

# 某项目工艺排气系统设计总结

孙允祥

中电系统建设工程有限公司 上海 200120

**摘要:** 本文结合某半导体项目工艺排气设计,介绍了半导体项目工艺排气分类及处理方式,分析了系统设计注意事项及经验教训。

**关键词:** 半导体厂房;酸碱排气;有机排气;洗涤塔;沸石转轮;TO炉

本次项目为12英寸功率半导体厂房,位于上海临港,其中FAB厂一期洁净室面积约16000平米,设计产能45k。

气体和化学品,同时也会相应产生各种性质的废气,这些废气都通过工艺排气系统排放到室外大气环境中。在排放之前需要根据废气的性质进行不同的处理,达到国家、地方允许的排放标准之后才能排放到大气环境中。其各工艺段使用主要的化学品见表。

## 1 工艺排气系统设计方

### 1.1 工艺排气产生及系统分类

半导体厂房在芯片工艺过程中需要使用各种各样的

表1 半导体生产工艺使用化学品统计表

生产工艺	化学品使用
光刻 PhotoLitho	四甲基氢氧化铵、六甲基二硅胺、异丙醇、丙二醇甲醚醋酸酯、丙酮
湿法蚀刻 Wet	硫酸、双氧水、氯化氢、氟化氢、磷酸、氟化氨、氨气、臭氧、醋酸、硝酸
干法蚀刻 ETCH	四氯化碳、氯气、三氯化氮、氟化硼、氯化硼、溴化氢、氟甲烷、三氟甲烷、等全氟化合物
化学气相沉积 CVD	硅烷、四氯化硅、硼烷、三氯化氮、一氧化二氮、六氟化硫、臭氧
外延 EPI	三氯氢硅、氢气
化学机械研磨 CMP	硫酸、氨气
扩散、离子注入 DIFF/IMP	三氯化硼、硼烷、砷烷、磷烷、二氯氢硅、三氯氧磷

根据以上工艺需求,本次工艺排气系统设计分为以下五种:一般排气(主要排出机台废热)、酸性排气(使用各类酸性化学品的机台排气)、碱性排气(使用各类碱性化学品机台排气)、有机排气(使用各类有机溶剂机台排气)以及砷排气(离子注入IMP中使用含砷化学品)。

### 1.2 工艺排气系统设计

#### 1.2.1 设计依据及规范

国家规范:《大气污染物综合排放标准》GB 16297-1996

《电子工业废气处理工程设计标准》GB 51401-2019  
地方标准(上海市):

《半导体行业污染物排放标准》DB31/374-2006

《大气污染物综合排放标准》DB31/933-2015

业主要求:机台需求表(UM)、相关招标文件及技术文件。

依据业主提供信息及当地排放标准,本项目几个排气系统入口成分及处理要求见表2:

表2 工艺排气处理及排放标准

污染源	污染物	入口浓度(mg/m <sup>3</sup> )	最高允许排放速率(kg/h)	最高允许浓度限值(mg/m <sup>3</sup> )	执行标准
酸排	硫酸雾	23.93	8.8	10	上海市《半导体行业污染物排放标准》(DB31/374-2006)

续表:

污染源	污染物	入口浓度(mg/m <sup>3</sup> )	最高允许排放速率 (kg/h)	最高允许浓度限值(mg/m <sup>3</sup> )	执行标准
	氟化氢	21.73	1.4	1.5	上海市《大气污染物综合排放标准》 (DB31/933-2015)
	氯气	0.46	0.36	3.0	
	硝酸雾	5.83	1.5	10	
	磷酸雾	5.36	0.55	5	
	磷化氢	0.0002	0.022	1	
	氯化氢	17.55	1.4	15	
	溴化氢	0.95	0.144	5.0	
	氨气	0.52	20	/	
	NO <sub>x</sub>	45.93	/	150	
	SO <sub>2</sub>	0.26	/	100	
	颗粒物	5.0	0.80 (二氧化硅粉尘) /1.5 (其他)	20	
	硼及其化合物	0.05	/	10	
含砷排	磷化氢	0.85	0.022	1	
	砷化氢	0.85	0.0036	1	
	硼及其化合物	0.42	/	10	
	氟化氢	2.23	1.4	1.5	
碱排	氨气	15.47	20	/	
有机排	VOCs	189.31	/(排放速率 > 0.6kg/h时, 处理设施的最低处理效率至少为88%)	100	
	非甲烷总烃	189.31	3.0	70	
	异丙醇	70.08	/	80	
	NO <sub>x</sub>	6.80	/	150	
	SO <sub>2</sub>	0.15	/	100	
	颗粒物	0.87	0.80 (二氧化硅粉尘) /1.5 (其他)	30	

### 1.2.2 处理方式的选择

1) 一般排气主要以机台废热为主, 采用直接排放。  
 2) 酸碱排气采用常见洗涤塔处理, 分别使用氢氧化钠、硫酸低浓度溶液通过洗涤塔循环喷淋和酸碱排气接触发生中和反应来消除其中酸碱物质。3) 有机排气因半导体项目处理量大且要求系统稳定性高, 因此未选择活性炭吸附方式而采用沸石转轮+TO炉焚烧的处理方式, 沸石转轮将低浓度排气处理达标, 同时将产生的高浓度废气送入TO炉通过高温将有机气体变成二氧化碳和水。4) 砷排气采用纳米氧化铜干式吸附方式进行处理。

### 1.2.3 设备容量的选择

各排气系统系统容量的选择应根据需求容量、分期容量、安装位置等综合考虑系统总容量及单台设备容量。单台设备容量还应根据安装尺寸、噪音、荷载等限制考虑其上限风量, 一般来说室内放置排气设备单台不宜超过七八万, 室外单台设备上限则在十万左右。工艺排气系统容量一般来说最好考虑1.2左右的系数(规范要求为1.1, 但考虑UM准确性及半导体升级改造频繁, 宜考

虑较多的冗余系数)。

本项目根据生产区排气需求数据及一层辅房排气需求最终系统设计见表3

表3 工艺排气系统设备信息表

系统	单台容量	一期设备	二期设备
一般排	75000CMH/台	本期2用1备	2台
酸排	90000CMH/组	本期3用1备	2组
碱排	55000CMH/组	本期1用1备	1组
有机排	55000CMH/组	本期1用1备	1组
砷排	6000CMH/组	本期1用1备	1组

注: 因半导体对系统稳定性要求高, 工艺排气系统必须考虑备用机组, 同时其用电考虑50%的一级负荷; 考虑到半导体工艺升级快, 除二期预留的排气设备外, 本项目一般排气、酸排气现场考虑将来额外扩展一组设备的空间。

### 1.2.4 设备及管线布置

工艺排气系统根据芯片厂的总体布局一般有以下两种方案。

方案一: 排气设备放置在一层辅房, 集管在一层或洁净区下夹层布置, 烟囱通过管井或贴墙到屋面 (优

点：一层结构处理简单，且烟囱不用突出屋面较多；主管主要在机台下方冷凝水如漏水影响小，加药管道及排水管道距离辅房近。缺点：设备及主管在辅助区占用面积及空间大，布置困难，主管区域通行困难）；

方案二：排气设备在顶层或屋面布置，排气主管在吊顶层内布置，支管通过回风井道进入洁净区下夹层。（优点：吊顶层空间充足，主管不占用使用层空间。缺点：设备在高层，结构成本大且吊装困难；主管在吊顶层如漏水有较大风险落到下面机台；烟囱考虑测试平台等绝对高度高）。

本项目采用方案二将排气设备露天放置在辅助区屋面（一般排气布置在四层），同时为降低对结构的影响酸碱洗涤塔采用卧式洗涤塔。

工艺排气布置还应考虑洁净新风空调系统的取风，应避免在其常年风向的上风向。1.2.5 工艺排气管道设计

半导体工艺排气管考虑到耐压及排水震动等原因，一般设计采用圆形管道，一般排气采用螺旋镀锌管，有机和砷排气采用不锈钢风管；酸碱排气采用不锈钢+特氟龙内衬风管（也可用FRP或PP风管）。

因半导体厂房生产机台有防微震要求，设计上对风管流速有上限限制，一般来说上限12m/s（没有微震要求的可以提高上限流速）。本项目风管上限流速采用10m/s，同时沿程阻力在1~2帕/m左右（一般不宜超3帕/m）。防微震还要根据风管的安装位置及管径大小，考虑减震器。本项目要求防微震区域超过1200的风管需安装减震器。

排气管管的布置一般来说药厂及半导体前端（硅片厂）及后端厂（PCB厂等）因工艺升级没有像芯片厂那样频繁其经常采用按机台需求来布置，其管道和接口按各需求机台的位置及容量来设计，接口和机台一般为1对1类型。芯片厂因生产过程中经常根据产品更换或升级、生产效率、工艺机台升级等对其频繁调整，对排气管道布置一般根据各工艺段排气总量进行均匀布置，其接口一般采用250（生产辅助区也经常采用200），接口和机台连接需经二次配包商进行二次专业设计，根据接口的设

计量和机台需求量进行分配，需求量较大的机台连接多个接口，需求量小的机台则可以和其余机台共用接口。

## 2 工艺排气系统设计要点<sup>[1]</sup>。

### 2.1 系统容量计算

半导体的工艺排气主要为工艺机台服务，但设计系统容量时还应考虑辅助房间如气体间、酸碱间、有机溶剂间等辅助房间的需求，同时还应考虑生产区内特气及化学品的阀箱排气需求等。设计时应与用户沟通考虑机台排气的同时使用系数及系统冗余系数。

### 2.2 酸碱洗涤塔选择

芯片厂的酸碱排气系统因当地排放标准会有一定差异，但一般来说采用单级洗涤塔即可满足（浓度较高的机台一般带有就地洗涤塔）。洗涤塔分立式、卧式，立式处理效果好但设备较高结构荷载较大；卧式洗涤塔在同样参数下处理效率弱但荷载小维护方便，立式卧式的选择应根据各项目具体情况综合考虑。

### 2.3 酸碱洗涤塔关键参数

因洗涤塔原理是通过喷淋酸碱中和液与排气接触进行中和反应来处理其中的酸碱物质，影响中和及吸收的因素有中和液体多少、液体和排气接触面积、接触时间。因此根据以上因素可以得知洗涤塔处理效果主要是循环水量多少、填料多少（将喷水扩大和排气的接触面积）、排气经过塔的时间（排气速度越慢、塔越高越长则排气在塔中停留时间越久）。一般来说洗涤塔流速不超过2.5m/s，滞留时间规范要求不低于1s（因现在环保排放要求严苛，滞留时间大多在1.5s以上，本项目选型设备为2s）；循环水量每平方米填料大于15m<sup>3</sup>/h。洗涤塔除雾器对10μm水雾去除率不低于99%。洗涤塔处理效率不低于90%（本项目要求不低于95%）。

### 2.4 酸碱塔其余计算

使用药剂计算一般根据业主提供的排气入口成分和浓度信息通过中和反应化学式来计算使用的酸碱耗量。比如以酸塔消耗氢氧化钠使用量为例，本项目90000CMH的酸塔消耗药剂，酸塔药剂耗量计算表

(一) (HF)、HF + NaOH → NaF + H<sub>2</sub>O

进口浓度	HF质量流率	HF排放量	NaOH用量(100%)		30%NaOH用量	30%NaOH的密度	选用NaOH用量(30%)	HF分子量	NaOH分子量	氟化氢(HF)进口浓度	废气进口温度	
Mg/M3	g/HR	Mole/HR	Mole/HR	Kg/HR	Kg/HR	Kg/L	L/HR	g/Mole	g/Mole	Mg/M3	ppmv	℃
22.00	1980.05	99.00	99.00	3.96	13.20	1.33	9.93	20.00	40.00	22.00	26.83	23.00

(二) (HCL)、HCL + NaOH → NaCl + H<sub>2</sub>O

进口浓度	HCL质量流率	HCL排放量	NaOH用量(100%)		30%NaOH用量	30%NaOH的密度	选用NaOH用量(30%)	HCL分子量	NaOH分子量	氯化氢(HCL)进口浓度	废气进口温度	
Mg/M3	g/HR	Mole/HR	Mole/HR	Kg/HR	Kg/HR	Kg/L	L/HR	g/Mole	g/Mole	Mg/M3	ppmv	℃
18.00	1620.26	44.39	44.39	1.78	5.92	1.33	4.45	36.50	40.00	18.00	12.03	23.00

(三) (H2SO4)、H2SO4 + 2NaOH → Na2SO4 + 2H2O

H2SO4进口浓度	H2SO4质量流率	H2SO4排放量	NaOH用量(100%)		30%NaOH用量	30%NaOH的密度	选用NaOH用量(30%)	H2SO4分子量	NaOH分子量	硫酸(H2SO4)进口浓度	废气进口温度	
Mg/M3	g/HR	Mole/HR	Mole/HR	Kg/HR	Kg/HR	Kg/L	L/HR	g/Mole	g/Mole	Mg/M3	ppmv	℃
24.00	2160.32	22.04	44.09	1.76	5.88	1.33	4.42	98.00	40.00	24.00	5.97	23.00

酸碱塔消耗水量计算比较复杂，主要是循环水电导率超标进行排水的耗量、中和反应消耗水量、空气和循环水接触室水分蒸发的耗量。这些水量相对来说不是很大，日常设计可以不用详细计算，可以采用估算方法如10000CMH排气按0.02~0.05m<sup>3</sup>/h。需要注意的是虽然数量较少，但设计接口不宜低于DN20（可根据供应商设备接口设计）以免补水时间过长。

### 2.5 有机排气处理设备选择

芯片厂根据有机排气成分和对系统稳定的要求，一般选择沸石转轮+TO炉（因其氧化分解温度要求以及处理浓度，有机排气经过沸石转轮吸附后即可达到排放标准，转轮处理效率本项目要求是95%；脱附后浓缩气经过TO炉高温氧化，其处理效率不低于99%。室外风经过转轮冷却段后进入再进入一级热交换器升温至脱附温度后进入转轮进行脱附，脱附后的高浓度气体进入二级热交换器进行升温后进入燃烧室高温氧化，氧化后的高温气体经一二级热交换器释放热量后进入烟囱和转轮处理后的达标排气一起排放。整个流程比较复杂，其内部一些逻辑及连锁等，一般由专业厂家深化完成。

### 2.6 排气烟囱设计

工艺排气中一般排气无高度及测试平台要求，因此经常采用在屋面直接排放。其余种类排气烟囱则需根据相关要求对烟囱高度、排放速率及测试孔测试平台有具体要求。一般来说烟囱设计排放速率在15m/s~20m/s烟囱高度则主要考虑规范要求最低排放高度（一般15m，部分物质如氯气等25m）、高出200m范围内建筑5m以上、设置检测孔测试平台的高度要求（前六后三的直管）。芯片厂建筑屋面高度一般在24m左右，排气设备设置在屋面的基本上最终高度取决于测试孔需求，因此如果系统容量较大，设计时应尽量选用多个烟囱，以免烟囱过大导致最终烟囱太高（9倍烟囱直径）。以2m直径烟囱为例，测试孔需要的烟囱在18m，考虑到风机本体高度，烟囱到安装面高度基本在20m以上<sup>[2]</sup>。

## 3 本项目工艺排气系统设计经验教训

### 3.1 排气设备分期预留及布置

大型芯片厂房其相关机电设备基本上根据产能规划分期设置，排气设备的分期布置应综合考虑一期成本及二期安装便捷性。可以看出更改前一期设备安装钢平台需要满布，二期设备设计在内区届时吊装搬运及安装困难大风险高。更改后将一期设备集中放置，二期设备尽

量放置在外区则减少一期设备平台面积外还降低了二期安装搬运的风险。

### 3.2 主支管风阀

各排气系统从集管出来的主支管均未设置阀门，前面所述半导体项目稳定性要求高且更改升级频繁，如果相关管路未设置阀门，出现故障或进行改造没有阀门进行关断，将影响整个系统的稳定及使用。因此设计时应注意各管路阀门设计，尤其是处理设备前后阀门以及合用烟囱时风机出口的止回阀或电动阀等<sup>[1]</sup>。

### 3.3 设备区支墩预埋板

本项目屋面排气设备采用300×300支墩架设设备平台后进行设备及烟囱等安装，前期设计支墩未预留预埋板，导致现场平台安装需采用化学锚栓安装，安装过程中部分墩子出现裂纹。设计阶段应仔细考虑设备等安装方式，大型平台底座较大，应考虑预埋板。如无预埋板则墩子、基础宽度不宜太小，应保证化学锚栓位置离边缘10公分以上。

### 3.4 排气管道生产区三通开口避免下开

本项目吊顶层上主管的三通大部分在正下方开口，这将导致主管排水点失效，大部分凝水将由正下方三通口排至支管，导致漏水风险上升。排气管接口尽量上开口，如空间限制则可采用水平或斜下开口，尽量保证主管底部有10cm高差便于主管排水。

## 结束语

半导体厂房因技术和工艺的发展对内部环境、系统稳定等要求愈发严苛，工艺排气系统直接和生产机台连接，对其系统设计、安装、运行等要求越来越严，比如本项目要求集管压力波动 < 30Pa（中芯国际新建厂房日常运行压力波动控制在10Pa内），这要求我们工程师对工艺排气系统从设计开始要谨慎仔细、严要求高标准，将问题隐患在设计过程中预防、解决。

## 参考文献

- [1]GB秦学礼 肖红梅 江元升等,《电子工业废气处理工程设计标准》,中华人民共和国国家标准,GB 51401-2019,2005
- [2]GB 郑石治 朱小蓉 蔡尤溪,《半导体制程排放之VOCs废气处理技术及现况》,《第五届海峡两岸制冷空调技术交流会议论文集》GB 2001年,75~82 .
- [3]GB.电子工业废弃厂房设计规范: GB 50472-2008[S].2008.