

# 晶圆清洗实验

## 实验简介

晶圆清洗工艺常用到具有腐蚀性的化学药品和很强的氧化剂，如氢氟酸(HF)、盐酸(HCl)、硫酸(H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)和过氧化氢(H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)等。晶圆清洗工艺在使用化学用品处理晶圆过后需要使用大量高纯度的去离子水清洗晶圆。由于晶圆清洗工艺区域使用的多数酸类具有腐蚀性，过氧化氢是很强的氧化剂，因此在晶圆清洗工艺区域附近一定会有冲洗区，以防意外接触到溢出的化学药品。

## 实验原理

### 1.清洗

即使最严密的规程也不能避免人员搬移晶圆时产生微粒污染。此外，工艺本身也会产生一些污染物，硅片表面会不断被各种杂质污染，为获得洁净的表面，需要采用多种方法，将硅片进行清洗，进行洁净化。一般每道工序结束之前，都有一次清洗的过程，要求做到本流程污染，本流程清洗。

#### 1) 污染类型。

晶片表面有四大常见类型的污染，每一种在晶片上体现为不同的问题，并可用不同的工艺去除。这四种类型是：①颗粒；②有机残余物；③无机残余物；④需要去除的氧化层。

#### 2) 清洗原则。

硅片清洗的一般原则是首先去除表面的有机沾污；然后溶解

氧化层(因为氧化层是“沾污陷阱”，也会引入外延缺陷)；最后再去除颗粒、金属沾污，同时使表面钝化。

清洗硅片的清洗溶液必须具备以下两种功能：

(1) 去除硅片表面的污染物。溶液应具有高氧化能力，可将金属氧化后溶解于清洗液中，同时可将有机物氧化为  $\text{CO}_2$  和  $\text{H}_2\text{O}$ ；

(2) 防止被除去的污染物再向硅片表面吸附。这就要求硅片表面和颗粒之间的 Z 电势具有相同的极性，使二者存在相斥的作用。在碱性溶液中，硅片表面和多数的微粒子是以负的 Z 电势存在，有利于去除颗粒；在酸性溶液中，硅片表面以负的 Z 电势存在，而多数的微粒子是以正的 Z 电势存在，不利于颗粒的去除。

(3) 清洗液。

①SPM(三号液)( $\text{H}_2\text{SO}_4 : \text{H}_2\text{O}_2 : \text{H}_2\text{O}$ )

在  $120\sim 150^\circ\text{C}$  清洗 10min 左右，SPM 具有很高的氧化能力，可将金属氧化后溶于清洗液中，并能把有机物氧化生成  $\text{CO}_2$  和  $\text{H}_2\text{O}$ 。用 SPM 清洗硅片可去除硅片表面的重有机沾污和部分金属，但是当有机物沾污特别严重时会使有机物碳化而难以去除。经 SPM 清洗后，硅片表面会残留硫化物，这些硫化物很难用去离子水冲洗掉。由 Ohnishi 提出的 SPFM( $\text{H}_2\text{SO}_4/\text{H}_2\text{O}_2/\text{HF}$ )溶液，可使表面的硫化物转化为氟化物而有效地冲洗掉。由于臭氧的氧化性比  $\text{H}_2\text{O}_2$  的氧化性强，可用臭氧来取代  $\text{H}_2\text{O}_2$ ( $\text{H}_2\text{SO}_4/\text{O}_3/\text{H}_2\text{O}$  称为 SOM 溶液)，以降低  $\text{H}_2\text{SO}_4$  的用量和反应温度。 $\text{H}_2\text{SO}_4(98\%)$ ：

$\text{H}_2\text{O}_2(30\%)=4:1$ 。

②DHF( $\text{HF}(\text{H}_2\text{O}_2): \text{H}_2\text{O}$ )

在  $20\sim 25^\circ\text{C}$  清洗 30s, 腐蚀表面氧化层, 去除金属沾污, DHF 清洗可去除表面氧化层, 使其上附着的金属连同氧化层一起落入清洗液中, 可以很容易地去除硅片表面的 Al、Fe、Zn、Ni 等金属, 但不能充分地去除 Cu。  $\text{HF}:\text{H}_2\text{O}_2=1:50$ 。

③APM(SC-1)(一号液)( $\text{NH}_4\text{OH}:\text{H}_2\text{O}_2:\text{H}_2\text{O}$ )

在  $65\sim 80^\circ\text{C}$  清洗约 10min, 主要去除粒子、部分有机物及部分金属。由于  $\text{H}_2\text{O}_2$  的作用, 硅片表面有一层自然氧化膜( $\text{SiO}_2$ ), 呈亲水性, 硅片表面和粒子之间可被清洗液浸透。由于硅片表面的自然氧化层与硅片表面的 Si 被  $\text{NH}_4\text{OH}$  腐蚀, 因此附着在硅片表面的颗粒便落入清洗液中, 从而达到去除粒子的目的。此溶液会增加硅片表面的粗糙度。Fe, Zn, Ni 等金属会以离子性和非离子性的金属氢氧化物的形式附着在硅片表面, 能降低硅片表面的 Cu 的附着。采用体积比为  $(1:1:5)\sim(1:2:7)$  的  $\text{NH}_4\text{OH}$  (27%)、 $\text{H}_2\text{O}_2(30\%)$  和  $\text{H}_2\text{O}$  组成热溶液, 稀释化学试剂, 把其中水所占的比例由  $1:5$  增至  $1:50$ , 配合超声清洗, 可在更短时间内达到相当或更好的清洗效果。

SC-1 清洗后再用很稀的酸( $\text{HCl}:\text{H}_2\text{O}$  为  $1:104$ )处理, 在去除金属杂质和颗粒上可收到良好的效果, 也可以用稀释的 HF 溶液短时间浸渍, 以去除在 SC-1 中形成的水合氧化物膜。最后, 常常用 SC-1 原始溶液浓度  $1/10$  的稀释溶液清洗, 以避免表面粗

糙，降低产品成本，以及减少对环境的影响。

④HPM(SC-2)(二号液)(HCl：H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>：H<sub>2</sub>O)

在 65～85℃清洗约 10min，用于去除硅片表面的钠、铁、镁等金属沾污。在室温下 HPM 就能除去 Fe 和 Zn。H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 会使硅片表面氧化，但是 HCl 不会腐蚀硅片表面，所以不会使硅片表面的微粗糙度发生变化。HPM 采用 (1：1：6)～(2：1：8) 的 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>(30%)、HCl(37%) 和水组成的热混合溶液。对含有可见残渣的严重沾污的晶片，可用热 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>O(2：1) 混合物进行预清洗。

实验内容

1.进入清洗区，进行清洗操作

- 1) 准备待清洗的晶圆提篮；
- 2) 放置晶圆提篮到清洗水槽；
- 3) 开始进行具体的清洗工艺流程如表 3-1 所示。

表 3-1 清洗工艺流程

流程顺序	操作	温度（℃）	时间（分钟）
1	去离子水	20	5
2	三氯乙烯	80	15
3	丙酮（或甲醇）	20	2
4	2 号液(4：1：1)	90	10
5	去离子水	70	2
6	DHF 溶液	20	2

7	去离子水	20	5
8	1 号液(4：1：1)	80	10
9	去离子水	70	5
10	稀盐酸(50：1)	20	2.5
11	去离子水	20	2
12	烘干槽		2

### (1) DHF(HF(H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)：H<sub>2</sub>O)稀释的氢氟酸

工艺目的：表层 SiO<sub>2</sub> 及附带金属被腐蚀的同时，在表层附着的金属(含量低)随着表层溶解而进入清洗液中，典型金属如 Al, Fe, Zn, Ni 等金属，稀释氢氟酸流程如表 3-2 所示。

表 3-2 稀释氢氟酸流程

流程顺序	操作	温度 (℃)	时间 (分钟)
1	去离子水	20	2
2	DHF 溶液，配比 HF：H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> =1：50	20~25	0.5
3	去离子水	20	2
4	甩干		2

### (2) APM(SC-1)

工艺目的：①由于硅片表面的 SiO<sub>2</sub> 被 NH<sub>3</sub>•H<sub>2</sub>O 腐蚀，同时附着在硅片表面的颗粒便落入清洗液中，从而达到去除颗粒的目的。②氨分子可以为部分金属提供络合结构来去除，如：Cu、

Ni、Co、Cr，APM 流程如表 3-3 所示。

表 3-3 APM 流程

流程顺序	操作	温度 (°C)	时间 (分钟)
1	$\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} : \text{H}_2\text{O}_2 : \text{H}_2\text{O}$	65~80	10
2	去离子水	70	2
3	甩干		2

### (3) HPM(SC-2)

工艺目的：①去除硅片表面活泼单质金属(大量)，如 Na、Zn、Fe、Mg 等；②溶解去除金属 OH 化物沉积；③形成保护层  $\text{SiO}_2$  吸附部分杂质，防止深层污染；④依靠 Cl 和某些金属生成溶于水的络合物而去除金属离子，HPM 流程如表 3-4 所示。

表 3-4 HPM 流程

流程顺序	操作	温度 (°C)	时间 (分钟)
1	$\text{HCl} : \text{H}_2\text{O}_2 : \text{H}_2\text{O}$	65~85	10
2	去离子水	70	2
3	甩干		2

### (4) SPM(SC-2)

工艺目的：①在高温下 SPM 有较强氧化能力，能将金属氧化并溶解(如  $\text{Cu}-\text{CuO}-\text{CuSO}_4$ )；②将有机物氧化为  $\text{CO}_2$  和  $\text{H}_2\text{O}$ ，SPM 流程如表 3-5 所示。

表 3-5 SPM 流程

流程顺序	操作	温度 (°C)	时间 (分钟)
------	----	---------	---------

1	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> : H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> : H <sub>2</sub> O	120~150	10
2	去离子水	70	2
3	甩干		2

#### (5) 除脂

工艺目的：丙酮、甲醇溶解油脂，去除杂质，除脂流程如表 3-6 所示。

表 3-6 除脂流程

流程顺序	操作	温度 (°C)	时间 (分钟)
1	三氯乙烯(旋转清洗 3 次)	20	每次 3min
2	异丙醇(旋转清洗 3 次)	20	每次 3min
3	去离子水	20	5
4	甩干		2

#### (6) 氧化

工艺目的：①在高温下 SPM 有较强氧化能力，能将金属氧化并溶解(如 Cu-CuO-CuSO<sub>4</sub>)；②将有机物氧化为 CO<sub>2</sub> 和 H<sub>2</sub>O，氧化流程如表 3-7 所示。

表 3-7 氧化流程

流程顺序	操作	温度 (°C)	时间 (分钟)
1	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> : H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (1 : 1)	20	3
2	去离子水	70	3
3	甩干		2

#### (7) 刻蚀

工艺目的：①表层  $\text{SiO}_2$  及附带金属被腐蚀的同时，在表层附着的金属(含量低)随着表层溶解而进入清洗液中，典型金属如 Al, Fe, Zn, Ni 等金属。② $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$  溶解油脂，去除杂质。刻蚀流程如表 3-8 所示。

表 3-8 刻蚀流程

流程顺序	操作	温度 (°C)	时间 (分钟)
1	$\text{HF} : \text{C}_2\text{H}_5\text{OH}(1 : 10)$	20	3
2	$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ (旋转清洗 3 次)	20	每次 3min
3	去离子水	20	3
4	高纯氮气吹干		2

4) 清洗完毕后，甩干的晶圆被自动放入晶圆匣，取出晶圆匣。

## 实验仪器

### 1.全自动硅片清洗机

清洗原理：超声配合清洗液将硅片清洗干净。

组成：上料台、清洗箱、移载机械手、送风与排风系统、送液系统、机柜、控制台等等。

特点：高度自动化的硅片传送、清洗和烘干，清洗机如图 3-1 所示。



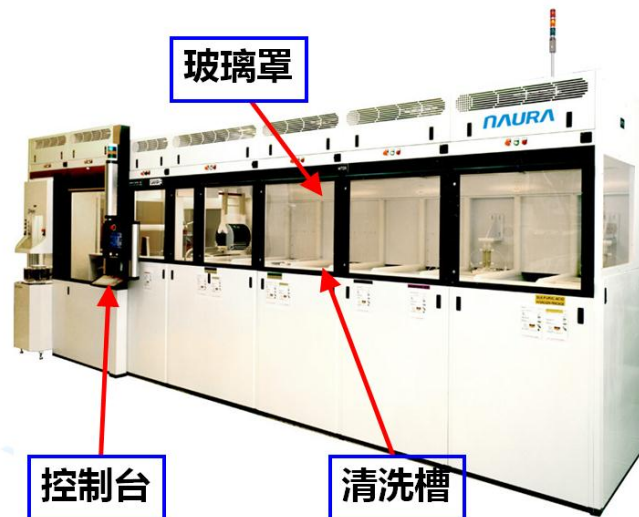


图 3-1 清洗机

## 2.硅片花篮

盛放晶圆的提篮，具有耐蚀性、硬度高、耐磨性、绝缘性、耐高温的性能，硅片花篮如图 3-2 所示



图 3-2 硅片花篮

## 3.硅片小车

不锈钢制成的移动小车，用来放置晶圆匣，便于晶圆匣在洁净室内移动，小车如图 3-3 所示。



图 3-3 小车

## 实验指导

### 1.选择实验内容

鼠标点击相关实验内容，进入到该实验操作设备前，实验选择界面如图 3-4 所示。



图 3-4 实验选择界面

### 2.选择实验模式

选择学习模式操作者可以从左侧实验步骤中任意模块进行操作。选择考核模式操作者可以从实际工艺流程往下一步一步操作。在考核模式下记录学生考核的问题及操作步骤分数。学习模式不记录学生分数，选择实验模式界面如图 3-5 所示。



图 3-5 实验模式

3.实验操作指导界面

界面介绍本工艺知识点及操作者在实验过程中的操作指导，如图 3-6 所示。



图 3-6 实验操作指导

4.进入清洗区

进入清洗区门口，清洗区门自动打开，进入清洗区进行操作，

如图 3-7 所示。



图 3-7 进入清洗区

1) 打开清洗水槽玻璃窗。

用鼠标点击待清洗位置的“玻璃窗”，玻璃窗打开，如图 3-8 所示。



图 3-8 清洗水槽玻璃窗

2) 放置晶圆提篮到待清洗区。

用鼠标点击晶圆小车上的“提篮”，提篮自动放置到待清洗位置，如图 3-9 所示。



图 3-9 放置晶圆提篮到待清洗区

3) 关闭玻璃窗。

用鼠标再次点击“玻璃窗”，关闭玻璃窗，如图 3-10 所示。

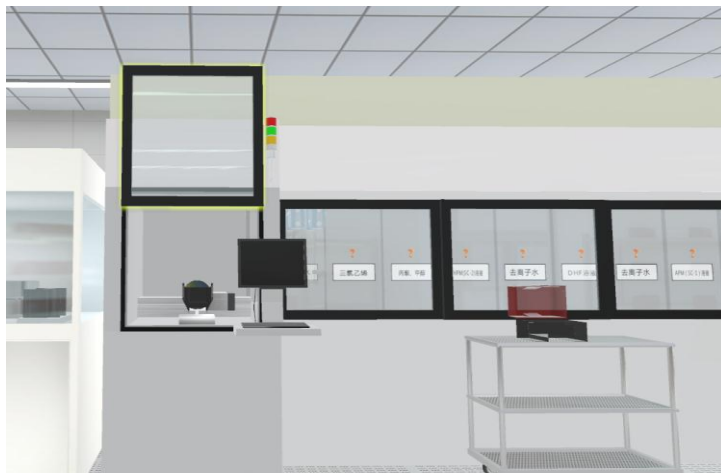
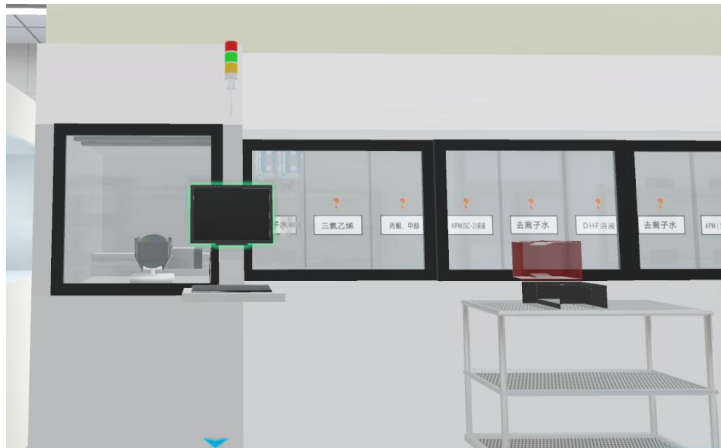


图 3-10 关闭玻璃窗

4) 开始清洗。

用鼠标点击“控制面板”，弹出控制面板窗口，显示具体工艺流程内容，点击“开始清洗”按钮，按照流程依次将晶圆放入对应的溶液中进行操作，如图 3-11 所示。



(a)控制面板窗口



(b)清洗工艺流程

图 3-11 晶圆清洗

5) 取出清洗完毕的提篮。

清洗完成后，鼠标点击清洗完毕区域的“玻璃窗”，玻璃窗打开，取出晶圆，如图 3-12 所示。



图 3-12 取出晶圆提篮

#### 6) 实验操作结束。

请继续进行其他实验项目。退出实验时，保存该实验数据记录，如图 3-13 所示。



图 3-13 实验操作结束

### 思考题

1. 列出三种防止洁净室污染的技术。
2. 去离子水的规范要求是什么？
3. 指出在一般的水中存在的三种污染物。
4. 在芯片生产区域存在的静电会通过哪两种方式产生危



害？

5.硅片表面吸附类型有哪两种，各自吸附特点是什么，哪种类型的吸附强度大？

6.常用清洗方法有哪些？

7.RCA 清洗液主要有哪几种，各种成分及作用是什么？

## 参考资料

1.《微电子制造科学原理与工程技术》，第二版，Stephen A.Campbell 著；

2.《芯片制造》，第六版，Peter Van Zant 著；

3.《硅集成电路芯片工厂设计规范》，GB50809-2012；

4.《半导体制造技术》，Michael Quirk,Julian Serda 著；

5.《半导体器件基础》，Robert F.Pierret 著；