

Semiconductor plant water treatment system —— Discussion on energy saving and environmental protection

Ying Zhang Fen Zhang*

1. Hubei Star Technology Co., Ltd., Wuhan, Hubei, 430000, China

2. Hubei Key Laboratory of Resource Utilization and Quality Control of Characteristic Crops, College of Life Science and Technology, Hubei Engineering University, Xiaogan, Hubei, 432000, China

Abstract

In recent years, the rapid development of China's semiconductor industry has brought about significant environmental challenges, including wastewater management issues. The design of wastewater treatment and reuse systems in this sector requires customized processes tailored to specific water quality parameters and application points. As a high-energy-consuming industry, the semiconductor sector demands massive amounts of water and electricity—pure water production alone consumes substantial resources. This includes repeated flushing of purification filters, high-pressure operation of reverse osmosis membranes, continuous discharge of test water from monitoring instruments, and assessment of water recycling potential based on cleaning intensity. Therefore, exploring water and energy conservation strategies in pure water production has become an urgent priority.

Keywords

conditional implementation; material supply; environmental protection

半导体厂务水处理系统——关于节能环保的探讨

张英 张芬*

1. 湖北星辰技术有限公司, 中国·湖北 武汉 430000

2. 湖北工程学院特色作物资源利用与品质控制湖北省重点实验室, 中国·湖北 孝感 432000

摘 要

近年来, 随着中国半导体产业的迅速发展, 许多不可忽视的环境问题如排水问题也相继出现。半导体行业废水处理及回用系统的设计需要根据不同的水质和回用点选择处理工艺。作为一个高能耗行业, 半导体行业对水和电的消耗巨大, 仅在纯水制造就需要消耗大量的水和电。纯水制备过程中的填料反复冲洗, 反渗透膜需要高压来达到处理效果, 各类监测水质指标的仪器仪表也会不断排放测试水, 供应给机台使用的水量也会根据清洗的程度进行判断是否具有回收价值。因此, 探索如何在纯水生产中节约水和电是当务之急^[1]。

关键词

条件落实; 材料供应; 环境保护

1 引言

随着半导体产业的快速发展, 生产各种集成电路需要大量的高纯水和超纯水来清洗其成品和半成品, 因此该行业具有耗水量大、水质要求高、工艺流程长的特点。

2 工程概况

项目的洁净室面积一般根据产能进行反推核算, 需求类型的机台布置可以算出洁净室面积。

【作者简介】张英 (1982–), 女, 中国湖北武汉人, 硕士, 工程师, 从事半导体环境工程水处理研究。

【通讯作者】张芬 (1983–), 女, 中国湖北武汉人, 硕士, 实验师, 从事环境微生物及环境化学研究。

配套动力与厂务设施主要放置于动力站, 其中含纯水站、废水站、变配电站及压缩空气站、冰热水站等, 另外设化学品库、危废库等。项目的配套面积约为洁净室面积的 2.5 倍。

3 功能设计

为满足洁净室内生产机台的技术方案评估、工艺预研、设备材料研发, 厂房及配套设施建设时间特别紧张, 包括给排水、电力及特气化学品、消防等中央供应系统都需要提前建设好以满足生产机台的使用需求^[2]。

4 各项建设条件落实情况

4.1 公用工程及配套设施

4.1.1 给水

给水水源为城市自来水, 自来水通过城市自来水管网

供给,已从开发区给水管引入给水管,以满足建设厂区内生活、生产、消防用水的需求。其中的生产给水系统,包括:供给厂区内人员生活使用的给水系统、生产配套给水系统、还有耗水量较大的超纯水系统及法规要求的消防水供应系统。循环冷却水系统(Process cooling water),水质要求较高,一般由纯水站设置 RO 水补水系统给循环冷却水系统间歇性补水^[3]。

4.1.2 排水

(1) 排水系统

厂区所产生的排水,系统性来分类的话一般包括三类:生活污水排放、工业生产产生的废水经过处理后的污水排放、厂区内的雨水收集后排放。

a. 生活污水系统:

生活污水主要是人员活动所产生,其中食堂污水会产生油污,经隔油池处理后汇至厂区内污水排放管道,宿舍及人员办公楼栋所产生的粪便污水经化粪池处理后,也汇至厂区内污水排放管道^[4]。

b. 通常半导体厂的生产废水系统分为以下几种,在生产机台排放之时就通过不同类型的制程排水管道收集至不同的系统并进行分门别类的处理,然后合格达标排放:

酸性废水:主厂房工艺酸性排水。

含氟废水:主厂房工艺含氟废水、机台工艺尾气处理塔废水、酸性废气洗涤塔废水等。

研磨废水:主厂房 CMP 研磨工艺产生的悬浮物废水,可以分为氧化性 CMP 废水,金属类 CMP 废水等。

含氨废水:工艺机台 WET 和 CMP 工序中排放的含氨废水、碱性废气洗涤塔排水。

含铜废水:铜制程工艺产生的含铜废水。

通过制成废水收集管路,以上废水先排放到工艺厂房配套的废水收集间,然后经过重力提升送至动力厂房的废水处理站的各系统的收集槽,通过混匀和缓冲后,至废水处理系统分别进行处理后,最终经中和处理达标排入市政污水管道^[5]。

c. 雨水系统:

采用管道系统排水,屋面雨水经收集后有组织排放至雨水管网。

4.1.3 超纯水系统

小型半导体厂的超纯水系统一般经前处理系统(含多介质过滤器及活性炭塔等)、Make up 处理系统(含反渗透 RO、脱气膜、去 TOC UV 灯及 EDI)、Polish 抛光处理系统(去 TOC UV 灯、抛光混床、脱气膜及 UF 膜),经以上处理可以生产出超纯水供应无尘室内机台使用^[6]。大型半导体厂的个别流程会根据当地的原水特质进行一些处理流程的微调以保证纯水终端的供应品质。

4.1.4 供电

使用厂区内中心配电室,由供电局专线引入的电源,

供应给半导体厂 FAB 生产厂房和配套的动力站房使用。外部供应的电力专线宜为双电源同时供应,两路电源各带不大于 50% 的负载,当其中一路出现电力供应异常时,可以自动切换到另外一路进行供应,保证全厂供电不受影响。两个回路拟采用“双电源供电互备冗余”来供电。

不间断供应电源:对供电连续性要求高的设备,采用 UPS 交流不间断电源系统供电,在市电停电的情况下,由 UPS 配电系统为该类设备供电,柴油发电机启动后,由柴油发电机为该类设备持续供电^[7]。

5 原辅料供应

5.1 工艺化学品输送系统

生产过程中使用量较大的酸碱由厂务 Center supply 系统供应,通过 Storage tank 输送至 Day tank,通过 CDM 柜用 PUMP/ 氮压,过前置及后置两级过滤器,酸碱以双套管,有机采用单管 SUS316LEP 焊接形式输送至工艺机台附近 VMB(阀门箱),再由阀门箱用双套管输送至机台使用点。

2. 根据配送化学品的性质,酸碱 Tank 采用特殊材料内衬,有机采用不锈钢内衬,管道采用抛光不锈钢,为防止液体的意外泄漏,内衬罐本体设置测漏孔,Tank 底部法兰连接处配置漏液侦测,并泄漏联动停止供应。酸碱输送管内管关键点设置漏液侦测,泄漏联动机台停止供应^[8]。

3. 使用量较小的化学品种类,在化学品柜内设置 Drum 桶,由通过 CDM 柜用 PUMP,过两级过滤器,酸碱以双套管,有机采用单管抛光不锈钢焊接形式输送至工艺机台附近阀门箱,再输送至机台使用点,

4. 仓库内的化学品及特气,根据需要提交领料单,领取后人员穿着相应 PPE 进行管路连接输送。

5.2 大宗气体输送方式

大宗气体如氮气、氩气和氦气等,其管道经过专门的纯化器纯化处理后供应给生产机台及厂务的部分动力系统使用。主厂房的大宗气体管道由主管及支管组成,每个支管都可关断,然后二次配管道由阀后连接至生产机台。

6 环境保护

6.1 项目概况与环境保护

半导体厂需遵守环保要求,提前申报环评、能评、职评及安评,取得核准后开始施工建设,公司运营将建立环保管理体系,建立、推行 ISO14001 等管理体系。

6.2 项目环保执行标准

按照相应的地表水环境标准、环境空气标准、声环境标准、地下水环境标准、土壤环境标准来执行。

7 项目主要污染物及处理措施

7.1 生活废水

生活污水即日常生活中产生的废水,包括洗涤、洗浴、厨房等用水所产生。其中主要含有机物、氮和磷等物质,经

相应处理后与处理过的工业废水一起达标排放。

7.2 生产废水

7.2.1 工艺酸碱废水

酸碱废水来源于 WET、CMP、ETCH、PVD、CVD 等制程工段，主要用于清洗晶圆表面残留化学品或有机溶剂，保证晶圆的洁净度。

酸碱废水通过 PDS 系统收集后打往废水站通过三级 pH 调节达标后排放，其中一级调节池为粗调，二、三级调节为精调，pH 调节使用的化学品通常为 H_2SO_4 和 $NaOH$ ^[9]。

7.2.2 含氟废水

含氟废水分为高浓度含氟废水和低浓度含氟废水，来源于 WET 和 CMP 制程工段，对晶圆刻蚀和清洗后产生含氟废水，低浓度含氟废水中 F^- 浓度约为 400~500 mg/L 左右。

含氟废水均通过 PDS 系统收集至储罐，其中高浓度含氟废水收集后外载处理，低浓度含氟废水打往废水站处理合格后排放。处理工艺采用化混+沉淀模式，通过 pH 调节后向系统内投加 $CaCl_2$ 与废水中 F^- 生成 CaF_2 沉淀，其次投入混凝和絮凝剂使其产生的 CaF_2 沉淀更易分离沉降，池底的污泥通过污泥泵输送至板框式压泥机处理后形成含水率<60%的泥饼外运处理，上清液通过沉淀池的溢流堰溢流至车间放流口排放。

7.2.3 含氨废水

含氨废水来源于 WET、CMP 制程工段，对晶圆刻蚀和清洗后产生含氨废水。含氨废水通过 PDS 收集系统打至废水站处理合格后排放，将其 pH 调至 11.5 左右的氨水通过板换输送至吹脱塔利用气液传质作用将氨气从水中分离后排放，分离出的氨气通过硫酸吸收后外载处理^[10]。

7.2.4 CMP 研磨废水

化学机械抛光（CMP）废水主要污染物为悬浮物，采用絮凝沉淀法进行处理。

7.2.5 含铜废水

含铜废水分为高浓度含铜废水和低浓度含铜废水，来源于铜制程过程中对硅片的清洗和电镀所产生的废水，其中高浓度含铜废水外载处理，低浓度含铜废水通过化混+沉淀模式进行处理

7.2.6 废气洗涤塔排水

废气洗涤塔排水来源于处理工艺制程中排放的酸碱废气，通过酸、碱洗涤塔喷淋吸收处理后产生。因此分别汇入含氨废水处理系统和含氟废水处理系统进行处理。碱性废气废水中含有氨，酸性废气洗涤塔废水中含有氟化物，因此分别汇入含氨废水处理系统和含氟废水处理系统进行处理^[11]。

7.2.7 纯水制备废水

主要为清洗水回收系统排水，通过 PDS 系统收集后通过 ACF+RO 工艺处理后回收利用至纯水工艺前端中间水池

7.2.8 循环冷却排水等

冷却塔内的水电导率超过循环工艺的控制值后需定期

排放，循环冷却塔排水因除电导和露天所产生的悬浮物无其他污染源，直接排至污水管网。

7.2.9 回收水

超纯水经过机台使用后，rinse 过的比较干净的水一般称为 DIR（DI reclaim），经回收系统处理后可回用至超纯水的前端使用；机台就地洗涤塔使用后的水也可以回收，一般称 LSR（Local scrubber reclaim），回收后可以供给机台的就地洗涤塔使用。以上的回收水系统都可以极大的节约水资源。

7.3 工业安全卫生

7.3.1 有害气体及气柜

半导体厂房在生产中需要使用特殊气体，可分为惰性气体、毒腐蚀性气体、易燃/可燃性气体。特气供应系统分别设置在对应该气体供应间。毒腐蚀性、易燃/可燃性钢瓶都安装在特制的气柜内，气柜配置工艺排气及排风点，环境点侦测器，易燃/可燃气体还需配置火焰探测器及温度感应器，所有配置均设置联动报警宕机功能。惰性气体房间配置氧含量侦测器，LAU 三色灯及报警蜂鸣器作动。惰性气体排放至排风管直排；毒腐蚀性，可燃/易燃性气体需配置本地洗涤塔初级处理后排至中央洗涤塔，其设置排气指标监测装置以保证排放品质。

7.3.2 有害气体探测和报警系统

在有毒有害房间皆设置可燃及有毒气体检测。气体检测控制器设在 FMCS 旁的机柜间内，在 FMCS 操作室内可查看所有侦测器报警，所有探头都具有高敏度报警功能。

8 消防系统

消防灭火系统一般包含：室内外消火栓灭火系统，自动喷水灭火系统，室内 FM200 或 CO2 气体灭火系统，泡沫灭火系统，灭火器等。

本工程采用单独供水的临高压消防给水系统，其中包含室内外消火栓及自动喷水灭火系统。平时消防水系统由稳压泵加压保持一定的管网压力，火势灾情发生时，消防泵从消防水池吸水加压后输送至各用水点。本厂区室外设置消火栓及喷淋环状管网，确保管网检修时至少能有一路管道供水。在消防泵房内设置有消火栓泵及喷淋泵各两台（一用一备）；消防水池为钢筋混凝土结构，设于地下且有效容积足够。

可燃气体排风口或有机物浓度较高的排风管道管况设有自动喷淋灭火系统。而在电气配电间，IT 机房均安装 FM200 或者 CO2 自动灭火系统，室内装设氧气浓度侦测器及激活早期预警与语音系统。

9 结语

Fab 厂房的各功能模块充分考虑了坪效，以确保洁净室的面积达到较高的利用效率。洁净室提供满足条件的温

湿度、Particle 及 AMC 要求给工艺机台使用。其中大区域为净化在 1000 级的环境,局部为 100 级和 10 级。洁净室通过洁净墙板+吊顶+风机过滤单元 (FFU)+新风空调箱 (MAU)+干盘管 (DCC) 的组合,形成洁净且正压的洁净环境洁净室的。洁净室内环境参数需结合工艺机台的要求进行调整,并预留一定的冗余量及调整空间。MAU 及 DCC 等通过 PLC 进行自动控制,既节能又精准调节。动力站房内的主要动力设备如冰机及冷却塔、纯废水等装置采用能耗低的型号,并利用 FMCS 控制中心自动控制并实时输出报警,以保证各动力单元处于最佳状态,达到节能降耗的目的。

参考文献

- [1] 洪欣迪.基于光导开关的高压脉冲放电降解有机污水的研[D].西安电子科技大学,2023.003415.
- [2] 宫亚素.水体光催化体系中腐殖酸对污染物去除效能的影响及机制[D].南昌航空大学,2023.000245.
- [3] 靳凤先,马晓佳,孙彦东,等.Nb₂O₅基光催化材料的改性及其在水处理中的应用进展[J].稀有金属,2023,47(01):59-72.
- [4] 胡可心,白圆,沈莘桐,等.异质结压电光催化材料:高级水处理的新机遇[J].精细化工,2025,42(07):1434-1447+1491. DOI:10.13550/j.jxhg.20240335.
- [5] 钟庆澳.电催化二氧化碳还原用疏水TaC基陶瓷膜电极[D].中国科学技术大学,2024. DOI:10.27517/d.cnki.gzkju.2024.003029.
- [6] 余卓.TiO₂基双功能异质结的构建及其可见光催化氧化一吸附去除水体As (Ⅲ) 研究[D].中南林业科技大学,2024. DOI:10.27662/d.cnki.gznlc.2024.000222.
- [7] 田亦臣,隋铭皓.压电-压电光催化及其在水处理中的应用研究进[J].水处理技术,2023,49(07):20-26. DOI:10.16796/j.cnki.1000-3770.2023.07.004.
- [8] 王子晗.基于Ga₂N的半导体材料的CVD制备及其杀菌性能研究[D]. 厦门理工学院,2023. DOI:10.27866/d.cnki.gxlyxy.2023.000322.
- [9] 吴奇寒.聚光太阳能吸附式空气取水及水处理系统研究[D].海南师范大学,2023. DOI:10.27719/d.cnki.ghnsf.2023.000585.
- [10] 张芳.g-C₃N₄基光阳极的制备及光电催化协同芬顿降解抗生素废水研究[D].辽宁科技大学,2023. DOI:10.26923/d.cnki.gasgc.2023.000655.
- [11] 牟佳鑫.有机物-ZnIn₂S₄共修饰TiO₂光阳极光催化燃料电池的性能研究[D].重庆理工大学,2023. DOI:10.27753/d.cnki.gcqgx.2023.000454.