



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 110890275 B

(45) 授权公告日 2022.04.12

(21) 申请号 201811043131.2

(22) 申请日 2018.09.07

(65) 同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 110890275 A

(43) 申请公布日 2020.03.17

(73) 专利权人 长鑫存储技术有限公司  
地址 230000 安徽省合肥市经济技术开发  
区翠微路6号海恒大厦630室

(72) 发明人 不公告发明人

(74) 专利代理机构 北京律智知识产权代理有限  
公司 11438

代理人 袁礼君 阚梓瑄

(51) Int. Cl.

H01L 21/28 (2006.01)

H01L 21/67 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 101238588 A, 2008.08.06

WO 0052748 A1, 2000.09.08

审查员 姚丹群

权利要求书1页 说明书6页 附图4页

(54) 发明名称

金属硅化物形成方法

(57) 摘要

本公开提供了一种金属硅化物形成方法,属于半导体技术领域。该方法包括:在硅衬底表面沉积金属层;进行第一热处理,使所述金属层的金属原子扩散到所述硅衬底中,形成第一金属硅化物;进行第二热处理,使所述第一金属硅化物转变为第二金属硅化物;其中,所述第一热处理的温度低于所述第二热处理的温度。本公开可以降低金属硅化物形成过程中金属原子的过度扩散,并改善金属硅化物的厚度均匀性,提高半导体器件的性能与使用寿命。



1. 一种金属硅化物形成方法,其特征在于,包括:  
在硅衬底表面沉积金属层;  
进行第一热处理,使所述金属层的金属原子扩散到所述硅衬底中,形成第一金属硅化物;  
进行第二热处理,使所述第一金属硅化物转变为第二金属硅化物;  
其中,所述第一热处理的温度低于所述第二热处理的温度;所述第二热处理在保温后至少包括第一冷却阶段与第二冷却阶段,所述第一冷却阶段的温度高于所述第二冷却阶段,所述第一冷却阶段的降温速率高于所述第二冷却阶段的降温速率。
2. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,在进行第二热处理后,所述方法还包括:  
通过刻蚀移除未扩散到所述硅衬底中的剩余金属层。
3. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述金属层的成分包括钴、钴合金、钛、钛合金、镍或镍合金,所述硅衬底的材料包括多晶硅。
4. 根据权利要求3所述的方法,其特征在于,所述金属原子为钴原子;所述第一热处理为快速退火工艺,退火温度为300~500℃,保温时间为20~40s;所述第二热处理为快速退火工艺,退火温度为600~800℃,保温时间为10~30s。
5. 根据权利要求4所述的方法,其特征在于,所述进行第二热处理包括:  
从所述第一热处理的退火温度直接升温到所述第二热处理的退火温度,以进行所述第二热处理;  
其中,所述第一热处理的升温速率为5~20℃/s,所述第二热处理的升温速率为5~20℃/s,所述第一热处理的升温速率低于所述第二热处理的升温速率。
6. 根据权利要求4所述的方法,其特征在于,所述第一冷却阶段的降温速率为15~50℃/s,所述第二冷却阶段的降温速率为15~50℃/s。
7. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述第一热处理的保温时间大于所述第二热处理的保温时间。
8. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述第一金属硅化物的金属原子比例高于所述第二金属硅化物的金属原子比例。
9. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述第一热处理与所述第二热处理在稳定性气体的气氛中进行。
10. 根据权利要求9所述的方法,其特征在于,所述稳定性气体包括N<sub>2</sub>、He、Ar、Ne中的至少一种,通入所述稳定性气体的流量为10~30slm,热处理腔室的压力为750~850Torr。

## 金属硅化物形成方法

### 技术领域

[0001] 本公开涉及半导体技术领域,尤其涉及一种金属硅化物形成方法。

### 背景技术

[0002] 在背景技术部分公开的信息仅用于加强对本公开的背景的理解,因此可以包括不构成对本领域普通技术人员已知的现有技术的信息。

[0003] 在半导体制造中,通常采用沉积金属原子加扩散的工艺形成金属硅化物,其中扩散多数是通过快速热处理(RTP)工艺实现的,使硅衬底上方的金属原子在快速热处理中扩散到硅衬底中,二者反应生成金属硅化物。

### 发明内容

[0004] 现有的金属硅化物形成方法中,快速热处理一般采用浸入式退火方式(Soak anneal),由于浸入式退火的温度较高且时间较长,容易导致金属原子的过度扩散,且由于不同区域的组分不同以及金属原子的分布不同,容易导致金属硅化物的厚度不均匀。例如如图1所示为栅极结构中形成金属硅化物的过程,在栅极101上沉积金属层102,金属层102覆盖栅极101的上方与两侧的保护层,在快速热处理时两侧的金属原子无法横向扩散,于是较多的聚集在栅极101上方两侧的位置,导致最终形成的金属硅化物103两侧厚中间薄;又例如如图2所示为接触结构中形成金属硅化物的过程,在硅衬底201上方的氧化层203之间沉积金属层202,在快速热处理时两侧的金属原子受到横向扩散的限制,较多的聚集在中间区域,导致最终形成的金属硅化物204两侧薄中间厚。因此,通过浸入式退火形成金属硅化物的方法不易控制金属硅化物的形状与尺寸,容易导致厚度不均匀,且消耗过多的硅衬底,从而影响半导体器件的性能与使用寿命。

[0005] 本公开的目的在于提供一种金属硅化物形成方法,进而至少在一定程度上克服现有的金属硅化物形成方法容易造成金属过量扩散以及金属硅化物厚度不均的问题。

[0006] 本公开的其他特性和优点将通过下面的详细描述变得显然,或部分地通过本公开的实践而习得。

[0007] 根据本公开的一个方面,提供一种金属硅化物形成方法,包括:在硅衬底表面沉积金属层;进行第一热处理,使所述金属层的金属原子扩散到所述硅衬底中,形成第一金属硅化物;进行第二热处理,使所述第一金属硅化物转变为第二金属硅化物;其中,所述第一热处理的温度低于所述第二热处理的温度。

[0008] 在本公开的一种示例性实施例中,所述金属层的成分包括钴、钴合金、钛、钛合金、镍或镍合金,所述硅衬底的材料包括多晶硅。

[0009] 在本公开的一种示例性实施例中,所述金属原子为钴原子;所述第一热处理为快速退火工艺,退火温度为300~500℃,保温时间为20~40s;所述第二热处理为快速退火工艺,退火温度为600~800℃,保温时间为10~30s。

[0010] 在本公开的一种示例性实施例中,所述进行第二热处理包括:从所述第一热处理

的退火温度直接升温到所述第二热处理的退火温度,以进行所述第二热处理;其中,所述第一热处理的升温速率为 $5\sim 20^{\circ}\text{C}/\text{s}$ ,所述第二热处理的升温速率为 $5\sim 20^{\circ}\text{C}/\text{s}$ ,所述第一热处理的升温速率低于所述第二热处理的升温速率。

[0011] 在本公开的一种示例性实施例中,所述第二热处理在保温后至少包括第一冷却阶段与第二冷却阶段,所述第一冷却阶段的降温速率为 $15\sim 50^{\circ}\text{C}/\text{s}$ ,所述第二冷却阶段的降温速率为 $15\sim 50^{\circ}\text{C}/\text{s}$ ,所述第一冷却阶段的降温速率高于所述第二冷却阶段的降温速率。

[0012] 在本公开的一种示例性实施例中,所述第一热处理的保温时间大于所述第二热处理的保温时间。

[0013] 在本公开的一种示例性实施例中,所述第一金属硅化物的金属原子比例高于所述第二金属硅化物的金属原子比例。

[0014] 在本公开的一种示例性实施例中,所述第一热处理与所述第二热处理在稳定性气体的气氛中进行。

[0015] 在本公开的一种示例性实施例中,所述稳定性气体包括 $\text{N}_2$ 、He、Ar、Ne中的至少一种,通入所述稳定性气体的流量为 $10\sim 30\text{s}1\text{m}$ ,热处理腔室的压力为 $750\sim 850\text{Torr}$ 。

[0016] 本公开的示例性实施例具有以下有益效果:

[0017] 通过对硅衬底表面沉积金属层后,依次进行第一热处理与第二热处理,形成第二金属硅化物,即所需的金属硅化物。一方面,降低了金属原子在热处理过程中扩散的程度,减少其在反应生成金属硅化物的过程中对硅衬底的过度消耗以及对其他区域的影响,能够提高半导体器件的性能与使用寿命;另一方面,改善了金属硅化物的厚度均匀性,进一步改善了半导体器件的电学性能。

[0018] 应当理解的是,以上的一般描述和后文的细节描述仅是示例性和解释性的,并不能限制本公开。

## 附图说明

[0019] 此处的附图被并入说明书中并构成本说明书的一部分,示出了符合本公开的实施例,并与说明书一起用于解释本公开的原理。显而易见地,下面描述中的附图仅仅是本公开的一些实施例,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动的前提下,还可以根据这些附图获得其他的附图。

[0020] 图1示出现有的栅极结构形成金属硅化物的示意图;

[0021] 图2示出现有的接触结构形成金属硅化物的示意图;

[0022] 图3示出本示例性实施例中一种金属硅化物形成方法的流程图;

[0023] 图4至图7示出本示例性实施例中一种金属硅化物形成方法的流程示意图;

[0024] 图8至图10示出本示例性实施例中另一种金属硅化物形成方法的流程示意图;

[0025] 图11示出本示例性实施例中一种热处理过程的示意图。

## 具体实施方式

[0026] 现在将参考附图更全面地描述示例实施方式。然而,示例实施方式能够以多种形式实施,且不应被理解为限于在此阐述的范例;相反,提供这些实施方式使得本公开将更加全面和完整,并将示例实施方式的构思全面地传达给本领域的技术人员。所描述的特征、结

构或特性可以以任何合适的方式结合在一个或更多实施方式中。

[0027] 本公开的示例性实施例首先提供了一种金属硅化物形成方法,参考图3所示,该方法包括以下步骤S110~S130:

[0028] 步骤S110,在硅衬底表面沉积金属层。

[0029] 步骤S120,进行第一热处理,使金属层的金属原子扩散到硅衬底中,形成第一金属硅化物。

[0030] 步骤S130,进行第二热处理,使第一金属硅化物转变为第二金属硅化物。

[0031] 其中,第一热处理的温度低于第二热处理的温度。

[0032] 硅衬底是以硅为主要成分的衬底,例如单晶硅衬底、多晶硅衬底等,其中也可以掺杂一定的离子,例如p型硅衬底、n型硅衬底等。金属层的成分包括钴、钴合金、钛、钛合金、镍、镍合金,或其他电阻率较低的金属硅化物中的金属。金属层沉积在硅衬底上的全部区域,也可以仅沉积在部分区域,例如需要在特定区域形成金属硅化物时,可以首先形成掩膜层,以留出该特定区域,再沉积金属层,并移除掩膜层。沉积金属层可以采用物理气相沉积(PVD),也可以采用溅射或蒸镀等工艺,本实施对此不做特别限定。

[0033] 在沉积金属层后,依次对整个半导体器件进行第一热处理与第二热处理。第一热处理的作用是使金属原子扩散到硅衬底中,并进行初步反应,形成的第一金属硅化物可视为中间产物。第二热处理的作用是使第一金属硅化物继续反应,生成第二金属硅化物,第二金属硅化物即所需的金属硅化物。热处理一般包括升温、保温与冷却三个阶段,在尖峰退火(Spike anneal)等工艺中也可以不包含保温阶段,本实施例中,第一热处理的温度与第二热处理的温度是指各自热处理中的最高温度,例如保温温度或尖峰温度等。

[0034] 在金属与硅发生高温化合反应形成硅化物时,温度越高,硅化物中硅原子的比例越高,本实施例中,第一热处理的温度低于第二热处理的温度,则第一金属硅化物中硅原子的比例低于第二金属硅化物。在进行第二热处理时,第一金属硅化物向第二金属硅化物转变,需要更多的硅原子,因此金属原子不会再发生扩散,转而由硅衬底中的硅原子向第一金属硅化物的区域扩散,与第一金属硅化物继续反应。可见,金属原子的扩散主要发生在第一热处理阶段,而第一热处理的温度低于金属硅化物正常形成所需的温度,且第一热处理时间显著的短于传统的浸入式退火所需的时间,从而降低了金属原子扩散的程度,一定程度上解决了金属原子过度扩散消耗过多硅衬底的问题;并且在形成第一金属硅化物及第二金属硅化物时,用一部分硅原子扩散代替了金属原子扩散的过程,减少了金属硅化物中硅原子反应不充分而出现剩余的情况,提高了金属硅化物层的质量。此外,由于金属原子的扩散主要发生在第一热处理阶段,且该阶段形成第一金属硅化物对于金属原子的需求量较大,可以提高金属层各区域间的扩散均匀性,获得厚度较为均匀的金属硅化物。

[0035] 基于上述说明,在本示例性实施例中,通过对硅衬底表面沉积金属层后,依次进行第一热处理与第二热处理,形成第二金属硅化物,即所需的金属硅化物。一方面,降低了金属原子在热处理过程中扩散的程度,减少其在反应生成金属硅化物的过程中对硅衬底的过度消耗以及对其他区域的影响,能够提高半导体器件的性能与使用寿命;另一方面,改善了金属硅化物的厚度均匀性,进一步改善了半导体器件的电学性能。

[0036] 在理想情况下,硅衬底表面沉积的金属层通过第一热处理与第二热处理,扩散到硅衬底中,形成第二金属硅化物。然而在实际应用中,可能沉积过量的金属,热处理后在硅

衬底表面留下剩余金属层,因此在一示例性实施例中,进行第二热处理后,金属硅化物形成方法还可以包括以下步骤:

[0037] 通过刻蚀移除未扩散到硅衬底中的剩余金属层。

[0038] 例如,可以通过湿法刻蚀(Wet Strip)去除剩余金属层,而不破坏下方的金属硅化物或硅衬底。

[0039] 图4至图7示出了本示例性实施例中形成金属硅化物接触结构的流程示意图。参考图4,首先在硅衬底301上的氧化层303之间沉积金属层302;参考图5,然后进行第一热处理,使金属层302的金属原子扩散到硅衬底301中,并生成第一金属硅化物304;参考图6,然后进行第二热处理,使第一金属硅化物304转变为第二金属硅化物305;参考图7,最后移除金属层302未反应的部分,得到包含金属硅化物接触结构的半导体器件,且金属硅化物的厚度均匀,改善了半导体器件的电学性能。

[0040] 图8至图10示出了本示例性实施例中形成金属硅化物栅极结构的流程示意图。参考图8与图9,在栅极401上沉积金属层402,金属层402覆盖栅极401的上方与两侧的保护层403;在第一热处理阶段中,金属层402的金属原子向栅极401内部扩散,并与栅极401中的多晶硅原子反应生成第一金属硅化物404;由于第一金属硅化物404需要较多的金属原子,当中间区域的金属原子不足时,两侧的金属原子将横向扩散,因此生成的第一金属硅化物404厚度较为均匀。在第一热处理阶段结束后,金属层402与栅极401反应得到第一金属硅化物404,当然,在第一金属硅化物404的上方与保护层403的两侧也可能剩余一部分金属层402。参考图10,在第二热处理阶段中,第一金属硅化物404进一步反应,转变为第二金属硅化物405,从而得到包含金属硅化物栅极结构的半导体器件,且金属硅化物的厚度均匀,改善了半导体器件的电学性能。

[0041] 在一示例性实施例中,金属层的成分包括钴、钴合金、钛、钛合金、镍或镍合金,硅衬底的材料包括多晶硅。其中,钴、钛、镍分别与硅衬底形成 $\text{CoSi}_2$ 、 $\text{TiSi}_2$ 、 $\text{NiSi}$ ,为半导体制造中常用的金属硅化物;而多晶硅衬底为栅极常用的衬底材料。金属层的成分也可以是上述各金属的合金,则在第一热处理及第二热处理中,可能有两种或两种以上的金属原子扩散到硅衬底中,形成复合金属硅化物。

[0042] 下面以金属原子为钴原子为例做进一步说明。表1示出了不同原子比的硅钴化合物的电阻率与烧结温度(即高温化合反应的温度),可见,随着烧结温度的上升,金属硅化物中硅原子的比例逐渐增加,其中 $\text{CoSi}_2$ 的电阻率远远小于另外两种金属硅化物,可以作为目标金属硅化物。基于表1中的数据,在一示例性实施例中,第一热处理可以是采用快速退火工艺,退火温度为 $300\sim 500^\circ\text{C}$ ,保温时间为 $20\sim 40\text{s}$ ;第二热处理也可以采用快速退火工艺,退火温度为 $600\sim 800^\circ\text{C}$ ,保温时间为 $10\sim 30\text{s}$ 。

[0043]

金属硅化物	电阻率( $\mu\Omega \cdot \text{cm}$ )	烧结温度( $^\circ\text{C}$ )
$\text{Co}_2\text{Si}$	110	$300\sim 500$
$\text{CoSi}$	147	$400\sim 600$
$\text{CoSi}_2$	15-20	$600\sim 800$

[0044] 表1

[0045] 在上述第一快速退火工艺中,钴原子在 $300\sim 500^\circ\text{C}$ 的条件下,以较慢的速率向硅衬底中扩散,并与硅原子反应生成 $\text{Co}_2\text{Si}$ 与 $\text{CoSi}$ ,即第一金属硅化物;随后进行第二快速退

火工艺,在600~800℃的条件下,Co<sub>2</sub>Si与CoSi可以转变为CoSi<sub>2</sub>,且在转变过程中Co原子不再扩散到Co<sub>2</sub>Si与CoSi以外的区域。在实际应用中,具体采用的退火温度与保温时间之间有一定关系,当退火温度较高时,保温时间可以适当缩短,这两个工艺参数与金属层的宽度、金属硅化物的厚度、金属原子种类等也有关系,下面通过几个示例进行具体说明:

[0046] 1、Co原子层宽度为15nm,该宽度与半导体器件的关键尺寸(CD)一致;第一快速退火工艺的退火温度为300℃,保温时间30s;第二快速退火工艺的退火温度为600℃,保温时间20s。最终形成的CoSi<sub>2</sub>厚度在10nm以内。

[0047] 2、Co原子层宽度为40nm;第一快速退火工艺的退火温度为400℃,保温时间20s;第二快速退火工艺的退火温度为700℃,保温时间10s。最终形成的CoSi<sub>2</sub>厚度为10~30nm。

[0048] 3、Co原子层宽度为90nm;第一快速退火工艺的退火温度为500℃,保温时间20s;第二快速退火工艺的退火温度为800℃,保温时间10s。最终形成的CoSi<sub>2</sub>厚度为20~40nm。

[0049] 4、Co原子层宽度为200nm;第一快速退火工艺的退火温度为500℃,保温时间40s;第二快速退火工艺的退火温度为800℃,保温时间30s。最终形成的CoSi<sub>2</sub>厚度为40~60nm。

[0050] 第一热处理与第二热处理之间可以间隔一定的时间,使第一金属硅化物在形成过程中累积的内应力得到充分的释放,也可以连续进行,以缩短工艺时间,降低热处理设备的使用成本。在一示例性实施例中,进行第二热处理包括以下步骤:

[0051] 从第一热处理的退火温度直接升温到第二热处理的退火温度,以进行第二热处理。

[0052] 其中,第一热处理的升温速率是5~20℃/s,第二热处理的升温速率是5~20℃/s,第一热处理的升温速率低于第二热处理的升温速率。在5~20℃/s的升温速率下,在1~2分钟内即可完成升温,使得整个热处理过程的时间缩短,可以进一步限制金属原子的过度扩散,并降低工艺流程的时间成本。此外,设置第二热处理的升温速率更快,可以减少升温过程中金属原子的扩散,使整个第二热处理的过程更多的集中于第一金属硅化物向第二金属硅化物的转变反应。实际应用中,可以综合考虑退火温度、保温时间、金属硅化物的尺寸以及热处理设备的老化周期等因素,以确定具体的升温速率参数。

[0053] 热处理还包括保温后的冷却过程。在一示例性实施例中,第二热处理在保温后至至少包括第一冷却阶段与第二冷却阶段,第一冷却阶段的降温速率为15~50℃/s,第二冷却阶段的降温速率为15~50℃/s,其中第一冷却阶段的降温速率高于第二冷却阶段的降温速率。

[0054] 第一冷却阶段是指前一冷却阶段,对应于温度较高的阶段,第二冷却阶段是指后一冷却阶段,对应于温度较低阶段。本实施例中,第一冷却阶段与第二冷却阶段是冷却条件不同的两个阶段,例如冷却介质不同,在第一冷却阶段中,可以将半导体器件置于热传导性较好的石英板上,冷却速率较高,在第二冷却阶段中,可以将半导体器件置于金属载物台或机械手臂上,冷却速率相对较慢;又例如向热处理腔室中通入常温气体的速率不同,在第一冷却阶段中,通入气体的速率较快,则冷却速率较高,在第二冷却阶段中,通入气体的速率较慢,则冷却速率较低;本实施例对于冷却条件的具体控制方式不做特别限定。

[0055] 通过设置冷却速率不同的两个冷却阶段,可以进一步优化热处理的工艺流程,缩短冷却时间。此外,考虑到金属硅化物上层可能存在未扩散的剩余金属层,如果冷却速率较慢,在冷却过程中,剩余金属层中的金属原子可能向金属硅化物或硅衬底中扩散,影响已经

形成的第二金属硅化物的成分与结构,并且还可能与硅衬底反应生成一部分第一金属硅化物,导致金属硅化物的电阻率升高。在第一冷却阶段设置较高的冷却速率,可以使半导体器件尽快冷却到第一热处理的退火温度以下,减少上述情况的发生,保证第二金属硅化物的质量。

[0056] 在第二热处理阶段,当第一金属硅化物完全反应生成第二金属硅化物后,如果热处理未结束,则类似于上述情况,剩余金属层的金属原子可能发生非预期的扩散,并可能通过不完全反应生成第一金属硅化物。为了减少这种情况的发生,在一示例性实施例中,第一热处理的保温时间大于第二热处理的保温时间。在第一热处理中,金属原子发生扩散,并与硅衬底反应生成第一金属硅化物,而第二热处理中的主要任务是使第一金属硅化物继续反应生成第二金属硅化物,因此其需要的热处理时间更短。设置第一热处理的保温时间大于第二热处理的保温时间,可以减少上述情况的发生,进一步保证第二金属硅化物的质量。

[0057] 在一示例性实施例中,第一金属硅化物的金属原子比例高于第二金属硅化物的金属原子比例。对于多数金属硅化物,当金属原子比例较低时,其电阻率也较低,适用于半导体器件中,例如 $\text{CoSi}_2$ 的电阻率小于 $\text{Co}_2\text{Si}$ 与 $\text{CoSi}$ 。因此,采用金属原子比例较低的金屬硅化物作为最终形成的金属硅化物,可以提高半导体器件的性能。

[0058] 在一示例性实施例中,第一热处理与第二热处理在稳定性气体的气氛中进行。其中,稳定性气体用于在第一热处理及第二热处理过程中减少半导体器件与环境中的氧气等发生反应的情况,并且能够增加热处理腔室内各个区域之间的热传导,保证温度的均匀性。稳定性气体本身不与半导体器件的组分发生反应,通常是还原性气体、惰性气体等,例如 $\text{N}_2$ 、 $\text{He}$ 、 $\text{Ar}$ 、 $\text{Ne}$ 中的至少一种,通入稳定性气体的流量是 $10\sim 30\text{s1m}$ ,热处理腔室的压力为 $750\sim 850\text{Torr}$ 。如果流量在 $10\text{s1m}$ 以下,稳定与热传导的效果较差;如果流量在 $30\text{s1m}$ 以上,可能影响热处理腔室的正常升温与保温过程。此外,流量在 $10\sim 30\text{s1m}$ 范围内,可以维持热处理腔室的压力处于 $750\sim 850\text{Torr}$ 范围内,即维持在常压附近,可以保障热处理的正常进行。对于热传导系数较高的稳定性气体,流量可以适当的降低。例如,在通入 $\text{Ar}$ 作为稳定性气体时,通入的流量为 $30\text{s1m}$ ;在通入 $\text{He}$ 作为稳定性气体时,通入的流量为 $10\text{s1m}$ 。

[0059] 图11示出了本示例性实施例中的热处理过程,横坐标表示热处理的时间,纵坐标表示温度。如图所示,热处理过程包括6个阶段:第一热处理的升温阶段、第一热处理的保温阶段、第二热处理的升温阶段、第二热处理的保温阶段、第一冷却阶段以及第二冷却阶段。其中每个阶段的条件如图11中所示。同时在热处理过程中通入上述稳定性气体,通入的流量为 $10\sim 30\text{s1m}$ ,使热处理腔室的压力维持在 $750\sim 850\text{Torr}$ 。

[0060] 本领域技术人员在考虑说明书及实践这里公开的发明后,将容易想到本公开的其他实施例。本申请旨在涵盖本公开的任何变型、用途或者适应性变化,这些变型、用途或者适应性变化遵循本公开的一般性原理,并包括本公开未公开的本技术领域中的公知常识或惯用技术手段。说明书和实施例仅被视为示例性的,本公开的真正范围和精神由权利要求指出。

[0061] 应当理解的是,本公开并不局限于上面已经描述并在附图中示出的精确结构,并且可以在不脱离其范围的情况下进行各种修改和改变。本公开的范围仅由所附的权利要求来限。



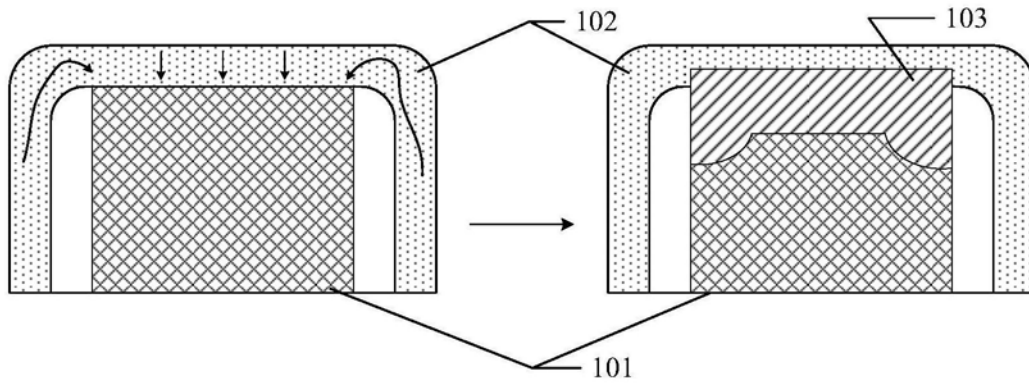


图1

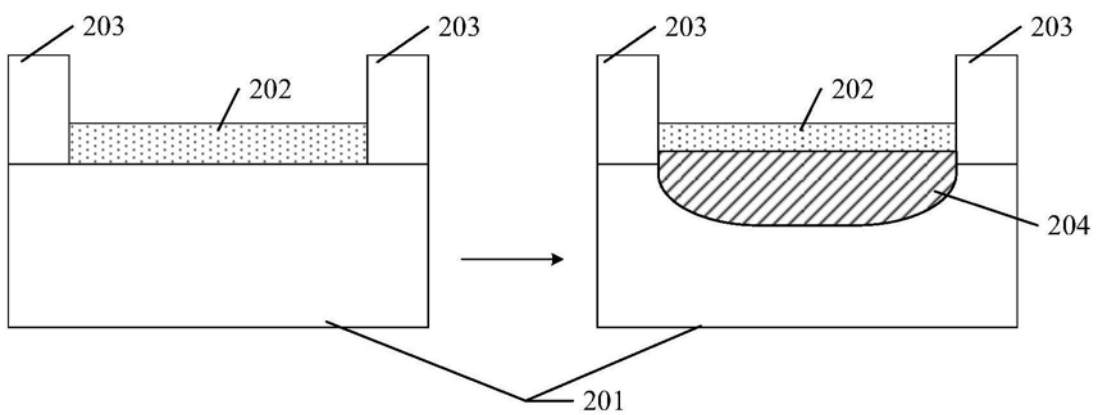


图2

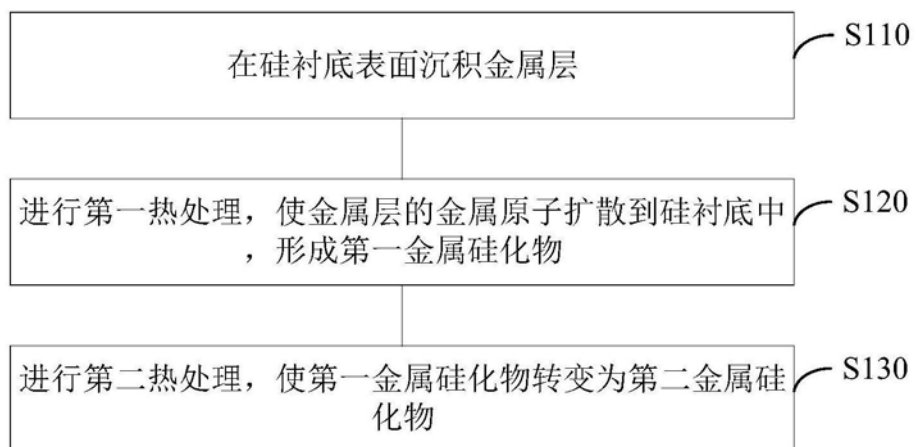


图3

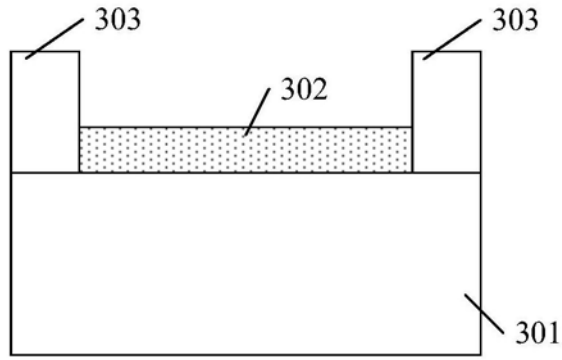


图4

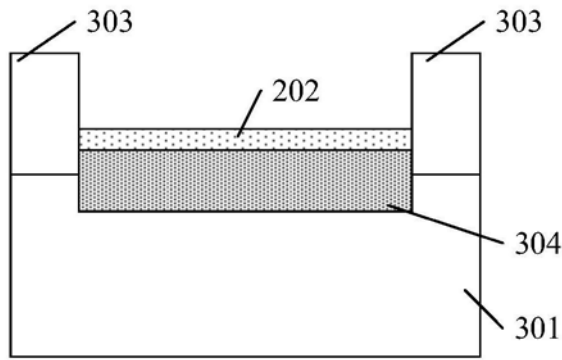


图5

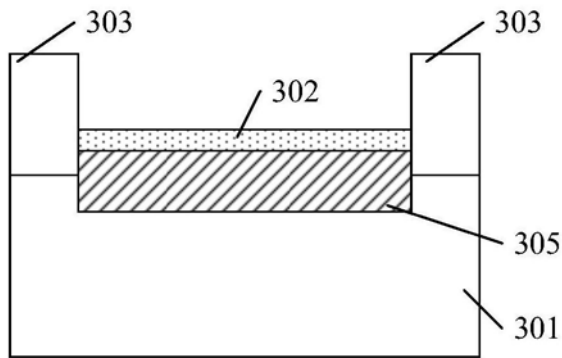


图6

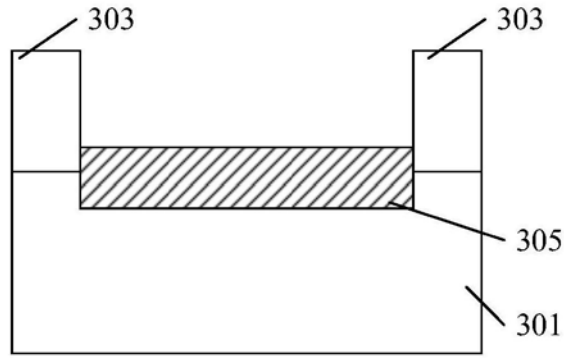


图7

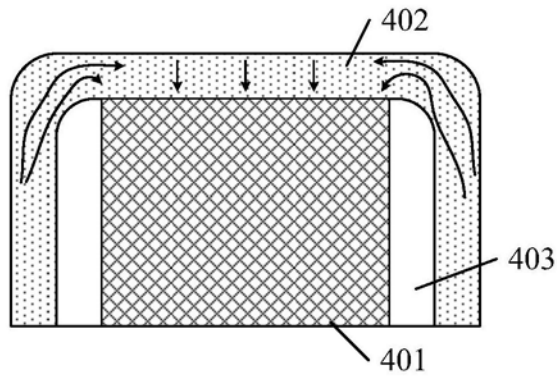


图8

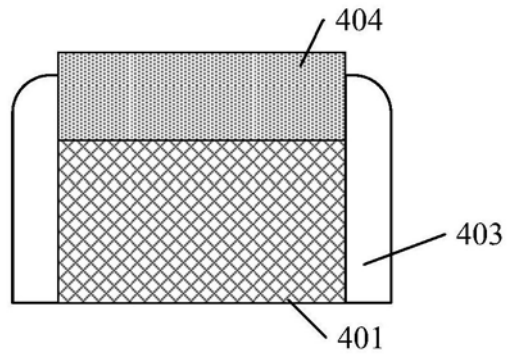


图9

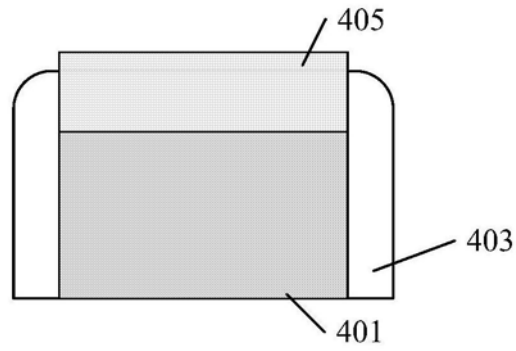


图10

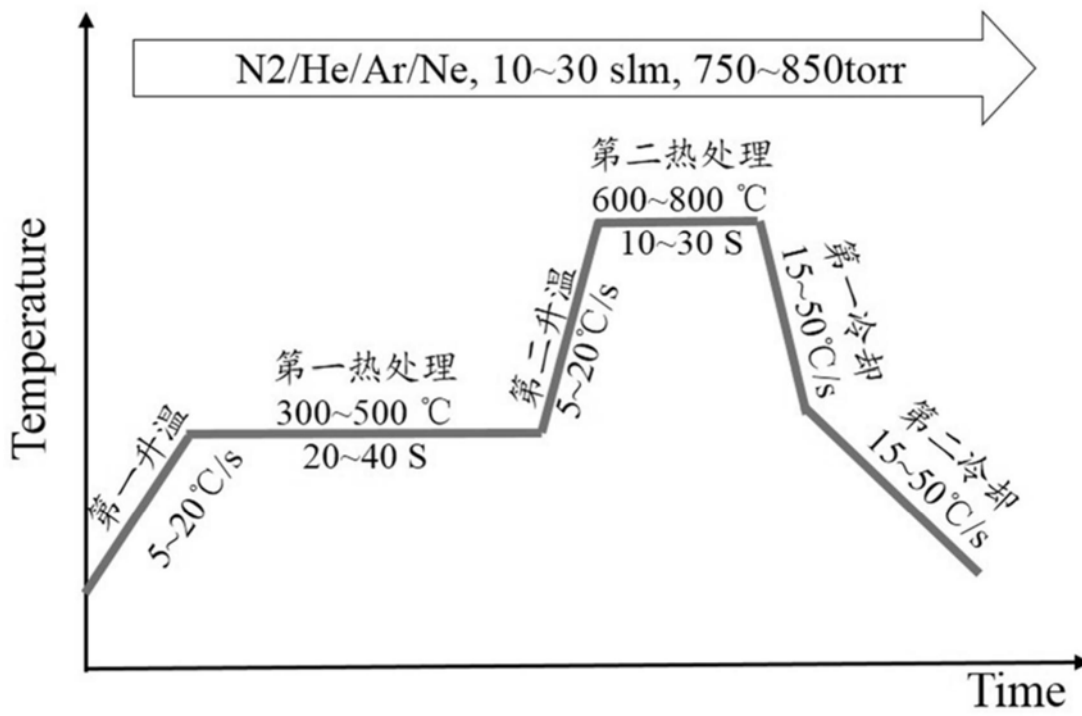


图11