

PCW系统对碳化硅长晶工艺的应用分析

杨超¹ 袁钢² 俞春辉³

中国电子系统工程第二建设有限公司 浙江 杭州 310000

摘要: 碳化硅, 因其宽禁带、高热导率及更大的击穿电压, 被作为第三代半导体的代表。然而碳化硅单晶超过220种晶型, 由于没有熔点, 晶体无法用熔体提拉法进行制备; 高温后升华容易分解成气态Si, Si₂C, SiC和固态C。因此, SiC晶体的扩径生长受到温度和流动的影响, 这会导致晶体边缘的完整性和晶型的单一性。本文拟提供一种稳定的冷却水系统, 保证设备的温度精确控制, 减小温场对扩径生长的影响。

关键词: 碳化硅; 冷却水系统; 稳定性

Application Analysis of PCW System in Silicon Carbide Long Crystal Process

Yang Chao¹, Yuan Gang², Yu Chunhui³

China Electronics System Engineering Second Construction Co., Ltd. Hangzhou 310000, Zhejiang

Abstract: Silicon carbide, due to its wide bandgap, high thermal conductivity, and larger breakdown voltage, is regarded as a representative of the third generation of semiconductors. However, there are over 220 crystal forms of silicon carbide single crystal, and due to the lack of melting point, the crystal cannot be prepared by melt pulling method; After high-temperature sublimation, it is easy to decompose into gaseous Si, Si₂C, SiC, and solid C. Therefore, the expansion growth of SiC crystals is influenced by temperature and flow, which can lead to the integrity of the crystal edges and the singularity of the crystal form. This article aims to provide a stable cooling water system to ensure accurate temperature control of the equipment and reduce the impact of temperature field on the growth of the expanding diameter.

Keywords: silicon carbide; Cooling water system; stability

1 引言

碳化硅(Silicon carbide, 简称SiC)是在19世纪末人工合成的, 目的是制造研磨粉和耐火砖的材料。20世纪初, 对SiC施加电压后, 发现SiC具有一定的光电效应。1955年, 用升华生长法(Lely法)^[1]生长出了高质量的SiC单晶。然而由于多型控制的困难, 很难生长出高质量的SiC单晶。直到90年代“阶梯控制外延”^[2-4]的发现, 成为SiC器件科技史上的一个重大突破, 随后世界各国加快了对SiC晶体和电力电子器件的研究和开发。

目前, 在SiC的晶体生长还需要技术突破, 其条件控制严、长晶速度慢和晶型要求高为主要技术难点。碳化硅晶体的生长温度在2300℃以上, 对温度和压力的控制要求高; 此外, SiC有220种晶型, 其中4H-SiC为主流, 因此需要严格控制硅碳比、生长温度梯度^[5]及气流气压等参数才能生长出理想晶体;

在电子洁净厂房中, 工艺冷却循环水(Process Cooling Water, 简称PCW), 主要应用于各种工艺设备的冷却或生

产环境的保证。本文以杭州某PVT工艺碳化硅长晶中试线项目为例, 拟选用3种不同的工艺冷却循环水系统, 从稳定性、精准度、可靠性等方面比较3种系统的优缺点, 以提供一种稳定的冷却水系统, 保证设备的温度精确控制, 减小温场对扩径生长的影响。

2 项目案例简介

本项目工艺冷却循环水的需求如下:

用量: 195.42m³/h (3257L/min)

供回水温度: 20/25℃

精度: ±1.0℃

用水压力: 0.6MPa.

3 PCW 系统分析比较

工艺冷却水原理: 工艺冷却水输送至工艺设备端, 带走设备热量, 为设备降温。其产生的热量再通过板换、冷却塔等不同设备带走。工艺冷却水系统通过循环水泵加压反复循环, 促使整个工艺冷却水系统稳定运行, 达到满足工艺设备降温的效果。工艺冷却水系统可以分为开放式和封闭式两

种, 它们的组成、运行机制、特性等都会因工艺设备的冷却要求而有所差异, 从而满足不同的冷却降温需求。

当工艺设备的供水压力要求较高, 而且各个设备之间的压差较小, 且不需要分批进场或频繁调整, 而且在停电、失去冷源等情况下, 也不需要大量的冷却, 为了节省能源,

建议采用闭式系统。系统主要由膨胀水箱、循环水泵、过滤器、板式换热器、工艺设备、定压补水装置、管路和阀门等组成。

闭式工艺冷却水系统 (OP1) 工作原理如下图所示:

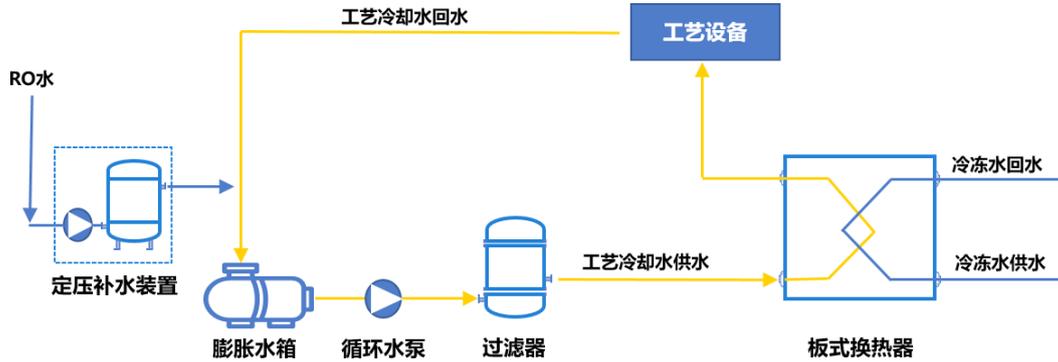


图1 闭式工艺冷却水系统 (OP1) 系统原理图

在工艺设备需要定期更新和调整的情况下, 建议使用开放式系统。系统主要由开式水箱、循环水泵、过滤器、板式

换热器、工艺设备、管路和阀门等组成。

开式工艺冷却水系统 (OP2) 工作原理如下图所示:

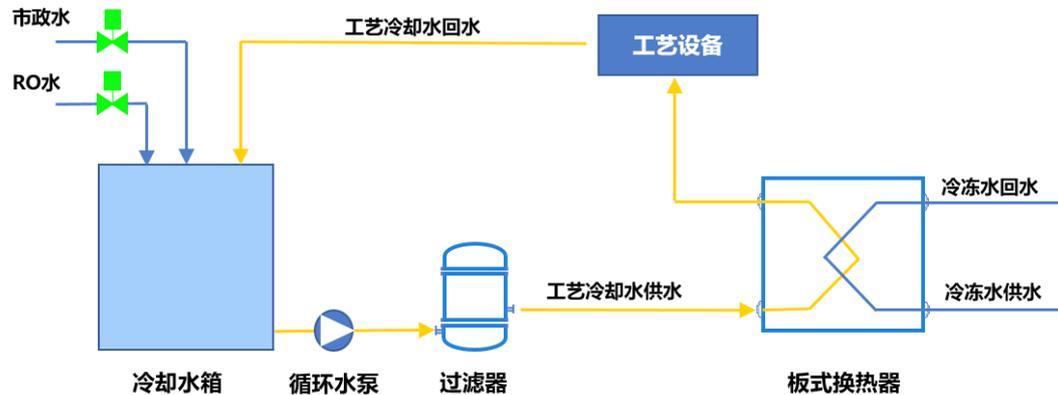


图2 开式工艺冷却水系统 (OP2) 系统原理图

传统的开式工艺冷却水系统只能维持设备的正常运行, 但是, 当电阻炉、单晶炉等设备的运行温度超过一定程度, 比如缺乏冷源或者断电, 炉内温度就会迅速升高, 这将导致炉内结构受到巨大的压力, 从而使得设备零件的形状和尺寸发生变化, 最终导致产品质量不符合标准。此外, 炉体温度急剧上升超出工艺设备材料的耐受温度上限, 工艺设备会因高温而产生破坏或爆炸等造成经济损失。因此在失去冷源或停电时需采用应急措施, 由应急水池及UPS保证整个工艺冷却水系统能继续运行 (OP3)。

本项目拟设置18台单晶炉, 每台单晶炉石墨盒质量为50kg (常温下: 石墨比热容为710 J/(kg·K), 304不锈钢比热容495J/(kg·K)), 工作状态温度约2200℃, 紧急失电状态下, 单晶炉须降温至500℃保证炉体安全。根据公式估算:

$$Q = cm\Delta t$$

$$= 710 \times 50 \times 18 \times (2200 - 500) + 495 \times 200 \times 18 \times (2200 - 500)$$

$$= 4115700000J$$

因石墨、不锈钢等比热容随温度升高而升高, 故取安全系数1.5。可得PCW需要带走的热量Q为6173550000J。

经计算, 选用闭式系统 (OP1) 时, 其管道内水量为8.5m³, 水温为20℃ (水比热容为4200 J/(kg·K))。估算可知需将单晶炉降温至安全温度, 水温需升温173℃。升温后系统温度为193℃, 温度过高, 会造成PCW系统损坏。

选用开式系统 (OP2) 时, 其管道内水量为8.5m³, 回水箱容积为20 m³, 水温为20℃ (水比热容为4200 J/(kg·K))。估算可知需将单晶炉降温至安全温度, 水温需升温52℃。升温后系统温度为73℃, 系统温度超过设计安全范围, 需采取措施。

选用开式系统, 且应急补水为8m³/h (OP3) 时, 其管道内水量为8.5m³, 回水箱容积为20 m³, 水温为20℃ (水比热容为4200 J/(kg·K))。估算可知需将单晶炉降温至安全温度, 水温需升温52℃。当系统温度升高至45℃后打开回水箱

排水阀,由应急补水降温,使系统温度始终维持在设计安全范围内。

经比选后,本项目建议采用OP3,以保证炉体及PCW系统的安全性。合理的系统方案可以提高整个工艺冷却水系统的稳定运行,在保证产品良品率的同时又能节能减排,降低成本。

4 供电系统稳定的保障方案

由于长晶炉和PCW控制系统的独特之处,一旦停止供电将导致严重的经济损失,因此,它们的供电质量必须达到最佳水平。根据GB50052-2009《供配电系统设计规范》3.0.1的要求,为了确保供电质量,并减少停止供电时产生的经济损失,长晶炉的控制和PCW的负载级别必须优先考虑一级负载的最重要部分。为了确保安全,一级负荷必须采用多个备用电源,其中任何一个可能出现问题的情况,都必须有两个备用电源来提供服务,而且对于那些非常关键的负载,还必须满足以下条件:

1) 为了确保安全,我们建议在日常用电中加装两个备用电源,同时也要避免把任何非必要的用电连接到应急用电系统中。

2) 为了确保安全,设备的供电需求必须得到满意的调整,以确保其能够正常运行。

根据以上要求及项目用电需求,本项目园区采用4路10kV市政电源供电,项目共设置2个变配电房,每个变配电房分别进2路10kV进线。为了满足一级负荷的紧迫需求,我们将安装一台10kV电压的应急自启动柴油发电机,它将同时向一段10kV的应急电缆线路提供电力,这条电缆线路将通过放射式电缆线路连接到每个配电站的应急电缆段。考虑市电断电切换及柴油发电机启动时间不能满足长晶炉控制及PCW运行要求,设备就地设置UPS,以满足设备不间断可靠运行。

供电系统运行要求:正常情况下每个配电房10kV两路市政电源同时工作,互为备用。母联开关具有双重功能,

一是在一路电源断开的情况下,它会在2S内自动重新启用。另一方面,在一路断开的情况下,它会在重新接通电源之前,通过人工干预来重新启用。。两台具有相似电压和容量的变压器组合而成一组,并配有母线联络断路器,以确保两台变压器的平均负载率保持50%以内,并且能够实现100%的备用。

在两条进线和母联开关之间建立电气连接,以确保在任何情况下,只有两台开关处于断开状态。当系统检测到2路市电都失电,发信号启动柴油发电机,给应急母线供电。

结语

工艺冷却水系统在电子行业中较为重要,为了保证工艺产品,工艺生产环境或工艺设备的安全性,稳定、安全可靠的工艺冷却水系统是根本。本文通过对工艺冷却水系统的深入研究,为其设计提供了重要的参考依据。

参考文献

[1] Lely, J.A. Darstellung von Einkristallen von Siliciumcarbid und Beherrschung von Art und Menge der Eingebauten Verunreinigungen [J]. Ber. Deut. Keram. Ges. 1955, 32: 229-231.

[2] Matsunami, H. Step-controlled epitaxial growth of SiC: High quality homoepitaxy [J]. Mater. Sci. Eng. Rep. 1997, 20: 125-166.

[3] Kimoto, T. Epitaxial growth of high-quality silicon carbide: Fundamentals and recent progress. In Silicon Carbide: Materials, Processing and Devices [J]. Taylor & Francis Books, 2004,1-40.

[4] Matsunami, H. Fundamental research on semiconductor SiC and its applications to power electronics [J]. Proc. Jpn. Acad., Ser. 2020, 96.

[5] Kimoto, T., Nishino, H., Yoo, W.S. and Matsunami, H. Growth mechanism of 6H-SiC in step-controlled epitaxy [J]. J. Appl. Phys. 1993, 73: 726-732.

