



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102936747 B

(45) 授权公告日 2015.06.10

(21) 申请号 201210520672.6

14-30 段.

(22) 申请日 2012.12.07

审查员 陈春淳

(73) 专利权人 天威新能源控股有限公司

地址 610000 四川省成都市双流县西南航空  
港经济开发区天威路 1 号

(72) 发明人 刘卓冰 杨明珍 刘俊 兰洵  
林洪峰 张凤鸣

(74) 专利代理机构 成都行之专利代理事务所  
(普通合伙) 51220

代理人 谢敏

(51) Int. Cl.

C30B 11/00(2006.01)

C30B 28/06(2006.01)

C30B 29/06(2006.01)

(56) 对比文件

CN 102296352 A, 2011.12.28, 说明书第

权利要求书3页 说明书7页

(54) 发明名称

一种采用大尺寸坩埚铸锭类单晶的方法

(57) 摘要

本发明公开了一种采用大尺寸坩埚铸锭类单晶的方法,包括以下步骤:(a)、选用外径大于 878mm、内径大于 840mm 的坩埚,将硅料置于坩埚中;(b)、采用石墨加热器对坩埚进行加热,将加热模式选为功率控制模式,压力模式选为真空模式;(c)、加热硅料至熔化后,将加热模式改为温度控制模式,同时将压力模式改为气体模式;(d)、开始长晶,将加热模式保持为温度控制模式,压力模式保持为气体模式;(e)、长晶结束后,开始退火;(f)、退火结束后,开始冷却。本发明采用上述工艺,能够提高类单晶铸锭的大晶粒比例,有效控制硅块内部缺陷和杂质。

1. 一种采用大尺寸坩埚铸类单晶的方法,其特征在于:包括以下步骤:

(a)、选用外径大于 878mm、内径大于 840mm 的坩埚,将硅料置于坩埚中;

(b)、采用石墨加热器对坩埚进行加热,将加热模式选为功率控制模式,压力模式选为真空模式;

(c)、加热硅料至熔化后,将加热模式改为温度控制模式,将压力模式改为气体模式;

(d)、开始长晶,将加热模式保持为温度控制模式,压力模式保持为气体模式;

(e)、长晶结束后,开始退火,加热模式先采用温度控制模式,再改为功率控制模式,压力模式保持为气体模式;

(f)、退火结束后,开始冷却,加热模式转换为功率控制模式,压力模式继续保持为气体模式;

所述步骤(c)的具体过程为:

(c1)、将加热模式选为温度控制模式,并设定温度为 1170~1175℃,将压力模式选为真空模式,对坩埚加热 1 小时 30 分钟;

(c2)、将温度改为 1180℃,压力模式选为气体模式,压力设定为 200mbar,进气设定为 0,出气设定为 40%,继续对坩埚加热 10 分钟;

(c3)、保持加热模式和压力模式不变,将温度改为 1187.5℃,压力设定为 350mbar,进气设定为 0,出气设定为 43%,继续对坩埚加热 8 分钟;

(c4)、保持加热模式和压力模式不变,将温度改为 1195℃,压力设定为 500mbar,进气设定为 0,出气设定为 43%,继续对坩埚加热 8 分钟;

(c5)、保持加热模式和压力模式不变,将温度改为 1200℃,压力设定为 600mbar,进气设定为 0,出气设定为 43%,继续对坩埚加热 5 分钟;

(c6)、保持加热模式和压力模式不变,将温度改为 1500℃,压力设定为 600mbar,进气设定为 55%,出气设定为 0,继续对坩埚加热 3 小时 30 分钟;

(c7)、保持加热模式和压力模式不变,将温度改为 1500℃,压力设定为 600mbar,进气设定为 55%,出气设定为 0,使隔热笼从初始位置向上提升 4mm,继续对坩埚加热 30 分钟;

(c8)、保持加热模式和压力模式不变,将温度改为 1545℃,压力设定为 600mbar,进气设定为 55%,出气设定为 0,使隔热笼在步骤(c7)的基础上再向上提升 2mm,继续对坩埚加热 2 小时;

(c9)、保持加热模式和压力模式不变,参数设定也保持不变,使隔热笼在步骤(c8)的基础上再向上提升 2mm,继续对坩埚加热 6 小时;

(c10)、保持加热模式和压力模式不变,参数设定也保持不变,使隔热笼在步骤(c9)的基础上再向上提升 1mm,继续对坩埚加热 5 分钟;

(c11)、保持加热模式和压力模式不变,参数设定也保持不变,使隔热笼在步骤(c10)的基础上再向上提升 1mm,继续对坩埚加热 30 分钟;

(c12)、保持加热模式和压力模式不变,将温度改为 1432℃,其它参数设定不变,使隔热笼在步骤(c11)的基础上再向上提升 2mm,继续对坩埚加热 1 小时。

2. 根据权利要求 1 所述的一种采用大尺寸坩埚铸类单晶的方法,其特征在于:所述坩埚为石英坩埚。

3. 根据权利要求 1 所述的一种采用大尺寸坩埚铸类单晶的方法,其特征在于:所述

坩埚的外径为 920mm, 内径为 882mm。

4. 根据权利要求 1 所述的一种采用大尺寸坩埚铸锭类单晶的方法, 其特征在于: 所述步骤(b) 的具体过程为:

(b1)、将加热模式选为功率控制模式, 并设定功率为 10~15kw, 将压力模式选为真空模式, 对坩埚加热 10 分钟;

(b2)、将功率改为 30kw, 其它设置保持不变, 继续对坩埚加热 30 分钟;

(b3)、将功率改为 50kw, 其它设置保持不变, 继续对坩埚加热 1 小时 30 分钟;

(b4)、将功率改为 55kw, 其它设置保持不变, 继续对坩埚加热 4 小时, 完成加热操作。

5. 根据权利要求 1 所述的一种采用大尺寸坩埚铸锭类单晶的方法, 其特征在于: 所述步骤(d) 的具体过程为:

(d1)、将加热模式选为温度控制模式, 并设定温度为 1432℃, 将压力模式选为气体模式, 压力设定为 600mbar, 进气设定为 40%, 出气设定为 0, 使隔热笼在硅料熔化结束时的位置的基础上, 再向上提升 2mm, 对坩埚加热 7 小时;

(d2)、保持加热模式和压力模式不变, 将温度改为 1430℃, 其它参数设定保持不变, 使隔热笼在步骤(d1) 的基础上再向上提升 1mm, 继续对坩埚加热 1 小时;

(d3)、保持加热模式和压力模式不变, 将温度改为 1425℃, 其它参数设定保持不变, 保持隔热笼的位置不变, 继续对坩埚加热 5 小时;

(d4)、保持加热模式和压力模式不变, 将温度改为 1420℃, 其它参数设定保持不变, 保持隔热笼的位置不变, 继续对坩埚加热 8 小时;

(d5)、保持加热模式和压力模式不变, 将温度改为 1418℃, 其它参数设定保持不变, 保持隔热笼的位置不变, 继续对坩埚加热 6 小时;

(d6)、保持加热模式和压力模式不变, 将温度改为 1416℃, 其它参数设定保持不变, 保持隔热笼的位置不变, 继续对坩埚加热 4 小时。

6. 根据权利要求 1 所述的一种采用大尺寸坩埚铸锭类单晶的方法, 其特征在于: 所述步骤(e) 的具体过程为:

(e1)、将加热模式选为温度控制模式, 并设定温度为 1370℃, 将压力模式选为气体模式, 压力设定为 600mbar, 进气设定为 20%, 出气设定为 0, 将隔热笼设置在起始位置, 对坩埚加热 1 小时 20 分钟;

(e2)、将加热模式改为功率控制模式, 并设定功率为 20kw, 其它参数设置保持不变, 对坩埚加热 2 小时。

7. 根据权利要求 1 所述的一种采用大尺寸坩埚铸锭类单晶的方法, 其特征在于: 所述步骤(f) 的具体过程为:

(f1)、将加热模式选为功率控制模式, 并设定功率为 13kw, 将压力模式选为气体模式, 压力设定为 600mbar, 进气设定为 0, 出气设定为 47%, 使隔热笼在起始位置的基础上向上提升 10mm, 对坩埚加热 2 小时;

(f2)、关闭加热, 将隔热笼的位置在步骤(f1) 的基础是向上提升 5mm, 其它参数设定保持不变, 冷却坩埚 2 小时;

(f3)、将隔热笼的位置在步骤(f1) 的基础是向上提升 13mm, 其它参数设定保持不变, 继续冷却坩埚 3 小时 30 分钟;

(f4)、将压力设定为 700mbar, 其它参数设定保持不变, 继续冷却坩埚 4 小时;

(f5)、将压力设定为 890mbar, 将隔热笼的位置在步骤(f4)的基础上向上提升 10mm, 其它参数设定保持不变, 继续冷却坩埚 20 分钟。

## 一种采用大尺寸坩埚铸锭类单晶的方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及类单晶铸锭领域,具体是一种采用大尺寸坩埚铸锭类单晶的方法。

### 背景技术

[0002] 随着不可再生能源(煤、石油、天然气等)的日趋减少,能源问题引起了全球关注,可再生能源成为发展热点。太阳能的利用引起了大家的关注,作为可再生能源的太阳能光伏发电因其供给充足,清洁无污染的优点,成为新能源发展的核心。目前太阳能光伏电池最主要的单晶硅太阳能电池,包括单晶硅电池和多晶硅电池。传统铸锭条件下,多晶硅中因含有大量晶界及缺陷,从而使多晶硅太阳能电池的转换效率较单晶硅电池约低 1.5%~2%。

[0003] 单晶硅电池的转换效率虽高,但对原料和操作要求高,而且单次投料量少,成本较高,电池衰减较大。多晶硅单次投料量大,操作容易,成本相对较低,电池衰减也比单晶的小很多。综合单晶和多晶的优势,研发出了类单晶。类单晶是采用多晶铸锭的工艺,装料时在坩埚底部铺设籽晶,熔化阶段籽晶部分熔化起“引晶”作用,从而获得外观和电性能均类似单晶的多晶硅片。类单晶硅片与多晶硅片相比,类单晶硅片晶界少,位错密度低,电池转换效率高,光衰仅约 0.1%。同时具有投料量大,生产效率高,切片工艺简单,的优势。

[0004] 随太阳能多晶硅电池技术的发展,为提高生产效率和增加电池转换效率,越来越多人致力于研究铸造类单晶。但铸造类单晶的成本控制的问题却不能得到有效控制,成本问题也成为该技术的发展贫瘠。

[0005] 类单晶铸锭是以单晶作为籽晶,放置于坩埚底部中央部分,四周距离坩埚壁的距离相等,多晶硅料和硼母合金放于籽晶的上面,装料方法类似于多晶铸锭。铸锭过程通过隔热笼的提升和长晶棒的监控保证籽晶不被完全熔化。缓慢降温进入长晶阶段,使多晶从籽晶位置开始生长,从而得到晶粒较大的类单晶。

[0006] 目前类单晶铸锭时,采用外径约 878mm、内径约 840mm 的坩埚,放入为 25 块横截面为 156mm×156mm 的硅块,硅块四周与坩埚壁距离约 30mm。由于目前类单晶铸锭工艺要求和 GT 铸锭炉热场分布(即铸锭炉的加热器位置分布),长晶过程水平方向温度梯度较大(长晶时温度梯度的控制,只有通过提升隔热笼的位置,使底部温度逐渐降低,形成垂直温度梯度,但隔热笼的位置的变动,使水平温度变动,中部温度与边缘温度存在差异,水平方向形成了温度梯度),导致靠近坩埚壁位置从底部到顶部“晶花”(靠近坩埚位置从底部到顶部晶界逐渐增多,即晶粒逐渐增多,且晶粒变小,“晶花”即是晶粒在硅锭横截面和表面呈现的晶粒)逐渐增多。边缘 16 块硅块出现大面积的小晶粒区域,尤其在硅锭 4 个角基本为多晶,这些硅块切片后电池装换效率较低。铸造类单晶硅锭,单晶比例低成为制约类单晶技术发展的主要技术难题。

### 发明内容

[0007] 本发明的目的是提供一种采用大尺寸坩埚铸锭类单晶的方法,解决了以往的类单

晶铸锭的大晶粒比例相对较小,硅块内部容易出现缺陷和杂质的问题。

[0008] 本发明解决上述技术问题所采用的技术方案是:一种采用大尺寸坩埚铸类单晶的方法,包括以下步骤:

[0009] (a)、选用外径大于 878mm、内径大于 840mm 的坩埚,将硅料置于坩埚中;

[0010] (b)、采用石墨加热器对坩埚进行加热,将加热模式选为功率控制模式,压力模式选为真空模式;石墨加热器采用低电压大电流使加热器本身发热,将样品用进样器定量注入到石墨管中,并以石墨管作为电阻发热体,通电后迅速升温,使试样达到原子化的目的。

[0011] (c)、加热硅料至熔化后,将加热模式改为温度控制模式,同时将压力模式改为气体模式;

[0012] (d)、开始长晶,将加热模式保持为温度控制模式,压力模式保持为气体模式;

[0013] (e)、长晶结束后,开始退火,加热模式先采用温度控制模式,再改为功率控制模式,压力模式保持为气体模式;

[0014] (f)、退火结束后,开始冷却,加热模式转换为功率控制模式,并且功率逐渐降为零,压力模式继续保持为气体模式,炉内持续通氩气。

[0015] 所述坩埚为石英坩埚。

[0016] 所述坩埚的外径为 920mm,内径为 882mm。

[0017] 所述步骤(b)的具体过程为:

[0018] (b1)、将加热模式选为功率控制模式,并设定功率为 10~15kw,将压力模式选为真空模式,对坩埚加热 10 分钟;

[0019] (b2)、将功率改为 30kw,其它设置保持不变,继续对坩埚加热 30 分钟;

[0020] (b3)、将功率改为 50kw,其它设置保持不变,继续对坩埚加热 1 小时 30 分钟;

[0021] (b4)、将功率改为 55kw,其它设置保持不变,继续对坩埚加热 4 小时,完成加热操作。

[0022] 进一步地,所述步骤(c)的具体过程为:

[0023] (c1)、将加热模式选为温度控制模式,并设定温度为 1170~1175℃,将压力模式选为真空模式,对坩埚加热 1 小时 30 分钟;该步由骤功率控制模式转换为温度控制模式,主要是为了确保高温状态下精确控温。

[0024] (c2)、将温度改为 1180℃,压力模式选为气体模式,压力设定为 200mbar,进气设定为 0,出气设定为 40%,继续对坩埚加热 10 分钟;该步骤将压力模式设定为出气模式,确保在设定时间内可以达到压力要求,同时使硅料熔化过程产生的杂质随气体带出炉腔;

[0025] (c3)、保持加热模式和压力模式不变,将温度改为 1187.5℃,压力设定为 350mbar,进气设定为 0,出气设定为 43%,继续对坩埚加热 8 分钟;

[0026] (c4)、保持加热模式和压力模式不变,将温度改为 1195℃,压力设定为 500mbar,进气设定为 0,出气设定为 43%,继续对坩埚加热 8 分钟;

[0027] (c5)、保持加热模式和压力模式不变,将温度改为 1200℃,压力设定为 600mbar,进气设定为 0,出气设定为 43%,继续对坩埚加热 5 分钟;

[0028] 步骤(c3)、(c4)和(c5)分阶段升温 and 充气,确保在预设的时间内可以达到相应的温度和压力设定值,避免设备引起偏差报警。

[0029] (c6)、保持加热模式和压力模式不变,将温度改为 1500℃,压力设定为 600mbar,

进气设定为 55%，出气设定为 0，继续对坩埚加热 3 小时 30 分钟；该步骤将真空模式转换为气体模式，通入气体确保硅料在高温状态不被氧化。

[0030] (c7)、保持加热模式和压力模式不变，将温度改为 1500℃，压力设定为 600mbar，进气设定为 55%，出气设定为 0，使隔热笼从初始位置向上提升 4mm，继续对坩埚加热 30 分钟。该步骤开始提升隔热笼，使坩埚底部热量散失，确保底部籽晶不熔。

[0031] (c8)、保持加热模式和压力模式不变，将温度改为 1545℃，压力设定为 600mbar，进气设定为 55%，出气设定为 0，使隔热笼在步骤(c7)的基础上再向上提升 2mm，继续对坩埚加热 2 小时；

[0032] (c9)、保持加热模式和压力模式不变，参数设定也保持不变，使隔热笼在步骤(c8)的基础上再向上提升 2mm，继续对坩埚加热 6 小时；该步骤使得上部的硅料充分熔化并到达底部籽晶，确保底部籽晶与硅液接触。

[0033] (c10)、保持加热模式和压力模式不变，参数设定也保持不变，使隔热笼在步骤(c9)的基础上再向上提升 1mm，继续对坩埚加热 5 分钟；该步骤快速降低坩埚底部温度，使熔化不再向底部进行，确保底部的籽晶不熔。

[0034] (c11)、保持加热模式和压力模式不变，参数设定也保持不变，使隔热笼在步骤(c10)的基础上再向上提升 1mm，继续对坩埚加热 30 分钟；

[0035] (c12)、保持加热模式和压力模式不变，将温度改为 1432℃，其它参数设定不变，使隔热笼在步骤(c11)的基础上再向上提升 2mm，继续对坩埚加热 1 小时。该步骤调整硅液上部温度及温度梯度，为下一阶段的长晶做准备。

[0036] 更进一步地，所述步骤(d)的具体过程为：

[0037] (d1)、将加热模式选为温度控制模式，并设定温度为 1432℃，将压力模式选为气体模式，压力设定为 600mbar，进气设定为 40%，出气设定为 0，使隔热笼在硅料熔化结束时的位置的基础上，再向上提升 2mm，对坩埚加热 7 小时；

[0038] (d2)、保持加热模式和压力模式不变，将温度改为 1430℃，其它参数设定保持不变，使隔热笼在步骤(d1)的基础上再向上提升 1mm，继续对坩埚加热 1 小时；

[0039] (d3)、保持加热模式和压力模式不变，将温度改为 1425℃，其它参数设定保持不变，保持隔热笼的位置不变，继续对坩埚加热 5 小时；

[0040] (d4)、保持加热模式和压力模式不变，将温度改为 1420℃，其它参数设定保持不变，保持隔热笼的位置不变，继续对坩埚加热 8 小时；

[0041] (d5)、保持加热模式和压力模式不变，将温度改为 1418℃，其它参数设定保持不变，保持隔热笼的位置不变，继续对坩埚加热 6 小时；

[0042] (d6)、保持加热模式和压力模式不变，将温度改为 1416℃，其它参数设定保持不变，保持隔热笼的位置不变，继续对坩埚加热 4 小时。

[0043] 进一步地，所述步骤(e)的具体过程为：

[0044] (e1)、将加热模式选为温度控制模式，并设定温度为 1370℃，将压力模式选为气体模式，压力设定为 600mbar，进气设定为 20%，出气设定为 0，将隔热笼设置在起始位置，对坩埚加热 1 小时 20 分钟；

[0045] (e2)、将加热模式改为功率控制模式，并设定功率为 20kw，其它参数设置保持不变，对坩埚加热 2 小时。

[0046] 进一步地,所述步骤(f)的具体过程为:

[0047] (f1)、将加热模式选为功率控制模式,并设定功率为 13kw,将压力模式选为气体模式,压力设定为 600mbar,进气设定为 0,出气设定为 47%,使隔热笼在起始位置的基础上向上提升 10mm,对坩埚加热 2 小时;

[0048] (f2)、关闭加热,将隔热笼的位置在步骤(f1)的基础是向上提升 5mm,其它参数设定保持不变,冷却坩埚 2 小时;

[0049] (f3)、将隔热笼的位置在步骤(f1)的基础是向上提升 13mm,其它参数设定保持不变,继续冷却坩埚 3 小时 30 分钟;

[0050] (f4)、将压力设定为 700mbar,其它参数设定保持不变,继续冷却坩埚 4 小时;

[0051] (f5)、将压力设定为 890mbar,将隔热笼的位置在步骤(f4)的基础上向上提升 10mm,其它参数设定保持不变,继续冷却坩埚 20 分钟。

[0052] 综上所述,本发明与现有技术相比具有以下优点和有益效果:

[0053] 1、本发明增大了铸锭用坩埚尺寸,而硅料尺寸不变,从而增加了硅块边缘与硅锭边缘的间距,即增加了边皮的厚度,利用铸锭炉热场分布,硅块熔化结束后,边缘硅块籽晶的厚度相对于小坩埚铸锭熔化后籽晶要厚,且硅块铺底籽晶的厚度相对更加均匀,有利于长晶时引导晶粒生长,增大晶粒尺寸。

[0054] 2、由于硅锭边皮厚度的增加,坩埚中的杂质扩散对硅锭的影响也大大降低,从而有效提高了硅块质量及大晶粒比例,一次铸锭大晶粒比例可达到 90%。

[0055] 3、本发明增大了坩埚的尺寸,从而增加一次投料量,提高了生产效率。

[0056] 4、硅锭边皮厚度增加,使边缘硅块靠近坩埚面的少子寿命增加,提高了硅块的整体平均少子寿命,也提高了边缘硅片的平均少子寿命,增加了边缘硅片的电池转换效率。

## 具体实施方式

[0057] 下面结合实施例对本发明作进一步的详细说明,但本发明的实施方式不限于此。

[0058] 实施例 1:

[0059] 一种采用大尺寸坩埚铸锭类单晶的方法,包括以下步骤:

[0060] (a)、选用外径大于 878mm、内径大于 840mm 的坩埚作为载体,将 25 块横截面为 156mm×156mm、厚度为 25mm 的开方硅块放于坩埚的中央部分,使开方硅块四周到坩埚内壁的距离相等;

[0061] (b)、对坩埚进行加热,将加热模式选为功率控制模式,压力模式选为真空模式。由于铸锭炉加热器低温阶段温度控制不稳定,难以精确控温,因此将加热模式选为功率控制模式;同时,由于刚开始炉内或硅料上可能存在一定的水分,通过选用真空作为压力模式,能够便于烘干加热炉及硅料。

[0062] (c)、加热至开方硅块开始熔化后,将加热模式改为温度控制模式,同时将压力模式改为气体模式;该步骤需要精确控温,以保证熔化过程的精确把控,同时,将压力模式选为气体模式,在该熔化阶段通入惰性气体,使硅料中的杂质随气体出炉内。

[0063] (d)、开方硅块熔化后,开始长晶,将加热模式保持为温度控制模式,压力模式保持为气体模式;熔化完成后,通过提升隔热笼以尽快降低坩埚内温度,使溶液从底部到顶部形成温度梯度,溶液底部晶核开始形成,晶体随温度的不断下降持续生长。



[0064] (e)、长晶结束后,开始退火,加热模式先采用温度控制模式,再改为功率加热,压力模式保持为气体模式。长晶结束后,硅锭顶部到底部存在一个明显的温度梯度,导致硅锭内部产生应力而形成位错或极小的应力裂纹,因此需要进行退火,以消除应力。

[0065] (f)、退火结束后,开始冷却,加热模式保持为功率控制模式,压力模式继续保持为气体模式。加热模式转换为功率控制,并且功率逐渐降为零,压力模式继续保持为气体模式,炉内持续通氩气使硅锭迅速冷却。

[0066] 本实施例的坩埚为石英坩埚。

[0067] 作为优选,本实施例采用外径为 920mm,内径为 882mm 的坩埚。通过对比外径 930mm、920mm 及 900mm 的大尺寸坩埚可以发现,与目前采用的坩埚类单晶铸锭相比,900mm 坩埚铸锭的硅锭大晶粒比例没有大幅度提高,外径 920mm、930mm 坩埚铸锭大晶粒比例明显提高,但外径 930mm 的坩埚成本相对牺牲太多,而外径 920mm 的坩埚铸锭相比外径 930mm 的坩埚铸锭,成本相对更低。因此,考虑铸锭质量和生产成本,本发明选用外径 920mm 大尺寸坩埚,而内径主要有坩埚的厚度决定。

[0068] 本实施例的步骤(b)的具体过程为:

[0069] (b1)、将加热模式选为功率控制模式,并设定功率为 10kw,将压力模式选为真空模式,对坩埚加热 10 分钟;

[0070] (b2)、将功率改为 30kw,其它设置保持不变,继续对坩埚加热 30 分钟;

[0071] (b3)、将功率改为 50kw,其它设置保持不变,继续对坩埚加热 1 小时 30 分钟;

[0072] (b4)、将功率改为 55kw,其它设置保持不变,继续对坩埚加热 4 小时,完成加热操作。

[0073] 本实施例的步骤(c)的具体过程为:

[0074] (c1)、将加热模式选为温度控制模式,并设定温度为 1170℃,将压力模式选为真空模式,对坩埚加热 1 小时 30 分钟;该步由骤功率控制模式转换为温度控制模式,主要是为了确保高温状态下精确控温。

[0075] (c2)、将温度改为 1180℃,压力模式选为气体模式,压力设定为 200mbar,进气设定为 0,出气设定为 40%,继续对坩埚加热 10 分钟;该步骤将压力模式设定为出气模式,确保在设定时间内可以达到压力要求,同时使硅料熔化过程产生的杂质随气体带出炉腔;

[0076] (c3)、保持加热模式和压力模式不变,将温度改为 1187.5℃,压力设定为 350mbar,进气设定为 0,出气设定为 43%,继续对坩埚加热 8 分钟;

[0077] (c4)、保持加热模式和压力模式不变,将温度改为 1195℃,压力设定为 500mbar,进气设定为 0,出气设定为 43%,继续对坩埚加热 8 分钟;

[0078] (c5)、保持加热模式和压力模式不变,将温度改为 1200℃,压力设定为 600mbar,进气设定为 0,出气设定为 43%,继续对坩埚加热 5 分钟;

[0079] 步骤(c3)、(c4)和(c5)分阶段升温 and 充气,确保在预设的时间内可以达到相应的温度和压力设定值,避免设备引起偏差报警。

[0080] (c6)、保持加热模式和压力模式不变,将温度改为 1500℃,压力设定为 600mbar,进气设定为 55%,出气设定为 0,继续对坩埚加热 3 小时 30 分钟;该步骤将真空模式转换为气体模式,通入气体确保硅料在高温状态不被氧化。

[0081] (c7)、保持加热模式和压力模式不变,将温度改为 1500℃,压力设定为 600mbar,

进气设定为 55%，出气设定为 0，使隔热笼从初始位置向上提升 4mm，继续对坩埚加热 30 分钟。该步骤开始提升隔热笼，使坩埚底部热量散失，确保底部籽晶不熔。

[0082] (c8)、保持加热模式和压力模式不变，将温度改为 1545℃，压力设定为 600mbar，进气设定为 55%，出气设定为 0，使隔热笼在步骤(c7)的基础上再向上提升 2mm，继续对坩埚加热 2 小时；

[0083] (c9)、保持加热模式和压力模式不变，参数设定也保持不变，使隔热笼在步骤(c8)的基础上再向上提升 2mm，继续对坩埚加热 6 小时；该步骤使得上部的硅料充分熔化并到达底部籽晶，确保底部籽晶与硅液接触。

[0084] (c10)、保持加热模式和压力模式不变，参数设定也保持不变，使隔热笼在步骤(c9)的基础上再向上提升 1mm，继续对坩埚加热 5 分钟；该步骤快速降低坩埚底部温度，使熔化不再向底部进行，确保底部的籽晶不熔。

[0085] (c11)、保持加热模式和压力模式不变，参数设定也保持不变，使隔热笼在步骤(c10)的基础上再向上提升 1mm，继续对坩埚加热 30 分钟；

[0086] (c12)、保持加热模式和压力模式不变，将温度改为 1432℃，其它参数设定不变，使隔热笼在步骤(c11)的基础上再向上提升 2mm，继续对坩埚加热 1 小时。该步骤调整硅液上部温度及温度梯度，为下一阶段的长晶做准备。

[0087] 本实施例的步骤(d)的具体过程为：

[0088] (d1)、将加热模式选为温度控制模式，并设定温度为 1432℃，将压力模式选为气体模式，压力设定为 600mbar，进气设定为 40%，出气设定为 0，将隔热笼在开方硅块熔化结束时的位置的基础上，再将隔热笼向上提升 2mm，对坩埚加热 7 小时；

[0089] (d2)、保持加热模式和压力模式不变，将温度改为 1430℃，其它参数设定保持不变，使隔热笼在步骤(d1)的基础上再向上提升 1mm，继续对坩埚加热 1 小时；

[0090] (d3)、保持加热模式和压力模式不变，将温度改为 1425℃，其它参数设定保持不变，保持隔热笼的位置不变，继续对坩埚加热 5 小时；

[0091] (d4)、保持加热模式和压力模式不变，将温度改为 1420℃，其它参数设定保持不变，保持隔热笼的位置不变，继续对坩埚加热 8 小时；

[0092] (d5)、保持加热模式和压力模式不变，将温度改为 1418℃，其它参数设定保持不变，保持隔热笼的位置不变，继续对坩埚加热 6 小时；该步骤在步骤(d1)、(d2)、(d3)、(d4)的基础上继续结晶，最终中央结晶结束，此时结晶完成的固体露出硅液液面。

[0093] (d6)、保持加热模式和压力模式不变，将温度改为 1416℃，其它参数设定保持不变，保持隔热笼的位置不变，继续对坩埚加热 4 小时；该阶段为结晶过程的最后一步，边角长晶在这一步完成，即前一步看到的周围硅液，将在此阶段全部结晶。

[0094] 本实施例的步骤(e)的具体过程为：

[0095] (e1)、将加热模式选为温度控制模式，并设定温度为 1370℃，将压力模式选为气体模式，压力设定为 600mbar，进气设定为 20%，出气设定为 0，将隔热笼设置在起始位置，即隔热笼将坩埚完全罩住，对坩埚加热 1 小时 20 分钟；

[0096] (e2)、将加热模式改为功率控制模式，并设定功率为 20kw，其它参数设置保持不变，对坩埚加热 2 小时。

[0097] 本实施例的步骤(f)的具体过程为：

[0098] (f1)、将加热模式选为功率控制模式,并设定功率为 13kw,将压力模式选为气体模式,压力设定为 600mbar,进气设定为 0,出气设定为 47%,将隔热笼设置在起始位置的基础上向上提升 10mm,对坩埚加热 2 小时;

[0099] (f2)、关闭加热,将隔热笼的位置在步骤(f1)的基础是向上提升 5mm,其它参数设定保持不变,冷却坩埚 2 小时;

[0100] (f3)、将隔热笼的位置在步骤(f1)的基础是向上提升 13mm,其它参数设定保持不变,继续冷却坩埚 3 小时 30 分钟;

[0101] (f4)、将压力设定为 700mbar,其它参数设定保持不变,继续冷却坩埚 4 小时;

[0102] (f5)、将压力设定为 890mbar,将隔热笼的位置在步骤(f4)的基础上向上提升 10mm,其它参数设定保持不变,继续冷却坩埚 20 分钟。

[0103] 实施例 2:

[0104] 本实施例与实施例 1 基本相同,不同的地方是,步骤(b1)中将设定功率为 13kw,其它设置不变。

[0105] 实施例 3:

[0106] 本实施例与实施例 1 基本相同,不同的地方是,步骤(b1)中将设定功率为 15kw,其它设置不变。

[0107] 实施例 4:

[0108] 本实施例与实施例 1 基本相同,不同的地方是,步骤(c1)中将温度设定为 1173℃,其它设置不变。

[0109] 实施例 5:

[0110] 本实施例与实施例 1 基本相同,不同的地方是,步骤(c1)中将温度设定为 1175℃,其它设置不变。

[0111] 本发明采用上述工艺步骤,通过增大铸锭用坩埚的尺寸,进而通过增大硅锭破锭边皮厚度来缓解了类单晶铸锭工艺水平方向的温度梯度,拿外径为 920mm,内径为 882mm 的坩埚来说,由于坩埚内径的增大,增大了硅锭尺寸,籽晶距离坩埚壁约 51mm,比传统坩埚的间距增加了约 0.7 倍,边皮料厚度的增加,有利于柱状晶生长,同时由于边皮厚度的增加,坩埚中的杂质扩散对硅锭的影响也大大降低,从而有效提高了硅块质量及单晶比例。硅料刚开始熔化时,采用温度控制模式对熔化过程进行精确控温,同时通入惰性气体,使硅料中的杂质随气体出炉内,这样有效减少了杂质对于长晶的影响,提高了类单晶的精度。长晶结束后,关闭隔热笼,硅锭保温,硅锭底部温度不断上升,同时,加热器降温,使硅锭顶部温度下降,当硅锭上下部温度相同时,退火完成,这样避免了硅锭顶部到底部形成较大的温度梯度,从而消除了硅锭内部可能产生的应力,避免形成位错或极小的应力裂纹,有效减小了硅块内部可能出现的缺陷。