

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl<sup>7</sup>

H01L 21/20

H01L 21/265 H01L 21/84



# [12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 200410044779.3

[43] 公开日 2005年2月2日

[11] 公开号 CN 1574226A

[22] 申请日 2004.5.18

[21] 申请号 200410044779.3

[30] 优先权

[32] 2003.5.30 [33] US [31] 10/448, 947

[71] 申请人 国际商业机器公司

地址 美国纽约

[72] 发明人 格哈瓦姆·G·莎赫迪

斯蒂芬·W·贝德尔

德维恩卓·K·萨达纳

凯思·E·佛格尔

[74] 专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专利  
商标事务所

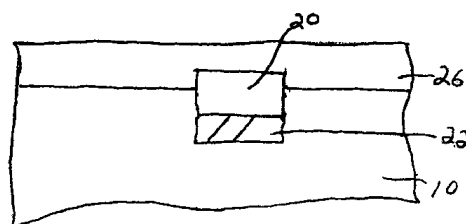
代理人 王永刚

权利要求书4页 说明书11页 附图5页

[54] 发明名称 形成绝缘体上硅锆衬底材料的方法、衬底材料及异质结构

[57] 摘要

本发明提供了一种利用 SIMOX 和锆互扩散形成基本上弛豫的、高质量绝缘体上硅锆衬底材料的方法。该方法包括首先将离子注入含硅衬底中，从而在含硅衬底中形成富注入物区。富注入物区具有足够的离子浓度，使得在随后的高温退火期间可以形成阻挡锆扩散的阻挡层。接着，在含硅衬底的表面上形成含锆层，然后在允许形成阻挡层和锆互扩散的温度下进行加热步骤，从而在阻挡层上面形成了基本上弛豫的单晶硅锆层。



ISSN 1008-4274

1. 一种制造基本上弛豫的、高质量绝缘体上硅锗衬底材料的方法，该方法包括步骤：

将离子注入含硅衬底中，形成具有足够的离子浓度以用作对错的扩散阻挡层的富注入物区，所述富注入物区具有位于其上面的含硅衬底表面层；

在注入后的含硅衬底上面形成含锗层；及

在允许(i)形成扩散阻挡层和(ii)锗互扩散发生在整个所述含锗层和位于富注入物区上面的所述含硅衬底表面层的温度下加热衬底，从而在所述扩散阻挡层上面形成了基本上弛豫的硅锗层。

2. 权利要求1的方法，其中所述注入离子包括氧离子、氮离子、NO离子、惰性气体或者它们的混合物。

3. 权利要求1的方法，其中所述注入离子包括氧离子。

4. 权利要求1的方法，其中所述注入包括覆盖式注入工艺或掩模注入工艺。

5. 权利要求1的方法，其中所述注入包括使用约  $4 \times 10^{17} \text{ cm}^{-2}$  或更高离子剂量进行的高剂量离子注入工艺。

6. 权利要求5的方法，其中高剂量离子注入在离子注入设备中实施，离子注入设备在从约  $0.05$  到约  $500 \text{ mA} \cdot \text{cm}^{-2}$  的束电流密度和从约  $150$  到约  $1000 \text{ keV}$  的能量下工作。

7. 权利要求5的方法，其中高剂量离子注入工艺在从约  $200^\circ\text{C}$  到约  $800^\circ\text{C}$  的温度下实施。

8. 权利要求5的方法，其中所述高剂量离子注入工艺包括基底离子注入步骤，接着在约  $4\text{K}$  到约  $200^\circ\text{C}$  的温度下实施第二离子注入步骤。

9. 权利要求8的方法，其中第二离子注入步骤使用约  $1 \times 10^{14}$  到约  $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-2}$  的离子剂量在从约  $40\text{keV}$  或更高的能量和从约  $0.05$  到约  $10 \text{ mA} \cdot \text{cm}^{-2}$  的束电流密度下实施。

10. 权利要求 1 的方法, 其中所述注入包括使用约  $4 \times 10^{17} \text{ cm}^{-2}$  或更低离子剂量进行的低剂量离子注入工艺。

11. 权利要求 10 的方法, 其中低剂量离子注入在离子注入设备中实施, 该离子注入设备在从约 0.05 到约  $500 \text{ mA} \cdot \text{cm}^{-2}$  的束电流密度和从约 40 到约 10000 keV 的能量下工作。

12. 权利要求 10 的方法, 其中低剂量离子注入工艺在从约  $100^\circ\text{C}$  到约  $800^\circ\text{C}$  的温度下实施。

13. 权利要求 10 的方法, 其中所述低剂量离子注入工艺包括基底离子注入步骤, 接着在约 4K 到约  $200^\circ\text{C}$  的温度下实施第二离子注入步骤。

14. 权利要求 13 的方法, 其中第二离子注入步骤使用约  $1 \times 10^{14}$  到约  $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-2}$  的离子剂量、约 40keV 或更高的能量和从约 0.05 到约  $10 \text{ mA} \cdot \text{cm}^{-2}$  的束电流密度下实施。

15. 权利要求 1 的方法, 其中含锗层是硅锗合金层或纯锗层。

16. 权利要求 1 的方法, 其中含锗层是包含达到 99.99 原子百分比锗的硅锗合金层。

17. 权利要求 1 的方法, 其中所述含锗层通过选自低压化学气相沉积、常压化学气相沉积、超高真空化学气相沉积、分子束外延和等离子体增强化学气相沉积的外延生长工艺形成。

18. 权利要求 1 的方法, 进一步包括在所述加热步骤之前在所述含锗层上面形成硅帽层。

19. 权利要求 18 的方法, 其中所述硅帽层包含 epi-Si、epi-SiGe、a:Si、a:SiGe、单晶或多晶硅, 或者它们的任何组合及多层。

20. 权利要求 1 的方法, 其中表面氧化层在所述加热期间形成。

21. 权利要求 20 的方法, 进一步包括使用湿化学蚀刻工艺除去所述表面氧化层。

22. 权利要求 1 的方法, 其中所述加热在至少包含一种含氧气体的氧化性环境中实施。

23. 权利要求 22 的方法, 进一步包括惰性气体, 所述惰性气体

被用来稀释所述的至少包含一种含氧的气体。

24. 权利要求 1 的方法，其中所述加热在从约 900°C 到约 1350°C 的温度下进行。

25. 权利要求 1 的方法，进一步包含在所述基本上弛豫的硅锗层上面生长附加的硅锗层。

26. 权利要求 25 的方法，进一步包含在所述附加硅锗层上面形成应变硅层。

27. 权利要求 1 的方法，进一步包含在所述基本上弛豫的硅锗层上面形成应变硅层。

28. 一种衬底材料，包含：

含硅衬底；

位于所述含硅衬底上面阻挡锗扩散的绝缘区；及

位于所述绝缘区上面基本上弛豫的硅锗层，其中所述基本上弛豫的硅锗层具有约 2000 纳米或更低的厚度和约  $5 \times 10^7$  原子/cm<sup>2</sup> 或更低的缺陷密度。

29. 权利要求 28 的衬底材料，其中所述绝缘区被图案化或未被图案化。

30. 权利要求 28 的衬底材料，其中所述绝缘区是埋置氧化区。

31. 权利要求 28 的衬底材料，其中所述基本上弛豫的硅锗层具有从约 1 到约 100% 的测定晶格弛豫。

32. 一种异质结构，包含：

含硅衬底；

位于所述含硅衬底上面阻挡锗扩散的绝缘区；及

位于所述绝缘区上面基本上弛豫的硅锗层，其中所述基本上弛豫的硅锗层具有约 2000 纳米或更低的厚度和约  $5 \times 10^7$  原子/cm<sup>2</sup> 或更低的缺陷密度；及在基本上弛豫的硅锗层上形成的应变硅层。

33. 权利要求 32 的异质结构，其中所述绝缘区被图案化或未被图案化。

34. 权利要求 32 的异质结构，其中所述绝缘区阻挡层是埋置氧

化区。

35. 权利要求 32 的异质结构，其中所述基本上弛豫的硅锗层具有从约 1 到约 100% 的测定晶格弛豫。

36. 权利要求 32 的异质结构，其中所述应变硅层包含 epi-Si 层。

37. 权利要求 32 的异质结构，其中在所述应变硅层上面形成交替的弛豫硅锗层和应变硅层。

38. 权利要求 32 的异质结构，其中所述应变硅层用选自 GaAs 和 GaP 的晶格错配的化合物来代替。

## 形成绝缘体上硅锗衬底材料的方法、 衬底材料及异质结构

### 相关申请

本申请涉及同时待审和共同受让的美国专利申请第 10/155,138 号, 该申请于 2002 年 1 月 23 日提交, 标题为“Method of Creating High-Quality Relaxed SiGe-On-Insulator for Strained Si CMOS Application”, 其全部内容引入本文作参考。

### 技术领域

本发明涉及制造半导体衬底材料的方法, 更具体地涉及通过结合绝缘体硅(SOI)形成的各方面以及利用含锗层的互扩散而在绝缘层上制造基本上弛豫的高质量硅锗合金晶体层的方法。本发明的方法提供了基本上弛豫的高质量绝缘体上硅锗, 它能用作通过随后的硅外延生长而在其上生成应变(strained)硅层的晶格错配模板。这种应变硅层具有高的载流子迁移率并且被用于高性能的互补金属氧化物半导体(CMOS)应用。本发明还涉及绝缘体上硅锗衬底材料以及至少包括绝缘体上硅锗衬底材料的结构。

### 背景技术

在半导体工业中, 绝缘体硅衬底可以使用本领域称作氧离子注入隔离(SIMOX)的过程来形成。在常规的 SIMOX 过程中, 硅片用高剂量( $5 \times 10^{16}$  原子/平方厘米或更高的量级)的氧气注入, 然后在高温下退火并氧化(约 1300°C 或更高的量级), 从而在硅片的表面下形成完美定义(well-defined)且连续的埋置氧化层。高温退火用于化学形成埋置氧化层并且通过在接近硅熔点下退火而消除保持在硅近表面层上的任何缺陷。

因为最近使用应变硅基异质结构的高水平活性，需要提供绝缘体上硅锗硅锗(SGOI)，其中硅锗层是基本上弛豫且高质量的。SGOI 衬底可以使用许多过程形成，举例来说包括 SIMOX 过程。在现有技术中，厚度约 1~5 微米的厚硅锗层被首先沉积在硅片的上表面，然后实施 SIMOX 过程。这种现有技术过程具有如下两个缺陷：1) 在形成连续氧化层前 Ge 趋向于扩散入体相中；2) 除非 Ge 浓度是非常低的，Ge 存在于 O 峰附近抑制了高质量埋置氧化层的形成。

从形成 SGOI 衬底材料的现有技术 SIMOX 过程的角度来看，需要提供一种新型且改善的 SIMOX 方法来降低在形成连续埋置绝缘层之前 Ge 向体相硅扩散的趋势，并且在埋置绝缘层上提供弛豫的、高质量的硅锗合金层。

#### 发明内容

本发明的一个目标是提供制造薄的、高质量的、基本上弛豫的绝缘体上硅锗衬底材料。

本发明的另一个目标是提供一种制造薄的、高质量的、基本上弛豫的绝缘体上硅锗衬底材料的方法，它们对进一步的缺陷产生，例如错配(misfit)和螺型位错(threading dislocations)是稳定的。

本发明的进一步目标是提供一种制造与 CMOS 加工步骤兼容的薄的、高质量的、基本上弛豫的绝缘体上硅锗衬底材料的方法。

本发明的仍进一步目标是提供一种制造薄的、高质量的、基本上弛豫的绝缘体上硅锗衬底材料的方法，该材料能用作用于形成应变硅层的晶格错配模板，即衬底。

本发明的再进一步目标是提供具有高载流子迁移率且用于高性能 CMOS 应用的应变硅/基本上弛豫的绝缘体上硅锗结构。

本发明的更进一步目标是通过结合绝缘体硅(SOI)形成的各方面以及利用含锗层的互扩散而在绝缘层上制造基本上弛豫的高质量硅锗合金晶体层的方法。

本发明的另一个目标是提供一种制造能利用 SIMOX 退火消除缺

陷性质的基本上弛豫的、高质量绝缘体上硅锗衬底材料的方法，该方法允许在高度阻挡锗扩散的埋置绝缘层上形成基本上弛豫的、高质量绝缘体上硅锗合金晶体层。

这些和其它目标及优点在本发明中可以通过使用包括首先将离子，例如氧离子注入含硅衬底中从而在含硅衬底中形成富注入物区的方法来实现。富注入物区具有足够的离子浓度，从而在随后的高温退火期间形成阻挡锗扩散的阻挡层(barrier layer)。接着，在含硅衬底的表面上形成含锗层，例如硅锗或纯锗层，然后在允许形成阻挡层和锗互扩散的温度下进行加热步骤，从而在阻挡层上面形成了基本上弛豫的单晶硅锗层。注意基本上弛豫的单晶层由至少硅锗或纯锗层以及位于富注入物区上面的部分含硅衬底的均相混合物构成。

在本发明的这些步骤后，可以在基本上弛豫的单晶硅锗层上面外延生长应变硅层，从而形成能用于大量高性能 CMOS 应用的应变硅/弛豫的含硅锗异质结构。

本发明方法还包括形成未图案化(即阻挡层是连续的)或图案化(即由半导体材料围绕的不连续且分离的阻挡区或岛)的阻挡层。

在本发明的仍另一个实施方案中，加热结构前在含锗层上面形成帽层。本发明的该实施方案改变了退火前硅锗层的热动力学稳定性(以阻止缺陷生成的方式)。硅锗层具有约 2000 纳米或更低的厚度，从约 10 到约 200 纳米的厚度是更高度优选的。

本发明的另一个方面涉及使用上述加工步骤形成的绝缘体上硅锗衬底材料。具体地说，本发明的衬底材料包含含硅的衬底；含硅衬底上面的阻挡锗扩散的绝缘区；以及绝缘区上面的基本上弛豫的硅锗层，其中基本上弛豫的硅锗层具有约 2000 纳米或更低的厚度。本发明绝缘体上硅锗衬底材料的特征在于它具有互补 SGOI 材料的典型缺陷密度。具体地说，本发明的绝缘体上硅锗衬底材料具有约  $5 \times 10^7 \text{cm}^{-2}$  或更低的测量缺陷密度。

本发明的仍进一步方面涉及至少包括上述衬底材料的异质结构。具体地说，本发明的异质结构包含含硅的衬底；含硅衬底上面阻挡锗



扩散的绝缘区；绝缘区上面基本上弛豫的硅锗层，其中基本上弛豫的硅锗层具有约 2000 纳米或更低的厚度；以及在基本上弛豫的硅锗层上形成的应变硅层。

本发明的其它方面涉及超晶格结构，以及用于至少包括本发明绝缘体上硅锗衬底材料的其它晶格错配结构的模板。

### 附图说明

图 1A~1D 是表示在本发明中用于制造薄的、高质量的、基本上弛豫的绝缘体上硅锗衬底材料的基本加工步骤的图示(截面视图)。在这些图表中，形成了连续的即未图案化的阻挡锗扩散的阻挡层。

图 2A~2D 是表示在本发明可选实施方案中用于制造薄的、高质量的、基本上弛豫的绝缘体上硅锗衬底材料的基本加工步骤的图示(截面视图)。在这些图表中，形成了图案化的阻挡锗扩散的阻挡层。

图 3A~3B 是表示本发明可选实施方案的图示(截面视图)，其中在图 1B 所示结构或图 2B 所示结构上形成的含锗层的上面形成了硅帽层。

图 4A~4B 是分别表示在图 1D 和 2D 的薄的、高质量的、基本上弛豫的绝缘体上硅锗衬底材料上形成应变硅层的图示(截面视图)。

图 5 是使用本发明加工步骤形成的绝缘体上硅锗衬底材料的 SEM 图。

### 具体实施方式

现在参照本发明的相关附图更详细地描述本发明，本发明提供了一种制造薄的、高质量的、基本上弛豫的绝缘体上硅锗衬底材料的方法，这种材料能用作随后硅外延生长的晶格错配模板。在相关附图中，类似和/或相应要素由类似的参考数字表示。

首先参照阐述本发明加工步骤的图 1A~1D。具体地说，图 1A 表示本发明的第一个加工步骤，在步骤中离子 12 被注入含硅衬底 10，从而在含硅衬底 10 中形成富注入物区 14。如图所述，富注入物区位

于含硅衬底 10 表面层的下方。此处使用的术语“含硅”意指至少包括硅的半导体衬底。示例性的实例包括,但不局限于 Si、SiGe、SiC、SiGeC、Si/Si、Si/SiC、Si/SiGeC,以及可能包括任何数量其中存在的埋置氧化物区(连续的、非连续的或者连续和非连续混合)的预形成绝缘体硅。

在本发明该方面,被注入含硅衬底 10 的离子 12 是当接受随后加热步骤时能够形成阻挡锗扩散的阻挡层的任何离子。这些离子的示例性实例包括,但不局限于氧离子、氮离子、NO 离子、惰性气体和它们的混合物。在本发明该方面被注入含硅衬底 10 的优选离子 12 是氧离子。

以能够在含硅衬底中形成富注入物区 14 的足够浓度将离子 12 注入含硅衬底 10 中。在本发明该方面形成的富注入物区 14 具有足以在接受随后加热步骤时能够形成阻挡锗扩散的阻挡层的离子浓度。典型地,本发明该步骤中形成的富注入物区 14 具有约  $1 \times 10^{22}$  原子/立方厘米或更高的离子浓度。

在含硅衬底 10 下表面的下方形成富注入物区 14,以至于含硅衬底的表面层位于富注入物区 14 的上面。典型地,富注入物区 14 在含硅衬底 10 下表面以下约 5 纳米或更大处形成。

使用本领域技术人员公知的常规 SIMOX 过程和条件,以及在下面共同受让的专利中提及的不同 SIMOX 过程和条件注入离子 12: 美国专利申请第 09/861,593 号,2001 年 5 月 21 日归档;第 09/861,594 号,2001 年 5 月 21 日提交;第 09/861,590 号,2001 年 5 月 21 日提交;第 09/861,596 号,2001 年 5 月 21 日提交和第 09/884,670 号,2001 年 6 月 19 日提交;以及授予 Sadana 等的美国专利第 5,930,634 号,每篇专利的全部内容引入本文作参考。注入可以是图 1A 中所示的覆盖式注入 (blanket implantation),或者可以使用图 2A 中所示的图案化注入。图案化注入包括直接在含硅衬底 10 上表面形成的掩模,或者可以使用位于距含硅衬底 10 上表面一段距离的掩模。

尽管在本发明中可以使用许多注入条件,但是下面给出了用于在含硅衬底 10 上形成富注入物区 14 的常用注入条件:

**I. 高剂量离子注入:** 此处使用的术语“高剂量”意指约  $4 \times 10^{17} \text{ cm}^{-2}$  或更高的离子剂量, 从约  $4 \times 10^{17}$  到约  $4 \times 10^{18} \text{ cm}^{-2}$  的离子剂量是更优选的。除了使用高离子剂量外, 这种注入典型地在离子注入设备中实施, 该装置在从约  $0.05$  到约  $500 \text{ mA} \cdot \text{cm}^{-2}$  的束电流密度和从约  $150$  到约  $1000 \text{ keV}$  的能量下操作。更具体地说, 这种注入使用从约  $150$  到约  $210 \text{ keV}$  的能量而实施。

被称作基底离子注入 (base ion implant) 的这种注入工艺在从约  $200^\circ\text{C}$  到约  $800^\circ\text{C}$  的温度和从约  $0.05$  到约  $500 \text{ mA} \cdot \text{cm}^{-2}$  的电子束电流密度下实施。更具体地说, 基底离子注入可以在从约  $200^\circ\text{C}$  到约  $600^\circ\text{C}$  的温度和从约  $5$  到约  $10 \text{ mA} \cdot \text{cm}^{-2}$  的束电流密度下实施。

如果需要, 基底离子注入步骤后可以进行第二氧注入, 第二氧注入使用从约  $1 \times 10^{14}$  到约  $4 \times 10^{16} \text{ cm}^{-2}$  的离子剂量实施, 从约  $1 \times 10^{15}$  到约  $4 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$  的离子剂量是高度优选的。第二氧注入在约  $40 \text{ keV}$  或更高的能量下实施, 而从约  $120$  到约  $450 \text{ keV}$  的能量是更优选的。

第二注入在从约  $4\text{K}$  到约  $200^\circ\text{C}$  和温度和从约  $0.05$  到约  $10 \text{ mA} \cdot \text{cm}^{-2}$  的束电流密度下进行。更具体地说, 第二离子注入可以在从约  $25^\circ\text{C}$  到约  $100^\circ\text{C}$  的温度和从约  $0.5$  到约  $5.0 \text{ mA} \cdot \text{cm}^{-2}$  的束电流密度下进行。

注意第二离子注入在由基底离子注入步骤引起的损伤区以下形成无定形区。在本发明的随后加热步骤期间, 无定形和损伤区变成阻挡锗扩散的阻挡层的一部分。

**II. 低剂量离子注入:** 此处使用的用于本发明该实施方案的术语“低剂量”意指约  $4 \times 10^{17} \text{ cm}^{-2}$  或更低的离子剂量, 从约  $1 \times 10^{16}$  到约  $3.9 \times 10^{17} \text{ cm}^{-2}$  的离子剂量是更优选的。这种低剂量注入在从约  $40$  到约  $10000 \text{ keV}$  的能量下进行, 从约  $400$  到约  $210 \text{ keV}$  的注入能量是更加高度优选的。

被称作基底离子注入的这种注入工艺在从约  $100^\circ\text{C}$  到约  $800^\circ\text{C}$  的温度下实施。更具体地说, 基底离子注入可以在从约  $200^\circ\text{C}$  到约  $650^\circ\text{C}$

的温度和从约 0.05 到约 500 mA·cm<sup>-2</sup> 的束电流密度下实施。

如果需要，基底离子注入步骤后可以进行使用上述条件的第二氧注入。

再次强调上面类型的注入条件是示例性的并且决没有限制本发明的范围。另外，本发明包括了所有在常规 SIMOX 过程中典型使用的常规离子注入方法。

图 1B 阐明了在含硅衬底 10 上表面的上方形成了含锗层 16 之后而形成的结构。本发明此处形成的含锗层 16 可以是硅锗合金层或者纯锗层。术语“硅锗层”包括包含达到 99.99 原子百分比锗的硅锗合金，而纯锗层包括包含 100 原子百分比锗的层。当使用硅锗合金层时，硅锗合金层中的锗含量优选地从约 0.1 到约 99.9 原子百分比，并且锗原子百分比从约 10 到约 35 是更加高度优选的。

根据本发明，使用任何本领域技术人员公知的常规外延生长方法在含硅衬底 10 上表面的上方形成含锗层 16，该方法能够：(i) 热动力学稳定(临界厚度以下)的硅锗合金或纯锗层，(ii) 生长介稳态且无缺陷，即错配和 TD 位错的硅锗合金或纯锗层，或(iii) 生长部分或完全弛豫的硅锗层，弛豫程度由生长温度、锗含量、厚度或者硅帽层的存在控制。能够满足条件(i)，(ii)或(iii)的这种外延生长过程的示例性实例包括，但不局限于：低压化学气相沉积(LPCVD)、超高真空化学气相沉积(UHVCVD)、常压化学气相沉积(APCVD)、分子束外延(MBE)和等离子体增强化学气相沉积(PECVD)。

本发明此处形成的含锗层 16 的厚度可以变化，但是典型地含锗层 16 具有从约 10 到约 500 纳米的厚度，并且从约 20 到约 200 纳米的厚度是更高度优选的。

在本发明的可选实施方案中，参见图 3A~3B，在实施本发明的加热步骤前在含锗层 16 的上面形成可选的帽层 18。本发明中使用的可选帽层包含任何硅或含硅材料，含硅材料包括，但不局限于：外延硅(epi-Si)、外延硅锗(epi-SiGe)、无定形硅(a:Si)、无定形硅锗(a:SiGe)、单晶或多晶硅，或者包括多层的它们的组合。在优选的实施方案中，

帽层 18 由 epi-Si 构成。注意层 16 和 18 可以在或者不在相同的反应室内形成。

目前, 可选帽层 18 具有从约 1 到约 100 纳米的厚度, 并且从约 1 到约 30 纳米的厚度是更高度优选的。可选帽层 18 使用任何公知的包括上述外延沉积生长过程的过程来形成。

在本发明的一个实施方案中, 优选地在含硅衬底 10 上形成厚度从约 1 到约 2000 纳米的纯锗或者硅锗合金(15~20 原子百分比的锗)层 16, 然后在锗或硅锗层的上面形成厚度从约 1 到约 100 纳米的硅帽层 18。

在注入后的含硅衬底上面形成含锗层 16 和(和可选的帽层 18)后, 加热衬底, 即在允许锗在整个含硅层、含锗层 16 和可选硅帽层 18(如果有)的表面上互扩散的温度下退火, 从而也是在加热步骤期间形成的阻挡层 22 上面形成基本上弛豫的单晶硅锗层 20。图 1C 表示在本发明加热步骤后形成的所得结构已经被完成。注意在加热期间在层 20 的上面形成了氧化层 24。该氧化层在加热步骤后被典型地, 但并不总是使用常规的湿蚀刻过程从结构中除去, 其中使用与硅锗层相比对除去氧化物有高度选择性的化学蚀刻剂, 例如 HF。

注意当除去氧化层时, 在层 20 的上面形成了单晶硅层, 并且本发明的上述加工步骤可以被重复多次, 从而产生多层弛豫的硅锗衬底材料。

本发明加热步骤后形成的氧化层 24 具有可从约 10 到约 1000 纳米变化的可变厚度, 并且从约 20 到约 500 纳米的厚度是更高度优选的。

具体地说, 本发明的加热步骤是在从约 900°C 到约 1350°C 的温度下进行的退火步骤, 并且从约 1200°C 到约 1335°C 的温度是更加高度优选的。另外, 本发明的加热步骤在氧化性气氛, 至少包括一种含氧的气体, 例如 O<sub>2</sub>、NO、N<sub>2</sub>O、臭氧、空气和其它类似的含氧气体中实施。含氧气体可以彼此混合(例如 O<sub>2</sub> 和 NO 的混合物), 或者气体可以用惰性气体, 例如 He、Ar、N<sub>2</sub>、Xe、Kr 或 Ne 稀释。

加热步骤可以进行可变的一段时间, 典型地从约 10 到约 1800 分

钟，并且从约 60 到约 60 分钟是更加高度优选的。加热步骤可以在单一目标温度下实施，或者使用具有不同匀变率和保温时间的不同匀变和保温循环（ramp and soak cycles）。

加热步骤在氧化性气氛下实施，从而获得表面氧化层，即层 24，它们用作锗原子的扩散阻挡层。因此，一旦氧化层 24 在结构的表面上形成，锗原子在阻挡层 22 和氧化层 24 间被捕获。当表面氧化物的厚度增加时，锗变成更均匀地发布在整个层 14、16 和可选层 18 中，但是它被连续且高效地从侵入的氧化层中挡回。所以加热步骤期间层(匀化)变薄时，锗的相对分数增加。当加热步骤在稀释的含氧气体中于从约 1200°C 到约 1320°C 的温度下实施时，在本发明中实现了高效的热混合。

本文还考虑使用基于硅锗层熔点可调的加热循环。在这种情况下，调节温度至硅锗层的熔点以下。

注意如果氧化发生得太快，锗不能足够快地表面氧化物/硅锗界面中扩散开，并且或者被通过氧化物传输(并损失)，或者锗的界面浓度变得如此之高，以至于将达到合金的熔点温度。

本发明高温加热步骤的作用是(1)在含硅衬底中形成阻挡锗扩散的阻挡层 22；(2)使锗原子更快地扩散，从而维持退火期间的均匀分布；(3)使初始层结构接受促进平衡构形的热平衡。在已经进行了这种加热步骤后，本发明结构包括了均匀且基本上弛豫的硅锗合金层，即层 20，它们夹在阻挡层 22 和表面氧化层 24 之间。

根据本发明，基本上弛豫的硅锗层 20 具有约 2000 纳米或更低的厚度，并且从约 10 到约 100 纳米的厚度是更高度优选的。本发明退火期间形成的阻挡层 22 具有约 500 纳米或更低的厚度，并且从约 50 到约 200 纳米的厚度是更高度优选的。注意本发明中形成的基本上弛豫的硅锗层 20 比现有技术的硅锗缓冲层更薄并且具有低于约  $5 \times 10^7$  缺陷/cm<sup>2</sup> 的包括错配和 TD 的缺陷密度。该缺陷密度值达到了对于互补 SGOI 材料所报道的值。

本发明中形成的基本上弛豫的硅锗层 20 具有从约 0.1 到约 99.9

原子百分比的锗含量，并且从约 10 到约 35 原子百分比的锗是更加高度优选的。基本上驰豫的硅锗层 20 的另一个特征是它具有从约 1 到 100% 的测定晶格驰豫，并且从约 50 到 80% 的测定晶格驰豫是更加高度优选的。

如上所述，表面氧化层 24 可以在本发明此处被剥离，从而提供例如图 2D 所示的绝缘体上硅锗衬底材料(注意衬底材料不包括帽层，因为该层已经用于形成驰豫硅锗层)。

图 2A~2D 表示本发明形成了阻挡层 22 的一个实施方案。在本发明的该实施方案中，实施例如在图 2A 中所示的掩模离子注入步骤。在图 2A 中，参考数字 15 指在本发明该实施方案中使用的注入掩模。图 2A 中所示的注入掩模使用本领域公知的常规方法来形成。尽管注入掩模 15 可以在图 2A 所示的注入步骤后被除去，但是它也可以保留在形成含锗层 16 期间的结构上，参见图 2B。在形成含锗层 16 后，掩模 15 可以在本发明此处被除去。注入掩模的去除使用本领域技术人员公知的常规剥离过程来实施。图 2C 表示加热步骤后的结构，并且图 2D 表示除去氧化层 24 后的结构。注意注入掩模在整个过程可以保留在结构中。

图 4A~B 分别表示在图 1D 和 2D 的硅锗层 20 上面形成了硅层 26 后而获得的结构。硅层 26 使用本领域公知的常规外延沉积过程来形成。外延硅层 26 的厚度可以变化，但典型地外延硅层 26 具有从约 1 到约 100 纳米的厚度，并且从约 1 到约 30 纳米的厚度是更高度优选的。

在某些情况下，可以使用上述的加工步骤在硅锗层 20 的上面形成附加的硅锗层，然后形成外延硅层 26。因为与外延硅层 26 相比，层 20 具有大的面内晶格参数，所以外延硅层 26 将发生拉伸应变。

如上所述，本发明还考虑超晶格结构，以及至少包括本发明绝缘体上硅锗衬底材料的晶格错配结构。在超晶格结构的情况下，该结构将至少包括本发明的基本上驰豫的绝缘体上硅锗衬底材料和在衬底材料基本上驰豫的硅锗层上面形成的交替硅和硅锗层。

在晶格错配结构情况下，在本发明绝缘体上硅锗衬底材料的基本

上驰豫的硅锗层上面将形成 GaAs、GaP 或其它类似化合物。

图 5 是使用本发明方法形成的基本上驰豫的绝缘体上硅锗衬底材料(表面氧化层被剥离)的实际 SEM 图。实际上,图 5 所示的绝缘体上硅锗衬底材料通过首先使用落在上述范围内的注入条件将氧离子注入含硅片中来制备。然后,在注入后的含硅衬底上面生长  $600\text{\AA}$ -17%的硅锗合金层,其后在 Ar-O<sub>2</sub> 气氛中于 1320°C 下实施单一退火/氧化步骤。在图像中,上部(黑)区域是样品上面的区域(SEM 室)。第一个亮灰层是 SGOI 层,下面是在高温步骤期间形成的黑灰色带埋置氧化层(BOX)。BOX 下面的亮灰层是硅衬底。X 射线衍射表明硅锗层(94.2 纳米)包含 4%原子比的锗,并且 92%是驰豫的。埋置氧化层具有约 47.10 纳米的厚度并且是连续且良好形成的。

总之,绝缘体上硅锗衬底材料在本发明中作为一个整体过程被形成,该包括结合了高温 SIMOX 退火的优点并简化形成绝缘体上硅锗的锗扩散和分离。

尽管本发明已经参照它们优选的实施方案被具体地表述并描述时,本领域技术人员应当理解可以做出前述和其它形式及细节上改变而没有背离本发明的范围和精神。因为认为本发明没有限制于所描述并阐明的确切形式和细节,而是它们落在附加权利要求的范围内。



图1A

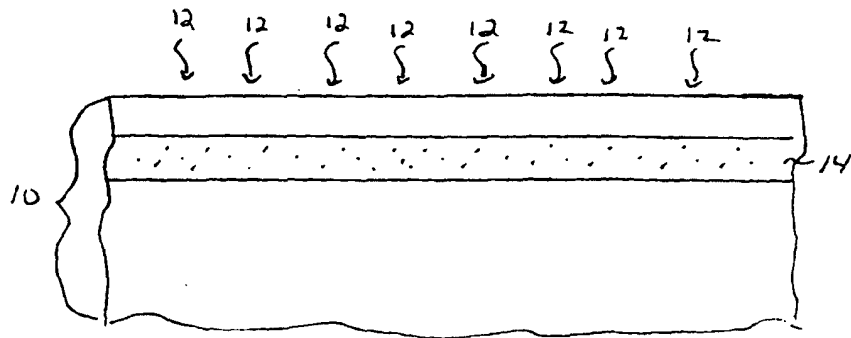


图1B

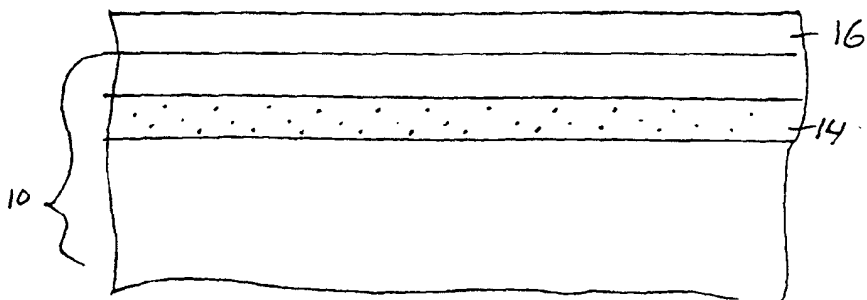


图1C

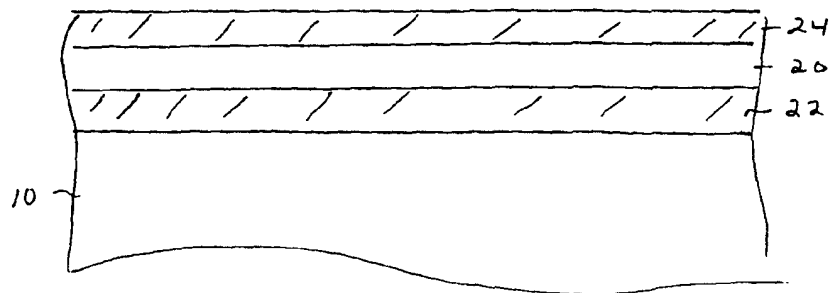


图 1D

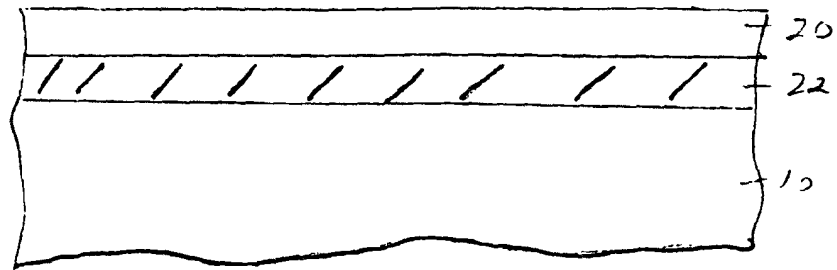


图 2A

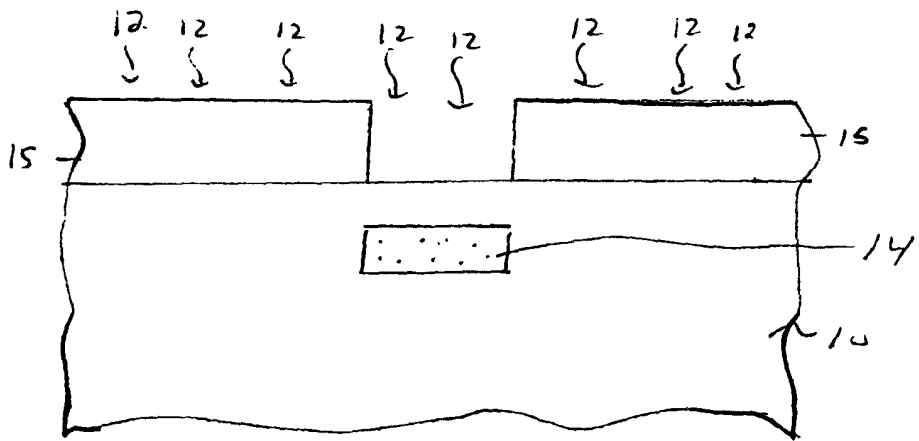


图 2B

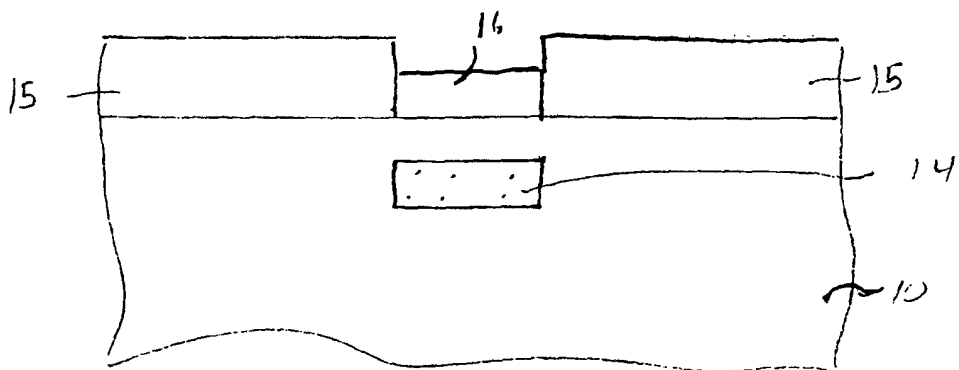


图 2C

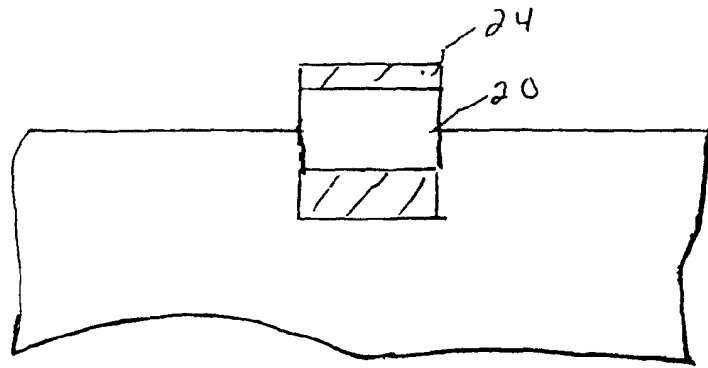


图 2D

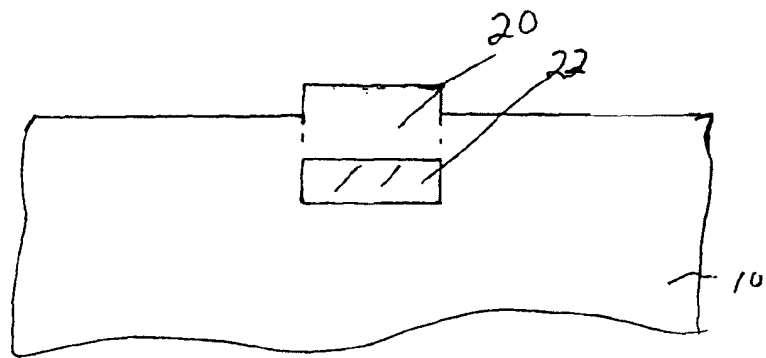


图 3A

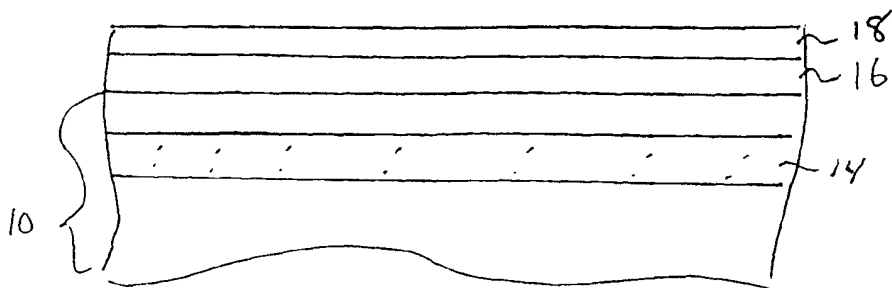


图 3B

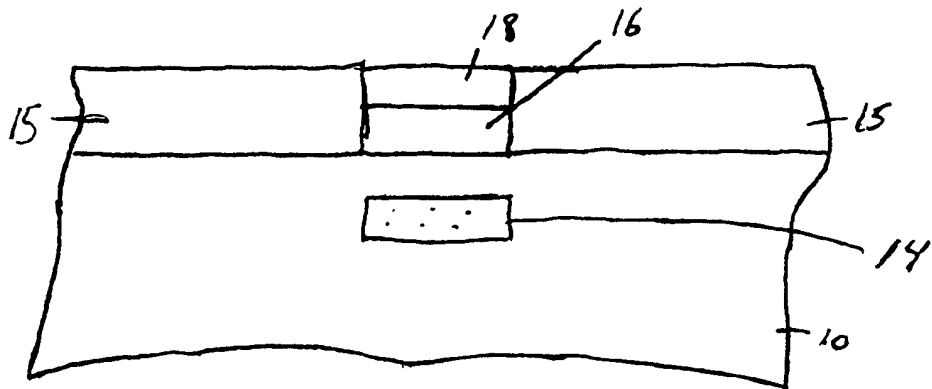


图 4A

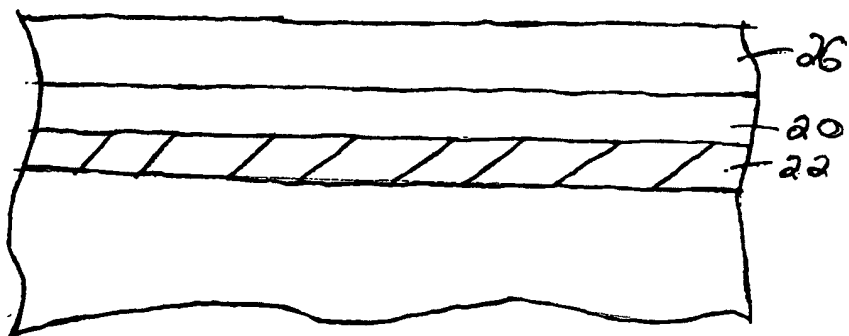


图 4B

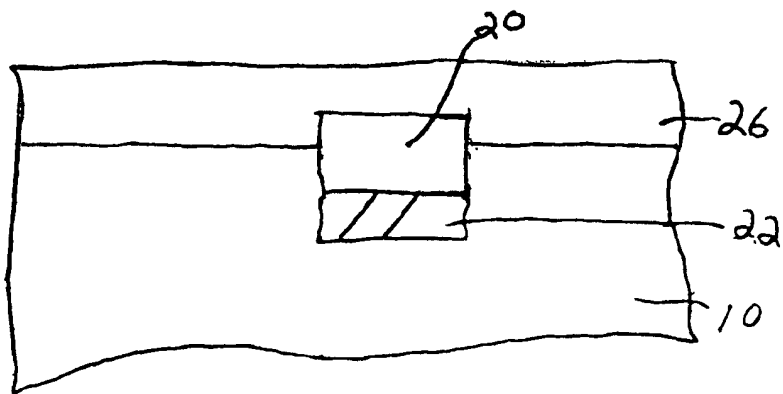


图5

