



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 109542003 A

(43)申请公布日 2019.03.29

(21)申请号 201811406529.8

(22)申请日 2018.11.23

(71)申请人 内蒙古神舟硅业有限责任公司

地址 010070 内蒙古自治区呼和浩特市赛
罕区阿木尔南街88号

(72)发明人 姜海明 吴锋 杨媛丽 曹忠
陈晓军

(51)Int.Cl.

G05B 19/042(2006.01)

C01B 33/035(2006.01)

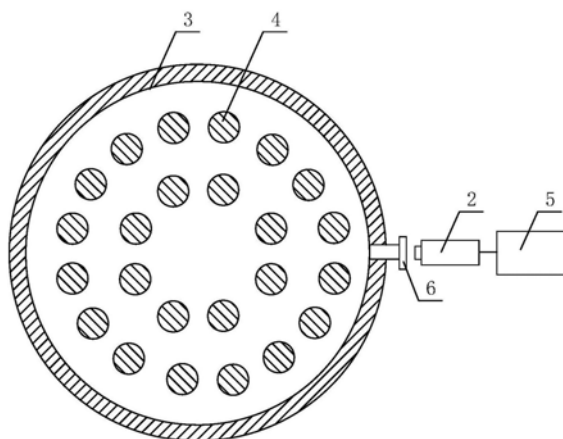
权利要求书3页 说明书8页 附图1页

(54)发明名称

一种多晶硅还原炉自动控制方法

(57)摘要

本发明公开了一种多晶硅还原炉自动控制方法,通过测温装置和摄像装置采集硅棒温度和还原炉内硅棒生长图像,并上传至工业计算机进行数据记录、图像分析和逻辑运算,获得每一时间段的还原炉电流、还原炉进料量和还原炉配比,进而控制还原炉执行机构动作,实现每一时间段还原炉温度、还原炉进料量和还原炉配比的自动控制。优点在于:本发明可将还原炉控制在最优的运行状态,减少了硅棒发生裂纹或倒棒的现象,提升了多晶硅外观质量,降低了对现场人员的经验要求,减少了操作人员工作量,降低了还原炉运行电耗,节省了原料气。



1. 一种多晶硅还原炉自动控制方法,其特征在于,通过测温装置和摄像装置采集硅棒温度和还原炉内硅棒的生长图像,并上传至工业计算机进行数据记录、图像分析和逻辑运算,获得每一时间段的还原炉电流、还原炉进料量和还原炉配比,进而控制还原炉执行机构动作,实现每一时间段还原炉温度、还原炉进料量和还原炉配比的自动控制。

2. 根据权利要求1所述的一种多晶硅还原炉自动控制方法,其特征在于,所述还原炉温度自动控制步骤,具体为:

(1) 还原炉初始进料后,开始记录硅棒温度,初始第一小时,初始电流按 A_1 平均进行升温,同时每间隔相同时间记录一次硅棒温度;

(2) 将上一小时内记录的硅棒温度、时间数据连接成曲线,按线性方式对曲线进行方程回归,并得出时间-硅棒温度趋势函数 $y=mx+n$;

(3) 下一小时电流理论值为 A_{i+1} ,

$$A_{i+1} = \frac{|m| - 0.01667}{0.01667} \times A_i + A_i \quad (1)$$

式(1)中 A_i 为上一小时运行电流, n 为上一小时得到的时间-硅棒温度线性拟合函数的斜率;为避免还原炉倒棒,还原炉内每小时运行电流的增加量不超过25A,即当 $A_{i+1} - A_i \geq 25A$ 时,下一小时的运行电流为 $A_{i+1} = (A_i + 25)A$;此外,还原炉每小时电流增加量的变化值,即 $|(A_{i+1} - A_i) - (A_i - A_{i-1})|$ 不应超过3A,当 $(A_{i+1} - A_i) - (A_i - A_{i-1}) \geq 3A$ 时,则下一小时运行电流为 $A_{i+1} = (2A_i + 3 - A_{i-1})A$;当 $(A_{i+1} - A_i) - (A_i - A_{i-1}) \leq -3A$ 时,下一小时运行电流为 $A_{i+1} = (2A_i - 3 - A_{i-1})A$;当 $-3A < (A_{i+1} - A_i) - (A_i - A_{i-1}) < 3A$ 时,下一小时运行电流设定为 A_{i+1} 。

3. 根据权利要求1所述的一种多晶硅还原炉自动控制方法,其特征在于,所述还原炉进料量自动控制步骤,具体为:

(1) 按常规方法确定还原炉初始进料量为 Q_1 ,初始硅棒棒径为 $D_1 = 8$,初始硅棒温度为 T_1 ;

(2) 下一小时还原炉进料量理论值为 Q_{i+1} ,

$$Q_{i+1} = Q_1 \times \frac{D_i}{8} \times \exp\left(-\frac{E}{RT_i} + \frac{E}{RT_1}\right) \quad (2)$$

式(2)中, R 为气体常数,其值为 $8.314J \cdot mol^{-1}K^{-1}$,上一小时沉积结束时硅棒直径为 D_i ;上一小时沉积结束时硅棒温度为 T_i , E 为活化能,其为常数;

受设备条件限制,还原炉存在一最大进料量 Q_{max} ,当 $Q_{i+1} > Q_{max}$ 时,则下一小时还原炉按 Q_{max} 进料;同时,过快的提料量易造成硅棒的倒棒,因此,当 $Q_i + M < Q_{i+1} < Q_{max}$ 时, Q_i 为上一小时还原炉进料量,则下一小时还原炉按 $Q_i + M$ 进料;当 $Q_{i+1} < Q_i + M$ 时,则下一小时还原炉按 Q_{i+1} 进料。

4. 根据权利要求1所述的一种多晶硅还原炉自动控制方法,其特征在于,所述还原炉配比自动控制步骤,具体为:

(1) 选择1h作为硅棒沉积速率的度量单位,理想的沉积速率为 $H_{参照}$,

$$H_{参照} = W \int_t^{t+i} B A \exp\left(\frac{-E}{R(a+bt)}\right) dt \quad (3)$$

式(3)中, A 为指前因子; E 为活化能,其为常数; R 为气体常数,其值为 $8.314J \cdot mol^{-1}K^{-1}$; B 是将化学反应速率常数转化成沉积厚度的比例常数; W 为将还原沉积速率转化为理想还原沉积速率的比例常数,即为平衡最佳表现及生产成本的还原沉积速率的比例常数;

式(3)中包含A、B、W为未知的比例常数;E和R为已知的比例常数;a、b为最优还原沉积过程中,硅棒温度随时间变化的线性拟合直线的斜率b及截距a;

(2)选取三组最优沉积过程中测得的沉积速率和对应该沉积速率的沉积时间,以及在该沉积过程中,测得的硅棒温度随时间变化的线性拟合直线的斜率b及截距a;将三组数值分别带入式(3)中,得到关于A、B、W的方程组,解方程组即可得到最优还原沉积过程中对应的A、B、W的数值;

将解得的A、B、W值,以及斜率b、截距a、活化能E、气体常数R,代入式(3)中,得到 $H_{\text{参照}}$ 随时间t的变化方程 $H_{\text{参照}}=f(t)$;

(3)测得的上一小时沉积结束时的沉积速率 $H_{\text{实际}}$,与通过方程 $H_{\text{参照}}=f(t)$ 在该时间点计算得到的沉积速率 $H_{\text{参照}}$ 进行对比;

检测到硅棒或还原炉内未发生异常情况下,按如下条件确定还原炉配比:

当 $H_{\text{实际}} > H_{\text{参照}}$ 时,提高下一小时氢气的物质的量与三氯氢硅物质的量之比;当 $H_{\text{实际}} < H_{\text{参照}}$ 时,降低下一小时氢气的物质的量与三氯氢硅物质的量之比;配比每次降低或升高0.1,但配比高于允许最大值或低于允许最小值时,按照最大值或最小值操作;

检测到硅棒或还原炉内发生异常情况下,按如下条件确定还原炉配比:

当检测到硅棒疏松程度超过5mm时,则氢气的物质的量与三氯氢硅物质的量之比按上一小时配比增加0.1,但配比高于允许最大值或低于允许最小值时,按照最大值或最小值操作;

当检测到硅棒疏松程度超过10mm时,则氢气的物质的量与三氯氢硅物质的量之比按上一小时配比增加0.3,但配比高于允许最大值或低于允许最小值时,按照最大值或最小值操作;

当检测到硅棒疏松程度超过30mm时,则氢气的物质的量与三氯氢硅物质的量之比按上一小时配比增加0.5,但配比高于允许最大值或低于允许最小值时,按照最大值或最小值操作;

当图像分析检测到还原炉内存在粉状颗粒,则判定还原炉内发生雾化,立即将配比控制在4.5并向中控人员报警,由现场人员进行确认,当雾化较严重时,则进行停炉操作,当雾化轻微暂停自动控制系统的使用,手动进行调整,运行正常后再次启动自动控制系统。

5.根据权利要求2-4任一所述的一种多晶硅还原炉自动控制方法,其特征在于,硅棒温度通过设置于还原炉炉壁的石英视镜前方的红外测温仪监测得到。

6.根据权利要求3所述的一种多晶硅还原炉自动控制方法,其特征在于,所述硅棒直径通过如下方法获得:(1)还原炉内放置硅棒棒芯;(2)摄像装置采集数据;(3)工业计算机数据分析;其中,

(1)还原炉内放置硅棒棒芯:以石英视镜所在直径为对称轴,将硅棒棒芯均匀对称排布在对称轴的两侧;

(2)摄像装置采集数据:选取对称轴两侧相邻一对硅棒棒芯为检测硅棒,调整摄像装置使得摄像装置聚焦于检测硅棒,开始连续拍照采集图像数据,并将采集到的图像数据实时传输给工业计算机;

(3)工业计算机数据分析:工业计算机接收到图像数据后,开始启动硅棒图像处理程序计算;

第一步计算硅棒间距,检测硅棒间距的计算方法为:

$$S=C \times P$$

式中,C比例常数,为测量物的图像像素值与测量物的实际长度的比值,P为两检测硅棒间距图像像素值,像素值为采集图像在长或宽度方向上的点数;

第二步计算检测硅棒的沉积速率,检测硅棒沉积速率的计算方法为:

$$V = \frac{S_{t2} - S_{t1}}{t2 - t1}$$

式中, S_{t2} 和 S_{t1} 为相邻两次检测计算所得的检测硅棒间距值, $t2$ 和 $t1$ 为相邻两次检测的时间;

第三步计算检测硅棒直径,检测硅棒直径的计算方法为:

$$D=S-S_0+D_0$$

式中,S为当前检测硅棒间距值, S_0 为初始检测硅棒间距值, D_0 为检测硅棒初始直径即硅棒棒芯直径。

7.根据权利要求4所述的一种多晶硅还原炉自动控制方法,其特征在于,所述硅棒的沉积速率通过如下方法获得:(1)还原炉内放置硅棒棒芯;(2)摄像装置采集数据;(3)工业计算机数据分析;其中,

(1)还原炉内放置硅棒棒芯:以石英视镜所在直径为对称轴,将硅棒棒芯均匀对称排布在对称轴的两侧;

(2)摄像装置采集数据:选取对称轴两侧相邻一对硅棒棒芯为检测硅棒,调整摄像装置使得摄像装置聚焦于检测硅棒,开始连续拍照采集图像数据,并将采集到的图像数据实时传输给工业计算机;

(3)工业计算机数据分析:工业计算机接收到图像数据后,开始启动硅棒图像处理程序计算:

第一步计算硅棒间距,检测硅棒间距的计算方法为:

$$S=C \times P$$

式中,C比例常数,为测量物的图像像素值与测量物的实际长度的比值,P为两检测硅棒间距图像像素值,像素值为采集图像在长或宽度方向上的点数;

第二步计算检测硅棒的沉积速率,检测硅棒沉积速率的计算方法为:

$$V = \frac{S_{t2} - S_{t1}}{t2 - t1}$$

式中, S_{t2} 和 S_{t1} 为相邻两次检测计算所得的检测硅棒间距值, $t2$ 和 $t1$ 为相邻两次检测的时间。

8.根据权利要求4所述的一种多晶硅还原炉自动控制方法,其特征在于,通过设置于还原炉炉壁的石英视镜前方的摄像装置检测硅棒或还原炉内情况,并通过图像分析模块进行分析判断,得到硅棒疏松程度,以及还原炉内是否发生雾化。

9.根据权利要求6-8任一所述的一种多晶硅还原炉自动控制方法,其特征在于,所述摄像装置为摄像头或摄像机。

10.根据权利要求9所述的一种多晶硅还原炉自动控制方法,其特征在于,所述摄像头为耐高温定焦数字摄像头。

一种多晶硅还原炉自动控制方法

技术领域：

[0001] 本发明涉及多晶硅还原领域，特别是涉及一种多晶硅还原炉自动控制方法。

背景技术：

[0002] 多晶硅是电子工业与太阳能产业的基础原料，被广泛应用于半导体芯片、高性能传感器、光纤、太阳能电池板等。目前，国内外的多晶硅生产技术多采用改良西门子法，即通过高温条件下三氯氢硅和氢气在还原炉内通电的高温硅棒表面发生化学气相沉积反应进而得到高纯多晶硅，直到炉内硅棒直径逐渐增长至规定的棒径。在硅棒生长过程中，还原炉内硅棒的沉积速率是决定硅棒质量的重要因素，硅棒的沉积速率又与还原炉内硅棒的表面温度、原料气的进料量以及原料气中氢气和三氯氢硅的进料配比有关，而硅棒的表面温度又是通过加热电流来决定的。具体表现在：1、电流越大，还原炉内的温度越高，越易发生气相沉积，硅棒的疏松度越大；电流减小，还原炉内的温度降低，当温度变化过快时，硅棒容易出现裂纹或倒棒，影响生长的继续进行；2、原料气进料量偏小时，硅棒生长缓慢，生长效率低且浪费能源；原料气进料量偏大时，会出现硅棒结构疏松的现象，硅棒质量无保证；3、氢气与三氯氢硅的配比较高时，会造成还原炉电耗的增高，氢气与三氯氢硅的配比较低时，会造成较大的疏松及雾化。

[0003] 目前，在实际生产过程中，往往都是依靠工人多年的工作经验来大概地制定还原炉电流增加速率表及原料气进料配比表，中控人员按照制定好的表格对还原炉进行工艺控制，现场人员则对还原炉的运行情况进行观察，发现异常时告知中控人员对工艺参数进行调整。此种控制方法对现场人员经验要求较高，且在刚接班后，员工不了解前期还原炉的生产状况，易发生错误指挥的现象；此外，由于现场人员有限，不能时刻盯着还原炉内的情况，炉内情况发生变化时，不能及时调整，容易出现倒棒、雾化、疏松严重的质量问题。

发明内容：

[0004] 本发明的目的在于提供一种多晶硅还原炉自动控制方法，对于节能降耗、提高生产效率、提高硅棒质量具有重要的意义。

[0005] 本发明由如下技术方案实施：

[0006] 一种多晶硅还原炉自动控制方法，通过测温装置和摄像装置采集硅棒温度和还原炉内硅棒的生长图像，并上传至工业计算机进行数据记录、图像分析和逻辑运算，获得每一时间段的还原炉电流、还原炉进料量和还原炉配比，进而控制还原炉执行机构动作，实现每一时间段还原炉温度、还原炉进料量和还原炉配比的自动控制。

[0007] 进一步的，所述还原炉温度自动控制步骤，具体为：

[0008] (1) 还原炉初始进料后，开始记录硅棒温度，初始第一小时，初始电流按A₁平均进行升温，同时每间隔相同时间记录一次硅棒温度；

[0009] (2) 将上一小时内记录的硅棒温度、时间数据连接成曲线，按线性方式对曲线进行方程回归，并得出时间-硅棒温度趋势函数 $y=mx+n$ ；

[0010] (3) 下一小时电流理论值为 A_{i+1} ,

$$[0011] \quad A_{i+1} = \frac{|m| - 0.01667}{0.01667} \times A_i + A_i \quad (1)$$

[0012] 式(1)中 A_i 为上一小时运行电流, n 为上一小时得到的时间-硅棒温度线性拟合函数的斜率;为避免还原炉倒棒,还原炉内每小时运行电流的增加量不超过25A,即当 $A_{i+1} - A_i \geq 25A$ 时,下一小时的运行电流为 $A_{i+1} = (A_i + 25)A$;此外,还原炉每小时电流增加量的变化值,即 $|(A_{i+1} - A_i) - (A_i - A_{i-1})|$ 不应超过3A,当 $(A_{i+1} - A_i) - (A_i - A_{i-1}) \geq 3A$ 时,则下一小时运行电流为 $A_{i+1} = (2A_i + 3 - A_{i-1})A$;当 $(A_{i+1} - A_i) - (A_i - A_{i-1}) \leq -3A$ 时,下一小时运行电流为 $A_{i+1} = (2A_i - 3 - A_{i-1})A$;当 $-3A < (A_{i+1} - A_i) - (A_i - A_{i-1}) < 3A$ 时,下一小时运行电流设定为 A_{i+1} 。

[0013] 进一步的,所述还原炉进料量自动控制步骤,具体为:

[0014] (1) 按常规方法确定还原炉初始进料量为 Q_1 ,初始硅棒棒径为 $D_1 = 8$,初始硅棒温度为 T_1 ;

[0015] (2) 下一小时还原炉进料量理论值为 Q_{i+1} ,

$$[0016] \quad Q_{i+1} = Q_1 \times \frac{D_i}{8} \times \exp\left(-\frac{E}{RT_i} + \frac{E}{RT_1}\right) \quad (2)$$

[0017] 式(2)中, R 为气体常数,其值为 $8.314J \cdot mol^{-1}K^{-1}$,上一小时沉积结束时硅棒直径为 D_i ;上一小时沉积结束时硅棒温度为 T_i , E 为活化能,其为常数;

[0018] 受设备条件限制,还原炉存在一最大进料量 Q_{max} ,当 $Q_{i+1} > Q_{max}$ 时,则下一小时还原炉按 Q_{max} 进料;同时,过快的提料量易造成硅棒的倒棒,因此,当 $Q_i + M < Q_{i+1} < Q_{max}$ 时, Q_i 为上一小时还原炉进料量,则下一小时还原炉按 $Q_i + M$ 进料;当 $Q_{i+1} < Q_i + M$ 时,则下一小时还原炉按 Q_{i+1} 进料。

[0019] 进一步的,所述还原炉配比自动控制步骤,具体为:

[0020] (1) 选择1h作为硅棒沉积速率的度量单位,理想的沉积速率为 $H_{参照}$,

$$[0021] \quad H_{参照} = W \int_t^{t+i} B A \exp\left(\frac{-E}{R(a+bt)}\right) dt \quad (3)$$

[0022] 式(3)中, A 为指前因子; E 为活化能,其为常数; R 为气体常数,其值为 $8.314J \cdot mol^{-1}K^{-1}$;B是将化学反应速率常数转化成沉积厚度的比例常数; W 为将还原沉积速率转化为理想还原沉积速率的比例常数,即为平衡最佳表现及生产成本的还原沉积速率的比例常数;

[0023] 式(3)中包含 A 、 B 、 W 为未知的比例常数; E 和 R 为已知的比例常数; a 、 b 为最优还原沉积过程中,硅棒温度随时间变化的线性拟合直线的斜率 b 及截距 a ;

[0024] (2) 选取三组最优沉积过程中测得的沉积速率和对应该沉积速率的沉积时间,以及在该沉积过程中,测得的硅棒温度随时间变化的线性拟合直线的斜率 b 及截距 a ;将三组数值分别带入式(3)中,得到关于 A 、 B 、 W 的方程组,解方程组即可得到最优还原沉积过程中对应的 A 、 B 、 W 的数值;

[0025] 将解得的 A 、 B 、 W 值,以及斜率 b 、截距 a 、活化能 E 、气体常数 R ,代入式(3)中,得到 $H_{参照}$ 随时间 t 的变化方程 $H_{参照} = f(t)$;

[0026] (3) 测得的上一小时沉积结束时的沉积速率 $H_{实际}$,与通过方程 $H_{参照} = f(t)$ 在该时间点计算得到的沉积速率 $H_{参照}$ 进行对比;

[0027] 检测到硅棒或还原炉内未发生异常情况下,按如下条件确定还原炉配比:

[0028] 当 $H_{实际} > H_{参照}$ 时,提高下一小时氢气的物质的量与三氯氢硅物质的量之比;当 $H_{实际} <$

H_{参照}时,降低下一小时氢气的物质的量与三氯氢硅物质的量之比;配比每次降低或升高0.1,但配比高于允许最大值或低于允许最小值时,按照最大值或最小值操作;

[0029] 检测到硅棒或还原炉内发生异常情况下,按如下条件确定还原炉配比:

[0030] 当检测到硅棒疏松程度超过5mm时,则氢气的物质的量与三氯氢硅物质的量之比按上一小时配比增加0.1,但配比高于允许最大值或低于允许最小值时,按照最大值或最小值操作;

[0031] 当检测到硅棒疏松程度超过10mm时,则氢气的物质的量与三氯氢硅物质的量之比按上一小时配比增加0.3,但配比高于允许最大值或低于允许最小值时,按照最大值或最小值操作;

[0032] 当检测到硅棒疏松程度超过30mm时,则氢气的物质的量与三氯氢硅物质的量之比按上一小时配比增加0.5,但配比高于允许最大值或低于允许最小值时,按照最大值或最小值操作;

[0033] 当图像分析检测到还原炉内存在粉状颗粒,则判定还原炉内发生雾化,立即将配比控制在4.5并向中控人员报警,由现场人员进行确认,当雾化较严重时,则进行停炉操作,当雾化轻微暂停自动控制系统的使用,手动进行调整,运行正常后再次启动自动控制系统。

[0034] 进一步的,硅棒温度通过设置于还原炉炉壁的石英视镜前方的红外测温仪监测得到。

[0035] 进一步的,所述硅棒直径通过如下方法获得:(1)还原炉内放置硅棒棒芯;(2)摄像装置采集数据;(3)工业计算机数据分析;其中,

[0036] (1)还原炉内放置硅棒棒芯:以石英视镜所在直径为对称轴,将硅棒棒芯均匀对称排布在对称轴的两侧;

[0037] (2)摄像装置采集数据:选取对称轴两侧相邻一对硅棒棒芯为检测硅棒,调整摄像装置使得摄像装置聚焦于检测硅棒,开始连续拍照采集图像数据,并将采集到的图像数据实时传输给工业计算机;

[0038] (3)工业计算机数据分析:工业计算机接收到图像数据后,开始启动硅棒图像处理程序计算:

[0039] 第一步计算硅棒间距,检测硅棒间距的计算方法为:

[0040] $S=C \times P$

[0041] 式中,C比例常数,为测量物的图像像素值与测量物的实际长度的比值,P为两检测硅棒间距图像像素值,像素值为采集图像在长或宽度方向上的点数;

[0042] 第二步计算检测硅棒的沉积速率,检测硅棒沉积速率的计算方法为:

[0043]
$$V = \frac{S_{t2} - S_{t1}}{t2 - t1}$$

[0044] 式中,S_{t2}和S_{t1}为相邻两次检测计算所得的检测硅棒间距值,t2和t1为相邻两次检测的时间;

[0045] 第三步计算检测硅棒直径,检测硅棒直径的计算方法为:

[0046] $D=S-S_0+D_0$

[0047] 式中,S为当前检测硅棒间距值,S₀为初始检测硅棒间距值,D₀为检测硅棒初始直径即硅棒棒芯直径。

[0048] 进一步的,所述硅棒的沉积速率通过如下方法获得:(1)还原炉内放置硅棒棒芯;(2)摄像装置采集数据;(3)工业计算机数据分析;其中,

[0049] (1)还原炉内放置硅棒棒芯:以石英视镜所在直径为对称轴,将硅棒棒芯均匀对称排布在对称轴的两侧;

[0050] (2)摄像装置采集数据:选取对称轴两侧相邻一对硅棒棒芯为检测硅棒,调整摄像装置使得摄像装置聚焦于检测硅棒,开始连续拍照采集图像数据,并将采集到的图像数据实时传输给工业计算机;

[0051] (3)工业计算机数据分析:工业计算机接收到图像数据后,开始启动硅棒图像处理程序计算:

[0052] 第一步计算硅棒间距,检测硅棒间距的计算方法为:

[0053] $S=C \times P$

[0054] 式中,C比例常数,为测量物的图像像素值与测量物的实际长度的比值,P为两检测硅棒间距图像像素值,像素值为采集图像在长或宽度方向上的点数;

[0055] 第二步计算检测硅棒的沉积速率,检测硅棒沉积速率的计算方法为:

[0056]
$$V = \frac{S_{t2} - S_{t1}}{t2 - t1}$$

[0057] 式中, S_{t2} 和 S_{t1} 为相邻两次检测计算所得的检测硅棒间距值,t2和t1为相邻两次检测的时间。

[0058] 进一步的,通过设置于还原炉炉壁的石英视镜前方的摄像装置检测硅棒或还原炉内情况,并通过图像分析模块进行分析判断,得到硅棒疏松程度,以及还原炉内是否发生雾化。

[0059] 进一步的,所述摄像装置为摄像头或摄像机。

[0060] 进一步的,所述摄像头为耐高温定焦数字摄像头。

[0061] 本发明的优点:

[0062] 本发明通过测温装置和摄像装置采集硅棒温度和还原炉内硅棒生长图像,并上传至工业计算机进行数据记录、图像分析和逻辑运算,获得每一时间段的还原炉电流、还原炉进料量和还原炉配比,进而控制还原炉执行机构动作,实现每一时间段还原炉温度、还原炉进料量和还原炉配比的自动控制。本发明可将还原炉控制在最优的运行状态,减少了硅棒发生裂纹或倒棒的现象,提升了多晶硅表观质量,降低了对现场人员的经验要求,减少了操作人员工作量,降低了还原炉运行电耗,节省了原料气。

附图说明:

[0063] 为了更清楚地说明本发明实施例或现有技术中的技术方案,下面将对实施例或现有技术描述中所需要使用的附图作简单地介绍,显而易见地,下面描述中的附图仅仅是本发明的一些实施例,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动的前提下,还可以根据这些附图获得其他的附图。

[0064] 图1是本发明的装置示意图;

[0065] 图2为本发明的控制原理图。

[0066] 图中:测温装置1、摄像装置2、还原炉3、硅棒4、工业计算机5、石英视镜6、还原炉执

行机构7。

具体实施方式：

[0067] 下面将结合本发明实施例中的附图，对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述，显然，所描述的实施例仅仅是本发明一部分实施例，而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例，本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例，都属于本发明保护的范围。

[0068] 实施例1：

[0069] 如图1、图2所示的一种多晶硅还原炉自动控制方法，通过测温装置1和摄像装置2采集硅棒4温度和还原炉3内硅棒4生长图像，并上传至工业计算机5进行数据记录、图像分析和逻辑运算，获得每一时间段的还原炉电流、还原炉进料量和还原炉配比，进而控制还原炉执行机构7动作，实现每一时间段还原炉温度、还原炉进料量和还原炉配比的自动控制。

[0070] 还原炉温度自动控制步骤，具体为：

[0071] (1) 还原炉初始进料后，开始记录硅棒温度，在实际应用中，通常设定在初始进料3分钟或5分钟后开始记录硅棒温度；初始第一小时，初始电流按 A_1 平均进行升温，同时每隔一分钟记录一次检测硅棒温度，其中 A_1 根据按经验制定的电流增加速率表来确定；

[0072] (2) 将上一小时内记录的硅棒温度、时间数据连接成曲线，按线性方式对曲线进行方程回归，并得出时间-硅棒温度趋势函数 $y=mx+n$ ；

[0073] (3) 下一小时电流理论值为 A_{i+1} ，

$$[0074] \quad A_{i+1} = \frac{|m| - 0.01667}{0.01667} \times A_i + A_i \quad (1)$$

[0075] 式(1)中 A_i 为上一小时运行电流， n 为上一小时得到的时间-硅棒温度线性拟合函数的斜率；为了避免还原炉3出现裂纹或倒棒，还原炉3内的温度控制速率不宜变化过大；因为硅材料脆性较强，当温度上升或降低过快，则容易造成热应力不均匀，在热应力的作用下，容易导致硅棒4出现裂纹或倒棒，而温度又是通过电流的大小来控制的，所以，还原炉3内每小时运行电流的增加量不超过25A，即当 $A_{i+1} - A_i \geq 25A$ 时，下一小时的运行电流为 $A_{i+1} = (A_i + 25)A$ ；此外，还原炉3每小时电流增加量的变化值，即 $|(A_{i+1} - A_i) - (A_i - A_{i-1})|$ 不应超过3A，当 $(A_{i+1} - A_i) - (A_i - A_{i-1}) \geq 3A$ 时，则下一小时运行电流为 $A_{i+1} = (2A_i + 3 - A_{i-1})A$ ；当 $(A_{i+1} - A_i) - (A_i - A_{i-1}) \leq -3A$ 时，下一小时运行电流为 $A_{i+1} = (2A_i - 3 - A_{i-1})A$ ；当 $-3A < (A_{i+1} - A_i) - (A_i - A_{i-1}) < 3A$ 时，下一小时运行电流设定为 A_{i+1} 。

[0076] 还原炉进料量自动控制步骤，具体为：

[0077] (1) 按常规方法确定还原炉初始进料量为 Q_1 ，初始硅棒棒径为 $D_1=8$ ，初始硅棒温度为 T_1 ；

[0078] (2) 下一小时还原炉进料量理论值为 Q_{i+1} ，

$$[0079] \quad Q_{i+1} = Q_1 \times \frac{D_i}{8} \times \exp\left(-\frac{E}{RT_1} + \frac{E}{RT_i}\right) \quad (2)$$

[0080] 式(2)中， R 为气体常数，其值为 $8.314J \cdot mol^{-1}K^{-1}$ ，上一小时沉积结束时硅棒直径为 D_i ；上一小时沉积结束时硅棒温度为 T_i ， E 为活化能，其为常数；

[0081] 受设备条件限制，还原炉3存在一最大进料量 Q_{max} ，当 $Q_{i+1} > Q_{max}$ 时，则下一小时还原

炉3按 $Q_{\max}$ 进料;同时,过快的提料量易造成多晶硅棒4的倒棒,因此,当 $Q_i+M < Q_{i+1} < Q_{\max}$ 时, Q_i 为上一小时还原炉进料量,则下一小时还原炉3按 Q_i+M 进料;当 $Q_{i+1} < Q_i+M$ 时,则下一小时还原炉3按 Q_{i+1} 进料;在实际应用中,M值根据具体的还原炉操作经验来确定,通常为30、50或80。还原炉配比自动控制步骤,具体为:

[0082] (1) 选择1h作为多晶硅棒沉积速率的度量单位,理想的沉积速率为 $H_{\text{参照}}$,

$$[0083] \quad H_{\text{参照}} = W \int_t^{t+i} BA \exp\left(\frac{-E}{R(a+bt)}\right) dt \quad (3)$$

[0084] 式(3)中,A为指前因子;E为活化能,其为常数;R为气体常数,其值为 $8.314 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$;B是将化学反应速率常数转化成沉积厚度的比例常数;W为将还原沉积速率转化为最优还原沉积速率的比例常数,即为平衡最佳表现及生产成本的还原沉积速率的比例常数;

[0085] 式(3)中包含A、B、W为未知的比例常数;E和R为已知的比例常数;a、b为最优还原沉积过程中,硅棒温度随时间变化的线性拟合直线的斜率b及截距a;

[0086] 式(3)由以下步骤推倒而来:

[0087] 按照阿累尼乌斯方程,温度T时的化学反应速率常数

$$[0088] \quad k = A \exp\left(\frac{-E}{RT}\right)$$

[0089] A为指前因子;E为活化能,其为常数;R为气体常数;

[0090] 则每一微小时间内的沉积厚度为

$$[0091] \quad dh = BA \exp\left(\frac{-E}{RT}\right)$$

[0092] B是将化学反应速率常数转化成沉积厚度的比例常数;设还原炉硅棒温度为 $T = a + bt$,a、b为硅棒温度随时间变化的线性拟合直线的斜率b及截距a,则:

$$[0093] \quad dh = BA \exp\left(\frac{-E}{R(a+bt)}\right)$$

[0094] 单位时间i内,还原炉沉积厚度为

$$[0095] \quad H = \int_t^{t+i} BA \exp\left(\frac{-E}{R(a+bt)}\right) dt$$

[0096] 为了平衡最佳表现及生产成本的还原沉积速率,引入将还原沉积速率转化为理想还原沉积速率的比例常数W,则推出

$$[0097] \quad H_{\text{参照}} = W \int_t^{t+i} BA \exp\left(\frac{-E}{R(a+bt)}\right) dt$$

[0098] (2) 选取三组最优沉积过程中测得的沉积速率和对应该沉积速率的沉积时间,以及在该沉积过程中,测得的硅棒温度随时间变化的线性拟合直线的斜率b及截距a;将三组数值分别带入式(3)中,得到关于A、B、W的方程组,解方程组即可得到最优还原沉积过程中对应的A、B、W的数值。

[0099] 将解得的A、B、W值,以及斜率b、截距a、活化能E、气体常数R,代入式(3)中,得到 $H_{\text{参照}}$ 随时间t的变化方程 $H_{\text{参照}} = f(t)$;

[0100] (3) 测得的上一小时沉积结束时的沉积速率 $H_{\text{实际}}$,与通过方程 $H_{\text{参照}} = f(t)$ 在该时间点计算得到的沉积速率 $H_{\text{参照}}$ 进行对比;

[0101] 检测到硅棒4或还原炉3内未发生异常情况下,按如下条件确定还原炉配比:

[0102] 当 $H_{\text{实际}} > H_{\text{参照}}$ 时,提高下一小时氢气的物质的量与三氯氢硅物质的量之比;当 $H_{\text{实际}} <$

H_{参照}时,降低下一小时氢气的物质的量与三氯氢硅物质的量之比;配比每次降低或升高0.1,但配比高于允许最大值或低于允许最小值时,按照最大值或最小值操作;

[0103] 检测到硅棒4或还原炉3内发生异常情况下,按如下条件确定还原炉配比:

[0104] 当检测到硅棒疏松程度超过5mm时,则氢气的物质的量与三氯氢硅物质的量之比按上一小时配比增加0.1,但配比高于允许最大值或低于允许最小值时,按照最大值或最小值操作;

[0105] 当检测到硅棒疏松程度超过10mm时,则氢气的物质的量与三氯氢硅物质的量之比按上一小时配比增加0.3,但配比高于允许最大值或低于允许最小值时,按照最大值或最小值操作;

[0106] 当检测到硅棒疏松程度超过30mm时,则氢气的物质的量与三氯氢硅物质的量之比按上一小时配比增加0.5,但配比高于允许最大值或低于允许最小值时,按照最大值或最小值操作;

[0107] 当图像分析检测到还原炉3内存在粉状颗粒,则判定还原炉3内发生雾化,立即将配比控制在4.5并向中控人员报警,由现场人员进行确认,当雾化较严重时,则进行停炉操作,当雾化轻微暂停自动控制系统的的使用,手动进行调整,运行正常后再次启动自动控制系统。

[0108] 硅棒温度通过设置于还原炉炉壁的石英视镜6前方的红外测温仪监测得到。

[0109] 硅棒直径通过如下方法获得:(1)还原炉3内放置硅棒棒芯;(2)摄像装置采集数据;(3)工业计算机数据分析;其中,

[0110] (1)还原炉3内放置硅棒棒芯:以石英视镜6所在直径为对称轴,将硅棒棒芯均匀对称排布在对称轴的两侧;

[0111] (2)摄像装置采集数据:选取对称轴两侧相邻一对硅棒棒芯为检测硅棒,调整摄像装置2使得摄像装置2聚焦于检测硅棒,开始连续拍照采集图像数据,并将采集到的图像数据实时传输给工业计算机5;

[0112] (3)工业计算机数据分析:工业计算机5接收到图像数据后,开始启动硅棒图像处理程序计算:

[0113] 第一步计算硅棒间距,检测硅棒间距的计算方法为:

$$[0114] \quad S=C \times P$$

[0115] 式中,C比例常数,为测量物的图像像素值与测量物的实际长度的比值,P为两检测硅棒间距图像像素值,像素值为采集图像在长或宽度方向上的点数;

[0116] 第二步计算检测硅棒的沉积速率,检测硅棒沉积速率的计算方法为:

$$[0117] \quad V = \frac{S_{t2} - S_{t1}}{t2 - t1}$$

[0118] 式中,S_{t2}和S_{t1}为相邻两次检测计算所得的检测硅棒间距值,t2和t1为相邻两次检测的时间;

[0119] 第三步计算检测硅棒直径,检测硅棒直径的计算方法为:

$$[0120] \quad D=S-S_0+D_0$$

[0121] 式中,S为当前检测硅棒间距值,S₀为初始检测硅棒间距值,D₀为检测硅棒初始直径即硅棒棒芯直径。

[0122] 硅棒4的沉积速率通过如下方法获得：(1) 还原炉3内放置硅棒棒芯；(2) 摄像装置采集数据；(3) 工业计算机数据分析；其中，

[0123] (1) 还原炉3内放置硅棒棒芯：以石英视镜6所在直径为对称轴，将硅棒棒芯均匀对称排布在对称轴的两侧；

[0124] (2) 摄像装置采集数据：选取对称轴两侧相邻一对硅棒棒芯为检测硅棒，调整摄像装置2使得摄像装置2聚焦于检测硅棒，开始连续拍照采集图像数据，并将采集到的图像数据实时传输给工业计算机5；

[0125] (3) 工业计算机数据分析：工业计算机5接收到图像数据后，开始启动硅棒图像处理程序计算：

[0126] 第一步计算硅棒间距，检测硅棒间距的计算方法为：

[0127] $S = C \times P$

[0128] 式中，C比例常数，为测量物的图像像素值与测量物的实际长度的比值，P为两检测硅棒间距图像像素值，像素值为采集图像在长或宽度方向上的点数；

[0129] 第二步计算检测硅棒的沉积速率，检测硅棒沉积速率的计算方法为：

[0130]
$$V = \frac{S_{t2} - S_{t1}}{t2 - t1}$$

[0131] 式中， S_{t2} 和 S_{t1} 为相邻两次检测计算所得的检测硅棒间距值， $t2$ 和 $t1$ 为相邻两次检测的时间。

[0132] 通过设置于还原炉炉壁的石英视镜6前方的摄像装置2检测硅棒或还原炉3内情况，并通过图像分析模块进行分析判断，得到硅棒疏松程度，以及还原炉3内是否发生雾化。

[0133] 摄像装置2为摄像头或摄像机。

[0134] 摄像头为耐高温定焦数字摄像头。

[0135] 以上仅为本发明的较佳实施例而已，并不用以限制本发明，凡在本发明的精神和原则之内，所作的任何修改、等同替换、改进等，均应包含在本发明的保护范围之内。

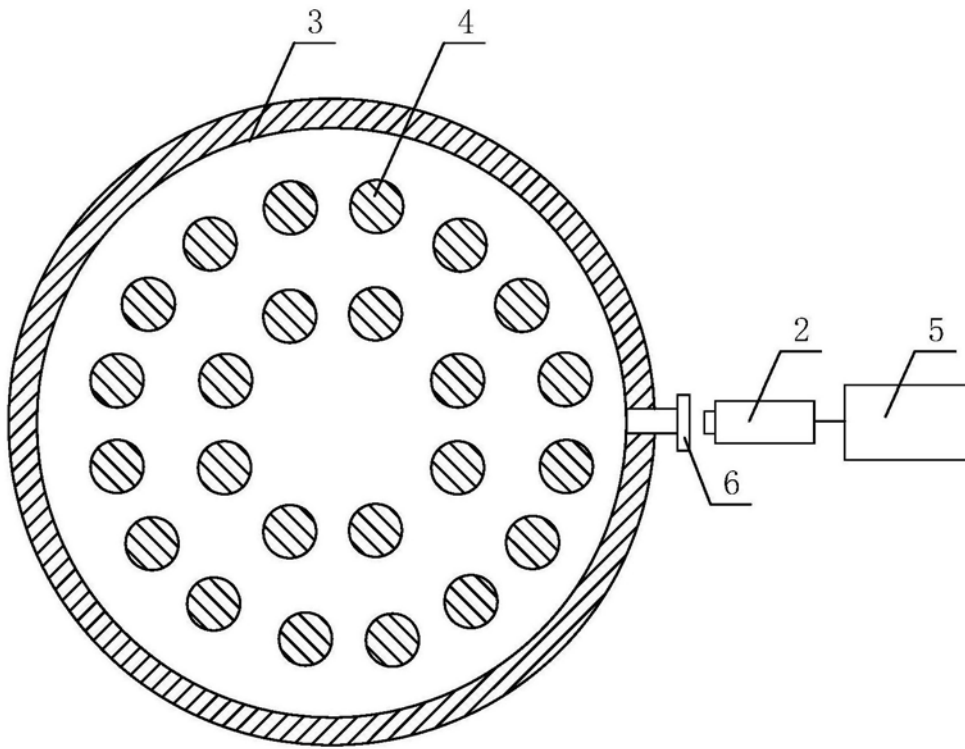


图1

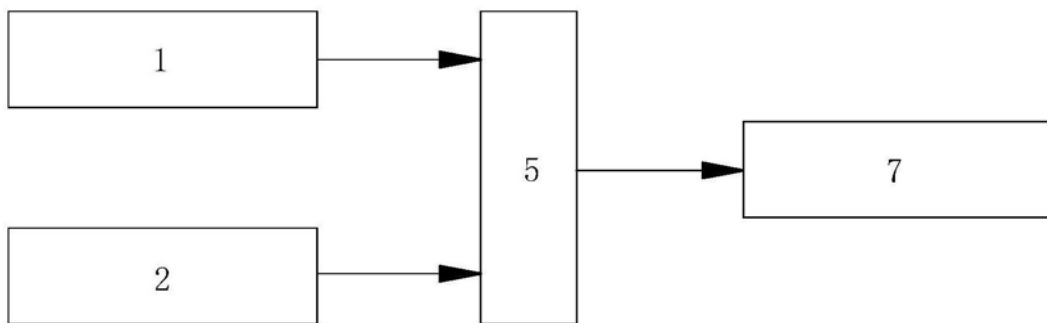


图2