



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103839976 A

(43) 申请公布日 2014. 06. 04

(21) 申请号 201210491141. 9

(22) 申请日 2012. 11. 27

(71) 申请人 中国科学院微电子研究所

地址 100083 北京市朝阳区北土城西路 3 号

(72) 发明人 王盛凯 刘洪刚 孙兵 赵威

(74) 专利代理机构 中科专利商标代理有限责任

公司 11021

代理人 任岩

(51) Int. Cl.

H01L 29/06(2006. 01)

H01L 29/20(2006. 01)

H01L 21/02(2006. 01)

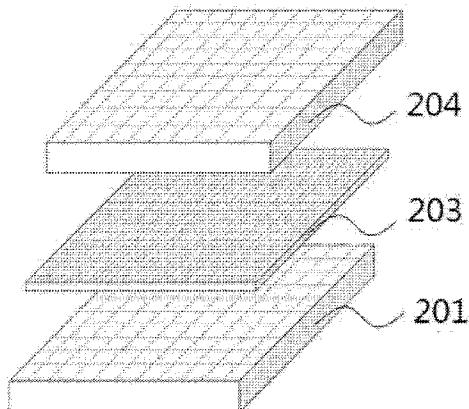
权利要求书1页 说明书4页 附图5页

(54) 发明名称

一种硅基绝缘体上砷化镓衬底结构及其制备方法

(57) 摘要

本发明公开了一种硅基绝缘体上砷化镓衬底结构及其制备方法，该硅基绝缘体上砷化镓衬底结构包括：硅衬底；形成于该硅衬底之上的结晶氧化铍层；以及形成于该结晶氧化铍层之上的结晶砷化镓层。本发明提供的硅基绝缘体上砷化镓衬底结构及其制备方法，通过在硅衬底表面沉积结晶氧化铍层，再在结晶氧化铍层表面上沉积单晶砷化镓层，从而实现了方便地在绝缘体上制备极薄砷化镓层，具有可大面积生长、散热性能好、衬底绝缘性能好、以及制备成本低廉等优点，可以方便在大尺寸晶圆上制备全耗尽砷化镓基器件。



1. 一种硅基绝缘体上砷化镓衬底结构,其特征在于,包括:

硅衬底;

形成于该硅衬底之上的结晶氧化铍层;以及

形成于该结晶氧化铍层之上的结晶砷化镓层。

2. 根据权利要求 1 所述的硅基绝缘体上砷化镓衬底结构,其特征在于,所述硅衬底为单晶硅(100)衬底、单晶硅(110)衬底或单晶硅(111)衬底。

3. 根据权利要求 1 所述的硅基绝缘体上砷化镓衬底结构,其特征在于,所述结晶砷化镓层为单晶砷化镓层,该单晶砷化镓层的晶面为砷化镓(111)、砷化镓(110)或砷化镓(100)。

4. 根据权利要求 1 所述的硅基绝缘体上砷化镓衬底结构,其特征在于,所述结晶氧化铍层的晶体结构为六方相单晶。

5. 一种硅基绝缘体上砷化镓衬底结构的制备方法,其特征在于,包括:

将表面清洁的单晶硅衬底置于真空腔体内;

对所述单晶硅衬底加热,并在所述单晶硅衬底上沉积金属铍层;

原位对所述金属铍层进行氧化处理,形成结晶氧化铍层;以及

在所述结晶氧化铍层上高温原位沉积单晶砷化镓层,形成结晶砷化镓层。

6. 根据权利要求 5 所述的硅基绝缘体上砷化镓衬底结构的制备方法,其特征在于,所述对所述单晶硅衬底加热,并在所述单晶硅衬底上沉积金属铍层,包括:

将所述单晶硅衬底加热至 400 ~ 900°C,获得重构表面的单晶硅衬底;

将所述重构表面的单晶硅衬底降温至 20 ~ 500°C,在所述单晶硅衬底表面上沉积金属铍层。

7. 根据权利要求 6 所述的硅基绝缘体上砷化镓衬底结构的制备方法,其特征在于,所述沉积金属铍层的方法为分子束外延法、物理沉积法或化学沉积法;所述金属铍层的厚度为 3~50 Å。

8. 根据权利要求 5 所述的硅基绝缘体上砷化镓衬底结构的制备方法,其特征在于,所述原位对所述金属铍层进行氧化处理,形成结晶氧化铍层,包括:

在 20 ~ 500°C 的温度条件下,采用氧等离子体或者氧自由基原位对所述金属铍层进行氧化处理,形成结晶氧化铍层。

9. 根据权利要求 5 所述的硅基绝缘体上砷化镓衬底结构的制备方法,其特征在于,所述在所述结晶氧化铍层上高温原位沉积单晶砷化镓层,形成结晶砷化镓层,包括:

将所述单晶硅衬底加热至 200 ~ 800°C,采用分子束外延法、物理沉积法或化学沉积法在所述结晶氧化铍层上沉积单晶砷化镓层,形成结晶砷化镓层。

10. 根据权利要求 9 所述的硅基绝缘体上砷化镓衬底结构的制备方法,其特征在于,当采用所述分子束外延法沉积单晶砷化镓层时,所述单晶砷化镓层的厚度通过控制外延时间的长短来自由调整;所述单晶砷化镓层的最小厚度为 0.5nm。

一种硅基绝缘体上砷化镓衬底结构及其制备方法

技术领域

[0001] 本发明涉及半导体集成技术领域,特别涉及一种硅基绝缘体上砷化镓衬底结构及其制备方法。

背景技术

[0002] 随着半导体集成电路的快速发展,为了获得更高的性能,器件单元尺寸不断减小。集成电路即将步入“后 22 纳米”时代。从材料方面来说,采用高迁移率材料替代传统硅材料作为衬底材料将是半导体集成技术的重要发展方向。由于砷化镓 (GaAs) 为代表的 III-V 族材料的电子迁移率明显高于硅材料,因此砷化镓平台被认为有望取代硅材料以适应“后 22 纳米”以下逻辑器件的需求。对于“后 22 纳米”技术节点来说,全耗尽型绝缘体上砷化镓技术 (GaAsOI) 被认为是进一步提升器件性能,减少静态功耗的重要进展。为了实现全耗尽,一般需要获得比较薄的砷化镓层,而传统 GaAsOI 衬底的制备方法难于获得高质量的极薄砷化镓层。传统 GaAsOI 衬底的制备方法包括砷化镓凝聚技术、智能切割技术、以及快速热生长技术等。对于砷化镓凝聚技术而言,高纯度的砷化镓层很难获得;智能切割技术受到尺寸的限制难以大规模生长,且砷化镓层的厚度较大,均匀性也较差;快速热生长技术所形成的砷化镓层的均匀性较差,具有梯度性。

发明内容

[0003] (一) 要解决的技术问题

[0004] 为了解决传统 GaAsOI 衬底的制备方法难于获得高质量的极薄砷化镓层的问题,本发明提供了一种硅基绝缘体上砷化镓衬底结构及其制备方法。

[0005] (二) 技术方案

[0006] 为达到上述目的,本发明提供了一种硅基绝缘体上砷化镓衬底结构,包括:硅衬底;形成于该硅衬底之上的结晶氧化铍层;以及形成于该结晶氧化铍层之上的结晶砷化镓层。

[0007] 上述方案中,所述硅衬底为单晶硅 (100) 衬底、单晶硅 (110) 衬底或单晶硅 (111) 衬底。

[0008] 上述方案中,所述结晶砷化镓层为单晶砷化镓层,该单晶砷化镓层的晶面为砷化镓 (111)、砷化镓 (110) 或砷化镓 (100)。

[0009] 上述方案中,所述结晶氧化铍层的晶体结构为六方相单晶。

[0010] 为达到上述目的,本发明还提供了一种硅基绝缘体上砷化镓衬底结构的制备方法,包括:将表面清洁的单晶硅衬底置于真空腔体内;对所述单晶硅衬底加热,并在所述单晶硅衬底上沉积金属铍层;原位对所述金属铍层进行氧化处理,形成结晶氧化铍层;以及在所述结晶氧化铍层上高温原位沉积单晶砷化镓层,形成结晶砷化镓层。

[0011] 上述方案中,所述对所述单晶硅衬底加热,并在所述单晶硅衬底上沉积金属铍层,包括:将所述单晶硅衬底加热至 400 ~ 900℃,获得重构表面的单晶硅衬底;将所述重构表

面的单晶硅衬底降温至 $20 \sim 500^{\circ}\text{C}$ ，在所述单晶硅衬底表面上沉积金属铍层。

[0012] 上述方案中，所述沉积金属铍层的方法为分子束外延法、物理沉积法或化学沉积法；所述金属铍层的厚度为 $3\text{~}50 \text{ \AA}$ 。

[0013] 上述方案中，所述原位对所述金属铍层进行氧化处理，形成结晶氧化铍层，包括：在 $20 \sim 500^{\circ}\text{C}$ 的温度条件下，采用氧等离子体或者氧自由基原位对所述金属铍层进行氧化处理，形成结晶氧化铍层。

[0014] 上述方案中，所述在所述结晶氧化铍层上高温原位沉积单晶砷化镓层，形成结晶砷化镓层，包括：将所述单晶硅衬底加热至 $200 \sim 800^{\circ}\text{C}$ ，采用分子束外延法、物理沉积法或化学沉积法在所述结晶氧化铍层上沉积单晶砷化镓层，形成结晶砷化镓层。

[0015] 上述方案中，当采用所述分子束外延法沉积单晶砷化镓层时，所述单晶砷化镓层的厚度通过控制外延时间的长短来自由调整；所述单晶砷化镓层的最小厚度为 0.5nm 。

[0016] (三) 有益效果

[0017] 本发明提供的硅基绝缘体上砷化镓衬底结构及其制备方法，通过在硅衬底表面沉积结晶氧化铍层，再在结晶氧化铍层表面上沉积单晶砷化镓层，从而实现了方便地在绝缘体上制备极薄砷化镓层，具有可大面积生长、散热性能好、衬底绝缘性能好、以及制备成本低廉等优点，可以方便在大尺寸晶圆上制备全耗尽砷化镓基器件。

附图说明

[0018] 图 1 是依照本发明实施例的硅基绝缘体上砷化镓衬底结构的立体结构示意图；

[0019] 图 2 是依照本发明实施例的硅基绝缘体上砷化镓衬底结构的平面结构示意图；

[0020] 图 3 是依照本发明实施例的硅基绝缘体上砷化镓衬底结构的制备方法流程图；

[0021] 图 4 是依照本发明实施例在单晶硅衬底上生长金属铍层后的立体结构示意图；

[0022] 图 5 是依照本发明实施例在单晶硅衬底上生长金属铍层后的平面结构示意图；

[0023] 图 6 是依照本发明实施例在单晶硅衬底上氧化金属铍得到结晶氧化铍层的立体结构示意图；

[0024] 图 7 是依照本发明实施例在单晶硅衬底上氧化金属铍得到结晶氧化铍层的平面结构示意图；

[0025] 图 8 是依照本发明实施例单晶硅 (111) 衬底表面加热至 500°C 形成的 Si (111) (1×1) 的反射式高能电子衍射图；

[0026] 图 9 是依照本发明实施例单晶硅 (111) 衬底表面 200°C 下沉积 3nm 金属铍层的反射式高能电子衍射图；

[0027] 图 10 是依照本发明实施例单晶硅 (111) 衬底表面 200°C 下氧等离子体氧化得到的氧化铍层的反射式高能电子衍射图。

具体实施方式

[0028] 为使本发明的目的、技术方案和优点更加清楚明白，以下结合具体实施例，并参照附图，对本发明进一步详细说明。

[0029] 参见图 1 和图 2，本发明实施例提供了一种硅基绝缘体上砷化镓衬底结构，该砷化镓衬底结构包括硅衬底 201、结晶氧化铍层 203 和结晶砷化镓层 204。其中，硅衬底 201 形成

于该砷化镓衬底结构的底部,结晶氧化铍层 203 形成于硅衬底 201 之上,结晶砷化镓层 204 形成于结晶氧化铍层 203 之上。在实际应用中,硅衬底 201 可以为单晶硅 (100) 衬底、单晶硅 (110) 衬底或单晶硅 (111) 衬底;结晶砷化镓层 204 可以为单晶砷化镓层,其晶面可以为砷化镓 (111)、砷化镓 (110) 或砷化镓 (100);结晶氧化铍层 203 为绝缘体模板层,其晶体结构为六方相单晶。在本实施例中,硅衬底 201 为单晶硅 (111) 衬底,结晶氧化铍层 203 为纤锌矿结构的单晶氧化铍层,结晶砷化镓层 204 为砷化镓 (111) 单晶砷化镓层;纤锌矿结构的单晶氧化铍层形成在单晶硅 (111) 衬底之上,砷化镓 (111) 单晶砷化镓层形成在纤锌矿结构的单晶氧化铍层之上。

[0030] 参见图 3,本发明实施例还提供了一种上述硅基绝缘体上砷化镓衬底结构的制备方法,包括如下步骤:

[0031] 步骤 101:对单晶硅衬底表面进行清洁处理;

[0032] 对单晶硅衬底表面进行清洁处理,可采用碱洗或去离子水洗涤等方法,以去除单晶硅衬底表面覆盖的氧化物及其他物质;在实际的清洁过程中,当单晶硅衬底表面覆盖的氧化物厚度小于等于 1nm 时,可以认为单晶硅衬底表面的清洁度已符合技术要求,进而停止清洁处理过程;

[0033] 步骤 102:将经过清洁处理后的单晶硅衬底置于真空腔体内;

[0034] 步骤 103:将单晶硅衬底加热至 400~900°C,获得重构表面的单晶硅衬底;

[0035] 在实际应用中,可以在对单晶硅衬底进行加热的过程中,向真空腔体内通入氢气,以使硅表面的自然氧化物分解,去除硅表面残留的自然氧化物,从而获得更加清洁的重构表面的单晶硅衬底;图 8 示出了单晶硅 (111) 衬底表面加热至 500°C 形成的 Si (111) (1×1) 的反射式高能电子衍射图;

[0036] 步骤 104:将重构表面的单晶硅衬底降温至室温~500°C,在单晶硅衬底表面沉积金属铍层 202;

[0037] 如图 4 和图 5 所示,在室温~500°C 的温度条件下,可以采用分子束外延法在单晶硅衬底表面沉积金属铍层,还可以采用其他的物理或者化学沉积方法在单晶硅衬底表面沉积金属铍层;优选地,本实施例采用分子束外延法在单晶硅衬底表面外延生长金属铍层,单晶硅衬底温度控制在 100~300°C,生长的金属铍层 202 的厚度为 3Å~5nm,沉积时间控制在 10~300 秒,金属铍层的晶体结构为六方相单晶;图 9 示出了单晶硅 (111) 衬底表面 200°C 下沉积 3nm 金属铍层的反射式高能电子衍射图;

[0038] 步骤 105:在室温~500°C 的温度条件下,对金属铍层进行氧化处理,形成结晶氧化铍层;

[0039] 如图 6 和图 7 所示,在室温~500°C 的温度条件下,采用氧等离子体或者氧自由基对金属铍层进行氧化处理,形成结晶氧化铍层;优选地,本实施例采用氧等离子体对金属铍层进行氧化处理,单晶硅衬底温度控制在 100~300°C;氧化时间采用如下方案来控制:从使用反射式高能电子衍射仪观察到清晰的单晶衍射图案开始,直至单晶衍射图案上刚刚出现微弱的非晶衍射环为止;氧化时间之所以采用上述方案来进行控制,其原因在于:当氧化过程持续到刚刚出现微弱的非晶衍射环时,金属铍层刚好被完全氧化,且界面处尚未形成二氧化硅;图 10 示出了单晶硅 (111) 衬底表面 200°C 下氧等离子体氧化得到的氧化铍层的反射式高能电子衍射图;

[0040] 步骤 106 :将单晶硅衬底加热至 200 ~ 800℃,采用分子束外延法或其他的物理或化学沉积法在结晶氧化铍层上沉积单晶砷化镓层,形成结晶砷化镓层;

[0041] 优选地,在 200 ~ 800℃的温度条件下,本实施例采用分子束外延方法在结晶氧化铍层上外延生长单晶砷化镓层,进而形成结晶砷化镓层;单晶砷化镓层的厚度可以通过控制外延时间的长短来自由调整,以便获得极薄的单晶砷化镓层;在实际应用中,本实施例可以通过设置较短的外延时间,获得最小厚度为 0.5nm 的单晶砷化镓层。

[0042] 在具体生产实践中,本实施例提供的制备方法均是在真空条件及原位下进行的;此外,当需要较大的绝缘介质厚度时,可以进行多次沉积金属再氧化的步骤,即重复执行步骤 103 至 105,直至结晶氧化铍层达到目标厚度为止,之后再进行单晶砷化镓层的沉积过程。

[0043] 本发明实施例通过直接在结晶氧化铍层上外延生长单晶砷化镓层,使得砷化镓层厚度容易控制,方便在绝缘体上制备极薄砷化镓层,并且制备成本低廉,可以与大尺寸硅片兼容,砷化镓层厚度一步到位,省去了减薄步骤。绝缘介质散热性好,氧化铍的热导率极高 ($300\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$),与金相似 ($318\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$),可以解决传统绝缘体上砷化镓衬底散热性差的缺点。绝缘性好,氧化铍的禁带宽度理论上可达 10.6eV,是理想的绝缘材料,可有效抑制衬底漏电。

[0044] 以上所述的具体实施例,对本发明的目的、技术方案和有益效果进行了进一步详细说明,所应理解的是,以上所述仅为本发明的具体实施例而已,并不用于限制本发明,凡在本发明的精神和原则之内,所做的任何修改、等同替换、改进等,均应包含在本发明的保护范围之内。

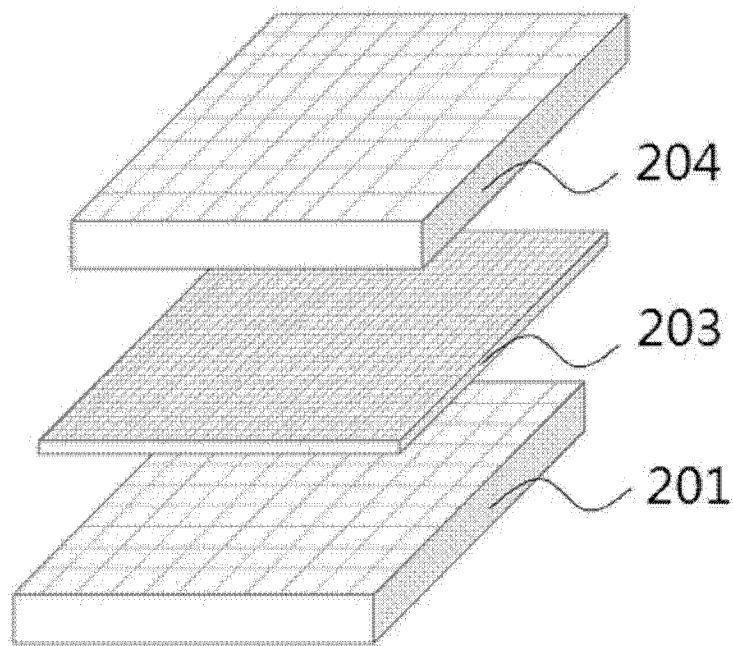


图 1



图 2

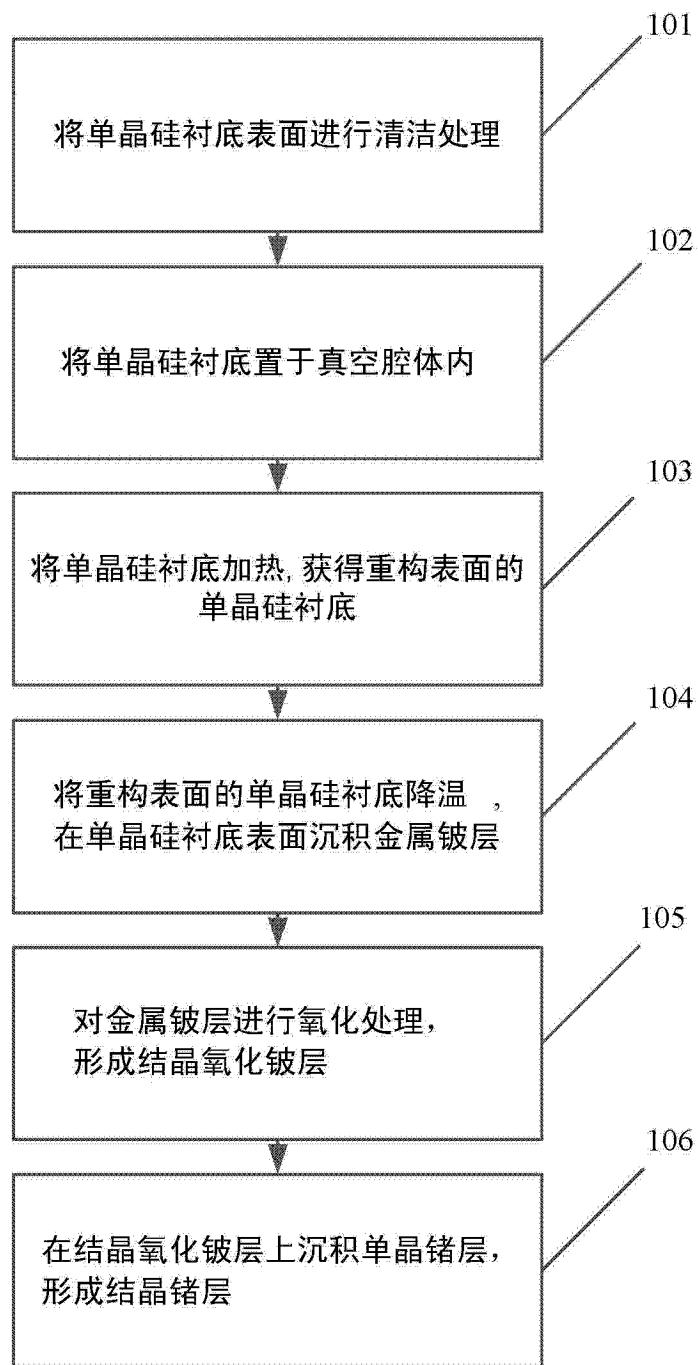


图 3

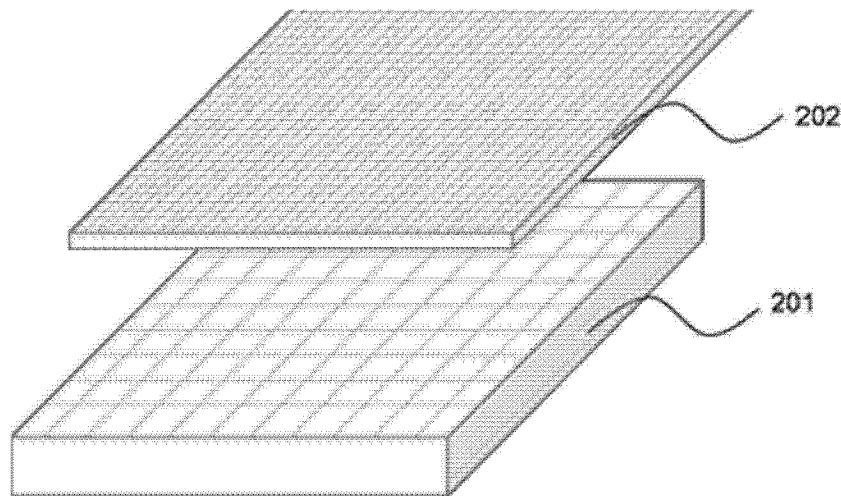


图 4

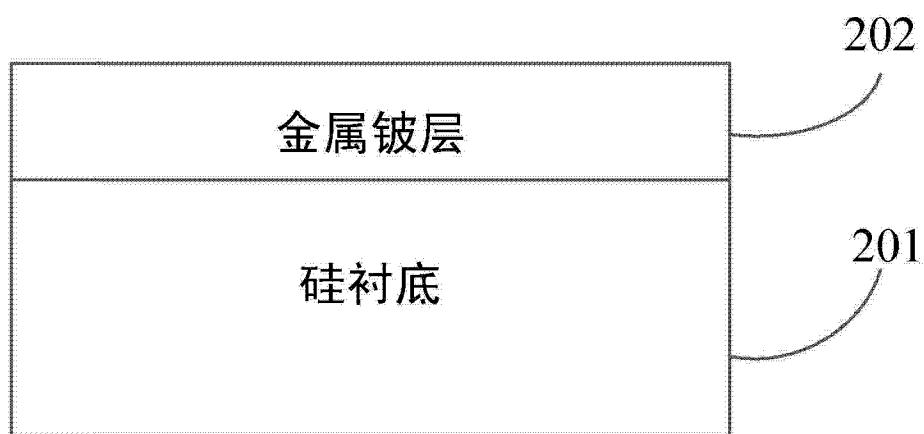


图 5

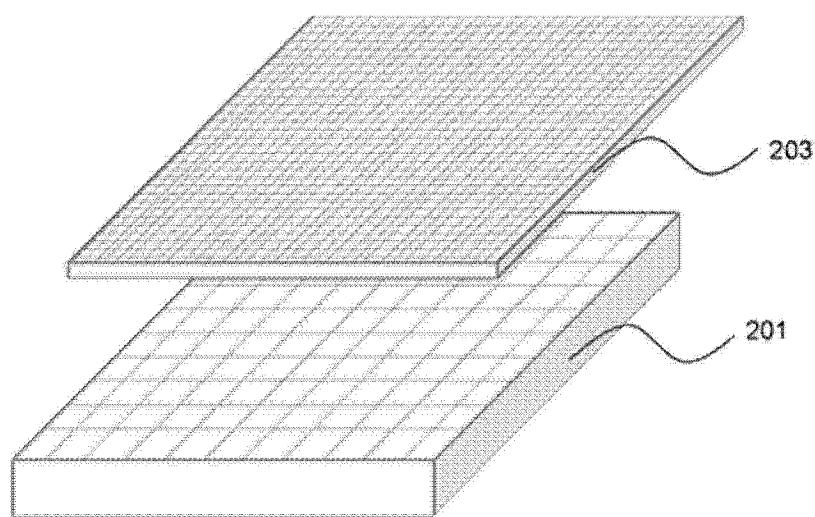


图 6

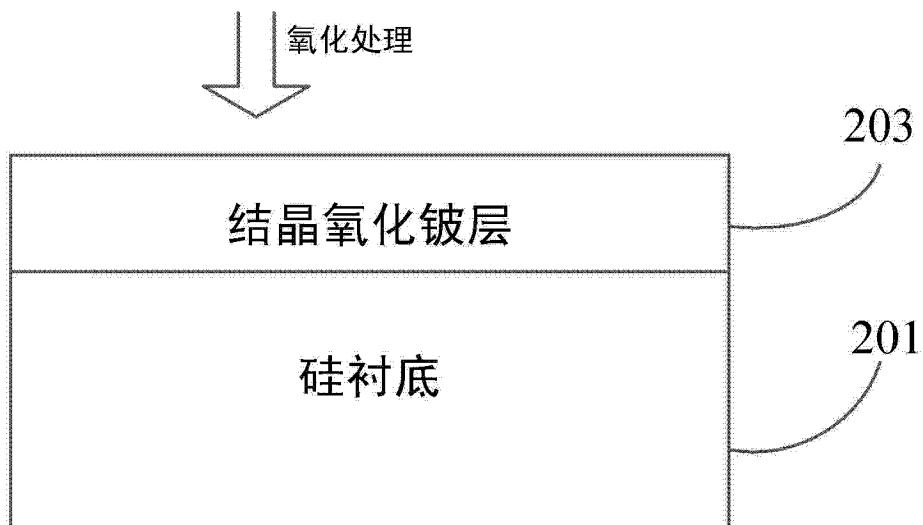


图 7

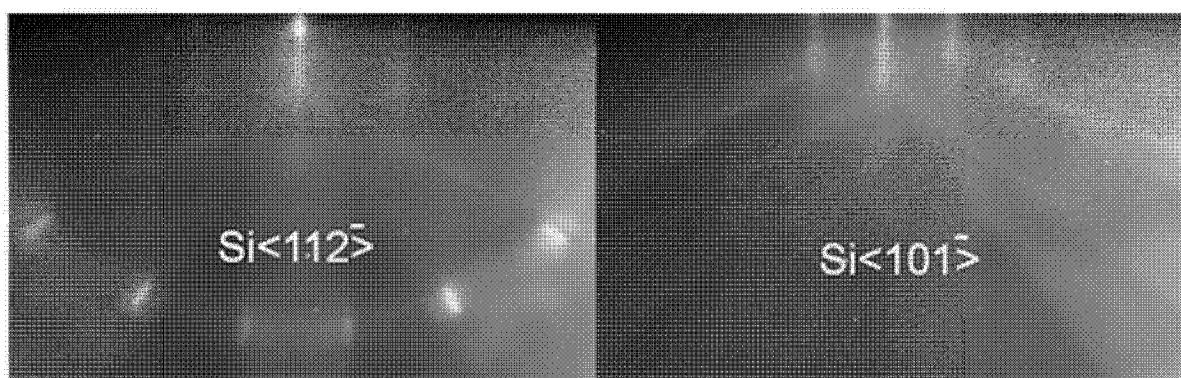


图 8

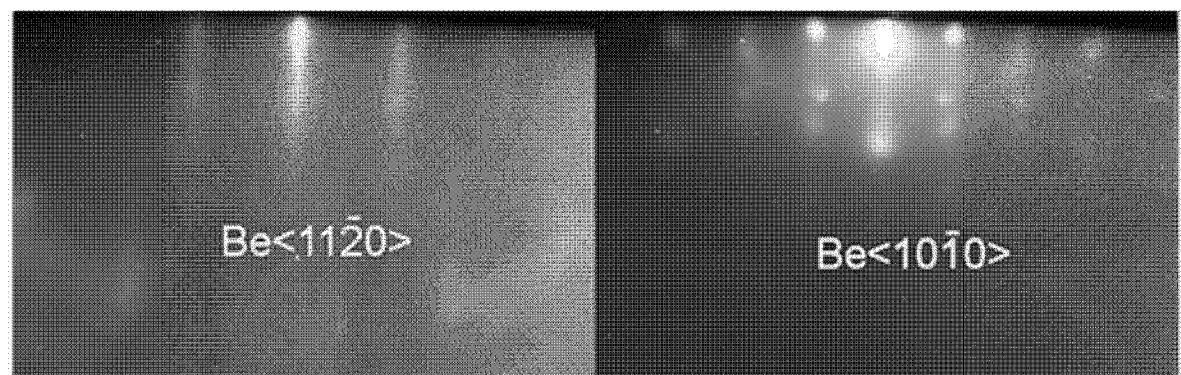


图 9



图 10