(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 101168850 B
(45)授权公告日 2011.04.27

(21)申请号 200710148262.2

(22)申请日 2007.09.04

(30)优先权数据
2006-240855 2006.09.05 JP
2007-056130 2007.03.06 JP

(73)专利权人 株式会社 SUMCO
地址 日本东京都

(72)发明人 稻见修一 井上邦春 诸石学
深川嗣也 草场伸博

(74)专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司 72001
代理人 孙秀武 李炳爱

(51)Int.Cl.
C30B 29/06(2006.01)
C30B 15/00(2006.01)

(56)对比文件
US 4002523 A,1977.01.11, 全文.
CN 1428463 A,2003.07.09, 摘要,权利要求1.
JP 2003313089 A,2003.11.06, 权利要求10-12,第69-70段.

审查员 刘冰

权利要求书 1 页 说明书 11 页 附图 1 页

(54)发明名称

硅单晶的制造方法及硅片的制造方法

(57)摘要

本发明提供能够获得晶轴方位为[110]的硅片、且位错被完全除去的电阻率低的硅单晶的制造方法以及由通过该方法获得的硅单晶制造晶轴方位为[110]的低电阻硅片的方法。为利用CZ法的硅单晶制造方法,在作为掺杂剂添加有硼且其浓度达到6.25×10^{17}～2.5×10^{20}原子/cm^3的硅熔融液中,浸渍中心轴相对于[110]晶轴倾斜0.6°～10°、且与在由所述硅熔融液培育的单晶上形成的颈部的硼浓度大致相同浓度的硅晶种,从而培育中心轴相对于[110]晶轴倾斜0.6°～10°的硅单晶。

CN 101168850 B

1. 一种硅单晶的制造方法，其为利用切克劳斯基法的硅单晶的制造方法，其特征在于，在作为掺杂剂添加有硼且其浓度达到 6.25×10^{17} ～ 2.5×10^{20} 原子 /cm^3 的硅熔融液中，浸渍中心轴相对于 [110] 晶轴倾斜 0.6° ～ 10°、且与在由所述硅熔融液培育的单晶上形成的颈部的硼浓度大致相同浓度的硅晶种，从而培育中心轴相对于 [110] 晶轴倾斜 0.6° ～ 10° 的硅单晶，

其中，硅晶种的中心轴向以垂直于所述 [110] 晶轴的 [001] 或 [00-1] 晶轴作为旋转轴旋转的方向倾斜。

2. 一种硅单晶的制造方法，其为利用切克劳斯基法的硅单晶的制造方法，其特征在于，在作为掺杂剂添加有硼且其浓度达到 6.25×10^{17} ～ 2.5×10^{20} 原子 /cm^3 的硅熔融液中，浸渍中心轴相对于 [110] 晶轴倾斜 0.6° ～ 10°、且与在由所述硅熔融液培育的单晶上形成的颈部的硼浓度大致相同浓度的硅晶种，从而培育中心轴相对于 [110] 晶轴倾斜 0.6° ～ 10° 的硅单晶，

其中，作为所述晶种使用与硅熔融液相接触的晶种下端部的直径为 8mm 以下的晶种，在提拉过程中形成直径 4 ～ 6mm 的颈部。

3. 权利要求 1 所述的硅单晶的制造方法，其特征在于，作为所述晶种使用与硅熔融液相接触的晶种下端部的直径为 8mm 以下的晶种，在提拉过程中形成直径 4 ～ 6mm 的颈部。

4. 一种硅片的制造方法，其特征在于，在从通过权利要求 1 ～ 3 任一项所述方法制得的硅单晶截取出晶片时，以对应于所述晶种的倾斜角度的角度斜向截取硅单晶，截取出表面具有 (110) 面的硅片。

5. 一种硅片的制造方法，其特征在于，在从通过权利要求 1 ～ 3 任一项所述方法制得的硅单晶截取出晶片时，按照相对于所述硅单晶的直径方向最大倾斜角度为 ±10° 以下的方式截断单晶。

6. 一种外延硅片的制造方法，其特征在于，在通过权利要求 4 或 5 所述的方法获得的硅片的表面上形成外延层。

7. 一种硅晶种，其特征在于，硼浓度为 5×10^{17} ～ 2×10^{20} 原子 /cm^3、且中心轴相对于 [110] 晶轴倾斜 0.6° ～ 10°，其中，硅晶种的中心轴向以垂直于所述 [110] 晶轴的 [001] 或 [00-1] 晶轴为旋转轴旋转的方向倾斜。

硅单晶的制造方法及硅片的制造方法

技术领域

[0001] 本发明涉及利用切克劳斯基法的硅单晶的制造方法以及使用通过该方法获得的硅单晶的硅片的制造方法。

背景技术

[0002] 硅半导体的集成电路元件（设备）的高进成化正在快速地发展，与此同时，对集成电路的微细化、形成设备的硅片的品质要求越来越严格。因此，形成设备的所谓设备活性区域，位错等结晶缺陷和金属类杂质的存在被严格地限制。这些是由于它们会导致漏电流增大和载流子寿命降低。

[0003] 另一方面，近年来在电源控制等用途中使用功率半导体设备。作为功率半导体设备用的衬底主要利用如下获得的外延硅片：截取通过切克劳斯基法（以下记为CZ法）培育的单晶硅锭，在所得的硅片的表面上使基本完全除去了结晶缺陷的硅外延层生长，从而获得外延硅片。

[0004] 作为该功率半导体硅设备用衬底，为了进一步省电，要求提供电阻率低的硅片。在外延晶片中采用低电阻硅片的原因在于，通过使用低电阻硅片，可以防止在设备工作时产生的浮游电荷使寄生二极管工作、即封闭锁定现象，在设备的设计上变得容易的设计方面缘故。另外，当使用沟槽结构的电容器时，通过使用低电阻硅片具有可以防止沟槽周边在施加电压时的空乏层扩展的优点也是理由之一。

[0005] 该低电阻硅片一般来说高浓度地掺杂有掺杂剂。为p型硅片时，高浓度地掺杂作为p型掺杂剂的硼(B)；为n型硅片时，高浓度地掺杂作为n型掺杂剂的磷(P)、砷(As)、锑(Sb)等。

[0006] 在通过CZ法培育硅单晶时，由于晶种与硅熔融液相接触时的热激在晶种内发生位错，但在以往多为使用的晶轴[100]的硅单晶中，可以消除由于缩颈工艺所产生的位错。

[0007] 但是，在晶轴方位为[110]的硅单晶中，由于在结晶结构上具有与拉晶轴方向平行的滑移面的{111}面，因此与硅熔融液的接触所产生的位错在缩颈工艺中难以去除到晶种外。因此，具有通过颈部位错被提拉至生长结晶中，不能培育无位错的硅单晶。

[0008] 而且，伴随着单晶硅锭的大口径及大重量化，有必要加粗颈部直径，由此观点出发，更加难以除去位错。

[0009] 即，以直径300mm的拉单晶为例，使用直径10mm以上的晶种使得晶种本身的耐荷重变大，减小颈部直径使得成为直径4mm～6mm左右的颈部。但是，如果使用直径大的晶种，则晶种的中心部和外周部的温度分布难以均一化，产生温度不均，易于发生位错。另外，由于与硅熔融液的接触面积变大，因此晶种内的位错发生量也增加。

[0010] 对于该问题，在日本特开2003-313089号公报中提出了通过以<110>结晶方位相对于晶种的轴方向倾斜的状态提拉该晶种，从而对在缩颈工序中已经除去位错的硅单晶进行提拉的单晶硅制造方法。而且，上述倾斜方向如果是将处于相对于该<110>结晶方位垂直位置关系的其它<110>结晶方位作为旋转轴进行旋转的方向，则检测提拉的单晶的结

晶方位时，作为 X 射线衍射面使用的 {220} 面（与 {110} 面平行）与其它 <100> 轴结晶或 <111> 轴结晶的 {220} 面平行，因此可以将 X 射线衍射装置、根据所检测方位进行定位边 (orientation flat) 或凹槽加工等的加工装置与提拉的单晶的结晶方位无关地共用，因此优选。

[0011] 图 1 为日本特开 2003-313089 号公报的图 2 所记载的图，是说明硅结晶的结晶方位与晶种的轴方向关系的图。该图中，在将晶种浸渍在硅熔融液 6 中进行提拉时的颈部（图 1 中，表示为可滑动位错除去部 4）上重叠硅晶 7 的结构的图，从而进行显示。上述“相对于晶种的轴方向倾斜的方向，，在该图 1 中，是将相对于 <110> 方位处于垂直位置关系的其它 <110> 结晶方位，即图 1 中粗下划线所示的 {110} 面方位作为旋转轴进行旋转的方向，旋转至该方向的结果为，硅结晶 7 的 <110> 方位 10 相对于晶种的轴方向（结晶拉晶方向）9 倾斜 θ° 的状态。

[0012] 另一方面，在高浓度添加有硼等掺杂剂的 100mΩcm 以下的 p 型低电阻硅单晶的培育中，晶种和硅熔融液的掺杂剂浓度若不同，则具有由于晶格常数的差别，在晶种和熔融液的接触时在晶种内易于发生失配位错的问题。

[0013] 对此，例如在日本特开平 9-255490 号公报中提出了使用具有与硅熔融液中的硼浓度相同水平的硼浓度的晶种来回避晶格常数不同所导致的位错发生的技术。

[0014] 另外，在日本特开 2001-240493 号公报中记载了使用无位错单晶作为晶种，使晶种和生长结晶之间的硼浓度之差在规定值以下的无位错硅单晶的制造方法。但是，在晶轴方位为 [110] 的硅单晶的培育中，该单晶由于具有与上述提拉轴方向相同方向的滑移面（{111} 面），因此位错除去效果并不充分。

[0015] 另外，晶片表面使用 (110) 面的硅片进行外延生长处理时，具有外延层表面的光雾恶化的问题。

发明内容

[0016] 本发明的目的在于提供解决上述问题，能够获得晶轴方位为 [110] 的硅片，而且位错被充分地除去的硅单晶的制造方法以及在该方法中使用的硅晶种，以及由通过该方法获得的硅单晶制造晶轴方位为 [110]、电阻率低的硅片的方法。

[0017] 本发明人为了解决上述技术问题，也考虑到为了在作为功率半导体设备用衬底被主要利用的低电阻外延硅片中的应用，对将硼作为掺杂剂添加并且利用中心轴相对于 [110] 晶轴倾斜规定角度的无位错硅单晶的 CZ 法进行的制造以及使用该硅单晶的晶轴方位为 [110] 的硅片的制造进行了研究，进而完成了本发明。

[0018] 本发明的主旨在于下述 (1) 的硅单晶的制造方法、(2) 或 (3) 的硅片的制造方法、(4) 的硅晶种。

[0019] (1) 一种利用 CZ 法的硅单晶的制造方法，其特征在于，通过在作为掺杂剂添加有硼且其浓度达到 6.25×10^{17} ～ 2.5×10^{20} 原子 /cm^3 的硅熔融液中浸渍中心轴相对于 [110] 晶轴倾斜 0.6° ～ 10° 、且与在由上述硅熔融液培育的单晶上形成的颈部的硼浓度大致相同浓度的硅晶种，从而培育中心轴相对于 [110] 晶轴倾斜 0.6° ～ 10° 的硅单晶。

[0020] 在上述 (1) 的硅单晶制造方法中，硅晶种的中心轴只要是向以相对于上述 [110] 晶轴垂直的 <100> 晶轴作为旋转轴旋转的方向倾斜，则与向其它方向倾斜的情况相比，即

便颈部的长度短，也可以在缩颈中除去位错，因此优选。

[0021] 另外，在上述 (1) 的硅单晶制造方法中，优选作为晶种使用与硅熔融液相接触的晶种下端部直径至少为 8mm 以下的晶种，形成直径 4 ～ 6mm 的颈部。

[0022] (2) 硅片的制造方法，在从通过上述 (1) 所述方法获得的硅单晶截取晶片时，以对应上述晶种倾斜角度的角度斜向截断硅单晶，截取出表面具有 (110) 面的硅片。

[0023] (3) 硅片的制造方法，在从通过上述 (1) 所述方法获得的硅单晶截取晶片时，按照最大倾斜角度相对于上述硅单晶直径方向达到 ±10° 以下的方式截断硅单晶。

[0024] 如果在通过上述 (2) 或 (3) 所述方法制造的硅片的表面上形成外延层，则可以制造抑制了光雾发生的外延硅片。

[0025] (4) 为硼浓度为 5×10^{17} ～ 2×10^{20} 原子 /cm^3、中心轴相对于 [110] 晶轴倾斜 0.6° ～ 10° 的硅晶种。即，优选由硼的偏析系数假设在以上述硅熔融液的硼浓度培育的单晶上形成的颈部的硼浓度，使用与其大致同浓度的硅晶种。

[0026] 上述 (4) 的硅晶种的中心轴若向以相对于上述 [110] 晶轴垂直的 <100> 晶轴作为旋转轴旋转的方向倾斜，则使用该晶种进行硅单晶的提拉时，可以缩短能够除去位错的颈部的长度。

[0027] 通过本发明的硅单晶的制造方法，可以制造在抑制失配位错的同时，将在缩颈工艺中难以除去的位错充分除去的、中心轴相对于 [110] 晶轴倾斜 0.6° ～ 10° 的硅单晶。在该方法的实施中，特别优选使用本发明的硅晶种。

[0028] 另外，通过本发明的硅片制造方法，可以制造晶轴方位为 [110]、无位错的低电阻硅片。还可以制造抑制了在形成于晶片上的外延层表面上产生光雾的晶片。

附图说明

[0029] 图 1 为说明硅单晶的结晶方位和晶种的轴方向的关系的图。

具体实施方式

[0030] 以下说明上述 (1) ～ (4) 所述的本发明硅单晶的制造方法、在该制造方法中使用的硅晶种以及硅片的制造方法。

[0031] 上述 (1) 所述的硅单晶的制造方法为利用 CZ 法的硅单晶制造方法，是在作为掺杂剂添加有硼且其浓度达到 6.25×10^{17} ～ 2.5×10^{20} 原子 /cm^3 的硅熔融液中浸渍中心轴相对于 [110] 晶轴倾斜 0.6° ～ 10° 的硅晶种，培育硅单晶的方法。

[0032] 即，由于使滑移面 ({111} 面) 由生长方向 (即提拉轴方向) 倾斜、进行提拉，因此引入至晶种外周部的热激位错到达滑移面上，在缩颈中由颈侧面释放。结果可以制造位错被充分地除去、无位错的硅单晶。该硅单晶的中心轴相对于 [110] 晶轴倾斜 0.6° ～ 10° 。

[0033] 如上设定晶种的倾斜角度范围的原因如下。

[0034] 首先，假设缩颈中的颈部直径为 6mm，求出用于滑移面上的位错从颈侧面被释放所必需的颈部长度 (L)，如表 1 所示。

[0035] 表 1

[0036]

θ(°)	0.4	0.5	0.6	0.7	1	1.5	2	3	10	20	45	90
L(mm)	1052	842	701	601	420	281	210	140	41.9	20.6	8.48	4.24
tan φ	5.70×10^{-3}	7.13×10^{-3}	8.55×10^{-3}	9.88×10^{-3}	1.43×10^{-2}	2.14×10^{-2}	2.85×10^{-2}	4.28×10^{-2}	1.43×10^{-1}	2.91×10^{-1}	7.07×10^{-1}	1.41
φ(°)	0.33	0.41	0.49	0.57	0.82	1.22	1.63	2.45	8.15	16.20	35.26	54.70

[0037] 这里，θ 在以垂直于 [110] 晶轴的 <100>（更具体地说 [001] 或 [00-1]）为中心旋转时，为 [110] 晶轴和晶种的中心轴所成的角度（以下记作“晶种的倾斜角度”或仅记作“倾斜角度”），φ 为 {111} 滑移面（具体地说，(-111)、(1-11)、(1-1-1)、(-11-1) 的 4 个

面）与晶种的中心轴所成的角度。θ 和 φ 之间具有下式 (a) 所示的关系。

[0038] $$\tan\phi = \frac{\sin\theta \sin 54.74}{\sqrt{\cos^2 54.74 + \sin^2 54.74 \cos^2\theta}} \quad \cdots (a)$$

[0039] 为了如后所述将如此培育的硅单晶截取成表面具有 (110) 面的晶片，有必要使硅单晶的中心轴相对于线锯倾斜设置。所截取的晶片并非真圆，为椭圆。椭圆的短轴是为了成为真圆，将多余部分磨削、变圆后的直径。长轴随着晶种倾斜角度而改变。

[0040] 表 2 显示了硅单晶的直径为 300mm 时的晶种的倾斜角度（θ）和长轴 (b) 的关系。

[0041] 表 2

[0042]

θ (°)	0.4	0.5	0.6	0.7	1	10	20
b(mm)	300.007	300.011	300.016	300.022	300.046	304.628	319.253

[0043] 所截取的晶片的成为扁平的部分在截取后（以下也成为“切片”）通过用于加工成真圆的磨削，成为加工损失的部分。

[0044] 另外，为了倾斜硅单晶的中心轴、固定在线锯上所产生的振幅在块料长（如后所述将单晶锭截断成适当长度后所得块料的长度，相当于硅单晶的直径）为 300mm 时，如表 3 所示。需要说明的是，上述振幅是指由于倾斜块料进行固定，因此截取所必需的加工长度有若干增加，称为其增加代价。

[0045] 表 3 显示了硅单晶的直径为 300mm 时的晶种的倾斜角度（θ）和振幅 (D) 的关系。

[0046] 表 3

[0047]

θ (°)	0.4	0.5	0.6	0.7	1	10	20
D(mm)	2.09	2.62	3.67	3.67	5.24	52.09	102.6

[0048] 为了将直径 300mm 的硅单晶切片，至少必需能够对在 300mm 上加以表 3 所示振幅 D 的“D+300mm”宽度的结晶进行切片的加工能力。

[0049] 综合考虑以上表 1 ～表 3 所示的颈部长度 L、使椭圆变为真圆的加工损失以及振幅 D，使晶种的倾斜角度为 0.6° ～ 10° 。更优选为 1° ～ 10° 。倾斜角度小于上述角度时，用于除去位错的颈部长度变得过长，无法得到充分的位错除去效果。另外，也是因为晶种的倾斜角度大于上述角度时，切片后的扁平程度变大，成为加工损失的部分增加，所必需的线锯加工能力也变得过大。

[0050] 本发明中，倾斜晶种的方向只要是 {111} 滑移面相对于提拉轴倾斜的方向即可。例如，使晶种的中心轴相对于 [110] 晶轴倾斜时，可以向不同于垂直 [110] 晶轴的 <111> 晶轴（更详细地说，[-11-1]、[1-11]、[1-1-1]、[-111] 晶轴）方向（正确地说，以 <111> 晶轴为中心旋转的方向）的方向倾斜。另外，垂直于 [110] 晶轴的 <100> 晶轴（更详细地说，[001]、[00-1] 晶轴）方向，即如获得上述表 1 所示结果的情况那样，还可以向以 <100> 晶轴为中心旋转的方向倾斜。

[0051] 硅晶种的中心轴如果向以垂直于上述 [110] 晶轴的 <100> 晶轴作为旋转轴旋转的

方向倾斜，则可以如下所述那样缩短在缩颈中能够去除位错的颈部长度 (L)，可以缓解拉单晶时的制约，因此优选。

[0052] “以垂直于上述 [110] 结晶的<100>晶轴为旋转轴旋转的方向”是指在上述图 1 中，以带有粗下划线的 {100} 面的方位为旋转轴旋转的方向。即，θ ° 在 0° 的状态下、以上述 {100} 面的方位作为旋转轴，向相对于图 1 纸面的面前方向或者相反方向旋转的方向。

[0053] 上述表 1 所示的颈部长度 (L) 是使晶种中心轴相对于 [110] 晶轴的倾斜方向为以垂直于 [110] 晶轴的 <100> 晶轴作为旋转轴旋转的方向的情况，但如上述日本特开 2003-313089 号公报所记载那样，向以处于垂直<110>结晶方位的位置关系的其它<110>结晶方位作为旋转轴旋转的方向倾斜的情况下，α 和 φ 之间成立下述 (b) 式所示的关系。这里，α 表示晶种的倾斜角度，对应上述 (a) 式的 θ 。另外，φ 是 {111} 滑移面与晶种的中心轴所成的角度。

[0054] $$\tan\phi = \frac{\sin\alpha \sin 35.26}{\sqrt{\cos^2 35.26 + \sin^2 35.26 \cos^2\alpha}} \quad \cdots (b)$$

[0055] 使用该 (b) 式，与上述表 1 的情况同样地计算颈部的长度 (L)，如表 4 所示。

[0056] 表 4

[0057]

α (°)	0.4	0.5	0.6	0.7	1	1.5	2	3	10
L(mm)	1488	1190	994	850	596	396	299	199	59.6
tan φ	4.03×10^{-3}	5.04×10^{-3}	6.05×10^{-3}	7.05×10^{-3}	1.01×10^{-2}	1.51×10^{-2}	2.02×10^{-2}	3.02×10^{-2}	1.01×10^{-1}
φ (°)	0.231	0.289	0.346	0.404	0.577	0.866	1.15	1.73	5.75

[0058] 在表 1 和表 4 中，若比较颈部的长度 (L)，表 1 中的颈部的长度 (L) 明显短，当使晶种中心轴相对于 [110] 晶轴的倾斜方向为以垂直于 [110] 晶轴的 <100> 晶轴作为中心旋转的方向时，可以缩短能够位错的颈部的长度 (L)。

[0059] 根据该结果，实际上使倾斜角度为 6° 或 10° 进行比较，结果当使晶种的倾斜方向为以垂直于 [110] 晶轴的 <100> 晶轴作为旋转轴旋转的方向时，可以确认能够除去位错的颈部的长度 (L) 变短。

[0060] 在本发明的硅单晶的制造方法中，在作为掺杂剂添加有硼且其浓度达到 6.25×10^{17} ～ 2.5×10^{20} 原子 /cm^3 的硅熔融液中浸渍与在由该硅熔融液培育的单晶上形成的颈部的硼浓度大致相同浓度的硅晶种。

[0061] 在 p 型低电阻硅单晶的培育中，由于晶种和硅熔融液的掺杂剂浓度不同所导致的晶格常数的差异，在晶种内易于发生失配位错，但通过使晶种和硅熔融液的培育结晶的颈部的硼浓度大致相同，可以抑制在低电阻硅单晶的培育中成为问题的失配位错发生。

[0062] 上述的大致相同浓度优选为晶种和硅熔融液的培育结晶的颈部中的一硼浓度相对于另一硼浓度为 10 ～ 1000％（即 0.1 ～ 10 倍）范围内的浓度。若为该范围内的浓度差，则可见失配位错发生的抑制效果。

[0063] 根据后述的实施例结果，如上所述那样规定硅熔融液的培育结晶的颈部和晶种的硼浓度。

[0064] 本发明中应用的硅单晶是硼浓度为 5×10^{17} ～ 2×10^{20} 原子 /cm^3、且中心轴相对于 [110] 晶轴倾斜 0.6° ～ 10° 的晶种。

[0065] 在本发明的硅单晶的制造方法中，作为硅晶种使用与硅熔融液的培育结晶的颈部的硼浓度大致相同浓度的晶种，但如果使用基本上为相同浓度的晶种，则可以消除与生长结晶的晶格常数的差异，可以进一步提高失配位错发生的抑制效果。

[0066] 即，优选的是考虑硼的偏析系数，由硼的偏析系数假定在以所述硅熔融液的硼浓度培育的单晶上形成的颈部的硼浓度，使用与其浓度大致相同浓度的 5×10^{17} ～ 2×10^{20} 原子 /cm^3 的硅晶种。

[0067] 本发明的硅单晶的制造方法中，作为晶种使用与硅熔融液相接触的晶种下端部的直径至少为 8mm 以下的晶种，若形成直径 4 ～ 6mm 的颈部，则与熔融液相接触的接触面积小、通过预热即可使晶种温度充分地均匀化，因此可以进一步减少位错的发生量，因而优选。

[0068] 上述 (2) 所述的硅片的制造方法是在由通过本发明制造方法制得的电阻率低的硅单晶截取晶片时，以对应上述晶种倾斜角度的角度斜向截断硅单晶，截取表面具有 (110) 面的硅片的制造方法。

[0069] 以对应晶种倾斜角度的角度斜向截断硅单晶，截取其截面具有 (110) 面的硅片，因此可以制造晶轴方位为 [110]、无位错的低电阻硅片。

[0070] 上述 (3) 所述的硅片的制造方法同样是在由通过本发明制造方法获得的硅单晶截取出晶片时，按照相对于上述硅单晶的直径方向（单晶端面的水平方向）最大倾斜角度为 ±10° 以下的方式截断硅单晶的硅片制造方法。

[0071] 通过如此截断硅单晶，可以制造晶轴相对于 [110] 晶轴倾斜的无位错低电阻硅片。该硅片表面由于并非 (110) 面，因此可以抑制在外延生长处理时成为问题的外延层表面上产生光雾。

[0072] 通过本发明的硅单晶的制造方法制造硅片的加工流程的概略情况如下所述。

[0073] 首先，在经提拉的硅单晶（锭）上实施外周磨削。锭由于考虑到品质上的要求、提拉中的干扰所导致的直径变化，作为直径比目标晶片直径大数％的锭被提拉，因此通过对该锭进行外周磨削直至达到目标直径。

[0074] 接着，截断锭的肩部或尾部，进而截断成适当长度的块料。

[0075] 然后使块料与碳的基座相连，倾斜块料的中心轴固定在线锯上。此时通过 X 射线衍射装置测定结晶的方位，按照切片后的表面成为 (110) 表面或者相对硅单晶的直径方向最大倾斜角度达到 ±10° 进行固定，通过线锯截断。

[0076] 切片后的晶片为扁平的椭圆形状，因此通过磨削去掉多余的部分，成为真圆。之后，通过抛光使表面为镜面。

[0077] 实施例

[0078] （实施例 1）

[0079] 在以下所示的结晶培育条件下培育硅单晶，研究是否有单晶的位错。需要说明的是，无论是硅结晶中的硼浓度还是晶种倾斜角度的任何水平，硅单晶的提拉数均为 3 根。

[0080] 硅晶种的硼浓度使用方便使用的标记。p 上所带有的“+”或“++”表示掺杂剂浓度（这里为硼浓度）高、结晶的电阻率低，“-”表示相反的意思。由于对于掺杂剂浓度、电阻率没有明确的定义，因此此处特别将掺杂剂浓度提高的 P+、P++ 进行如下定义。

[0081] p+ :硼浓度 5×10^{17} ～ 7×10^{18} 原子 /cm^3

[0082] 电阻率 100 ～ 20mΩcm

[0083] p++ :硼浓度 7×10^{18} ～ 2×10^{20} 原子 /cm^3

[0084] 电阻率 20 ～ 0.8mΩcm

[0085] 需要说明的是，为了培育 p+、p++ 的单晶，有必要考虑偏析现象使熔融液中的掺杂剂浓度为 1/ 偏析系数倍 (1/0.8 ＝ 1.25 倍：为硼时）的浓度。

[0086] ＜结晶培育条件＞

[0087] 晶轴方位 :<110>

[0088] 单晶直径 :300mm

[0089] 培育结晶的硼浓度 :p-、p、p+、p++

[0090] 晶种的硼浓度 :p

[0091] 晶种的倾斜角度 :0°、0.7°、1°、5°、10°

[0092] 颈部长度 :300mm

[0093] 研究结果示于表 5 中。在表 5 中，将可以无位错地将所有 3 根硅单晶培育的情况评价为○、将一部分的硅单晶发生位错的情况评价为△、将所有的单晶发生位错的情况评价为 ×。实施例 2 ～ 4 中也同样。

[0094] 表 5

[0095]

	晶种的倾斜角度 (°)	培育结晶的硼浓度		
		p-	p+	P++
条件 1	0	△	×	×
条件 2	0.7	○	×	×
条件 3	1.0	○	×	×
条件 4	5.0	○	△	×
条件 5	10.0	○	△	×

[0096] 由表 5 可知，在倾斜晶种中心轴（倾斜角度 0°）进行培育的条件 1 下，使用 p- 结晶等硼浓度低的硅熔融液培育的较高电阻的硅单晶时，也可以无位错地培育 3 根中的一部分硅单晶，但 p+、p++ 的硅单晶（低电阻结晶）的培育中全部有位错。

[0097] 在倾斜晶种进行提拉的条件 2 ～ 5 下，无位错单晶的收率全部提高，但 p++ 的结晶培育中全部有位错。可认为这是由于在仅使晶种的中心轴相对于 [110] 晶轴倾斜的提拉

中，除去失配位错的效果小。

[0098] （实施例 2）

[0099] 除了使颈部长度改为 400mm 以外，在与实施例 1 相同的条件下培育硅单晶。有无硅单晶的位错的研究结果示于表 6 中。

[0100] 表 6

[0101]

	晶种的倾斜角度（°）	培育结晶的硼浓度		
		p−	p+	P++
条件 1	0	△	×	×
条件 2	0.7	○	×	×
条件 3	1.0	○	△	×
条件 4	5.0	○	○	×
条件 5	10.0	○	○	×

[0102] 如表 6 所示，通过增长颈部长度，在颈部长度 300mm 下即便在不能无位错化的条件下也可以无位错化。

[0103] （实施例 3）

[0104] 除了使颈部长度改为 600mm 以外，在与实施例 1 相同的条件下培育单晶。研究结果示于表 7 中。

[0105] 表 7

[0106]

	晶种的倾斜角度（°）	培育结晶的硼浓度		
		p−	p+	P++
条件 1	0	△	×	×
条件 2	0.7	○	△	×
条件 3	1.0	○	○	×
条件 4	5.0	○	○	×
条件 5	10.0	○	○	×

[0107] 由表 7 可知，通过增长颈部长度，即便在实施例 1、2 中不能无位错化的条件下也可以无位错化。实施例 2、3 的特征在于，对于 p+ 结晶的培育，通过增长颈部长度，可见无位错的成功率提高，与此相对，在 p++ 结晶的培育中，即便增长颈部长度，也未见无位错的成功率提高。可知，硅熔融液的掺杂剂浓度越高，调整晶种的倾斜角度所带来的改善效果越小。

[0108] （实施例 4）

[0109] 除了使晶种的硼浓度对应于培育结晶的硼浓度之外，全部在与实施例 1 相同的条件下对硅单晶进行提拉。研究结果示于表 8 中。

[0110] 表 8

[0111]

	晶种的倾斜角度（°）	培育结晶的硼浓度		
		p−	p+	P++
条件 1	0	△	△	△
条件 2	0.7	○	○	○
条件 3	1.0	○	○	○
条件 4	5.0	○	○	○
条件 5	10.0	○	○	○

[0112] 由表 8 可知，在全部条件 1 ～ 5 下，可以在无位错下进行单晶培育。

[0113] （实施例 5）

[0114] 使晶种的倾斜角度为 5°，在与实施例 1 相同的条件下使用硼浓度为 p++ 的晶种培育 p++ 的硅单晶，将相对于 (110) 面的倾斜角度进行各种变更，截取硅片。对于各晶片实施外延生长处理，在晶片表面上形成外延层后，测定外延层表面的表面粗糙度。

[0115] 外延生长条件为使用三氯硅烷 (TCS) 作为原料气源，在 1130 □的温度下，在晶片表面上形成电阻率 p、厚度 3μm 的外延层。其结果示于表 9 中。在表 9 中，所谓的“表面粗糙度 RMS”是指用下述 (c) 式定义的晶片表面的微观粗糙度（微粗糙度），通过 AFM（原子力显微镜）测定、评价。

[0116] $$RMS = \sqrt{\frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^{N} zi^2} \quad \cdots (c)$$

[0117] 其中，N：测定点

[0118] zi：测定点 i 的表面高度

[0119] 表 9

[0120]

	相对于 (110) 面的倾斜角度 (°)	倾斜方向	表面粗糙度 (RMS)
条件 1	0	-	0.106
条件 2	0.46	[00-1]	0.084
条件 3	0.48	[00-1]+20°	0.075
条件 4	0.44	[-11-1]	0.162
条件 5	0.42	[-1 0 0]	0.264

[0121] 由表 9 可知，与晶片表面为 (110) 面时 (表 9 的条件 1) 的表面粗糙度相比，表面粗糙度更小。即，推测改变相对于 (110) 面的倾斜角度时，抑制了光雾发生。

[0122] 本发明的硅单晶的制造方法是规定硅熔融液及浸渍在其中的晶种的硼浓度、以及晶种相对于 [110] 晶轴的倾斜角度的方法，可以制造位错被充分地除去、中心轴相对于 [110] 晶轴倾斜 0.6° ～ 10° 的硅单晶。在该方法的实施中，优选使用本发明的硅晶种。通过使用该硅单晶的本发明的硅片的制造方法，可以制造晶轴方位为 [110]、无位错的低电阻硅片。还可以形成晶片表面上光雾发生被抑制的外延层。

[0123] 因此，本发明的硅单晶的制造方法和在该方法中使用的硅晶种以及硅片的制造方法可以优选利用在硅半导体材料和设备的制造中。

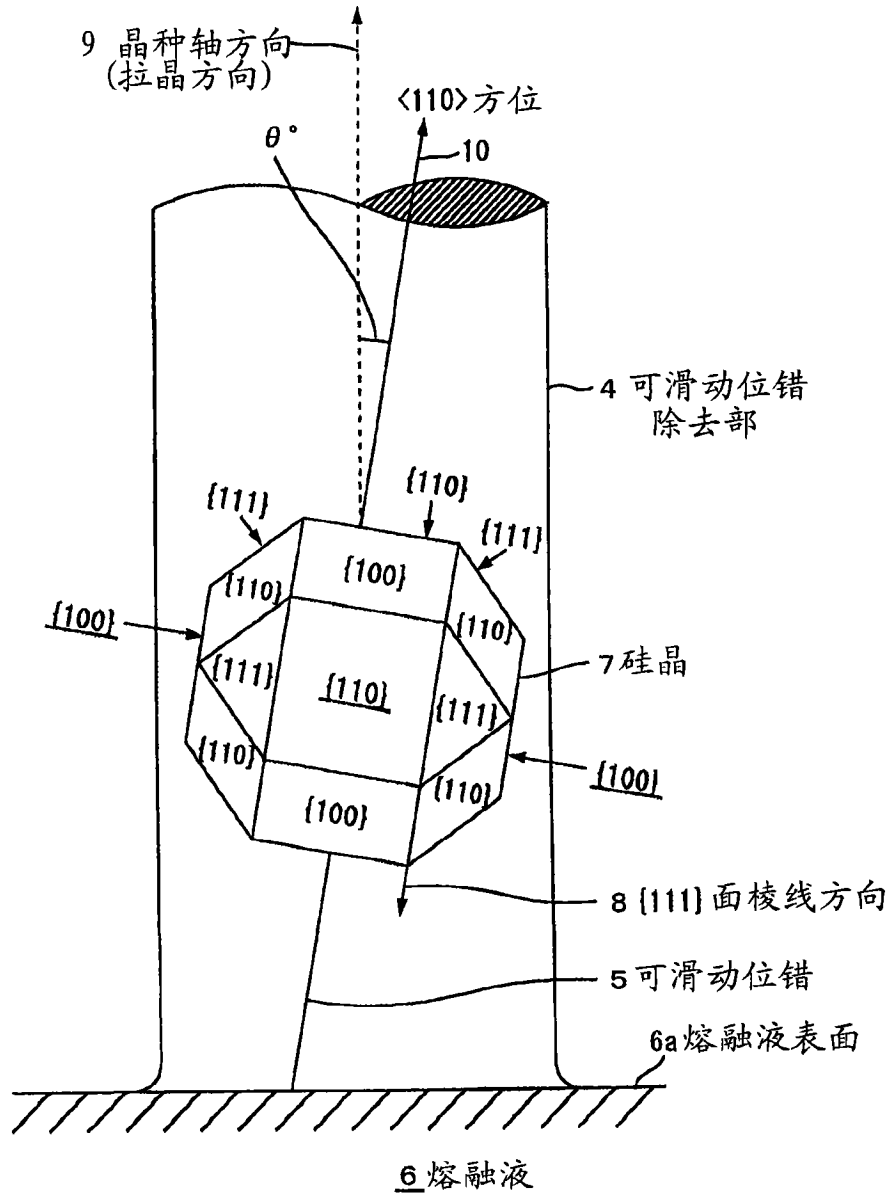
9 晶种轴方向
(拉晶方向)
<110>方位
θ°
10
4 可滑动位错
除去部
{111}
{110}
{111}
{110}
{100}
{110}
{111}
{110}
{111}
{110}
{100}
{110}
{100}
7硅晶
{100}
8 {111}面棱线方向
5可滑动位错
6a熔融液表面
6熔融液

图 1