



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 108878552 B

(45) 授权公告日 2020.10.13

(21) 申请号 201810715819.4

(22) 申请日 2018.07.03

(65) 同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 108878552 A

(43) 申请公布日 2018.11.23

(73) 专利权人 北京镓族科技有限公司  
地址 101300 北京市顺义区仁和镇顺强路  
一号一幢2号厂房二层西侧北部

(72) 发明人 唐为华 崔蔚

(74) 专利代理机构 北京路浩知识产权代理有限公司 11002

代理人 王文君 陈征

(51) Int. Cl.

H01L 31/0304 (2006.01)

H01L 31/18 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 105845824 A, 2016.08.10

CN 105734498 A, 2016.07.06

US 2007184576 A1, 2007.08.09

CN 105118851 A, 2015.12.02

CN 107513695 A, 2017.12.26

Hiroyuki Nishinaka. "Epitaxial growth of a-Ga2O3 thin films on a-, m-, and r-plane sapphire substrates by mist chemical vapor deposition using a-Fe2O3 buffer layers". 《Materials Letters》. 2017, (第205期), 第28-31页.

审查员 邢磊

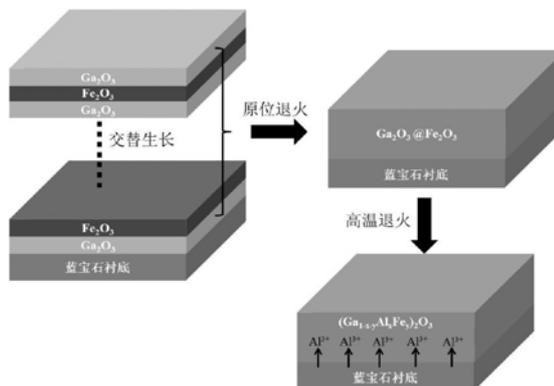
权利要求书1页 说明书6页 附图4页

(54) 发明名称

一种带隙纵向梯度分布Al和Fe共掺杂Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>薄膜的制法

(57) 摘要

本发明涉及一种带隙纵向梯度分布Al和Fe共掺杂Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>薄膜的制法,所述制法以α-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>单晶为底衬,采用激光分子束外延交替沉积Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>和Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>超薄层,退火处理后,即得。本发明所述的制法过程简单、工艺可控性强、易操作、重复性好、可大面积制备;所制得的薄膜中Al的组分纵向梯度分布,薄膜结晶性好、致密、表面均匀。



1. 一种带隙纵向梯度分布Al和Fe共掺杂Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>薄膜的制法,其特征在于,包括以下步骤:
  - 1) 以α-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>单晶为底衬,在所述底衬上采用激光分子束外延,依次按10:1、10:2、10:3、10:4、10:5的脉冲次数比循环交替沉积所述Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>和Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>超薄层;  
其中,沉积所述Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>超薄层的脉冲次数为100~200;  
其中,激光分子束外延的具体条件为:背底真空为 $1 \times 10^{-5} \sim 1 \times 10^{-6}$ Pa、氧压为 $1 \times 10^{-1} \sim 5 \times 10^{-1}$ Pa,衬底温度为700~750℃、激光能量为350~400mJ、激光脉冲频率为1~2Hz、靶材与基板之间的间距为4~5cm;
  - 2) 沉积Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>和Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>超薄层后,在750~800℃的温度下,原位退火30~35min;
  - 3) 在干燥环境下,将原位退火处理后的薄膜,以5.5~6.5℃/min的速率上升至950~1050℃的退火温度,保持退火温度350~400min,即得。
2. 根据权利要求1所述的制法,其特征在于,所述Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>和Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>超薄层的总厚度不高于500nm。
3. 根据权利要求1或2所述的制法,其特征在于,沉积所述Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>超薄层的激光脉冲数为200。
4. 根据权利要求1所述的制法,其特征在于,沉积所述Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>超薄层的激光脉冲数为200。
5. 权利要求1~4任一项所述制法制得的带隙纵向梯度分布Al和Fe共掺杂Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>薄膜。
6. 权利要求5所述的带隙纵向梯度分布Al和Fe共掺杂Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>薄膜在制备Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>基日盲紫外APD的倍增区上的应用。
7. 权利要求5所述的带隙纵向梯度分布Al和Fe共掺杂Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>薄膜作为沟道薄膜与电介质之间钝化层。

## 一种带隙纵向梯度分布Al和Fe共掺杂Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>薄膜的制法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及带隙工程、宽带隙光电子器件技术领域,具体涉及一种带隙纵向梯度分布的Al和Fe共掺杂Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>薄膜的制备技术。

### 背景技术

[0002] 由于大气中的臭氧层对波段在200-280nm之间的紫外光有强烈的吸收作用,到达地面的处在这个波段的紫外光辐射在海平面附近几乎衰减至零,故该波段的光称为日盲紫外光,而针对该波段的信号探测被称为日盲紫外探测。由于不受太阳光背景信号的影响,日盲紫外光信号探测灵敏度极高,日盲紫外探测技术成为了继红外和激光探测技术之后发展起来的一种新型的军民两用光电探测技术,在军用方面可应用于局域保密通信、导弹预警跟踪、火箭尾焰探测、天基紫外预警、紫外超光谱侦察、着舰引导等领域;在民用领域可用于海上搜救、高压电晕探测、医学工程、环境监测、森林火灾预报等领域。

[0003] 目前市场上的紫外探测器都为真空紫外探测器件,相比之,基于宽禁带半导体材料的固态紫外探测器件由于体积小、功耗低、量子效率高、便于集成等特点近年来已经成为科研人员的研究热点。基于宽禁带半导体材料的日盲紫外光电探测器一般有四种结构:MSM结构,异质结或肖特基结结构,PIN结构,APD(雪崩光电探测器)结构。其中APD结构的光电探测器,量子效率高、响应速度快、具有高内部增益等优点,在微弱信号和单光子信号检测当中具有广阔的应用前景。然而APD型探测器往往存在倍增噪声过大、频率响应速度慢和隧道电流大的问题,对异质界面要求比较高而且工艺复杂性大,这些因素限制了日盲紫外APD器件的发展与应用。目前,日盲紫外APD 仅有很少的报道:通用电气全球研发中心在2009年成功研制了可用于日盲紫外探测的SiC基APD;2010中山大学报道了Al<sub>0.4</sub>Ga<sub>0.6</sub>N基 APD;中国科学院成功制备了基于单个ZnO-Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>核壳微米线的 APD。但是SiC带隙不匹配,用于日盲光信号的探测时,容易受到非日盲-紫外光的干扰;AlGa<sub>N</sub>由于其薄膜需要极高温生长并且难以外延成膜。Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>禁带宽度约为4.9eV,对应的波长为253nm,正好位于日盲区;而且生长工艺相对简单,是一种构建日盲紫外APD的理想材料。

[0004] Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>具有较大的击穿电场强度8MV/cm,达到Si的20多倍,也相当于宽禁带半导体SiC和Ga<sub>N</sub>的两倍以上。在相同的耐压下比较时,Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>制造的单极元件,其导通电阻理论上可以降至使用SiC 材料的1/10,使用Ga<sub>N</sub>材料的1/3。除了耐高压特性外,Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>还具有一个非常重要的特性就是低功耗。作为衡量低能量损失性的“巴利优值”,其公式为 $\epsilon\mu E_b^3$ (其中 $\epsilon$ 为介电常数, $\mu$ 为迁移率, $E_b$ 为电场强度)。根据公式可知,巴利优值与击穿电场强度的3次方成正比,同时与迁移率的1次方成正比,计算可得巴利优值为3443(Si的值为单位1),相对较大,是常见的SiC(巴利优值为340)的10倍,是Ga<sub>N</sub>(巴利优值为870)的4倍。基于Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>的耐高压和低功耗的特点,使其在高温、高频、大功率晶体管有着广泛的应用前景。然而在制备氧化镓基场效应晶体管时,Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>沟道薄膜与异质的高阻、高K电介质之间和Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>沟道薄膜与异质衬底之间容易形成复杂的界面,造成泄漏电流过大、电场分布不均匀、高电场强度下电学性能不稳定等问题。需要一种高阻、高K与Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>同质的界面钝化层来降低沟道薄膜与电介质之

间的界面态密度,提高器件的性能;和一种组分、晶格常数渐变的缓冲层提高Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>异质外延薄膜的质量,提高薄膜的电学性能及其稳定性。

### 发明内容

[0005] 本发明的目的在于提供一种带隙纵向梯度分布Al和Fe共掺杂 Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>薄膜的制法,所述制法以α-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>单晶为底衬,采用激光分子束外延交替沉积Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>和Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>超薄层,再进行退火处理后,即得。

[0006] 本发明以Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>作为辅助剂,与Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>形成共熔物,辅助Al在Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>薄膜中扩散。本发明制备过程简单、工艺可控性强、易操作、重复性好、可大面积制备,所获得的薄膜中Al的组分纵向梯度分布,薄膜致密、表面均匀。

[0007] 所使用的底衬的大小不限,例如10mm×10mm。

[0008] 其中,所述底衬在使用前,预先进行深度清洁。例如:将底衬依次浸泡到丙酮、乙醇、去离子水中各超声15~25分钟后,取出再用去离子水充分冲洗,干燥,待用;

[0009] 本发明所述衬底为α-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>单晶衬底,可以为(0001)面即c面(适用于β-和ε-Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>薄膜的生长),也可以是(001)面即m面(适用于α-Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>薄膜的生长);

[0010] 发明进一步提出的,所述Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>和Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>超薄层相互交替沉积,具体为:在α-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>单晶底衬上,先沉积一层Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>超薄层,再沉积一层Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>超薄层;循环交替沉积;并且在沉积过程中,保持稳定和较高的衬底温度;

[0011] 发明进一步提出的,所述Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>和Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>超薄层的总厚度不高于 500nm。

[0012] 为了使Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>与Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>能够充分融合,且得到适量的用量比,以及Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>与Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>的配比适用于Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>的融合;本发明在调节Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>和Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>超薄层的总厚度的基础上,为了调节带隙,进一步优选沉积所述Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>超薄层和所述Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>超薄层的脉冲次数比为1:1~20:1,优选为2:1~10:1;

[0013] 其中,沉积所述Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>超薄层的激光脉冲数(N)为80~300;优选为100~200;更优选为100。

[0014] 沉积所述Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>超薄层激光脉冲数为20~100,优选为20~30,更优选为20。

[0015] 本发明可采用相同频率的脉冲次数比,例如采用200/20、100/30 的脉冲次数比循环交替沉积Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>和Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>超薄层;也可以采用不同频率的脉冲次数比进行沉积,例如采用200/40、200/80交替循环沉积。

[0016] 尤其是依次按10:1、10:2、10:3、10:4、10:5的脉冲次数比循环 20个周期交替沉积所述Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>和Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>超薄层,所获得Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>薄膜的综合性能最优。

[0017] 其中,沉积Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>和Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>超薄层的所述激光分子束外延的具体条件为:背底真空为 $1 \times 10^{-4}$ ~ $1 \times 10^{-6}$ Pa Pa,氧压为 $1 \times 10^{-1}$ ~ $5 \times 10^{-1}$ Pa、衬底温度为500~750℃,激光能量为100~400mJ,激光脉冲频率为1~3 Hz,靶材与基板之间的间距为4~5.5cm;

[0018] 优选地,沉积Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>和Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>超薄层的所述激光分子束外延的具体条件为:背底真空为 $1 \times 10^{-5}$ ~ $1 \times 10^{-6}$ Pa,氧压为 $1 \times 10^{-1}$ ~ $5 \times 10^{-1}$ Pa、衬底温度为700~750℃,激光能量为350~400mJ,激光脉冲频率为 1~2Hz,靶材与基板之间的间距为4~5cm;

[0019] 本发明为获得适宜的厚度,采用上述条件和脉冲次数,其交替沉积的循环周期为80~120个。

[0020] 本发明进一步提出的,包括在生长Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>和Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>超薄层后的原位退火,以及不低于800℃温度的高温退火。

[0021] 所述Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>和Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>超薄层通过高温沉积后,以使超薄层间相互扩散、融合;为了进一步促进Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>和Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>间的融合,采用原位退火处理;

[0022] 其中,所述原位退火的温度为750~1000℃,时间为30~60min;

[0023] 优选地,所述原位退火的温度为750~800℃,时间为30~35min。

[0024] Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>和Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>充分融合后,所获得的薄膜自然冷却后,进一步采用高温退火;所述高温退火的温度为800℃以上,

[0025] 优选的,所述高温退火的温度为800~1100℃,以5~8℃/min的速率上升至退火温度,保持退火温度300min以上。

[0026] 其中,所述退火的温度会直接影响Al<sup>3+</sup>的扩散速度,以及扩散深度;当所述高温退火的温度为950~1050℃,以5.5~6.5℃/min的速率上升至退火温度时,保持退火温度350~400min,Al<sup>3+</sup>的扩散效果更优。

[0027] 本发明通过条件的优化,所制得的薄膜性能优越,适用面广泛。尤其是控制是在Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>超薄层的激光脉冲数的调节以及高温退火温度的控制,可以实现对薄膜带隙和晶格常数分布的综合调制,获得带隙分布相同但晶格常数分布不同的薄膜,也可以获得晶格常数分布相同但带隙分布不同的薄膜,而且这些薄膜Al、Fe组分的差异也决定了电学性能上的差异,可以满足不用光电子器件设计与制备的需要。

[0028] 本发明提供一种优选方案,所述带隙纵向梯度分布Al和Fe共掺杂β-Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>薄膜的制法,包括以下步骤:

[0029] 1) 以α-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>晶体为底衬,在所述底衬上采用激光分子束外延,按脉冲次数比为2:1~10:1的比例交替沉积Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>和Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>超薄层;

[0030] 其中,沉积所述Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>超薄层的脉冲次数为100~1200;

[0031] 其中,激光分子束外延的具体条件为:背底真空为 $1 \times 10^{-5} \sim 1 \times 10^{-6}$  Pa、衬底温度为700~750℃、氧压为 $1 \times 10^{-1} \sim 5 \times 10^{-1}$  Pa、激光能量为350~400mJ、激光脉冲频率为1~2Hz、靶材与基板之间的间距为4~5 cm;

[0032] 2) 沉积Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>和Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>超薄层后,在750~800℃的温度下,原位退火30~35min;

[0033] 3) 在干燥环境下,将原位退火处理后的薄膜,以5.5~6.5℃/min的速率上升至950~1050℃的退火温度,保持退火温度350~400min,即得。

[0034] 采用上述方法制得的带隙纵向梯度分布Al和Fe共掺杂Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>薄膜性能优越。可制备Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>薄膜基日盲紫外APD的倍增区。所获得的APD具有“软击穿”的特征;与均匀带隙二极管相比,其增益稳定性更强,外延材料内部具有组分梯度,能够对电子和空穴碰撞离化的阈值能量产生影响,使得电子与空穴的碰撞离化系数比进一步加大,有利于雪崩倍增噪声的降低,并使电场增强,获得更高的雪崩增益和更快的响应速度。

[0035] 本发明所制得的薄膜用于制备普通结构的日盲探测时,通过制备条件的控制可以对吸收边进行调制,实现针对更短波长日盲光探测,还可以应用于更短波长的日盲紫外光发光二极管和日盲紫外光激光二极管。

[0036] 本发明所制得薄膜主要是通过Al组分纵向梯度分布实现的,由于Al的掺杂其绝缘性和K值都高于Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>沟道薄膜,这种薄膜用于场效应晶体管制备时可以作为Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>沟道薄

膜与电介质之间的钝化层；

[0037] 本发明以蓝宝石为底衬制得薄膜，用于制备基于蓝宝石衬底的 Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>薄膜场效应晶体管是，其可作为Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>薄膜沟道和蓝宝石衬底之间的缓冲层。而且，带隙更大的材料，击穿电场强度也越大，其在功率元器件中性能也越好；本发明制得的薄膜作为Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>基功率晶体管的沟道薄膜可进一步提高器件的耐压特性，同时降低能耗。

[0038] 本发明至少具有以下有益效果：

[0039] 1) 本发明采用Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>作为辅助剂，有效提高了Al<sup>3+</sup>在Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>薄膜中的扩散效果。

[0040] 2) 本发明所制得的薄膜中，Al组分纵向梯度分布是通过单边 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>源热扩散的形式实现，获得的薄膜带隙在纵向上能梯度分布，而在横向上却能保持一致性。

[0041] 3) 本发明工艺灵活，调节手段多样，可以实现对薄膜带隙分布、电学性能、晶体结构的联合调制，从而满足不同光电子器件设计和制备的需要。

[0042] 4) 本发明操作步骤简单、成本低廉，可大面积制备、重复性和开发周期短；制备的薄膜表面均匀、成膜致密、结晶性好。

[0043] (5) 本发明所制得的薄膜可以广泛应用于AlGa<sub>N</sub>，ZnAlO等宽禁带半导体薄膜的生长；为以“能带工程”，“电学和光学性能可裁剪”，“高耐压和低功耗”为特征的宽禁带半导体光电子器件提供新的途径。

## 附图说明

[0044] 图1为实施例1制法的流程图；

[0045] 图2为实施例1制得的带隙纵向梯度分布的Al和Fe共掺杂Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>薄膜的表面形貌SEM图；

[0046] 图3为实施例1制得的带隙纵向梯度分布的Al和Fe共掺杂Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>薄膜的XRD图；

[0047] 图4为实施例1制得不同Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>与Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>超薄层的激光脉冲次数比的带隙纵向梯度分布的Al和Fe共掺杂Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>薄膜的最低带隙；

[0048] 图5为实施例1制得的带隙纵向梯度分布的Al和Fe共掺杂Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>薄膜中Ga、Al、Fe元素的强度随薄膜深度的变化图；

[0049] 图6为实施例2和实施例3~5以及对比例1制得的带隙纵向梯度分布的Al和Fe共掺杂Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>薄膜的XRD图。

[0050] 图7为实施例2和实施例3~5以及对比例1制得的带隙纵向梯度分布的Al和Fe共掺杂Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>薄膜的最低带隙。

## 具体实施方式

[0051] 以下实施例用于说明本发明，但不用来限制本发明的范围。

[0052] 如下实施例采用的c面蓝宝石购置于浙江水晶光电科技股份有限公司，大小为10mm×10mm、厚度为0.65mm。

[0053] c面蓝宝石使用前，预先进行深度清洁；具体为：将底衬依次浸泡到丙酮、乙醇、去离子水中各超声20分钟后，取出再用去离子水充分冲洗，再用干燥的氩气吹干，待用。

[0054] 实施例1

[0055] 本实施例提供一种带隙纵向梯度分布Al和Fe共掺杂Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>薄膜的制法，包括以下步

骤:

[0056] 1) 以洁净后的c面蓝宝石为底衬,采用激光分子束外延先在其底衬上沉积一层Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>超薄层,再沉积一层Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>超薄层,沉积Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>与Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>超薄层的激光脉冲次数选取:200/20,200/40,200/60,200/80,200/100;交替生长,如此循环20次;

[0057] 其中,采用激光分子束外延的具体条件为:在背底真空为 $1 \times 10^{-6}$  Pa、衬底温度为750℃、氧压为 $5 \times 10^{-1}$ Pa、激光能量为400mJ、激光脉冲频率为1Hz、靶材与基板之间的间距为4.5cm;

[0058] 2) 沉积Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>和Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>超薄层后,在750℃的温度下,原位退火 30min;

[0059] 3) 待原位退火处理后的薄膜自然冷却后,在干燥环境下,以6℃ /min的速率上升至1000℃的退火温度,保持退火温度6h,即得。

[0060] 图2为本实施例制得的带隙纵向梯度分布的Al和Fe共掺杂Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>薄膜的表面形貌SEM图;从图中可知:薄膜表面平整、光滑。

[0061] 图3为本实施例制得的带隙纵向梯度分布的Al和Fe共掺杂Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>薄膜的XRD图;从图中可知:薄膜具有很强的结晶峰,结晶质量良好。

[0062] 图4为本实施例制得的带隙纵向梯度分布的Al和Fe共掺杂Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>薄膜的UV-Vis紫外可见吸收光谱及其带隙;从图中可知:制得薄膜的最低带隙受Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>与Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>超薄层的激光脉冲次数比的影响,其比值越大薄膜的最低带隙越大。

[0063] 图5为本实施例制得的带隙纵向梯度分布的Al和Fe共掺杂Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>薄膜中Ga、Al、Fe元素的强度随薄膜深度的变化图;从图中可知:在靠近衬底的位置,薄膜中Al、Fe、Ga元素在纵向上呈梯度分布;越靠近衬底Al的组分越高,薄膜具有更大的带隙。

[0064] 实施例2

[0065] 本实施例提供一种带隙纵向梯度分布Al和Fe共掺杂Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>薄膜的制法,包括以下步骤:

[0066] 1) 以洁净后的c面蓝宝石为底衬,采用激光分子束外延先在其底衬上沉积一层Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>超薄层,再沉积一层Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>超薄层,沉积Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>与Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>超薄层的激光脉冲次数选取:100/30交替生长,如此循环100 个周期;

[0067] 其中,采用激光分子束外延的具体条件为:在背底真空为 $1 \times 10^{-6}$  Pa、衬底温度为750℃、氧压为 $5 \times 10^{-1}$ Pa、激光能量为400mJ、激光脉冲频率为1Hz、靶材与基板之间的间距为4.5cm;

[0068] 2) 沉积Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>和Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>超薄层后,在750℃的温度下,原位退火 30min;

[0069] 3) 待原位退火处理后的薄膜自然冷却后,在干燥环境下,以6℃ /min的速率上升至1000℃的退火温度,保持退火温度6h,即得。

[0070] 实施例3

[0071] 本实施例提供一种带隙纵向梯度分布Al和Fe共掺杂Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>薄膜的制法,与实施例2的区别仅在于,步骤3)中退火温度为800℃。

[0072] 实施例4

[0073] 本实施例提供一种带隙纵向梯度分布Al和Fe共掺杂Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>薄膜的制法,与实施例2的区别仅在于,步骤3)中退火温度为900℃。

[0074] 实施例5

[0075] 本实施例提供一种带隙纵向梯度分布Al和Fe共掺杂Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>薄膜的制法,与实施例2的区别仅在于,步骤3)中退火温度为1100℃。

[0076] 对比例1

[0077] 本对比例提供一种带隙纵向梯度分布Al和Fe共掺杂Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>薄膜的制法,与实施例2的区别仅在于,不进行步骤3)高温退火处理。

[0078] 实验例1

[0079] 将实施例2和实施例3~5以及对比例1制得Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>薄膜进行对比,图6为制得薄膜的XRD图,从图中可以看出:退火温度越高薄膜具有更好的结晶质量,但过高的退火温度(高于1000℃)会使得薄膜中晶体结构出现相分离;

[0080] 图7为制得薄膜的最低带隙,从图中可以看出:退火温度越高薄膜具有更大的最低带隙,表明更高的退火温度更有利于衬底中Al的扩散。

[0081] 虽然,上文中已经用一般性说明、具体实施方式及试验,对本发明作了详尽的描述,但在本发明基础上,可以对之作一些修改或改进,这对本领域技术人员而言是显而易见的。因此,在不偏离本发明精神的基础上所做的这些修改或改进,均属于本发明要求保护的

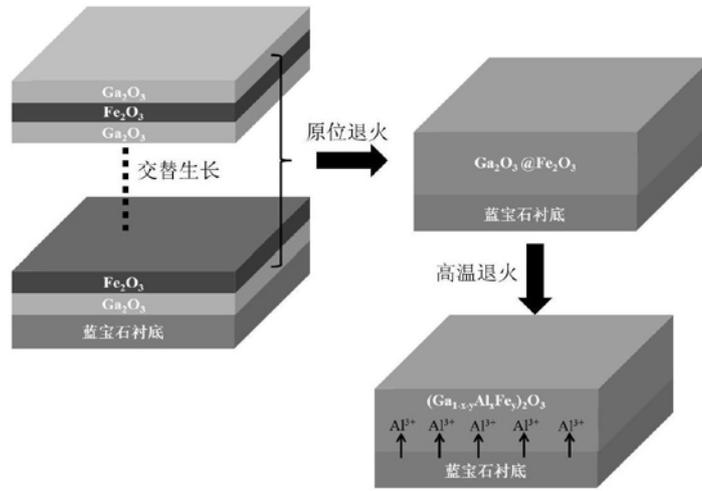


图1

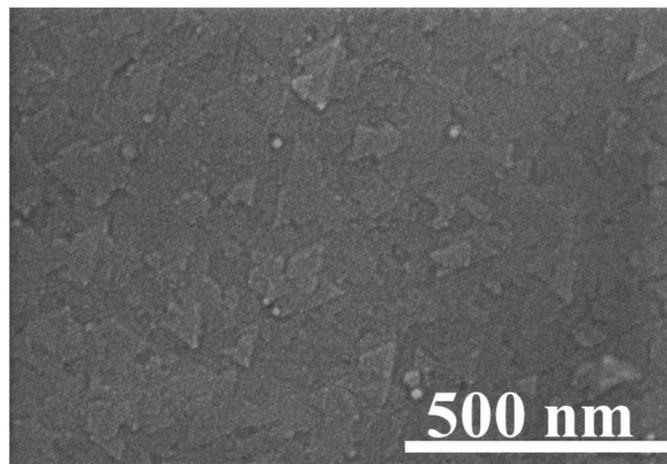


图2

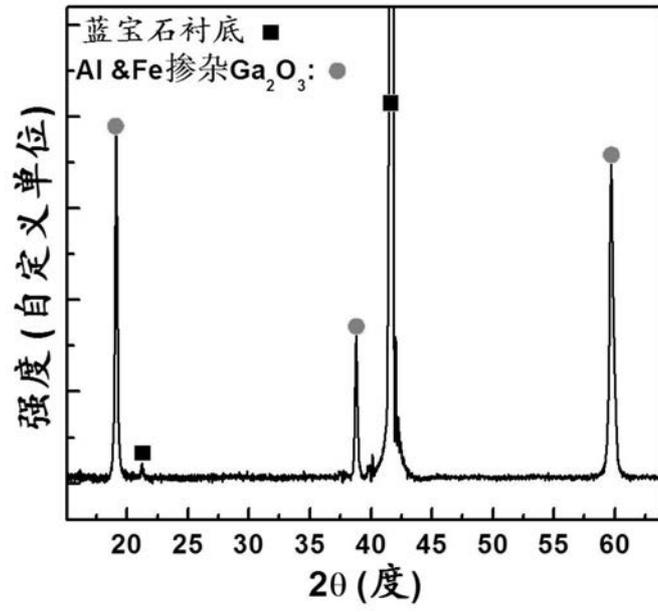


图3

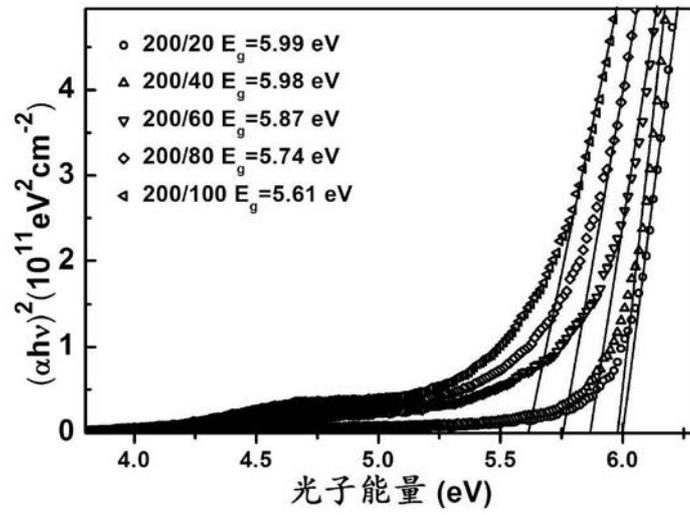


图4

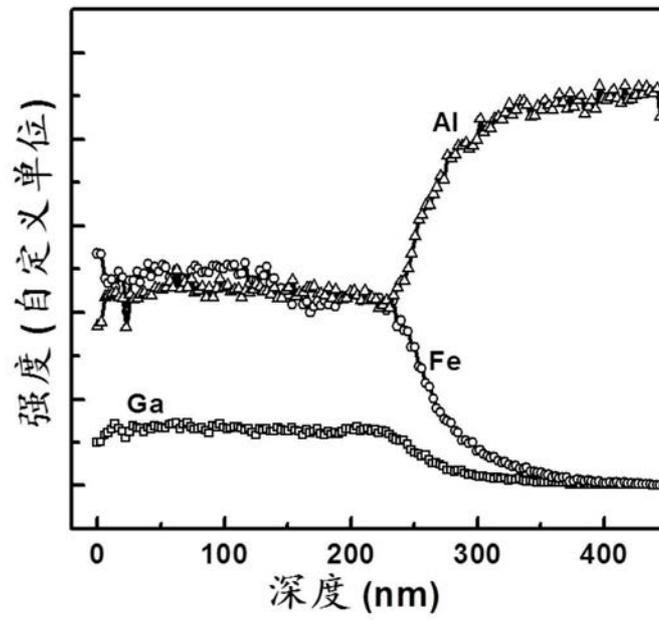


图5

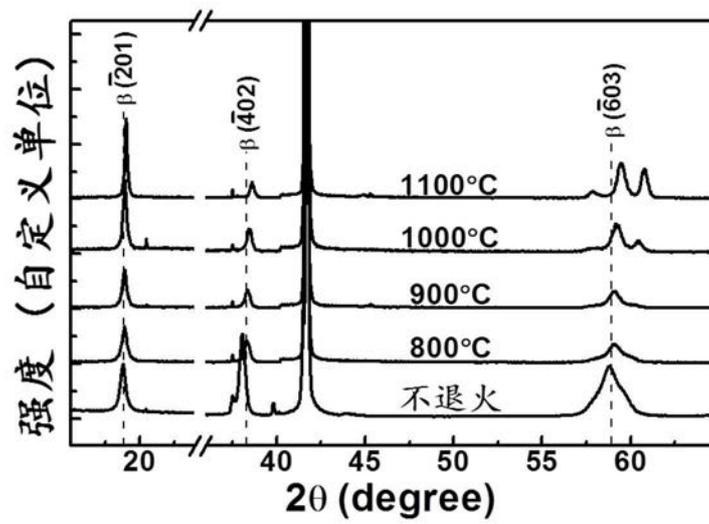


图6

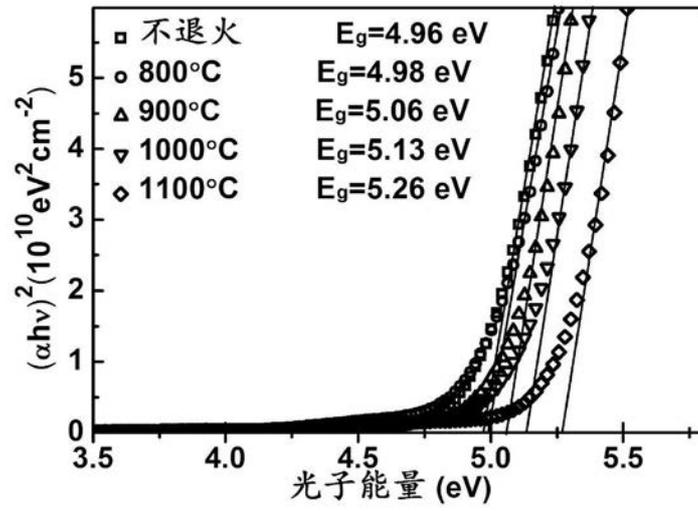


图7