

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.



# [12] 发明专利说明书

专利号 ZL 200410017080.8

H01L 21/02 (2006.01)  
H01L 21/20 (2006.01)  
H01L 21/84 (2006.01)  
H01L 27/12 (2006.01)

[45] 授权公告日 2007年5月9日

[11] 授权公告号 CN 1315155C

[22] 申请日 2004.3.19

[21] 申请号 200410017080.8

[73] 专利权人 中国科学院上海微系统与信息技术研究所

地址 200050 上海市长宁区长宁路 865 号

共同专利权人 上海新傲科技有限公司

[72] 发明人 安正华 林成鲁 张 苗 刘卫丽  
门传玲

审查员 宋 霖

[74] 专利代理机构 上海智信专利代理有限公司  
代理人 潘振甦

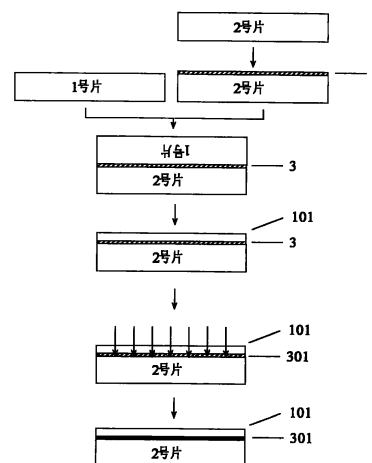
权利要求书 2 页 说明书 6 页 附图 2 页

## [54] 发明名称

一种绝缘层上硅结构的制备方法

## [57] 摘要

本发明涉及一种绝缘层上硅结构的制备方法属于微电子技术领域。其特征在于先后通过 Al 薄膜沉积、键合、离子注入，结合热处理等技术来制备以氮化铝或氧化铝或 AlN、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> 或 SiO<sub>2</sub> 中两种或多种复合层为埋层的 SOI 结构衬底材料，即先在硅片表面淀积 Al 薄膜，然后通过键合技术实现层转移，最后经 N 或 O 离子注入形成所需埋层材料。所制备的绝缘层上硅结构由三层构成，顶层为单晶硅层，厚度为 20 - 2000nm，中间是绝缘埋层，厚度为 50 - 500nm，底层为硅衬底。得到的 SOI 衬底材料具有良好的热传导性能，适合高温、大功率或辐照环境下的 SOI 电路的需要。



1. 一种绝缘层上硅结构的制备方法，其特征在于可以采用下面两种方法中的任意一种来制备：

第一种制备方法：

- (a) 用溅射或真空蒸发方法在单晶硅片上镀上一层铝薄层；
- (b) 将另一单晶硅片与表面镀有铝薄层的单晶硅片在 100-700°C 温度下键合，形成键合片然后从单晶硅片的非键合的面刻蚀减薄至其中一片仅剩几十纳米-几百纳米；
- (c) 往步骤 (b) 制得的键合片中注入氧离子或氮离子或氮、氧两种离子，离子注入的峰值正好处于铝薄层中间；
- (d) 经步骤 (c) 注入后的键合片再在 400—600°C 温度和保护气氛下进行退火，使注入的氮或氧离子与键合在里面的铝形成非晶氮化铝或氧化铝埋层；

第二种制备方法：

- (a) 采用溅射或真空蒸发方法在单晶硅片上镀上一层铝薄层；
- (b) 在另一单晶硅片中引入多孔硅，并在多孔硅上外延单晶硅，然后与步骤 (a) 镀了铝薄层的单晶硅片键合；
- (c) 键合后在外延单晶硅处裂开，得到单晶硅/铝/硅衬底结构；
- (d) 然后用离子注入方法，往单晶硅层下的铝薄层中注入氮或氧离子；
- (e) 再在 400—600°C 温度下和保护气氛下将铝薄层转化成氮化铝或氧化铝埋层。

2. 按权利要求 1 所述的制备方法，其特征在于键合之前在单晶硅片表面淀积的一层铝薄层厚度为 5-100 纳米，第一种制备方法中键合的两硅片为抛光单晶硅片，第二种制备方法中，键合的两硅片一片为抛光单晶硅片，另一片是多孔硅片上外延了单晶硅薄膜的硅片。

- 
3. 按权利要求 1 或 2 所述的制备方法，其特征在于在单晶硅片淀积铝薄层之前，在单晶硅片表面先生长氮化硅或氧化硅薄膜层。
  4. 按权利要求 1 所述的制备方法，其特征在于使用第一种制备方法时键合后从通过刻蚀、研磨、氧化、自停止腐蚀或抛光方法实现从单晶硅片的非键合的面减薄。

## 一种绝缘层上硅结构的制备方法

### 技术领域

本发明涉及一种绝缘层上硅(SOI)结构及制备方法,更确切地说涉及一种以AlN或Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>或AlN、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>或SiO<sub>2</sub>两种或多种复合层为埋层的绝缘层上硅衬底材料及制备方法,属于微电子学中半导体材料的制造工艺。

### 背景技术

绝缘体上的硅即SOI(Silicon on Insulator)电路具有优良的高速、低功耗、抗辐照等优点,早期在航空航天等军事领域得到广泛应用。近年来,随着计算机、通讯业的快速发展,SOI的技术优势进一步得到体现,因而逐渐被成功地商业化,并被认为是二十一世纪的硅集成电路技术(J.P.Collige, Silicon on Insulator Technology, Materials to VLSI, Kluwer Academic Publishers, 1991)。

传统的SOI材料一般以SiO<sub>2</sub>作为绝缘埋层。由于SiO<sub>2</sub>的热导性能很差(热导率仅为0.014W/(cm.K)),大大限制了SOI器件在高温与大功率电路中的应用。AlN、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>作为两种性能优良的绝缘材料,能和硅形成热力学稳定的接触,而且AlN/Si、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Si界面具有较低的界面态密度、漏电流,同时AlN、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>还具有较高的热导率(AlN: 3.2 W/(cm.K); Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: 0.3W/(cm.K)),优良的抗辐照性能(Z.Y.Fan, G.Rong, J.Browning, N.Newman, Mater. Sci. Eng. B67 (1999) 90; K.H.Zaininger and A.S.Waxman, IEEE Trans. Electron Devices ED-16, (1969) 333)。以AlN、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>取代SiO<sub>2</sub>作SOI的绝缘埋层显

然可以提高 SOI 器件在高温、大功率以及辐照环境等领域的应用。

近年来,以 AlN、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 取代 SiO<sub>2</sub> 作 SOI 的绝缘埋层技术已经分别由林成鲁(林成鲁等,“以氮化铝(AlN)为绝缘埋层的 SOI 材料制备方法”(申请号:98122067)、万青(万青等,“以三氧化二铝为埋层的绝缘层上硅结构的衬底材料及其制备方法”(申请号:01126315))等人提出。然而,这些已有的技术往往是先在硅片表面制备绝缘埋层薄膜材料(如 AlN、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) 然后进行键合工艺。这种工艺有两个明显的缺点:一是在硅片表面很难制备得到高纯的埋层材料,尤其是 AlN 材料,由于 O 的活性比 N 强,受目前的真空技术的限制,制备得到的 AlN 薄膜往往含有很多的氧(C. Lin, J. A. Kilner, R. J. Chater, J. Li, A. Nejjim, J. P. Zhang and P. L. F. Hemment, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms, vol.80/81 (1993) 323); 二是为了能进行后续的键合工艺,要求制备得到的薄膜表面非常平整,这在目前的薄膜制备技术下很难达到。

### 发明内容

本发明的目的在于提供一种制备以 AlN 或 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 或 AlN、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> 或 SiO<sub>2</sub> 中两种或两种以上复合层为埋层的 SOI 衬底材料及制备方法。

本发明提供的制备方法特征在于采用 Al 薄膜淀积结合高温键合来降低键合工艺对结合界面表面平整度的要求,并利用离子注入技术形成绝缘埋层来提高埋层质量,克服过去在表面形成绝缘埋层材料表面粗糙度大的缺点。具体地说,首先在硅片表面淀积 Al 薄膜,然后在高温下快速键合,由于 Al (或 AlSi 合金)的熔点很低,可以很容易地与另一个硅片结合在一起,这

样可以大大降低键合对表面微粗糙度的依赖性。键合后，通过背面减薄、氧化减薄等减薄技术，或者通过先在键合硅片中引入多孔硅，然后在多孔硅上外延单晶硅，与 Al/Si 片键合后，利用应力，在外延/外延硅界面处裂开，得到薄层单晶 Si/Al/Si 衬底结构。然后通过离子注入往薄单晶 Si 层下的 Al 薄层中注入 N 或 O 离子，在高温下将 Al 薄膜转化成 AlN 或 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 薄膜，从而得到所需的新型 SOI 结构。由于单晶 Si 薄层的存在，外部气氛对埋层形成过程的影响被明显降低，埋层纯度得到提高。本发明工艺简单，成本低，有大规模产业化的潜力。

综上所述，本发明涉及 SOI 结构的制备方法，其特征在于可用下列二种方法中的任意一种来制备：

第一种制备方法：

- (a) 采用溅射或真空蒸发方法在单晶硅片上镀上一层铝薄层；
- (b) 将另一单晶硅片与表面镀有 Al 薄层的硅片的面在 100-700°C 温度下键合，然后从单晶硅片的非键合的面刻蚀减薄至其中一片仅剩几十纳米-几百纳米；
- (c) 往键合片中注入氧离子或氮离子或氮、氧两种离子，离子注入的峰值正好处于铝薄层中间；
- (d) 经步骤 (c) 注入后的键合片再在 400—600°C 温度和保护气氛下进行退火，使注入的氮或氧离子等与键合在里面的 Al 形成非晶 AlN 或 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 埋层。

第二种制备方法：

- (a) 采用溅射或真空蒸发方法在单晶硅片上镀上一层铝薄层；
- (b) 在另一单晶硅片中引入多孔硅，然后在多孔硅上外延单晶硅，与步骤 (a) 镀铝薄层的硅片键合；
- (c) 键合后在外延单晶硅处裂开，得到单晶 Si/Al/Si 衬底结构；

(d)然后用离子注入方法,往单晶硅层下的Al薄层中注入氮或氧离子;  
(e)再在400—600°C温度下和氮保护气氛下将Al薄层转化成AlN或Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>埋层;

所述的制备方法特征在于:

- (1) 键合之前在单晶硅片表面淀积的一层铝层厚度为5-100纳米,键合的两硅片或是普通抛光单晶硅片,或是一片为抛光单晶硅片,另一片是多孔硅片上外延了单晶硅薄膜的硅片。
- (2) 在单晶硅片淀层铝薄层之前,在单晶硅片表面先生长氮化硅或氧化硅薄膜层。
- (3) 使用第一种制备方法时,键合后从背面减薄包括刻蚀、研磨、氧化、自停止腐蚀或抛光方法。

由此可见,所得到的绝缘上硅结构由三层构成,顶层是单晶硅层,厚度为20-2000nm,中间是绝缘埋层,厚度为50-500nm,底层是硅材料。

所制作的绝缘层上硅结构其特征在于绝缘埋层,或是氮化铝层,或是氧化铝层,或是氮化铝、氮化硅、氧化铝或氧化硅中两种或多种复合而成。

### 附图说明

图1、2是分别为本发明提供的两种制备方法以氮化铝、氧化铝为埋层的SOI结构的工艺流程。其中:1为一单晶硅片,101为1单晶硅片经背面减薄后得到的单晶硅薄层,2为另一单晶硅片,3为Al薄膜,301为注入氮或氧离子后的Al薄层,高温处理后形成非晶氮化铝或氧化铝绝缘埋层,4为多孔硅层,5为多孔硅4上的外延单晶硅层。

### 具体实施方式

下面结合附图具体阐述实施例将有助于理解本发明,但本发明决不仅限于实施例。

实施例1:如图1所示,在单晶硅片2上淀积Al薄膜后与单晶硅片1快

速高温键合，然后从 1 号硅片背面通过腐蚀、氧化减薄等得到单晶硅薄层 101，然后以一定能量和剂量向键合片中注入氮或氧离子，高温处理后形成所需的 SOI 结构。具体的工艺条件是采用真空电子束蒸发技术，在单晶硅衬底上制备厚度为 5 纳米的 Al 薄层，与另一硅片键合，然后从背面腐蚀至其中一片仅剩约 5 微米厚，再通过氧化、HF 腐蚀进一步减薄，反复进行直至薄 Si 层厚度达到约 300 纳米厚。以 200keV 的能量向 Al 薄层中注入  $5 \times 10^{17}/\text{cm}^2$  剂量的氮离子，高温处理得到以 AlN 为埋层的 SOI 结构。

实施例 2：如图 2 所示，在单晶硅片 1 表面首先制备得到多孔硅层 4，然后在 4 表面外延单晶硅薄层；单晶硅片 2 表面淀积 Al 薄层，之后与单晶硅片 1 快速高温键合，并处理从多孔硅层处裂开，然后以一定能量和剂量向键合片中注入氮或氧离子，结合高温处理形成所需的 SOI 结构。具体的实施过程是采用溅射方法在单晶硅衬底上制备厚度为 8 纳米的 Al 薄层；另一硅片先通过阳极氧化方法在表面制备一层多孔硅层，然后采用分子束外延技术在多孔硅上外延 200 纳米的单晶硅层，将外延片与 Al 薄膜淀积硅片高温键合，并处理从多孔硅层处裂开。采用化学机械抛光将裂开的键合片表面抛光。以 150keV 向键合片中注入  $1 \times 10^{18}/\text{cm}^2$  剂量的氧离子，高温处理得到以  $\text{Al}_2\text{O}_3$  为埋层的 SOI 结构。

实施例 3：实施例 1 在单晶硅片淀积 Al 薄层之前，先生长一层氮化硅或氧化硅，然后再按实施例 1 进行键合，离子注入以及再高温处理，以形成复合组成的埋层，如单独注入氮离子则形成氮化硅、氮化铝或氧化硅、氮化铝，如



单独注入氧离子则形成氮化硅、氧化铝或氧化硅、氧化铝复合组成；如 N、O 两种离子共注入，则形成  $\text{Si}_3\text{N}_4$ 、 $\text{AlN}$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$  组成复合结构，或  $\text{SiO}_2$ 、 $\text{AlN}$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$  复合结构。

实施例 4：实施例 2 在单晶硅片淀积 Al 薄层之前，先生长一层氮化硅或氧化硅，然后再按实施例 1 进行键合，离子注入以及再高温处理，以形成复合组成的埋层，如单独注入氮离子则形成氮化硅、氮化铝或氧化硅、氮化铝，如单独注入氧离子则形成氮化硅、氧化铝或氧化硅、氧化铝复合组成；如 N、O 两种离子同时注入，则形成  $\text{Si}_3\text{N}_4$ 、 $\text{AlN}$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$  组成复合结构，或  $\text{SiO}_2$ 、 $\text{AlN}$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$  复合结构。

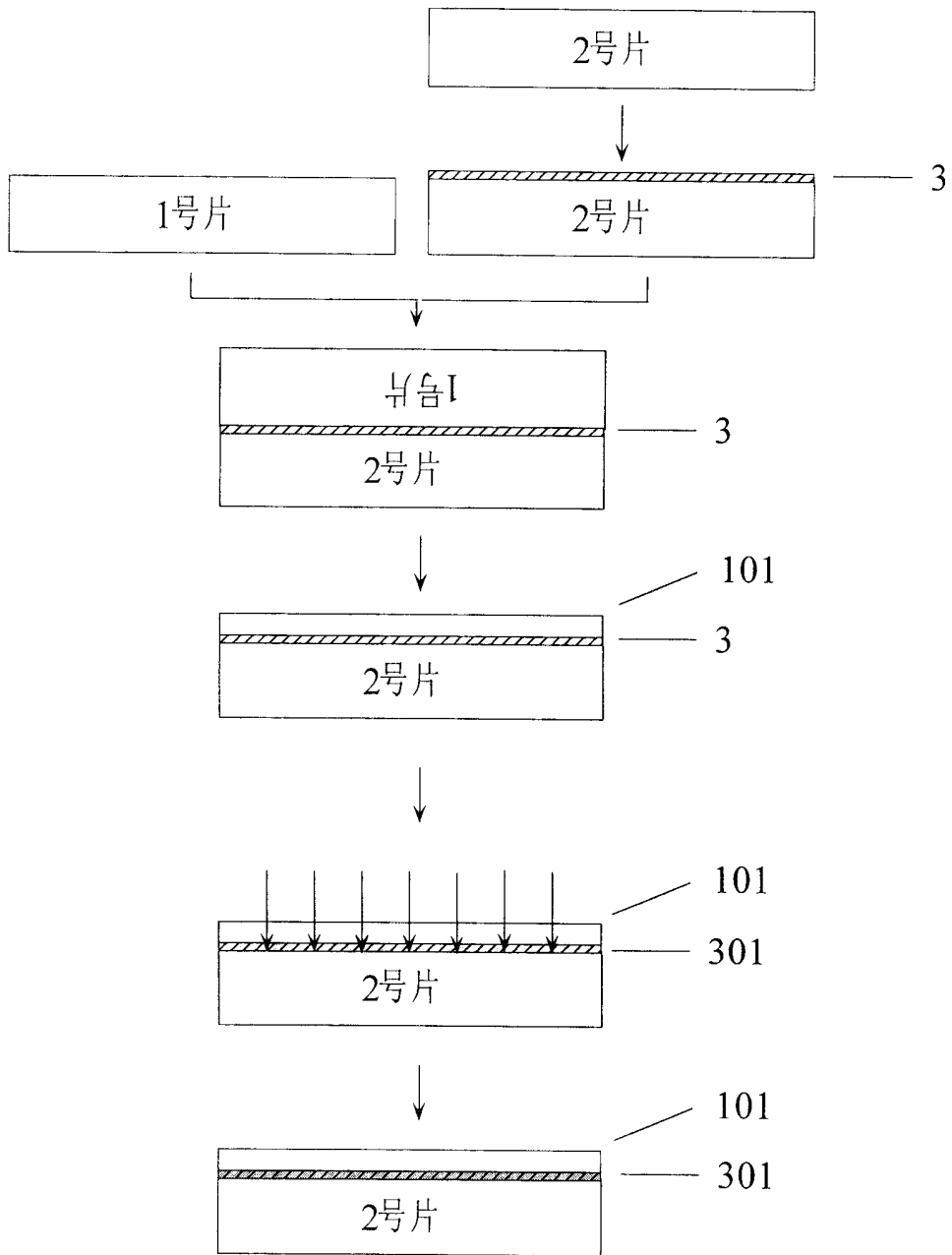


图 1

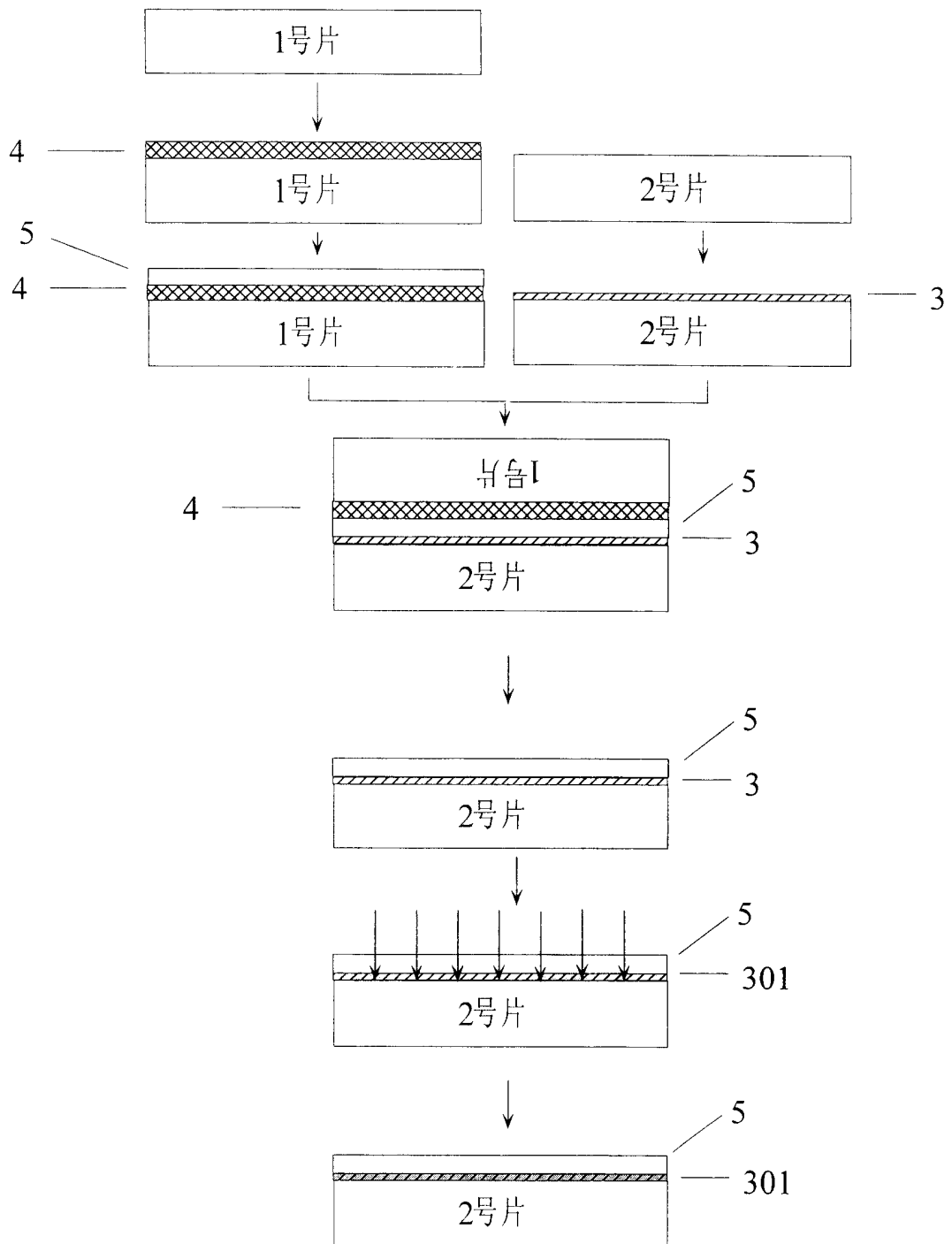


图 2