型GaN层(5)和阴极(6)，n-型GaN层(5)的上部设有阳极(7)，该阴极和阳极采用环形嵌套结构，即阳极是以实心圆为中心，外部分布多个开口圆环的同心结构；阴极是分布在阳极环之间的多个开口圆环，形成阳极环与阴极环的同心环形交替嵌套结构。本发明降低了电场的边缘效应，提高了GaN准垂直二极管输出功率密度，可用于限幅器、微波整流和功率开关电路。



CN 110993684 A

1.一种基于阴阳极环形嵌套的大功率GaN准垂直肖特基二极管，自下而上包括：衬底(1)、成核层(2)、缓冲层(3)和n+型GaN层(4)，n+型GaN层(4)的上部设有n-型GaN层(5)和阴极(6)，n-型GaN层(5)的上部设有阳极(7)，其特征在于：

阳极(7)是以实心圆为中心，外部分布多个开口圆环的同心结构；阴极(6)是分布在阳极环之间的多个开口圆环，形成阳极环与阴极环的同心环形交替嵌套结构；

每个阴极(6)的同心开口圆环间距为7μm－40μm，每个同心开口圆环宽度为1μm－10μm，且开口圆环的数量大于等于2；

每个阳极(7)的中心实心圆半径为0.5μm－10μm，同心开口圆环间距为7μm－40μm，同心开口圆环宽度为1μm－10μm，且中心实心圆与开口圆环的数量之和大于等于2。

2.根据权利要求1所述的二极管，其特征在于：

所述的衬底(1)为蓝宝石、SiC、Si、金刚石和GaN中的一种；

所述的成核层(2)为AlN、AlGaN中的一种；

所述的缓冲层(3)为GaN、AlGaN和InGaN中的一种。

3.根据权利要求1所述的二极管，其特征在于：所述的n+型GaN层(4)的掺杂浓度为$1\times10^{17}cm^{-3}－1\times10^{20}cm^{-3}$，厚度为100nm－5μm。

4.根据权利要求1所述的二极管，其特征在于：所述的n-型GaN层(5)的掺杂浓度为$1\times10^{14}cm^{-3}－1\times10^{18}cm^{-3}$，厚度为100nm－20μm。

5.根据权利要求1所述的二极管，其特征在于：所述的阴极(6)，其采用的金属为Ti/Al/Ni/Au或者Ti/Al/Pt/Au或者Ti/Al/Ti/Au或者Ta/Al/Ta，金属厚度为25nm－500nm。

6.根据权利要求1所述的二极管，其特征在于：所述的阳极(7)，其采用的金属为Ni/Au或者W/Au或者Mo/Au或者Ni/Au/Ni或者Pt/Au或者Pd/Au，金属厚度为15nm－1300nm。

7.一种基于阴阳极环形嵌套的大功率GaN准垂直肖特基二极管的制备方法，其特征在于包括如下步骤：

1)对自下而上包括衬底、成核层、缓冲层、n+型GaN层、n-型GaN层的外延片，依次使用丙酮、异丙醇，去离子水进行5min的超声清洗；

2)在清洗后的外延片上进行光刻，得到具有多个开口同心圆环的阴极凹槽图形，并采用RIE或者ICP刻蚀设备，刻蚀去除图形区域的n-型GaN，获得阴极凹槽；再将刻蚀后的外延片放置在RTP快速热退火炉中，在N_2氛围中退火，在400-500℃的低温下，退火5min，修复刻蚀损伤；

3)制作阴极：

3a)对完成低温退火的外延片进行阴极光刻，得到具有多个开口同心圆环且位于阴极凹槽中的阴极图形；

3b)采用电子束蒸发或者溅射以0.1-0.3nm/s的速率在完成阴极图形光刻后的外延片上采用Ti/Al/Ni/Au或者Ti/Al/Pt/Au或者Ti/Al/Ti/Au或者Ta/Al/Ta制作阴极金属，阴极金属厚度为25nm－500nm；

3c)在阴极金属制作完成后进行剥离，去除外延片上阴极图形以外区域的金属，并使用RTP快速热退火炉进行退火，使阴极金属与n+型GaN层形成欧姆接触，得到阴极；

4)制作阳极：

4a)将完成阴极制作的外延片进行阳极光刻，得到以实心圆为中心，外部分布多个开口

圆环的同心结构的阳极图形；

4b)采用电子束蒸发或者溅射以0.1-0.3nm/s的速率在完成阳极图形光刻后的外延片上制作阳极金属，阳极金属采用Ni/Au或者W/Au或者Mo/Au或者Ni/Au/Ni或者Pt/Au或者Pd/Au，阳极金属厚度为15nm－1300nm；

4c)在阳极金属制作完成后进行剥离，去除外延片上阳极图形以外区域的金属，得到阳极，完成器件制作。

8.根据权利要求7所述的制备方法，其中2)中采用RIE或者ICP刻蚀设备在阴极凹槽图形区域刻蚀去除n-型GaN层，其刻蚀气体使用流量为10sccm的Cl_2和流量为20sccm的BCl_3。

9.根据权利要求7所述的制备方法，步骤3)中使用RTP快速热退火炉退火的工艺条件是：在退火炉中通入N_2，并在700℃－900℃的温度范围内退火30s－60s。

基于阴阳极环形嵌套的大功率GaN准垂直肖特基二极管及其制备方法

技术领域

[0001] 本发明属于微电子技术领域，尤其是涉及GaN肖特基二极管器件，可用于限幅器、微波整流和功率开关电路。

技术背景

[0002] 以Si、GaAs等传统半导体材料为基础的器件由于受到材料本身属性的限制，在功率和耐击穿电压等器件指标上很难再有进一步的提高。近年来以Ⅲ族氮化物为代表的新一代宽禁带半导体材料发展迅猛，具有宽带隙、高饱和电子漂移速度、高临界击穿场强、高热导率和化学性质稳定的优点，在毫米波、亚毫米波大功率电子器件领域极具发展潜力。GaN材料作为宽禁带半导体材料的典型代表，非常适合制备高温、抗辐射、高工作频率和大功率器件，在航空航天、雷达、通信等领域得到了广泛应用，目前基于GaN材料的功率电子器件的研究是目前国际上的热点之一。

[0003] 在多种基于GaN材料的功率电子器件中，GaN肖特基二极管由于其优越特性在近年来受到了广泛关注。其中准垂直结构的环形GaN肖特基二极管器件如图1所示，其自下而上包括衬底、成核层、缓冲层、n+型GaN层、n-型GaN层，n+型GaN层上设有阴极，n-型GaN层上设有阳极。该GaN肖特基二极管同时具有低导通电阻、高击穿电压和很小的反向恢复时间等优异特性，因此被广泛应用于限幅器、微波整流和功率开关电路。随着人们对功率电子器件的输出功率要求越来越高，为了提高输出电流，阳极半径通常做的很大。但是，由于目前准垂直结构肖特基二极管的常规环形金属电极具有边缘效应，电流密度从阳极边缘到中心随距离增大而指数衰减，电流集中在阳极金属的边缘，导致阳极金属的大部分区域对输出电流贡献很小，即增大器件的特征导通电阻，限制了器件的输出功率，使阳极的大部分区域被浪费了，降低了器件的输出电流密度，难以满足二极管器件在更高功率微波整流和功率开关电路中的应用。

发明内容

[0004] 本发明的目的在于针对上述GaN准垂直肖特基二极管器件的不足，提出一种基于阴阳极环形嵌套的大功率GaN准垂直肖特基二极管及其制备方法，以提高阳极金属的面积利用率，增大器件输出电流密度，提高器件的输出功率，满足二极管器件在更高功率微波整流和功率开关电路中的应用。

[0005] 实现本发明目的的技术方案如下：

[0006] 一、基于阴阳极环形嵌套的大功率GaN准垂直肖特基二极管，自下而上包括：衬底、成核层、缓冲层和n+型GaN层，n+型GaN层的上部设有n-型GaN层和阴极，n-型GaN层的上部设有阳极，其特征在于：

[0007] 阳极是以实心圆为中心，外部分布多个开口圆环的同心结构；阴极是分布在阳极环之间的多个开口圆环，形成阳极环与阴极环的同心环形交替嵌套结构；

[0008] 每个阴极的同心开口圆环间距为7μm－40μm，每个同心开口圆环宽度为1μm－10μm，且开口圆环的数量大于等于2；每个阳极的中心实心圆半径为0.5μm－10μm，同心开口圆环间距为7μm－40μm，同心开口圆环宽度为1μm－10μm，且中心实心圆与开口圆环的数量之和大于等于2。

[0009] 进一步，所述的衬底为蓝宝石、SiC、Si、金刚石和GaN中的一种。

[0010] 进一步，所述的成核层为AlN、AlGaN中的一种。

[0011] 进一步，所述的缓冲层为GaN、AlGaN和InGaN中的一种。

[0012] 进一步，所述的n+型GaN层的掺杂浓度为$1\times10^{17}cm^{-3}$－$1\times10^{20}cm^{-3}$，厚度为100nm－5μm。

[0013] 进一步，所述的n-型GaN层的掺杂浓度为$1\times10^{14}cm^{-3}$－$1\times10^{18}cm^{-3}$，厚度为100nm－20μm。

[0014] 进一步，所述的阴极采用的金属为Ti/Al/Ni/Au或者Ti/Al/Pt/Au或者Ti/Al/Ti/Au或者Ta/Al/Ta，金属厚度为25nm－500nm。

[0015] 进一步，所述的阳极采用的金属为Ni/Au或者W/Au或者Mo/Au或者Ni/Au/Ni或者Pt/Au或者Pd/Au，金属厚度为20nm－1300nm。

[0016] 二、基于阴阳极环形嵌套的大功率GaN准垂直肖特基二极管的制作方法，其特征在于，包括如下步骤：

[0017] 1）对自下而上包括衬底、成核层、缓冲层、n+型GaN层、n-型GaN层的外延片，依次使用丙酮、异丙醇，去离子水进行5min的超声清洗；

[0018] 2）在清洗后的外延片上进行光刻，得到具有多个开口同心圆环的阴极凹槽图形；采用RIE或者ICP刻蚀设备，刻蚀去除图形区域的n-型GaN，获得阴极凹槽；然后将刻蚀后的外延片放置在RTP快速热退火炉中，在N_2氛围中退火，在400-500℃的低温下，退火5min，修复刻蚀损伤；

[0019] 3）制作阴极：

[0020] 3a）对完成低温退火的外延片进行阴极光刻，得到具有多个开口同心圆环且位于阴极凹槽中的阴极图形；

[0021] 3b）采用电子束蒸发或者溅射以0.1-0.3nm/s的速率在完成阴极图形光刻后的外延片上采用Ti/Al/Ni/Au或者Ti/Al/Pt/Au或者Ti/Al/Ti/Au或者Ta/Al/Ta制作阴极金属，阴极金属厚度为25nm－500nm；

[0022] 3c）在阴极金属制作完成后进行剥离，去除外延片上阴极图形以外区域的金属，并使用RTP快速热退火炉进行退火，使阴极金属与n+型GaN层形成欧姆接触，得到阴极；

[0023] 4）制作阳极：

[0024] 4a）将完成阴极制作的外延片进行阳极光刻，得到以实心圆为中心，外部分布多个开口圆环的同心结构的阳极图形；

[0025] 4b）采用电子束蒸发或者溅射以0.1-0.3nm/s的速率在完成阳极图形光刻后的外延片上制作阳极金属，阳极金属采用Ni/Au或者W/Au或者Mo/Au或者Ni/Au/Ni或者Pt/Au或者Pd/Au，阳极金属厚度为15nm－1300nm；

[0026] 4c）在阳极金属制作完成后进行剥离，去除外延片上阳极图形以外区域的金属，得到阳极，完成器件制作。

[0027]　本发明与常规环形准垂直GaN肖特基二极管相比，具有如下有益效果：

[0028]　1.本发明由于采用多层环形结构，降低了边缘效应的影响，提高了阳极的电流密度，能够满足大功率器件的需求。

[0029]　2.本发明由于采用多层环形结构，提高了阳极的面积利用率，在同等输出功率下，器件的占用面积降低，器件尺寸缩小，从而能降低生产成本。

[0030]　3.本发明制作工艺简单，成品率高。

附图说明

[0031]　图1为现有的环形GaN准垂直肖特基二极管器件的结构示意图；

[0032]　图2为本发明的GaN肖特基二极管器件的结构示意图；

[0033]　图3为本发明的GaN肖特基二极管器件的俯视图；

[0034]　图4为本发明制作GaN肖特基二极管的流程示意图。

具体实施方式

[0035]　以下结合附图对本发明做进一步详细说明。

[0036]　参照图2和图3，本发明基于阴阳极环形嵌套的大功率GaN准垂直肖特基二极管，自下而上包括：衬底1、成核层2、缓冲层3和n+型GaN层4，n+型GaN层4的上部设有n-型GaN层5和阴极6，n-型GaN层5的上部设有阳极7，该阳极7是以实心圆为中心，外部分布多个开口圆环的同心结构；该阴极6是分布在阳极环之间的多个开口圆环，形成阳极环与阴极环的同心环形交替嵌套结构。其中：

[0037]　每个阴极6的同心开口圆环间距为7μm－40μm，每个同心开口圆环宽度为1μm－10μm，且开口圆环的数量大于等于2，本实例取值为2，但不限于开口圆环的数量为2个，该阴极6采用的金属为Ti/Al/Ni/Au或者Ti/Al/Pt/Au或者Ti/Al/Ti/Au或者Ta/Al/Ta，阴极金属厚度为25nm－500nm；

[0038]　每个阳极7的中心实心圆半径为0.5μm－10μm，同心开口圆环间距为7μm－40μm，同心开口圆环宽度为1μm－10μm，且中心实心圆与开口圆环的数量之和大于等于2，本实例取值为2，但不限于中心实心圆与开口圆环的数量之和为2个。该阳极7采用的金属为Ni/Au或者W/Au或者Mo/Au或者Ni/Au/Ni或者Pt/Au或者Pd/Au，阳极金属厚度为15nm－1300nm；

[0039]　衬底1采用蓝宝石、SiC、Si、金刚石和GaN中的一种；

[0040]　成核层2采用AlN或者AlGaN；

[0041]　缓冲层3采用GaN、AlGaN和InGaN中的一种；

[0042]　n+型GaN层4的掺杂浓度为$1\times10^{17}cm^{-3}－1\times10^{20}cm^{-3}$，厚度为100nm－5μm；

[0043]　n-型GaN层5的掺杂浓度为$1\times10^{14}cm^{-3}－1\times10^{18}cm^{-3}$，厚度为100nm－20μm。

[0044]　参照图4，本发明制备基于阴阳极环形嵌套的大功率GaN准垂直肖特基二极管的方法，给出如下的三个实施例。

[0045]　实施例1，制作阴极的同心开口圆环间距为7μm，同心开口圆环宽度为1μm，阳极的中心实心圆半径为0.5μm，同心开口圆环间距为7μm，同心开口圆环宽度为1μm的GaN肖特基二极管。

[0046]　步骤1：清洗外延片。

[0047]　1.1)选用自下而上包括蓝宝石衬底、AlN成核层、GaN缓冲层、掺杂浓度为$1\times10^{17}cm^{-3}$且厚度为100nm的n+型GaN层、掺杂浓度为$1\times10^{14}cm^{-3}$且厚度为100nm的n-型GaN层的外延片，如图4(a)；

[0048]　1.2)将选用的外延片先使用丙酮超声清洗5min，然后使用异丙醇超声清洗5min，最后使用去离子水超声清洗5min，并使用高纯氮气吹干外延片表面的水珠。

[0049]　步骤2:制作阴极凹槽，如图4(b)。

[0050]　2.1)在清洗后的外延片上进行光刻，得到具有多个开口同心圆环的阴极凹槽图形；

[0051]　2.2)将光刻后的外延片放入RIE刻蚀设备刻蚀腔内，同时通入流量为10sccm的Cl_2和流量为20sccm的BCl_3，刻蚀去除图形区域的n-型GaN，获得阴极凹槽；

[0052]　2.3)将刻蚀后的外延片放置在RTP快速热退火炉中，在退火炉内通入N_2，在400℃的低温下，退火5min，修复刻蚀损伤。

[0053]　步骤3:制作阴极，如图4(c)。

[0054]　3.1)对完成低温退火的外延片进行阴极光刻，得到具有多个开口同心圆环且位于阴极凹槽中的阴极图形，其中阴极的同心开口圆环间距为7μm，同心开口圆环宽度为1μm，且开口圆环的数量为2；

[0055]　3.2)使用电子束蒸发以0.1nm/s的蒸发速率在完成阴极图形光刻后的外延片上制作厚度分别为5/10/5/5nm的Ti/Al/Ni/Au阴极金属；

[0056]　3.3)对蒸发完成后的阴极金属进行剥离，去除外延片上阴极图形以外区域的金属，并使用RTP快速热退火炉对剥离后的外延片进行退火，即在退火炉内通入N_2，在900℃下退火30s，使得退火后的阴极金属与n+型GaN层形成欧姆接触，得到阴极。

[0057]　步骤4:制作阳极，如图4(d)。

[0058]　4.1)对完成阴极制作的外延片进行阳极光刻，得到以实心圆为中心，外部分布多个开口圆环的同心结构的阳极图形，其中阳极的中心实心圆半径为0.5μm，同心开口圆环间距为7μm，同心开口圆环宽度为1μm，且中心实心圆与开口圆环的数量之和为2；

[0059]　4.2)采用电子束蒸发以0.1nm/s的蒸发速率在完成阳极图形光刻后的外延片上制作厚度分别为5/10nm的Ni/Au阳极金属；

[0060]　4.3)对完成金属蒸发后的阳极进行剥离，去除外延片上阳极图形以外区域的金属，得到阳极，完成器件制作。

[0061]　实施例2，制作阴极的同心开口圆环间距为25μm，同心开口圆环宽度为5μm，阳极的中心实心圆半径为5μm，同心开口圆环间距为25μm，同心开口圆环宽度为10μm的GaN肖特基二极管。

[0062]　步骤一:清洗外延片。

[0063]　选用自下而上包括SiC衬底、$Al_{0.90}Ga_{0.10}N$成核层、$Al_{0.05}Ga_{0.95}N$缓冲层、掺杂浓度为$1\times10^{19}cm^{-3}$且厚度为2.5μm的n+型GaN层、掺杂浓度为$1\times10^{16}cm^{-3}$且厚度为10μm的n-型GaN层的外延片，如图4(a)，并将选用的外延片先使用丙酮超声清洗5min，然后使用异丙醇超声清洗5min，再使用去离子水超声清洗5min，最后并使用高纯氮气吹干外延片表面的水珠。

[0064]　步骤二:制作阴极凹槽，如图4(b)。

[0065]　先在清洗后的外延片上进行光刻，得到具有多个开口同心圆环的阴极凹槽图形；

再将光刻后的外延片放入ICP刻蚀设备刻蚀腔内，同时通入流量为10sccm的Cl_2和流量为20sccm的BCl_3，刻蚀去除图形区域的n-型GaN，获得阴极凹槽；然后将刻蚀后的外延片放置在RTP快速热退火炉中，在退火炉内通入N_2，在450℃的低温下，退火5min，修复刻蚀损伤。

[0066] 步骤三：制作阴极，如图4(c)。

[0067] 首先，对完成低温退火的外延片进行阴极光刻，得到具有多个开口同心圆环且位于阴极凹槽中的阴极图形，其中阴极的同心开口圆环间距为25μm，同心开口圆环宽度为5μm，且开口圆环的数量为10；

[0068] 然后，使用溅射以0.2nm/s的速率在完成阴极图形光刻后的外延片上制作厚度分别为20/120/40/50nm的Ti/Al/Pt/Au阴极金属；

[0069] 最后，在阴极金属蒸发完成后进行剥离，去除外延片上阴极图形以外区域的金属，并使用RTP快速热退火炉对剥离后的外延片进行退火，即在退火炉内通入N_2，在800℃下退火45s，使得退火后的阴极金属与n+型GaN层形成欧姆接触，得到阴极。

[0070] 步骤四：制作阳极，如图4(d)。

[0071] 首先，对完成阴极制作的外延片进行阳极光刻，得到以实心圆为中心，外部分布多个开口圆环的同心结构的阳极图形，其中阳极的中心实心圆半径为5μm，同心开口圆环间距为25μm，同心开口圆环宽度为5μm，且中心实心圆与开口圆环的数量之和为10；

[0072] 然后，采用溅射以0.2nm/s的速率在完成阳极图形光刻后的外延片上制作厚度分别为200/450nm的W/Au阳极金属；

[0073] 最后，在阳极金属蒸发完成后进行剥离，去除外延片上阳极图形以外区域的金属，得到阳极，完成器件制作。

[0074] 实施例3，制作阴极的同心开口圆环间距为40μm，同心开口圆环宽度为10μm，阳极的中心实心圆半径为10μm，同心开口圆环间距为40μm，同心开口圆环宽度为10μm的GaN肖特基二极管。

[0075] 步骤A：清洗外延片。

[0076] A1)选用自下而上包括Si衬底、AlN成核层、$In_{0.17}Ga_{0.83}N$缓冲层、掺杂浓度为$1\times10^{20}cm^{-3}$且厚度为5μm的n+型GaN层、掺杂浓度为$1\times10^{18}cm^{-3}$且厚度为20μm的n-型GaN层的外延片，如图4(a)；

[0077] A2)依次使用丙酮和异丙醇和去离子水对外延片各超声清洗5min，并使用高纯氮气吹干外延片表面的水珠。

[0078] 步骤B：制作阴极凹槽，如图4(b)。

[0079] B1)制作阴极凹槽；

[0080] 本步骤的具体实施与实施例1中的步骤2.1)和步骤2.2)相同；

[0081] B2)将刻蚀后的外延片放置在RTP快速热退火炉中，在退火炉内通入N_2，在500℃的低温下，退火5min，修复刻蚀损伤。

[0082] 步骤C：制作阴极，如图4(c)。

[0083] C1)对完成低温退火的外延片进行阴极光刻，得到具有多个开口同心圆环且位于阴极凹槽中的阴极图形，其中阴极的同心开口圆环间距为40μm，同心开口圆环宽度为10μm，且开口圆环的数量为15；

[0084] C2)使用电子束蒸发以0.3nm/s的蒸发速率在完成阴极图形光刻后的外延片上制

作厚度分别为150/200/150nm的Ta/Al/Ta阴极金属；

[0085] C3)在阴极金属蒸发完成后进行剥离，去除外延片上阴极图形以外区域的金属，并使用RTP快速热退火炉对剥离后的外延片进行退火，即在退火炉内通入N_2，在700℃下退火60s，使得退火后的阴极金属与n+型GaN层形成欧姆接触，得到阴极。

[0086] 步骤D:制作阳极，如图4(d)。

[0087] D1)对完成阴极制作的外延片进行阳极光刻，得到以实心圆为中心，外部分布多个开口圆环的同心结构的阳极图形，其中阳极的中心实心圆半径为10μm，同心开口圆环间距为40μm，同心开口圆环宽度为10μm，且中心实心圆与开口圆环的数量之和为15；

[0088] D2)采用溅射以0.3nm/s的速率在完成阳极图形光刻后的外延片上制作厚度分别为300/1000nm的Mo/Au阳极金属；

[0089] D3)在阳极金属蒸发完成后进行剥离，去除外延片上阳极图形以外区域的金属，得到阳极，完成器件制作。

[0090] 以上所述实施例仅表达了本发明的三种实施方式，并不能因此而理解为对本发明专利范围的限制。应当指出的是，对于本领域的普通技术人员来说，在不脱离本发明构思的前提下，还可以做出若干变形和改进，这些都属于本发明的保护范围。

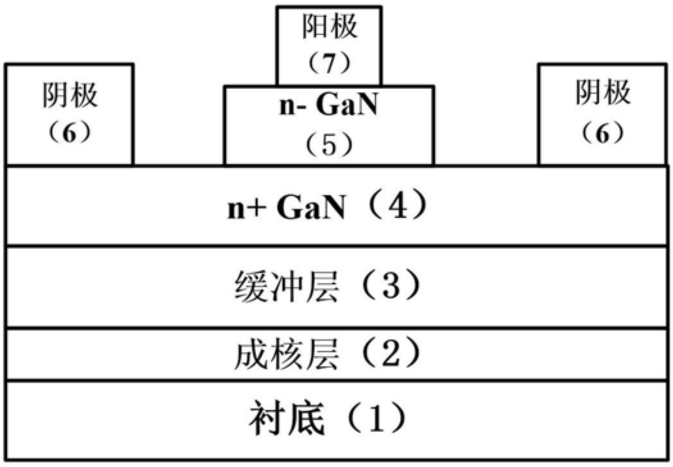

阳极
（7）
阴极
（6）
n- GaN
（5）
阴极
（6）
n+ GaN（4）
缓冲层（3）
成核层（2）
衬底（1）

图1

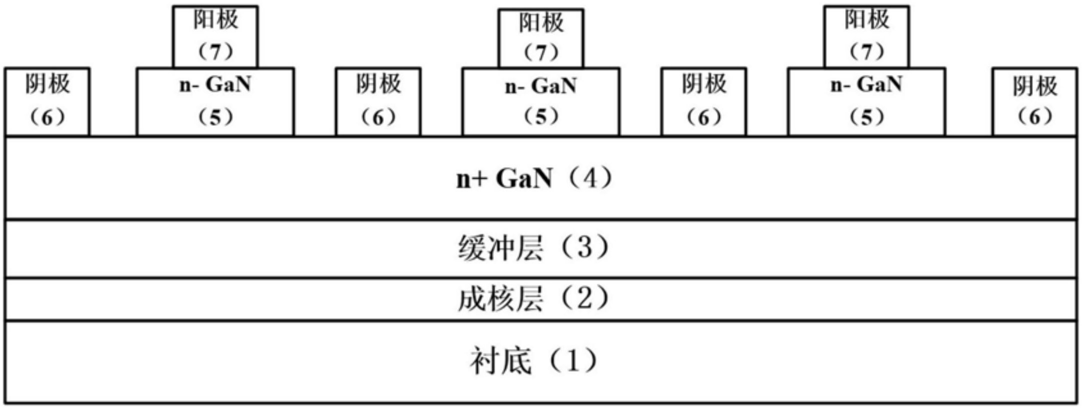

阳极
（7）
阳极
（7）
阳极
（7）
阴极
（6）
n- GaN
（5）
阴极
（6）
n- GaN
（5）
阴极
（6）
n- GaN
（5）
阴极
（6）
n+ GaN（4）
缓冲层（3）
成核层（2）
衬底（1）

图2

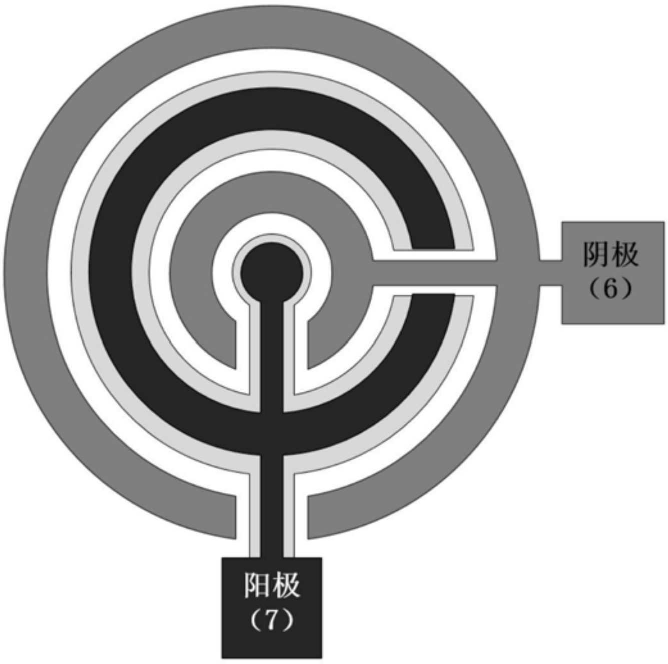


图3


n- GaN（5）
n+ GaN（4）
缓冲层（3）
成核层（2）
衬底（1）

（a）


n- GaN（5）
n- GaN（5）
n- GaN（5）
n+ GaN（4）
缓冲层（3）
成核层（2）
衬底（1）

（b）


阴极（6）
n- GaN（5）
阴极（6）
n- GaN（5）
阴极（6）
n- GaN（5）
阴极（6）
n+ GaN（4）
缓冲层（3）
成核层（2）
衬底（1）

（c）


阳极（7）
阳极（7）
阳极（7）
阴极（6）
n- GaN（5）
阴极（6）
n- GaN（5）
阴极（6）
n- GaN（5）
阴极（6）
n+ GaN（4）
缓冲层（3）
成核层（2）
衬底（1）

（d）

图4