

[19] 中华人民共和国国家知识产权局



[12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200580033839.4

[51] Int. Cl.

C30B 29/36 (2006.01)

C30B 23/00 (2006.01)

C30B 33/10 (2006.01)

[43] 公开日 2007 年 12 月 5 日

[11] 公开号 CN 101084330A

[22] 申请日 2005.9.27

[21] 申请号 200580033839.4

[30] 优先权

[32] 2004.10.4 [33] US [31] 10/957,807

[86] 国际申请 PCT/US2005/034352 2005.9.27

[87] 国际公布 WO2006/041660 英 2006.4.20

[85] 进入国家阶段日期 2007.4.4

[71] 申请人 格里公司

地址 美国北卡罗来纳州

[72] 发明人 阿德里安·波维尔 马克·布莱德 罗伯特·泰勒·莱昂纳德

[74] 专利代理机构 北京德琦知识产权代理有限公司

代理人 徐江华 王珍仙

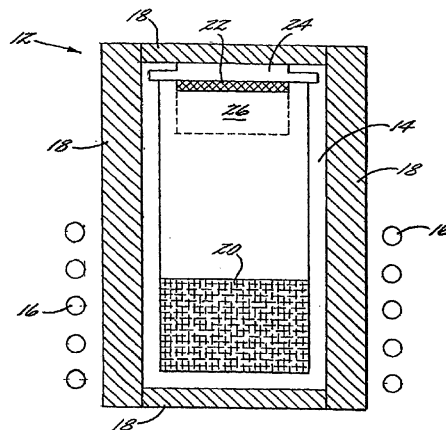
权利要求书 5 页 说明书 10 页 附图 3 页

[54] 发明名称

低微管 100mm 碳化硅晶片

[57] 摘要

公开了一种直径至少约 100mm 并且微管密度小于约 25cm^{-2} 的高质量 SiC 单晶晶片。



- 1、一种高质量 SiC 单晶晶片，具有至少约 100mm 直径和小于约 25cm^{-2} 的微管密度。
- 2、如权利要求 1 所述的 SiC 晶体，其中微管密度小于约 20cm^{-2} 。
- 3、如权利要求 1 所述的 SiC 晶体，其中微管密度小于约 7cm^{-2} 。
- 4、如权利要求 1 所述的 SiC 晶体，其中该晶体具有选自如下组中的多型：3C、4H、6H、2H 和 15R 多型。
- 5、如权利要求 1 所述的晶片，具有 4H 多型，并且其表面上的微管密度在 7 到 22cm^{-2} 之间。
- 6、如权利要求 5 所述的高质量半导体前体晶片，其中所述表面微管密度是所述表面的总微管计数除以所述晶片表面面积。
- 7、如权利要求 6 所述的高质量半导体前体晶片，其中所述表面微管密度是在优先使微管缺陷显著的蚀刻后，所述表面上的总微管的计数。
- 8、如权利要求 7 所述的高质量半导体前体晶片，其中所述表面微管密度是在用熔融氢氧化钾蚀刻表面后，所述表面上的总微管的计数。
- 9、一种高质量半导体前体晶片，包括：
直径至少为约 100mm 的碳化硅晶片；
所述晶片具有 4H 多型；和
所述晶片的表面上具有约 545 到 1730 个微管。
- 10、如权利要求 9 所述的高质量半导体前体晶片，其中所述表面微管是所述表面上的总微管计数。
- 11、如权利要求 10 所述的高质量半导体前体晶片，其中所述的表面微管是在所述表面的在优先使微管缺陷显著的表面蚀刻后，所述表面上的总微管计数。
- 12、如权利要求 11 所述的高质量半导体前体晶片，其中所述的表面微管是在用熔融氢氧化钾蚀刻表面后，所述表面上的总微管计数。
- 13、如权利要求 1 所述的晶片，具有 4H 多型；

其表面微管密度小于 25cm^{-2} ; 和

在所述碳化硅晶片的表面上具有第 III 族-氮化物层。

14、如权利要求 13 所述的半导体前体晶片, 其中所述的第 III 族-氮化物层选自入下组中: GaN、AlGaN、AlN、AlInGaN、InN、AlInN 及其混合物。

15、两个以上半导体器件前体, 包括:

如权利要求 1 所述的碳化硅晶片和两个以上在所述晶片的一些部分上的单独的第 III 族氮化物外延层。

16、如权利要求 1 所述的晶片, 包括:

具有分别相互背对的第一和第二表面的大块单晶碳化硅衬底; 和

在所述碳化硅衬底上的两个以上器件, 每个器件包括:

位于该衬底上的外延层, 所述层具有合适的掺杂原子的浓度以为该外延层形成第一传导类型, 和单独的源极、沟道和漏极部分;

在所述沟道部分上的金属氧化物层; 和

在所述金属氧化物层上的金属栅极触点, 以在对所述金属栅极触点施加偏压时时形成有源沟道。

17、如权利要求 1 所述的晶片, 包括:

具有分别相互背对的第一和第二表面的大块单晶碳化硅衬底; 和

在所述碳化硅衬底上的两个以上的器件, 每个器件包括:

在所述衬底上的导电沟道;

在所述的导电沟道上的源极和漏极; 和

位于所述的导电沟道上, 在所述源极和漏极之间的金属栅极触点, 以在对金属栅极触点施加偏压时形成有源沟道。

18、如权利要求 1 所述的晶片, 包括:

具有分别相互背对的第一和第二表面的大块单晶碳化硅衬底; 和

两个以上位于所述单晶碳化硅衬底上的结型场效应晶体管。

19、如权利要求 1 所述的晶片, 包括:

具有分别相互背对的第一和第二表面的大块单晶碳化硅衬底; 和

两个以上定位于所述单晶碳化硅衬底上的异质场效应晶体管。

20、如权利要求 1 所述的晶片，包括：

具有分别相互背对的第一和第二表面的大块单晶碳化硅衬底；和

两个以上定位于所述单晶碳化硅衬底上的二极管。

21、一种形成高质量 SiC 单晶晶片的方法，该方法包括：

形成具有稍大于 100mm 直径的 SiC 晶锭；

将晶锭切割为晶片，每个晶片表面具有小于约 30cm^{-2} 的微管密度；

然后抛光晶片；

在熔融 KOH 中蚀刻抛光的晶片；

对蚀刻过的晶片表面上的微管进行计数。

22、如权利要求 21 所述的方法，其中形成 SiC 晶锭的步骤包括形成微管密度小于约 25cm^{-2} 的晶锭。

23、如权利要求 21 所述的方法，其中形成 SiC 晶锭的步骤包括形成微管密度小于约 20cm^{-2} 的晶锭。

24、如权利要求 21 所述的方法，其中形成 SiC 晶锭的步骤包括形成微管密度小于约 10cm^{-2} 的晶锭。

25、如权利要求 21 所述的方法，其中熔融 KOH 中蚀刻抛光的晶片的步骤包括蚀刻这些晶片到大于约 $10\mu\text{m}$ 的深度。

26、如权利要求 21 所述的方法，其中计数微管的步骤包括对蚀刻的晶片表面的微管总数进行计数。

27、如权利要求 26 所述的方法，其中计数所述晶片表面上的微管数的步骤进一步包括用微管的数除以晶片表面的面积来确定蚀刻的晶片表面上的微管密度。

28、在籽晶升华系统中制备高质量大块单晶碳化硅的方法，其中改进包括：
生长具有至少约 100mm 直径和表面上微管密度小于约 20cm^{-2} 的 SiC 晶锭；
将该 SiC 晶锭切割为晶片，其中每块晶片表面上具有小于约 20cm^{-2} 的微管密度。

29、如权利要求 28 所述的方法，进一步包括：

抛光该 SiC 晶片；

将该抛光的 SiC 晶片连接在籽晶固定器上；

将籽晶固定器放置于坩埚中；

在坩埚中放置 SiC 源粉末；

将坩埚抽真空以除去环境空气和其他杂质；

将该坩埚置于惰性气体压力下；

将系统加热至 SiC 生长温度；和

降低压力以开始 SiC 生长。

30、如权利要求 28 所述的方法，其中将 SiC 晶锭切割为晶片的步骤包括沿晶体生长轴进行机械切割。

31、如权利要求 28 所述的方法，包括生长单一多型的 SiC。

32、如权利要求 28 所述的方法，其中生长 SiC 晶锭的步骤包括生长具有选自如下组中多型的晶锭：3C、4H、6H、2H 和 15R 多型。

33、如权利要求 29 所述的方法，其中将 SiC 籽晶连接到籽晶固定器的步骤包括将籽晶置于石墨籽晶固定器上，并且将 SiC 籽晶放置到坩埚中的籽晶固定器上的步骤包括将该籽晶放置到石墨坩埚中。

34、如权利要求 29 所述的方法，进一步包括通过将坩埚中的惰性气体压力升高到高于约 400 托并将温度降低到低于约 1900℃来停止生长。

35、如权利要求 29 所述的方法，其中放置坩埚于惰性气体压力下的步骤包括引入选自如下组中的惰性气体：惰性气体、N₂ 及其混合物。

36、如权利要求 29 所述的方法，其中加热该系统至 SiC 生长温度的步骤包括加热到约 1900 到 2500℃之间。

37、如权利要求 29 所述的方法，进一步包括将掺杂剂气体引入籽晶升华系统以将掺杂剂掺入到 SiC 单晶中。

38、如权利要求 29 所述的方法，进一步包括在完成晶体生长过程之后退火该晶体。

39、如权利要求 29 所述的方法，其中将 SiC 晶片连接到籽晶固定器的步骤包括连接微管密度小于约 10cm^{-2} 的 SiC 晶片。

40、如权利要求 21 或 29 所述的方法，其中抛光晶片的步骤包括化学机械抛光。

41、如权利要求 40 中所述的方法，进一步包括用熔融 KOH 蚀刻抛光的 SiC 晶片。

42、如权利要求 28 中所述的方法，其中将 SiC 晶锭切割为晶片的步骤包括将晶锭切割为厚度至少约 1mm 的晶片。

低微管 100mm 碳化硅晶片

技术领域

本发明涉及低缺陷碳化硅晶片及其作为半导体前体的应用，还涉及大的高质量碳化硅单晶的籽晶升华生长。

背景技术

近几年，已经发现碳化硅在各种电子器件和用途中作为半导体材料。由于碳化硅的物理强度和对化学侵蚀的高耐受性，因而特别有用。碳化硅也具有极好的电子属性，包括辐射硬度、高耐压性、相对宽的带隙、高饱和电子漂移速度、高温操作，以及在蓝色、紫色和紫外光谱区域的高能光子吸收和发射。

单晶碳化硅经常用籽晶升华生长法来制备。在典型的碳化硅生长技术中，籽晶和晶源粉末都置于反应坩埚中，该坩埚以在晶源与边缘冷却的籽晶之间形成温度梯度的方式被加热到晶源的升华温度。该温度梯度促进了材料的蒸汽相从晶源到籽晶之间的移动，然后在籽晶上冷凝并得到大块晶体的生长。该方法也被称为物理蒸汽转移法（PVT）。

在典型碳化硅生长技术中，坩埚由石墨制成，通过电感或电阻来加热，安置了相应的线圈和绝缘体来建立和控制所需的温度梯度。晶源粉末与籽晶都是碳化硅。坩埚竖直定位，晶源粉末置于下部，籽晶置于顶部，典型地在籽晶固定器上；见美国专利 4,866,005（重新公开号为 Re34,861），其内容通过引用完全合并于此。这些来源是示例性的，而不是限制性的对最新籽晶升华生长技术的描述。

本发明还涉及下述共同未决的和同样转让的美国申请，公开号为：20050145164； 20050022724； 20050022727； 和 20050164482。

虽然近几年碳化硅大块晶体中结构缺陷的密度不断地被降低,但是仍然存在着相对高的缺陷密度,并且发现难以消除,例如, Nakamura 等, “Ultrahigh quality silicon carbide single crystals,” Nature, Vol. 430, August 26, 2004, page 1009。这些缺陷能够在限制在此衬底上制造的器件的性质特征上引起显著问题,或者在一些情形下完全妨碍有用的器件。当前生产大块碳化硅单晶的籽晶升华技术在碳化硅晶体生长的表面上典型地导致了高于所要求的缺陷密度。较高的缺陷密度在这些晶体上或源于这些晶体的衬底上制备的器件的性能特征的限制方面引起显著的问题。例如,在一些市售的碳化硅晶片中的典型微管缺陷密度是每平方厘米 (cm^{-2}) 100 个的量级。然而,在碳化硅中形成的兆瓦器件需要约 0.4 cm^{-2} 的无缺陷区域。因此,得到可用来制造大面积的,用于高电压、高电流应用的器件的大单晶仍然是一个值得努力的目标。

虽然已经可以得到低缺陷碳化硅的小样本,但是碳化硅的更广的商业用途需要更大的样本,特别是更大的晶片。作为比较,自从 1975 年以来,已经可以在市场上买到 100mm (4 英寸) 的硅晶片,1981 年后,可以买到 150mm (6 英寸) 的硅晶片。4 英寸和 6 英寸的砷化镓 (GaAs) 晶片也都能在市场上买到。因此,50mm (2 英寸) 和 75mm (3 英寸) 的 SiC 晶片的商品化落后于其它这些材料,并且在某种程度上限制了碳化硅在更广泛领域的器件和应用中的采用和使用。

微管是在 SiC 晶体的籽晶升华制备过程中生长或扩大的常见缺陷。其它缺陷包括螺纹位错、六角空隙和螺旋位错。如果这些缺陷存在于 SiC 晶体中,那么将导致在这些晶体上生长的器件会合并这些缺陷。

在晶体生长领域中特定缺陷的性质和对它们的描述通常很好理解。微管是一种空心超螺旋位错,其伯格斯矢量沿 c 轴。针对微管的产生,许多原因已经被提出或者证实。这些原因包括过多的材料如硅或碳的夹杂物、外来杂质如金属沉淀物、边界缺陷和局部位错的移动或滑动。参见例如: Powell et al., Growth of Low Micropipe Density SiC Wafers, Materials Science Forum,

Vols. 338-340, pp437-440 (2000)。

在晶体中,六角空隙是平的、六角形片状的空腔在其下常常有空管拖尾。一些证据表明微管与六角空隙有关。关于这些缺陷(示例性的而非限制性的)的较近期的讨论在下列文献中被提出: Kuhr et al., Hexagonal Voids And The Formation Of Micropipes During SiC Sublimation Growth, Journal of Applied Physics, Volume 89, No.8, page 4625 (April 2001)。

在 SiC 大块单晶中的表面缺陷的存在也可以干扰单-多型晶体生长。150 个可得到的 SiC 多型造成了特殊的困难。其中许多多型非常相似,经常仅仅通过小的热力学差异来分开。在用籽晶升华系统生长大尺寸 SiC 晶体中,在整个晶体中维持所需多型的一致仅仅是一个困难。当表面缺陷存在时,在晶体表面没有足够的多型信息提供给沉积层以维持所需的多型。生长的晶体表面的多型的改变导致了更多表面缺陷的形成。

最近研究表明用籽晶升华技术制备的大块晶体中的问题能够由籽晶本身和它被物理处理的方式所产生;例如: Sanchez et al, Formation Of Thermal Decomposition Cavities In Physical Vapor Transport Of Silicon Carbide, Journal of Electronic Materials, Volume 29, No.3, page 347 (2000)。Sanchez 用术语“微管”描述,“在超螺旋位错的中心形成的直径为 $0.1\mu\text{m}$ 到 $5\mu\text{m}$ 的近似圆柱形的空隙平行或近似平行于[0001]轴”,同前,第 347 页。Sanchez 将更大的空隙(“直径从 $5\mu\text{m}$ 到 $100\mu\text{m}$ ”)称为“热分解腔”,并且认为微管和热分解腔由不同的原因产生。同前。

因此,在籽晶升华系统中制备更大的晶体中具有低缺陷水平的高质量大块碳化硅单晶,仍然是不变的技术目标和商业目标。

发明内容

一方面,本发明是直径至少约 100mm、微管密度小于约 25cm^{-2} 的高质量 SiC 单晶晶片,。

另一方面,本发明是直径至少约 100mm、微管密度小于约 25cm^{-2} 的 SiC

半导体前体晶片，。

另一方面，本发明是一种在籽晶升华生长系统中采用直径至少约 100mm、微管密度小于约 25cm^{-2} 的高质量 SiC 单晶晶片的方法。

另一方面，本发明是建立在直径至少约 100mm，其微管密度小于约 25cm^{-2} 的 SiC 单晶籽晶上的两个以上的功率器件。

附图说明

图 1 是根据本发明的 SiC 晶片的照片；

图 2 是根据本发明的半导体前体晶片；

图 3 是根据本发明的两个以上半导体前体器件；

图 4 是根据本发明的籽晶升华系统的截面示意图；

图 5 是根据本发明的金属氧化物半导体场效应晶体管的截面示意图；

图 6 是根据本发明的金属半导体场效应晶体管的截面示意图。

具体实施方式

本发明涉及高质量碳化硅晶片。具体地说，本发明合并了几种用于改进采用籽晶升华法进行这样的晶片生长的技术。

一方面，本发明是直径至少约 100mm，并且微管密度小于约 25cm^{-2} ，更优选小于约 20cm^{-2} ，最优选小于约 10cm^{-2} 的高质量单晶 SiC 晶片。单晶 SiC 的多型优选是 3C、4H、6H、2H 或 15R。

考虑到籽晶的直径和厚度的比例尺度，不管是以百分比、分数还是比例来表示，可以理解在本发明提供的改进中，这些比例在此描述的大直径籽晶的上下文中有其创造性的含义。

因此，在某些实施方式中本发明以一种包括晶体绝对尺度的方式在相关实施方式中被描述并要求权利，通常用直径衡量，其中 2 英寸、3 英寸和 100mm 直径的单晶是优选的。

图 1 是根据本发明晶片 2 的照片。表面的黑点是微管。通过适当计数，

此示例性的晶片每平方厘米的微管小于 25 个。

另一方面，本发明是高质量的半导体前体晶片。该晶片是 4H 多型的碳化硅晶片，具有至少约 100mm 直径和在其表面上约 $7 \sim 22\text{cm}^{-2}$ 的微管密度。表面微管密度是表面上的总微管计数除以晶片的表面面积。总微管计数优选是进行突出微管缺陷的蚀刻后表面上的总微管数。蚀刻优选是熔融氢氧化钾蚀刻。可以理解根据本发明晶体的可测量区域显示小于 22cm^{-2} 的微管密度，某些情形下小于 7cm^{-2} ，并且在另外的情形下——目前推测——没有微管。因而，在此用到的表述“小于”，有测量的和推测的两个方面的含义。除测量方面外（例如图 1），预期一些晶体会有更少的缺陷。因此，如在此用到的短语“小于”（如“小于 7cm^{-2} ”），也包括（但是不限于）如 $7 \sim 22\text{cm}^{-2}$ 的范围。

在另一方面，本发明是 4H 多型的高质量碳化硅半导体前体晶片，其直径为至少约 100mm，有大约 545 到 1730 个表面微管。再重复一次，所述表面微管表示表面的总微管计数，优选在熔融氢氧化钾蚀刻之后的计数。

在另一方面，如图 2 中示意描述的，本发明是具有 4H 多型的高质量碳化硅半导体前体晶片 4，其具有至少约 100mm 的直径，表面上的微管密度小于 22cm^{-2} 。另外该晶片具有位于表面的第 III 族-氮化物层 6。该第 III 族-氮化物层 6 优选是 GaN、AlGaN、AlN、AlInGaN、InN 和 AlInN 中的一种或更多种。

第 III 族-氮化物的生长和电子特性一般为本技术领域所熟知。碳化硅衬底上的第 III 族-氮化物层是某些类型的发光二极管（LEDs）的基本特征。在其他所希望的因素中，第 III 族元素的原子（anionic）部分（如 $\text{In}_x\text{Ga}_y\text{N}_{1-x-y}$ ）调整了组合物的带隙（在限制内），同样调整了所导致的发射频率从而调整了 LED 的颜色。

关于图 3，本发明在具有至少约 100mm 直径以及晶片表面的微管密度在 7 到 22cm^{-2} 之间的 SiC 籽晶 9 上的两个以上碳化硅半导体器件前体 8。该晶片在一些部分上额外具有两个以上第 III 族-氮化物单独的外延层 10。

优选的第 III 族-氮化物外延层独立地选自 GaN、AlGa_N、AlN、AlInGa_N、InN 和 AlInN。

另一方面，本发明是在籽晶升华系统中制造高质量大块碳化硅单晶的方法，其改进包括生长具有至少约 100mm 直径、微管密度小于约 20cm⁻² 的 SiC 晶锭，然后切割该 SiC 晶锭成为晶片，优选是机械切割，其中每个晶片的表面具有小于约 20cm⁻² 的微管密度。这些晶片优选是 0.5mm 厚。

优选随后抛光并蚀刻这些 SiC 晶片。优选的抛光是化学-机械抛光法，优选的蚀刻是熔融 KOH 蚀刻。进行蚀刻是为了突出表面的缺陷，但是作为一个前序步骤对于籽晶升华生长是非必须的。因此，升华生长典型地是在经抛光却没有蚀刻的籽晶上进行。

如该技术中已知，SiC 晶锭优选在籽晶升华系统中生长。在晶锭被切割为晶片之后，这些晶片可以依次用作碳化硅单晶的籽晶升华生长中的籽晶。

如本说明书中背景部分所述，碳化硅的籽晶升华生长的一般方面已经被很好地确立了许多年。而且，那些熟悉晶体生长，尤其是熟悉诸如碳化硅之类的难度大的材料系统中晶体生长的技术人员，会认识到给定技术的细节能够也将会变化，通常是有目的地，并依赖于相关情况变化。因此，在认识到本领域技术人员能够在此公开的基础上实施本发明的改进而不需进行过度的实验的情况下，在此给出的说明在一般性和示意性意义上是最适合的。

在描述本发明中，应理解有许多技术被公开。其中每个都有单独的益处，并且每个技术也可以结合一个或更多技术，或者在某些情况下结合所有其他所公开的技术来使用。因此，为了清楚起见，本说明书将避免在非必须方式中重复单独步骤的每个可能的组合。然而，对说明书和权利要求的阅读应该理解这些组合是完全在本发明和权利要求范围内的。

图 4 是本发明中预期有用的用于籽晶升华生长类型的升华系统的截面示意图。该系统用标号 12 来泛指。在最具代表性的系统中，系统 12 包括石墨接受器或坩埚 14 和两个以上电感线圈 16，当电流通过线圈 16 时，接

受器 14 被加热。或者，一些系统合并了电阻加热。那些熟悉晶体生长技术的人员应理解，该系统还能被封闭在某些环境中，如水冷却的石英容器中。另外，至少一个与接受器 14 连通的气体入口或出口（未图示）包括在该籽晶升华系统 12 中。然而，这些进一步包括的部分与本发明不太相关，在此被省略掉以使附图和说明书更清楚。另外，本领域技术人员应知道在此描述的碳化硅升华系统的类型既可以从市场上买到，也可以在必需或适合时以定制方式构建。因此本领域普通技术人员可进行选择或设计这样的系统而不需进行过度的实验。

该接受器 14 典型地被绝缘体 18 围绕，其几个部分如图 4 所示。虽然图 4 显示绝缘体通常在尺寸和位置上是一致的，但本领域技术人员可理解并认识到的是绝缘体 18 的位置和数量可以用来提供要求的沿着接受器 14 的热梯度（轴向的和径向的）。此外，为简化之目的，这些可能的置换不再在此图示。

该接受器 14 包括一个或更多容纳碳化硅粉末源 20 的部分。这样的粉末源 20 是最常见的——虽然不是惟一的——用于碳化硅籽晶升华生长技术。图 4 说明了粉末源 20 容纳于接受器 14 的下部，这是一种典型的布置方式。另一个常见的变化是，一些系统以垂直的圆柱的布置方式分布该源粉末，其中，与图 4 中所示的布置方式相比，源粉末围绕接受器 14 内部的更大的部分。在此描述的发明适宜用这两种装置实施。

碳化硅籽晶以标号 22 指示，典型地置于接受器 14 的上部。籽晶 22 优选是单晶 SiC 籽晶，具有至少约 100mm 的直径和小于约 25cm^{-2} 的表面微管密度。在籽晶升华生长过程中，生长的晶体 26 沉积在籽晶 22 上。

籽晶固定器 28 典型地在适当的位置固定着籽晶 22，籽晶固定器 28 以合适的方式与接受器 14 连接。这可以包括各种放置的或螺纹的结构。在图 4 中所示方向中，籽晶固定器 28 的上部典型地包括螺纹，接受器 14，优选是石墨坩埚，其最上部也同样包括螺纹，因此籽晶固定器 28 能够被旋进接受器 14 的顶部以在所需的位置固定籽晶 22。籽晶固定器 28 优选是石墨籽

晶固定器。

优选地,在对籽晶 22 施加最小的扭转力的同时,将其放置在坩埚 14 中,从而防止扭转力以一种产生不期望的跨越籽晶 22 的热差的方式弄歪或弄弯晶体。

在一些实施方式中,所希望的是在连接籽晶 22 之前退火籽晶固定器 28。在升华生长之前退火籽晶固定器 28,防止籽晶固定器 28 在 SiC 升华温度下的晶体生长过程中遭受显著的扭曲。退火籽晶固定器 28 也可最小化或消除跨越籽晶 22 的温度差,这种温度差会倾向于在生长的晶体中启动和扩大缺陷。退火籽晶固定器 28 的优选的方法包括在 2500℃或大约该温度下退火至少约 30 分钟。

在一些实施方式中,优选的是在升华系统 12 中包括掺杂剂原子。将掺杂剂气体引入到籽晶升华系统 12 以在生长的晶体中合并掺杂剂原子。根据掺杂剂的受体或供体容量来选择掺杂剂。供体掺杂剂是那些具有 n 型传导性的掺杂剂,受体掺杂剂是那些具有 p 型传导性的掺杂剂。优选的掺杂剂原子包括 n 型和 p 型掺杂剂原子。特别优选的 n 型掺杂剂包括 N、P、As、Sb、Bi 及其混合物。特别优选的 p 型掺杂剂包括 B、Al、Ga、In、Tl 及其混合物。

在本说明书的背景部分简要提出升华生长的一般方案,以及其他来源的被本领域普通技术人员所熟知的方案。典型地,具有接受器 14 响应频率的电流经过电感线圈 16 来加热石墨接受器 14。选择绝缘体 18 的量和位置,以便当接受器 14 加热粉末源 20 至升华温度,典型的是高于约 2000℃时,形成粉末源 20 与生长中的晶体 26 之间的热梯度。建立该热梯度以维持籽晶 22 的温度,以及后来生长的晶体的温度,该温度接近但低于碳化硅源的温度,从而在热力学上促进碳化硅(Si, Si₂C 和 SiC₂)升华时产生的汽化物质首先凝结到籽晶上,然后凝结到生长的晶体上;例如美国专利 No.4,866,005。

在达到要求的晶体尺寸之后,通过将该系统温度降低到约 1900℃以下,

并升高压力到约 400 托以上来终止生长。

在完成升华生长过程后退火晶体更好。该晶体可以在生长温度下或高于该温度下退火大于约 30 分钟。

为清楚起见，术语“热梯度”会在此使用，但是，本领域技术人员应理解的是：几个梯度能够良好地在接受器 14 中共存，并且可分为轴向或径向梯度的亚类，或者分为两条以上等温线的亚类。

如果温度梯度和其他条件（压力、承载气体等）适当地保持，全部的热力学学会促进汽化物质以与籽晶 22 同样的多型先凝结到籽晶 22 上然后凝结到生长的晶体 26 上。

像通常在背景技术中注解的，电子器件的性能会典型地随着各个器件部分的晶体质量的改进而改进。因而，相似地，本发明中晶片缺陷减少的特性提供了改进的器件。特别地，随着微管密度降至 20cm^{-2} 或更低，高功率高电流器件变得越来越容易得到。

因此，另一方面，本发明是在低缺陷的 100mm 碳化硅晶片上形成的两个以上场效应晶体管。每个场效应晶体管包括具有至少 100mm 直径和约 7 到 22cm^{-2} 微管密度的大块单晶碳化硅衬底晶片。

另一方面，本发明是形成在低缺陷的 100mm 碳化硅衬底 44 上的两个以上金属氧化物半导体场效应晶体管（MOSFETs）42。图 5 是基本 MOSFET 结构的截面示意图。每个 MOSFET 42 包括具有至少 100mm 直径，并且微管密度小于 22cm^{-2} ，有些情况下在 7 到 22cm^{-2} 之间，和有些情况下——目前推测——小于 7cm^{-2} 的大块单晶碳化硅衬底晶片 44。该大块单晶衬底 44 包括相背对的第一表面 48 和第二表面 50。衬底上的外延层分别具有源极 52、沟道 56、和漏极 54 几部分，其中沟道 56 通过氧化物层 62 被栅极触点 64 控制。源极和漏极触点 58、60 分别在源极和漏极部分 52、54 之上。MOSFETs 及其组合和变化的 MOSFETs 结构和作用，在本领域中是易于理解的，从而图 5 和其说明是示例性的而不是限制本发明。

关于图 6，本发明另一方面是形成于低缺陷的 100mm 碳化硅上的两个

以上金属半导体场效应晶体管 (MESFETs) 66。每个 MESFET 66 包括具有至少约 100mm 直径和约 7 到 22cm^{-2} 微管密度的大块单晶碳化硅衬底晶片 68。该衬底 68 包括相背对第一表面 70 和第二表面 72。导电沟道 74 位于衬底 68 的第一表面 70 上。欧姆源极 76 和漏极 78 触点位于导电沟道 74 上。金属栅极触点 80 位于导电沟道 74 上的源极 76 和漏极 78 之间, 当有偏压施加于金属栅极触点 80 时形成有源沟道。

如现有技术所知, 多于一种类型的器件可以位于根据本发明的碳化硅晶片上。可包括的额外器件是结型场效应晶体管、异质场效应晶体管、二极管和其他本领域已知的器件。这些 (和其它) 器件的结构和操作是本领域所熟知的, 并且能利用在此描述和要求权利的衬底实施而不需进行过度的实验。

实施例

依照本发明形成一系列 SiC 晶锭。用上述计数方法测量的每个晶锭的微管密度如表 1 所示。

表 1: SiC 晶锭的微管密度

晶锭号	微管密度 (cm^{-2})
1	21.82
2	20.21
3	19.97
4	18.42
5	16.67
6	15.96
7	15.61
8	7.23

在本说明书和附图中, 公开了本发明典型的实施方式。专用术语仅仅是一般性和描述性含义, 而无限制的目的。本发明的范围由权利要求书阐明。

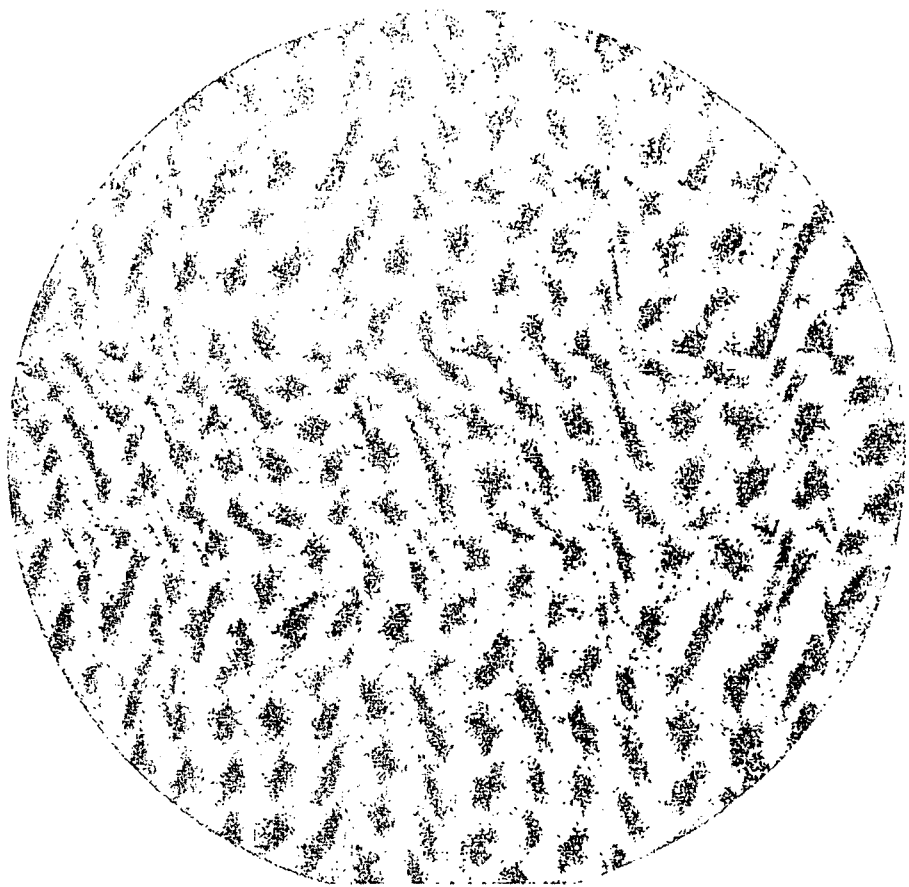


图 1



图 2

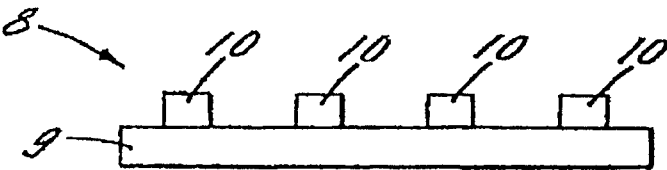


图 3

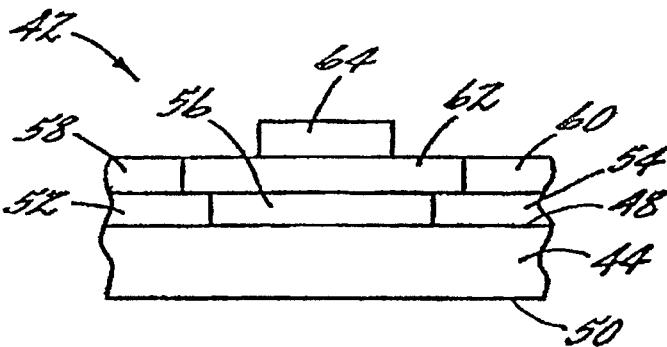


图 5

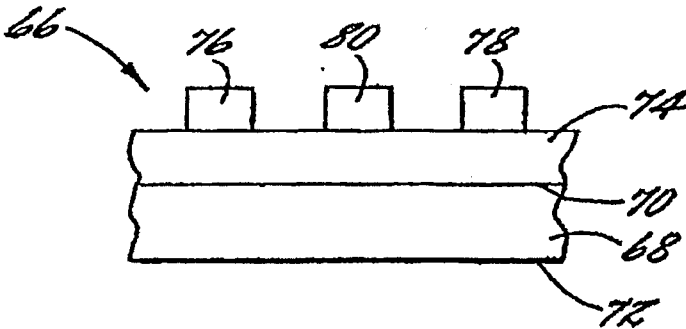


图 6

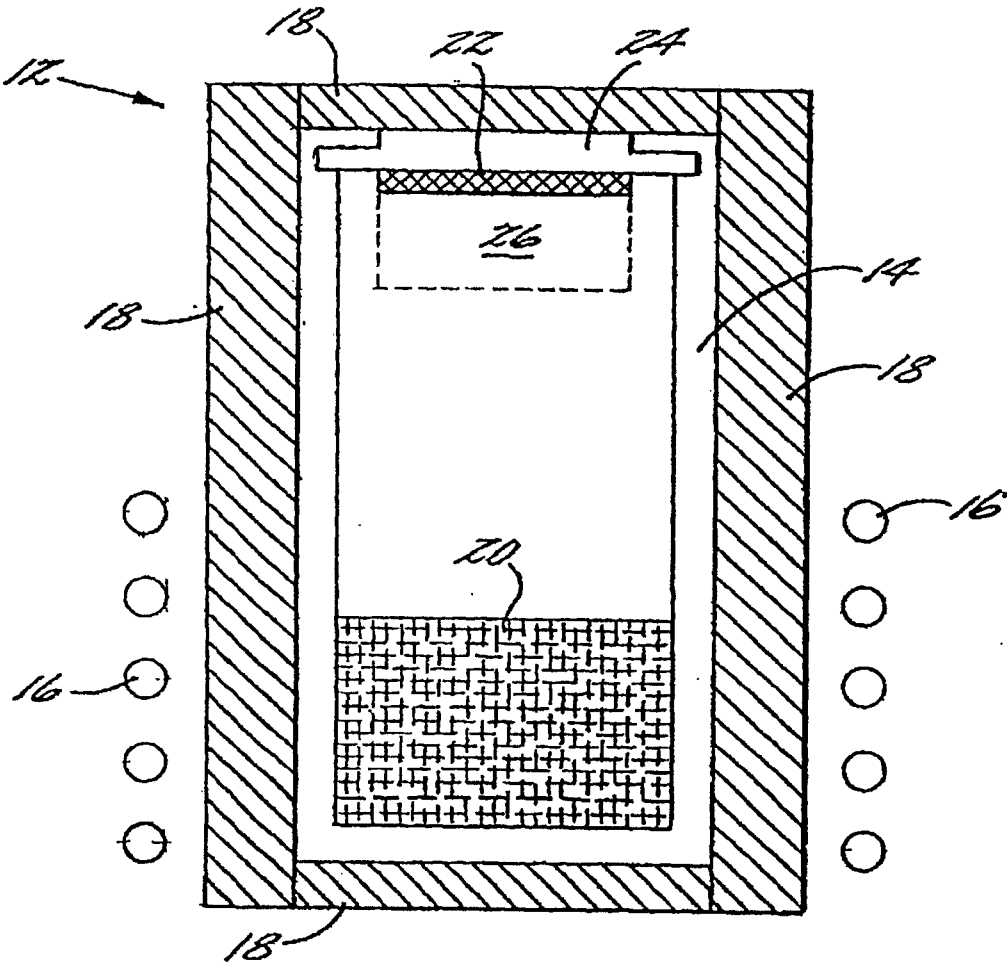


图 4