

# 半导体晶圆自动清洗设备

王锐廷

(北京七星华创电子股份有限公司, 北京 100016)

**摘要:** 主要介绍了半导体晶圆 RCA 清洗工艺以及半导体晶圆自动清洗设备在生产中的结构设计和应用情况。在工艺模块和伺服机械传送方面体现了湿法化学的独创性和实用性。解决了晶圆清洗技术中晶圆清洗效果的一致性,在半导体 IC、材料、器件领域的清洗工艺中得到广泛使用,具有极大的社会效益。

**关键词:** 湿法化学; 工艺模块; QDR; RCA 清洗

中图分类号: TN305.97      文献标识码: A      文章编号: 1004-4507(2004)09-0008-05

## Silicon Wafer Auto Clean Equipment

WANG Rui-ting

(Beijing Sevenstar Huachuang Electronic Co., Ltd, Beijing 100016, China)

**Abstract:** This article introduces the clean process of RCA for silicon wafer, and the design and apply in the manufacture of this kind of silicon wafer auto clean equipment. It represents creativity and practicability of wet bench in process modules and wafer servo motor transportation. It gives good yield for the clean results of wafer in uniformity. This equipment had widely utilized in semiconductor clean process such as IC, material, components etc.

**Keywords:** Wet bench; Process module; QDR(quick dump rinse); RCA clean recipe

晶圆清洗技术对电子工业,特别是对半导体工业生产是极为重要的。在半导体器件和集成电路的制造过程中,几乎每道工序都涉及到清洗,而且集成电路的集成度愈高,制造工序愈多,所需的清洗工序也愈多。在诸多的清洗工序中,只要其中有一道工序达不到要求,则将前功尽弃,导致整批芯片的报废或流程不畅。可以说如果没有有效的清洗技术和先进的清洗设备,便没有今日的半导体器件、集成电路和超大规模集成电路的发展。

晶圆清洗机主要用于 ULSI 半导体生产线上,晶圆在抛光前、扩散前、氧化前、化学气相及薄膜沉积前,或刻蚀后等工序的清洗,是目前 ULSI 半导体生产线上最重要、最严谨的设备之一。

晶圆清洗主要去除吸附在晶圆表面的各种杂质粒子,如微粒、有机物、无机金属离子等,使晶圆的表面洁净度达到 ULSI 工艺要求。湿法晶圆清洗的原理是使用各种化学药液与晶圆表面各种杂质粒子发生化学反应,生成溶于水的物质,再用高纯

收稿日期: 2004-08-18

**作者简介:** 王锐廷(1969-),男,现在北京七星华创电子股份有限公司微电子设备分公司工作,多年从事半导体清洗设备研究,任清洗所所长。

水冲洗,依次去除晶圆表面各杂质。

从设备方面,自动清洗设备与手动清洗机相比,具有自动化程度高,操作安全方便,工艺一致性保证,系统可靠性好等优点。但自动设备需要解决ROBOT运动幅的防腐蚀,单元模块的成熟化设计,设备与工艺的配合等。

## 1 清洗工艺和 RCA 清洗技术

全自动清洗机属于湿法化学清洗的一种,在所有的湿法化学清洗中,关键技术在于清洗工艺模块的设计,而清洗工艺模块的设计离不开清洗工艺理论基础支持。掌握清洗工艺理论,才可以抓住设计清洗工艺模块的要点。同时,对工艺过程的了解,对整机系统有很好的指导作用。

晶圆湿法清洗主要用各种化学药液与晶圆表面各种杂质粒子发生化学反应,生成溶于水的物质。一般化学药液分为两种:一种为清洗液,主要用于去除晶圆表面污染物的化学药液;另一种为腐蚀液,主要用于可以剥离晶圆表面或其表面覆盖物的溶液。这两种溶液统称为晶圆清洗腐蚀液。

表 1 常用晶圆清洗腐蚀液

名称	配方	使用条件	作用
SC1 溶液	$\text{NH}_4\text{OH}:\text{H}_2\text{O}_2:\text{H}_2\text{O}=$ 1:1:5→1:2:7 10 min	80±5 °C 去金属离子,去金属原子	去油脂,去光刻胶残膜
SC2 溶液	$\text{HCl}:\text{H}_2\text{O}_2:\text{H}_2\text{O}=1:1:6$	80±5 °C 10 min	去金属离子去金属原子
SC3 溶液	$\text{H}_2\text{SO}_4:\text{H}_2\text{O}_2=3:1$	120±10 °C 10~15 min	去油、去蜡去有机物, 去金属离子、原子
硝酸	67~70%	90±10 °C 6±0.5 min	去金属离子去 Na <sup>+</sup> 离子
硫酸	98%	煮至冒白烟即停 止加热保持 8 min	去有机物、去胶、去金属 离子和金属原子
王水	$\text{HNO}_3:\text{HCl}=1:3$	煮至棕色变淡	去金属离子重金属原子
腐蚀液	$\text{HF}:\text{H}_2\text{O}=1:10$	室温	腐蚀 $\text{SiO}_2$ 、PSG、BSG
	$\text{HF}:\text{H}_2\text{O}=1:20$	室温	腐蚀 $\text{SiO}_2$ 、PSG、BSG
	缓冲腐蚀液 (BHF)	30 °C	腐蚀 $\text{SiO}_2$ 、PSG、BSG
	$\text{NH}_4\text{F}:\text{HF}=6:1$		
	$\text{HF}:\text{HNO}_3=1:4$	室温	腐蚀 $\text{Si}_3\text{N}_4$ 、Poly-Si
	$\text{HF}:\text{CH}_3\text{COOH}:\text{HNO}_3$ =1:25:50	室温	腐蚀 $\text{Si}_3\text{N}_4$ 、Poly-Si

半导体湿法清洗工艺中,常用的清洗腐蚀液见表 1。

晶圆清洗工艺多种多样,所用化学溶液不同,设备和工具各异,清洗效果也各不相同,清洗工艺的选择,应根据晶圆表面污染情况决定。经过清洗的晶圆表面应得到有效的净化。清洗工艺应满足整体工艺的要求。

RCA 晶圆清洗技术,是 1970 年由 RCA 公司所提出的一个湿法清洗工艺,至今,已延用了 30 多年,是目前清洗工艺中应用最广泛的关键工艺和主要技术。

RCA 清洗是以 SC1 (APM)+SC2 (HPM) 为化学清洗,主要去除微粒、金属杂质及有机物污染。常见的清洗工艺过程如图 1 所示。

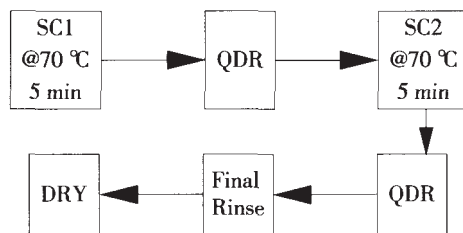


图 1 RCA 清洗工艺流程

目前,所用的大部分清洗工艺都是在此基础上进行改良,对 RCA 中的化学配方和清洗程序做了改变,以更加符合半导体清洗工艺要求。

该全自动清洗机的清洗工艺为改良后的 RCA 清洗工艺,其工艺流程见图 2 所示。

## 2 自动清洗设备设计思路与系统结构

晶圆清洗机系统设计的核心思想是模块化设计。模块化设计是一种面向用户的全新设计模式,它根据用户提出的不同清洗(腐蚀)工艺要求,选择合理的清洗工艺模

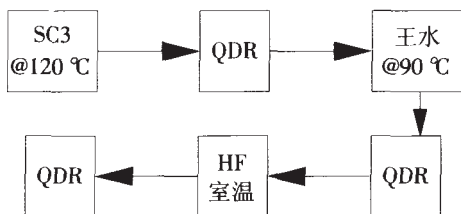


图2 改良后的 RCA 清洗工艺流程

块,以模块为核心,将各模块有机地组合成具有一种或多种清洗工艺的半导体设备。

目前,在 ULSI 半导体工艺中,成熟的清洗工艺模块有:一号液(SC1)、二号液(SC2)、三号液(SC3)、快排快冲(QDR)、稀释氢氟酸(HF)、恒温水浴缓冲刻蚀(BOE)、干燥(IPA)等。

清洗工艺的选择,应根据晶圆表面污染情况决定;经过清洗的晶圆表面应得到有效净化,清洗工艺应满足整体工艺的要求。晶圆清洗工艺的多样性,决定了的晶圆清洗机类型的多样性。模块化设计思想为实现晶圆清洗机的多样化设计提供了理论基础,极大地降低了设计成本,缩短了产品从开发到成型的时间,为产品实现产业化奠定了基础。

全自动清洗机系统一般由六大部分组成:骨架本体、清洗工艺模块、传动系统、层流控制系统、电气控制系统、自动配酸系统。系统结构简图如图3所示。

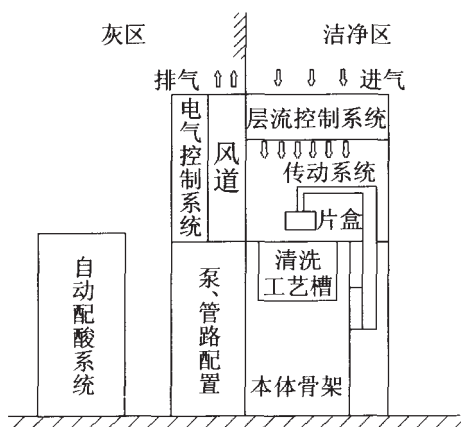


图3 全自动清洗机系统结构

为减少污染,降低生产成本,一般将系统分为灰区和洁净区两个不同区域:对于影响晶圆清洗质量的部分,如清洗工艺槽(模块)、传动系统、层流控

制系统,就需要放在洁净区,而其他不影响晶圆清洗质量的部分就可置于灰区。全自动清洗机是以清洗工艺模块为核心,通过电气系统的控制,由传动系统中的机械手带着片盒依次自动完成各工艺的清洗,使晶圆表面洁净度达到工艺要求。

全自动清洗机与手动清洗机相比,其自动化程度高,操作方便,基本实现了完全自动控制,操作人员只要将欲清洗的晶圆片盒(花篮),送到输入端,选择编制好的工艺程序,按下启动按钮,机械手开始依据工艺程序依次自动完成各工艺的清洗,直至将清洗后的晶圆片盒传送到输出端;全自动清洗机对在线操作人员安全提供了很好的保证,操作人员不需直接接触化学药液。

全自动清洗机的主要技术及性能指标:

- (1) 适用晶圆:  $\phi 100 \sim \phi 150 \text{ mm}$  (4~6 英寸)
- (2) 生产能力: 25 片/批
- (3) 微粒控制: 30 个( $@0.25 \mu\text{m}$ )
- (4) 金属离子:  $\leq 5 \times 10^{10} / \text{cm}^2$
- (5) 净化等级: 百级
- (6) 机械臂水平移动速度:  $\geq 500 \text{ mm/s}$
- (7) 机械臂垂直移动速度:  $\geq 500 \text{ mm/s}$
- (8) 电气控制: PLC 自动控制
- (9) 操作界面: 触摸屏

与国外同类型同规格产品相比,总体性能基本相同,产品已经进入了国内半导体生产线。

### 3 主要部件的设计

加热酸槽和 QDR 是清洗工艺模块中,最重要的两个模块,在大多清洗工艺中,这两个模块的性能直接决定最终的清洗效果。传动系统和电气控制系统是全自动清洗的核心部分。以下对这几部分的设计分别做简要的介绍。

#### 3.1 加热酸槽设计

在半导体清洗工艺中,有些化学试剂在处理晶圆时,对温度有要求,通常,需要进行加热,如 SC1、SC2 在 RAC 清洗工艺中就要求温度在  $70 \sim 80 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 。我们在选择这些加热酸槽材质时,一般选用石英材质。

加热酸槽一般由石英槽体、加热器、液位保护

装置、温度检测装置、排放装置及电气控制装置等主要部分组成。

由于我们所设计的加热器是内置投放式,故对所选加热器的要求比较高,不仅能耐酸,而且还要能耐高温。我们所选加热器所有的加热丝及其导线都是用 PFA 包裹起来的,而且外包的 PFA 材质十分洁净,不会对酸液有所污染。加热器的加热功率根据槽体的容积选取。

由于加热器是置于槽体底部,所以,液位保护装置尤为重要。液位保护装置主要用于检测石英槽内是否有酸液,防止加热器在没有酸液的情况下工作而发生危险。温度检测装置主要用于检测石英槽内酸液的温度,将检测的温度信号反馈给温度器,由温控器实现温度控制。对于废酸的排放,基本有两种不同方式。可由底部气动阀门控制,或者由射流器稀释排放。

### 3.2 QDR 设计

QDR (Quick Dump Rinser),即快排快冲槽,主要用于去除晶圆表面微粒杂质和残留化学药液,使晶圆表面洁净。QDR 是晶圆湿法清洗中最重要的一个清洗工艺模块,是清洗工艺中不可缺少的一道工艺,直接影响到晶圆的最终清洗效果。

QDR 由内外槽、上喷淋管路、下喷淋管路、快速排放阀及控制部分组成。

上喷淋管路共有两路,形成相互交叉喷淋,但去离子水不宜直接喷淋冲洗晶圆表面,因晶圆在水蚀作用下直接喷淋晶圆表面,易产生微粒污泥而污染晶圆表面,因此,在去离子水的喷淋过程中,需要对冲洗水压、水量、方向和角度作出调整测试,以达到微粒污染少的最佳效果。良好的喷嘴所喷淋范围涵盖全部晶圆及片盒;而不良的喷淋冲洗形状,没有涵盖全部晶圆及片盒,未被喷淋冲洗的死角地带,微粒、杂质及化学药液残留含量仍然很高,而达不到良好的清洗效果。

上喷淋同时,下喷淋管路由底部两侧不断进水,而后由内槽上沿四周溢出,这样,每个晶圆片缝、各处边角的去离子水都能连续得到更新。同时,纯净氮气由下喷淋管路进入槽体。氮气鼓泡有以下几个作用:(1)增加了去离子水的冲刷力,对槽体

本身有很好的自清洗作用;(2)晶圆在水流中颤动,气泡不能沾附其上,提高了冲洗效果;(3)减少去离子水中的含氧量,避免在晶圆表面生成氧化物。

QDR 喷淋注满水时间和排水时间,对晶圆清洗质量有很大影响。因晶圆表面暴露在空气中会接触空气中的氧分子或水汽,在常温下,即会生长一层很薄的氧化层(约为 0.5~1 nm),这层自然氧化物的厚度与暴露在空气中的时间长短有关,因此,喷淋注满水时间越长,晶圆暴露在空气中的时间就会越长,因而形成的氧化层也越厚,这对晶圆清洗,是很不利的。QDR 排水的时间越短,排水流速就会越大,有利于去离子水带走晶圆表面上的微粒杂质。因此,在 QDR 设计中,要尽可能的缩短喷淋注满水时间和排水时间,实现快冲快排,整体效率也会得到提高。

### 3.3 传动系统设计

传动系统是全自动清洗机区别手动清洗机最核心的部分,由该系统在电气系统控制下实现了晶圆工艺清洗的自动化。传动系统的性能直接决定了全自动清洗机整体工作效率及工作的稳定性、可靠性等方面。

传动系统由  $x$  向和  $y$  向组成,通过 PLC 程序控制,方便灵活地实现了  $x$  向和  $y$  向的运动。

$x$  向是由伺服电机、减速器、LM 直线导轨、齿轮齿条及连接块等部分组成的。它由伺服电机驱动,通过减速器,齿轮齿条、连接块传动来实现机械臂连同机械手整体  $x$  向的运动;该方向运动用于将片盒准确地移至各个清洗工位定位处。在  $x$  向装有一个原点近接开关,以检测确定机械臂在  $x$  向的起始位置点,左右两侧分别装有限位近接开关,以防止机械臂与本体相碰,发生危险。

$y$  向由机械手、机械臂、伺服驱动系统及连接块等部分组成。机械手是用于片盒的提取,它通过  $x$ 、 $y$  两个方向的联合运动来实现的。机械臂是用于实现机械手的上下运动,它由伺服电机、圆轴丝杠、导向装置、高刚性框架集成一体而成。伺服驱动系统与 PLC 一起控制  $y$  向的运动。在  $y$  向装有一个原点近接开关,以检测确定机械臂在  $y$  向的起始位置点,在其上下两侧分别装有限位近接开关,以防止机械



臂与本体相碰,发生危险。

传动系统各方面性能对保证整台设备的稳定性和可靠性至关重要。主要由以下几个(1)运动的稳定性;(2)运动的精确性;(3)传动结构的刚性;(4)运动速度及运动的平稳性。

### 3.4 电气控制系统设计

电气控制系统是整个设备的重要部分,统筹安排传动系统在各个清洗槽的运动时序,控制阀门以及清洗工艺模块的工作状态。它直接关系到设备的正常使用、维护及其生产效率。整套控制系统以一台 PLC(可编程序控制器) C200HG 为核心,触摸屏作为人机界面,交流伺服系统作为晶圆移位的执行机构。

#### 3.4.1 电气控制系统的构成

包括控制箱及传感器,电磁阀等。控制箱为立式,装于设备本体左侧,为密闭式,防止酸雾腐蚀电

器元件。控制箱箱内装有电源开关,伺服控制系统, PLC 及接线端子等。在控制箱的正面装有控制面板;控制面板上面装有操作开关,蜂鸣器,指示灯及触摸屏,温控器等。

#### 3.4.2 程序控制

本设备通过 PLC、触摸屏、伺服模块程序的有效结合实现传动系统的传片工作,手动/自动操作方式可以切换。触摸屏上有手动操作面板,可以实现相应手动操作。各清洗槽工艺时间可以在触摸屏中设置。系统可以编译并存储多条工艺程序,用户可以根据需要进行修改。

#### 3.4.3 安全装置

本设备具有声光报警功能。当有故障时,设备报警,触摸屏上显示出错信息,这时按下急停按钮,所有动作停止。排除故障后,按下复位按钮,可恢复初始状态;设备前部装有透明有机玻璃推拉门,防止酸液溅出。

(上接第 2 页)

(1) 加大对科研的投入力度,以形成自主知识产权的集成电路核心技术。国外先进国家在微电子领域研发方面的投入多在上亿美元乃至几十亿美元,而我国在这方面的总体投入还不及国外一家大公司的投入。因此,国家必须加大对集成电路产业研发领域的科研基金投入力度,真正掌握集成电路的核心技术。有了自己的知识产权,在这一领域站住了脚,形成一定的规模和具备一定的经济实力,不断技术创新,从而达到具有长期发展的能力。

(2) 实行纳税奖励政策,视纳税贡献大小对企业进行电子发展基金的投入。可根据企业交纳税金的额度按一定比例奖励企业,作为企业的发展基金,以创造良性循环的产业发展环境。

(3) 大力发展集成电路设计业。集成电路设计业现已成为加速我国信息化进程的关键环节之一。为此,必须加大对集成电路设计业的支持力度,搞好产业化基地建设,优化集成电路的设计工具、IP 库以及其他支撑条件的服务平台,加强知识产权保护,完善市场体系,尽快把我国集成电路设计业做

大、做强、做活,以满足多方面的需要,并为我国芯片制造业提供加工资源。

(4) 加速发展半导体支撑业。集成电路支撑业是进行集成电路产品生产所必需的生产手段和加工对象的产出行业,其主要产品包括集成电路专用设备、仪器、专用材料与部件。集成电路专用设备是集成电路产业的基础,“一代设备、一代工艺、一代器件”的说法已被世人所公认。集成电路专用材料是集成电路制造业的“粮食”,没有集成电路专用材料,集成电路产品的生产就陷入无米之炊的状态。为此,应当采取加速发展我国集成电路支撑业的方针,将集成电路支撑业尽快纳入集成电路产业政策的鼓励范围。必要时,可在一定时期内给予支撑业以力度更大的支持,才能促进集成电路支撑业在一段时间内有更高的发展速度,从而实现我国集成电路产业的协调发展。

无论国家采取何种鼓励政策,我们都将翘首期盼,呼吁既符合国际惯例又切实可行的扶持政策尽快出台。