(19)国家知识产权局

(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 111653473 B
(45)授权公告日 2023.10.13

(21)申请号 202010339245.2

(22)申请日 2020.04.26

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 111653473 A

(43)申请公布日 2020.09.11

(73)专利权人 西安电子科技大学
地址 710000 陕西省西安市雁塔区太白南路2号

(72)发明人 刘志宏 郝璐 张进成 赵胜雷 周弘 张雅超 张苇杭 段小玲 陈大正 郝跃

(74)专利代理机构 西安嘉思特知识产权代理事务所(普通合伙) 61230
专利代理师 李园园

(51)Int.Cl.
H01L 21/02(2006.01)
H01L 29/20(2006.01)
H01L 29/778(2006.01)
H01L 29/872(2006.01)
H01L 23/373(2006.01)

(56)对比文件
CN 105140122 A,2015.12.09
CN 108389903 A,2018.08.10
US 2014312424 A1,2014.10.23
US 5272104 A,1993.12.21
CN 104143567 A,2014.11.12
CN 107482032 A,2017.12.15
CN 102064255 A,2011.05.18
US 2018286664 A1,2018.10.04
CN 102569390 A,2012.07.11

审查员 贾晓阳

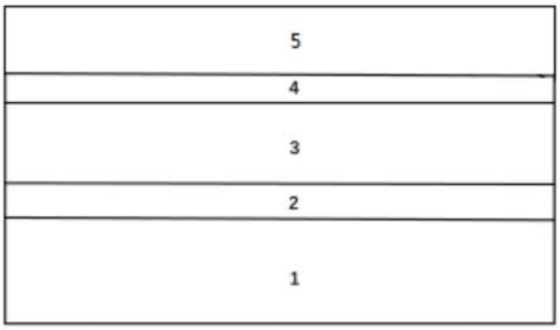
权利要求书2页 说明书8页 附图5页

(54)发明名称

一种散热增强的硅基氮化镓微波器件材料结构

(57)摘要

本发明公开了一种散热增强的硅基氮化镓微波器件材料结构，其特征在于，包括：硅衬底层；高热导率介质层，位于所述硅衬底层的上表面；缓冲层，位于所述高热导率介质层的上表面；沟道层，位于所述缓冲层的上表面；复合势垒层，位于所述沟道层的上表面，以构成散热增强的硅基氮化镓微波器件材料结构。本发明提供的散热增强的硅基氮化镓微波器件材料结构，由于采用高热导率介质层来实现硅衬底层与缓冲层之间的键合，既保持了高键合强度、高机械强度、高稳定性，又减小了器件的热阻，从而提高了硅基氮化镓微波器件的散热性能。



CN 111653473 B

1.一种散热增强的硅基氮化镓微波器件材料结构,其特征在于,包括:

硅衬底层(1);

高热导率介质层(2),位于所述硅衬底层(1)的上表面;

缓冲层(3),位于所述高热导率介质层(2)的上表面;

沟道层(4),位于所述缓冲层(3)的上表面;

复合势垒层(5),位于所述沟道层(4)的上表面,以构成所述散热增强的硅基氮化镓微波器件材料结构;所述硅基氮化镓微波器件材料结构通过以下方法制备得到:在一高阻硅衬底层(11)上外延生长氮化铝成核层(12);在氮化铝成核层(12)上外延生长氮化铝/氮化镓超晶格过渡层(13);采用MOCVD法,在氮化铝/氮化镓超晶格的过渡层(13)上外延生长氮化镓缓冲层(3);在氮化镓缓冲层(3)上外延生长氮化镓沟道层(4);在氮化镓沟道层(4)上外延生长氮化铝隔离层(51);在氮化铝隔离层(51)上外延生长铝镓氮核心势垒层(52);在核心势垒层(52)上外延生长氮化镓帽层(53),以制作形成第一晶圆(10);采用PECVD法在第一晶圆(10)的上表面淀积第一二氧化硅层(21),形成第二晶圆(20);采用PECVD方法在一硅晶圆(31)的上表面淀积第二二氧化硅层(32),形成第三晶圆(30);采用晶圆化学键键合技术将第二晶圆(20)倒转,第一二氧化硅层(21)所在表面与第二二氧化硅层(32)所在表面键合在一起,形成第四晶圆(40);将第四晶圆(40)中高阻硅衬底层(11)去除,形成第六晶圆(60);将第六晶圆(60)中氮化铝成核层(12)去除,形成第七晶圆(70);将第七晶圆(70)中的氮化铝/氮化镓超晶格过渡层(13)去除,形成第八晶圆(80);在第八晶圆(80)的上表面淀积第一氮化铝层(91),形成第九晶圆(90);在一硅衬底层(1)表面淀积第二氮化铝层(101),形成第十晶圆(100);将第一氮化铝层(91)所在表面与第二氮化铝层(101)所在表面键合在一起,形成第十一晶圆(110);将第十一晶圆(110)中的硅晶圆(31)层去除,形成第十二晶圆(120);将第十二晶圆(120)中的第一二氧化硅层(21)和第二二氧化硅层(32)去除,得到所述硅基氮化镓微波器件结构,其中,高热导率介质层(2)包括第一氮化铝层(91)和第二氮化铝层(101)。

2.根据权利要求1所述的散热增强的硅基氮化镓微波器件材料结构,其特征在于,所述高热导率介质层(2)的厚度为20～20000nm。

3.根据权利要求1所述的散热增强的硅基氮化镓微波器件材料结构,其特征在于,所述缓冲层(3)包括氮化镓、铝镓氮或氮化铝,厚度为100～5000nm。

4.根据权利要求1所述的散热增强的硅基氮化镓微波器件材料结构,其特征在于,所述沟道层(4)为氮化镓,厚度为10～1000nm。

5.根据权利要求1所述的散热增强的硅基氮化镓微波器件材料结构,其特征在于,所述复合势垒层(5)包括隔离层(51)和核心势垒层(52),其中,

所述隔离层(51),位于所述沟道层(4)的上表面;

所述核心势垒层(52),位于所述隔离层(51)的上表面。

6.根据权利要求1所述的散热增强的硅基氮化镓微波器件材料结构,其特征在于,所述复合势垒层(5)包括核心势垒层(52)和帽层(53),其中,

所述核心势垒层(52),位于所述沟道层(4)的上表面;

所述帽层(53),位于所述核心势垒层(52)的上表面。

7.根据权利要求1所述的散热增强的硅基氮化镓微波器件材料结构,其特征在于,所述

复合势垒层(5)包括隔离层(51)、核心势垒层(52)和帽层(53),其中,

所述隔离层(51),位于所述沟道层(4)的上表面;

所述核心势垒层(52),位于所述隔离层(51)的上表面;

所述帽层(53),位于所述核心势垒层(52)的上表面。

8.根据权利要求5或7任一所述的散热增强的硅基氮化镓微波器件材料结构,其特征在于,所述隔离层(51)为氮化铝,厚度为0.5～1.5nm。

9.根据权利要求5～7任一所述的散热增强的硅基氮化镓微波器件材料结构,其特征在于,所述核心势垒层(52)为铝镓氮,其中,铝的组分为0.2～0.4,厚度为10～30nm;

或者为铟铝氮,其中,铟的组分为0.1～0.2,厚度为5～30nm;

或者为氮化铝,厚度为2～10nm。

10.根据权利要求6或7任一所述的散热增强的硅基氮化镓微波器件材料结构,其特征在于,所述帽层(53)为氮化镓,厚度为1～3nm;

或者为氮化硅,厚度为1～10nm。

一种散热增强的硅基氮化镓微波器件材料结构

技术领域

[0001] 本发明属于半导体器件技术领域，具体涉及一种散热增强的硅基氮化镓微波器件材料结构。

背景技术

[0002] 随着微电子技术的发展，以氮化镓为代表的第三代宽禁带半导体材料，有更大的禁带宽度、更高的临界击穿电场和较高的电子饱和漂移速度、稳定的化学性能、以及耐高温和抗辐射等物理性质，用氮化镓材料制作电子器件可以进一步减少芯片面积、提高工作频率、提高工作温度、降低导通电阻以及提高击穿电压等，氮化镓材料在制备微波器件方面有巨大的潜力。

[0003] 氮化镓以及与氮化镓同一材料体系的铝镓氮、铟铝氮等具有很高的极化系数，氮化镓与比氮化镓禁带宽度大的铝镓氮或铟铝氮形成的异质结构能够形成二维电子气，在室温下可以获得高于1500$cm^2/V\cdot s$的电子迁移率、高达$1.5\times10cm^7/s$的饱和电子速度和高于$1\times10^{13}cm^{-2}$的二维电子气浓度，由此基于氮化镓材料研制的高速肖特基二极管(SchottkyBarrierDiode，简称SBD)和高电子迁移率晶体管(High Electron Mobility Transistor，简称HEMT)器件能够具有更低的导通电阻和更高的输出电流。另外，氮化镓材料的较高的临界击穿电场强度可以使电子器件具有更高的击穿电压，从而使器件能够在更高的工作电压下工作，使器件拥有更高的微波输出功率密度。跟同等输出功率的硅或者砷化镓微波电子器件相比，氮化镓的器件具有更高的功率附加效率，从而具有更低的能量损耗。

[0004] 由于氮化镓自支撑衬底技术的不成熟，目前氮化镓微波器件中，氮化镓基的材料主要淀积在异质衬底上。目前为止用于氮化镓材料生长的衬底主要有碳化硅和硅。碳化硅基氮化镓的器件得益于碳化硅与氮化镓的较小的晶格失配、碳化硅较高的导热性能，具有较低的热阻和较高的输出功率密度，研发比较早，技术也比较成熟。碳化硅基氮化镓的微波器件已经广泛应用于军事雷达、卫星、通信基站等领域。但是，受限于价格比较高、尺寸比较小的碳化硅衬底，碳化硅基氮化镓器件的成本比较高。而硅基氮化镓器件由于硅衬底晶圆的大尺寸、低成本、和硅生产线的规模生产优势，其成本比较低，性价比比较高。硅基氮化镓微波器件以后有望大规模应用于5G通信基站和手机等移动通信终端。

[0005] 但是，与碳化硅基氮化镓器件相比，硅基氮化镓器件的一个重要缺点是热阻比较高，从而散热性能比较差，因此限制了硅基氮化镓微波器件的输出功率密度和效率。散热性能比较差的物理机制有两条。第一，硅衬底的热导率比较差，典型碳化硅衬底的室温热导率值为4.0W/cm·K，而硅衬底只有1.5W/cm·K；第二，在硅衬底上进行氮化镓基的材料外延时，由于硅与氮化镓晶体材料的晶格失配比较大，需要在氮化镓器件有源结构与硅衬底之间插入很厚的成核层和过渡层，例如渐变铝组分的铝镓氮材料或者氮化铝/氮化镓超晶格材料，这种成核层和过渡层的晶体材料质量比较差，缺陷比较多，热导率也很差。因此，提高硅基氮化镓微波器件的散热性能，需要解决这两个问题。

[0006] 目前提高硅基氮化镓微波器件散热性能的方法主要有几种技术路线：

[0007] 1、器件裸芯工艺完成后，尽量减薄硅衬底，然后将减薄衬底后的器件划片后转移到一个具有高热导率的热沉上。目前硅基氮化镓微波器件的产品大部分是将硅衬底减薄到100μm，处于开发状态的技术是将硅衬底减薄到50μm。比如，“A.Pantellini,A.Nanni,C.Lanzieri,“Thermal behavior of AlGaN/GaN HEMT on silicon Microstrip technology,”6th European Microwave Integrated Circuit Conference,Oct.2011”，提出了一种通过减薄硅衬底提高器件散热性能的方法，这种方法的缺点是硅衬底减薄后的工艺操作难度加大，从而导致器件的成品率降低。

[0008] 2、在硅基氮化镓微波器件的表面上淀积一层高热导率介质材料，比如，“N.Tsurumi,H.Ueno,T.Murata,H.Ishida,Y.Uemoto,T.Ueda,K.Inoue,T.Tanaka,“AlN Passivation Over AlGaN/GaN HFETs for Surface Heat Spreading”,IEEE Transactions on Electron Devices,Vol.57,No.5,pp.980-985,May 2010”提出了在氮化镓微波器件的表面上淀积一层氮化铝、“Z.Lin,C.Liu,C.Zhou,Y.Chai,M.Zhou and Y.Pei,″Improved performance of HEMTs with BN as heat dissipation,″2016IEEE International Nanoelectronics Conference(INEC),Chengdu,2016,pp.1-2.”提出了在硅基氮化镓微波器件的表面上淀积一层氮化硼、“Marko J.Tadjer,Travis J.Anderson,Karl D.Hobart,Tatyana I.Feygelson,Joshua D.Caldwell,Charles R.Eddy,Jr.,Fritz J.Kub,James E.Butler,Bradford Pate,and John Melngailis,“Reduced self-heating in AlGaN/GaN HEMTs using nanocrystalline diamond Heat-spreading films”,IEEE electron device letters,Vol.33.No.1,pp.23-25,Jan.2012”提出了在氮化镓微波器件的表面上淀积一层纳米晶粒金刚石等，这类在氮化镓微波器件的表面上淀积高热导率介质材料的方法存在的缺点是：这些高热导率材料往往会带来额外的应力，影响器件的性能，或者造成器件长期可靠性的降低。

[0009] 3、优化硅基氮化镓微波器件的版图设计，比如“K.Belkacemi and R.Hocine,“Efficient 3D-TLM Modeling and Simulation for theThermal Management of Microwave AlGaN/GaN HEMT Used in High Power Amplifiers SSPA,”Journal ofLow Power Electronics and Applications,Vol.8,No.23,1-19,2018”提出了增加栅指间距，减少栅极密度，以减小发热源密度的方法，这种方法的缺点是会增加器件的面积，另外散热的效果也不高。

发明内容

[0010] 为了解决现有技术中存在的上述问题，本发明提供了一种散热增强的硅基氮化镓微波器件材料结构。

[0011] 本发明的一个实施例提供了一种散热增强的硅基氮化镓微波器件材料结构，该散热增强的硅基氮化镓微波器件材料结构包括：

[0012] 硅衬底层；

[0013] 高热导率介质层，位于所述硅衬底层的上表面；

[0014] 缓冲层，位于所述高热导率介质层的上表面；

[0015] 沟道层，位于所述缓冲层的上表面；

[0016] 复合势垒层，位于所述沟道层的上表面，以构成硅基氮化镓微波器件；所述硅基氮化镓微波器件材料结构通过以下方法制备得到：在一高阻硅衬底层上外延生长氮化铝成核层；在氮化铝成核层上外延生长氮化铝/氮化镓超晶格过渡层；采用MOCVD法，在氮化铝/氮化镓超晶格的过渡层上外延生长氮化镓缓冲层；在氮化镓缓冲层上外延生长氮化镓沟道层；在氮化镓沟道层上外延生长氮化铝隔离层；在氮化铝隔离层上外延生长铝镓氮核心势垒层；在核心势垒层上外延生长氮化镓帽层，以制作形成第一晶圆；采用PECVD法在第一晶圆的上表面淀积第一二氧化硅层，形成第二晶圆；采用PECVD方法在一硅晶圆的上表面淀积第二二氧化硅层，形成第三晶圆；采用晶圆化学键键合技术将第二晶圆倒转，第一二氧化硅层所在表面与第二二氧化硅层所在表面键合在一起，形成第四晶圆；将第四晶圆中高阻硅衬底层去除，形成第六晶圆；将第六晶圆中氮化铝成核层去除，形成第七晶圆；将第七晶圆中的氮化铝/氮化镓超晶格过渡层去除，形成第八晶圆；在第八晶圆的上表面淀积第一氮化铝层，形成第九晶圆；在一硅衬底层表面淀积第二氮化铝层，形成第十晶圆；将第一氮化铝层所在表面与第二氮化铝层所在表面键合在一起，形成第十一晶圆；将第十一晶圆中的硅晶圆层去除，形成第十二晶圆；将第十二晶圆中的第一二氧化硅层和第二二氧化硅层去除，得到所述硅基氮化镓微波器件结构，其中，高热导率介质层包括第一氮化铝层和第二氮化铝层。

[0017] 在本发明的一个实施例中，所述高热导率介质层的厚度为20～20000nm。

[0018] 在本发明的一个实施例中，所述缓冲层包括氮化镓、铝镓氮或氮化铝，厚度为100～5000nm。

[0019] 在本发明的一个实施例中，所述沟道层为氮化镓，厚度为10～1000nm。

[0020] 在本发明的一个实施例中，所述复合势垒层包括隔离层和核心势垒层，其中，

[0021] 所述隔离层，位于所述沟道层的上表面；

[0022] 所述核心势垒层，位于所述隔离层的上表面。

[0023] 在本发明的一个实施例中，所述复合势垒层包括核心势垒层和帽层，其中，

[0024] 所述核心势垒层，位于所述沟道层的上表面；

[0025] 所述帽层位于所述核心势垒层的上表面。

[0026] 在本发明的一个实施例中，所述复合势垒层包括隔离层、核心势垒层和帽层，其中，

[0027] 所述隔离层，位于所述沟道层的上表面；

[0028] 所述核心势垒层，位于所述隔离层的上表面；

[0029] 所述帽层位于所述核心势垒层的上表面。

[0030] 在本发明的一个实施例中，根据上述任一所述的散热增强的硅基氮化镓微波器件材料结构，所述隔离层为氮化铝，厚度为0.5～1.5nm。

[0031] 在本发明的一个实施例中，根据上述任一所述的散热增强的硅基氮化镓微波器件材料结构，所述核心势垒层为铝镓氮，其中，铝的组分为0.2～0.4，厚度为10～30nm；

[0032] 或者为铟铝氮，其中，铟的组分为0.1～0.2，厚度为5～30nm；

[0033] 或者为氮化铝，厚度为2～10nm。

[0034] 在本发明的一个实施例中，根据上述任一所述的散热增强的硅基氮化镓微波器件材料结构，所述帽层为氮化镓，厚度为1～3nm；

[0035] 或者为氮化硅,厚度为1～10nm。

[0036] 与现有技术相比,本发明的有益效果:

[0037] 本发明提供的散热增强的硅基氮化镓微波器件材料结构,由于采用高热导率介质层来实现硅衬底层与缓冲层之间的键合,既保持了高键合强度、高机械强度、高稳定性,又减小了器件的热阻,从而提高了硅基氮化镓微波器件的散热性能。

[0038] 以下将结合附图及实施例对本发明做进一步详细说明。

附图说明

[0039] 图1是本发明实施例提供的一种散热增强的硅基氮化镓微波器件材料结构的结构示意图;

[0040] 图2是本发明实施例提供的另一种散热增强的硅基氮化镓微波器件材料结构的结构示意图;

[0041] 图3是本发明实施例提供的再一种散热增强的硅基氮化镓微波器件材料结构的结构示意图;

[0042] 图4是本发明实施例提供的又一种散热增强的硅基氮化镓微波器件材料结构的结构示意图;

[0043] 图5a～5l是本发明实施例提供的一种散热增强的硅基氮化镓微波器件材料结构制备方法的流程示意图。

[0044] 附图标记说明:

[0045] 1-硅衬底层;2-高热导率介质层;3-缓冲层;4-沟道层;5-复合势垒层;51-隔离层;52-核心势垒层;53-帽层;10-第一晶圆;20-第二晶圆;30-第三晶圆;40-第四晶圆;60-第六晶圆;70-第七晶圆;80-第八晶圆;90-第九晶圆;100-第十晶圆;110-第十一晶圆;120-第十二晶圆;11-高阻硅衬底层;12-成核层;13-过渡层;21-第一二氧化硅层;31-硅晶圆;32-第二二氧化硅层;91-第一氮化铝层;101-第二氮化铝层。

具体实施方式

[0046] 下面结合具体实施例对本发明做进一步详细的描述,但本发明的实施方式不限于此。

[0047] 实施例一

[0048] 目前提高硅基氮化镓微波器件的散热性能的方法包括:1、器件裸芯工艺完成后,尽量减薄硅衬底,但硅衬底减薄后的工艺操作难度加大,从而导致器件的成品率降低;2、在硅基氮化镓微波器件的表面上淀积一层高热导率介质材料,这种方法的缺点是这些高热导率材料往往会带来额外的应力,影响器件的性能,或者造成器件长期可靠性的降低;3、优化硅基氮化镓微波器件的版图设计,这种方法的缺点是会增加器件的面积,另外散热的效果也不高。基于上述存在的问题,为了降低器件工作的沟道温度,提高器件的性能,请参见图1,图1是本发明实施例提供的一种散热增强的硅基氮化镓微波器件材料结构的结构示意图,本实施例提出了一种散热增强的硅基氮化镓微波器件材料结构,该散热增强的硅基氮化镓微波器件材料结构包括:

[0049] 硅衬底层1;

[0050] 高热导率介质层2,位于硅衬底层1的上表面;

[0051] 缓冲层3,位于高热导率介质层2的上表面;

[0052] 沟道层4,位于缓冲层3的上表面;

[0053] 复合势垒层5,位于沟道层4的上表面,以构成散热增强的硅基氮化镓微波器件材料结构。

[0054] 优选地,硅衬底层1为高阻硅,掺杂类型为n型或p型,电阻率为3000～30000Ω·cm,硅衬底的晶向为[111]。更优选地,电阻率为5000Ω·cm。

[0055] 优选地,高热导率介质层2的厚度为20～20000nm。更优选地,高热导率介质层2为氮化铝,厚度为1000nm。

[0056] 优选地,缓冲层3包括氮化镓、铝镓氮或氮化铝,厚度为100～5000nm。更优选地,缓冲层3为氮化镓,厚度为1000nm。

[0057] 优选地,沟道层4为氮化镓,厚度为10～1000nm。更优选地,沟道层4为氮化镓,厚度为300nm。

[0058] 进一步地,请参见图2,图2是本发明实施例提供的另一种散热增强的硅基氮化镓微波器件材料结构的结构示意图,本实施例复合势垒层5包括隔离层51和核心势垒层52,其中,

[0059] 隔离层51,位于沟道层4的上表面;

[0060] 核心势垒层52,位于隔离层51的上表面。

[0061] 优选地,隔离层51为氮化铝,厚度为0.5～1.5nm。更优选地,隔离层51为氮化铝,厚度为1nm。

[0062] 优选地,核心势垒层52为铝镓氮,其中,铝的组分为0.2～0.4,厚度为10～30nm;或者为铟铝氮,其中,铟的组分为0.1～0.2,厚度为5～30nm;或者为氮化铝,厚度为2～10nm。更优选地,核心势垒层52为铝镓氮,其中,铝的组分为0.25,厚度为20nm。

[0063] 或者,请参见图3,图3是本发明实施例提供的再一种散热增强的硅基氮化镓微波器件材料结构的结构示意图,本实施例复合势垒层5包括核心势垒层52和帽层53,其中,

[0064] 核心势垒层52,位于沟道层4的上表面;

[0065] 帽层53位于核心势垒层52的上表面。

[0066] 优选地,核心势垒层52为铝镓氮,其中,铝的组分为0.2～0.4,厚度为10～30nm;或者为铟铝氮,其中,铟的组分为0.1～0.2,厚度为5～30nm;或者为氮化铝,厚度为2～10nm。更优选地,核心势垒层52为铝镓氮,其中,铝的组分为0.25,厚度为20nm。

[0067] 优选地,帽层53为氮化镓,厚度为1～3nm;或者为氮化硅,厚度为1～10nm。更优选地,帽层53为氮化镓,厚度为3nm。

[0068] 或者,请参见图4,图4是本发明实施例提供的又一种散热增强的硅基氮化镓微波器件材料结构的结构示意图,本实施例复合势垒层5包括隔离层51、核心势垒层52和帽层53,其中,

[0069] 隔离层51,位于沟道层4的上表面;

[0070] 核心势垒层52,位于隔离层51的上表面;

[0071] 帽层53位于核心势垒层52的上表面。

[0072] 优选地,隔离层51为氮化铝,厚度为0.5～1.5nm。更优选地,隔离层51为氮化铝,厚

度为1nm。

[0073] 优选地，核心势垒层52为铝镓氮，其中，铝的组分为0.2～0.4，厚度为10～30nm；或者为铟铝氮，其中，铟的组分为0.1～0.2，厚度为5～30nm；或者为氮化铝，厚度为2～10nm。更优选地，核心势垒层52为铝镓氮，其中，铝的组分为0.25，厚度为20nm。

[0074] 优选地，帽层53为氮化镓，厚度为1～3nm；或者为氮化硅，厚度为1～10nm。更优选地，帽层53为氮化镓，厚度为3nm。

[0075] 常规硅基氮化镓的材料结构中，由于硅衬底层与氮化镓缓冲层之间存在较大的晶格常数失配，因此引入一氮化铝成核层和一过渡层，过渡层可以是铝镓氮或氮化铝/氮化镓超晶格。但是氮化铝成核层和过渡层的晶体质量很差，位错密度很高，热导率比较差，严重影响了硅基氮化镓微波器件的散热性能。本实施例提出的散热增强的硅基氮化镓微波器件材料结构，硅衬底层1与缓冲层3之间无氮化铝成核层和过渡层，从而减小了器件的热阻和提高了器件的导热率，降低了器件工作的沟道温度，提高了器件的性能。

[0076] 同时，常规硅基氮化镓的材料结构中，由于硅衬底层与氮化镓缓冲层之间存在较大的晶格失配，使得两种材料很难直接键合，形成稳定的硅基氮化镓微波器件材料结构。本实施例采用高热导率介质层2来实现硅衬底层1与缓冲层3之间的键合，既保持了高键合强度、高机械强度、高稳定性，又减小了器件的热阻，从而提高了硅基氮化镓微波器件的散热性能，降低了器件工作的沟道温度，提高了器件的性能。

[0077] 综上所述，本实施例提供的散热增强的硅基氮化镓微波器件材料结构：高热导率介质层2制作在硅衬底层1的上表面，增加了III族氮化物缓冲层3与硅衬底层1之间的机械强度、稳定性与导热性能；缓冲层3制作在高热导率介质层2的上表面，与高热导率介质层2之间没有位错密度比较高、热导率比较差的成核层或者过渡层，从而减小了器件的热阻和提高了器件的导热率；沟道层4制作在缓冲层3的上表面，为器件提高导电沟道；复合势垒层5制作在沟道层4的上表面，复合势垒层5与沟道层4之间的界面处形成二维电子气，作为器件的导电沟道，且通过隔离层51或和帽层53进一步提高了硅基氮化镓微波器件的电学特性。本实施例提出的散热增强的硅基氮化镓微波器件材料结构，还具有与现有硅生产线兼容、可以规模生产、良率高和可靠性高的优点。本实施例提出的散热增强的硅基氮化镓微波器件材料结构可应用于射频、微波、毫米波的芯片和系统等领域。

[0078] 实施例二

[0079] 在上述实施例一的基础上，请参见图5a～5l，图5a～5l是本发明实施例提供的一种散热增强的硅基氮化镓微波器件材料结构制备方法的流程示意图，本实施例针对实施例一中图4所述的散热增强的硅基氮化镓微波器件材料结构提出了一种散热增强的硅基氮化镓微波器件材料结构制备方法，该制备方法包括以下步骤：

[0080] 步骤1、请再参见图5a，采用金属有机化合物化学气相淀积(Metal-Organic Chemical Vapor Deposition，简称MOCVD)的设备与技术，实现在硅衬底上外延生长III族氮化镓材料，制作硅基氮化镓微波器件的第一晶圆10，具体制作步骤如下：

[0081] 步骤11、采用MOCVD设备与技术，在一高阻硅衬底层11上外延生长厚度为200nm氮化铝成核层12，其中，高阻硅衬底层11的尺寸为8寸，厚度为725μm，电阻率为5000Ω·cm，晶向为[111]；

[0082] 步骤12、采用MOCVD设备与技术，在氮化铝成核层12上外延生长厚度为1000nm的氮

化铝/氮化镓超晶格过渡层13；

[0083] 步骤13、采用MOCVD设备与技术，在氮化铝/氮化镓超晶格的过渡层13上外延生长厚度为1000nm的氮化镓缓冲层3，其中，氮化镓缓冲层3的位错密度1e9cm^{-2}，进行了Fe掺杂，且电阻率为1MΩ·cm；

[0084] 步骤14、采用MOCVD设备与技术，在氮化镓缓冲层3上外延生长厚度为300nm的氮化镓沟道层4，其中，氮化镓沟道层4为非故意掺杂；

[0085] 步骤15、采用MOCVD设备与技术，在氮化镓沟道层4上外延生长厚度为1nm的氮化铝隔离层51；

[0086] 步骤16、采用MOCVD设备与技术，在氮化铝隔离层51上外延生长铝组分为0.25、厚度为20nm的铝镓氮核心势垒层52；

[0087] 步骤17、采用MOCVD设备与技术，在核心势垒层52上外延生长厚度为3nm的氮化镓帽层53，以制作形成第一晶圆10。

[0088] 步骤2、请再参见图5b，采用等离子体增强化学气相沉积法(Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition，简称PECVD)的设备和技术，在步骤1制作的硅基氮化镓微波器件的晶圆10的上表面淀积一层厚度为250nm的第一二氧化硅层21，制作形成第二晶圆20。

[0089] 步骤3、请再参见图5c，采用PECVD设备和技术，在一硅晶圆31的上表面淀积一层厚度为250nm的第二二氧化硅层32，制作形成第三晶圆30，其中，硅晶圆31的尺寸为8寸，厚度为725μm，电阻率为10Ω·cm，晶向为[100]。

[0090] 步骤4、请再参见图5d，采用晶圆化学键键合技术，将步骤2制作的第二晶圆20倒转，第二晶圆20中第一二氧化硅层21所在表面与步骤3制作的第三晶圆30中第二二氧化硅层32所在表面键合在一起，制作形成第四晶圆40；

[0091] 步骤5、请再参见图5e，采用湿法化学腐蚀技术，或等离子体刻蚀技术，将步骤4制作的第四晶圆40中高阻硅衬底层11去除，制作形成第六晶圆60；

[0092] 步骤6、请再参见图5f，采用湿法化学腐蚀技术，或等离子体刻蚀技术，将步骤5制作的第六晶圆60中氮化铝成核层12去除，制作形成第七晶圆70；

[0093] 步骤7、请再参见图5g，采用湿法化学腐蚀技术，或等离子体刻蚀技术，将步骤6制作的第七晶圆70中的氮化铝/氮化镓超晶格过渡层13去除，制作形成第八晶圆80；

[0094] 步骤8、请再参见图5h，采用磁控溅射技术，在步骤7制作的第八晶圆80的上表面淀积厚度为500nm的第一氮化铝层91，制作形成第九晶圆90；

[0095] 步骤9、请再参见图5i，采用磁控溅射技术，在一硅衬底层1表面淀积厚度为500nm的第二氮化铝层101，制作形成第十晶圆100，其中，硅衬底层1的尺寸为8寸，厚度为725μm，电阻率为5000Ω·cm，晶向为[111]；

[0096] 步骤10、请再参见图5j，采用晶圆化学键键合技术，将步骤8制作的第九晶圆90中的第一氮化铝层91所在表面与步骤9制作的第十晶圆100中的第二氮化铝层101所在表面键合在一起，制作形成第十一晶圆110；

[0097] 步骤11、请再参见图5k，采用湿法化学腐蚀技术，或等离子体刻蚀技术，将步骤10制作的第十一晶圆110中的硅晶圆31层去除，制作形成第十二晶圆120；

[0098] 步骤12、请再参见图5l，采用湿法化学腐蚀技术，或等离子体刻蚀技术，将步骤11制作的第十二晶圆120中的第一二氧化硅层21和第二二氧化硅层32去除，最终形成本实施

例的硅基氮化镓微波器件结构，其中，高热导率介质层2包括第一氮化铝层91和第二氮化铝层101。

[0099] 需要说明的是，本实施例图2、图3与图4的制备流程类似，在此不再赘述。

[0100] 本实施例提供的一种散热增强的硅基氮化镓微波器件材料结构的制备方法，可以执行上述实施例一所述的散热增强的硅基氮化镓微波器件材料结构的实施例，其实现原理和技术效果类似，在此不再赘述。

[0101] 以上内容是结合具体的优选实施方式对本发明所作的进一步详细说明，不能认定本发明的具体实施只局限于这些说明。对于本发明所属技术领域的普通技术人员来说，在不脱离本发明构思的前提下，还可以做出若干简单推演或替换，都应当视为属于本发明的保护范围。

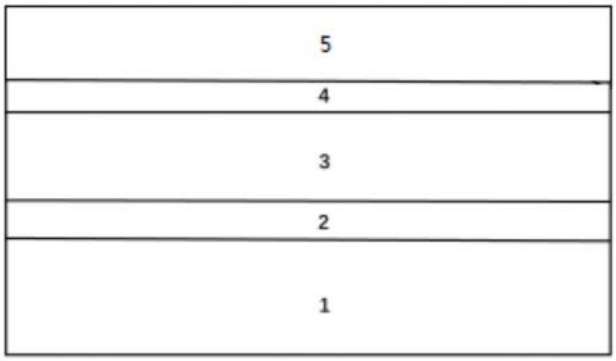


图1

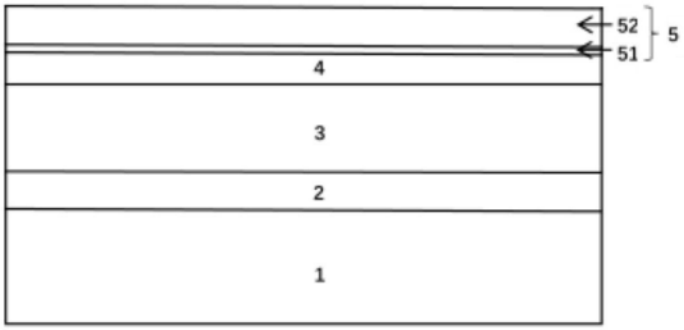


图2

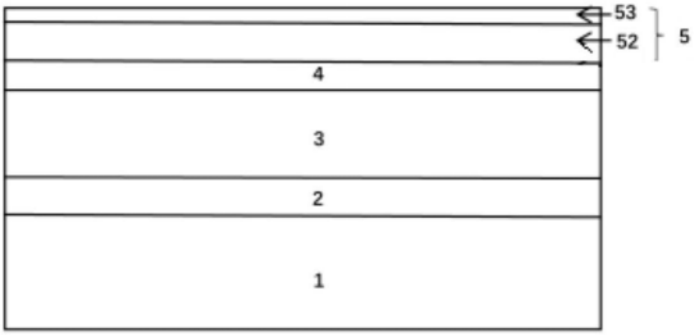


图3

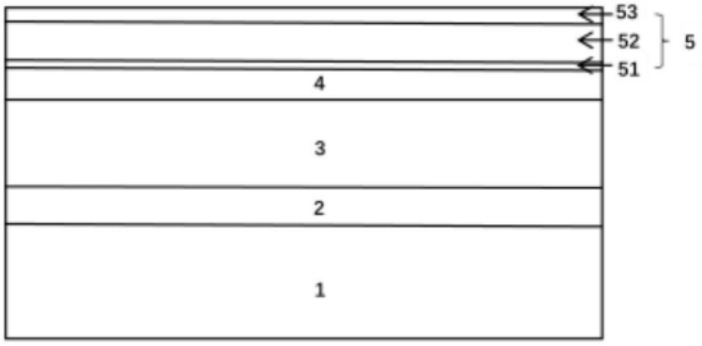


图4

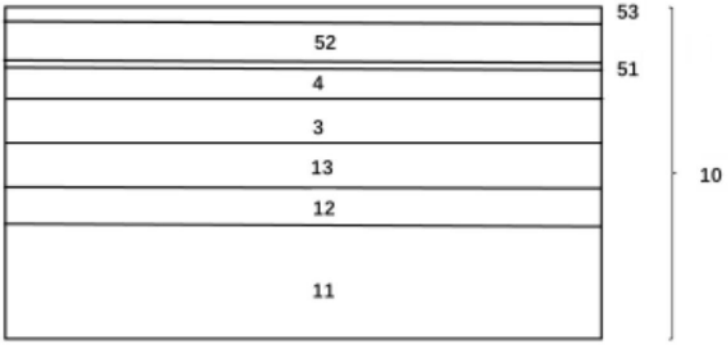


图5a

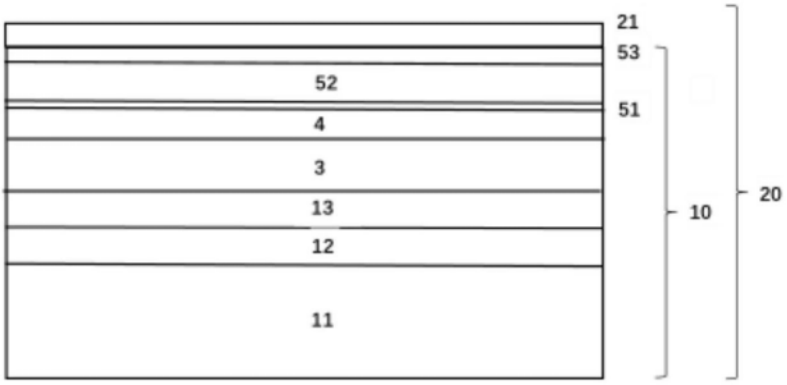


图5b

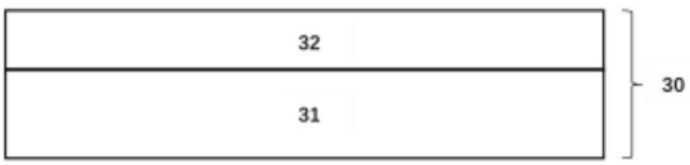


图5c

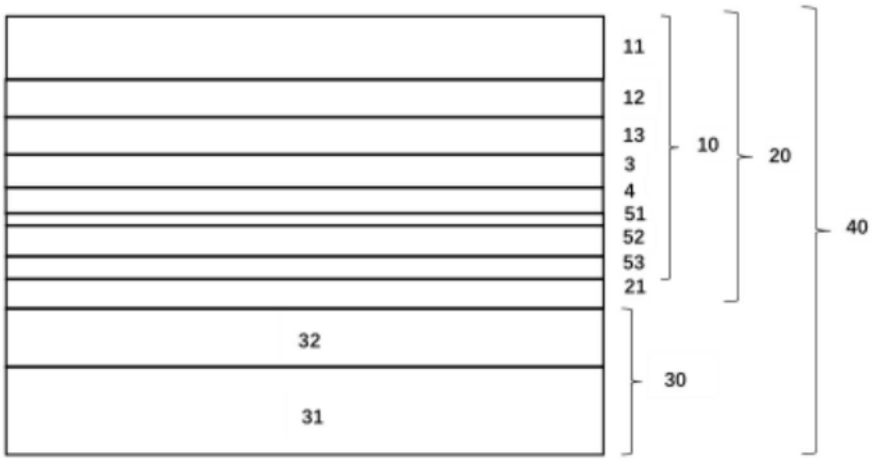

11
12
13
3
4
51
52
53
21
32
31
10
20
30
40

图5d

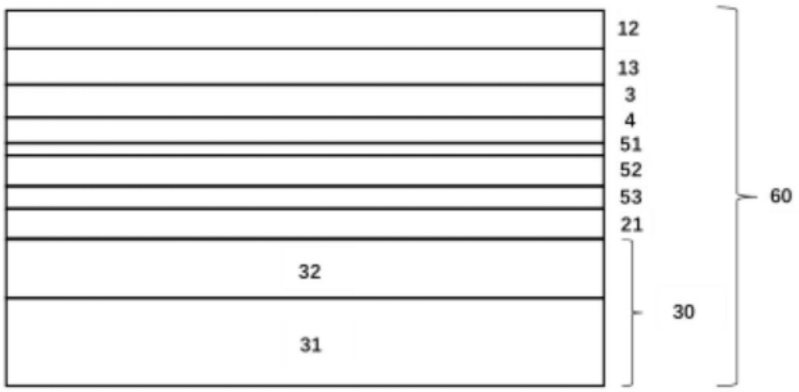

12
13
3
4
51
52
53
21
32
31
60
30

图5e

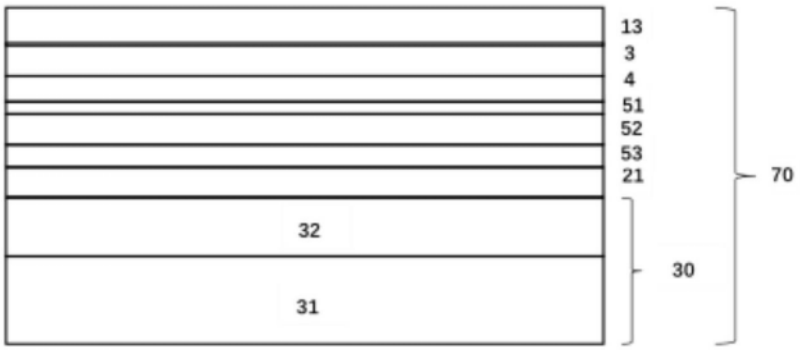

13
3
4
51
52
53
21
32
31
70
30

图5f

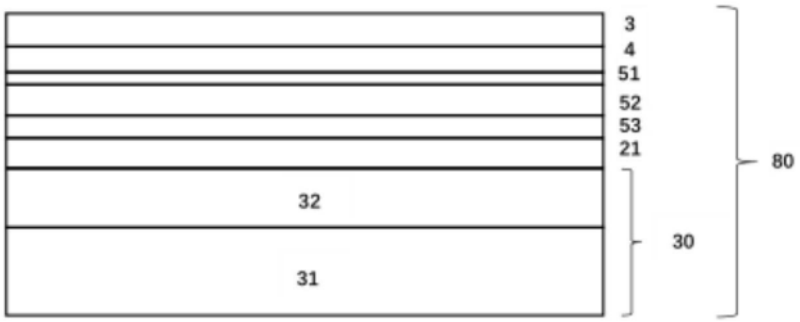


图5g

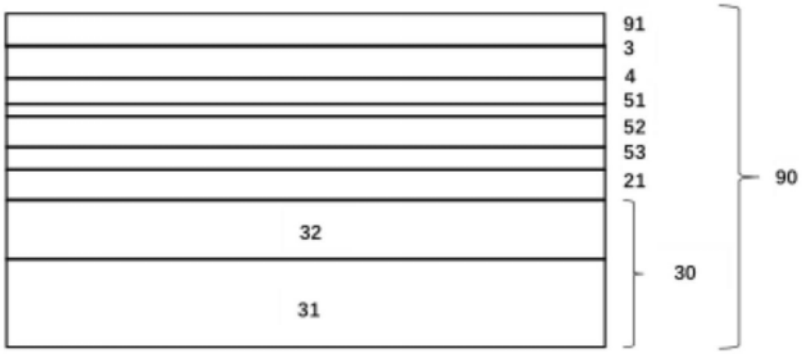


图5h

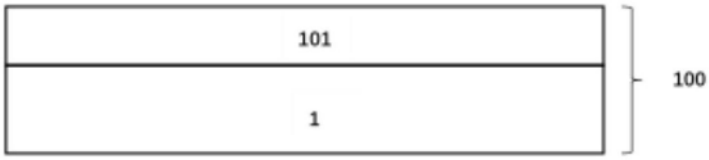


图5i

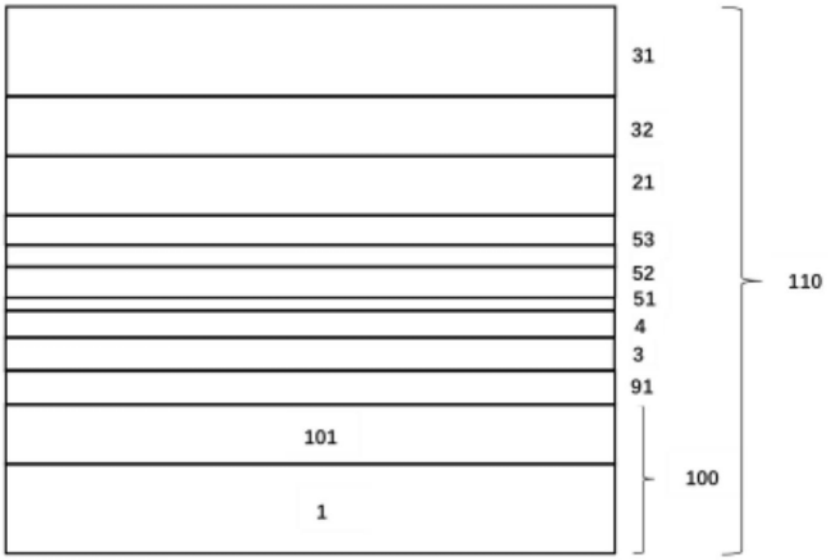

31
32
21
53
52
51
4
3
91
101
1
110
100

图5j

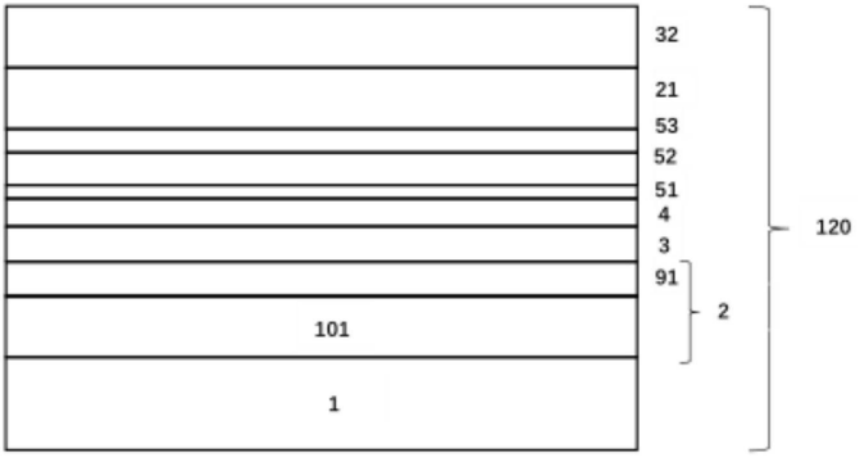

32
21
53
52
51
4
3
91
101
1
120
2

图5k

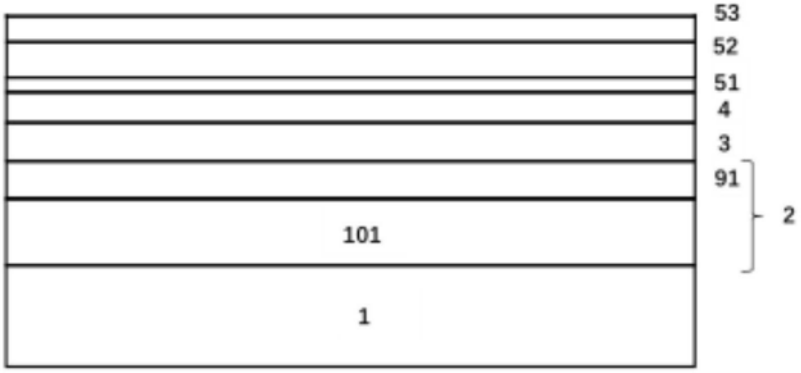

53
52
51
4
3
91
101
1
2

图5l