

多晶硅生产工艺流程,多晶硅最主要的工艺包括,三氯氢硅合成、四氯化硅的热氢化(有的采用氯氢化),精馏,还原,尾气回收,还有一些小的主项,制氢、氯化氢合成、废气废液的处理、硅棒的整理等等。

主要反应包括: $\text{Si}+\text{HCl}\rightarrow\text{SiHCl}_3+\text{H}_2$ (三氯氢硅合成); $\text{SiCl}_4+\text{H}_2\rightarrow\text{SiHCl}_3+\text{HCl}$ (热氢化); $\text{SiHCl}_3+\text{H}_2\rightarrow\text{SiCl}_4+\text{HCl}+\text{Si}$ (还原) 多晶硅是由硅纯度较低的冶金级硅提炼而来,由于各多晶硅生产工厂所用主辅原料不尽相同,因此生产工艺技术不同;进而对应的多晶硅产品技术经济指标、产品质量指标、用途、产品检测方法、过程安全等方面也存在差异,各有技术特点和技术秘密,总的来说,目前国际上多晶硅生产主要的传统工艺有:改良西门子法、硅烷法和流化床法。改良西门子法是目前主流的生产方法,采用此方法生产的多晶硅约占多晶硅全球总产量的85%。但这种提炼技术的核心工艺仅仅掌握在美、德、日等7家主要硅料厂商手中。这些公司的产品占全球多晶硅总产量的90%,它们形成的企业联盟实行技术封锁,严禁技术转让。短期内产业化技术垄断封锁的局面不会改变。

西门子改良法生产工艺如下:

这种方法的优点是节能降耗显著、成本低、质量好、采用综合利用技术,对环境不产生污染,具有明显的竞争优势。改良西门子工艺法生产多晶硅所用设备主要有:氯化氢合成炉,三氯氢硅沸腾床加压合成炉,三氯氢硅水解凝胶处理系统,三氯氢硅粗馏、精馏塔提纯系统,硅芯炉,节电还原炉,磷检炉,硅棒切断机,腐蚀、清洗、干燥、包装系统装置,还原尾气干法回收装置;其他包括分析、检测仪器,控制仪表,热能转换站,压缩空气站,循环水站,变配电站,净化厂房等。

(1) 石英砂在电弧炉中冶炼提纯到98%并生成工业硅,其化学反应 $\text{SiO}_2+\text{C}\rightarrow\text{Si}+\text{CO}_2\uparrow$

(2) 为了满足高纯度的需要,必须进一步提纯。把工业硅粉碎并用无水氯化氢(HCl)与之反应在一个流化床反应器中,生成拟溶解的三氯氢硅(SiHCl_3)。

其化学反应 $\text{Si}+\text{HCl}\rightarrow\text{SiHCl}_3+\text{H}_2\uparrow$

反应温度为300度,该反应是放热的。同时形成气态混合物($\text{H}_2,\text{HCl},\text{SiHCl}_3,\text{SiCl}_4,\text{Si}$)。

(3) 第二步中产生的气态混合物还需要进一步提纯,需要分解:过滤硅粉,冷凝 $\text{SiHCl}_3,\text{SiCl}_4$,而气态 H_2,HCl 返回到反应中或排放到大气中。然后分解冷凝物 $\text{SiHCl}_3,\text{SiCl}_4$,净化三氯氢硅(多级精馏)。

(4) 净化后的三氯氢硅采用高温还原工艺,以高纯的 SiHCl_3 在 H_2 气氛中还原沉积而生成多晶硅。

其化学反应 $\text{SiHCl}_3+\text{H}_2\rightarrow\text{Si}+\text{HCl}$ 。

多晶硅的反应容器为密封的,用电加热硅池硅棒(直径5-10毫米,长度1.5-2米,数量80根),在1050-1100度在棒上生长多晶硅,直径可达到150-200毫米。

这样大约三分之一的三氯氢硅发生反应,并生成多晶硅。剩余部分同 $\text{H}_2,\text{HCl},\text{SiHCl}_3,\text{SiCl}_4$ 从反应容器中分离。这些混合物进行低温分离,或再利用,或返回到整个反应中。气态混合物的分离是复杂的、耗能量大的,从某种程度上决定了多晶硅的成本和该3工艺的竞争力

不晓得你们厂子采用的是什么工艺，不过多晶硅最主要的工艺包括，三氯氢硅合成、四氯化硅的热氢化（有的采用氯氢化），精馏，还原，尾气回收，还有一些小的主项，制氢、氯化氢合成、废气废液的处理、硅棒的整理等等。

主要反应包括： $\text{Si} + \text{HCl} \rightarrow \text{SiHCl}_3 + \text{H}_2$ （三氯氢硅合成）； $\text{SiCl}_4 + \text{H}_2 \rightarrow \text{SiHCl}_3 + \text{HCl}$ （热氢化）； $\text{SiHCl}_3 + \text{H}_2 \rightarrow \text{SiCl}_4 + \text{HCl} + \text{Si}$ （还原）

涉及的东西太多，简单的几句话没法说完，建议你去海川化工论坛去看看，那里面有一个多晶硅技术专区

主要分为以下五个工艺

SiHCl₃ 合成

氯硅烷分离、提纯

SiHCl₃ 氢还原

SiCl₄ 氢化

尾气干法分离

多晶硅项目哪部分工艺需要用聚四氟乙烯来防腐，氯化氢的回收部分需要用聚四氟乙烯来防腐。

多晶硅生产工艺多晶硅生产工艺

冶金级硅（工业硅）是制造多晶硅的原料，它由石英砂（二氧化硅）在电弧炉中用碳还原而成。尽管二氧化硅矿石在自然界中随处可见，但仅有其中的少数可以用于冶金级硅的制备。一般来说，要求矿石中二氧化硅的含量应该在 97~98%以上，并对各种杂质特别是砷、磷和硫等的含量有严格的限制。冶金硅形成过程的化学反应式为： $\text{SiO}_2 + 2\text{C} = \text{Si} + 2\text{CO}$ 。

在用于制造多晶硅的冶金硅中，要求含有 99%以上的 Si，还含有铁、铝、钙、磷、硼等，它们的含量在百万分之几十到百万分之一千（摩尔分数）不等。而 EG 硅中的杂质含量应该降到 10⁻⁹（摩尔分数）的水平，SOG 硅中的杂质含量应该降到 10⁻⁶（摩尔分数）的水平。要把冶金硅变成 SOG 硅或 EG 硅，显然不可能在保持固态的状态下提纯，而必须把冶金硅变成含硅的气体，先通过分馏与吸附等方法对气体提纯，然后再把高纯的硅源气体通过化学气相沉积（CVD）的方法转化为多晶硅。目前世界上生产制造多晶硅的工艺技术主要有：改良西门子法、硅烷（SiH₄）法、流化床法以及专门生产 SOG 硅的新工艺。）

1、改良西门子法

1955 年，西门子公司成功开发了利用氢气还原三氯硅烷（SiHCl₃）在硅芯发热体上沉积硅的工艺技术，并于 1957 年开始了工业规模的生产，这就是通常所说的西门子法。

在西门子法工艺的基础上，通过增加还原尾气干法回收系统、SiCl₄ 氢化工艺，实现了闭路循环，于是形成了改良西门子法——闭环式 SiHCl₃ 氢还原法。

改良西门子法的生产流程是利用氯气和氢气合成 HCl（或外购 HCl），HCl 和冶金硅粉在一定温度下合成 SiHCl₃，分离精馏提纯后的 SiHCl₃ 进入氢还原炉被氢气还原，通过化学气相沉积反应生产高纯多晶硅。具体生产工艺流程见图 1。

改良西门子法包括五个主要环节：SiHCl₃ 合成、SiHCl₃ 精馏提纯、SiHCl₃ 的氢还原、尾气的回收和 SiCl₄ 的氢化分离。该方法通过采用大型还原炉，降低了单位产品的能耗。通过采用 SiCl₄ 氢化和尾气干法回收工艺，明显降低了原辅材料的消耗。

改良西门子法制备的多晶硅纯度高，安全性好，沉积速率为 8~10μm/min，一次通过的转换效率为 5%~20%，相比硅烷法、流化床法，其沉积速率与转换效率是最高的。沉积温度为

1100℃，仅次于 SiCl₄ (1200℃)，所以电耗也较高，为 120 kWh/kg (还原电耗)。改良西门子法生产多晶硅属于高能耗的产业，其中电力成本约占总成本的 70%左右。SiHCl₃ 还原时一般不生产硅粉，有利于连续操作。该法制备的多晶硅还具有价格比较低、可同时满足直拉和区熔要求的优点。因此是目前生产多晶硅最为成熟、投资风险最小、最容易扩建的工艺，国内外现有的多晶硅厂大多采用此法生产 SOG 硅与 EG 硅，所生产的多晶硅占当今世界总产量的 70~80%。

4 M- P- p+ w5 }2、硅烷法

& F/ n8 b, {" I/ ?) j 1956 年，英国标准电讯实验所成功研发出了硅烷 (SiH₄) 热分解制备多晶硅的方法，即通常所说的硅烷法。1959 年，日本的石冢研究所也同样成功地开发出了该方法。后来，美国联合碳化物公司采用歧化法制备 SiH₄，并综合上述工艺且加以改进，便诞生了生产多晶硅的新硅烷法。 , n- l9 B! J* Q" ^5 V5 w i

硅烷法以氟硅酸、钠、铝、氢气为主要原辅材料，通过 SiCl₄ 氢化法、硅合金分解法、氢化物还原法、硅的直接氢化法等方法制取 SiH₄，然后将 SiH₄ 气提纯后通过 SiH₄ 热分解生产纯度较高的棒状多晶硅。硅烷法与改良西门子法接近，只是中间产品不同：改良西门子法的中间产品是 SiHCl₃；而硅烷法的中间产品是 SiH₄。硅烷法的具体生产工艺流程见图 2。

2 j7 Q, R w& U2 n

- q6 p8 W4 C4 _" { . b m

硅烷法存在成本高、硅烷易爆炸、安全性低的缺点；另外整个过程的总转换效率为 0.3，转换效率低；整个过程要反复加热和冷却，耗能高；SiH₄ 分解时容易在气相成核，所以在反应室内生成硅的粉尘，损失达 10%~20%，使硅烷法沉积速率 (3~8μm/min) 仅为西门子法的 1/10。

. u5 ~0 Z+ R+ g8 X" s6 U

日本小松公司曾采用过此技术，但由于发生过严重的爆炸事故，后来就没有继续推广。目前，美国 Asimi 和 SGS 公司 (现均属于挪威 REC 公司) 采用该工艺生产纯度较高的多晶硅。

& I, I(g% k, T- s* Q

3、流化床法

流化床法是美国联合碳化物公司早年研发的多晶硅制备工艺技术。该方法是以 SiCl₄ (或 SiF₄)、H₂、HCl 和冶金硅为原料在高温高压流化床 (沸腾床) 内生成 SiHCl₃，将 SiHCl₃ 再进一步歧化加氢反应生成 SiH₂Cl₂，继而生成 SiH₄ 气。制得的 SiH₄ 气通入加有小颗粒硅粉的流化床反应炉内进行连续热分解反应，生成粒状多晶硅产品。

l z7 o& U\$ u N& Y/ M) b: {

由于在流化床反应炉内参与反应的硅表面积大，故该方法生产效率高、电耗较低、成本低。该方法的缺点是安全性较差，危险性较大；生长速率较低 (4~6μm/min)；一次转换效率低，只有 2%~10%；还原温度高 (1200℃)，能耗高 (达 250 kWh/kg)，产量低。

多晶硅生产工艺

多晶硅生产工艺

多晶硅生产工艺多晶硅生产工艺

冶金级硅（工业硅）是制造多晶硅的原料，它由石英砂（二氧化硅）在电弧炉中用碳还原而成。尽管二氧化硅矿石在自然界中随处可见，但仅有其中的少数可以用于冶金级硅的制备。一般来说，要求矿石中二氧化硅的含量应该在 97~98% 以上，并对各种杂质特别是砷、磷和硫等的含量有严格的限制。冶金硅形成过程的化学反应式为： $\text{SiO}_2 + 2\text{C} = \text{Si} + 2\text{CO}$ 。

在用于制造多晶硅的冶金硅中，要求含有 99% 以上的 Si，还含有铁、铝、钙、磷、硼等，它们的含量在百万分之几十到百万分之一千（摩尔分数）不等。而 EG 硅中的杂质含量应该降到 10^{-9} （摩尔分数）的水平，SOG 硅中的杂质含量应该降到 10^{-6} （摩尔分数）的水平。要把冶金硅变成 SOG 硅或 EG 硅，显然不可能在保持固态的状态下提纯，而必须把冶金硅变成含硅的气体，先通过分馏与吸附等方法对气体提纯，然后再把高纯的硅源气体通过化学气相沉积（CVD）的方法转化为多晶硅。目前世界上生产制造多晶硅的工艺技术主要有：

改良西门子法、硅烷（ SiH_4 ）法、流化床法以及专门生产 SOG 硅的新工艺。

1、改良西门子法

1955 年，西门子公司成功开发了利用氢气还原三氯硅烷（ SiHCl_3 ）在硅芯发热体上沉积硅的工艺技术，并于 1957 年开始了工业规模的生产，这就是通常所说的西门子法。

在西门子法工艺的基础上，通过增加还原尾气干法回收系统、 SiCl_4 氢化工艺，实现了闭路循环，于是形成了改良西门子法——闭环式 SiHCl_3 氢还原法。

改良西门子法的生产流程是利用氯气和氢气合成 HCl（或外购 HCl），HCl 和冶金硅粉在一定温度下合成 SiHCl_3 ，分离精馏提纯后的 SiHCl_3 进入氢还原炉被氢气还原，通过化学气相沉积反应生产高纯多晶硅。具体生产工艺流程见图 1。

改良西门子法包括五个主要环节： SiHCl_3 合成、 SiHCl_3 精馏提纯、 SiHCl_3 的氢还原、尾气的回收和 SiCl_4 的氢化分离。该方法通过采用大型还原炉，降低了单位产品的能耗。通过采用 SiCl_4 氢化和尾气干法回收工艺，明显降低了原辅材料的消耗。

改良西门子法制备的多晶硅纯度高，安全性好，沉积速率为 $8\sim 10\ \mu\text{m}/\text{min}$ ，一次通过的转换效率为 5%~20%，相比硅烷法、流化床法，其沉积速率与转换效率是最高的。沉积温度为 1100°C ，仅次于 SiCl_4 （ 1200°C ），所以电耗也较高，为 120 kWh/kg（还原电耗）。改良西门子法生产多晶硅属于高能耗的产业，其中电力成本约占总成本的 70% 左右。 SiHCl_3 还原时一般不生产硅粉，有利于连续操作。该法制备的多晶硅还具有价格比较低、可同时满足直拉和区熔要求的优点。因此是目前生产多晶硅最为成熟、投资风险最小、最容易扩建的工艺，国内外现有的多晶硅厂大多采用此法生产 SOG 硅与 EG 硅，所生产的多晶硅占当今世界总产量的 70~80%。

2、硅烷法

1956 年，英国标准电讯实验所成功研发出了硅烷（ SiH_4 ）热分解制备多晶硅的方法，即通常所说的硅烷法。1959 年，日本的石冢研究所也同样成功地开发出了该方法。后来，美国联合碳化物公司采用歧化法制备 SiH_4 ，并综合上述工艺且加以改进，便诞生了生产多晶硅的新硅烷法。

硅烷法以氟硅酸、钠、铝、氢气为主要原辅材料，通过 SiCl_4 氢化法、硅合金分解法、氢化物还原法、硅的直接氢化法等方法制取 SiH_4 ，然后将 SiH_4 气提纯后通过 SiH_4 热分解生产纯度较高的棒状多晶硅。硅烷法与改良西门子法接近，只是中间产品不同：改良西门子法的中间产品是 SiHCl_3 ；而硅烷法的中间产品是 SiH_4 。硅烷法的具体生产工艺流程见图 2。

硅烷法存在成本高、硅烷易爆炸、安全性低的缺点；另外整个过程的总转换效率为 0.3，转换效率低；整个过程要反复加热和冷却，耗能高； SiH_4 分解时容易在气相成核，所以在反应室内生成硅的粉尘，损失达 10%~20%，使硅烷法沉积速率（3~8 $\mu\text{m}/\text{min}$ ）仅为西门子法的 1/10。

日本小松公司曾采用过此技术，但由于发生过严重的爆炸事故，后来就没有继续推广。目前，美国 Asimi 和 SGS 公司（现均属于挪威 REC 公司）采用该工艺生产纯度较高的多晶硅。

3、流化床法

流化床法是美国联合碳化物公司早年研发的多晶硅制备工艺技术。该方法是以 SiCl_4 （或 SiF_4 ）、 H_2 、 HCl 和冶金硅为原料在高温高压流化床（沸腾床）内生成 SiHCl_3 ，将 SiHCl_3 再进一步歧化加氢反应生成 SiH_2Cl_2 ，继而生成 SiH_4 气。制得的 SiH_4 气通入加有小颗粒硅粉的流化床反应炉内进行连续热分解反应，生成粒状多晶硅产品。

由于在流化床反应炉内参与反应的硅表面积大，故该方法生产效率高、电耗较低、成本低。该方法的缺点是安全性较差，危险性较大；生长速率较低（4~6 $\mu\text{m}/\text{min}$ ）；一次转换效率低，只有 2%~10%；还原温度高（1200℃），能耗高（达 250 kWh/kg），产量低。

目前采用该方法生产颗粒状多晶硅的公司主要有：挪威 REC 公司、德国 Wacker 公司、美国 Hemlock 和 MEMC 公司等。

挪威 REC 公司是一家业务贯穿整个太阳能行业产业链的公司。该公司利用硅烷气为原料，采用流化床反应炉闭环工艺分解出粒状多晶硅，且基本上不产生副产品和废弃物。这一特有专利技术使得 REC 公司在全球太阳能行业中处于独一无二的低位。REC 公司还积极开发新型流化床反应器技术（FBR），该技术使多晶硅在流化床反应器中沉积，而不是在传统的热解沉积炉或西门子反应器中沉积，因而可极大地降低建厂投资和生产能耗。2006 年计划新建利用该技术生产太阳能级多晶硅的工厂，预计 2008 年达产，产能 6500t。此外，REC 正积极开发流化床多晶硅沉积技术（Fluidized Bed Polysilicon Deposition，预计 2008 年用于试产）和改良的西门子反应器技术（Modified Siemens-reactor technology）。

德国 Wacker 公司开发了一套全新的粒状多晶硅流化床反应器技术生产工艺。该工艺基于流化床技术（以 SiHCl_3 为给料），已在两台实验反应堆中进行了工业化规模的生产试验。

美国 Hemlock 公司将开设实验性颗粒硅生产线来降低硅的成本。MEMC 公司一直采用 MEMC 工艺（流化床法）生产粒状多晶硅，而且是世界上生产单晶硅的大型企业。该公司计划在 2010 年底其产能达到 7000t 左右。

多晶硅工艺流程及产污分析 1、氢气制备与净化工序

在电解槽内经电解脱盐水制得氢气。电解制得的氢气经过冷却、分离液体后，进入除氧器，在催化剂的作用下，氢气中的微量氧气与氢气反应生成水而被除去。除氧后的氢气通过一组吸附干燥器而被干燥。净化干燥后的氢气送入氢气贮罐，然后送往氯化氢合成、三氯氢硅氢还原、四氯化硅氢化工序。

电解制得的氧气经冷却、分离液体后，送入氧气贮罐。出氧气贮罐的氧气送去装瓶。

气液分离器排放废吸附剂、氢气脱氧器有废脱氧催化剂排放、干燥器有废吸附剂排放，均供货商回收再利用。

2、氯化氢合成工序

从氢气制备与净化工序来的氢气和从合成气干法分离工序返回的循环氢气分别进入本工序氢气缓冲罐并在罐内混合。出氢气缓冲罐的氢气引入氯化氢合成炉底部的燃烧枪。从液氯汽化工序来的氯气经氯气缓冲罐，也引入氯化氢合成炉的底部的燃烧枪。氢气与氯气的混合气体在燃烧枪出口被点燃，经燃烧反应生成氯化氢气体。出合成炉的氯化氢气体流经空气冷却器、水冷却器、深冷却器、雾沫分离器后，被送往三氯氢硅合成工序。

为保证安全，本装置设置有一套主要由两台氯化氢降膜吸收器和两套盐酸循环槽、盐酸循环泵组成的氯化氢气体吸收系统，可用水吸收因装置负荷调整或紧急泄放而排出的氯化氢气体。该系统保持连续运转，可随时接收并吸收装置排出的氯化氢气体。

为保证安全，本工序设置一套主要由废气处理塔、碱液循环槽、碱液循环泵和碱液循环冷却器组成的含氯废气处理系统。必要时，氯气缓冲罐及管道内的氯气可以送入废气处理塔内，用氢氧化钠水溶液洗涤除去。该废气处理系统保持连续运转，以保证可以随时接收并处理含氯气体。

3、三氯氢硅合成工序

原料硅粉经吊运，通过硅粉下料斗而被卸入硅粉接收料斗。硅粉从接收料斗放入下方的中间料斗，经用热氯化氢气置换料斗内的气体并升压至与下方料斗压力平衡后，硅粉被放入下方的硅粉供应料斗。供应料斗内的硅粉用安装于料斗底部的星型供料机送入三氯氢硅合成炉进料管。

从氯化氢合成工序来的氯化氢气，与从循环氯化氢缓冲罐送来的循环氯化氢气混合后，引入三氯氢硅合成炉进料管，将从硅粉供应料斗供入管内的硅粉挟带并输送，从底部进入三氯氢硅合成炉。

在三氯氢硅合成炉内，硅粉与氯化氢气形成沸腾床并发生反应，生成三氯氢硅，同时生成四氯化硅、二氯二氢硅、金属氯化物、聚氯硅烷、氢气等产物，此混合气体被称作三氯氢硅合成气。反应大量放热。合成炉外壁设置有水夹套，通过夹套内水带走热量维持炉壁的温度。

出合成炉顶部挟带有硅粉的合成气，经三级旋风除尘器组成的干法除尘系统除去部分硅粉后，送入湿法除尘系统，被四氯化硅液体洗涤，气体中的部分细小硅尘被洗下；洗涤同时，通入湿氢气与气体接触，气体所含部分金属氧化物发生水解而被除去。除去了硅粉而被净化的混合气体送往合成气干法分离工序。

4、合成气干法分离工序

从三氯氢硅合成工序来的合成气在此工序被分离成氯硅烷液体、氢气和氯化氢气体，分别循环回装置使用。

三氯氢硅合成气流经混合气缓冲罐，然后进入喷淋洗涤塔，被塔顶流下的低温氯硅烷液体洗涤。气体中的大部份氯硅烷被冷凝并混入洗涤液中。出塔底的氯硅烷用泵增压，大部分经冷冻降温后循环回塔顶用于气体的洗涤，多余部份的氯硅烷送入氯化氢解析塔。

出喷淋洗涤塔塔顶除去了大部分氯硅烷的气体，用混合气压缩机压缩并经冷冻降温后，送入氯化氢吸收塔，被从氯化氢解析塔底部送来的经冷冻降温的氯硅烷液体洗涤，气体中绝大部分的氯化氢被氯硅烷吸收，气体中残留的大部分氯硅烷也被洗涤冷凝下来。出塔顶的气体为含有微量氯化氢和氯硅烷的氢气，经一组变温变压吸附器进一步除去氯化氢和氯硅烷后，得到高纯度的氢气。氢气流经氢气缓冲罐，然后返回氯化氢合成工序参与合成氯化氢的反应。吸附器再生废气含有氢气、氯化氢和氯硅烷，送往废气处理工序进行处理。

出氯化氢吸收塔底溶解有氯化氢气体的氯硅烷经加热后，与从喷淋洗涤塔底来的多余的氯硅烷汇合，然后送入氯化氢解析塔中部，通过减压蒸馏操作，在塔顶得到提纯的氯化氢气体。出塔氯化氢气体流经氯化氢缓冲罐，然后送至设置于三氯氢硅合成工序的循环氯化氢缓冲罐；塔底除去了氯化氢而得到再生的氯硅烷液体，大部分经冷却、冷冻降温后，送回氯化氢吸收塔用作吸收剂，多余的氯硅烷液体（即从三氯氢硅合成气中分离出的氯硅烷），经冷却后送往氯硅烷贮存工序的原料氯硅烷贮槽。

5、氯硅烷分离提纯工序

在三氯氢硅合成工序生成，经合成气干法分离工序分离出来的氯硅烷液体送入氯硅烷贮存工序的原料氯硅烷贮槽；在三氯氢硅还原工序生成，经还原尾气干法分离工序分离出来的氯硅烷液体送入氯硅烷贮存工序的还原氯硅烷贮槽；在四氯化硅氢化工序生成，经氯化氢干法分离工序分离出来的氯硅烷液体送入氯硅烷贮存工序的氯化氯硅烷贮槽。原料氯硅烷液体、还原氯硅烷液体和氯化氯硅烷液体分别用泵抽出，送入氯硅烷分离提纯工序的不同精馏塔中。

6、三氯氢硅氢还原工序

经氯硅烷分离提纯工序精制的三氯氢硅，送入本工序的三氯氢硅汽化器，被热水加热汽化；从还原尾气干法分离工序返回的循环氢气流经氢气缓冲罐后，也通入汽化器内，与三氯氢硅蒸汽形成一定比例的混合气体。

从三氯氢硅汽化器来的三氯氢硅与氢气的混合气体，送入还原炉内。在还原炉内通电的炽热硅芯/硅棒的表面，三氯氢硅发生氢还原反应，生成硅沉积下来，使硅芯/硅棒的直径逐渐变大，直至达到规定的尺寸。氢还原反应同时生成二氯二氢硅、四氯化硅、氯化氢和氢气，与未反应的三氯氢硅和氢气一起送出还原炉，经还原尾气冷却器用循环冷却水冷却后，直接送往还原尾气干法分离工序。

还原炉炉筒夹套通入热水，以移除炉内炽热硅芯向炉筒内壁辐射的热量，维持炉筒内壁的温度。出炉筒夹套的高温热水送往热能回收工序，经废热锅炉生产水蒸汽而降温后，循环回本工序各还原炉夹套使用。

还原炉在装好硅芯后，开车前先用水力射流式真空泵抽真空，再用氮气置换炉内空气，再用氢气置换炉内氮气（氮气排空），然后加热运行，因此开车阶段要向环境空气中排放氮气，和少量的真空泵用水（可作为清洁下水排放）；在停炉开炉阶段（约5—7天1次），先用氢气将还原炉内含有氯硅烷、氯化氢、氢气的混合气体压入还原尾气干法回收系统进行回收，然后用氮气置换后排空，取出多晶硅产品、移出废石墨电极、视情况进行炉内超纯水洗涤，因此停炉阶段将产生氮气、废石墨和清洗废水。氮气是无害气体，因此正常情况下还原炉开、停车阶段无有害气体排放。废石墨由原生产厂回收，清洗废水送项目含氯化物酸碱废水处理系统处理。

7、还原尾气干法分离工序

从三氯氢硅氢还原工序来的还原尾气经此工序被分离成氯硅烷液体、氢气和氯化氢气体，分别循环回装置使用。

还原尾气干法分离的原理和流程与三氯氢硅合成气干法分离工序十分类似。从变温变压吸附器出口得到的高纯度的氢气，流经氢气缓冲罐后，大部分返回三氯氢硅氢还原工序参与制取多晶硅的反应，多余的氢气送往四氯化硅氢化工序参与四氯化硅的氢化反应；吸附器再生废气送往废气处理工序进行处理；从氯化氢解析塔顶部得到提纯的氯化氢气体，送往放置于三氯氢硅合成工序的循环氯化氢缓冲罐；从氯化氢解析塔底部引出的多余的氯硅烷液体（即从三氯氢硅还原尾气中分离出的氯硅烷），送入氯硅烷贮存工序的还原氯硅烷贮槽。

8、四氯化硅氢化工序

经氯硅烷分离提纯工序精制的四氯化硅，送入本工序的四氯化硅汽化器，被热水加热汽化。从氢气制备与净化工序送来的氢气和从还原尾气干法分离工序来的多余氢气在氢气缓冲罐混合后，也通入汽化器内，与四氯化硅蒸汽形成一定比例的混合气体。

从四氯化硅汽化器来的四氯化硅与氢气的混合气体，送入氢化炉内。在氢化炉内通电的炽热电极表面附近，发生四氯化硅的氢化反应，生成三氯氢硅，同时生成氯化氢。出氢化炉的含有三氯氢硅、氯化氢和未反应的四氯化硅、氢气的混合气体，送往氢化气干法分离工序。

氢化炉的炉筒夹套通入热水，以移除炉内炽热电极向炉筒内壁辐射的热量，维持炉筒内壁的温度。出炉筒夹套的高温热水送往热能回收工序，经废热锅炉生产水蒸汽而降温后，循环回本工序各氢化炉夹套使用。

9、氢化气干法分离工序

从四氯化硅氢化工序来的氢化气经此工序被分离成氯硅烷液体、氢气和氯化氢气体，分别循环回装置使用。

氢化气干法分离的原理和流程与三氯氢硅合成气干法分离工序十分类似。从变温变压吸附器出口得到的高纯度氢气，流经氢气缓冲罐后，返回四氯化硅氢化工序参与四氯化硅的氢化反应；吸附再生的废气送往废气处理工序进行处理；从氯化氢解析塔顶部得到提纯的氯化氢气体，送往放置于三氯氢硅合成工序的循环氯化氢缓冲罐；从氯化氢解析塔底部引出的多余的氯硅烷液体（即从氢化气中分离出的氯硅烷），送入氯硅烷贮存工序的氢化氯硅烷贮槽。

10、氯硅烷贮存工序

本工序设置以下贮槽：100m³ 氯硅烷贮槽、100m³ 工业级三氯氢硅贮槽、100m³ 工业级四氯化硅贮槽、100 m³ 氯硅烷紧急排放槽等。

从合成气干法分离工序、还原尾气干法分离工序、氢化气干法分离工序分离得到的氯硅烷液体，分别送入原料、还原、氢化氯硅烷贮槽，然后氯硅烷液体分别作为原料送至氯硅烷

分离提纯工序的不同精馏塔。

在氯硅烷分离提纯工序3级精馏塔顶部得到的三氯氢硅、二氯二氢硅的混合液体，在4、5级精馏塔底得到的三氯氢硅液体，及在6、8、10级精馏塔底得到的三氯氢硅液体，送至工业级三氯氢硅贮槽，液体在槽内混合后作为工业级三氯氢硅产品外售。

11、硅芯制备工序

采用区熔炉控制与切割并用的技术，加工制备还原炉初始生产时需安装于炉内的导电硅芯。硅芯制备过程中，需要用氢氟酸和硝酸对硅芯进行腐蚀处理，再用超纯水洗净硅芯，然后对硅芯进行干燥。酸腐蚀处理过程中会有氟化氢和氮氧化物气体逸出至空气中，故用风机通过罩于酸腐蚀处理槽上方的风罩抽吸含氟化氢和氮氧化物的空气，然后将该气体送往废气处理装置进行处理，达标排放。

12、产品整理工序

在还原炉内制得的多晶硅棒被从炉内取下，切断、破碎成块状的多晶硅。用氢氟酸和硝酸对块状多晶硅进行腐蚀处理，再用超纯水洗净多晶硅块，然后对多晶硅块进行干燥。酸腐蚀处理过程中会有氟化氢和氮氧化物气体逸出至空气中，故用风机通过罩于酸腐蚀处理槽上方的风罩抽吸含氟化氢和氮氧化物的空气，然后将该气体送往废气处理装置进行处理，达标排放。经检测达到规定的质量指标的块状多晶硅产品送去包装。

13、废气及残液处理工序

1、含氯化氢工艺废气净化

SiHCl₃提纯工序排放的废气、还原炉开停车、事故排放废气、氯硅烷及氯化氢储存工序储罐安全泄放气、CDI吸附废气全部用管道送入废气淋洗塔洗涤。

废气经淋洗塔用10%NaOH连续洗涤后，出塔底洗涤液用泵送入工艺废料处理工序，尾气经15m高度排气筒排放。

2、残液处理

在精馏塔中排出的、主要含有四氯化硅和聚氯硅烷化合物的釜地残液以及装置停车放净的氯硅烷残液液体送到本工序加以处理。

需要处理的液体被送入残液收集槽。然后用氮气将液体压出，送入残液淋洗塔洗涤。采用10%NaOH碱液进行处置。废液中的氯硅烷与NaOH和水发生反应而被转化成无害的物质(处理原理同含氯化氢、氯硅烷废气处理)。

3、酸性废气

硅芯制备和产品整理工序产生的酸性废气，经集气罩抽吸至废气处理系统。酸性废气经喷淋塔用10%石灰乳洗涤除去气体中的含氟废气，同时在洗涤液中加入还原剂氨，将绝大部分NO_x还原为N₂和H₂O。洗涤后气体经除湿后，再通过固体吸附法(以非贵金属为催

化剂)将气体中剩余 NO_x 用 SDG 吸附剂吸附, 然后经 20m 高度排气筒排放。

14、废硅粉处理

来自原料硅粉加料除尘器、三氯氢硅合成车间旋风除尘器和合成反应器排放出来的硅粉, 通过废渣运料槽运送到废渣漏斗中, 进入到带搅拌器的酸洗管内, 在通过 31%的盐酸对废硅粉(尘)脱碱, 并溶解废硅中的铝、铁和钙等杂质。洗涤完成后, 经压滤机过滤, 废渣送干燥机干燥, 干燥后的硅粉返回到三氯氢硅合成循环使用, 废液汇入废气残液处理系统废水一并处理。

从酸洗罐和滤液罐排放出来的含 HCl 废气送往废气残液处理系统进行处理。

15 、工艺废料处理工序

1、I类废液处理

来自氯化氢合成工序负荷调整、事故泄放废气处理废液、停炉清洗废水、废气残液处理工序洗涤塔洗涤液和废硅粉处理的含酸废液在此工序进行混合、中和、沉清后, 经过压滤机过滤。滤渣(主要为 SiO₂)送水泥厂生产水泥。沉清液和滤液主要为高浓度含盐废水, 含 NaCl 200 g/L 以上, 该部分水在工艺操作与处理中不引入钙镁离子和硫酸根离子, 水质满足氯碱生产要求, 因此含盐废水管道输送至

2、II类废液处理

来自硅芯制备工序和产品整理工序的废氢氟酸和废硝酸及酸洗废水, 用 10%石灰乳液中和、沉清后, 经过压滤机过滤, 滤渣(主要为 CaF₂)送水泥厂生产水泥。沉清液和滤液主要为硝酸钙溶液, 经蒸发、浓缩后, 做副产品外售。蒸发冷凝液回用配置碱液。