



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101908511 B

(45) 授权公告日 2012. 07. 25

(21) 申请号 201010237851. X

(22) 申请日 2010. 07. 27

(73) 专利权人 南京大学

地址 210093 江苏省南京市鼓楼区汉口路
22 号

(72) 发明人 陆海 石宏彪 张荣 郑有焯
张之野 朱廷刚

(74) 专利代理机构 南京天翼专利代理有限责任
公司 32112

代理人 黄明哲

(51) Int. Cl.

H01L 23/14(2006. 01)

H01L 23/373(2006. 01)

H01L 21/50(2006. 01)

(56) 对比文件

TW 201032328 A1, 2010. 09. 01,
JP 特开 2007-250792 A, 2007. 09. 27,
CN 1623239 A, 2005. 06. 01,
CN 101179098 A, 2008. 05. 14,
CN 1731590 A, 2006. 02. 08,

审查员 黄金卫

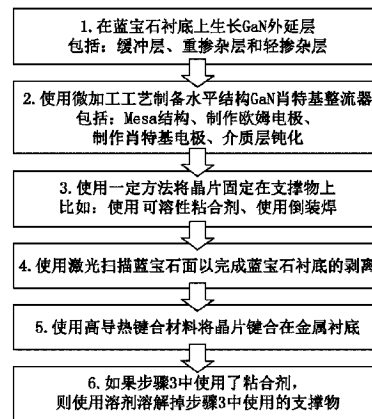
权利要求书 2 页 说明书 7 页 附图 5 页

(54) 发明名称

一种金属衬底的氮化镓肖特基整流器及其制备方法

(57) 摘要

一种金属衬底的氮化镓肖特基整流器及其制备方法, 整流器包括金属衬底、金属键合层和氮化镓肖特基整流器晶片, 金属衬底作为支撑衬底, 氮化镓肖特基整流器晶片包括氮化镓外延层、氮化镓肖特基电极和欧姆电极, 氮化镓外延层通过金属键合层与金属衬底键合, 氮化镓肖特基电极与欧姆电极相对金属衬底在外延层的另一侧呈横向分布, 制备时把欧姆电极与肖特基接触电极先后制备在外延片的正面, 之后再在另一面通过激光将蓝宝石衬底剥离, 再与金属衬底键合。本发明可解决 GaN 肖特基整流器的金属化方案与蓝宝石衬底剥离的工艺兼容性问题, 以高导热性金属衬底作为支撑载体及热沉, 解决了器件的散热问题, 可有效提高器件的性能和可靠性。



CN 101908511 B

1. 一种金属衬底的氮化镓肖特基整流器,其特征是包括金属衬底(301)、金属键合层(302)和氮化镓肖特基整流器晶片,金属衬底(301)作为整个器件的支撑衬底,氮化镓肖特基整流器晶片为横向结构,包括氮化镓外延层、氮化镓肖特基电极(103)和欧姆电极(104),氮化镓外延层由下至上包括缓冲层(102a)、重掺杂氮化镓欧姆接触层(102b)和轻掺杂氮化镓电压阻挡层(102c),其中缓冲层(102a)通过金属键合层(302)与金属衬底(301)键合,氮化镓肖特基电极(103)与欧姆电极(104)相对金属衬底(301)在外延层的另一侧呈横向分布。

2. 根据权利要求1所述的金属衬底的氮化镓肖特基整流器,其特征是金属键合层(302)由多层金属或合金淀积而成。

3. 权利要求1或2所述金属衬底的氮化镓肖特基整流器的制备方法,其特征是包括以下步骤:

1) 在蓝宝石衬底(101)上生长氮化镓肖特基整流器晶片的外延层,外延结构在衬底上从下到上包括缓冲层(102a)、重掺杂氮化镓欧姆接触层(102b)和轻掺杂氮化镓电压阻挡层(102c);

2) 采用半导体微加工方法制作横向结构氮化镓肖特基整流器晶片,包括:在设置欧姆电极(104)的位置用台面刻蚀方法暴露出重掺杂氮化镓欧姆接触层(102b),在重掺杂氮化镓欧姆接触层(102b)上制备欧姆电极(104),在轻掺杂氮化镓电压阻挡层(102c)上制备氮化镓肖特基电极(103),制备得到的氮化镓肖特基电极(103)与欧姆电极(104)位于外延层的同一侧,呈横向分布;

3) 将制备完成的晶片正面,即电极面,固定在硬质支撑载体(201)上,包括两种方式:A、使用可溶性粘合剂(202)将电极面临时固定在硬质支撑载体(201)上;B、如整流器采用倒装焊的方式封装,硬质支撑载体(201)为带焊接凸点的倒装焊基板,采用倒装焊方式连接和固定;

4) 采用激光剥离的方法剥离蓝宝石衬底(101):用短波长激光从晶片的背面,即蓝宝石表面入射,使得蓝宝石衬底(101)和氮化镓肖特基整流器晶片的外延层交界处的氮化镓材料在高温下分解,实现蓝宝石衬底与晶片的分离,缓冲层(102a)裸露出来;

5) 在裸露的缓冲层(102a)表面淀积金属键合层(302),采用加热的方法将氮化镓肖特基整流器晶片与金属衬底(301)键合,形成紧密接触,键合所使用的温度小于 500°C ,得到金属衬底的氮化镓肖特基整流器。

4. 根据权利要求3所述的金属衬底的氮化镓肖特基整流器的制备方法,其特征是如步骤3)中使用方式A,则在氮化镓肖特基整流器晶片与金属衬底(301)键合后,将整体器件置于有机溶剂中,去除粘合剂,使器件脱离步骤3)中临时使用的硬质支撑载体(201)。

5. 根据权利要求3或4所述的金属衬底的氮化镓肖特基整流器的制备方法,其特征是重掺杂氮化镓欧姆接触层(102b)的N型掺杂浓度大于 $5 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$,厚度介于 $0.1\text{--}20\mu\text{m}$ 之间;轻掺杂氮化镓电压阻挡层(102c)N型掺杂浓度介于 $1 \times 10^{15}\text{--}5 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ 之间,其厚度介于 $1\text{--}50\mu\text{m}$ 之间。

6. 根据权利要求3或4所述的金属衬底的氮化镓肖特基整流器的制备方法,其特征是所采用的金属衬底(301)为自支撑的金属薄板或附着于其他支撑材料之上的金属薄板,如果是自支撑的金属薄板,其最低厚度为 $10\mu\text{m}$;如果是附着于其他支撑材料之上的金属薄

板,其最低厚度则为 1 μ m。

7. 根据权利要求 3 或 4 所述的金属衬底的氮化镓肖特基整流器的制备方法,其特征是金属键合层(302)金属厚度在 0.1 μ m 至 1mm 之间,材料包括镍、金、钨、钛、钼、银、铅、锡、铜、铝金属中的一种或几种或其合金;硬质支撑载体(201)为半导体片、玻璃片、石英片或金属片中的一种或几种。

8. 根据权利要求 3 或 4 所述的金属衬底的氮化镓肖特基整流器的制备方法,其特征是步骤 2) 中,在重掺杂氮化镓欧姆接触层(102b)上积淀欧姆接触金属复合层,经过 600 $^{\circ}$ C 以上的高温退火制备得到欧姆电极(104),温度降至 600 $^{\circ}$ C 以下后,再在与欧姆电极(104)横向排列的位置,在轻掺杂氮化镓电压阻挡层(102c)上制备氮化镓肖特基电极(103)。

9. 根据权利要求 3 或 4 所述的金属衬底的氮化镓肖特基整流器的制备方法,其特征是步骤 2) 中,加入多次介质钝化层的积淀与开孔工艺。

10. 根据权利要求 3 或 4 所述的金属衬底的氮化镓肖特基整流器的制备方法,其特征是步骤 4) 中所使用的激光波长在 150nm 到 380nm 之间,为脉冲激光或连续激光。

一种金属衬底的氮化镓肖特基整流器及其制备方法

技术领域

[0001] 本发明属于半导体电子器件技术领域,涉及基于宽禁带化合物半导体材料的功率整流器件,具体为一种金属衬底的氮化镓肖特基整流器及其制备方法。

背景技术

[0002] 功率电子器件,如功率整流器件和功率开关广泛应用于国民经济的各个领域,如开关电源、汽车电子、无线电通信、电机控制等。长期以来,人们一直使用硅基功率电子器件;然而,随着硅工艺的多年发展,受硅材料本身物理特性的限制,硅基功率电子器件性能已经逐渐接近其理论极限。想要再大幅度地提高器件性能,突破功率电子器件发展所面临的“硅极限”问题,就必须采用新型半导体材料来制备下一代功率电子器件。新兴宽禁带半导体材料,尤其是 III 族氮化物半导体和碳化硅,在材料基本特性上具有制作高性能功率电子器件的更大潜力。其中,氮化镓 (GaN) 作为宽禁带半导体材料的典型代表,以其禁带宽度大 (3.4eV)、击穿电压高 ($\sim 3.3\text{MV/cm}$)、和饱和电子漂移速度大 ($\sim 2.8 \times 10^7\text{cm/s}$) 等多方面性能优势在国际上受到了广泛关注,相关 III 族氮化物半导体技术发展迅速。GaN 基材料在高频、高温和大功率器件应用领域具有良好的前景,其针对功率电子器件应用的优值系数相比于硅 (Si) 材料或砷化镓 (GaAs) 基材料要高出 1-2 个数量级以上。

[0003] 在多种基于宽禁带半导体材料的功率电子器件中,GaN 肖特基整流器 (Schottky Rectifier,或称为功率肖特基二极管) 近年来逐渐成为国际研究热点。肖特基整流器是利用金属与半导体接触所形成的肖特基势垒对电流进行整流控制。其主要特点是具有较低的正向压降;另外它是多数载流子(电子)参与导电,这就比少数载流子器件,如:PN 结二极管有快得多的反应速度,其频率响应仅为 RC 时间常数限制。因而,它是高频和快速开关应用的理想器件。受 Si 材料低禁带宽度等物理本征特性的限制,Si 基肖特基整流器的最高耐压一般只能做到 250V 左右;更高电压的电源应用则需要使用 Si PIN 整流器;但是,受 PN 结区内少数载流子存储效应的影响,PIN 整流器的开关速度又要比肖特基整流器慢很多,这对高效电源系统的设计和实现是非常不利的。采用基于宽禁带半导体 GaN 的肖特基整流器恰恰可以解决以上矛盾。GaN 具有比 Si 材料高出一个数量级的击穿电场和更好的耐高温能力。高击穿电场使 GaN 肖特基整流器可以采用较小厚度和更高掺杂浓度的电压阻断层,从而器件的串联电阻可以大大降低,使高功率应用成为可能。

[0004] GaN 肖特基整流器可同时具有高击穿电压、低开启电阻和很小的反向恢复时间等优异特性。作为一种最基本的功率电子器件,将 GaN 肖特基整流器应用于功率转换电路或模块,可以很大程度地提高系统的电能转化效率,并大大简化电路的复杂度,降低系统制备成本。从功率半导体器件的发展趋势上可以预计:大功率 GaN 肖特基整流器(耐压 $> 300\text{V}$,正向工作电流 $> 5\text{A}$) 的未来应用市场非常庞大,典型的关键应用包括:开关模式电源 (SMPS)、高压连续导通模式功率因数校正电路 (PFC)、电机驱动和高压乘法器等。

[0005] 目前,人们已经可以在异质衬底,如蓝宝石、碳化硅或硅等,或同质衬底上外延生长和制备 GaN 肖特基整流器。其中,由于蓝宝石衬底价格较低和外延工艺相对成熟,蓝宝石

衬底是人们外延生长 GaN 材料最为常用的衬底材料。随着近年来以 GaN 基白光发光二极管为代表产品的半导体照明产业的巨额投入, GaN 器件技术和相应设备的生产水平得到了质的提升。目前,高标准生产型 GaN 外延设备一次可在多达 50+ 片的 2 英寸蓝宝石衬底上生长 GaN 薄膜,并且具有良好的均匀性和可重复性。以上发展形式从侧面上也有利地推动了 GaN 基功率电子器件的加速发展,使其性价比已经可以挑战硅基功率电子器件。

[0006] 但是, GaN 肖特基整流器作为一种典型的功率电子器件,往往需要在高电压和大电流的模式下工作,其正向导通时的电流密度一般要达到 $150\text{A}/\text{cm}^2$ 以上,而 GaN 发光二极管的工作电流密度只在 $30\text{--}50\text{A}/\text{cm}^2$ 之间,因此, GaN 肖特基整流器在正常工作时器件内部就会产生很多的热量。这些热量必须能够被及时传导走,否则最终会导致器件烧毁。由于蓝宝石材料的导热率很低,约为 $0.35\text{W}/(\text{cm}\cdot\text{K})$,在蓝宝石衬底上制作的大功率 GaN 肖特基整流器就更容易发生器件过热现象,严重制约器件性能,并给器件造成潜在的可靠性问题。因此,如何改善制备在蓝宝石衬底上 GaN 肖特基整流器的散热问题是发展这一新兴技术的关键。

发明内容

[0007] 本发明要解决的问题是:现有 GaN 肖特基整流器多采用蓝宝石衬底,但是蓝宝石衬底导热性很差,容易导致器件温度过高而烧毁,严重制约器件性能,影响器件的稳定性,需要解决散热问题以提高 GaN 肖特基整流器的性能与可靠性。

[0008] 本发明的技术方案为:一种金属衬底的氮化镓肖特基整流器,包括金属衬底、金属键合层和氮化镓肖特基整流器晶片,金属衬底作为整个器件的支撑衬底,氮化镓肖特基整流器晶片为横向结构,包括氮化镓外延层、氮化镓肖特基电极和欧姆电极,氮化镓外延层由下至上包括缓冲层、重掺杂氮化镓欧姆接触层和轻掺杂氮化镓电压阻挡层,其中缓冲层通过金属键合层与金属衬底键合,氮化镓肖特基电极与欧姆电极相对金属衬底在外延层的另一侧呈横向分布。

[0009] 金属键合层由多层金属或合金淀积而成。

[0010] 上述金属衬底的氮化镓肖特基整流器的制备方法,包括以下步骤:

[0011] 1) 在蓝宝石衬底上生长氮化镓肖特基整流器晶片的外延层,外延结构在衬底上从下到上包括缓冲层、重掺杂氮化镓欧姆接触层和轻掺杂氮化镓电压阻挡层;

[0012] 2) 采用半导体微加工方法制作横向结构氮化镓肖特基整流器晶片,包括:在设置欧姆电极的位置用台面刻蚀方法暴露出重掺杂氮化镓欧姆接触层,在重掺杂氮化镓欧姆接触层上制备欧姆电极,在轻掺杂氮化镓电压阻挡层上制备氮化镓肖特基电极,制备得到的氮化镓肖特基电极与欧姆电极位于外延层的同一侧,呈横向分布;

[0013] 3) 将制备完成的晶片正面,即电极面,固定在硬质支撑载体上,包括两种方式:A、使用可溶性粘合剂将电极面临时固定在硬质支撑载体上;B、如整流器采用倒装焊的方式封装,硬质支撑载体为带焊接凸点的倒装焊基板,采用倒装焊方式连接和固定;

[0014] 4) 采用激光剥离的方法剥离蓝宝石衬底:用短波长激光从晶片的背面,即蓝宝石面入射,使得蓝宝石衬底和氮化镓肖特基整流器晶片的外延层交界处的氮化镓材料在高温下分解,实现蓝宝石衬底与晶片的分离,缓冲层裸露出来;

[0015] 5) 在裸露的缓冲层表面淀积金属键合层,采用加热的方法将氮化镓肖特基整流器

晶片与金属衬底键合,形成紧密接触,键合所使用的温度小于 500℃,得到金属衬底的氮化镓肖特基整流器。

[0016] 如步骤 3) 中使用方式 A,则在氮化镓肖特基整流器晶片与金属衬底键合后,将整体器件置于相应溶剂中,去除粘合剂,使器件脱离步骤 3) 中临时使用的硬质支撑载体。

[0017] 重掺杂氮化镓欧姆接触层的 N 型掺杂浓度大于 $5 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$,厚度介于 0.1-20um 之间;轻掺杂氮化镓电压阻挡层 N 性掺杂浓度介于 1×10^{15} - $5 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ 之间,其厚度介于 1-50um 之间。

[0018] 所采用的金属衬底为自支撑的金属薄板或附着于其他支撑材料之上的金属薄板,如果是自支撑的金属薄板,其最低厚度为 10um;如果是附着于其他支撑材料之上的金属薄板,其最低厚度则为 1um。

[0019] 金属键合层金属厚度在 0.1um 至 1mm 之间,材料包括镍、金、钨、钛、钼、银、铅、锡、铜、铝金属中的一种或几种或其合金;硬质支撑载体为半导体片、玻璃片、石英片或金属片中的一种或几种。

[0020] 步骤 2) 中,在重掺杂氮化镓欧姆接触层上积淀欧姆接触金属复合层,经过 600℃ 以上的高温退火制备得到欧姆电极,温度降至 600℃ 以下后,再在与欧姆电极横向排列的位置,在轻掺杂氮化镓电压阻挡层上制备氮化镓肖特基电极。

[0021] 步骤 2) 中,加入多次介质钝化层的积淀与开孔工艺。

[0022] 步骤 4) 中所使用的激光波长在 150nm 到 380nm 之间,为脉冲激光或连续激光。

[0023] 本发明结合 GaN 肖特基整流器的物理结构与工艺特点,提出了一种由金属衬底支撑的横向结构 GaN 肖特基整流器及其制备方法。首先在蓝宝石衬底上外延生长和制备的横向结构 GaN 肖特基整流器,先后完成欧姆接触电极与肖特基接触电极的制备;采用激光辐射方法将蓝宝石衬底剥离掉;之后,把横向结构 GaN 肖特基整流器转移到导热性很好的金属衬底上;由此,器件的散热性能就可以得到大幅提高。

[0024] 本发明与已发表和报导的用金属衬底支撑的 GaN 发光二极管等专利技术,如:200480011360.6,200580021006.6,200610170062.2,200710036455.9 等有显著不同:目前,用金属衬底支撑的 GaN 发光二极管已经有多项公开发明与申请,并已有大规模产业化应用;这些用金属衬底支撑的 GaN 发光二极管全部是采用垂直结构,其金属衬底或者是直接连接发光二极管顶端的 P 型欧姆接触电极,或者是直接连接发光二极管底端的 N 型欧姆接触电极;采用垂直结构对发光二极管的性能提升是有利的,一方面可以有效减小电流拥挤效应(current crowding),另一方面金属衬底在一定情况下可以起到反射镜的作用,促进发光二极管出光;此外,剥离蓝宝石衬底的垂直结构发光二极管制作工艺相对简单,其大致过程是:(1) 先制备好 P 型欧姆接触电极;(2) 激光剥离蓝宝石衬底;(3) 在暴露出的晶片背面制备 N 型欧姆接触电极;键合金属衬底步骤可在步骤 (1) 或 (3) 后进行。其中,为了制备低接触电阻的 N 型欧姆接触电极,必须对淀积好的 N 型欧姆金属接触进行 600℃ 以上的高温退火(理想温度 800-900℃);这就意味着先前形成的 P 型欧姆接触电极也要经历这一高温退火过程,这对于欧姆接触电极是没有问题的。但是,由于 GaN 肖特基整流器与 GaN 发光二极管在器件结构和工艺上有显著区别,如果想制备金属衬底支撑的 GaN 肖特基整流器,就不能采用以上类似的垂直结构,这是因为:GaN 肖特基整流器包括肖特基接触电极,欧姆接触电极和 GaN 外延片,GaN 外延片生长在蓝宝石衬底上,采用上述的垂直器件

结构制备金属衬底的 GaN 肖特基整流器有两种可能工艺途径, (1) 先制备肖特基接触电极, 剥离蓝宝石衬底后再制备欧姆接触电极; 那么, 实现欧姆接触电极所需的高温退火过程就会损害先前制备好的肖特基接触电极的电学特性, 使肖特基接触电极的漏电显著增加; (2) 先剥离蓝宝石衬底制备欧姆接触电极, 键合金属衬底后再制备肖特基接触电极; 那么, 前期复杂工艺, 特别是金属键合过程就很容易沾污 GaN 外延片正表面, 就是制备肖特基接触电极的一面, 也会影响 GaN 肖特基接触电极的质量和电学性能。因此, 以上两种可能实现垂直结构器件的工艺途径都不可行。

[0025] 本发明所提出的用金属衬底支撑的横向 GaN 肖特基整流器结构可以有效解决以上问题, 其核心思想是: 利用半导体微加工技术把欧姆电极与肖特基电极先后精准地都制备在外延片的正面, 也就是位于 GaN 外延层的同一面, 之后再在另一面通过激光将蓝宝石衬底剥离, 再与金属衬底键合, 在整个过程中, 先制备欧姆电极再制备肖特基电极, 欧姆电极退火时的高温不会影响肖特基电极的制备, 而之后的将蓝宝石衬底换为金属衬底的过程, 由于金属衬底键合温度可以很低, 300-400℃, 不会对已经制备好的肖特基电极有不良的影响。

[0026] 此外, 和垂直结构器件相比, 虽然横向结构器件在正向导通时电流分布的均匀性可能稍差, 但相应电流拥挤效应可以通过版图的优化设计来缓解, 如多指形状电极设计。本发明所设计的制作工序可以保证 GaN 肖特基整流器同时具有最佳的欧姆接触特性和肖特基接触特性, 从而使器件具有优异的反向耐压和正向导通特性。如仍像金属衬底 GaN 发光二极管一样采用垂直器件结构, GaN 肖特基整流器的制作就只能对其欧姆接触采用较低温度退火, 相应欧姆电极的接触电阻就会很大, 使整个器件的串联电阻增大很多。由于肖特基整流器的正向导通电阻是器件的关键指标, 正向导通电阻越大, 器件的自热效应就越大, 因此通过牺牲串联电阻来实现垂直器件结构是不可取的。

[0027] 本发明将以蓝宝石为衬底的横向结构 GaN 肖特基整流器转移到金属衬底上, 所采用的整流器结构和制备步骤可解决 GaN 肖特基整流器的金属化方案与蓝宝石衬底剥离的工艺兼容性问题。以高导热性金属衬底作为支撑载体及热沉, 解决了器件的散热问题, 可有效提高器件的性能和可靠性。

附图说明

[0028] 图 1 是本发明实施步骤的流程图。

[0029] 图 2(a)-(e) 是本发明实施例一的各步骤结构示意图。

[0030] 图 3(a)-(f) 是本发明实施例二的各步骤结构示意图。

具体实施方式

[0031] 本发明提出了一种金属衬底的氮化镓肖特基整流器, 如图 2(e) 和图 3(f) 所示的实施例所示, 包括金属衬底 301、金属键合层 302 和氮化镓肖特基整流器晶片, 金属衬底 301 作为整个器件的支撑衬底, 氮化镓肖特基整流器晶片为横向结构, 包括氮化镓外延层、氮化镓肖特基电极 103 和欧姆电极 104, 氮化镓外延层由下至上包括缓冲层 102a、重掺杂氮化镓欧姆接触层 102b 和轻掺杂氮化镓电压阻挡层 102c, 其中缓冲层 102a 通过金属键合层 302 与金属衬底 301 键合, 氮化镓肖特基电极 103 与欧姆电极 104 相对金属衬底 302 在外延层

的另一侧呈横向分布。其中金属键合层 302 由多层金属或合金淀积而成。

[0032] 金属衬底的氮化镓肖特基整流器的制备方法包括以下步骤：

[0033] 1) 在蓝宝石衬底 101 上生长氮化镓肖特基整流器晶片的外延层,外延结构在衬底上从下到上包括缓冲层 102a、重掺杂氮化镓欧姆接触层 102b 和轻掺杂氮化镓电压阻挡层 102c；

[0034] 2) 采用半导体微加工方法制作横向结构氮化镓肖特基整流器晶片,包括:在设置欧姆电极 104 的位置用台面刻蚀方法暴露出重掺杂氮化镓欧姆接触层 102b,在重掺杂氮化镓欧姆接触层 102b 上制备欧姆电极 104,在轻掺杂氮化镓电压阻挡层 102c 上制备氮化镓肖特基电极 103,制备得到的氮化镓肖特基电极 103 与欧姆电极 104 位于外延层的同一侧,呈横向分布；

[0035] 3) 将制备完成的晶片正面,即电极面,固定在硬质支撑载体 201 上,包括两种方式:A、使用可溶性粘合剂 202 将电极面临时固定在硬质支撑载体 201 上;B、如整流器采用倒装焊的方式封装,硬质支撑载体 201 为带焊接凸点的倒装焊基板,采用倒装焊方式连接和固定；

[0036] 4) 采用激光剥离的方法剥离蓝宝石衬底 101:用短波长激光从晶片的背面,即蓝宝石面入射,使得蓝宝石衬底 101 和氮化镓肖特基整流器晶片的外延层交界处的氮化镓材料在高温下分解,实现蓝宝石衬底与晶片的分离,缓冲层 102a 裸露出来；

[0037] 5) 在裸露的缓冲层 102a 表面淀积金属键合层 302,采用加热的方法将氮化镓肖特基整流器晶片与金属衬底 301 键合,形成紧密接触,键合所使用的温度小于 500℃,得到金属衬底的氮化镓肖特基整流器。

[0038] 如步骤 3) 中使用方式 A,则在氮化镓肖特基整流器晶片与金属衬底 301 键合后,将整体器件置于相应溶剂中,去除粘合剂,使器件脱离步骤 3) 中临时使用的硬质支撑载体 201。

[0039] 以下是本发明制备方法的优选条件：

[0040] 重掺杂氮化镓欧姆接触层 102b 的 N 型掺杂浓度大于 $5 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$,厚度介于 0.1-20um 之间;轻掺杂氮化镓电压阻挡层 102c 的 N 性掺杂浓度介于 $1 \times 10^{15} - 5 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ 之间,其厚度介于 1-50um 之间。

[0041] 所采用的金属衬底 301 为自支撑的金属薄板或附着于其他支撑材料之上的金属薄板,如果是自支撑的金属薄板,其最低厚度为 10um;如果是附着于其他支撑材料之上的金属薄板,其最低厚度则为 1um。

[0042] 金属键合层 302 金属厚度在 0.1um 至 1mm 之间,材料包括镍、金、钨、钛、钼、银、铅、锡、铜、铝金属中的一种或几种或其合金;硬质支撑载体 201 为半导体片、玻璃片、石英片或金属片中的一种或几种。

[0043] 步骤 2) 中,在重掺杂氮化镓欧姆接触层 102b 上积淀欧姆接触金属复合层,经过 600℃ 以上的高温退火制备得到欧姆电极 104,温度降至 600℃ 以下后,再在与欧姆电极 104 横向排列的位置,在轻掺杂氮化镓电压阻挡层 102c 上制备氮化镓肖特基电极 103。

[0044] 步骤 2) 中,加入多次介质钝化层的积淀与开孔工艺。

[0045] 步骤 4) 中所使用的激光波长在 150nm 到 380nm 之间,为脉冲激光或连续激光。

[0046] 本发明采用的激光剥离蓝宝石衬底方法为:将晶片加热到 30℃ (Ga 的熔点) 以

上;用一定波长(150nm到380nm)的高强度激光从肖特基整流器晶片的背面,也就是蓝宝石面入射到晶片上;由于蓝宝石材料的禁带宽度比较大(10eV)而氮化镓材料的禁带宽度相对较小(3.4eV),该波长段的激光可以穿透蓝宝石衬底而会被GaN外延层强烈吸收,因此在蓝宝石和氮化镓材料的界面处产生瞬间高温,使得界面处的GaN材料在高温下分解为Ga元素和挥发性的氮气(N₂),诱导蓝宝石衬底与GaN外延层的分离;该激光剥离工艺与已广泛采用的GaN发光二极管蓝宝石衬底激光剥离工艺没有明显区别。

[0047] 下面结合二个实施例对本发明做进一步描述:

[0048] 实施例一

[0049] 参见附图2(a)-(e),一种由金属衬底支撑的倒装焊横向GaN肖特基整流器结构及其制备方法,步骤如下:

[0050] 第一步:如图2(a)所示,在蓝宝石衬底101上生长GaN肖特基整流器晶片的外延层,外延层从下到上至少包括:缓冲层102a、重掺杂氮化镓欧姆接触层102b和轻掺杂氮化镓电压阻挡层102c;其中氮化镓电压阻挡层102c的厚度至少在1μm以上,平均掺杂浓度小于 $5 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$;

[0051] 第二步:如图2(b)所示,采用半导体微加工技术制作横向结构肖特基整流器晶片,主要工艺包括:首先使用等离子体干法刻蚀方法形成台面(Mesa),在需要制备欧姆接触电极的部位暴露出外延层中重掺杂氮化镓欧姆接触层102b;其次是淀积欧姆接触金属复合层,如:Ti/Al/Ni/Au多层结构,并高温退火,如一般采用的氮气气氛下850°C下30秒,形成欧姆接触电极104;最后是肖特基接触电极103的形成,如:Pt/Au多层结构;以上工序中可加入多次介质钝化层的淀积与开孔工艺,以提高器件的表面特性,钝化层淀积和开孔工艺是半导体中的常用工艺,不再详述;本步骤中采用的各肖特基整流器晶片部分的制备工艺均为本领域公知技术,不再详述;

[0052] 第三步:如图2(c)所示,将制备完成的器件晶片的正面电极焊接在支撑载体201上,支撑载体201为带有焊接凸点的高导热性基板,可以用硅材料做载体,焊接凸点与GaN肖特基整流器的金属电极位置相对应,并进行焊接键合;支撑载体201上的焊接凸点202与GaN肖特基二极管的金属电极位置相对应并相连;倒装焊基板在后续衬底剥离过程中可起到物理支撑的作用;

[0053] 第四步:如图2(d)所示,翻转晶片并将晶片加热到30°C(Ga的熔点)以上,选用KrF紫外激光105,波长248nm,脉冲宽38ns,能量密度约 $300 \text{mJ}/\text{cm}^2$ 从晶片的蓝宝石面入射,扫描晶片的整个背面,利用激光辐射导致的热效应使与蓝宝石衬底直接接触的GaN外延层的缓冲层分解,完成蓝宝石衬底101从外延层上的剥离;

[0054] 第五步:如图2(e)所示,在裸露的氮化镓缓冲层102a上依次蒸镀Cu、Sn等金属,形成金属键合层302,将其加热,如:350°C温度下10分钟,并键合在铜质底板301上;由于金属底板有良好的导热性,因此可以大幅度提高器件的散热性能。

[0055] 本实施例的采用了横向肖特基整流器结构,其肖特基电极和欧姆电极均位于器件的同一侧,利用倒装焊的方法实现电学连接。

[0056] 实施例二

[0057] 参见附图3(a)-(f),一种由金属衬底支撑的横向结构GaN肖特基整流器器件及其制备方法,步骤如下:

[0058] 第一步:如图 3(a) 所示,在蓝宝石衬底 101 上生长 GaN 肖特基整流器外延层,外延层从下到上至少包括:缓冲层 102a、重掺杂氮化镓欧姆接触层 102b 和轻掺杂氮化镓电压阻挡层 102c;其中氮化镓电压阻挡层 102c 的厚度至少需要在 1 μm 以上,平均掺杂浓度小于 $5 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$;

[0059] 第二步:如图 3(b) 所示,采用半导体微加工技术制作横向结构肖特基整流器晶片,主要工艺包括:首先使用等离子体干法刻蚀方法形成台面 (Mesa),暴露出外延结构中重掺杂 GaN 欧姆接触层 102b;其次是淀积欧姆接触金属复合层,如:Ti/Al/Ni/Au 多层结构,并在氮气气氛下 850 $^{\circ}\text{C}$ 下 30 秒高温退火,形成欧姆接触电极 104;最后是由肖特基金属 Pt/Au 多层结构,形成肖特基接触电极 103 的形成;以上工序中可加入多次介质钝化层的淀积与开孔工艺;步骤中采用的各肖特基整流器晶片部分的制备工艺均为本领域公知技术,不再详述;

[0060] 第三步:如图 3(c) 所示,将制备完成的晶片正面,也就是 GaN 材料及电极面使用可溶性粘合剂 202 粘贴在支撑载体 201 上,支撑载体 201 为硬质基片,如硅片,可溶性粘合剂 202 可采用粘合树脂;

[0061] 第四步:如图 3(d) 所示,翻转晶片并将晶片加热到 30 $^{\circ}\text{C}$ (Ga 的熔点) 以上,选用 KrF 紫外激光 105,波长 248nm,脉冲宽 38ns,能量密度约 300mJ/cm²,从晶片的蓝宝石面入射,扫描晶片的整个背面,利用激光辐射导致的热效应使与蓝宝石衬底直接接触的 GaN 薄层分解,完成蓝宝石衬底 101 从外延层上的剥离;

[0062] 第五步:如图 3(e) 所示,在裸露的氮化镓缓冲层 102a 上依次蒸镀 Cu、Sn 等金属,形成金属键合层 302,将其在 350 $^{\circ}\text{C}$ 温度下 10 分钟加热,并键合在金属衬底 301 上,金属衬底选用铜质底板;由于金属底板有良好的导热性,因此可以大幅度提高器件的散热性能。

[0063] 第六步:如图 3(f) 所示,将第五步得到的器件置于与可溶性粘合剂 202 相对应的有机溶剂中,溶解掉晶片正面的可溶性粘合剂 202,从而使晶片脱离所使用的支撑载体 201;得到金属衬底的肖特基整流器。

[0064] 本实施例的采用了横向的肖特基二极管结构,肖特基电极与欧姆接触电极位于器件的同一侧,器件的后续封装可采用金丝键合或倒装焊等。

[0065] 按照以上步骤,即可将在蓝宝石衬底上生长和制备的横向结构 GaN 肖特基整流器转移到金属衬底上。由于整个衬底转移和后期封装过程不经历高温处理,这一制作方法可以保持 GaN 肖特基整流器良好的反向耐压与正向导通特性。同时,由于金属衬底有着良好的导热性,因此器件的散热性可得到大幅提高,提升器件的大功率工作特性与可靠性。

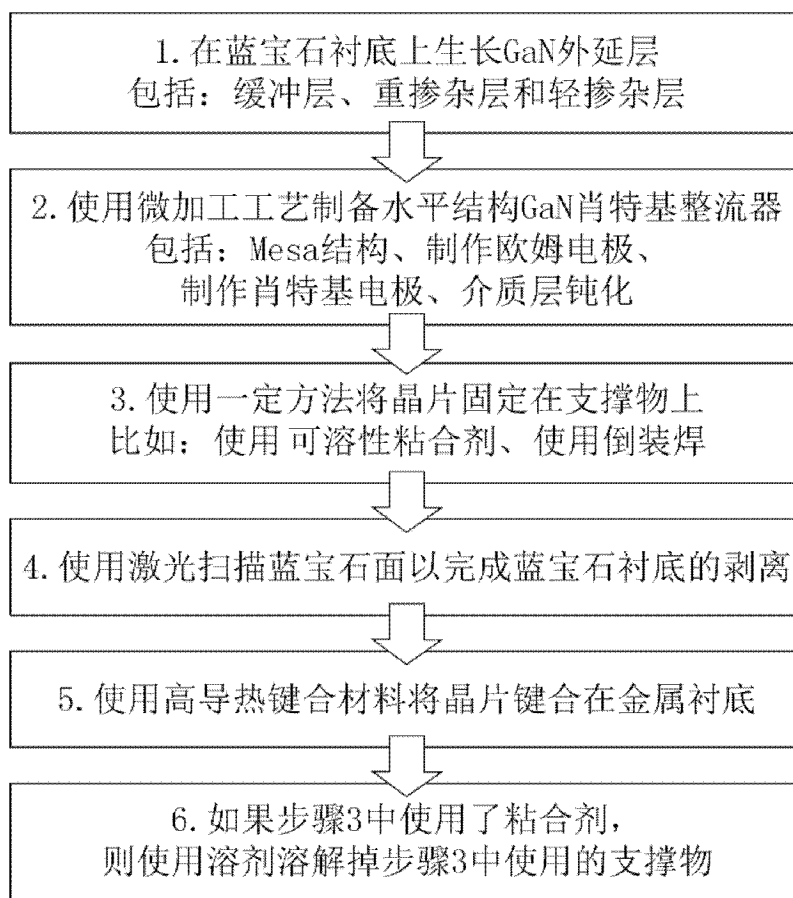


图 1

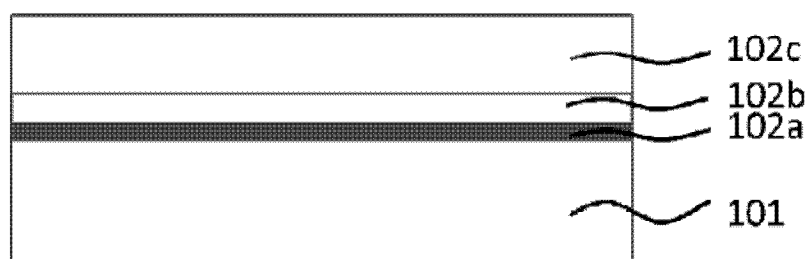


图 2(a)

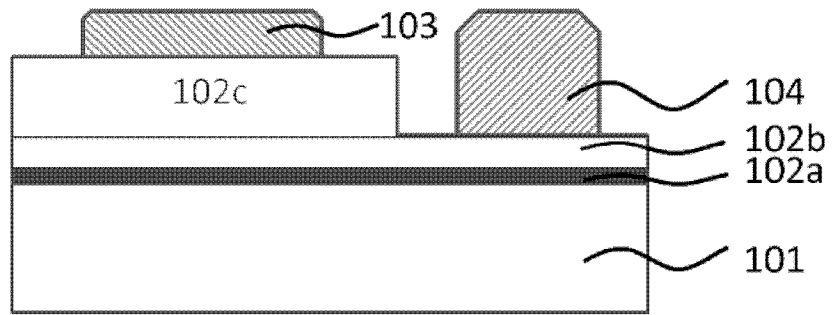


图 2(b)

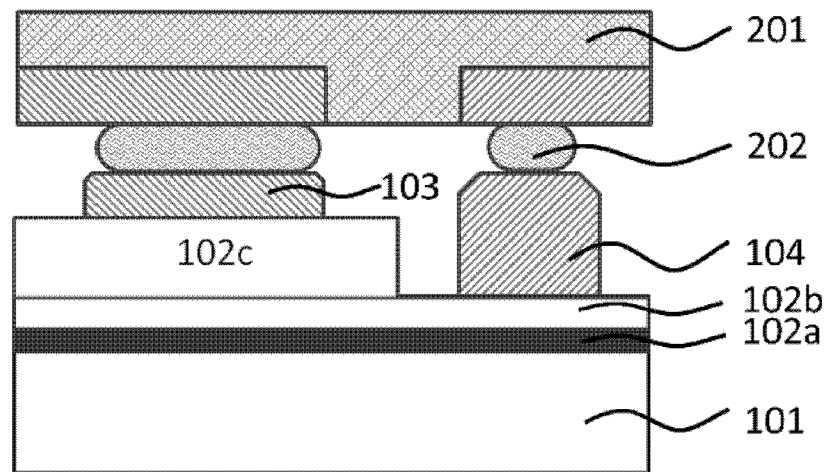


图 2(c)

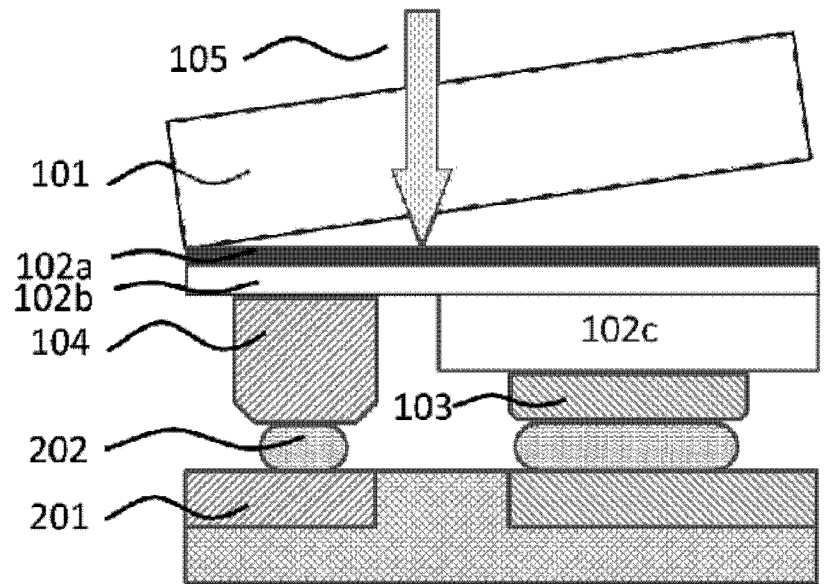


图 2(d)

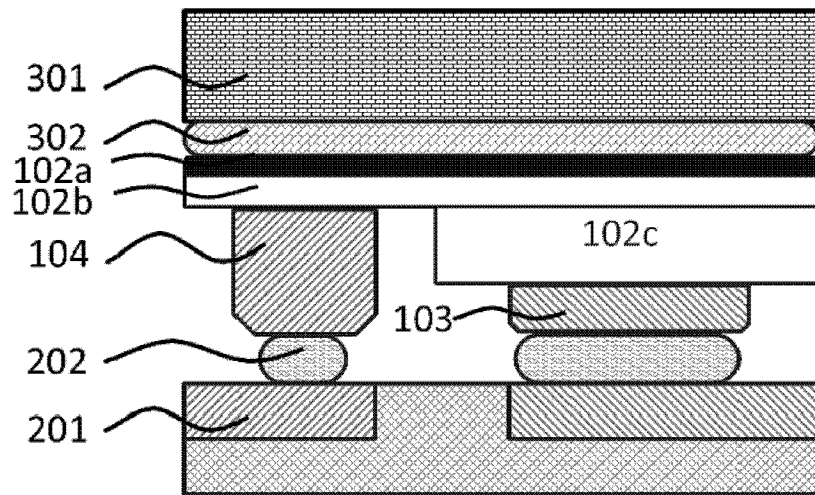


图 2(e)

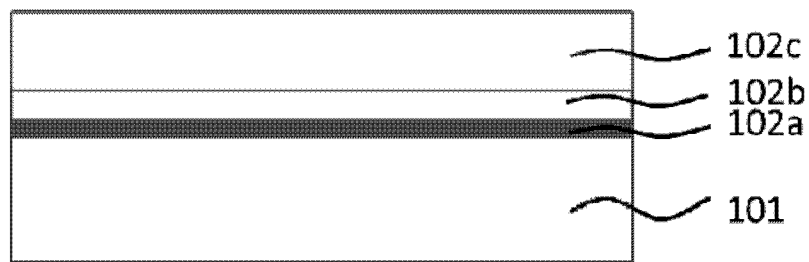


图 3(a)

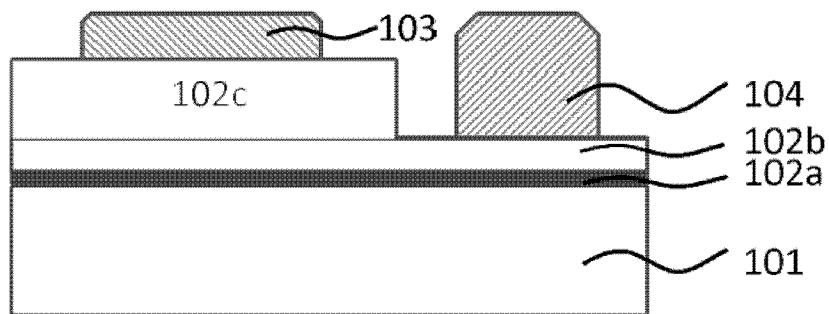


图 3(b)

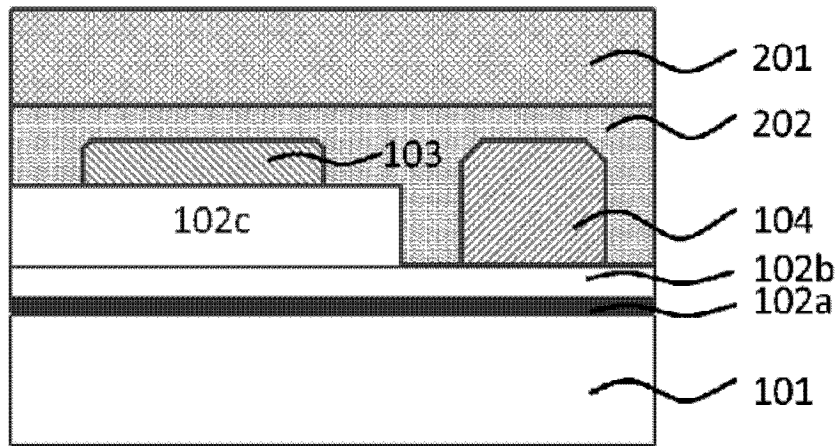


图 3(c)

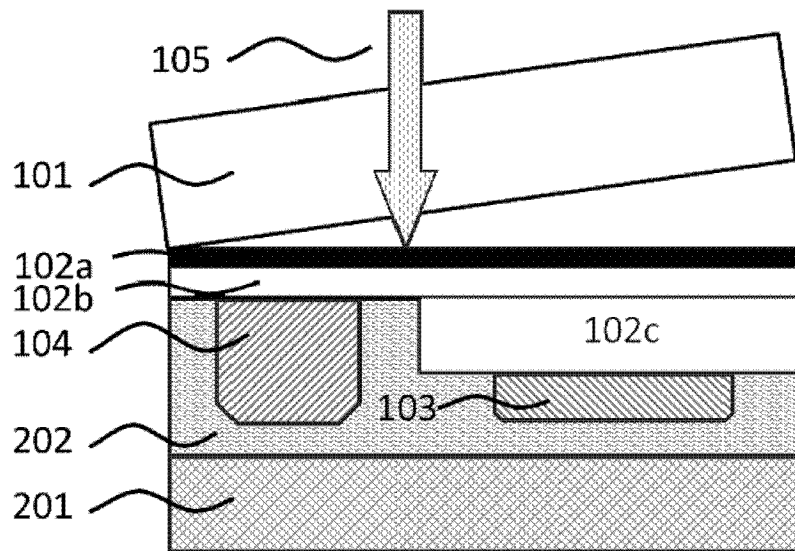


图 3(d)

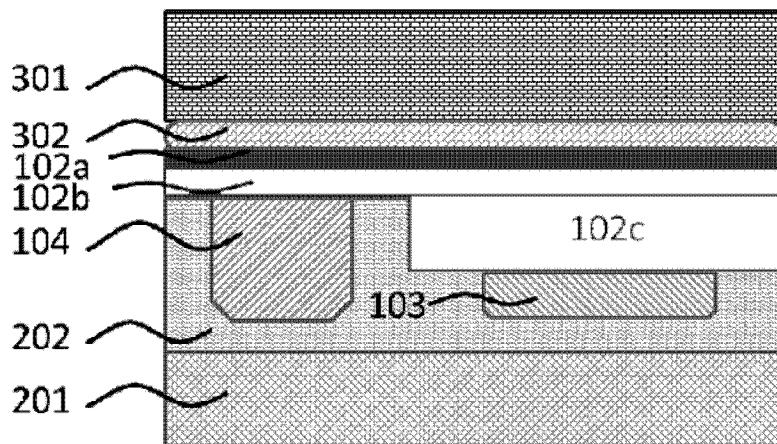


图 3(e)

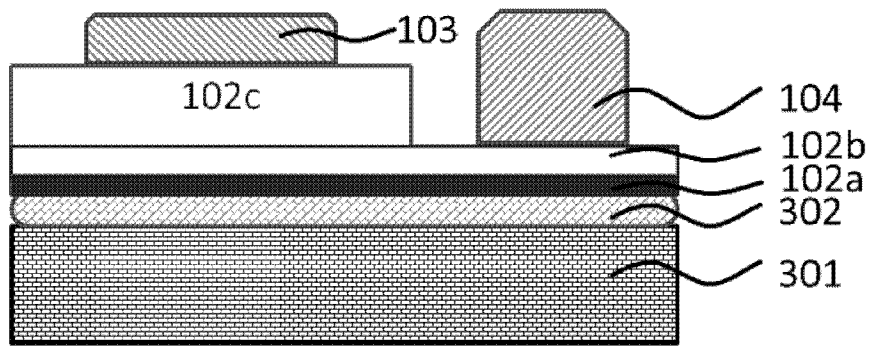


图 3(f)