



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 113571409 B

(45) 授权公告日 2022. 04. 15

(21) 申请号 202110753116.2

(22) 申请日 2021.07.02

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 113571409 A

(43) 申请公布日 2021.10.29

(73) 专利权人 北京科技大学
地址 100083 北京市海淀区学院路30号
专利权人 北京科技大学顺德研究生院

(72) 发明人 郑宇亭 李成明 张钦睿 刘思彤
魏俊俊 郝志恒 刘金龙 陈良贤
安康 张建军

(74) 专利代理机构 北京市广友专利事务所有限
责任公司 11237
代理人 张仲波

(51) Int.Cl.

H01L 21/04 (2006.01)

H01L 21/3065 (2006.01)

H01L 21/308 (2006.01)

审查员 韩冰

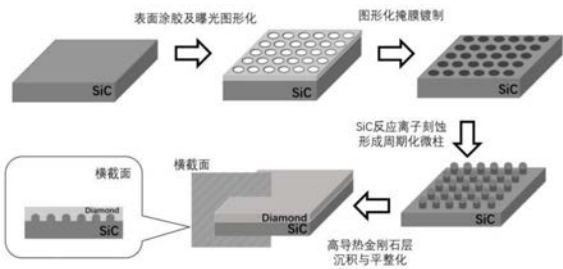
权利要求书1页 说明书4页 附图1页

(54) 发明名称

一种高导热金刚石增强碳化硅衬底的制备方法

(57) 摘要

一种高导热金刚石增强碳化硅(SiC)衬底的制备方法,属于半导体材料制备领域。本发明在SiC的碳极性面通过涂胶、光刻、显影实现图形化。随后采用电子束蒸发或磁控溅射金属掩膜。去除光刻胶后,将具有周期排列金属掩膜的SiC通过反应离子刻蚀、掩膜去除、二次离子刻蚀得到微柱阵列。接着通过微波等离子体化学气相沉积技术生长金刚石层。待金刚石层完全覆盖微柱并具有一定厚度后采用激光扫描平整化及后续精密抛光,得到高导热金刚石增强的SiC衬底。通过增加金刚石与SiC有效接触界面面积而提高导热效率的同时有效避免单一平面界面结合力不足和局部缺陷扩展。为未来SiC硅极性面减薄及其表面高温沉积GaN而获得高功率、高频率用SiC/Diamond及GaN/SiC/Diamond晶圆奠定基础。



1. 一种高导热金刚石增强碳化硅衬底的制备方法, 其特征在于通过在SiC的碳极性面通过涂胶、光刻、显影实现图形化, 使得所述SiC的碳极性面上具有图形化的光刻胶; 随后采用电子束蒸发或磁控溅射金属掩膜; 在去除光刻胶后, 将具有周期排列金属掩膜的SiC通过反应离子刻蚀、掩膜去除、二次离子刻蚀得到SiC微柱阵列; 接着通过微波等离子体化学气相沉积技术生长金刚石层; 待金刚石层完全覆盖微柱并具有一定厚度后采用激光扫描金刚石生长面平整化及后续精密抛光, 得到高导热金刚石增强的SiC衬底, 为未来SiC硅极性面减薄及其表面高温沉积GaN得到高功率、高频率用SiC/金刚石及GaN/SiC/金刚石晶圆奠定基础;

所述的SiC周期性微柱结构的反应离子刻蚀步骤为: 对SiC通过以气源 $\text{CF}_4:\text{O}_2$ 在比例为5:1-2:1、偏置功率在100-300W条件下刻蚀SiC至刻蚀深度为1~20 μm ; 接着采用化学溶解法去除金属掩膜, 随后再次将SiC通过纯 CF_4 在偏置功率低于50W情况下刻蚀SiC以实现微柱边缘的圆弧形化刻蚀。

2. 如权利要求1所述的高导热金刚石增强碳化硅衬底的制备方法, 其特征在于具体包括以下步骤:

步骤1: SiC表面涂胶及曝光图形化

通过在SiC的碳极性面旋涂光刻胶, 并通过基于掩模板实现紫外光刻; 接着通过显影去胶实现周期性微孔, 裸漏出周期性排列的金刚石图形化表面;

步骤2: 金属掩膜的沉积

将具有图形化光刻胶的SiC通过电子束蒸发或磁控溅射沉积金属掩膜; 接着去除残余光刻胶后得到表面沉积有金属图形掩膜的SiC;

步骤3: SiC周期性微柱结构的反应离子刻蚀

通过反应离子刻蚀以实现SiC微柱的制备和边缘的圆弧形化刻蚀;

步骤4: 金刚石层的生长

将具有微柱结构的SiC置于微波等离子体化学气相沉积腔室中, 生长金刚石层以覆盖微柱结构;

步骤5: 金刚石生长面的激光扫描平整化及研磨抛光

采用YAG激光局域烧蚀技术以平面扫描模式实现金刚石生长面的平整化加工, 实现金刚石生长层表面的平整性; 随后再通过金刚石纳米颗粒研磨及精密抛光进一步降低金刚石表面粗糙度。

3. 如权利要求2所述高导热金刚石增强碳化硅衬底的制备方法, 其特征在于步骤2所述的金属掩膜的沉积步骤为先沉积10-50 nm金属钛层后沉积100-150 nm金属铝层, 镀膜过程中基片温度不超过100℃。

4. 如权利要求2所述高导热金刚石增强碳化硅衬底的制备方法, 其特征在于步骤4所述的金刚石层的生长步骤为: 控制微波功率于3-5 kW、沉积温度在640-780℃的条件下再控制甲烷比例在5-8%形核1-6 h, 随后以甲烷比例在2-5%生长金刚石层。

5. 如权利要求2所述高导热金刚石增强碳化硅衬底的制备方法, 其特征在于步骤5所述的金刚石生长面的激光扫描平整化步骤为激光入射角度为60-80°, 电流在60-70 A, 脉冲为400-500 μs , 频率为200-300 Hz以及扫描速度为100-400 mm/min; 随后将金刚石生长面逐步采用颗粒度1 μm 、500 nm、100 nm的金刚石粉分别进行抛光后将其置于精密金刚石抛光盘上进行最终平整化。

一种高导热金刚石增强碳化硅衬底的制备方法

技术领域

[0001] 本发明属半导体材料制备领域,涉及一种高导热金刚石增强碳化硅衬底的制备方法。

背景技术

[0002] 碳化硅(SiC)和氮化镓(GaN)作为一种宽带隙半导体是射频及功率器件的理想材料,在发展未来的光伏产业、高速列车、电动汽车、5G射频、卫星通信及雷达等技术中将发挥越来越重要的作用。高强度和硬度、高抗热震性和耐腐蚀性使SiC在极端温度环境下表现优异。此外,作为代表性的第三代半导体材料,SiC可以利用其宽带隙和高介电击穿电场强度在恶劣环境中用作高功率、高频电子器件。然而,对于现代高功率电子和光电器件的小型化、高度集成化,在使用过程中会产生大量的热量。器件的可靠性和使用寿命与器件温度直接相关。当器件温度降低将使器件的可靠性和寿命呈指数增长。无论是对于SiC功率器件,还是以SiC为基底的GaN功率器件,都面临着在高功率输出时,由于“自热效应”导致器件性能衰减甚至彻底失效的风险。尤其如何在狭小空间内的热量传递是电力电子器件的新挑战,因此热管理已成为电子器件设计中越来越重要的因素。

[0003] 金刚石的室温热导率最高可达 $2000\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ 以上,是常用散热材料铜热导率的5倍,氧化铝热导率的6倍,氧化铍热导率的7倍多,可以有效传递电子器件产生的热量。而且金刚石电阻率高达 $10^{16}\Omega\cdot\text{cm}$,是典型的绝缘体,不用考虑可能产生漏电流的问题。因此,金刚石是最理想的热沉材料。将SiC与金刚石结合形成的SiC-on-Diamond和GaN/SiC-on-Diamond晶圆,可显著改善SiC底层散热能力,从而提高SiC及SiC基GaN器件的输出功率及频率,延长使用寿命。然而不论是SiC还是GaN表面沉积金刚石存在诸多问题,需要考虑等离子体刻蚀、界面强度、界面导热以及应力等问题。尤其是基于已经沉积有金刚石薄层的SiC衬底在SiC减薄或SiC表面高温沉积GaN过程中应力及SiC与金刚石界面强度和形核缺陷影响导热性能的问题尤为突出。

发明内容

[0004] 本发明目的是提出一种高导热金刚石增强碳化硅衬底的制备方法。解决等离子体刻蚀、界面强度、界面导热以及应力等问题。尤其是解决已经沉积有金刚石薄层的SiC衬底在SiC减薄或SiC表面高温沉积GaN过程中应力及SiC与金刚石界面强度和形核缺陷影响导热性能的问题。

[0005] 本发明的技术方案为:

[0006] 一种高导热金刚石增强碳化硅衬底的制备方法,通过在SiC的碳极性面通过涂胶、光刻、显影实现图形化。随后采用电子束蒸发或磁控溅射金属掩膜。在去除光刻胶后,将具有周期排列金属掩膜的SiC通过反应离子刻蚀、掩膜去除、二次离子刻蚀得到微柱阵列。接着通过微波等离子体化学气相沉积技术生长金刚石层。待金刚石层完全覆盖微柱并具有一定厚度后采用激光扫描金刚石生长面平整化及后续精密抛光,得到高导热金刚石增强的

SiC衬底。为未来SiC硅极性面减薄及其表面高温沉积GaN得到高功率、高频率用SiC/Diamond及GaN/SiC/Diamond晶圆奠定基础。

[0007] 如上所述的高导热金刚石增强的碳化硅衬底的制备方法,其特征在于具体包括以下步骤:

[0008] 步骤1:SiC表面涂胶及曝光图形化

[0009] 通过在SiC的碳极性面旋涂光刻胶,并通过基于掩模板实现紫外光刻。接着通过显影去胶实现周期性微孔,裸漏出周期性排列的金刚石图形化表面。

[0010] 步骤2:金属掩膜的沉积

[0011] 将具有图形化光刻胶的SiC通过电子束蒸发或磁控溅射沉积金属掩膜。接着去除残余光刻胶后得到表面沉积有金属图形掩膜的SiC。

[0012] 步骤3:SiC周期性微柱结构的反应离子刻蚀

[0013] 通过反应离子刻蚀以实现SiC微柱的制备和边缘的圆弧形化刻蚀。

[0014] 步骤4:金刚石层的生长

[0015] 将具有微柱结构的SiC置于微波等离子体化学气相沉积腔室中,生长金刚石层以覆盖微柱结构。

[0016] 步骤5:金刚石生长面的激光扫描平整化及研磨抛光

[0017] 采用YAG激光局域烧蚀技术以平面扫描模式实现金刚石生长面的平整化加工,实现金刚石生长层表面的平整性。随后再通过金刚石纳米颗粒研磨及精密抛光进一步降低金刚石表面粗糙度。

[0018] 进一步的,步骤2所述的金属掩膜的沉积步骤为先沉积10-50nm金属钛层后沉积100-150nm金属铝层,镀膜过程中基片温度不超过100℃。

[0019] 进一步的,步骤3所述的SiC周期性微柱结构的反应离子刻蚀步骤为对SiC通过以气源 $CF_4:O_2$ 在比例为5:1-2:1、偏置功率在100-300W条件下刻蚀SiC至刻蚀深度为1~20 μm 。接着采用化学溶解法去除金属掩膜。随后再次将SiC通过纯 CF_4 在偏置功率低于50W情况下刻蚀SiC以实现微柱边缘的圆弧形化刻蚀。

[0020] 进一步的,步骤4所述的金刚石层的生长步骤为控制微波功率于3-5kW、沉积温度在640-780℃的条件下在控制甲烷比例在5-8%形核1-6h,随后以2-5%生长金刚石层。

[0021] 进一步的,步骤5所述的金刚石生长面的激光扫描平整化步骤为激光入射角度为60-80°,电流在60-70A,脉冲为400-500 μs ,频率为200-300Hz以及扫描速度为100-400mm/min。随后将金刚石生长面用颗粒度1 μm 、500nm、100nm的金刚石粉分别进行抛光后将其置于精密金刚石抛光盘上进行最终平整化。本发明实施过程的关键在于:

[0022] 1) SiC刻蚀所得微柱间隔需大于2 μm 。通过实验证实当间距小于2 μm 后由于微柱之间空间过小,在等离子体化学气相沉积过程中气流无法有效进入该区域而导致金刚石生长界面存在大量孔洞缺陷而无法较均匀地与SiC接触,这将显著影响界面热导率及力学稳定性。同时,微柱的高度亦不宜超过10 μm (微柱间距大于20 μm 情况下)。同样是由于过大的纵横比空间不利于凹陷部分金刚石的高质量形核生长。

[0023] 2) 在SiC图形化刻蚀过程中,对SiC通过以气源 $CF_4:O_2$ 在比例为5:1-2:1、偏置功率在100-300W条件下刻蚀SiC至刻蚀深度为1~20 μm 。以保证较快的刻蚀速率和图形完整性。接着采用化学溶解法清洗去除金属掩膜。随后再次将SiC通过纯 CF_4 在偏置功率低于50W情

况下刻蚀SiC。通过消除氧化以及偏压离子轰击,利用存在的边缘效应以实现微柱边缘的圆弧形化刻蚀。

[0024] 3) 将具有微柱结构的SiC置于微波等离子体化学气相沉积腔室中,控制微波功率于3-5kW、沉积温度在640-780℃的条件下在控制甲烷比例在5-8%形核1-6h,随后以2-5%生长金刚石层。

[0025] 4) 对于金刚石面的平整化不仅能够满足SiC衬底基片的实际应用要求也能够为未来沉积GaN及制备电路提供平整的表面基础。即在金刚石沉积层完全覆盖微柱并具有一定厚度后采用激光扫描金刚石生长面平整化及后续精密抛光。采用YAG激光局域烧蚀技术以平面扫描模式实现金刚石生长面的平整化加工不仅能够大幅加快金刚石平整化工艺过程,也能够有效避免将生长态金刚石非常粗糙的表面直接通过机械抛光可能带来的裂纹。对于若采用大功率直角扫描不仅可能会由于瞬时热集中引起开裂的可能性,也会由于剧烈烧蚀影响表面平整化效果。因此需要激光入射角度为60-80°,电流在60-70A,脉冲为400-500μs,频率为200-300Hz以及扫描速度为100-400mm/min。随后将金刚石生长面逐步采用颗粒度1μm、500nm、100nm的金刚石粉分别进行抛光后将其置于精密金刚石抛光盘上进行最终平整化。

[0026] 本发明和现有技术相比所具有的有益效果在于:

[0027] 1) 对于两种晶体材料的固-固界面,需要保持界面处的高结晶度。一般情况下在非金刚石固体表面金刚石生长面的晶界非致密的晶粒排布特点所产生的结构缺陷会严重降低界面导热性能。具有周期性微柱结构的SiC表面沉积金刚石不仅能够提高SiC与其表面沉积金刚石的接触面积,弱化单一平面界面金刚石形核面高密度晶体结构缺陷的影响,从而更有效地利用金刚石的超高导热特性进一步提高SiC器件扩热能力。此外,周期性微结构表面亦能够提高金刚石沉积时的形核及生长效率。即在金刚石生长过程中在微柱之间能够形成局域气体流场,使CH_x基团能够在界面停留更长的时间,提高微结构之间的形核生长。同时能够一定程度地均匀化金刚石薄膜的生长模式,改善形核面晶界孔洞缺陷的形成,以及避免在单一平面界面无序化形核生长可能存在的应力不均和单一方向应力过大的结果。

[0028] 2) 具有周期性微柱结构的SiC表面生长金刚石能够提高SiC与金刚石的结合,改善单一平面界面结合力不足而容易导致的界面开裂。该周期性微柱结构能够阻碍局域界面开裂扩展,一定程度上改善由于应力导致碎裂的可能性。更为重要的是该结构能够避免在后续SiC层的减薄及可高达1000℃条件下SiC表面外延生长GaN过程中由于应力而可能导致的开裂失效。从而有效提高宽禁带半导体材料的加工稳定性,确保未来相关电子器件在制备封装及最终器件在大功率、高热流密度条件下的运行稳定性。

附图说明

[0029] 图1本发明中高导热金刚石增强碳化硅(SiC)衬底的制备方法。

具体实施方式

[0030] 具体实施方式一

[0031] 通过在SiC的碳极性面旋涂光刻胶,并通过基于掩模板实现紫外光刻。接着通过显影去胶实现直径为2μm,间隔为4μm的周期性微孔,裸漏出周期性排列的金刚石图形化表面。

将具有图形化光刻胶的SiC通过电子束蒸发先沉积Ti金属掩膜50nm后再沉积Al金属150nm。接着去除残余光刻胶后得到表面沉积有金属图形掩膜的SiC。对SiC通过以气源 $\text{CF}_4:\text{O}_2$ 在比例为5:1、偏置功率在300W条件下刻蚀SiC至刻蚀深度为2 μm 。接着采用化学溶解法去除金属掩膜。随后再次将SiC通过纯 CF_4 在偏置功率于20W情况下刻蚀SiC以实现微柱边缘的圆弧形化刻蚀。接着将图形化SiC片置于微波等离子体腔内,控制微波功率于3kW、沉积温度在640℃的条件下在控制甲烷比例在5%形核6h,随后以2%生长金刚石层。生长金刚石完成后对金刚石生长面进行激光扫描平整化,以激光入射角度为70°,电流在60A,脉冲为400 μs ,频率为200Hz以及扫描速度为200mm/min。随后将金刚石生长面逐步采用颗粒度1 μm 、500nm、100nm的金刚石粉分别进行抛光后将其置于精密金刚石抛光盘上进行最终平整化。

[0032] 具体实施方式二

[0033] 通过在SiC的碳极性面旋涂光刻胶,并通过基于掩模板实现紫外光刻。接着通过显影去胶实现直径为2 μm ,间隔为2 μm 的周期性微孔,裸漏出周期性排列的金刚石图形化表面。将具有图形化光刻胶的SiC通过电子束蒸发先沉积Ti金属掩膜30nm后再沉积Al金属120nm。接着去除残余光刻胶后得到表面沉积有金属图形掩膜的SiC。对SiC通过以气源 $\text{CF}_4:\text{O}_2$ 在比例为4:1、偏置功率在200W条件下刻蚀SiC至刻蚀深度为1 μm 。接着采用化学溶解法去除金属掩膜。随后再次将SiC通过纯 CF_4 在偏置功率于10W情况下刻蚀SiC以实现微柱边缘的圆弧形化刻蚀。接着将图形化SiC片置于微波等离子体腔内,控制微波功率于4kW、沉积温度在680℃的条件下在控制甲烷比例在6%形核4h,随后以3%生长金刚石层。生长金刚石完成后对金刚石生长面进行激光扫描平整化,以激光入射角度为75°,电流在60A,脉冲为400 μs ,频率为200Hz以及扫描速度为300mm/min。随后将金刚石生长面逐步采用颗粒度1 μm 、500nm、100nm的金刚石粉分别进行抛光后将其置于精密金刚石抛光盘上进行最终平整化。

[0034] 具体实施方式三

[0035] 通过在SiC的碳极性面旋涂光刻胶,并通过基于掩模板实现紫外光刻。接着通过显影去胶实现直径为5 μm ,间隔为8 μm 的周期性微孔,裸漏出周期性排列的金刚石图形化表面。将具有图形化光刻胶的SiC通过电子束蒸发先沉积Ti金属掩膜40nm后再沉积Al金属150nm。接着去除残余光刻胶后得到表面沉积有金属图形掩膜的SiC。对SiC通过以气源 $\text{CF}_4:\text{O}_2$ 在比例为2:1、偏置功率在100W条件下刻蚀SiC至刻蚀深度为3 μm 。接着采用化学溶解法去除金属掩膜。随后再次将SiC通过纯 CF_4 在偏置功率于10W情况下刻蚀SiC以实现微柱边缘的圆弧形化刻蚀。接着将图形化SiC片置于微波等离子体腔内,控制微波功率于5kW、沉积温度在740℃的条件下在控制甲烷比例在8%形核1h,随后以4%生长金刚石层。生长金刚石完成后对金刚石生长面进行激光扫描平整化,以激光入射角度为75°,电流在65A,脉冲为400 μs ,频率为250Hz以及扫描速度为400mm/min。随后将金刚石生长面逐步采用颗粒度1 μm 、500nm、100nm的金刚石粉分别进行抛光后将其置于精密金刚石抛光盘上进行最终平整化。

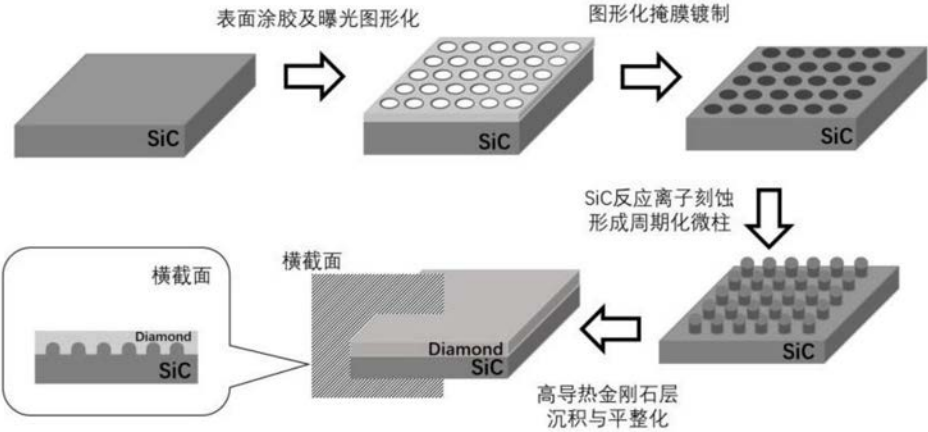


图1