

水冷装置和单晶炉

相关申请的交叉引用

本申请主张在 2023 年 5 月 31 日在中国提交的中国专利申请 No. 202310635809.0 的优先权，其全部内容通过引用包含于此。

技术领域

本申请涉及单晶棒制作技术领域，尤其涉及一种水冷装置和单晶炉。

背景技术

相关技术中，电子级大尺寸半导体拉晶过程中，为了提升晶体生长速度以及缺陷控制，一般会在已完成晶体生长的区域添加水冷装置。对于有体微缺陷（Bulk Micro Defect, BMD）密度（ $>5E8$ ）要求的用于外延产品的晶棒开发，一般采用掺杂氮的方法。为满足高 BMD 浓度，掺氮浓度一般高于 $1E14\text{atom}/\text{cm}^3$ ，然而当氮浓度过高时会在高温时（ $1000-1200^\circ\text{C}$ ）形成较多的大尺寸氧沉淀，在晶体冷却过程中产生较大应力并产生相关位错缺陷。当该种缺陷出现在外延硅片基底表面时，会出现随着外延层的生长而延伸到外延层中造成外延层错（EPI Stacking Fault）。另外为形成高密度的 BMD，首先需要晶体中有足够的残存空位浓度，此外还需要晶体在成核温度区间（ $600-850^\circ\text{C}$ ）尽量延长停留时间。

发明内容

为了解决上述技术问题，本申请提供一种水冷装置和单晶炉，解决如何延长晶体在温度区间 $600-850^\circ\text{C}$ 的停留时间，以拉制高密度 BMD 的晶棒。

为了达到上述目的，本申请实施例采用的技术方案是：一种水冷装置，应用于单晶炉内，包括水冷套，沿所述水冷套的轴向方向，所述水冷套包括相对的第一端和第二端，在所述水冷套位于所述单晶炉内时，所述第二端靠近所述单晶炉内的坩埚设置，

沿从所述第一端到所述第二端的方向，所述水冷套包括第一部分和第二

部分，所述第一部分包括间隔设置的冷却区和非冷却区。

可选地，所述非冷却区设置有至少一个通孔。

可选地，所述冷却区的面积小于所述非冷却区的面积。

可选地，所述非冷却区的面积大于或等于所述第一部分的总面积的 80%。

可选地，在所述水冷套的周向方向上，一个所述冷却区的周向长度小于一个所述非冷却区的周向长度。

可选地，所述冷却区的内表面设置有第一涂层，所述第一涂层的发射率小于 0.3。

可选地，所述冷却区的侧壁上设置有沿所述水冷套的轴向方向延伸的第一冷却管道，所述第二部分的侧壁上设置有与所述第一冷却管道连通的第二冷却管道。

可选地，所述第二部分的侧壁中空以形成所述第二冷却管道。

可选地，第二部分的内表面设置有第二涂层，所述第二涂层的发射率大于 0.8。

本申请实施例还提供一种单晶炉，包括上述的水冷装置。

本申请的有益效果是：将所述水冷套沿其轴向方向进行分段设置，并在所述第一部分上设置冷却区和非冷却区，降低所述第一部分的冷却面积，从而降低所述第一部分的冷却效率，进而可以延长晶体在 BMD 形核温度（600-850℃）区域滞留的时间以促进 BMD 形核密度。

附图说明

图 1 表示本申请实施例中的水冷装置的示意图；

图 2 表示相关技术中晶体内部的温度分布示意图

图 3 表示本申请实施例中的晶体内部的温度分布示意图；

图 4 表示本申请实施例中的单晶炉的示意图。

1 第一部分；2 第二部分；11 冷却区；12 非冷却区；100 晶体；101 1200℃对应的位置；102 1000℃对应的位置；103 850℃对应的位置；104 600℃对应的位置；3 凸缘；5 炉体；6 坩埚组价；7 加热部件；8 支撑轴；9 导流筒；10 水冷套。

具体实施方式

为使本公开实施例的目的、技术方案和优点更加清楚，下面将结合本公开实施例的附图，对本公开实施例的技术方案进行清楚、完整地描述。显然，所描述的实施例是本公开的一部分实施例，而不是全部的实施例。基于所描述的本公开的实施例，本领域普通技术人员在无需创造性劳动的前提下所获得的所有其他实施例，都属于本公开保护的范围。

除非另外定义，本公开使用的技术术语或者科学术语应当为本公开所属领域内具有一般技能的人士所理解的通常意义。本公开中使用的“第一”、“第二”以及类似的词语并不表示任何顺序、数量或者重要性，而只是用来区分不同的组成部分。同样，“一个”、“一”或者“该”等类似词语也不表示数量限制，而是表示存在至少一个。“包括”或者“包含”等类似的词语意指出现该词前面的元件或者物件涵盖出现在该词后面列举的元件或者物件及其等同，而不排除其他元件或者物件。“连接”或者“相连”等类似的词语并非限定于物理的或者机械的连接，而是可以包括电性的连接，不管是直接的还是间接的。“上”、“下”、“左”、“右”等仅用于表示相对位置关系，当被描述对象的绝对位置改变后，则该相对位置关系也可能相应地改变。

近年来，随着半导体器件制造过程中细微化的发展，对所需要的硅片的要求越来越高，不仅要求硅片表面区域缺陷很少甚至无缺陷，而且要求硅片具有足够的体微缺陷 (Bulk Micro Defects, BMD)，以保护设置电子元件的硅片区域不被重金属杂质污染。而硅片中含有的重金属杂质已然成为影响半导体器件品质的重要因素，因此重金属杂质的含量 需要在硅片生产过程中极力减少。目前，已知当在硅片内部形成足够多的 BMD 时，这些 BMD 具有捕捉重金属杂质的本征吸杂(Intrinsic Gettering, IG)作用，能够极大改善由于重金属杂质导致的半导体器件品质不良的问题。近年来对含有 BMD 密度等于或大于 1×10^8 个/cm³ 的硅片需求增加，因此在硅片供应至电子元件制造厂时需要在基材硅片中具有足够的 BMD 核心，从而可以获得高的 BMD 密度。

外延硅片是在硅片上通过气相沉积反应生长一层单晶层(也称之为外延层)，由于外延层具有高的结晶完整性，且几乎没有缺陷的特性，因此目前外

延硅片被作为半导体器件的基板材料而广泛使用。但是在外延生长过程中，由于硅片暴露在 1000℃以上的高温环境中，较小的 BMD 核心会被消除，因此外延硅片中不能够提供足够数量的 BMD 核心，导致利用上述外延硅片制造半导体器件时无法充分引起足够密度的 BMD，进而使得制造得到的半导体器件品质不佳。

参考图 1-图 4，本实施例提供一种水冷装置，应用于单晶炉内，包括水冷套，沿所述水冷套的轴向方向，所述水冷套包括相对的第一端和第二端，在所述水冷套位于所述单晶炉内时，所述第二端靠近所述单晶炉内的坩埚设置，

沿从所述第一端到所述第二端的方向，所述水冷套包括第一部分 1 和第二部分 2，所述第一部分 1 包括间隔设置的冷却区 11 和非冷却区 12。

将所述水冷套沿其轴向方向进行分段设置，并在所述第一部分上设置冷却区和非冷却区，降低所述第一部分的冷却面积，从而降低所述第一部分的冷却效率，进而可以延长晶体 100 在 BMD 形核温度（600-850℃）区域滞留的时间以促进 BMD 形核密度。

需要说明的是，所述第一部分中 1 的所述非冷却区 11 的设置，使得所述水冷套只有底部（即所述第二端）具有最大的冷却效果，相比于传统水冷套可以减少晶体 100 中的应力产生从而减少由于冷却过快导致的晶体 100 开裂问题。

需要说明的是，所述非冷却区 12 和所述冷却区 11 的具体结构形式可以有多种，只要可以减小所述第一部分 1 的冷却面积，以降低所述第一部分 1 的冷却效率即可。以下具体介绍本实施例中的所述非冷却区 12 和所述冷却区 11 的结构形式。

示例性的实施方式中，沿所述水冷套的周向方向间隔设置所述冷却区 11 和所述非冷却区 12。

在晶棒拉制过程中，晶棒位于水冷套的中部的晶棒提升区域，沿所述水冷套的周向方向间隔设置所述冷却区 11 和所述非冷却区 12，利于所述晶棒在周向方向上的温度的均匀性。

为了有效的降低所述第一部分 1 的冷却效率，所述非冷却区 12 的总面积

大于所述冷却区 11 的总面积。

在一具体实施例中，在所述水冷套的周向方向上，一个所述冷却区 11 的周向长度小于一个所述非冷却区 12 的周向长度。使得每一个所述非冷却区 12 的面积大于每一个所述冷却区 11 的面积。

所述非冷却区 12 的面积越大，所述冷却区 11 的面积越小，则所述第一部分 1 的冷却效率越低。

需要说明的是，为增加晶体在温度区间 600-850℃ 的滞留时间，所述第一部分在水冷套的轴向方向上的长度 L1 长度亦不应过大，例如 L1 的最大长度不应超过 30cm（例如可以为 L1 可以为 20cm、25cm、30cm 等）。同时在 L1 部分，所述非冷却区的面积应保证所述第二部分的水冷效果的情况下尽量大，示例性地，所述非冷却区的面积的占比大于或等于 80%，但并不以此为限。

示例性地，在所述第一部分包括至少两个冷却区 11，至少两个冷却区 11 的面积相同，提高水冷套对晶棒的温度的均匀性，以及对硅熔液的温度的均匀性。

示例性的实施方式中，所述非冷却区 12 设置有至少一个通孔。

通孔的设置，可以有效的减小所述第一部分 1 的冷却面积，从而减小所述第一部分 1 的冷却效率，增加晶体在拉制过程中，在温度区间（600-850℃）的停留时间。

在一实施方式中，所述非冷却区 12 设置有一个通孔，且所述通孔完全覆盖所述非冷却区 12。

需要说明的是，为了避免影响晶体的轴向梯度变化，晶体停留在温度区间 600-850℃ 的时间不宜过长，因此，所述第一端设置有凸缘 3，所述凸缘 3 和所述第一部分 1 之间设置有连接区 4，即所述第一部分并未直接贯穿所述水冷套的第一端，但并不以此为限。

示例性的实施方式中，所述非冷却区 12 设置有多个通孔，相对于单个通孔的设置，可以增加所述水冷套整体的连接稳定性。

多个所述通孔的具体分布方式可以有多种。例如，沿着所述水冷套的周向方向，并排且间隔设置多列所述通孔。

每一个所述通孔在所述水冷套的轴向方向上的长度可以根据实际需要设

定。

每一个所述通孔在所述水冷套的周向方向上的长度也可以根据实际需要设定。

在所述水冷套的周向方向上，相邻两列所述通孔之间的间距可以根据实际需要设置，例如，相邻两列所述通孔之间的间距可以为所述通孔在所述水冷套的周向方向上的宽度的一半，但并不以此为限。

示例性地，多列所述通孔包括相邻的第一列通孔和第二列通孔，所述第一列通孔中的一个通孔在所述第二列通孔上的正投影与所述第二列通孔中相应的通孔完全重合。

示例性地，多列所述通孔包括相邻的第一列通孔和第二列通孔，所述第一列通孔中的一个通孔在所述第二列通孔上的正投影与所述第二列通孔中相应的通孔部分重合。

示例性的实施方式中，所述冷却区 11 的内表面设置有第一涂层，所述第一涂层的发射率小于 0.3，但并不以此为限。

所述第一涂层的设置可以减少所述冷却区 11 吸收的热量，从而降低所述冷却区 11 的冷却效率。

需要说明的是，所述第一涂层采用硅基陶瓷材料，并可通过设置其颜色的深浅来控制其发射率的大小，颜色越深则发射率越大，吸热能力越大，颜色越浅则发射率越小，吸热能力越小。

示例性地，所述第一涂层的颜色为白色，但并不以此为限。

相关技术中，为了解决外延硅片中 BMD 密度降低的问题，通常会在单晶硅棒拉制过程中进行掺氮处理以获得稳定的 BMD 核心。当氮浓度过高时会在高温时(1000-1200℃)形成较多的大尺寸氧沉淀，在晶体冷却过程中产生较大应力并产生相关位错缺陷。当该种缺陷出现在外延硅片基底表面时，会出现随着外延层的生长而延伸到外延层中造成外延层错(EPI Stacking Fault)。另外，为形成高密度的 BMD，需要晶体在成核温度区间(600-850℃)尽量延长停留时间。

相关技术中通过提升晶体拉速来减少晶体在形成大尺寸氧沉淀温度区域(1000-1200℃)的停留时间，但此种方法相应的也会减少晶体在 BMD 成核温

度区间（600-850℃）的时间而不利于形成高密度 BMD 核心。

为了避免掺杂高氮浓度时产生外延层错，使晶体在冷却过程中在形成大尺寸氧沉淀区域的温度（1000-1200℃）区域停留时间尽可能缩短。相对于相关技术中的水冷套，本实施例中增加所述第二部分的冷却效率，具体的可以通过增加第二部分的冷却面积来增加所述第二部分的冷却效率，但并不以此为限。

示例性地，可以通过增加所述第二部分在所述水冷套的轴向方向上的长度，来增加所述第二部分的冷却面积。

需要说明的是，所述第二部分在所述水冷套的轴向方向上的长度增加，则所述水冷套在其轴向方向上的总长度增加，进而所述水冷套与硅熔液的液面之间的距离减小，例如，所述第二部分在所述水冷套的轴向方向上的长度增加 10-20cm，但并不以此为限。

示例性地，在所述水冷套的轴向方向上，所述第二部分的长度大于或等于 10cm，例如可以为 12cm、15cm 等，但并不以此为限。

通过所述第二部分 2 吸收热量以能够充分带走熔体辐射的热量以及并保证晶体生长速度，降低在温度为 1000-1200℃温度区域的停留时间。

图 2 为相关技术中得晶体的轴向温度分布示意图，图 3 为采用本申请实施例中的水冷装置后形成的晶体的轴向温度分布示意图。

图 2 和图 3 中，标号 101-标号 102 之间的区域为温度为 1000-1200℃的温度区间，标号为 103 和标号 104 之间的区域为温度为 600-850℃的温度区间。

从图 2 和图 3 中可以看出：采用本申请实施例的水冷装置后，晶体在温度区间 1000-1200℃的拉制距离减小，晶体在温度区间（600-850℃）的拉制距离增大，图 2 中晶体在 1000-1200℃的拉制距离为 73mm，图 3 中晶体在 1000-1200℃的拉制距离减小至 59mm，图 2 中晶体在温度区间（600-850℃）的拉制距离为 172mm，图 3 中晶体在温度区间（600-850℃）的拉制距离增加到 320mm。

需要说明的是，对应于图 2 中晶体的轴向温度分布，所述水冷套的底端距硅熔液 35cm，对应于图 3 中晶体的轴向温度分布，所述水冷套的底端距硅熔液 23cm，且所述第二部分在所述水冷套的轴向方向上的长度 L2 为 10cm，

所述第一部分在所述水冷套的轴向方向上的长度 L_1 为 30cm，所述非冷却区设置通孔，且所述通孔的面积为所述第一部分的总面积的 80%。

示例性的实施方式中，所述冷却区 11 的侧壁上设置有沿所述水冷套的轴向方向延伸的第一冷却管道，所述第二部分 2 的侧壁上设置有与所述第一冷却管道连通的第二冷却管道。

所述第一冷却管道和所述第二冷却管道内容纳有冷却介质，该冷却介质可以为冷却水，但并不以此为限。

所述第一冷却管道仅分布在所述冷却区 11，从而减小了所述第一部分 1 的冷却效率。

需要说明的是，所述非冷却区的面积越大，所述第一部分的冷却效率越低，从而晶体在温度区域 600-850 度停留的时间越长，但是所述冷却区的面积要保证向所述第二部分输送足够的冷却介质，以保证所述第二部分的冷却效率，因此，在一些实施方式中，所述非冷却区的面积所占所述第一部分的总的面积的比例小于或等于 80%，但并不以此为限。

示例性地，所述第二部分 2 整体均为冷却区 11，有效的吸收热量，保证晶体的生长速率。

为了增加所述第二部分 2 的冷却效率，示例性的实施方式中，所述第二部分 2 整体进行中空设置，即所述第二部分 2 的侧壁的内部空间作为所述第二冷却管道，充满冷却介质，相对于铺设多个冷却管道的设置，可以增加冷却面积，且可以减低成本。

为了增加所述第二部分 2 的冷却效率，示例性的实施方式中，第二部分 2 的内表面设置有第二涂层，所述第二涂层的发射率大于 0.8。

示例性地，所述第二涂层采用硅基陶瓷材料制成，并可通过设置其颜色的深浅来控制其发射率的大小，颜色越深则发射率越大，吸热能力越大，颜色越浅则发射率越小，吸热能力也越小。

示例性地，所述第二涂层的颜色为黑色，但并不以此为限。

为了增加所述第二部分 2 的冷却效率，示例性的实施方式中，所述第二部分 2 的内壁设置凹凸结构，以增加冷却面积。

需要说明的是，所述凹凸结构的具体结构形式可以有多种，只要可以增

加所述第二部分 2 的冷却面积即可，以下介绍几种本实施例中的所述凹凸结构的具体设置形式。

示例性的实施方式中，所述凹凸结构包括多个沿所述水冷套的周向方向延伸设置的凸部和凹部，使得所述凹凸结构呈波浪状。

示例性的实施方式中，所述凹凸结构包括间隔设置于所述第二部分 2 的内壁的多个凸起。

示例性地，多个所述凸起均匀分布于所述第二部分 2。

示例性地，多个所述凸起与所述第二部分 2 的侧壁为一体结构，简化制作工艺，且提高多个所述凸起与所述第二部分 2 之间的连接稳定性。

示例性地，多个所述凸起由所述第二部分 2 的内壁上的相应的位置向内部延伸形成。

示例性地，相邻两个凸起之间为凹陷，即多个所述凸起的形成，是由所述第二部分 2 的内壁上的相应位置向外凹陷，使得对应所述凸起的位置形成所述凸起。

示例性地，所述第二部分 2 的内壁包括交错设置的第一区域和第二区域，所述第一区域向内延伸形成所述凸起，以在所述第二部分 2 的内壁形成所述凹凸结构，和/或，所述第二区域向外凹陷，使得所述第二部分 2 的内壁形成所述凹凸结构。

示例性地，为了避免所述凸起对晶棒造成损伤，所述凸起远离所述第二部分 2 的内壁的一端为圆端。

示例性地，所述水冷套的侧壁的直径从所述第一部分 1 到所述第二部分 2 的方向逐渐减小。即所述水冷套为锥形结构，所述水冷套的侧壁与晶棒之间的距离越近，则冷却速率越高，所述水冷套的侧壁与晶棒之间的距离越远，则冷却速率越低。

示例性地，在所述水冷套的径向方向上，所述第二部分 2 的厚度大于所述第一部分 1 的厚度，所述第二部分 2 的内部整体中空，以容纳冷却介质，增大了冷却介质的容量，从而增大冷却速率。

示例性地，所述第一部分 1 的外表面和所述第二部分 2 的外表面位于同一平面，所述第一部分 1 的内表面和所述第二部分 2 的内表面形成台阶结构，

所述第二部分 2 的内壁向内凸出设置,以免所述水冷套与其他部件产生干涉。

示例性地,所述水冷装置还包括提升结构,所述提升结构用于控制所述水冷套的升降。

所述提升结构包括驱动部和传动部,所述传动部包括两个升降杆,所述水冷套的所述一端包括凸缘 3,所述凸缘 3 与所述升降杆连接。

所述驱动部可以为驱动电机,但并不以此为限。

参考图 4,本申请实施例还提供一种单晶炉,包括上述的水冷装置。

所述单晶炉还包括上述的水冷装置,所述水冷装置包括水冷套 10 和用于控制所述水冷套 10 升降的提升结构。

所述提升结构穿过所述炉盖以与所述水冷套 10 连接,并控制所述水冷套 10 悬置于所述硅熔液的上方。

所述单晶炉还包括:

炉体 5;

盖设在所述炉体 5 上的炉盖;

坩埚组件 6,设置于所述炉体 5 的内腔中,所述坩埚组件 6 包括套设的石英坩埚和石墨坩埚,所述石英坩埚内容纳有硅溶液;

导流筒 9,套设在所述水冷套 10 的外侧,且所述导流筒 9 和所述水冷套 10 之间具有间隙;

加热部件 7,设置于所述坩埚组件的四周,用于对所述坩埚组件 6 进行加热,所述加热部件通过电极螺栓固定在所述炉体 5 的底部,并与所述炉体 5 的底部的加热电极相连接;

保温层 20,设置于所述加热部件 7 和所述炉体 5 的侧壁之间,用于阻挡所述加热部件 7 的热量向所述炉体 5 的外部辐射;

支撑轴 8,支撑连接于所述石墨坩埚的底部;所述支撑轴 8 的上端设置有坩埚托盘,所述支撑轴 8 的下端穿出所述炉体 5 的底部。

以下介绍通过上述单晶炉进行拉晶的过程:

首先,把晶体原料放入坩埚组件 6 内,通过加热部件 7 产生的高温将其熔化。

然后,对熔化的硅溶液稍做降温,使之产生一定的过冷度。

再用一根固定在籽晶轴上的硅单晶体(称作籽晶)插入熔体表面,待籽晶与熔体熔和后,慢慢向上拉籽晶,晶体便会在籽晶下端生长。

接着,控制籽晶生长出一段长为 100mm 左右、直径为 3mm~5mm 的细颈,用于消除高温溶液对籽晶的强烈热冲击而产生的原子排列的位错,这个过程就是引晶。

随后,放大晶体直径到工艺要求的大小,一般为 75mm~300mm,这个过程称为放肩。

接着,突然提高拉速进行转肩操作,使肩部近似直角。

然后,进入等径工艺,通过控制热场温度和晶体提升速度,生长出一定规格大小的单晶柱体。

最后,待大部分硅溶液都已经完成结晶时,再将晶体逐渐缩小而形成尾形锥体,称为收尾工艺。

这样一个单晶拉制过程就基本完成,进行一定的保温冷却后就可以取出。

可以理解的是,以上实施方式仅仅是为了说明本申请的原理而采用的示例性实施方式,然而本申请并不局限于此。对于本领域内的普通技术人员而言,在不脱离本申请的精神和实质的情况下,可以做出各种变型和改进,这些变型和改进也视为本申请的保护范围。

权 利 要 求 书

1. 一种水冷装置，应用于单晶炉内，包括水冷套，沿所述水冷套的轴向方向，所述水冷套包括相对的第一端和第二端，在所述水冷套位于所述单晶炉内时，所述第二端靠近所述单晶炉内的坩埚设置；

沿从所述第一端到所述第二端的方向，所述水冷套包括第一部分和第二部分，所述第一部分包括间隔设置的冷却区和非冷却区。

2. 根据权利要求1所述的水冷装置，其中，所述非冷却区设置有至少一个通孔。

3. 根据权利要求1所述的水冷装置，其中，所述冷却区的面积小于所述非冷却区的面积。

4. 根据权利要求3所述的水冷装置，其中，所述非冷却区的面积大于或等于所述第一部分的总面积的80%。

5. 根据权利要求1所述的水冷装置，其中，在所述水冷套的周向方向上，一个所述冷却区的周向长度小于一个所述非冷却区的周向长度。

6. 根据权利要求1所述的水冷装置，其中，所述冷却区的内表面设置有第一涂层，所述第一涂层的发射率小于0.3。

7. 根据权利要求1所述的水冷装置，其中，所述冷却区的侧壁上设置有沿所述水冷套的轴向方向延伸的第一冷却管道，所述第二部分的侧壁上设置有与所述第一冷却管道连通的第二冷却管道。

8. 根据权利要求7所述的水冷装置，其中，所述第二部分的侧壁中空以形成所述第二冷却管道。

9. 根据权利要求1所述的水冷装置，其中，第二部分的内表面设置有第二涂层，所述第二涂层的发射率大于0.8。

10. 一种单晶炉，包括权利要求1-9任一项所述的水冷装置。