



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 103065956 B

(45) 授权公告日 2015. 02. 25

(21) 申请号 201210579182. 3

(22) 申请日 2012. 12. 27

(73) 专利权人 南京大学

地址 210093 江苏省南京市鼓楼区汉口路  
22 号

(72) 发明人 王刚 施毅 赵毅 汪翌 吴汪然  
孙家宝 王军砖 张荣 郑有焘

(74) 专利代理机构 南京瑞弘专利商标事务所  
(普通合伙) 32249

代理人 陈建和

(51) Int. Cl.

H01L 21/30(2006. 01)

(56) 对比文件

US 5310689 A, 1994. 05. 10,

CN 101465392 A, 2009. 06. 24,

CN 1372309 A, 2002. 10. 02,

CN 102154706 A, 2011. 08. 17,

US 2012/0299156 A1, 2012. 11. 29,

CN 1524289 A, 2004. 08. 25,

US 2012/0097209 A1, 2012. 04. 26,

EP 0964443 A2, 1999. 06. 01,

审查员 程凯芳

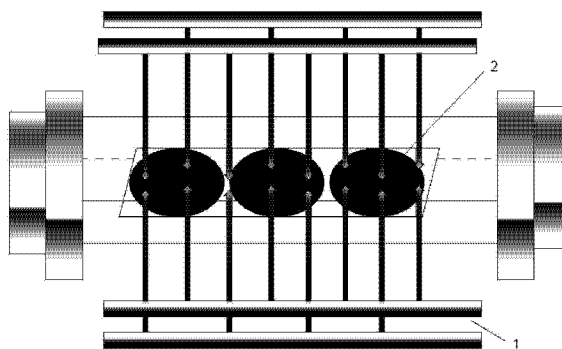
权利要求书1页 说明书3页 附图1页

(54) 发明名称

一种实现硅表面结构平滑的方法与设备

(57) 摘要

一种实现硅表面结构平滑的方法, 步骤如下: 通过红外光加热的方式控制硅或锗材料温度以及加热和冷却的时间; 基于高真空或超高真空的石英腔体中引入氢气气氛加热, 在加热过程中加入氩气, 氦气或氟气等抑制表面的过迁移现象, 在温度开始下降即 600℃ -1000℃ 时通过氮气终结硅表面的迁移, 或者继续加入氩气或二氧化碳等抑制硅原子的迁移, 然后在后期降温即从 800℃ 到室温的过程中引入高纯氧气; 通入氧气形成一层致密的氧化硅薄膜作为保护层材料的表面结构。本发明平滑方法同样可以改善光栅等各类表面结构。该平滑方法要求的周期短, 工艺要求价格低廉, 可以实现量产, 并有效实现硅原子表面的平滑。



1. 一种实现硅表面结构平滑的方法,其特征是步骤如下:通过红外线加热的方式控制硅材料温度以及加热和冷却的时间;基于高真空或超高真空的石英腔体中引入氢气气氛加热,在加热过程中加入氩气抑制表面硅原子的过迁移现象,在温度开始下降即 $1000^{\circ}\text{C}$ – $1200^{\circ}\text{C}$ 时通入氮气终结硅原子的迁移,或者继续加入氩气抑制硅原子的迁移,然后在后期降温即从 $600^{\circ}\text{C}$ 到室温的过程中引入高纯氧气;

工艺流程是:运行真空机组使整个石英腔体达到一个高真空或超高真空,在 $400^{\circ}\text{C}$ 到 $800^{\circ}\text{C}$ 温度范围加热去除石英腔体内的各种杂质气体,然后通入氢气,保持氢气的流量,精确控制石英腔体的压强,气体压强可以在 $0.01\text{mTorr}$ 到 $760\text{Torr}$ 之间来精确调控,升高温度在室温到 $1200^{\circ}\text{C}$ 精确控制;然后以红外线加热源的红外线直接传热达到快速加热的目的,设置红外线灯管的功率,控制红外线的强度,设置温度梯线,开启继电器,整个温度运行设置的曲线的设置可以是 $2\text{min}$ – $60\text{min}$ 或根据需求加长时间;在加热过程中即温度范围在 $1000^{\circ}\text{C}$ 到 $1200^{\circ}\text{C}$ 之间时,通入氩气抑制表面硅原子的过迁移;在温度开始下降的时候关闭氩气抑制过迁移现象,并关闭氢气同时加大氩气流量,加快退火时间;在结束加热时即温度范围 $1000^{\circ}\text{C}$ – $1200^{\circ}\text{C}$ 之间,通入氮气终结表面硅原子的迁移,或者继续通入氩气抑制表面硅原子的迁移;在后期降温阶段即从 $600^{\circ}\text{C}$ 到室温 $18^{\circ}\text{C}$ 时,通入高纯氧气形成一层致密的几个纳米厚度的氧化硅薄膜作为保护层。

2. 根据权利要求1所述的实现硅表面结构平滑的方法,其特征是硅材料是体硅、SOI、SSOI、硅锗应力材料。

3. 根据权利要求1所述的实现硅表面结构平滑的方法,其特征是硅材料的表面结构是用来制作FinFETs或Tri-MOSFETs的硅纳米结构,用来做光栅或者光学器件的纳米结构或纳米点,且是任意的表面结构。

4. 根据权利要求1所述的实现硅表面结构平滑的方法,其特征是在结束加热时通过VCR接头的转换,快速的切入氮气终结表面硅原子的移动;在后期降温的过程,迅速抽离石英腔体内气体,然后引入高纯氧气,控制高纯氧气流入,精确的控制形成一层致密的很薄的一层氧化硅薄膜,并作为保护层。

## 一种实现硅表面结构平滑的方法与设备

### 技术领域

[0001] 本发明涉及硅表面结构的平滑方法,具体是一种用氢气、氩气和其他气体来诱导表面硅原子扩散的快速退火方法,以及对加热设备和气路的设计与改造。

### 背景技术

[0002] 硅材料是微电子的基础材料。在过去的 40 年,硅材料直接促进了集成电路和整个微电子产业的发展,微电子产业早已成为全球最大的产业。国际半导体材料专家共同认为,在 21 世纪的前 50 年内,硅材料作为微电子的基础材料不会改变,因此硅材料的继续研发和产业是国民经济的重大需求所在,也是国家安全的战略需求所在。按照国际半导体技术蓝图(ITRS)发布的半导体工艺技术预测,世界集成电路主流工艺集成电路的线宽将继续减小,并仍然按照摩尔(Moore)定律发展,每 18 个月其集成度就增加一倍。

[0003] 另外,硅材料也是太阳能电池,微机械的主要基础材料,在纳电子、光电子领域也有很好的发展前景。

[0004] 由于特征尺寸继续的减小,硅表面和表面结构的粗糙度已经成为决定器件性能的关键因素之一。因此,我们研发一种快速退火装置,特别是一种利用气体诱导快速退火的方法有效改善了硅表面结构的粗糙度,为 Tri-gate Device, FinFETs 和纳米线器件(包含各种利用纳米结构做出的器件)性能的提高起到了至关重要的作用,这将促进国家微电子产业的发展,特别是对于改善基于纳米结构器件和纳米线器件的性能。另外我们利用这种方法对波导、光栅、透镜的调制有效的改善了光电集成系统。

### 发明内容

[0005] 本发明目的是:提出一种实现硅表面结构平滑的方法与设备,尤其是设计一套退火系统,通过快速氢热处理硅的表面结构,使得硅的表面结构变得平滑,同时改变纳米结构的形状,并且通过改善沟道的界面提高沟道迁移率,改善晶体管的性能。这种平滑方法同样可以改善光栅等各类表面结构。

[0006] 本发明技术方案是,一种实现硅表面结构平滑的方法,其特征是步骤如下:通过红外光加热的方式控制硅或锗材料温度以及加热和冷却的时间;基于高真空或超高真空的石英腔体中引入氢气气氛加热,在加热过程中加入氩气,氦气或氮气等抑制表面的过迁移现象,在温度开始下降即 600°C -1000°C 时通过氮气终结硅表面的迁移,或者继续加入氩气或二氧化碳等抑制硅原子的迁移,然后在后期降温即从 800°C 到室温的过程中引入高纯氧气;

[0007] 工艺流程是:运行真空机组使整个石英腔体达到一个超高真空或高真空,在 400°C 到 800°C 温度范围加热去除腔内的各种杂质气体(包括 H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> 等),然后通入氢气,保持氢气的流量,精确控制石英腔体的压强,气体压强可以在 0.01mTorr 到 760Torr 之间来精确调控,升高的温度在室温到 1200°C 精确控制;然后利用电磁热辐射传热,以红外线加热源的红外线直接传热达到快速加热的目的;在达到某一温度(在 1000°C 到 1200°C 之

间)时,通入氩气控制比表面的过迁移过程;在结束加热时(温度范围在 1000℃到 1200℃之间),通入氮气终结表面氢原子的迁移,或者继续通入氩气、氦气等气体抑制表面原子的迁移;在后期降温阶段(从 800℃到室温 18℃),通入氧气形成一层致密的氧化硅薄膜作为保护层材料的表面结构。

[0008] 进一步的,硅样品是体硅、SOI、SSOI、硅锗应力材料等;

[0009] 进一步的,硅材料的表面结构是用来制作 FinFETs 或 Tri-MOSFETs 的硅纳进一步结构,用来做光栅或者光学器件的纳米结构或纳米点,且是任意的表面结构。

[0010] 进一步的,该加热设备采用红外线灯管 360 度方位全面加热方式,红外线在中间分布非常均匀。

[0011] 进一步的,首先引入氢气或氢氩混合气升温,在某一个温度点迅速引入氩气或其他气体,抑制表面硅原子的迁移,同时加大气体流量加快降温时间。

[0012] 进一步的,在结束加热时通过 VCR 接头的转换,快速的切入氮气或者其他气体终结或继续抑制表面硅原子的移动;在后期降温的过程,迅速抽离腔内气体,然后引入高纯氧,控制高纯氧流入的多少,精确的控制形成一层致密的很薄的一层氧化硅薄膜,并作为保护层。

[0013] 进一步的,加热设备采用激光加热快速退火设备。

[0014] 实现硅表面结构平滑的设备,包括纯石英透明材料加热腔体,置放硅材料整个支架也采用石英材料,采用红外线加热源在加热腔体的 360 度光照,使得在石英腔体的样品中间区域的红外线强度均匀,使整个热处理样品均匀的吸收红外线,从而达到均匀加热的目的(每 cm 偏移的温差小于 1℃)。另外在石英腔体的一端接入一套真空机组(如分子泵机组)以使整个石英腔体达到超高真空或高真空( $10^{-4}\text{Pa}\sim 10^{-7}\text{Pa}$ );在石英腔体的另一端接入了一套 VCR 混合气路系统。

[0015] 本发明的有益效果是,通过提出一套退火系统实现硅表面结构平滑的方法,快速氢热处理硅的表面结构,使得硅的表面结构变得平滑,同时改变纳米结构的形状,并且通过改善沟道的界面提高沟道迁移率,改善晶体管的性能。这种平滑方法同样可以改善光栅等各类表面结构。该平滑方法要求的周期短,工艺要求价格低廉,可以实现量产,并有效实现硅原子表面的平滑。

## 附图说明

[0016] 图 1 是本发明的快速红外线加热设备图;

[0017] 图 2 是本发明的 VCR 气体转换图。

## 具体实施方式

[0018] 下面将参照附图详细叙述一种实现硅表面结构平滑的方法。

[0019] 本发明设计一套退火系统如附图 1 所示,采用红外线加热源 1 进行 360 度全面光照设计,使得在石英腔体的中间区域 2 的红外线强度均匀,可以使整个热处理样品均匀的吸收红外线,从而达到均匀加热的目的。另外在腔体的另一端接入一套分子泵机组可以使整个石英腔体达到超高真空或高真空( $10^{-4}\text{Pa}\sim 10^{-7}\text{Pa}$ )。在腔体的另一端我们接入了一套 VCR 混合气路系统如附图 2 所示。石英腔体首先是先达到一个超高真空或高真空的环境,然

后引入高纯氢气气体。石英腔体首先是先达到一个超高真空或高真空的环境,然后引入高纯气体。

[0020] 引入氢气、氩气、氮气和氧气,是按照一定顺序,气体压强可以在 0.01mTorr 到 760Torr 之间来精确调控,升高的温度在室温到 1200℃精确调控。

[0021] 首先引入氢气或氢氩混合气升温,在某一个温度点迅速引入氩气或其他气体,抑制表面硅原子的迁移,同时加大气体流量加快降温时间。

[0022] 在结束加热时通过 VCR 接头的转换,快速的切入氮气或者其他气体终结或继续抑制表面硅原子的移动。

[0023] 在后期降温的过程,迅速抽离腔内气体,然后引入高纯氧,控制高纯氧流入的多少,精确的控制形成一层致密的很薄的一层氧化硅薄膜,并作为保护层。

[0024] 该加热设备还可以是激光加热等快速退火设备。

[0025] 本发明实现的热处理工艺流程是:运行分子泵机组使整个石英腔体达到一个超高真空或高真空,去除腔内的各种杂质气体(包括 H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> 等),然后通入氢气,保持氢气的流量,精确控制石英腔体的压强,气体压强可以在 0.01mTorr 到 760Torr 之间来精确调控。然后利用电磁辐射热传原理,红外线直接传热达到快速加热的目的。在达到某一温度时,通入氩气控制比表面的过迁移过程。在结束加热时是,通入氮气终结表面氢原子的迁移,或者继续通入氩气、氮气等气体抑制表面原子的迁移。在后期降温阶段,通入氧气形成一层致密的氧化硅薄膜作为保护层。

[0026] 首先把样品放入石英腔内,运行分子泵机组,腔内压强达到高真空或超高真空(10<sup>-4</sup>Pa~10<sup>-7</sup>Pa)时,低温加热腔体去除腔内吸附的各种杂质气体(包括 H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> 等)。然后通入氢气,控制氢气流量,保持腔内压强不变。设置灯管的功率,控制红外线的强度。然后设置温度梯线,开启继电器。整个温度运行设置的曲线的设置可以是 2min-60min,也可以根据需求加长时间。红外加热的热线加热的时间很快。在温度开始下降的时候关闭氢气抑制过迁移现象,并关闭氢气同时加大氩气流量,加快退火时间。在结束加热的时候,在结束加热时是,通入氮气终结表面氢原子的迁移,或者继续通入氩气、氮气等气体抑制表面原子的迁移。在后期降温阶段,在后期降温即从 600℃到室温的过程中引入高纯氧气;通入氧气形成一层致密的几个纳米厚度的氧化硅薄膜作为保护层。最后关闭所有气体,去除样品。

[0027] 本发明所述的硅是用来制作 FinFETs 或 Tri-MOSFETs 的硅的纳米结构,可以是用来做光栅或者光学器件的纳米结构或纳米点。

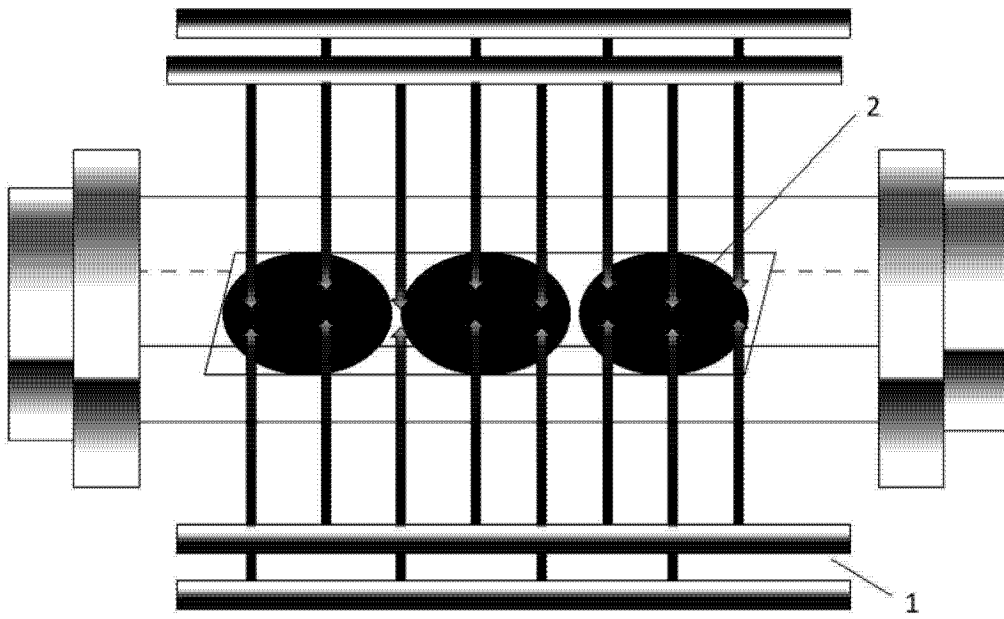


图 1

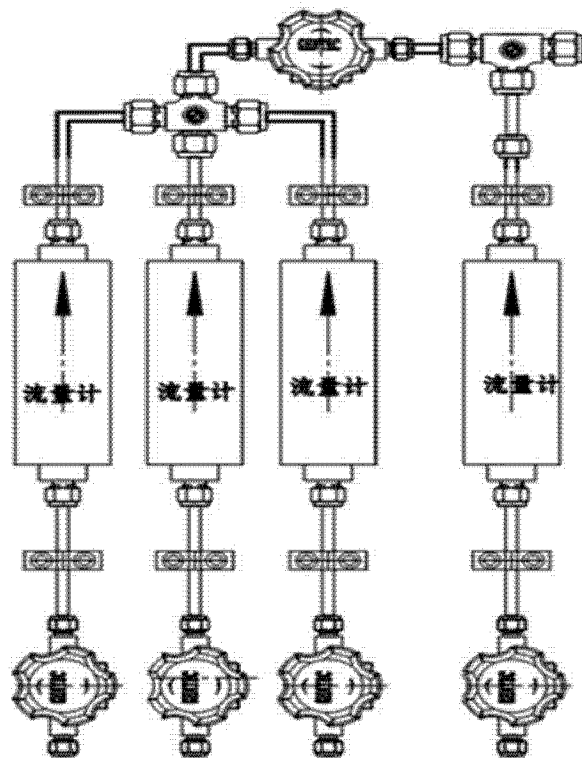


图 2