

附件 3

# 上海市《半导体行业污染物排放标准》 编制说明

(征求意见稿)

上海市环境科学研究院

二〇二一年二月

# 目 录

一、	项目背景.....	1
(一)	任务来源.....	1
(二)	主要工作过程.....	1
二、	行业概况.....	2
(一)	行业总体发展概况.....	2
(二)	行业技术发展情况.....	4
1.	芯片设计业.....	4
2.	芯片制造业.....	5
3.	芯片封装业.....	6
(三)	行业发展规划与主要任务.....	7
三、	标准修订的必要性.....	8
(一)	国家与上海市相关政策和管理要求.....	8
(二)	半导体行业的主要环境问题.....	9
(三)	现行环保标准存在的问题.....	9
四、	标准修订的原则及技术路线.....	9
(一)	标准修订的原则.....	9
(二)	标准修订的技术路线.....	10
五、	国内外相关标准情况.....	12
(一)	国内半导体行业相关标准.....	12
1.	国家电子工业污染物排放标准.....	12
2.	北京电子工业大气污染物综合排放标准.....	13
3.	江苏省半导体行业标准.....	15
4.	天津工业企业挥发性有机物排放控制标准.....	17
(二)	国外和地区半导体行业相关标准.....	18
1.	美国半导体行业空气污染物排放标准.....	18
2.	美国半导体行业废水污染物排放标准.....	19
3.	德国半导体行业水污染物排放标准.....	20
4.	世界银行污染预防和削减手册的相关标准.....	21

5.	台湾半导体行业气污染物排放标准 .....	22
6.	台湾晶圆制造及半导体制造业放流水标准 .....	23
(三)	上海市综合排放标准 .....	24
1.	上海市水污染物综合排放标准 .....	24
2.	上海市大气污染物综合排放标准 .....	25
六、	半导体行业污染物排放状况及污染防治技术分析 .....	26
(一)	产污节点 .....	27
(二)	废水排放及治理 .....	31
1.	含氟废水 .....	31
2.	酸碱废水 .....	31
3.	含氨废水 .....	33
4.	有机废水 .....	33
5.	电镀废水 .....	34
6.	含铜废水 .....	34
(三)	废气排放及治理 .....	36
1.	酸碱废气 .....	37
2.	有机废气 .....	38
3.	有毒气体 .....	39
4.	含氟气体 .....	39
5.	一般废气 .....	40
七、	标准主要技术内容 .....	40
(一)	标准适用范围 .....	40
(二)	标准修订基本思路 .....	41
1.	废水标准修订基本思路 .....	41
2.	废气标准修订基本思路 .....	42
3.	环境管理要求 .....	42
(三)	术语和定义 .....	43
(四)	执行时段划分 .....	43
(五)	污染物控制指标的选择 .....	43

1.	废水控制因子选择 .....	43
2.	废气控制因子选择 .....	44
(六)	水污染物排放限值的确定 .....	44
1.	一类污染物 .....	45
2.	二类污染物 .....	48
3.	综合毒性指标 .....	60
(七)	有组织大气污染物排放限值的确定 .....	61
1.	酸性废气 .....	61
2.	碱性废气 .....	67
3.	有机废气 .....	69
4.	有毒气体 .....	73
5.	颗粒物 .....	74
6.	氮氧化物 .....	75
7.	锡及其化合物 .....	76
(八)	无组织大气污染物排放限值的确定 .....	77
八、	国内外相关标准对比分析 .....	78
(一)	水污染物相关排放标准对比分析 .....	78
(二)	大气污染物相关排放标准对比分析 .....	80
九、	实施本标准的环境效益和经济技术分析 .....	81
(一)	技术可达性分析 .....	81
1.	废水处理技术可达性分析 .....	81
2.	废气处理技术可达性分析 .....	84
(二)	经济分析 .....	87
1.	投资估算 .....	87
2.	运行费估算 .....	87
(三)	环境效益分析 .....	88
十、	说明 .....	88

# 一、项目背景

## （一）任务来源

为加强对上海市半导体行业的污染排放控制，上海市于 2006 年 11 月 1 日正式发布了上海市的《半导体行业污染物排放标准》（DB31/374-2006），于 2007 年 2 月 1 日正式实施。该标准适用于半导体企业水污染物、大气污染物排放的管理，是全国第一个针对挥发性有机物（VOCs）制订限值的排放标准。2016 年，由上海市环境科学研究院对该标准的实施情况进行了评估。结合标准实施情况，以及十多年来上海市及国家在水和大气环境方面新的管理要求，建议对标准进行修订。2017 年 10 月，由上海市生态环境局下达标准修订任务。

## （二）主要工作过程

上海市环境科学研究院自标准修订任务下达后，主要工作进展情况如下：

（1）2017 年 10 月，课题组正式启动标准修订研究工作，着手开展了国内外资料调研工作，包括对国内外相关排放标准、污染物控制技术、上海市半导体企业近年发展情况等，同时课题组与国家电子工业污染物排放标准制订课题组保持紧密联系，随时掌握国家标准编制动态。2018 年 6 月，本修订标准纳入原上海市质量技术监督局 2018 年度第一批上海市地方标准制修订项目计划。

（2）2018 年 5 月，课题组召集上海市的集成电路制造、封装测试及分立器件企业代表及行业协会代表召开座谈会，了解企业环境管理现状，现行标准实施过程中遇到的问题，听取对标准修订的意见，并在会后收集了企业 2016 年和 2017 年的废水、废气监测数据。2018 年 7 月，课题组向集成电路制造企业发放了资料清单，进一步收集了有关污染治理设备、环境监测、无组织排放等方面的资料。2019 年 5 月，课题组参加了中国半导体协会举办的世界半导体大会，与行业协会代表及企业代表进一步沟通交流了环境标准的修订情况，听取企业意见。

（3）2018 年 5 月至 2021 年 1 月，课题组多次赴上海市松江、徐汇、张江、临港等区域开展半导体企业现场调研，了解企业实际生产和污染治理情况。同时，

还多次赴大连、北京、南通、无锡等地，了解外地半导体行业的发展和治理情况。

(4) 2018年8月至2019年7月，课题组选择上海市具有代表性的集成电路企业如华力、华虹宏力、台积电、中芯国际、安靠等，开展现场监测工作，监测内容包括废水中的VOCs、总有机碳、发光细菌抑制率；无组织排放的非甲烷总烃、VOCs、硫酸雾、氰化氢、苯、氯气、氯化氢等。

(5) 2021年2月，基于以上研究工作成果，形成修订标准的征求意见稿。

## 二、行业概况

### (一) 行业总体发展概况

我国实施制造强国战略的第一个十年行动纲领《中国制造2025》已经由国务院批准发布，明确了中国制造业“由大到强”的发展路径。新一代信息技术与制造业深度融合，正在引发影响深远的产业变革。新型电子产业具有规模大、技术进步快、产业关联度强等特征，是经济增长的重要引擎，更是我国国民经济重要战略性新兴产业。近年来，我国电子信息制造业发展总体势头良好，生产呈现快速增长态势，出口进入平稳增长区间，行业效益水平持续提升，固定资产投资保持高速增长。随着产业集中度的提升，产业区域聚集效应日益凸显，主要分布在长江三角洲、珠江三角洲、环渤海以及中西部区域，产业集聚效应及基地优势地位日益明显，在全球产业布局中的影响力不断增强。伴随着东部地区土地资源和矿产资源紧张，部分生产基地纷纷向中西部地区转移。空间分工已具雏形，主要体现在产业空间分工和价值链空间分工两大方面。珠江三角洲电子信息产业集群和福州厦门电子带包括深圳、东莞、中山、惠州、福州、厦门等地，是消费类电子产品、电脑零配件以及部分电脑整机的主要生产、组装基地，目前主要承担制造职能；长江三角洲电子信息产业集群，包括南京、无锡、苏州、上海、宁波等地，主要是笔记本电脑、半导体、消费电子、收集及零部件的生产、组装基地，目前除主要承担制造职能外还承担部分的研发职能，其中上海还是国内外知名IT公司总部的汇集地；环渤海电子信息产业集群，包括北京、天津、青岛、大连、济南等地主要从事通信、软件、元器件、家电的生产，目前除承担制造职能外还

承担研发职能，尤其是北京，是全国电子信息产品的研发、集散中心，国内外知名 IT 公司总部的汇集地；而成都、西安、武汉等地则主要是家电、元器件、军工电子的生产基地，目前主要承担制造职能。

上海是我国集成电路产业最集中、产业链相对最为完整、综合技术水平最高的产业基地。“十二五”期间以来，上海的集成电路产业销售收入呈现逐步持续稳定地增长态势。2019 年，全市上海集成电路产业实现销售收入 1705.56 亿元，占全国集成电路产业销售收入的 22.6%。

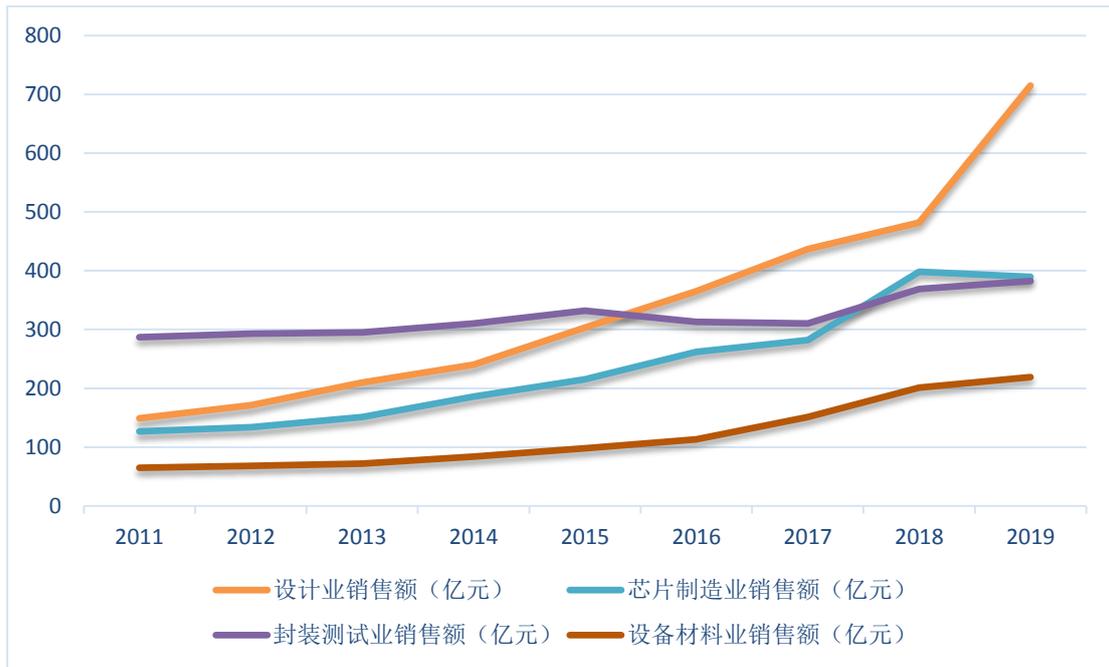


注：为进行同口径比较，上海集成电路产业规模仅包括 IC 设计业、芯片制造业及封装测试业，不包括设备材料业。

数据来源：2020 年上海集成电路产业研究报告

图 2-1 2011-2019 年上海集成电路产业销售规模情况

具体到产业中的各行业的发展而言，近年来，设计业保持两位数的快速增长，芯片制造业在 2012 年后随着半导体市场的新一轮发展周期增长明显趋快，封装测试业则处于低位平稳增长。



数据来源：2020 年上海集成电路产业研究报告

图 2-2 上海集成电路产业各行业销售额情况

与 2011 年相比，2019 年时的上海集成电路产业中，设计业比重由 23.7% 提升到 41.9%，芯片制造业比重基本保持在 20% 以上，封装测试业的比重则由 45.5% 逐步下降至 22.4%，产业链比重结构与世界先进的产业链比重结构逐步靠拢，越来越向合理和先进方向推进。

随着国家进一步贯彻落实《国家集成电路产业发展推进纲要》，以及《中国制造业 2025》等国家战略的实施，上海集成电路产业将展示出更为广阔的发展前景。

## （二） 行业技术发展情况

### 1. 芯片设计业

芯片设计企业从事的集成电路产品分布跨度很大，种类繁多，如移动智能终端、无线通信及互联网、智能卡、电源管理、显示驱动、电能计量及电力线载波通信、音视频多媒体、等各类芯片。MEMS（传感器）、汽车电子和高端通用芯片 64 位 CPU 和 FPGA（现场可编程门阵列芯片）等都是近几年研发和生产的新兴领

域产品。从技术水平上看，上海市集成电路设计业主流技术为 40-28-16/14nm，只能移动终端芯片先进设计技术 12nm 趋向成熟并正在扩展应用，最先进的智能手机 SoC 已达到 6nm 设计水平。

## 2. 芯片制造业

上海是我国大陆芯片制造企业相对最为集中、工艺技术水平相对最为先进的产业基地。上海芯片制造企业主要有中芯国际（上海）、华虹集团旗下上海华力和华虹宏力、台积电（中国）、积塔半导体、上海新进芯半导体和凸版中芯彩晶电子（上海）8 家企业。2019 年，中芯国际 14nm 顺利量产，华虹集团 28nm 工艺技术持续优化并实现量产，推进上海晶圆代工业产业规模进一步夸大，技术持续升级。目前，上海正在运营的 12 英寸晶圆生产线有 4 条，合计产能为 12.8 万片/月；8 英寸线 9 条，合计产能已提升至 53.4 万片/月；另有 3 条 6 英寸生产线和 1 条 5 英寸生产线，产能分别为 12.2 万片/月和 0.7 万片/月。在主要的工艺技术水平方面也已取得了跨越式的发展，逐渐缩小了与全球先进工艺技术的差距。目前，已引入和量产了 0.18 $\mu$ m、0.13 $\mu$ m、90nm、65-55nm、40nm 及 28nm 等 6 代工艺技术，10nm 和 7nm 工艺已在中芯国际进入研发阶段。同时，上海华虹宏力、台积电（中国）等主流 8 寸线企业在 0.18nm、0.13nm、90nm 工艺平台下开发了多种国内急需的特色工艺模块，嵌入式闪存、BCD 工艺、GeSi, BiCMOS, 1GBT、SOI、CMOS 图像传感器（CIS）、MEMS 等特色工艺模块已经为国内外客户进行量产代工。表 2-1 给出了目前上海市主要芯片制造企业的生产工艺和产能情况。

**表 2-1 上海市主要芯片制造企业生产工艺和产能情况**

企业	生产线	晶圆尺寸 (英寸)	工艺技术水平	产能 (万片/月)
中芯国际 (上海)	中芯南方	12	14-12nm	3.5
	中芯南方	12	14-10-7nm	3.5, 建设中
	Fab8	12	65-40-28nm	1.5
	Fab1	8	0.35-0.11 $\mu$ m	12
	Fab2			
	Fab8B	8	CMOS-MEMS 芯片	5
	Fab3B	8	0.13-90nm 铜互连	3

企业	生产线	晶圆尺寸 (英寸)	工艺技术水平	产能 (万片/月)
	Fab9	8	CMOS 图像传感器芯 载 彩色滤膜制作	1
华虹集团	华虹一厂	8	0.35-0.095 $\mu$ m	6.5
	华虹二厂	8	1.0-0.18 $\mu$ m	6
	华虹三厂	8	0.35-0.09 $\mu$ m	5.3
	华虹五厂	12	55-28nm	3.8
	华虹六厂	12	28-14nm	4.0
	华虹七厂	12	90-65nm	4.0
积塔半导体		12	65nmBCD	5 (在建)
		8	0.35-0.11 $\mu$ m	6 (在建)
上海先进	Fab1	8	0.50-0.25 $\mu$ m 数模混合	2.6
	Fab2	6	1.0- 0.8 $\mu$ mBCD/BiCMOS/IGBT	4.2
	Fab3	5	4.0-1.25 $\mu$ m 模拟	0.7
台积电 (中国)		8	0.35-0.13 $\mu$ m	13
上海新进		6	3.0-0.5 $\mu$ m 数模混合	6
上海新进芯		6	0.6-0.18 $\mu$ m 数模混合	3

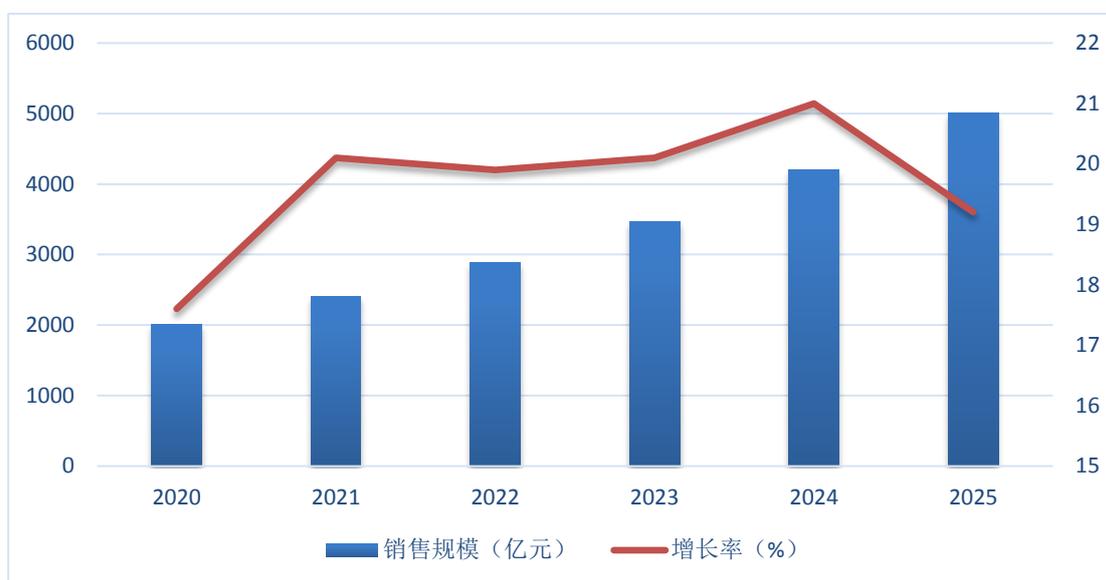
数据来源：2020 年上海集成电路产业研究报告

### 3. 芯片封装业

上海集成电路封装测试企业大多为世界主要封装测试厂商在上海的全资控股子公司，具有较大的产能规模和技术能力。近年来，随着国内移动智能终端芯片、无线通信芯片、新型高压功率模块和各种类型 MEMS 器件（传感器）等产品的迅速发展，对射频芯片、高压功率模块以及各种类型 MEMS 器件等的先进封装都提出了迫切需求，企业积极引进世界先进的封装测试技术，推动升级转型。技术上已从传统的插入式封装形式如 DIP（双列直插式封装）和 S1P（单列直插式封装）等升级到世界先进封装形式如球栅阵列（BGA）、PGA、倒装焊（Flip-Chip）、晶圆级封装（WLP）、芯片级封装（CSP），更先进的 3D/2.5D 叠层式封装也有小批量生产对此。

### （三） 行业发展规划与主要任务

自 2015 年开始，上海市政府以《国家集成电路发展推进纲要》为准则，针对《中国制造 2025》、“互联网+”等对集成电路产业新的需求为依据，结合国际领先水平的科创中心的建设，采取各项措施，推进上海集成电路产业的发展。根据《上海促进电子信息制造业发展“十三五”规划》，上海计划建成中国内地最为完备、技术最为先进、最具竞争力的集成电路产业体系，形成设计、制造、装备材料、封装测试联动发展，到 2020 年力争实现集成电路产业销售规模 2000 亿元，并开始向 2025 年实现产业规模 5000 亿元的新目标进军。“十四五”期间，争取至少 2 家芯片制造企业进入全球晶圆代工厂排名前 5 位。



数据来源：2020 年上海集成电路产业研究报告

图 2-3 上海集成电路产业发展“十四五”发展趋势预测

技术方面，预计到 2025 年，上海集成电路技术将进入全球先进行列，占据全国集成电路技术领先地位。上海 IC 设计骨干企业的先进设计技术进入 3nm 领域，与世界领先水平基本同步；7nmEUV 制造工艺已趋成熟，5nm FinFET 工艺进入量产，与世界先进工艺 3nm 技术的差距缩小到一代左右；先进封装技术，如 3D 堆叠封装、系统级封装（SiP）等在封装业产值中占比达 60%以上。

### 三、标准修订的必要性

#### (一) 国家与上海市相关政策和管埋要求

2007年，国家环境保护总局制定了《加强国家污染物排放标准制修订工作的指导意见》(国家环境保护总局公告2007年第17号)，意见中指出：应根据行业生产工艺和产品的特点，科学、合理地设置行业型排放标准体系。行业型排放标准体系设置应反映行业的实际情况，适应环境监督执法和管理工作的需要。

2013年，国务院发布《大气污染防治行动计划》(国发[2013]37号)，在行动计划中确定了十项具体措施，其中包括加大综合治理力度，减少污染物排放；加快企业技术改造，提高科技创新能力；健全法律法规体系，严格依法监督管理等。同年，上海市政府发布《上海市清洁空气行动计划》(2013-2017)，提出“以加快改善环境空气质量为目标，以大幅削减污染物排放为核心，深化拓展并加快落实能源、工业、交通、建设、农业、生活等六大领域的治理措施，大力推动生产方式和生活方式的转变，全面推进二氧化硫、氮氧化物、挥发性有机物、颗粒物等的协同控制和污染减排。”

2015年，国务院发布《水污染防治行动计划》(国发[2015]17号)，计划中提出要狠抓工业污染防治；全面排查装备水平低、环保设施差的小型工业企业；完善标准体系；健全重点行业水污染物特别排放限值、污染防治技术政策和清洁生产评价指标体系等。同年，上海市政府发布《上海市水污染防治行动计划实施方案》。

2019年1月，国家生态环境部联合国家卫生健康委发布《有毒有害大气污染物名录(2018年)》(生态环境部、国家卫生健康委员会公告2019年第4号)，共11项大气污染物被列入名录；2019年7月，国家生态环境部联合国家卫生健康委发布《有毒有害水污染物名录(第一批)》(生态环境部、国家卫生健康委员会公告2019年第28号)，共10项水污染物被列入名录。

综上，基于国家和上海市环境保护、污染防治有关的规划、政策、实施方案、管埋要求，基于国家环保标准有关的规划、管埋办法，对半导体行业应制订有针对性的污染物排放标准。

## （二） 半导体行业的主要环境问题

半导体行业生产过程中排放的废气包括有机废气、酸性废气以及碱性废气等。有机废气主要来源于清洗、光刻等工序大量使用的有机溶剂挥发，酸性废气主要来源于清洗工序中大量使用氢氟酸、硝酸、盐酸、硫酸，污染因子包括 HF、NO<sub>x</sub>、HCl、H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 等，这些污染物是生成酸雨的前提因子，也是生成二次细颗粒物 PM<sub>2.5</sub> 的前提因子。有机废气、酸性废气的排放转化为二次污染是导致形成区域性光化学烟雾、酸雨和灰霾/雾霾复合型污染物的重要原因之一。VOCs、NO<sub>x</sub>、PM<sub>2.5</sub> 是我国新时期推进区域大气污染防治联防联控的重点污染物。同时，半导体行业属于耗水量巨大的行业，由此产生的废水排放量也很大。因必须的电镀等工艺，还会产生重金属的排放，形成一定的环境风险。

## （三） 现行环保标准存在的问题

现行标准自2007年2月1日正式实施，对于规范本市半导体行业废水和废气处理处置起到了重要的作用。在标准实施至今的这十几年里，从国家到上海，环境管理要求和手段都发生了较大的变化，环境监管能力提升迅速。而国家和上海市环境标准的制定思路等也已几经变化。如挥发性有机物已经成为国家和上海重要的大气污染物监管重点，不仅对有组织排放加强了管理要求，还提出了对无组织排放的管理要求，但现行标准并未涉及无组织相关的管理要求。又如，半导体生产工艺一直在向前发展，其工艺和原材料使用等方面都出现了新的变化，有必要通过标准的修订，对控制因子进行新一轮的筛选。

# 四、 标准修订的原则及技术路线

## （一） 标准修订的原则

本标准的修订原则如下：

- 与环境管理要求协调原则

本标准为国家地方环境标准。根据我国相关法律要求，地方对国家污染物排放标

准中未作规定的项目，可以制定地方污染物排放标准；对国家污染物排放标准中已作规定的项目，可以制定严于国家污染物排放标准的地方污染物排放标准。因此，本标准的修订应与国家半导体行业相关的行业排放标准相协调，并与我国和上海现行有关环境法律法规、标准相协调，与环境保护发展的方针相一致。

- 广泛参与原则

标准的实施不仅涉及到行业企业，也包括各级环境管理部门。在标准修订期间，广泛邀请环境管理部门、行业协会、半导体企业、污染治理企业及行业专家等参与，综合各方面的意见，确保修订标准真实反应实际情况，并具有一定的前瞻性。

- 科学性与可行性原则

本标准的修订应结合国内外先进污染控制技术和本市半导体行业发展需求，合理设定限值，引导行业生产工艺进步和结构优化调整，使本标准的实施在技术上可行，经济上合理。

## （二） 标准修订的技术路线

本修订标准的技术路线如图 4-1 所示：

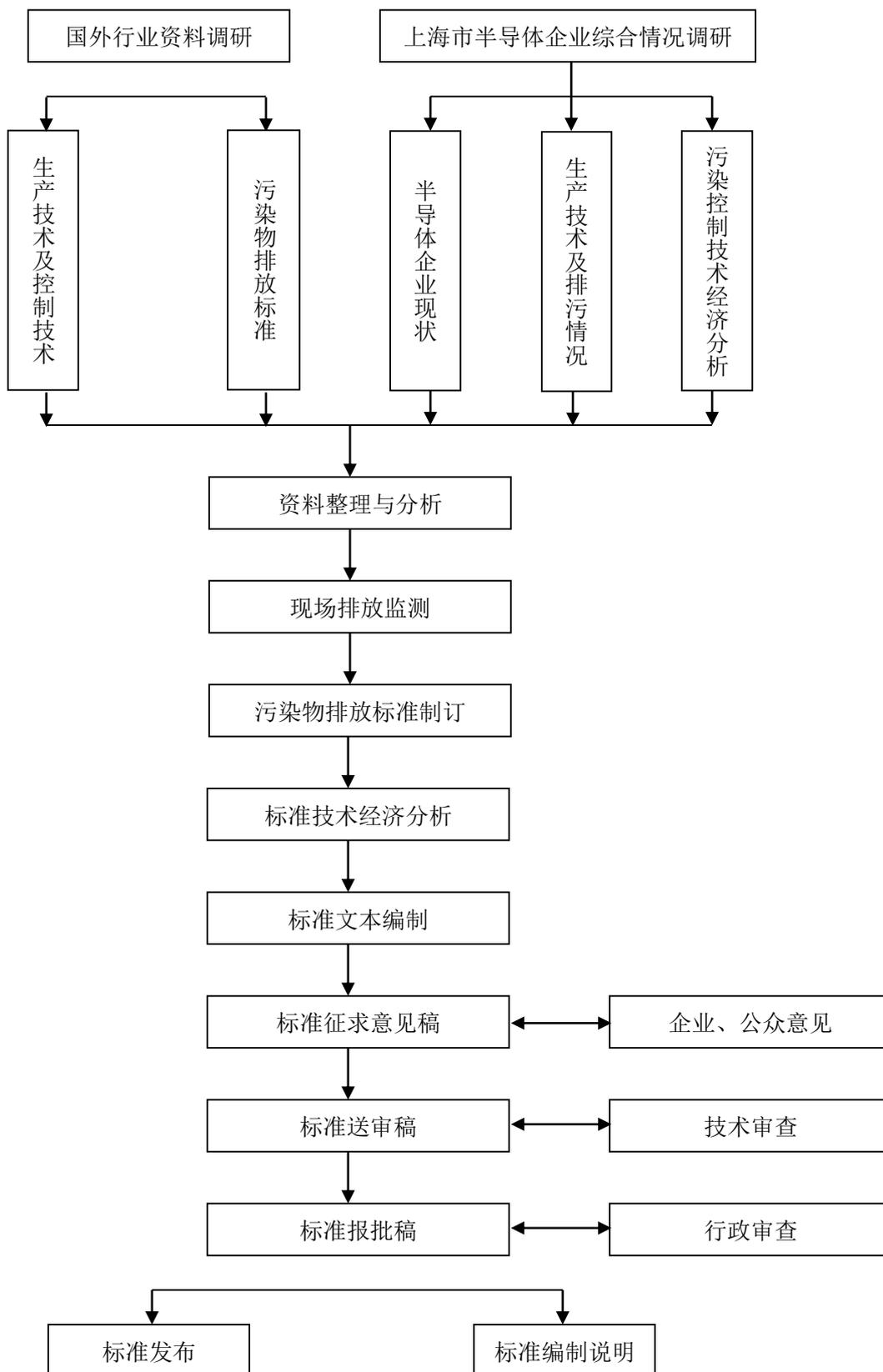


表 4-1 标准修订技术路线

## 五、国内外相关标准情况

### （一）国内半导体行业相关标准

#### 1. 国家电子工业污染物排放标准

国家环保部自 2005 年开始电子工业污染物排放标准的编制工作，就半导体行业单独制订相关的排放标准。至 2013 年后，开始将原有分为 6 个相关的电子行业标准合并为《电子工业污染物排放标准》。2015 年 10 月，该标准完成意见征求，2018 年完成二次征求意见。2020 年 12 月 8 日，《电子工业水污染物排放标准》正式发布，并将于 2021 年 7 月 1 日起实施。

该标准主要针对电子行业的工业废水排放制订了排放要求。提出了总镉、总铬、六价铬、总砷、总铅、总镍及总银等重金属一类污染物，以及包括氟化物等特征因子及化学需氧量等常规因子的直接排放和间接排放限值。同时，给出了不同半导体制造情况的基准排水量要求。

表 5-1 电子工业排放标准废水限值（单位：mg/L，pH 除外）

序号	指标	排放限值	
		直接排放	间接排放
1	pH 值	6-9	6-9
2	悬浮物（SS）	70	400
3	石油类	5	20
4	化学需氧量（COD <sub>Cr</sub> ）	100	500
5	总有机碳（TOC）	30	200
6	氨氮	25	45
7	总氮	35	70
8	总磷	1	8
9	阴离子表面活性剂（LAS）	5	20
10	总氰化物	0.5	1.0
11	硫化物	1	1
12	氟化物	10	20
13	总铜	0.5	2
14	总锌	1.5	1.5
15	总铅	0.2	

序号	指标	排放限值	
		直接排放	间接排放
16	总镉	0.05	
17	总铬	1.0	
18	六价铬	0.2	
19	总砷	0.5	
20	总镍	0.5	
21	总银	0.3	

对半导体行业污水集中处理设施运营单位，要求自 2024 年 1 月 1 日起，监测废水的综合毒性。但该项目为指导性指标，运营单位根据监测结果采取相应的控制措施。

**表 5-2 综合毒性控制项目**

序号	控制项目名称	排放水平参考值
1	斑马鱼卵急性毒性 <sup>(1)</sup>	≤6

注：（1）已最低无效应稀释倍数来表征，在 26℃±1℃的条件下培养 48h，不少于 90%的斑马鱼卵存活时水样的最低稀释倍数。

## 2. 北京电子工业大气污染物综合排放标准

北京市生态环境局于 2019 年发布了《电子工业大气污染物综合排放标准》（DB11/1631-2019），标准适用于电子工业的大气污染物排放控制，包括电子专用材料、电子元件、印制电路板、半导体器件、显示器件及光电子器件、电子终端产品。

标准中电子工业的排气筒大气污染物排放制订了限值要求，并确定了两个时段的控制要求。现有污染源自本标准实施之日起至 2020 年 3 月 31 日止执行第 I 时段规定的限值，自 2020 年 4 月 1 日起执行第 II 时段规定的限值。新建污染源自本标准实施之日起执行第 II 时段规定的限值。

**表 5-3 排气筒大气污染物浓度排放（单位：mg/m<sup>3</sup>）**

序号	污染物项目	排放浓度限值	
		I 时段	II 时段
1	颗粒物	10	
2	氯化氢	10	
3	氮氧化物	50	
4	硫酸雾	5.0	
5	氰化氢	0.5	
6	氟化物（以 F 计）	3.0	
7	氯气	3.0	
8	氨	10.0	
9	苯	1	0.5
10	甲醛	5.0	
11	苯系物	15	8
12	非甲烷总烃（NMHC）	20	10
13	锡及其化合物	1.0	

对于 VOC 燃烧（焚烧、氧化）装置提出了氮氧化物和二噁英类排放限值。

**表 5-4 燃烧装置大气污染物排放限值（单位：mg/m<sup>3</sup>）**

序号	污染物项目	排放限值（第 I 阶段/第 II 阶段）
1	NO <sub>x</sub>	100
2	二噁英类	0.1 ng-TEQ/m <sup>3</sup>

标准中提出了厂界污染物监控要求，主要针对有毒有害大气污染物进行管控。

**表 5-5 企业边界大气污染物浓度限值（单位：mg/m<sup>3</sup>）**

序号	污染物项目	浓度限值
1	苯	0.1
2	甲醛	0.05
3	氯化氢	0.01
4	氰化氢	2.4×10 <sup>-3</sup>
5	氯气	0.02
6	硫酸雾	0.3

### 3. 江苏省半导体行业标准

江苏省生态环境厅组织开展了地方《半导体行业污染物排放标准》的研究编制工作，于 2020 年 2 月 6 日发布，2020 年 3 月 1 日实施。

该标准中分别制订了水和大气方面的排放标准。水污染排放标准方面，提出了直接排放限值、特别排放限值和简介排放限值要求。

表 5-6 水污染物浓度排放（单位：mg/m<sup>3</sup>）

序号	指标	直接排放限值	特别排放限值	间接排放限值
1	总镉	0.05	0.01	0.05/0.01
2	总铬	0.5	0.5	0.5/0.5
3	六价铬	0.1	0.1	0.1/0.1
4	总砷	0.2	0.1	0.2/0.1
5	总铅	0.2	0.1	0.2/0.1
6	总镍	0.5	0.1	0.5/0.1
7	总银	0.3	0.1	0.3/0.1
8	氟化物	10	8	15
9	总铜	0.3	0.3	0.3
10	总锌	1	1	1
11	硫化物	1	1	1
12	总氰化物	0.2	0.2	0.2
13	pH	6-9	6-9	6-9
14	悬浮物（SS）	50	20	250
15	化学需氧量（COD <sub>Cr</sub> ）	60	50	300
16	氨氮	10	8	20
17	总氮	15	10	35
18	总磷	1	0.5	3
19	石油类	3	1	5
20	阴离子表面活性剂（LAS）	1	0.5	1
21	总有机碳（TOC）	20	15	90

废气方面，制定了 18 项指标的最高允许排放浓度限值。

**表 5-7 排气筒大气污染物浓度排放（单位：mg/m<sup>3</sup>）**

序号	污染物项目	最高允许排放浓度
1	颗粒物	20
2	硫酸雾	5.0
3	氯化氢	10
4	氟化物（以F计）	1.5
5	氮氧化物	50
6	氰化氢	0.5
7	氯气	5.0
8	氨	10
9	锡及其化合物	1.0
10	砷化氢	1.0
11	磷化氢	1.0
12	异丙醇	40
13	三氯乙烯	1.0
14	苯	1.0
15	苯系物	25
16	甲醛	5.0
17	非甲烷总烃	50
18	TVOC	100

此外，针对无组织排放，制定了企业边界的大气污染物浓度限值要求。

**表 5-8 企业边界的大气污染物浓度排放（单位：mg/m<sup>3</sup>）**

序号	污染物项目	浓度限值
1	氯化氢	0.2
2	氰化氢	0.024
3	氯气	0.4
4	硫酸雾	1.2
5	氨	1.0
6	甲醛	0.2
7	苯	0.4
8	非甲烷总烃	2.0

#### 4. 天津工业企业挥发性有机物排放控制标准

天津市环保局在 2014 年发布了《工业企业挥发性有机物排放控制标准》(DB12/524-2014), 该标准规定了石油炼制与石油化学、医药制造、橡胶制品制造、涂料与油墨生产、塑料制品制造、电子工业、汽车制造与维修、印刷与包装印刷、家具制造、表面涂装、黑色金属冶炼及其他行业挥发性有机物的排气筒排放浓度及排放速率限值、无组织泄漏与逸散污染控制要求、厂界监控点浓度限值、管理规定和监测要求。

针对半导体制造行业, 针对清洗、显影、光刻、刻蚀等工艺提出了苯、甲苯和二甲苯、VOCs 等 3 项指标的排放限值。该标准分别规定了现有企业和新建企业的最高允许排放浓度和在不同排放高度的最高允许排放速率。此外, 该标准中还规定了半导体企业 VOCs 厂界环境空气执行的浓度限值。

**表 5-9 现有企业排气筒污染物排放限值**

行业	工业设施		污染物	最高允许排放浓度 (mg/m <sup>3</sup> )	最高允许排放速率 (kg/h)				
					15m	20m	30m	40m	50m
电子工业	半导体制造	清洗、显影、光刻、刻蚀等工艺	苯	1	0.2	0.4	1.0	1.4	1.8
			甲苯与二甲苯合计	30	1.0	2.0	7.0	12.0	20.0
			VOCs	80	2.0	4.0	14.0	22.0	38.0

**表 5-10 新建企业排气筒污染物排放限值**

行业	工业设施		污染物	最高允许排放浓度 (mg/m <sup>3</sup> )	最高允许排放速率 (kg/h)				
					15m	20m	30m	40m	50m
电子工业	半导体制造	清洗、显影、光刻、刻蚀等工艺	苯	1	0.2	0.3	0.9	1.2	1.5
			甲苯与二甲苯合计	10	0.5	1.7	6.0	10.2	17.0
			VOCs	20	0.7	3.4	11.9	18.7	32.3

## （二） 国外和地区半导体行业相关标准

### 1. 美国半导体行业空气污染物排放标准

1992年7月16日，联邦公报公布了首份主要污染源目录（57 FR 31576）。“半导体制造”在列，被认为是大气主要污染源之一。由此，美国制订了针对半导体行业的有害空气污染物排放标准。该标准适用于半导体制造行业，包括硅晶棒生长、半导体晶圆制造、半导体测试和封装。适用的工业分类为美国工业分类标准（SIC）3674 或 NAICS 334413。EPA 于 2002 年 5 月 8 日发布了该标准的草稿，听取公众意见，并于 2003 年 5 月 22 日发布了最终稿。2006 年 10 月 19 日发布了标准修正稿的征求意见稿，最终稿则于 2008 年 7 月 22 日正式发布。

标准认为晶体生长、半导体芯片制造、半导体测试和封装过程及在半导体制造点的研究与开发中置于工艺中的通风口和储存罐是 HAP 的排放源。其中超过 90% 的 HAP 排放来自于通风口。氯化氢（HCl）、氟化氢（HF）、乙二醇醚、甲醇和二甲苯的排放占 HAP 总排放的 90% 以上，因此认为它们是主要的 HAP 排放物。

标准对新源和现源的排放要求一致。标准要求对工艺中通过通风口排放的有机 HAP 削减其总量的 98%，或者将其排放控制在 20ppmv 或以下；对工艺中通过通风口排放的无机 HAP 削减其总量的 95%，或者将其排放控制在 0.42ppmv 或以下；对工艺中通过合并通风口排放的无机及有机 HAP 的，需将其排放控制在 14.22ppmv 或以下；对体积大于等于 1500 升储存罐排放的无机 HAP 削减其总量的 95%，或者将其排放控制在 0.42ppmv 或以下。此外，若企业安装了污染处理设备，而 HAP 的进口浓度小于等于 20ppmv 时，企业可提供设计评估（design evaluation）证明可达到标准要求的削减率。

现源自 2003 年 5 月 22 日起三年内需达到该标准；新源和在建源自建成之日或 2003 年 5 月 22 日起达到该标准。

根据 EPA 报告，目前在美国的半导体制造企业污染源中，只有一个属于主要污染源，其余污染源通过采用各种废气处理技术，其排放已不属于主要污染源。

## 2. 美国半导体行业废水污染物排放标准

环保法规 40CFR 的第 I 章环境保护第 N 子章为出水限值准则和标准。其中第 469 分部是有关电子行业的水排放标准，即“电和电子部件点源类 (Electoral and Electron Components Source Category)”。它分为四个子分部：子分部 A——半导体类；子分部 B——电子晶体类；子分部 C——阴极射线管类；子分部 D——发光物类，对这四种产品生产过程中产生的废水排放分别制定了排放限值和标准。

子分部 A 是针对半导体行业制定的排放标准，适用于除阴极溅镀，蒸镀和电镀以外半导体工艺中产生的废水。主要控制因子为：总有毒有机物 (Total Toxic Organs, TTO)、氟化物和 pH。子分部 B 则针对电子晶体类产品生产的排放标准，控制因子增加了砷和总悬浮物。在控制手段上，按最佳实用技术 (BPT)、最佳可得技术 (BAT)、现源预处理标准 (PSES)、新源实施标准 (NSPS)、新源预处理标准 (PSNS) 和常规污染物最佳控制技术 (BCT) 分别制定了标准。

表 5-11 美国电子行业水排放标准自分部 A——半导体行业

控制技术 标准	TTO (mg/L)		总氟化物 (mg/L)		pH	
	日最大值	连续 30 天的 日平均值	日最大值	连续 30 天的 日平均值	日最大值	连续 30 天的 日平均值
BPT	1.37	不适用	--	--	6-9	6-9
BAT	1.37	不适用	32	17.4	6-9	6-9
PSES	1.37	不适用	--	--	--	--
NSPS	1.37	不适用	32	17.4	6-9	6-9
PSNS	1.37	不适用	--	--	--	--
BCT	--	--	--	--	6-9	6-9

表 5-12 美国电子行业水排放标准自分部 B——电子晶体行业

控制技术 标准	TTO (mg/L)		总氟化物 (mg/L)		砷 (mg/L)		TSS (mg/L)		pH	
	日最 大值	连续 30 天 的日平均值	日最 大值	连续 30 天的 日平均值	日最 大值	连续 30 天的 日平均值	日最 大值	连续 30 天的 日平均值	日最 大值	连续 30 天的 日平均值
BPT	1.37	不适用	32	17.4	2.09	0.83	61	23	6-9	6-9
BAT	1.37	不适用	32	17.4	2.09	0.83	--	--	--	--

控制技术标准	TTO (mg/L)		总氟化物 (mg/L)		砷 (mg/L)		TSS (mg/L)		pH	
	日最大值	连续 30 天的日平均值	日最大值	连续 30 天的日平均值	日最大值	连续 30 天的日平均值	日最大值	连续 30 天的日平均值	日最大值	连续 30 天的日平均值
PSES	1.37	不适用	--	--	2.09	0.83	--	--	--	--
NSPS	1.37	不适用	32	17.4	2.09	0.83	61	23	6-9	6-9
PSNS	1.37	不适用	--	--	2.09	0.83	--	--	--	--
BCT	--	--	--	--	--	--	61	23	6-9	6-9

### 3. 德国半导体行业水污染物排放标准

德国废水排放法令由德国联邦环境、自然保护与核安全部颁布。该法令针对排入接纳水体点源的废水排放。其附录中给出了共 46 个不同点源（行业）的废水排放标准。其中第 54 项为针对半导体部件生产制定的排放标准。适用范围是半导体部件和太阳能电池生产过程产生的废水，包括预处理、中间处理和后期处理，但不适用于来自间接冷却系统或工艺用水处理系统（包括使用膜技术生产超滤水）产生的废水。该标准分别对排放点、废水混合前以及废水产生点分别制定了标准。主要控制因子有：可吸附有机卤素（AOX）、砷、苯及其衍生物以及铅、铬、铜、镍、银、锡、硫化物、氰化物和氯等。针对不同性质的废水有不同的控制因子。表 5-14 是生产废水与其他水混合前要求达到的标准。

**表 5-13 废水与其他水混合前标准**

污染物	合格随机样本 (Qualified random sample) 或两小时混合样本 (mg/L)	随机样本 (mg/L)
可吸附有机卤素 (AOX)	-	0.5
砷	0.2	-
苯及其衍生物	0.05	-

此外，该标准另行规定了电镀废水应达到的排放标准。

**表 5-14 电镀过程废水标准**

污染物	随机样本 (mg/L)
铅	0.5
总铬	0.5

污染物	随机样本 (mg/L)
六价铬	0.1
铜	0.5
镍	0.5
银	0.1
锡	2
硫化物	1
挥发性氰化物	0.2
游离氯	0.5

#### 4. 世界银行污染预防和削减手册的相关标准

世界银行《污染预防和削减手册》给出了代表世界银行通常可接受的排放物水平，应用于世界银行集团进行项目决策，关于半导体企业的的废气排放标准见表 5-14，废水排放标准见表 5-15。

**表 5-15 电子制造业的废气排放标准**

参数	最大值 (mg/m <sup>3</sup> )
氯化氢	10
氟化氢	5
磷化氢	1
砷	1
VOC	20

**表 5-16 世界银行废水排放标准**

项目	标准 (mg/L)
pH	6-9
TSS	50 (月平均为: 20)
BOD	50
油脂	10
磷	5
氟化物	20
氨氮	10
总氰化物	1

项目	标准 (mg/L)
自由氰化物	0.5
总氯碳化合物和氢氯碳化合物	0.5
总金属	10
砷	0.1
六价铬	0.1
镉	0.1
铜	0.5
铅	0.1
汞	0.01
镍	0.5
锡	2.0

注：该废水标准适用于直接排到地表水。

## 5. 中国台湾半导体行业气污染物排放标准

台湾于 1999 年 1 月 6 日发布了《半导体制造业空气污染管制及排放标准》，并于同年 4 月和 2002 年 10 月进行了两次修正。标准共有 10 条，自发布之日起施行。

该标准适用于半导体制造业，即指从事集成电路晶圆制造、晶圆封装、磊晶、光罩制造、导线架制造等作业者。但对一些原料年用量较小的生产者，不适用该标准。

标准主要涉及的污染因子为挥发性有机物 VOC（以甲烷计）、三氯乙烯、硝酸/盐酸/磷酸/氢氟酸和硫酸。以削减率制定了排放标准，同时也给出总排放量的标准，两者供选择。

**表 5-17 台湾半导体行业大气排放标准**

空气污染物	排放标准
挥发性有机物	排放削减率应大于 90% 或工厂总排放量应小于 0.6kg/h（以甲烷为计算基准）。
三氯乙烯	排放削减率应大于 90% 或工厂总排放量应小于 0.02kg/h。
硝酸、盐酸、磷酸及氢氟酸	各污染物排放削减率应大于 95% 或各污染物工厂总排放量应小于 0.6kg/h。

空气污染物	排放标准
硫酸	排放削减率应大于 95% 或工厂总排放量应小于 0.1kg/h。

依照标准规定，台湾半导体制造业中符合标准适用范围的作业者，其全厂挥发性有机物（VOC）及硝酸、硫酸、盐酸、磷酸、氢氟酸等无机酸年使用量超过规定限值者，皆应纳入管制。业者应于标准发布日后三个月内（1999 年 4 月 6 日）向中央及地方主管机关提报污染防治计划书，规定既设工厂自 2000 年 7 月 1 日起符合排放标准规定。该项标准中除排放削减率或总排放量之规定外，当全厂挥发性有机物年使用量超过 50t 或每小时高于 0.6kg 时，应于防治设备入口或排放口装设浓度监测仪器。此外，业者需每月记录挥发性有机物及无机酸的输入及输出量、削减量，每日则需记载防治设备主要操作参数、保养维护事项，装有浓度侦测器者每日亦需记录去除率或排放量，未装设浓度监测器的业者则要求每年需定期检测废气处理前后污染物浓度一次，其各项使用、操作及检测记录，则需每季向当地主管机构申报并保存两年。

## 6. 台湾晶圆制造及半导体制造业放流水标准

台湾于 2011 年发布了的行业放流水标准中涉及电半导体行业的标准为“晶圆制造及半导体制造业放流水标准”（环署水字第 1000103879 号令订定发表）。标准中包括水温、化学需氧量、悬浮固体物、总毒性有机物等 28 种管制项目，除总毒性有机物为新增项目外，其它项目限值与“放流水标准”中的“金属表面处理业、电镀业”的限值相同。

**表 5-18 台湾地区电子行业相关的废水排放标准限值(单位: mg/L, pH 除外)**

序号	项目	标准限值
1	悬浮物	30/30
2	COD <sub>Cr</sub>	100/100
3	pH 值	6.0~9.0
4	油脂	10
5	酚类	1.0
6	阴离子表面活性剂 (LAS)	10
7	氨氮	10/20 (水源保护区内/外)
8	硝酸盐氮	50

序号	项目	标准限值
9	正磷酸盐	4.0（水源保护区内）
10	氰化物	1.0
11	氟化物	15
12	硫化物	1.0
13	溶解性铁	10
14	镉	0.03
15	砷	0.5
16	硒	0.5
17	硼	1.0
18	银	0.5
19	六价铬	0.5
20	总铬	2.0
21	总汞	0.005
22	铅	1.0
23	镍	1.0
24	铜	3.0
25	锌	5.0
26	总毒性有机物	1.37

### （三）上海市综合排放标准

#### 1. 上海市水污染物综合排放标准

上海市于 1997 年发布了地方的《污水综合排放标准》（DB31/199-1997），于 2009 年完成了第一次的修订（DB31/199-2009），2018 年完成了第二次修订（DB31/199-2018）。新修订的标准中，制订了 17 项第一类污染物和 92 项第二类污染物的排放限值。根据排放水域功能区的不同，制订了不同级别的排放限值要求。

针对半导体行业的各类特征排放因子，这一地方综排标准中的限值要求见表 5-19 和表 5-20。

**表 5-19 地方综排标准部分一类水污染物项目排放限值（单位：mg/L）**

序号	污染物项目	排放限值
1	总镉	0.01
2	总铬	0.5
3	六价铬	0.1
4	总砷	0.05
5	总铅	0.1
6	总镍	0.1
7	总银	0.1

**表 5-20 地方综排标准部分一类水污染物项目排放限值（单位：mg/L）**

序号	污染物项目	一级标准	二级标准	三级标准
1	氟化物	5	8	20
2	总铜	0.2	0.5	2.0
3	硫化物	0.5	1.0	1.0
4	总氰化物	0.1	0.2	0.5
5	pH	6-9	6-9	6-9
6	悬浮物	20	30	400
7	生化需氧量	10	20	300
8	化学需氧量	50	60	500
9	总有机碳	15	20	150
10	氨氮	1.5 (3)	5 (8)	45
11	总氮	10 (15)	15 (20)	70
12	总磷	0.3	0.5	8
13	石油类	1.0	3.0	15
14	阴离子表面活性剂 (LAS)	3	5	20
15	总锌	1.0	2.0	5.0

## 2. 上海市大气污染物综合排放标准

为加强上海市大气污染控制力度，上海市于 2015 年 11 月发布了地方的《大气污染物综合排放标准》(DB31/933-2015)。该标准中，制订了 70 项污染因子的排放限值要求，并于附录 A 中列出了 15 重重金属物质和 121 种有机物质为主的

污染因子的排放浓度限值。针对致癌物和其他有机物，在附录 A 中也列出了基于工业场所有害物质相关标准《工业场所有害因素职业接触限值》（GBZ2）中规定的 8 小时时间加权平均容许浓度值的排放浓度参考限值。同时，标准中针对厂界大气污染物监控点给出了 22 个因子的浓度限值，并于厂区内大气污染物监控点的非甲烷总烃提出了浓度限值要求 10mg/m<sup>3</sup>。

针对半导体行业的各类特征排放因子，新出台的地方综排标准中的限值要求见表 5-21。

**表 5-21 地方综排标准部分大气污染物项目排放限值**

序号	污染物项目	最高允许排放浓度 (mg/m <sup>3</sup> )	最高允许排放速率 (kg/h)
1	硫酸雾	5	1.1
2	磷酸雾	5	0.55
3	硝酸雾	10	1.5
4	氯化氢	10	0.18
5	氟化物	5	0.073
6	非甲烷总烃	70	3
7	砷化氢	1.0	0.0036
8	磷化氢	1.0	0.022

**表 5-22 地方综排标准部分大气污染物项目厂界监控点浓度限值**

序号	污染物项目	最高允许排放浓度 (mg/m <sup>3</sup> )
1	氰化氢	0.024
2	氯气	0.1
3	氯化氢	0.15
4	非甲烷总烃	4

## 六、 半导体行业污染物排放状况及污染防治技术分析

半导体企业引起最大的关注在于该行业使用了大量繁多的有机物，这些物质对环境的影响往往较大。但半导体行业本身也通过工艺改进，努力减少对环

境的影响。以集成电路制造为例，其清洗技术在过去的 30 多年里有了很大的改进。上世纪 70 年代主要使用有机溶剂清洗晶片，从而对环境产生了很大的影响，到了 80 年代开始使用硫酸等酸碱溶液对晶片进行清洗，90 年代开发了可使用等离子氧进行清洗的技术。目前国内的集成电路制造企业中，使用量最大的是用于清洗的硫酸溶液，而有机溶剂主要是一些显影液、光刻胶、剥离液以及异丙醇溶液等。在集成电路封装方面，目前多数企业采用电镀的工艺，产生重金属对环境的污染。但现在，部分封装厂已不使用电镀工艺，从而不存在重金属对环境的影响。自上海市半导体排放标准发布实施后，本市半导体相关企业在生产技术上发展迅速，但从污染物排放类型及其治理技术而言，并没有显著的变化。业内针对不同类型污染物所采用的治理技术具有普遍性，都是相当成熟的控制技术，也是现有标准制订时所认定的适用技术。

## （一） 产污节点

图 6-1、图 6-2 和表 6-1 分别给出了集成电路制造和封装过程主要生产工序材料消耗与污染物排放情况。

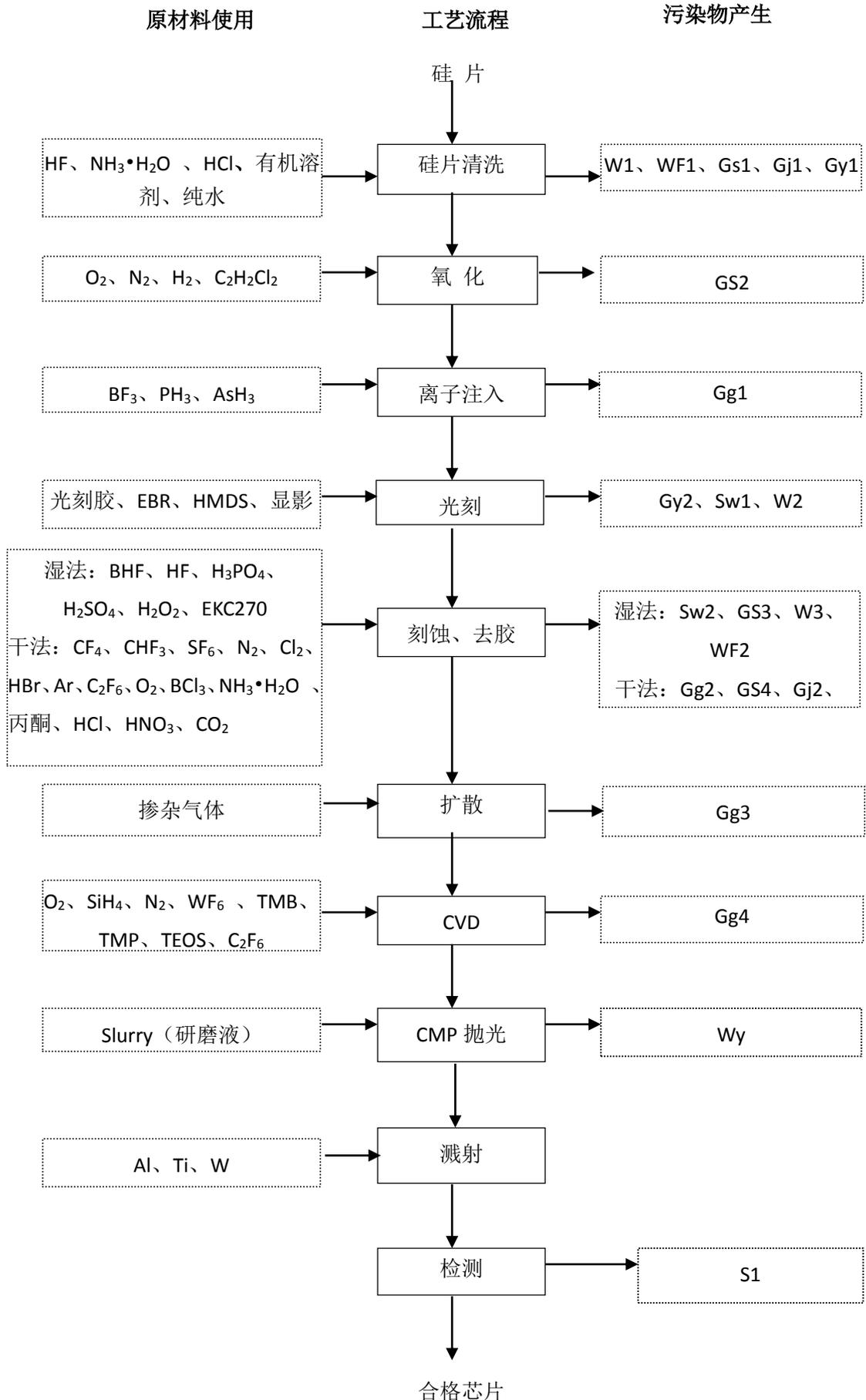


图 6-1 集成电路制造主要生产工序材料消耗与污染物排放示意

表 6-1 集成电路制造工艺污染物排放情况

类别		编号	污染来源	产生的主要污染物种类
废水	酸、碱废水 (以 W 表示)	W1	硅片清洗	碱性废水、酸性废水
		W2	光刻	废显影液
		W3	湿法腐蚀	含磷酸、硫酸废水
		W4	干法腐蚀	氨水、硝酸、盐酸废水
	含氟废水 (以 WF 表示)	WF1	硅片清洗	含氢氟酸废水
		WF2	湿法腐蚀	含氢氟酸废水
	研磨废水 (以 Wy 表示)	Wy	CMP 抛光	CMP 废水
废气	酸性废气 (以 Gs 表示)	Gs1	硅片清洗	盐酸 (挥发)
		Gs2	氧化	HCl (二氯乙烷转化)
		Gs3	湿法腐蚀	磷酸、硫酸 (挥发)
		Gs4	干法腐蚀	硝酸、盐酸 (挥发)
	碱性废气 (以 Gj 表示)	Gj1	硅片清洗	氨水挥发
		Gj2	干法腐蚀	氨水 (挥发)
	有机废气 (以 Gy 表示)	Gy1	硅片清洗	丙酮、异丙醇等有机溶剂废气
		Gy2	干法腐蚀	
	工艺废气 (以 Gg 表示)	Gg1	离子注入	掺杂气体尾气
		Gg2	干法腐蚀	特殊气体尾气
		Gg3	扩散	掺杂气体尾气
		Gg4	CVD	掺杂气体尾气

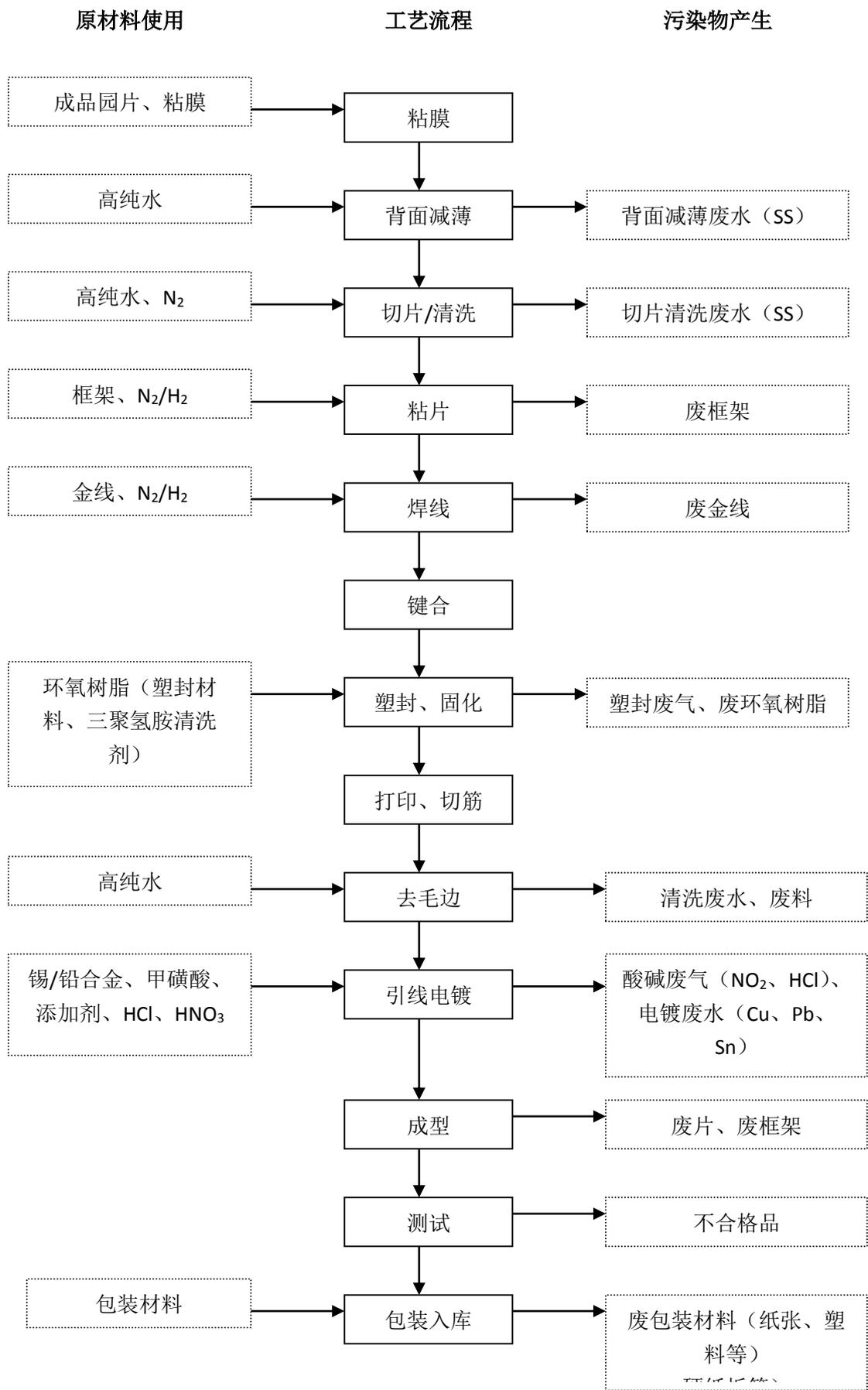


图 6-2 封装主要生产工序材料消耗与污染物排放示意图

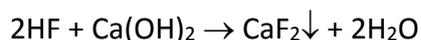
## (二) 废水排放及治理

半导体制造及封装测试的各个工艺步骤都有大量的废水产生。主要以酸碱废水、含氟废水、有机废水为主。

### 1. 含氟废水

含氟废水是半导体制造业产生的主要污染废水。氢氟酸由于其氧化性和腐蚀性成为氧化和刻蚀工艺中使用到的主要溶剂，工艺中含氟废水主要来自芯片制造过程中的扩散工序及化学机械研磨工序。在对硅片及相关器皿的清洗过程中也多次用到氢氟酸。所有这些过程是在专用的蚀刻槽或清洗设备中完成，因此含氟废水可以做到独立排放。按浓度可将其分为高浓度含氟废水和低浓度含氟废水，一般高浓度的含氟废水出水浓度可达 1000-1200mg/L。大多数企业对这部分废水进行回收利用。

含氟废水的治理技术主要为化学沉淀法，即投加化学药品形成氟化物沉淀或氟化物被吸附于所形成的沉淀物中而共沉淀，然后分离固体沉淀物即可除去氟化物。在半导体行业中，通常使用一级或二级沉淀，投加  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  或  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  和  $\text{CaCl}_2$  的混合物产生难溶于水的  $\text{CaF}_2$  沉淀。石灰沉淀的化学反应为：



在钙的化学计量浓度下，氟化钙的理论最大溶解度约为 8mg/L。因此，氟化钙浓度超过此溶解度极限后即产生沉淀物，但其形成的速率较慢。若与石灰接触时间达 24 小时，则氟化物浓度可降至理论极限浓度 8mg/L。石灰沉淀的缺陷是沉淀物的沉降特性较差。若加多过量石灰，可进一步降低氟化物浓度，但相应的化学药剂费用增加，同时出水中钙浓度、pH 值和污泥量也将增高。通常，企业会使用  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  和  $\text{CaCl}_2$  的混合物用于沉淀处理。加入氯化钙可增加可溶性钙的浓度，但不改变 pH 值。

沉淀后的含氟污泥经过处理可以用于制砖等回收再利用。

### 2. 酸碱废水

半导体行业中对芯片的清洗要求很高，在集成电路制造过程中几乎每道工序

都要对芯片进行清洗。目前，在集成电路制造过程中，硫酸和双氧水是使用最多的清洗液。同时，还会用到硝酸、盐酸和氨水等酸碱试剂。制造工艺的酸碱废水主要来自芯片制造过程中的清洗工序。在封装工艺中，芯片在电镀和化学分析过程中采用酸碱溶液处理，处理后需要用纯水洗涤，产生酸碱洗涤废水。此外，在纯电站中也会用到氢氧化钠和盐酸等酸碱试剂对阴阳离子树脂进行再生处理，产生酸碱再生废水。酸碱废水洗涤过程中也会产生洗涤尾水。在集成电路制造企业中，酸碱废水呈现水量特别大的现象。

对于酸碱废水处理前的 pH 值一般在 3-11 范围内，时间间歇性强。在排放水体或进行生物处理或化学处理之前，必须进行中和，使废水 pH 值达到 6.5-8.5。但对于工业废水中酸碱物质浓度高达 3%-5%的废水，应首先考虑其回收。一般低浓度的酸碱废水则无回收价值，必须进行中和。对于酸性废水一般通过酸碱废水相互中和、投药中和与过滤中和等三种方法。对于碱性废水，一般有酸碱废水相互中和、加酸中和与烟道气中和等三种方法。酸性废水的中和利用企业本身产生的酸碱废水混合中和，节省了中和剂的使用，相对处理设备较为简单，易于管理。但是要求酸碱当量平衡，否则仍需加入中和剂进行调解。投药中和法的适应性强且适用于酸性废水种种技术离子较多时，投药中和的同时也可进行对于金属离子的去除。该方法的中和效果好，出水 pH 值可保证达到预定值。存在的问题是管理复杂，产生污泥量大和处理费用较高。

另一方面，半导体生产过程的刻蚀工序等会大量使用氨水、氟化铵及用高纯水清洗，由此产生高浓度的含氨废水排放，部分企业讲其视为碱性废水。通常，这部分废水的处理方法包括次氯酸钠氧化法、吹脱法、硝化反硝化法等。

吹脱法用于处理高浓度氨氮废水具有流程简单、处理效果稳定、基建费和运行费较低等优点，实用性较强。处理生产过程中排放的含  $\text{NH}_4\text{OH}$  和  $\text{NH}_4\text{F}$  废水，通过调节 pH 至碱性，经脱气塔吹脱走废水中的氨气，使  $\text{NH}_4^+$  浓度降至 100ppm 以下，检测合格后排入废水站氟处理系统，再进一步除  $\text{F}^-$ ；不合格的水将回流再处理。吹脱出来的氨气到吸收塔中，加酸吸收成  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ，气体循环回脱气塔， $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  收集后委托外运。

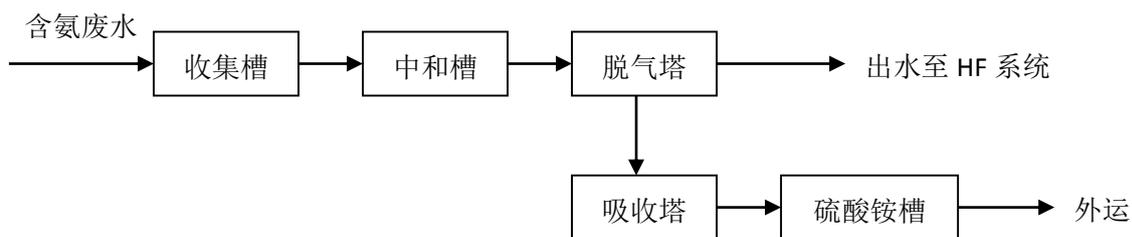


图 6-3 吹脱法处理含氨废水流程图

### 3. 含氨废水

半导体器件行业在生产过程中会使用氨水作为清洗剂，总进口浓度较高，会产生高浓度的含氨废水，企业会建设含氨废水处理设施去除氨氮后，再进入企业后续的污水治理设施。其处理方法包括次氯酸钠氧化法、吹脱法、硝化反硝化法等。

吹脱法用于处理高浓度氨氮废水具有流程简单、处理效果稳定、基建费和运行费较低等优点，实用性较强。处理生产过程中排放的含  $\text{NH}_4\text{OH}$  和  $\text{NH}_4\text{F}$  废水，通过调节 pH 至碱性，经脱气塔吹脱走废水中的氨气，使  $\text{NH}_4^+$  浓度降至 100ppm 以下，检测合格后排入废水站氟处理系统，再进一步除 F<sup>-</sup>；不合格的水将回流再处理。吹脱出来的氨气到吸收塔中，加酸吸收成  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ，气体循环回脱气塔， $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  收集后委托外运。

### 4. 有机废水

半导体行业的生产过程中用到大量有机溶剂，有几十种之多。由于生产工艺的不同，有机溶剂的使用量对于半导体行业而言具有很大的差距。但是由于其排水量大，有机物浓度都很低。早先的半导体企业并不对有机废水进行单独处理，主要通过稀释降低最终废水中的化学需氧量。目前，已有企业采用好氧生物处理等技术以降低排放废水中的化学需氧量浓度。

有机废水的处理一般使用生物降解的方法，其中包括好氧生物处理和厌氧生物处理两大类。废水生物处理的主要目的是使水中的有机污染物通过微生物的代谢活动予以转化、稳定，使之无害化。

## 5. 电镀废水

在半导体封装过程中需要使用电镀工艺。芯片在电镀后要进行清洗，该过程中会产生电镀清洗废水。由于电镀中使用到一些金属，因此电镀清洗废水中会存在金属离子的排放，如铅、锡、镍、锌、铬等。

属废水的处理主要用化学沉淀法，废水中含有危害性很大的一些重金属和某些类金属（如砷）。其处理需要以下四个过程：

- pH 值的调节及沉淀：去除排放废水中的金属离子，将 pH 值调节到 11 或 12 时，大多数金属离子如铜，可以转换成不可溶的金属氢氧化物。不溶解的金属沉淀可以从溶液中去掉。

- 凝结反应：pH 值调节后，在溶液中加入负离子聚合物形成金属氢氧化物凝结。凝结后废水分层。

- 沉淀：较慢的混合过程通过沉淀，将废水中的沉淀物从废水中分离出来，另行收集排放。

- 中和：在排放前在金属废水中加入酸进行中和。

除重金属排放外，部分企业采用的含氰电镀还会产生氰化物废水。关于氰化物废水的处理方法，大部份均以氧化处理为主。氰化物废水具有强烈的毒性，尤其是酸性条件之下，由于 HCN 毒性气体的产生，使其毒性更大。对于氰化物废水的处理，首先必须先分离收集，再加以碱化，之后再加以氧化处理。大概可以分为四种氧化处理方法：氯氧化法、次氯酸根氧化法、臭氧氧化法、电解氧化法与湿式氧化法。

## 6. 含铜废水

随着半导体组件尺寸的缩减，铜工艺普及率也逐渐增加，铜金属将逐步取代铝合金。目前铜制程大部份采用电镀法的技术，故电镀液中的铜离子亦成为废弃物处理的问题。若要大量采用铜制程时，必须要有足够的铜离子回收设置。但现在半导体厂的废弃回收系统多无此项功能，故必须单独的设置。目前半导体设备商在铜制程设备上，直接设置一套铜离子回收系统，处理电镀废液及其洗涤水内的铜离子，使其铜的含量低于 0.01 mg/L，远低于排放标准值。

一般电镀铜制程有两种废液产生，一种为电镀槽内的硫酸铜废液，另一种为晶圆清洗后的洗涤水。在硫酸铜电镀的废液中，其组成可包括硫酸铜、硫酸及微量的特殊有机及无机的添加物。而铜的组成以二价铜离子（ $\text{Cu}^{2+}$ ）方式存在，浓度约为 17,000 mg/L，硫酸含量约为 15%重量百分比。洗涤水废液方面，则为冲洗后纯水及其残余的电镀液，其成分有 10mg/L-100mg/L 范围浓度的溶解  $\text{Cu}^{2+}$ ，及 pH 值大于 2 的酸液。

一般铜金属回收系统出于安全考虑，整合系统成为单一机台模式，内含溢出检测器及溢出承接盘，可承接 110%处理槽的容量。外环抗酸面板，需配备连锁装置以避免非允许物质的入侵。其次为自动化设计，强调最少的人员操作步骤。例如处理槽的填充、处理程序及处理操作等过程，均以可程序逻辑控制器控制（PLC），且配备彩色触控的界面。同时具有自动进水及洁净干燥气体冲净程序，可以清除残余化学药剂，保养过滤室、帮浦离子交换床及系统管路等设施。此外，仍须配备手动操作模式，可直接触控 PLC 面板，驱动所有帮浦及阀门，不需进入化学处理区段。

该系统的回收结构与操作，如图 6-4 所示。第一个单元为电采单元（Electrowinning Unit），用于采集电镀槽内硫酸铜废液的铜金属。第二个为两阶段中和单元，整合处理电采程序后的残液与清洗晶圆水，调整其 pH 值。第三个是选择性离子交换单元，用来去除溶解其中的  $\text{Cu}^{2+}$  离子，使其浓度降到 ppb 级，以便排放到厂区的废水处理系统。该系统在设计时，需先了解电镀铜制程的废液种类、数量及含铜浓度。

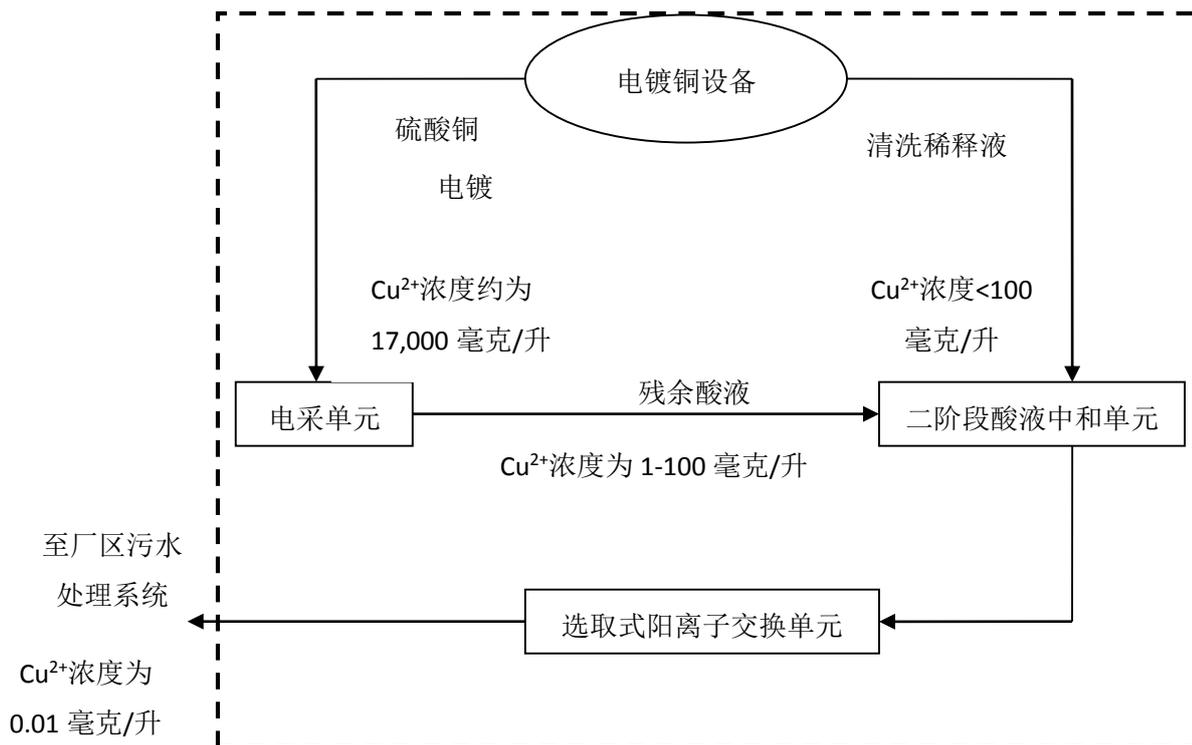


图 6-4 金属铜回收和水溶液处理系统示意图

### (三) 废气排放及治理

由于半导体工艺对操作室清洁度要求极高，通常使用风机抽取工艺过程中挥发的各类废气，因此半导体行业废气排放具有排气量大、排放浓度小的特点。废气排放也以挥发为主。表 6-2 给出了不同生产工艺排放的废气组成。这些废气排放主要可以分为四类：酸性气体、碱性气体、有机废气和有毒气体。

表 6-2 生产废气排放源及组成

废气来源	组成
外延工序	SiH <sub>4</sub> , SiHCl <sub>3</sub> , SiH <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub> , SiCl <sub>4</sub> , AsH <sub>3</sub> , B <sub>2</sub> H <sub>6</sub> , PH <sub>3</sub> , HCl, H <sub>2</sub>
清洗工序	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> , HNO <sub>3</sub> , HCl, HF, H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> , NH <sub>4</sub> F, NH <sub>4</sub> OH 等
光刻工序	异丙醇, 醋酸丁酯, 甲苯, Cl <sub>2</sub> , BCl <sub>3</sub> , C <sub>2</sub> F <sub>6</sub> , C <sub>3</sub> F <sub>8</sub> , CF <sub>4</sub> , SF <sub>6</sub> , HF, HCl, NO, C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> , HBr, H <sub>2</sub> S 等
化学机械抛光	NH <sub>4</sub> OH, NH <sub>4</sub> Cl, NH <sub>3</sub> , KOH, 有机酸盐
化学气相沉淀	SiH <sub>4</sub> , SiH <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub> , SiCl <sub>4</sub> , SiF <sub>4</sub> , CF <sub>4</sub> , B <sub>2</sub> H <sub>6</sub> , PH <sub>3</sub> , NF <sub>3</sub> , HCl, HF, NH <sub>3</sub>
扩散、离子注入	BF <sub>3</sub> , AsH <sub>3</sub> , PH <sub>3</sub> , H <sub>2</sub> , SiH <sub>4</sub> , SiH <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub> , BBr <sub>3</sub> , BCl <sub>3</sub> , B <sub>2</sub> H <sub>6</sub>

废气来源	组成
金属化工序	SiH <sub>4</sub> , BCl <sub>3</sub> , AlCl <sub>3</sub> , TiCl <sub>4</sub> , WF <sub>6</sub> , TiF <sub>4</sub> , SiF <sub>4</sub> , AlF <sub>3</sub> , BF <sub>3</sub> , SF <sub>6</sub> 等

## 1. 酸碱废气

酸碱废气主要来自于扩散、CVD、CMP 及刻蚀等工序，这些工序使用酸碱清洗液对晶片进行清洗。目前，在半导体制造工艺中使用最为普遍的清洗溶剂为过氧化氢和硫酸的混合剂。这些工序中产生的废气包括硫酸、氢氟酸、盐酸、硝酸及磷酸等的挥发气，碱性气体为氨气。

目前，半导体行业中对酸碱气体的处理一般都采用湿式洗涤塔技术。针对酸性废气，一般使用 5-10% 的氢氧化钠或水作为吸收剂，通过吸收剂与废气接触发物理（溶解）或化学（中和）反应，去除废气中的酸性物质；而针对碱性废气，通常用以 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 或水作为吸收剂。

湿式洗涤塔可处理废气中的粒状物，同时也可去除废气中所含的气态污染物。其基本原理是利用气体与液体间的接触，把气体中的污染物传送到液体中，然后再将清洁的气体与被污染的液体分离，达成清净气体之目的。气流中的粒状污染物与水或洗涤液接触后，液滴或液膜扩散附着在排气中的粒子上，或者增湿于粒子，使粒子凝集变大，藉重力、惯性力、热力及静电力等作用，达到分离去除之目的；气态污染物则藉紊流、分子扩散等质量传送，以及化学反应等现象传送入液体，达到与进流气体分离之目的。

湿式洗涤塔的优点在于：**a)** 湿式法处理废气时包含冷却、增湿、集尘及吸收等作用。不但能去除气流中夹带的粒状物，同时也可吸收去除气态的空气污染物；**b)** 对某些气态污染物而言，利用湿式吸收处理，可以生产或回收有用之化学物质；**c)** 对于污染物的突增负荷，可调整水量，继续维持高效率操作。当然，该处理技术也存在自身的缺点：**a)** 此法将空气污染转换为水污染问题，所使用的吸收液可再利用或者需处理后才能排放，必须增加固液分离设备；**b)** 具有腐蚀性气体或吸收液，常使材料选择及保养工作，较干式法更为严格；**c)** 不易润湿的粒状物，以及不希望水湿的有价回收物质等，不适用湿式处理法；**d)** 用水量大，增加操作成本。此外，经处理后的排气，由于受到冷却，以致降低浮力，减少上

升高度，必要时须除湿、再加热后方排出。一般在设计洗涤塔时必须考虑下列几个部分：a) 尺寸；b) 喷嘴的选择及液体的分布；c) 对热气体的预先饱和装置；d) 建造材料；e) 侦测仪器等。湿式洗涤塔的处理效率取决于污染物的溶解能力、使用的吸收剂的类型、洗涤塔的物理构造和媒介接触面。据美国 EPA 调查报告，湿式洗涤塔的处理效率可达 90% 以上。

## 2. 有机废气

有机废气主要来源于光刻、显影、刻蚀及扩散等工序，在这些工序中要用有机溶液（如异丙醇）对晶片表面进行清洗，其挥发产生的废气是有机废气的来源之一；同时，在光刻、刻蚀等过程中使用的光阻剂（光刻胶）中含有易挥发的有机溶剂，如醋酸丁酯等，在晶片处理过程中也要挥发到大气中，是有机废气产生的又一来源。

半导体行业中使用的清洗剂、显影剂、光刻胶、蚀刻液等溶剂中含有大量有机物成分。在工艺过程中，这些有机溶剂大部分通过挥发成为废气排放。目前，针对这种气体排放，一般采用吸附、焚烧或两者相结合的处理方法。

吸附是利用多孔性固体吸附剂处理混合气体，使其中所含的一种或多种组分吸附于固体表面上，达到分离的目的。吸附剂选择性高，能分开其他过程难以分开的混合物，有效地清除（或回收）浓度很低的有害物质，净化效率高，设备简单，操作方便，且能实现自动控制。但固体吸附剂的吸附容量小，需要大量的吸附剂，设备庞大，且吸附后吸附剂需要再生处理，是吸附处理的主要缺点。半导体生产场所挥发出来的有机废气通过局部排风罩收集，经管道送至吸附净化系统。一般采用活性炭作为吸附剂。因为活性炭是非极性吸附剂，对废气中水蒸气的灵敏度不高，且价格便宜。

焚烧的方法也广泛用于半导体行业，处理各种有机废气，通过热氧化将有机物转化为  $\text{CO}_2$  和水。同时，焚烧对处理稳定流量和浓度的废气也是一种很好的方法。在热氧化中，有机废气流经过加热，气相中的有机物被氧化。为节省燃料使用，通常还使用热交换器，回收焚烧产生的热量对进口气体进行预热。对于处理大流量、低浓度的气体，通常都要采用这种方法。由于半导体行业废气焚烧会产生  $\text{SiO}_2$ ，且  $\text{SiO}_2$  会使催化剂钝化，因此半导体行业中很少采用接触氧化的方法。

一些半导体生产厂也使用旋转浓缩系统富集有机废气，如沸石浓缩转轮。因为半导体工艺过程中有机废气具有排放流量大（通常大于  $11000\text{m}^3/\text{h}$ ）和浓度低（通常小于  $25\text{ppmv}$ ）的特点，使用其它的处理技术难以达到令人满意的处理效率。沸石浓缩转轮使用内带吸收物质的旋转轮，其中的吸收物质部分曝露于废气流中。转轮吸收废气中的挥发性污染物，并使用蒸汽或热将其脱吸。脱吸的气流中富集了较高浓度的挥发物，这种低流量、高浓度的气流就能很好地被氧化。旋转浓缩系统用于半导体行业的一个缺点是它对甲醇亲和力较差，去除率仅为 40-60%。

### 3. 有毒气体

有毒废气主要来源于晶体外延、干法刻蚀及 CVD 等工序中，在这些工序中要使用到多种高纯特殊气体对晶片进行处理，如硅烷（ $\text{SiH}_4$ ）、磷烷（ $\text{PH}_3$ ）、四氯化碳（ $\text{CF}_4$ ）、硼烷、三氯化硼等，部分特殊气体具有毒害性、窒息性及腐蚀性。因此，在这些过程中产生有毒废气。

半导体行业中通常会使用到硅烷、磷烷、砷烷等无机物，这些物质在使用过程中也会挥发成为废气排放。这些废气所含的物质往往毒性很大，且易燃。通常，对这种特殊气体要求进行处理“源头处理”（POU），即在使用这种气体的设备处装有控制系统，以去除这些物质，避免其进入主要的排气管。一般而言，现在的工艺设备都自带这种 POU 控制系统（特别是当 POU 系统出现问题时，工艺设备也会停止工作）。使用 POU 控制系统的最大优点是可以在这些特殊气体进入真空泵前对它进行处理，从而大大减少了暴露于有害物质的可能。

有毒气体经过 POU 处理后，一般会进入湿式洗涤塔进行再处理，从而保证最终排放不对环境和人体造成危害。

### 4. 含氟气体

同时，在半导体制造的干蚀刻、化学气相沉积后的清洗过程中，需要大量使用全氟化物（PFCs）气体，如  $\text{NF}_3$ 、 $\text{C}_2\text{F}_6$ 、 $\text{CF}_4$ 、 $\text{C}_3\text{F}_8$ 、 $\text{CHF}_3$ 、 $\text{SF}_6$  等，这些全氟化合物由于在红外光区有很强的吸收，而且在大气中长期停留，一般认为是造成全球温室效应主要来源。目前在全球范围内的半导体企业正在针对这类进行减排。

同时，在半导体制造的干蚀刻、化学气相沉积后的清洗过程中，需要大量使用全氟化物（PFCs）气体，如  $\text{NF}_3$ 、 $\text{C}_2\text{F}_6$ 、 $\text{CF}_4$ 、 $\text{C}_3\text{F}_8$ 、 $\text{CHF}_3$ 、 $\text{SF}_6$  等，这些全氟化合物由于在红外光区有很强的吸收，而且在大气中长期停留，一般认为是造成全球温室效应主要来源。目前在全球范围内的半导体企业正在针对这类进行减排。主要方式包括：（1）改变工艺；（2）化学品替代；（3）回收与再利用；及（4）PFCs 废气排放治理。

为有效处理 PFCs 废气，企业一般会对这部分气体进行“源头处理”。由于 PFCs 的 C-F 键能量稳定不易分解，通常需要温度至少高达  $1100^\circ\text{C}$  以上才能破坏，因此主要采用燃烧的方式，并提供水气使其分后再结合成 HF 与  $\text{CO}_2$ 。处理后的废气一般会进入湿式洗涤塔进行再处理。

与半导体制造工艺相比，半导体封装工艺产生的废气较为简单，主要是酸性气体、环氧树脂及粉尘。酸性废气主要产生于电镀等工艺；烘烤废气则产生于晶粒粘贴、封胶后烘烤过程；划片机在晶片切割过程中，产生含微量矽尘的废气。

## 5. 一般废气

一般废气由于只含有废热，而且由于切割、研磨均在超纯水水流的清洗下进行，没有二氧化硅粉尘产生，因此，一般废气不经处理由排风管道直接排入大气。

# 七、标准主要技术内容

## （一）标准适用范围

本标准规定了半导体行业企业的水和大气污染物排放控制要求，监测以及标准的实施与监督等内容，适用于上海市范围内半导体行业企业水和大气污染物的排放管理，以及新建、改建、扩建项目的环境影响评价、环境保护设施设计、竣工环境保护验收、排污许可证核发及其投产后的水和大气污染控制与排放管理和半导体行业企业的污染物排放许可管理。

电子工业涉及种类众多。国家电子工业水污染物排放标准中，包括了电子专用材料、电子元件、印制电路板、半导体器件、显示器件及光电子器件、电子终

端产品等六类产品生产制造行业。本标准，主要涉及的行业的半导体器件行业。根据我国的《国民经济行业分》类（GB/T 4754-2017），适用的行业为 3972 半导体分立器件制造和 3973 集成电路制造，并包括这两类半导体产品的封装测试行业。

## （二） 标准修订基本思路

### 1. 废水标准修订基本思路

#### （1） 关于分类

国家在制订《污水综合排放标准》（GB 8978-1996）时，将包括总汞、烷基汞、总镉、总铬、六价铬、总砷、总铅、总镍等重金属在内的因子列为第一类污染物，要求在车间或处理设施排放口进行监测，以避免稀释排放。这主要是考虑到以重金属为主的一类污染物对环境和人体健康具有较为显著长期负面影响。半导体行业企业在涉及封装的工艺过程中可能存在电镀工艺，会产生包括总铬、总铅等重金属排放，因此本标准延续对水污染物的控制方式，将毒性较大的重金属因子纳入第一类污染物，要求在车间或处理设施排放口进行监测，其他诸如化学需氧量、氨氮、氟化物等因子纳入第二类污染物，在总排口进行监测。

#### （2） 关于分级

现行标准根据企业废水的排放去向，制订了特别保护水域标准、一级标准、二级标准和三级标准。其中，特别保护水域指经国家或上海市人民政府批准的自然保护区范围内水域；GB3838 中 II 类水域；由本市各区、县人民政府规定的居民集中式生活饮用水取水口卫生防护带水域，这些水域根据我国的相关法律，本不应设置污水排口。近年来，本市加大了对饮用水一级和二级保护区内污染源的拆除工作。对本市现有的半导体行业企业梳理结果显示，以浦东新区、松江区、嘉定区分布为主。在本市现有的饮用水水源地一级和二级保护区内未有分布。因此，标准修订中取消特别保护水域标准。同时，与国家水污染物排放标准体系对接，对直接排放制订一个标准限值，不根据不同的排放去向制订分级的排放标准。

## 2. 废气标准修订基本思路

### (1) 关于有组织排放

针对排气筒排放的有组织废气，采用排放浓度与排放速率共同控制的方式。

现行标准在排放速率控制方面，根据不同的排气筒高度给出了不同的排放速率标准限值要求，排气筒越高，制定的排放速率也越大，允许企业排放的污染物总量也越大。这样的要求并不能起到促进降低企业排放，因此本标准中排放速率的限值不再与排气筒高度相关。

根据国家《制定地方大气污染物排放标准的技术方法》(GB3840-91)中的方法，单一排气筒的排放速率可以按照下式计算：

$$Q = c_m \times R \times K_e \quad (\text{式 1})$$

其中：Q 为排气筒的允许排放速率，单位是 kg/h； $c_m$  为环境质量标准浓度限值（小时值），单位是 mg/m<sup>3</sup>；R 为排放系数，上海地区 20m 高排气筒高度取值为 12； $K_e$  为地区经济系数，取值为 0.5-1.5。考虑到本市半导体企业各项污染大气污染控制技术已较为成熟，因此地区经济系数选为 0.5，则实际的排放速率为：

$$Q = 6c_m \quad (\text{式 2})$$

以现行标准 20m 高度的排放速率为基础，考虑半导体行业废气排放具有风量大、排气筒个数较多的特点确定排放速率限值，综合考虑排气筒风量及与浓度的匹配关系。

### (2) 关于无组织排放

半导体行业企业在生产过程中对环境要求很高，基本上都在洁净厂房内进行作业，无组织排放有限。但为了保护公众健康，防范环境风险，设置厂界大气污染物浓度限值。

## 3. 环境管理要求

针对生产过程中可能存在的无组织排放，执行国家发布的《挥发性有机物无组织排放控制标准》(GB 37822)。

### （三） 术语和定义

本标准定义了半导体行业、现有企业、新建企业、标准状态、直接排放、间接排放、挥发性有机物、非甲烷总烃、厂界大气污染物监控点、厂界大气污染物监控点浓度限值等术语。

### （四） 执行时段划分

本标准将半导体行业企业分为现有项目和新建项目。现有企业指本标准实施之日前已建成投产或环境影响评价文件已通过审批的半导体行业企业或生产设施。新建项目指本标准实施之日起环境影响评价文件通过审批的新建、改建和扩建半导体行业建设项目。新建项目自标准颁布之日起执行本标准，现有项目自标准颁布之日后\*\*个月执行本标准（一般为 24 个月）。

### （五） 污染物控制指标的选择

本标准中排放因子的选择遵循如下原则：

- 属于国家标准中控制的因子；
- 属于行业特征污染因子；
- 排放量大、需要进行控制；
- 毒性大、危害严重；
- 有测试手段或监测技术支持；
- 有污染控制技术。

#### 1. 废水控制因子选择

现行标准中废水的控制因子为总镉、总铬、六价铬、总砷、总铅、总镍、总银、氟化物、总铜、硫化物、总氰化物、pH、悬浮物、生化需氧量（BOD<sub>5</sub>）、化学需氧量（COD<sub>Cr</sub>）、氨氮、总有机碳（TOC）等 17 项。国家电子标准中半导体行业的控制因子在以上 17 项中去除了对 BOD<sub>5</sub> 的要求，而增加了石油类、总氮、总磷、阴离子表面活性剂（LAS）、总锌、综合毒性等 6 项。考虑到指标控制的延续

性，本标准废水控制因子除国家标准的 22 个指标外，仍保留 BOD<sub>5</sub> 这一因子。

## 2. 废气控制因子选择

现行标准中有组织废气的控制因子为硫酸雾、氯化氢、氟化氢、氨和 VOCs 等 5 项。本标准根据企业排放特性和监管要求，增加了氮氧化物、颗粒物、非甲烷总烃、氰化氢、苯、氯气、锡及其化合物、砷化氢和磷化氢等 9 项指标有组织废气控制因子。由于本市半导体企业在采用焚烧方式处理有机废气时均已采用天然气作为燃料，因此不再对二氧化硫提出控制要求，仅控制氮氧化物。

半导体行业使用有机物种类繁多，其中异丙醇和丙酮作为生产过程中最为常用的清洗试剂，用量最大。但异丙醇和丙酮毒类都较低（大鼠径口 LD<sub>50</sub> 分别为 5840mg/kg 和 5800mg/kg），因此不单独作为废气控制因子。

现行标准未对厂界提出控制要求。本标准中增加包括非甲烷总烃在内 4 项指标的厂界要求。

## （六）水污染物排放限值的确定

根据上海市对工业企业废水的环境管理要求，本市半导体行业企业均已实现纳管排放。半导体行业用水量较大，其废水排放呈现废水量大、浓度较低的特点。

表 7-1 上海市部分半导体企业废水排放情况

企业	企业类型	废水排放量（万 t/a）	废水排放方式
A	集成电路制造	360.0	纳管
B	集成电路制造	405.7	纳管
C	集成电路制造	193.4	纳管
D	集成电路制造	118.5	纳管
E	集成电路制造	26.39	纳管
F	集成电路制造	61.23	纳管
G	集成电路封装	72.8	纳管
H	集成电路封装	10.9	纳管
I	集成电路封装	11.1	纳管
J	集成电路封装	7.8	纳管
K	集成电路封装	177.9	纳管
L	集成电路封装	53.8	纳管

企业	企业类型	废水排放量 (万 t/a)	废水排放方式
M	集成电路封装	25.1	纳管
N	集成电路封装	9.8	纳管
O	集成电路封装	3.0	纳管
P	分立器件	29.3	纳管
Q	分立器件	40.1	纳管

数据来源：企业反馈；2016 年环境统计。

在现行标准达标情况分析的基础上，通过调研上海市半导体行业的污染现状、污染处理技术水平和管理水平，同时参考国家《电子工业污染物排放标准》、上海市《污水综合排放标准》(DB31/199-2018)的相关内容和国外半导体行业相关污水排放的标准，确定本标准中水污染物排放标准限值要求。为与本市执行的其他水污染物排放标准保持一致，不再制订瞬时值限值要求。

## 1. 一类污染物

### (1) 总铅

总铅为一类污染物，已列入《有毒有害水污染物名录（第一批）》中。总铅主要来源于封装中的电镀工艺，针对此类重金属因子，企业一般会采用加药沉淀等方式进行预处理后，再排入其他工业废水。基于总铅的毒性和禁限力度的加大，目前行业铅用量很少。现行标准中总铅的 B 标准（即二级标准）为 1.0mg/L，国家电子标准中排放标准为 0.2mg/L。上海市污水综合排放标准为 0.1mg/L。本市半导体行业均为纳管排放，总铅监测数据较少，检出率为 35.1%。已检出数据中，97.06%的监测数据低于 0.2mg/L 和 0.1mg/L。

表 7-2 国内外相关标准中总铅限值规定列表（单位：mg/L）

	现行标准 <sup>1)</sup>	国家电子	德国	世行	台湾	江苏 <sup>2)</sup>	上海污水综排
标准限值	0.1/1.0	0.2	0.5	0.1	1.0	0.1/0.2	0.1

1) 针对一类污染物，分别为特殊保护水域标准/二级标准。（下同）

2) 针对一类污染物，分别为特别排放限值/直接排放限值。（下同）

根据企业实际排放情况，结合国家标准控制要求，考虑到总铅属于逐步电子淘汰使用的重金属因子，本修订标准中总铅的排放标准确定为 0.1mg/L。

## (2) 总镉

总镉为一类污染物，已列入《有毒有害水污染物名录（第一批）》中。总镉主要来源于封装中的电镀工艺，针对此类重金属因子，企业一般会采用加药沉淀等方式进行预处理后，再排入其他工业废水。现行标准中总镉的 B 标准为 0.1mg/L，国家电子标准中排放标准为 0.05mg/L。上海市污水综合排放标准为 0.1mg/L。本市半导体行业均为纳管排放，总镉监测数据非常有限，未检出率较高；已检出数据中，都低于 0.05mg/L。

表 7-3 国内外相关标准中总镉限值规定列表（单位：mg/L）

	现行标准	国家电子	世行	台湾	江苏	上海污水综排
标准限值	0.01/0.1	0.05	0.1	0.03	0.01/0.05	0.01

根据企业实际排放情况，结合国家标准控制要求，本修订标准中总镉的排放标准确定为 0.05mg/L。

## (3) 总铬

总铬为一类污染物，主要来源于封装中的电镀工艺，针对此类重金属因子，企业一般会采用加药沉淀等方式进行预处理后，再排入其他工业废水。现行标准中总镉的 B 标准为 0.5mg/L，国家电子标准中排放标准为 1.0mg/L。上海市污水综合排放标准为 0.5mg/L。本市半导体行业均为纳管排放，总铬监测数据较少，约一半的数据为未检出；已检出数据中，都低于 0.5mg/L。

表 7-4 国内外相关标准中总铬限值规定列表（单位：mg/L）

	现行标准	国家电子	德国	台湾	江苏	上海污水综排
标准限值	0.15/0.5	1.0	0.5	2.0	0.5/0.5	0.5

根据企业实际排放情况，本修订标准中总铬的排放标准确定为 0.5mg/L，与现有标准保持一致。

## (4) 六价铬

六价铬为一类污染物，已列入《有毒有害水污染物名录（第一批）》中，主要来源于封装中的电镀工艺，针对此类重金属因子，企业一般会采用加药沉淀等

方式进行预处理后,再排入其他工业废水。现行标准中六价铬的 B 标准为 0.1mg/L, 国家电子标准中排放标准为 0.2mg/L。上海市污水综合排放标准为 0.1mg/L。本市半导体行业均为纳管排放,六价铬监测数据较少,基本都是未检出。

**表 7-5 国内外相关标准中六价铬限值规定列表 (单位: mg/L)**

	现行标准	国家电子	德国	世行	台湾	江苏	上海污水综排
标准限值	0.05/0.1	0.2	0.1	0.1	0.5	0.1/0.1	0.1

根据企业实际排放情况,结合国家标准控制要求,本修订标准中六价铬的排放标准确定为 0.1mg/L,与现有标准保持一致。

### (5) 总砷

砷为一类污染物,已列入《有毒有害水污染物名录(第一批)》中。砷及其化合物来源于砷化镓工艺等。现行标准中总砷的 B 标准为 0.2mg/L 和 0.3mg/L(砷化镓工艺),国家电子标准中排放标准为 0.5mg/L。上海市污水综合排放标准为 0.05mg/L。本市半导体行业均为纳管排放,总砷的检出率约为 44%;已检出数据均低于 0.2mg/L。

**表 7-6 国内外相关标准中总砷限值规定列表 (单位: mg/L)**

	现行标准	国家电子	美国	德国	世行	台湾	江苏	上海污水综排
标准限值	0.05/ 0.2/ 0.3 (砷化镓工艺)	0.5	2.09/0.83	0.2/0.3 (砷化镓工艺)	0.1	0.5	0.1/0.2	0.05

根据企业实际排放情况,结合国家标准控制要求,考虑到砷是本行业的特征污染物,本修订标准中总砷的排放标准确定为 0.2mg/L。

### (6) 总镍

镍为一类污染物,主要来源于封装中的电镀工艺,针对此类重金属因子,企业一般会采用加药沉淀等方式进行预处理后,再排入其他工业废水。现行标准中六价铬的 B 标准为 0.5mg/L,国家电子标准中排放标准为 0.5mg/L。上海市污水综合排放标准为 0.1mg/L。本市半导体行业均为纳管排放,总镍监测数据较少,检出率仅 30.0%;已检出数据中仅 1 次数据高于 0.5mg/L,88.37%的数据均能达到 0.1mg/L。

**表 7-7 国内外相关标准中总镍限值规定列表（单位：mg/L）**

	现行标准	国家电子	德国	世行	台湾	江苏	上海污水综排
标准限值	0.1/0.5	0.5	0.5	0.5	1.0	0.1/0.5	0.1

本市的半导体行业企业以纳管排放为主。长期以来，本市的污水处理厂都面临着尾水排放和污泥中镍超标的风险。对本市企业排放的总镍，目前采取了较为严格的控制要求。在此基础上，根据企业实际排放情况，本修订标准中总镍的排放标准确定为 0.1mg/L。

## （7）总银

总银为一类污染物，主要来源于封装中的电镀工艺，针对此类重金属因子，企业一般会采用加药沉淀等方式进行预处理后，再排入其他工业废水。现行标准中六价铬的 B 标准为 0.1mg/L，国家电子标准中排放标准为 0.3mg/L。上海市污水综合排放标准为 0.1mg/L。本市半导体行业均为纳管排放，总银监测数据非常有限，检出率约为 20.0%；已检出数据均低于 0.1mg/L。

**表 7-8 国内外相关标准中总银限值规定列表（单位：mg/L）**

	现行标准	国家电子	德国	台湾	江苏	上海污水综排
标准限值	0.1/0.1	0.3	0.1	0.5	0.1/0.3	0.1

根据企业实际排放情况，本修订标准中总银的排放标准确定为 0.1mg/L，与现有标准保持一致。

## 2. 二类污染物

### （1）pH 值

pH 值是常用控制项目。半导体企业生产过程中存在大量酸洗和碱洗过程，都会产生一定量的酸碱废水，如果不经过处理就排入水体会对水生生物、水中部分重金属和无机物以及后期水处理产生不良影响和危害。

根据实验结果表明 pH 值 6.5-9.0 对淡水鱼类的生存起到保护作用，对人体的极限值为 5.0-9.0。本市半导体行业企业多年监测数据范围在 6.2-8.1 之间。本标准中直接排放和间接排放的 pH 值都选取沿用现行标准中的标准值 6-9。

## (2) 悬浮物

悬浮物产生于清洗研磨等工序，通过沉淀方法可以去除悬浮颗粒，治理技术成熟。现行标准中悬浮物的二级标准为 100mg/L，国家电子标准中直接排放标准和间接排放标准分别为 70mg/L 和 400mg/L。美国 EPA 制定的行业标准在 BAT 技术下悬浮物浓度日最大值为 60mg/L，30 天平均值 24mg/L。上海市污水综合排放标准二级标准值和三级标准（即间接排放标准）分别为 30mg/L 和 400mg/L。本市半导体行业均为纳管排放，多年自行监测和监督监测的数据显示，均能达到 400mg/L，仅 0.85% 的数据高于 300mg/L。

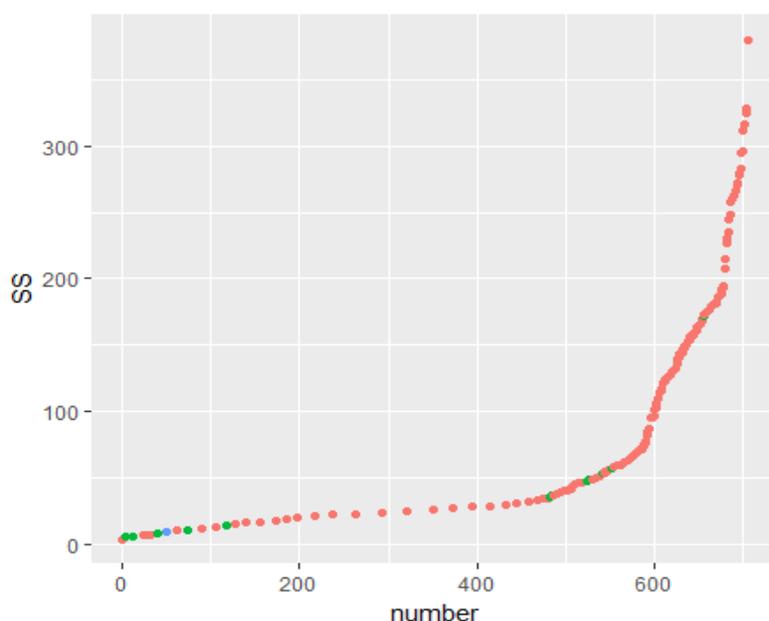


图 7-1 上海市半导体行业企业悬浮物监测情况（单位：mg/L）

表 7-9 国内外相关标准中悬浮物限值规定列表（单位：mg/L）

	现行标准 <sup>1)</sup>	国家电子 <sup>2)</sup>	美国 <sup>3)</sup>	世行	台湾地区	江苏 <sup>4)</sup>	上海污水综排 <sup>5)</sup>
标准 限值	50 (65) /70 (91) /100 (130) /-	70/400	61/23	50 (最大) / 20 (月均)	30	20/50/250	20/30/400

1) 分别为特殊保护水域标准/一级标准/二级标准/三级标准，括号内为瞬时值；“-”为未制订限值要求。（下同）

2) 分别为直接排放标准/间接排放标准。（下同）

3) 分别为日最大值和连续 30 天的日平均值。（下同）

4) 分别为特别排放限值/直接排放标准/间接排放标准。（下同）

5) 分别为一级标准/二级标准/三级标准。（下同）

根据企业实际排放情况，本修订标准中悬浮物的直排标准制订为 50mg/L，间接排放标准为 400mg/L。

### (3) 石油类

石油类可能产生于清洗工序，成熟达标技术包括混凝沉淀、气浮法等。现行标准中未制订石油类标准限值，国家电子标准中直接排放标准和间接排放标准分别为 5.0mg/L 和 20mg/L。上海市污水综合排放标准二级标准值和三级标准也分别为 3.0mg/L 和 15mg/L。本市半导体行业均为纳管排放，多年自行监测和监督监测的数据显示，有 1 次监测数据未能达到 15mg/L。

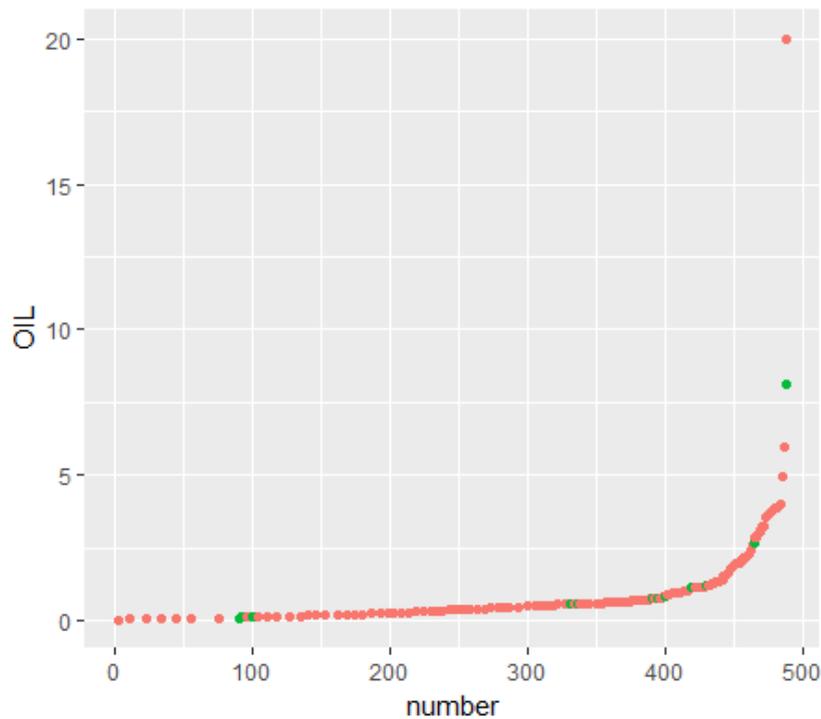


图 7-2 上海市半导体行业企业石油类监测情况（单位：mg/L）

表 7-10 国内外相关标准中石油类限值规定列表（单位：mg/L）

	现行标准	国家电子	世行	台湾	上海污水综排
标准限值	-	5/20	10	10	1.0/3.0/15

根据企业实际排放情况，本修订标准中石油类的直排标准制订为 3.0mg/L，间接排放标准为 15mg/L。

#### (4) COD<sub>Cr</sub>

COD<sub>Cr</sub> 为国家重点控制污染物。课题组对本市多家集成电路制造企业开展了废水中 VOCs 的监测，结果显示，各项有机物指标均未检出。因此，本标准中仍采用 COD<sub>Cr</sub> 综合性指标来进行监管。

现行标准中 COD<sub>Cr</sub> 的二级标准是 100mg/L，国家电子标准中直接排放标准和间接排放标准分别为 100mg/L 和 500mg/L。上海市污水综合排放标准二级标准值和三级标准分别为 60mg/L 和 500mg/L。本市半导体行业均为纳管排放，多年自行监测和监督监测的数据显示，企业均能达到 500mg/L，98%的监测数据低于 300mg/L，另有 35.51%的数据低于 60mg/L。

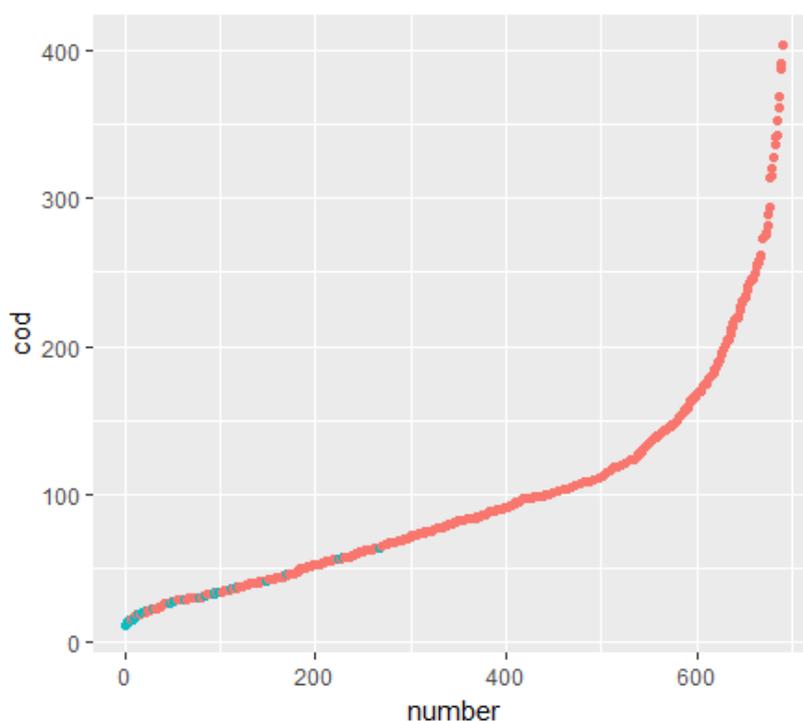


图 7-3 上海市半导体行业企业 COD<sub>Cr</sub> 监测情况（单位：mg/L）

表 7-11 国内外相关标准中 COD<sub>Cr</sub> 限值规定列表（单位：mg/L）

	现行标准	国家电子	台湾	上海污水综排
标准限值	60 (78) /80 (104) /100 (130) /-	100/500	100	50/60/500

COD<sub>Cr</sub> 属于常规指标，通过生化处理等方式可以有效去除。根据企业实际排放情况，结合国家标准控制要求，本修订标准中 COD<sub>Cr</sub> 的直排标准制订为 60mg/L，

间接排放标准为 500mg/L，与上海市污水综排标准一致。

### (5) BOD<sub>5</sub>

BOD<sub>5</sub> 是国外重点关注的常规污染因子，因此本标准修订时仍保留这一指标。现行标准中 BOD<sub>5</sub> 的二级标准是 30mg/L，国家电子标准中未进行控制。上海市污水综合排放标准二级标准值和三级标准分别为 20mg/L 和 300mg/L。本市半导体行业均为纳管排放，多年自行监测和监督监测的数据显示，企业均能达到 300mg/L，另有 42.80%的数据低于 20mg/L。

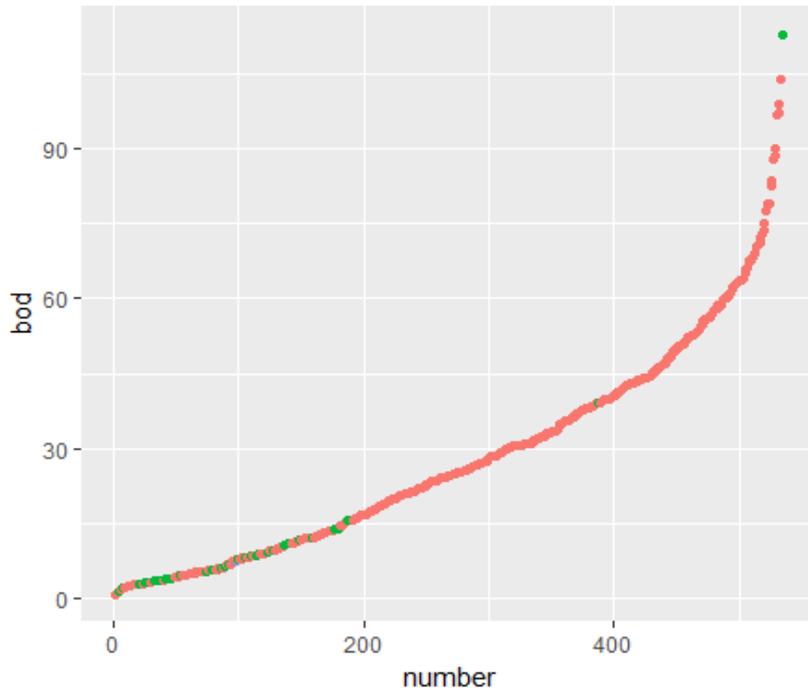


图 7-4 上海市半导体行业企业 BOD<sub>5</sub> 监测情况 (单位: mg/L)

表 7-12 国内外相关标准中 BOD<sub>5</sub> 限值规定列表 (单位: mg/L)

	现行标准	国家电子	世行	上海污水综排
标准限值	15 (20) /20 (26) /30 (39) /-	-	50	10/20/300

BOD<sub>5</sub> 属于常规指标，通过生化处理等方式可以有效去除。根据企业实际排放情况，结合国家标准控制要求，本修订标准中 BOD<sub>5</sub> 的直排标准制订为 20mg/L，间接排放标准为 300mg/L，与上海市污水综排标准一致。

## (6) 总有机碳 TOC

为控制 COD 不能氧化分解的非还原性有机污染物,本标准仍保留 TOC 指标。现行标准中 TOC 的二级标准是 30mg/L, 国家电子标准中直接排放标准和间接排放标准分别为 30mg/L 和 200mg/L。上海市污水综合排放标准二级标准值和三级标准分别为 20mg/L 和 150mg/L。本市半导体行业企业 TOC 实测数据较少, 有限的样本显示, 最低值为 1.83mg/L, 最高值为 44.9mg/L, 变化幅度较大。根据相关报道和在线监测数据对比分析, 对于一种稳定排放的废水, 其 TOC 浓度和 COD 浓度具有良好的线性相关性。本标准根据企业实际排放情况, TOC 限值按照 COD 限值的 30%规定: 直接排放浓度限值为 20mg/L, 间接排放浓度限值为 150mg/L, 与上海市污水综排标准一致。

表 7-13 国内外相关标准中 TOC 限值规定列表 (单位: mg/L)

	现行标准	国家电子	上海污水综排
标准限值	18 (23) /20 (26) /30 (39) /-	30/200	15/20/150

## (7) 氨氮

氨氮为一般污染物控制项目, 是水体富营养化的一个重要因素, 属于我国主要的总量控制指标。半导体行业氨氮主要是来源于  $\text{NH}_4\text{OH}$  等碱性试剂, 是行业特别是集成电路制造企业的特征污染物之一。

现行标准中氨氮的二级标准是 15mg/L, 国家电子标准中直接排放标准和间接排放标准分别为 25mg/L 和 45mg/L。上海市污水综合排放标准二级标准值和三级标准分别为 5mg/L 和 45mg/L。本市半导体行业均为纳管排放, 多年自行监测和监督监测的数据显示, 99.86%的数据能达到 45mg/L, 另有 35.91%的数据低于 10mg/L。

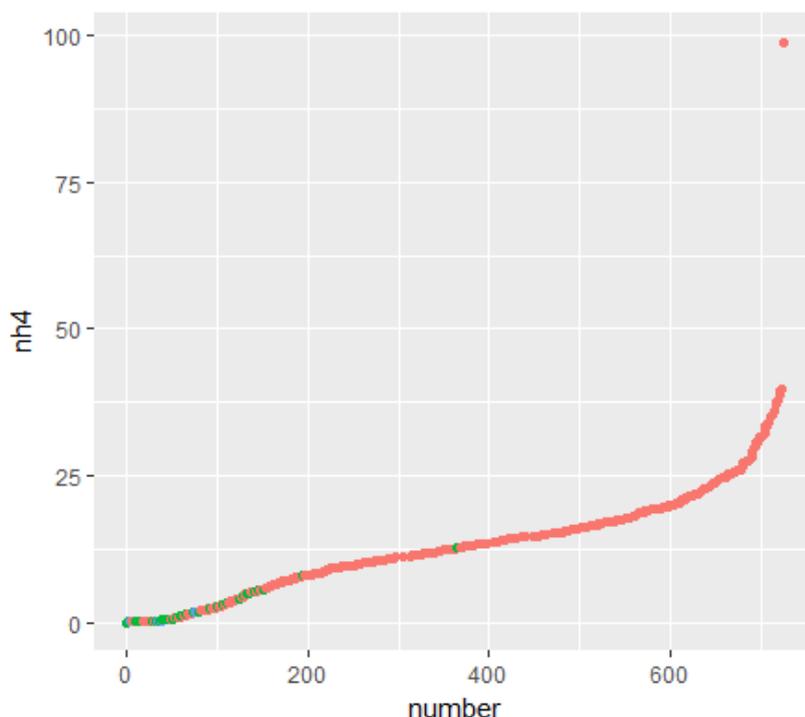


图 7-5 上海市半导体行业企业氨氮监测情况（单位：mg/L）

表 7-14 国内外相关标准中氨氮限值规定列表（单位：mg/L）

	现行标准	国家电子	世行	台湾 <sup>1)</sup>	江苏	上海污水综排
标准限值	8 (10.5) /10 (13) /15 (19.5) /-	25/45	10	10/20	8/10/20	1.5/5/45

1) 分别为水源保护区内/外排放标准。

氨氮属于常规指标，为加强其处理效果，本市集成电路制造企业一般采用吹脱法等方式对高浓度含氨废水进行预处理。根据企业实际排放情况，考虑到氮是上海重点的控制项目，本修订标准中氨氮的直排标准加严至 5mg/L；间接排放标准为 45mg/L，与上海市污水综排标准一致。

## （8）总氮

总氮主要包括氨氮、硝酸盐氮、有机氮等，是控制富营养化的重要指标。现行标准中未制订总氮的控制要求，国家电子标准中直接排放标准和间接排放标准分别为 35mg/L 和 70mg/L。上海市污水综合排放标准二级标准值和三级标准也分别为 15mg/L 和 70mg/L。本市半导体行业均为纳管排放，多年自行监测和监督监

测的数据显示,所有企业数据均能达到 70mg/L,另有 26.42%的数据低于 15mg/L。

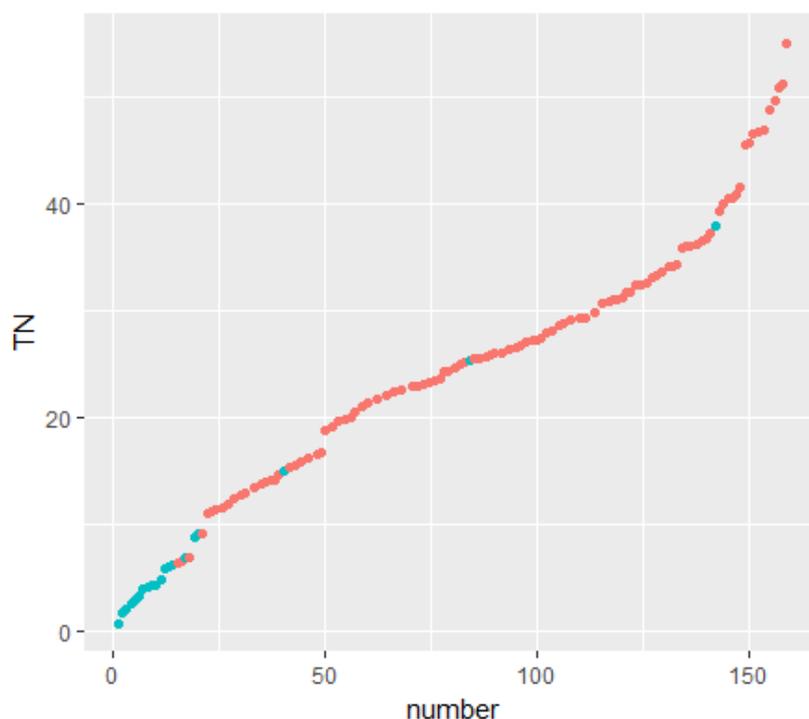


图 7-6 上海市半导体行业企业总氮监测情况 (单位: mg/L)

表 7-15 国内外相关标准中总氮限值规定列表 (单位: mg/L)

	现行标准	国家电子	江苏	上海污水综排
标准限值	-	35/70	10/15/35	10/15/70

总氮属于常规指标。根据企业实际排放情况,考虑到氮是上海重点的控制项目,本修订标准中总氮的直排标准制订为 15mg/L;间接排放标准为 70mg/L,与上海市污水综排标准一致。

## (9) 总磷

总磷为一般污染物控制项目,是水体富营养化的一个重要因素,也是重点地区的控制项目。半导体行业企业在生产工艺中会使用一定量的磷酸,在集成电路制造的湿法刻蚀工艺中会产生含磷废水。现行标准中并未制订总磷的控制限值,国家电子标准中直接排放标准和间接排放标准分别为 1.0mg/L 和 8.0mg/L。上海市污水综合排放标准二级标准值和三级标准也分别为 0.5mg/L 和 8.0mg/L。本市半导体行业均为纳管排放,多年自行监测数据显示,99.46%的监测数据能达到

8.0mg/L，另有 58.23%的数据低于 1.0mg/L。

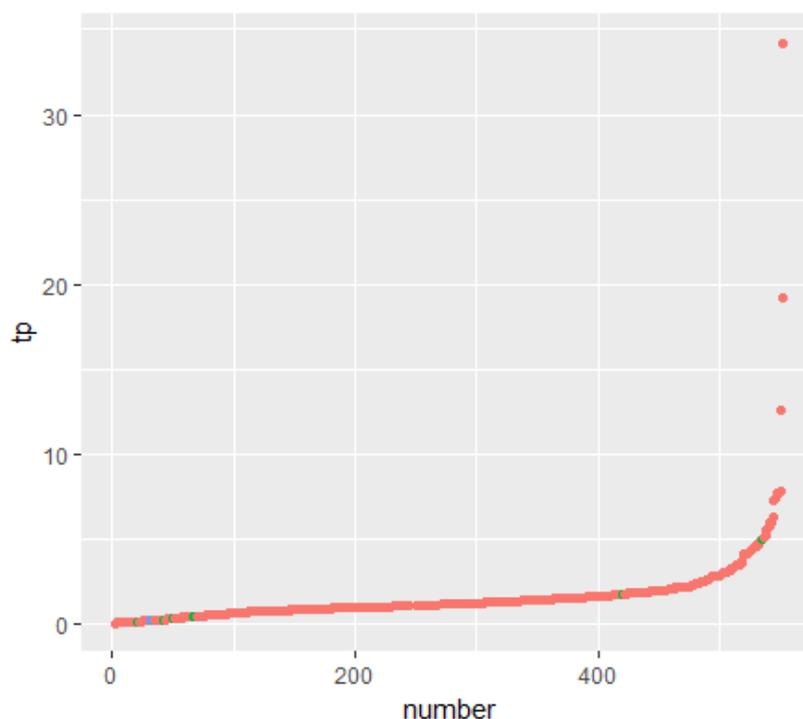


图 7-7 上海市半导体行业企业总磷监测情况（单位：mg/L）

表 7-16 国内外相关标准中总磷限值规定列表（单位：mg/L）

	现行标准	国家电子	世行	江苏	上海污水综排
标准限值	-	1.0/8.0	5	0.5/1/3	0.3/0.5/8.0

根据企业实际排放情况，结合国家标准控制要求，考虑到磷是上海市地表水中主要控制的因子，本修订标准中总磷的直排标准制订为 0.5mg/L；间接排放标准为 8.0mg/L，与上海市污水综排标准一致。

### （10） 阴离子表面活性剂（LAS）

LAS 是综合排放标准中普遍控制的目标污染物，而且它很难通过其它污染物的协同处理来进行削减，必须单独控制。在半导体行业中，主要产生于各种清洗工序。现行标准中并未制订 LAS 的控制限值，国家电子标准中直接排放标准和间接排放标准分别为 5mg/L 和 20mg/L。上海市污水综合排放标准二级标准值和三级标准也分别为 5mg/L 和 20mg/L。本市半导体行业均为纳管排放，多年自行监测数据显示，LAS 的排放浓度总体都较低，基本都低于 3mg/L。

**表 7-17 国内外相关标准中 LAS 限值规定列表（单位：mg/L）**

	现行标准	国家电子	台湾	江苏	上海污水综排
标准限值	-	5/20	10	0.5/1/1	3/5/20

根据企业实际排放情况，结合企业排放情况，本修订标准中 LAS 的直排标准制订为 3mg/L；间接排放标准为 20mg/L。

### **（11） 总氰化物**

氰化物具有剧毒，属于有毒有害物质，但没有列入《有毒有害水污染物名录（第一批）》中。总氰化物来源于半导体封装测试中可能存在的含氰电镀工序。现行标准中总氰化物的二级标准是 0.2mg/L，国家电子标准中直接排放标准和间接排放标准分别为 0.5mg/L 和 1.0mg/L。上海市污水综合排放标准二级标准值和三级标准也分别为 0.2mg/L 和 0.5mg/L。

**表 7-18 国内外相关标准中总氰化物限值规定列表（单位：mg/L）**

	现行标准	国家电子	德国 <sup>1)</sup>	世行	台湾	江苏	上海污水综排
标准限值	0.2/0.2/0.2/0.5	0.5/1.0	0.2	1	1.0	0.2/0.2/0.2	0.1/0.2/0.5

1) 实际控制因子为挥发性氰化物。

根据 HJ 945.2 规定，有毒有害物质如果在 GB3838 等水环境质量标准中有规定的，采用其限值。因此本标准规定氰化物直接排放限值为 0.2mg/L，间接排放限值规定为 0.5 mg/L。

### **（12） 硫化物**

硫化物主要来源于半导体器件生产中的电镀工艺。现行标准中硫化物的二级标准是 1mg/L，国家电子标准中直接排放标准和间接排放标准均为 1mg/L。上海市污水综合排放标准二级标准值和三级标准也均为 1mg/L。本市半导体行业硫化物监测数据较少，且浓度极低，均远低于 1mg/L。

**表 7-19 国内外相关标准中硫化物限值规定列表（单位：mg/L）**

	现行标准	国家电子	德国	台湾	江苏	上海污水综排
标准限值	0.5/1/1/1	1.0/1.0	1	1	1/1/1	0.5/1.0/1.0

根据企业实际排放情况，结合国家标准控制要求，本修订标准中硫化物的直排标准和间接排放标准均规定为 1mg/L，与现有标准保持一致。

### (13) 氟化物

氟化物是半导体行业的主要特征因子，特别是在制造企业。一般企业都会独立设置含氟废水的处理设施，再排入总的废水处理设施处理后最后排放。现行标准中氟化物的二级标准为 10mg/L，国家电子标准中直接排放标准和间接排放标准分别为 10mg/L 和 20mg/L。上海市污水综合排放标准二级标准值和三级标准也分别为 8mg/L 和 20mg/L。本市半导体行业均为纳管排放，多年自行监测数据显示，所有企业的监测数据均能达到 20mg/L，另有 53.54%的数据低于 10mg/L，35.05%的数据低于 8mg/L。

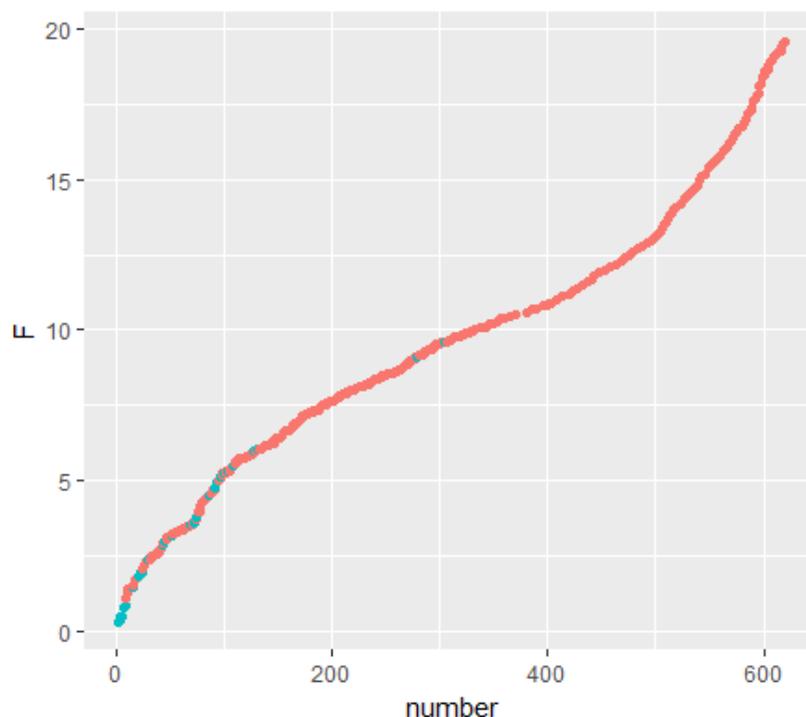


图 7-8 上海市半导体行业企业氟化物监测情况（单位：mg/L）

表 7-20 国内外相关标准中氟化物限值规定列表（单位：mg/L）

	现行标准	国家电子	美国	世行	台湾	江苏	上海污水综排
标准限值	8 (10.4) /10 (13) /10 (13) /20	10/20	32/17.4	20	15	8/10/15	5.0/8.0/20

氟化物是半导体行业企业，特别是集成电路制造企业最主要的特征污染物。企业一般采用沉淀方式对氟化物进行预处理后再与其他废水合并排放。氟化物的去除效率与沉淀工艺的投药量直接相关，投药量大，去除效率高，相应也会产生大量的污泥排放。根据企业实际排放情况，考虑到氟化物是行业特征排放因子，本修订标准中氟化物的直排标准制订为 8mg/L；间接排放标准为 20mg/L，与现有标准保持一致。

## (14) 总铜

随着集成电路制造技术的日益发展，铜工艺开始出现。采用铜工艺的企业一般会对浓度较高的含铜废水设置相应的预处理进行处置。同时，部分集成电路封装制造企业也存在铜排放。现行标准制订时，铜工艺开始在上海出现，二级标准制订为 1mg/L，国家电子标准中直接排放标准和间接排放标准分别为 0.5mg/L 和 2mg/L。上海市污水综合排放标准二级标准值和三级标准也分别为 0.5mg/L 和 2mg/L。本市半导体行业均为纳管排放，多年自行监测数据显示，所有企业的监测数据均低于 1mg/L。

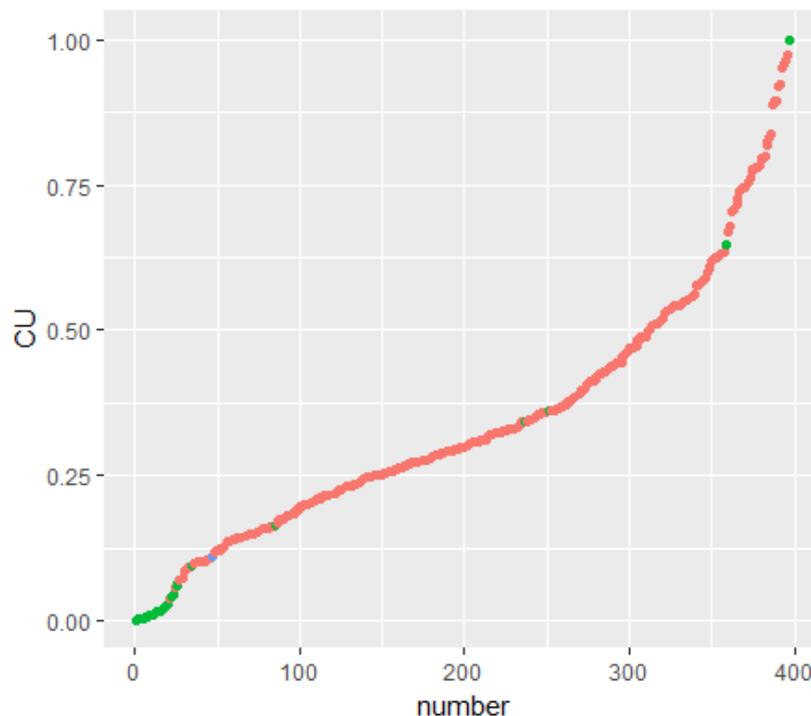


图 7-9 上海市半导体行业企业总铜监测情况（单位：mg/L）

**表 7-21 国内外相关标准中总铜限值规定列表（单位：mg/L）**

	现行标准	国家电子	德国	世行	台湾	江苏	上海污水综排
标准限值	0.2/0.5/1/1	0.5/2	0.5	0.5	3	0.3/0.3/0.3	0.2/0.5/2

根据企业实际排放情况，本修订标准中总铜的直排标准制订为 0.5mg/L；间接排放标准为 1mg/L。

### **（15） 总锌**

总锌主要来源于电镀工艺。现行标准中并未制订总锌的控制限值，国家电子标准中直接排放标准和间接排放标准均为 1.5mg/L。上海市污水综合排放标准二级标准值和三级标准分别为 2.0mg/L 和 5.0mg/L。本市半导体行业均为纳管排放，总锌的监测数据非常有限，主要是集成电路封装和分立器件企业开展过这一指标的监测，但排放浓度总体都远低于 1.5mg/L。

**表 7-22 国内外相关标准中总锌限值规定列表（单位：mg/L）**

	现行标准	国家电子	台湾	江苏	上海污水综排
标准限值	-	1.5/1.5	5	1/1/1	1.0/2.0/5.0

根据企业实际排放情况，结合国家标准控制要求，本修订标准中总锌的直排标准和间接排放标准都制订为 1.5mg/L。

## **3. 综合毒性指标**

根据《国家水污染物排放标准制定技术导则》（HJ 945.2-2018）相关规定，对于排放有毒有害水污染物种类较多的行业，应考虑设置综合毒性指标，反映排放污水对生态环境的综合影响。

经调查，德国对半导体行业规定的综合毒性指标为稀释倍数为 2 的情况下，斑马鱼鱼卵 48 小时致死率不超过 10%。上海市污水综合排放标准制订了鱼类急性毒性的一级标准，为 96 小时未达半致死浓度。现行标准中未制订综合毒性指标，而国家标准中则制订了直接排放的斑马鱼急性毒性要求和间接排放的发光细菌抑制率。

表 7-23 国内外相关标准中综合毒性指标限值规定列表（单位：mg/L）

	现行标准	国家电子	德国	上海污水综排
直接排放	-	斑马鱼急性毒性：96 小时致死率小于等于 10%（稀释倍数 2）	直排废水的鱼类毒性 TF = 2	一级标准：鱼类急性毒性的一级标准，为 96 小时未达半致死浓度。
间接排放		发光细菌急性毒性：15 分钟相对发光抑制率小于等于 20%（稀释倍数 32）		-

本市半导体企业从未开展过有关综合毒性指标的监测。根据国家标准控制要求，本次修订中增加综合毒性指标，但和国家标准要求保持一致，即针对半导体行业污水集中处理设施运营单位提出该项要求，斑马鱼卵急性毒性应 $\leq 6$ 。

## （七） 有组织大气污染物排放限值的确定

在现行标准达标情况分析的基础上，通过调研上海市半导体行业的污染现状、污染处理技术水平和管理水平，同时参考上海市《大气污染物综合排放标准》（DB31/933- 2015）的相关内容和国外半导体行业相关大气污染物排放的标准，确定本标准中大气污染物排放标准限值要求。

### 1. 酸性废气

半导体行业企业在生产过程中使用了大量诸如硫酸、硝酸、盐酸、氟化氢等试剂，从而成为酸性气体排放。企业一般都会设置酸性排气筒，酸性排气筒是半导体企业，特别是集成电路制造企业数量最多的排气筒，单条生产线的酸性排气筒个数可以达到 6-8 根。从风量上来看，多数酸性排气筒的风量都达到 1 万  $m^3/h$  以上，最高的超过 9 万  $m^3/h$ 。企业排气筒都较高，基本都超过 20m，因此多根排气筒常需要等效为一根排气筒，等效风量巨大。本标准不再针对不同排气筒高度制定标准，而以现行标准中 20m 高度的排放速率为基准进行限值考量。

表 7-24 本市部分企业酸性排气筒情况

企业	企业类型	排气筒个数 (个)	排气筒高度 (m)	排风量 (m <sup>3</sup> /h)	处理工艺
A	集成电路制造	28	40	12700-81000	碱性洗涤塔
B	集成电路制造	19	25-36	324-79272	碱性洗涤塔
C	集成电路制造	7	32	18360-42480	碱性洗涤塔
D	集成电路制造	13	22-35	25489-93050	碱性洗涤塔
E	集成电路制造	2	25	41400	碱性洗涤塔
F	集成电路制造	23	18-24	2016-32004	碱性洗涤塔
G	集成电路封装	2	20-25	40000-60000	碱性洗涤塔
H	集成电路封装	1	25	2880	活性炭吸附
I	分立器件	3	15-25	-	碱性洗涤塔

针对行业排放特点，选择硫酸雾、氯化氢、氟化氢、氯气、氰化氢作为酸性气体的控制。

### (1) 硫酸雾

硫酸是半导体行业最常用酸之一，主要来源于清洗、氧化、电镀等工序，企业基本都采用碱液吸收法处理技术。现行标准中硫酸雾的浓度限值为 10mg/m<sup>3</sup>，15m、20m 和 30m 的最高允许排放速率分别为 1.5kg/h、2.6kg/h 和 8.8kg/h。上海市大气综合排放标准浓度限值为 5mg/m<sup>3</sup>，最高允许排放速率分别为 1.1kg/h。

本市半导体企业都将硫酸雾作为常规监测指标。多年的企业自行监测和环保部门监督监测结果显示，检出数据的范围从 0.0174-52.2mg/m<sup>3</sup>，变化范围很大；99.1%的数据低于 10mg/m<sup>3</sup>，97.8%的数据低于 5mg/m<sup>3</sup>。由于不同企业排气筒风量变化巨大，单个排气筒的硫酸雾排放速率变化也很大，最低的监测数据仅 0.00044kg/h，最高的监测数据为 0.9271kg/h。

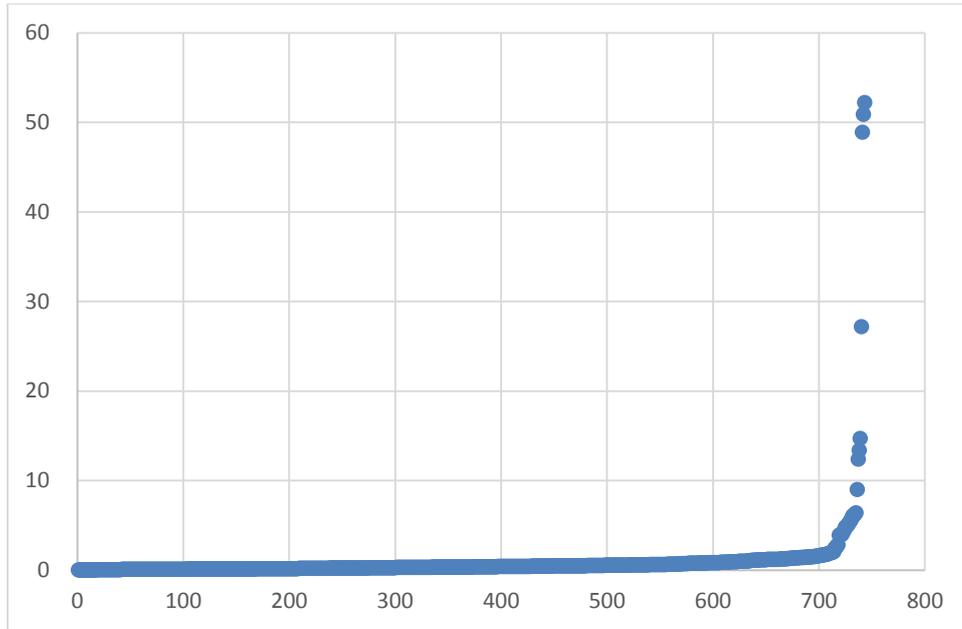


图 7-10 半导体企业硫酸雾排放浓度（单位：mg/m<sup>3</sup>）

表 7-25 国内外相关标准中硫酸雾限值规定列表

	浓度限值 (mg/m <sup>3</sup> )	最高允许排放速率 (kg/h)
现行标准	10	1.5/2.6/8.8 <sup>1)</sup>
北京	5	-
江苏	5	-
台湾	-	排放削减率应大于 95% 或工厂总排放量应小于 0.1kg/h。
上海大气综排	5	1.1

1) 分别为 15m/20m/30m 排气筒高度的最高允许排放速率。(下同)

根据企业实际排放情况，本修订标准中硫酸雾的最高允许排放浓度限值加严至 5mg/m<sup>3</sup>。考虑酸性排气筒的等效风量，采用现行标准中 20m 的限值 2.6kg/h 作为修订标准中排放速率限值要求。

## (2) 氯化氢

盐酸也是半导体行业最常用酸之一，主要来源于清洗、氧化、电镀等工序，企业基本都采用碱液吸收法处理技术。现行标准中硫酸雾的浓度限值为 15mg/m<sup>3</sup>，15m、20m 和 30m 的最高允许排放速率分别为 0.26kg/h、0.43kg/h 和 1.4kg/h。

上海市大气综合排放标准浓度限值为  $10\text{mg}/\text{m}^3$ ，最高允许排放速率分别为  $0.18\text{kg}/\text{h}$ 。

氯化氢也是本市半导体企业常规监测指标。多年的企业自行监测和环保部门监督监测结果显示，检出数据的范围从  $0.026\text{--}16.3\text{mg}/\text{m}^3$ ，变化范围很大；99.9%的数据低于  $10\text{mg}/\text{m}^3$ 。由于企业间排气筒风量变化巨大，单个排气筒的硫酸雾排放速率变化也很大，最低的监测数据仅  $0.00051\text{kg}/\text{h}$ ，最高的监测数据为  $1.23\text{kg}/\text{h}$ 。以单根排气筒数据来看，92.7%的监测数据低于  $0.43\text{kg}/\text{h}$ ；66.3%的数据低于  $0.18\text{kg}/\text{h}$ 。

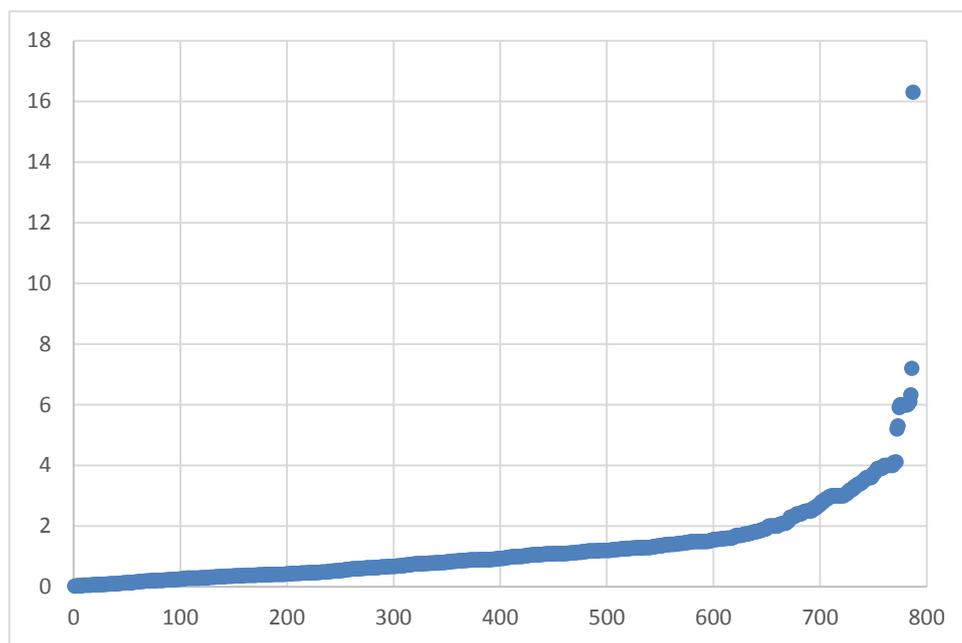


图 7-11 半导体企业氯化氢排放浓度（单位： $\text{mg}/\text{m}^3$ ）

表 7-26 国内外相关标准中氯化氢限值规定列表

	浓度限值 ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )	最高允许排放速率 ( $\text{kg}/\text{h}$ )
现行标准	15	0.26/0.43/1.4
北京	10	-
江苏	10	
台湾	-	排放削减率应大于 95%或工厂总排放量应小于 $0.6\text{kg}/\text{h}$ 。
世行	10	-
上海大气综排	10	0.18

根据企业实际排放情况，本修订标准中氯化氢的最高允许排放浓度限值加严

至  $10\text{mg}/\text{m}^3$ 。氯化氢的排放速率要求较硫酸雾更严，采用现行标准中 20m 的限值  $0.43\text{kg}/\text{h}$  作为修订标准中排放速率限值要求。

### (3) 氟化氢

氢氟酸是半导体行业最常用酸之一，主要来源于清洗、氧化等工序，企业基本都采用碱液吸收法处理技术。现行标准中氟化氢的浓度限值为  $1.5\text{mg}/\text{m}^3$ ，15m、20m 和 30m 的最高允许排放速率分别为  $0.1\text{kg}/\text{h}$ 、 $0.17\text{kg}/\text{h}$  和  $0.59\text{kg}/\text{h}$ 。上海市大气综合排放标准氟化物的浓度限值为  $5.0\text{mg}/\text{m}^3$ ，最高允许排放速率为  $0.073\text{kg}/\text{h}$ 。

氟化氢是本市半导体企业常规监测指标。多年的企业自行监测和环保部门监督监测结果显示，检出数据的范围从  $0.004\text{--}4.86\text{mg}/\text{m}^3$ ，变化范围很大；99.5%的数据低于  $3\text{mg}/\text{m}^3$ ，97.7%的数据低于  $1.5\text{mg}/\text{m}^3$ 。由于企业间排气筒风量变化巨大，单个排气筒的硫酸雾排放速率变化也很大，最低的监测数据仅  $0.00013\text{kg}/\text{h}$ ，最高的监测数据为  $0.43\text{kg}/\text{h}$ 。以单根排气筒数据来看，79.7%的监测数据低于  $0.17\text{kg}/\text{h}$ 。

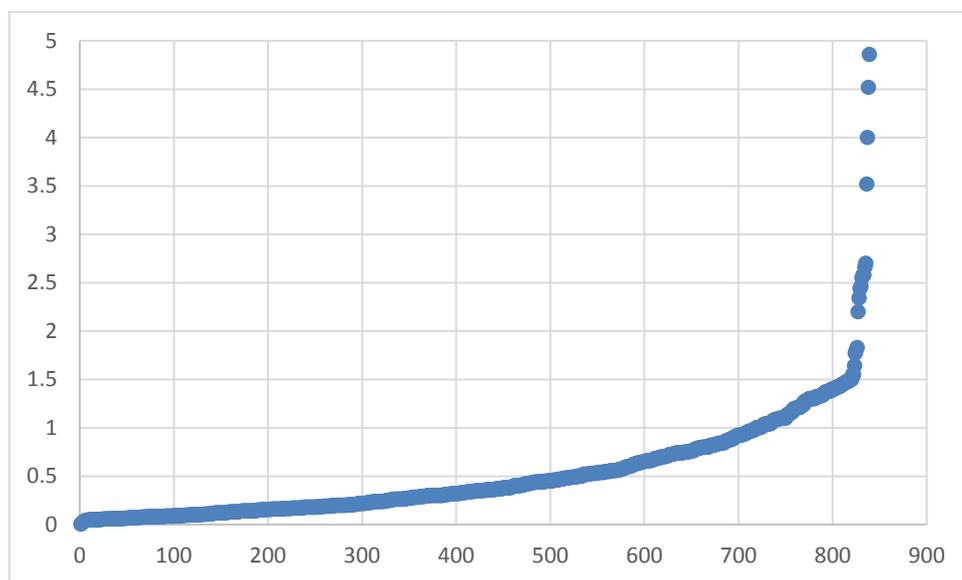


图 7-12 半导体企业氟化氢排放浓度（单位： $\text{mg}/\text{m}^3$ ）

表 7-27 国内外相关标准中氟化氢限值规定列表

	浓度限值 (mg/m <sup>3</sup> )	最高允许排放速率 (kg/h)
现行标准	1.5	0.1/0.17/0.59
北京	10	-
江苏	1.5	
台湾	-	排放削减率应大于 95%或工厂总排放量应小于 0.6kg/h。
世行	5	-
上海大气综排	5	0.073

根据企业实际排放情况，本修订标准中氟化氢的最高允许排放浓度限值仍为 1.5mg/m<sup>3</sup>。氟化氢的排放速率要求也较硫酸雾更严，采用现行标准中 20m 的限值 0.17kg/h 作为修订标准中排放速率限值要求。

#### (4) 氯气

氯气主要来源于光刻、干法刻蚀等工艺，企业基本也是采用碱液吸收法处理技术。现行标准中未对氯气进行控制。上海市大气综合排放标准浓度限值为 3mg/m<sup>3</sup>，最高允许排放速率分别为 0.36kg/h。

本市仅个别集成电路制造企业开展氯气的日常监测。多年的企业自行监测结果显示，检出数据的范围从 0.019-22.7mg/m<sup>3</sup>，变化范围很大；98.0%的数据低于 5mg/m<sup>3</sup>，96.3%的检出数据低于 3mg/m<sup>3</sup>。

表 7-28 国内外相关标准中氯气限值规定列表

	浓度限值 (mg/m <sup>3</sup> )	最高允许排放速率 (kg/h)
现行标准	-	-
北京	3	-
江苏	5	-
上海大气综排	3	0.36

根据企业实际排放情况，本修订标准中氯气的最高允许排放浓度限值加严至 3mg/m<sup>3</sup>。国家《大气污染物综合排放标准》在制定时，明确排放氯气的排气筒不得低于 25m，二级区的排放速率要求为 0.52kg/h。本标准沿用国标的控制要求，即 0.52kg/h 作为氯气排放速率限值要求。

## (5) 氰化氢

氰化氢主要来源于半导体封装中可能采用的含氰电镀工艺，企业一般采用喷淋吸收处理技术。现行标准中未对氰化氢进行控制。上海市大气综合排放标准浓度限值为  $1.9\text{mg}/\text{m}^3$ ，最高允许排放速率分别为  $0.11\text{kg}/\text{h}$ 。目前，企业实际采用含氰电镀的较少，也未获得相关的监测数据。

表 7-29 国内外相关标准中氰化氢限值规定列表

	浓度限值 ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )	最高允许排放速率 ( $\text{kg}/\text{h}$ )
现行标准	-	-
北京	0.5	-
江苏	0.5	-
上海大气综排	1.9	0.11

本修订标准中增加氰化氢的控制要求，浓度限值设置为  $0.5\text{mg}/\text{m}^3$ 。氰化氢主要可能来自于集成电路封装企业，以  $5\text{万 m}^3/\text{h}$  为考虑，排放速率限值要求为  $0.025\text{kg}/\text{h}$ 。

## 2. 碱性废气

硝酸等是半导体企业中常用的原料，由此产生的碱性气体一般也都通过湿式洗涤塔予以处理。调查结果显示，集成电路制造企业都单独设置了碱性排气筒，风量一般维持在几千到几万  $\text{m}^3/\text{h}$  不等；而集成电路封装企业则一般不单独设碱性排气筒。一般一条集成电路制造生产线设置 1-2 个碱性排气筒，排气筒高度均高于  $20\text{m}$ 。由于排气筒较高，多个排气筒往往需要等效为一根排气筒。

表 7-30 本市部分企业碱性排气筒情况

企业	企业类型	个数 (个)	高度 (m)	排气量 ( $\text{m}^3/\text{h}$ )	处理技术
A	集成电路制造	8	40	3180-11900	酸式洗涤塔
B	集成电路制造	11	25-36	324-70596	酸式洗涤塔
C	集成电路制造	4	32	15840-34200	酸式洗涤塔
D	集成电路制造	1	33	12677	酸式洗涤塔
E	集成电路制造	1	25	39960	酸式洗涤塔
F	集成电路制造	1	20	5004	酸式洗涤塔

由于氨属于国家《恶臭污染物排放标准》(GB 14554-93)中控制的恶臭物质，现行标准中未在制定浓度限值，仅给出了排放速率的要求，15m、20m 和 30m 的最高允许排放速率分别为 4.9kg/h、8.7kg/h 和 20kg/h。上海市《恶臭（异味）污染物排放标准》(DB31/1025-2016)中规定了氨的浓度限值，为 30mg/m<sup>3</sup>，最高允许排放速率为 1kg/h。

氨也纳入了本市半导体企业，特别是集成电路制造企业的常规监测。多年的企业监测结果显示，检出数据的范围从 0.017-449mg/m<sup>3</sup>，变化范围巨大；94.0%的数据低于 30mg/m<sup>3</sup>，90.2%的数据低于 15mg/m<sup>3</sup>。由于企业间排气筒风量变化巨大，单个排气筒氨的排放速率变化也很大，最低的监测数据仅 0.000835kg/h，最高的监测数据为 3.15kg/h。以单根排气筒数据来看，所有监测数据都能低于 4.9kg/h。

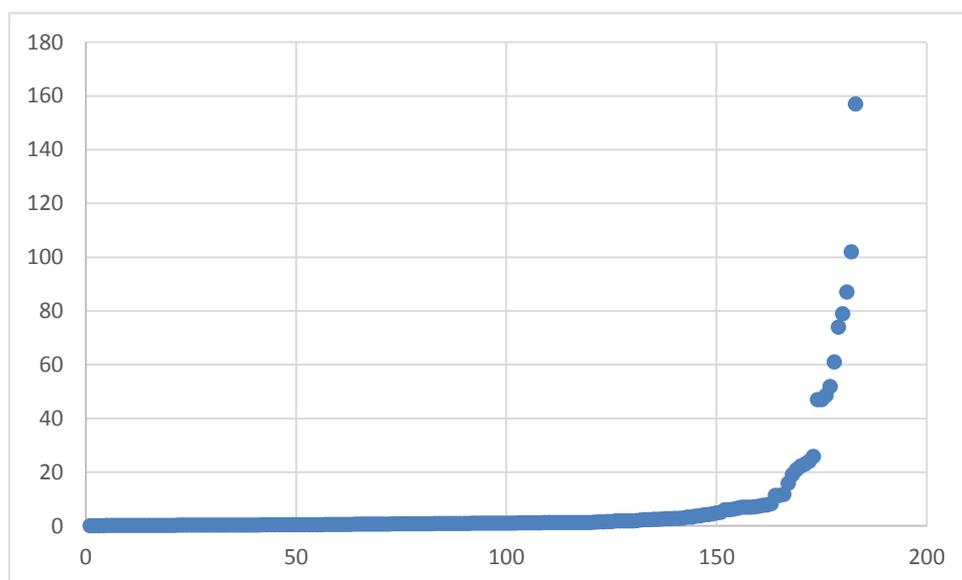


图 7-13 半导体企业氨排放浓度（单位：mg/m<sup>3</sup>）

表 7-31 国内外相关标准中氟化氢限值规定列表

	浓度限值 (mg/m <sup>3</sup> )	最高允许排放速率 (kg/h)
现行标准	-	4.9/8.7/20
北京	10	-
江苏	10	-
上海恶臭排放标准	30	1

根据企业实际排放情况，本修订标准中氨的最高允许排放浓度限值设置为

15mg/m<sup>3</sup>。考虑到行业排气筒量较大的情况，结合实际监测情况，采用现行标准中 15m 的限值 4.9kg/h 作为修订标准中排放速率限值要求。

### 3. 有机废气

由于半导体企业中大量使用了各种有机物质，对挥发性有机物的控制是本标准在制订时就非常重视的项目。目前，本市一些相对较新的集成电路制造企业采用的均是沸石转轮加焚烧的处理工艺，一些晶圆尺寸较小的、建设相对时间较久的集成电路制造企业则多采用活性炭吸附工艺；而集成电路封装和分立器件企业则一般都采用活性炭吸附的处理方式。采用沸石转轮工艺的企业，有的会设有有机排口和有机焚烧排口两个排口，其中，有机排口风量较大，基本都在 10000m<sup>3</sup>/h 以上，而焚烧排口则在 2000-5000m<sup>3</sup>/h；若为合并排放口，则一般风量都能达到几万 m<sup>3</sup>/h 以上。无论的集成电路制造企业，还是封装企业，采用活性炭吸附的有机排口排风量也较大，多数都超过 10000m<sup>3</sup>/h。本市半导体行业企业有机排气筒的高度基本都在 20m 以上，若为多个排气筒，往往需要等效为一根排气筒。因此，在最高允许排放速率的制定时，对有机气体考虑的等效排放风量为 60000m<sup>3</sup>/h。

表 7-32 本市部分企业有机排气筒情况

企业	企业类型	个数 (个)	高度 (m)	排气量 (m <sup>3</sup> /h)	处理技术
A	集成电路制造	17	40	2560-20000	沸石转轮脱附+TO 燃烧
B	集成电路制造	11	25-36	720-29232	活性炭吸附/沸石转轮
C	集成电路制造	3	32	9000-50040	沸石转轮+RTO
D	集成电路制造	4	25-35	4360-25331	活性炭吸附
E	集成电路制造	1	25	19800	活性炭吸附
F	集成电路制造	1	24	18000	活性炭吸附
G	集成电路封装	3	25	18000-80000	活性炭吸附
H	集成电路封装	2	22-25	720-17280	活性炭吸附
I	分立器件	3	15-25		活性炭吸附

#### (1) VOCs

考虑到半导体企业中使用的有机物种类烦多，采用非甲烷总烃表征的代表性

较差,因此现行标准第一次提出了 VOCs 的控制指标,浓度控制限值为 100mg/m<sup>3</sup>,并提出当排放速率大于 0.6kg/h,则设施最低处理效率应达到 88%。

本市多数集成电路制造企业都将 VOCs 作为了日常监测项目;集成电路封装企业仅个别开展了 VOCs 的日常监测。多年的企业监测结果显示,数据范围从 0.124-60.2mg/m<sup>3</sup>,变化范围较大;99.3%的数据低于 100mg/m<sup>3</sup>,91.0%的数据低于 20mg/m<sup>3</sup>。从课题组收集的数据来看,由于采用原料中含有有机物的不同,VOCs 检测项也有变化。总体而言,异丙醇和丙酮是检出率最高的两项指标。检出异丙醇的浓度占 VOCs 浓度的比例达到 1.6-100%;检出丙酮的浓度占 VOCs 浓度的比例达到 0.1-97.6% (均扣除两项指标未检出情况)。这主要是因为异丙醇和丙酮是半导体企业中最常用的清洗试剂。除这两项因子外,气体检出的指标还包括:丙烯、正己烷、环己烷、正庚烷、苯、甲苯、乙苯、间二甲苯、对二甲苯、苯乙烯、邻二甲苯、4-乙基甲苯、1,3,5-三甲基苯、1,2,4-三甲基苯、乙醇、甲乙酮、乙酸乙酯、四氢呋喃、甲基丙烯酸甲酯、甲基异丁基酮、二硫化碳、1,2-二氯丙烷、氯乙烯、三氯氟甲烷、二氯甲烷、顺-1,2-二氯乙烯、1,2-二氯乙烷、四氯化碳、六氯丁二烯、1,3-二氯苯、1,4-二氯苯、1,2,4-三氯苯、三氯甲烷、三溴甲烷、萘、甲基乙基酮、乙醚、异丙烯酸甲酯、4-乙基甲苯、乙丙烯酸甲酯、丙烯腈、4-甲基-2-戊酮和 2-丁酮等。

由于企业间排气筒风量变化巨大,单个排气筒氨的排放速率变化也很大,最低的监测数据仅 0.00049kg/h,最高的监测数据为 1.77kg/h;86.5%的单个排气筒排放速率数据小于 0.6kg/h,97.3%的数据小于 1.2kg/h。

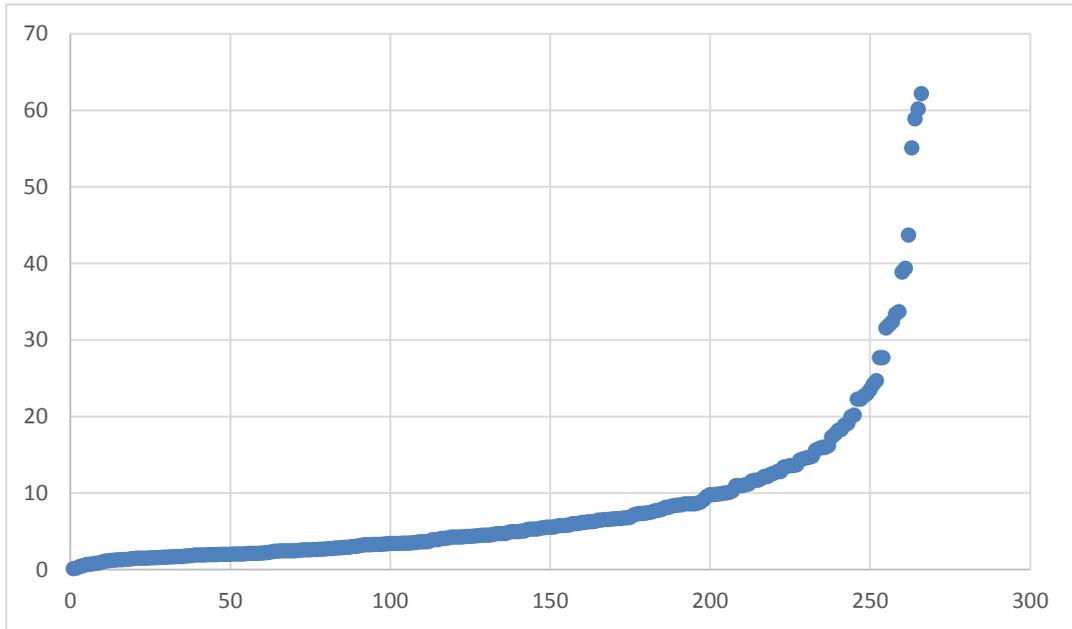


图 7-14 半导体企业 VOCs 排放浓度 (单位:  $\text{mg}/\text{m}^3$ )

表 7-33 国内外相关标准中 VOCs 限值规定列表

	浓度限值 ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )	最高允许排放速率 ( $\text{kg}/\text{h}$ )
现行标准	100	排放速率大于 $0.6\text{kg}/\text{h}$ , 则设施最低处理效率应达到 88%
江苏	100	-
天津	20	$0.7/3.4/11.9/18.7/32.3^{1)}$
台湾	-	排放削减率应大于 90% 或工厂总排放量应小于 $0.6\text{kg}/\text{h}$ (以甲烷为计算基准)。
世行	20	-
上海大气综排	-	-

根据企业实际排放情况, 本修订标准中 VOCs 最高允许排放浓度限值设置为  $20\text{mg}/\text{m}^3$ 。以排气筒等效排放量  $60000\text{m}^3/\text{h}$  为依据, 确定排放速率限值要求为  $1.2\text{kg}/\text{h}$ 。

半导体行业中集成电路制造企业的有机物使用情况较为复杂, 而集成电路封装测试与分立器件企业使用的成分相对简单。同时, 考虑到 VOCs 的监测费用相对昂贵, 该指标为集成电路制造企业执行标准。

## (2) 非甲烷总烃

非甲烷总烃也是表征有机污染的指标之一。现行标准未制定非甲烷总烃的限值要求。上海市大气综合排放标准的浓度限值为  $70\text{mg}/\text{m}^3$ ，最高允许排放速率为  $3\text{kg}/\text{h}$ 。

虽然非甲烷总烃不是现行标准的控制指标，但本市仍有较多半导体行业企业开展该指标的的日常监测。多年监测结果显示，检出数据的范围从  $0.20\text{--}252\text{mg}/\text{m}^3$ ，变化范围很大；95.7%的数据低于  $50\text{mg}/\text{m}^3$ ，86.5%的数据低于  $20\text{mg}/\text{m}^3$ 。由于企业间排气筒风量变化巨大，单个排气筒的非甲烷总烃排放速率变化也很大，最低的监测数据为  $0.0001\text{kg}/\text{h}$ ，最高的监测数据为  $5.06\text{kg}/\text{h}$ 。以单根排气筒数据来看，96.5%的监测数据低于  $1.2\text{kg}/\text{h}$ 。

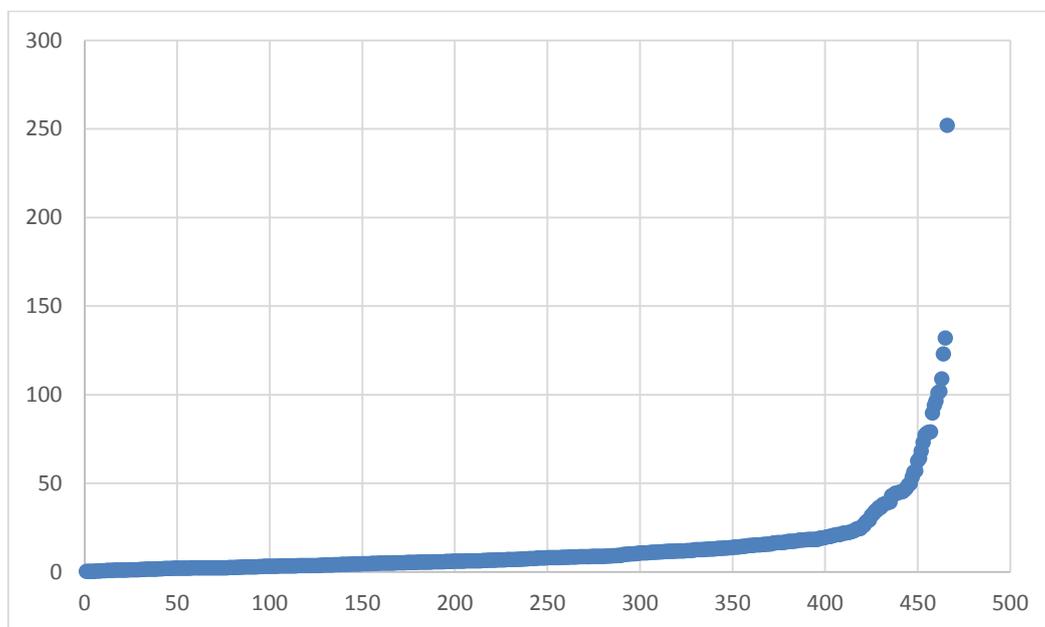


图 7-15 半导体企业非甲烷总烃排放浓度（单位： $\text{mg}/\text{m}^3$ ）

表 7-34 国内外相关标准中非甲烷总烃限值规定列表

	浓度限值 ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )	最高允许排放速率 ( $\text{kg}/\text{h}$ )
现行标准	-	-
北京	20/10	-
江苏	50	-
上海大气综排	70	3

根据企业实际排放情况，本修订标准中非甲烷总烃最高允许排放浓度限值设置为 20mg/m<sup>3</sup>。以排气筒等效排放量 60000m<sup>3</sup>/h 为依据，确定排放速率限值要求为 1.2kg/h。

### (3) 苯

苯属于半导体行业中可能使用和排放的有机物。从企业实际监测情况来看，苯的检出率不高，能检出的数据中最小值为 0.0024mg/m<sup>3</sup>，最高值为 1.654mg/m<sup>3</sup>，仅个别监测数据高于 1mg/m<sup>3</sup>。

现行标准未制定苯的限值要求。上海市大气综合排放标准中苯的浓度限值为 1mg/m<sup>3</sup>，最高允许排放速率为 0.1kg/h。

**表 7-35 国内外相关标准中苯限值规定列表**

	苯	
	浓度限值 (mg/m <sup>3</sup> )	最高允许排放速率 (kg/h)
现行标准	-	-
北京	1/0.5	-
江苏	1	-
天津	1	0.2/0.3/0.9/1.2/1.5
上海大气综排	1	0.1

本修订标准中增加苯的控制要求。其中，苯的最高允许排放浓度限值设置为 1mg/m<sup>3</sup>。以排气筒等效排放量 60000m<sup>3</sup>/h 为考虑，排放速率限值要求为 0.06kg/h。

## 4. 有毒气体

砷化氢和磷化氢主要来源于集成电路制造企业生产中的扩散、离子注入工序，是半导体行业的特征污染物。由于这两种物质均属于剧毒物质，企业生产中一般都设有专门的尾气处理设备（POU），通过预处理后排放至酸性废气处理系统处理。目前我国对这两种污染物暂无检测方法，因此无企业实测数据。现行标准未制定砷化氢和磷化氢的限值要求。上海市大气综合排放标准中砷化氢和磷化氢的浓度限值也均为 1mg/m<sup>3</sup>，砷化氢的最高允许排放速率为 0.0036kg/h，磷化氢为 0.022kg/h。

表 7-36 国内外相关标准中砷化氢和磷化氢限值规定列表

	砷化氢		磷化氢	
	浓度限值 (mg/m <sup>3</sup> )	最高允许排放速率 (kg/h)	浓度限值 (mg/m <sup>3</sup> )	最高允许排放速率 (kg/h)
现行标准	-	-	-	-
江苏	1	-	1	-
世行	-	-	1	-
上海大气 综排	1	0.0036	40	0.022

本修订标准中增加砷化氢和磷化氢的控制要求，浓度限值均为 1mg/m<sup>3</sup>；排放速率要求参考上海市综排要求，砷化氢的最高允许排放速率为 0.0036kg/h，磷化氢为 0.022kg/h。

## 5. 颗粒物

颗粒物主要产生于切割、研磨等工序。现行标准中未制定颗粒物的排放要求。上海市大气综合排放标准浓度限值为 30mg/m<sup>3</sup>，最高允许排放速率分别为 1.5kg/h。

本市半导体企业颗粒物的监测数据较少，检出数据的范围从 0.058-17mg/m<sup>3</sup>，变化范围较大；97.4%的数据低于 10mg/m<sup>3</sup>。

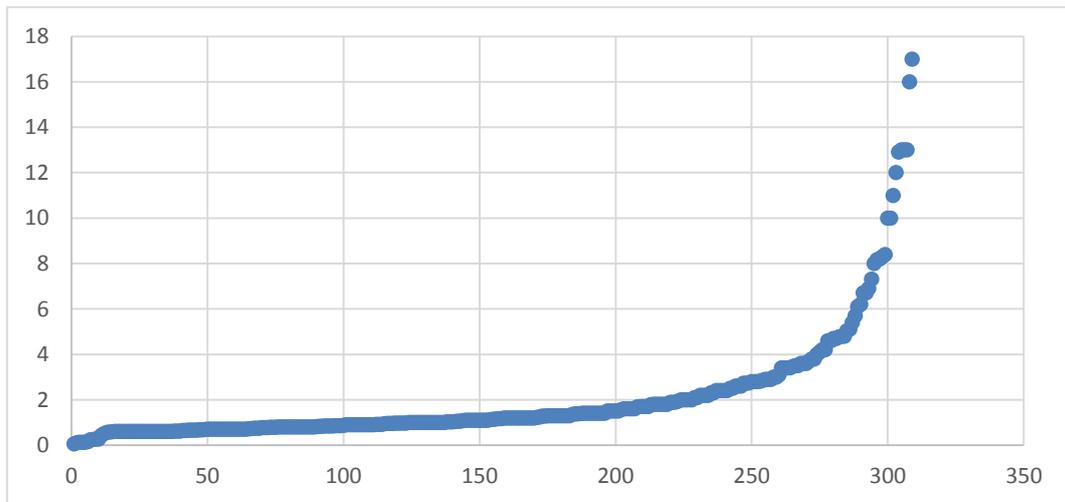


图 7-16 半导体企业颗粒物排放浓度 (单位: mg/m<sup>3</sup>)

表 7-37 国内外相关标准中颗粒物限值规定列表

	浓度限值 (mg/m <sup>3</sup> )	最高允许排放速率 (kg/h)
现行标准	-	-
北京	10	-
江苏	20	-
上海大气综排	30	1.5

本修订标准中增加颗粒物的控制要求。根据本市企业实际监测情况，确定颗粒物浓度限值均为 10mg/m<sup>3</sup>。排放速率基于《环境空气质量标准》(GB3095-2012) 中 PM<sub>10</sub> (TSP) 的 24 小时平均浓度  $C_m=0.15\text{mg}/\text{m}^3$ ，按照日均浓度结合式 (2) 计算的排放速率为 0.90Kg/h。考虑到半导体行业排放量巨大的特点，因此考虑排放速率要求参考上海市综排，制定为 1.5Kg/h，对应的风量为 15 万 m<sup>3</sup>/h。

## 6. 氮氧化物

半导体行业氮氧化物的排放主要来自两个方面，一是工艺过程中产生的氮氧化物，如硝酸酸洗工艺等；二是处理有机废气燃烧排放的氮氧化物。现行标准中未制定氮氧化物的排放要求。上海市大气综合排放标准浓度限值为 200mg/m<sup>3</sup>，最高允许排放速率分别为 0.47kg/h；废气热氧化处理装置的浓度限值为 150mg/m<sup>3</sup>，未设置排放速率要求。

本市半导体企业氮氧化物的监测数据主要来自于酸性排气筒和个别的有机排气筒，检出数据的范围从 0.021-96mg/m<sup>3</sup>，变化范围较大；98.5%的数据低于 50mg/m<sup>3</sup>，其中大于 50mg/m<sup>3</sup> 的监测数据基本都来自于有机废气的焚烧排口。

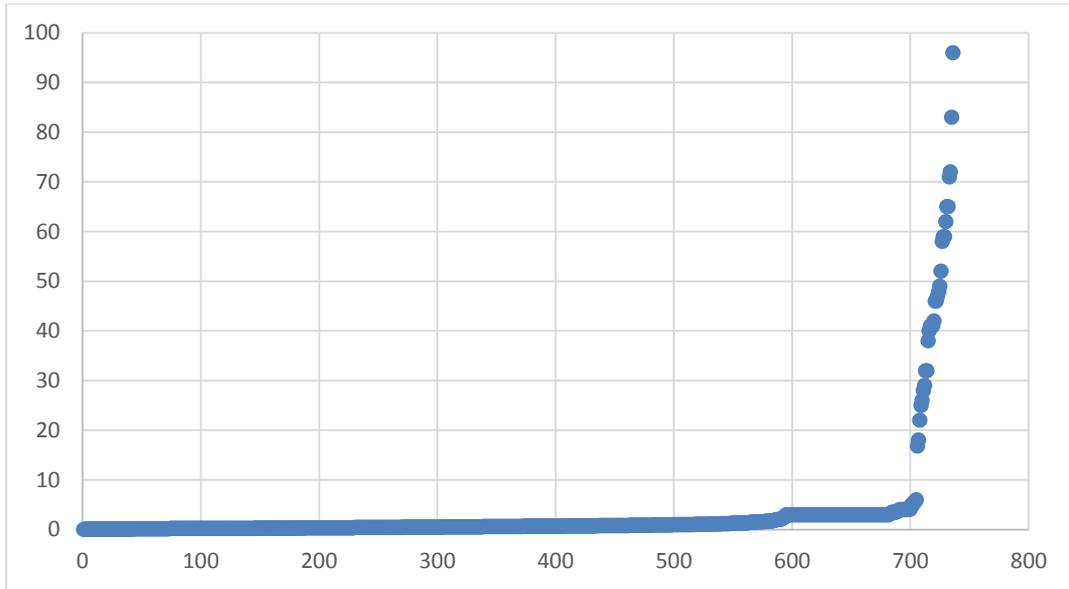


图 7-17 半导体企业氮氧化物排放浓度（单位： $\text{mg}/\text{m}^3$ ）

表 7-38 国内外相关标准中氮氧化物限值规定列表

	浓度限值 ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )	最高允许排放速率 ( $\text{kg}/\text{h}$ )
现行标准	-	-
北京	50/100 <sup>1)</sup>	-
江苏	50	-
上海大气综排	200/150 <sup>2)</sup>	0.47/ <sup>-2)</sup>

1) 分别为排气筒的排放浓度限值/燃烧装置排放限值。

2) 分别为其他源/废气热氧化处理装置的限值要求。

本修订标准中增加氮氧化物的控制要求。根据本市企业实际监测情况，确定氮氧化物浓度限值均为  $50\text{mg}/\text{m}^3$ ；燃烧装置排放限值参考上海市综排，确定为  $150\text{mg}/\text{m}^3$ 。工艺排气筒的氮氧化物排放速率基于《环境空气质量标准》(GB3095-2012) 中氮氧化物的一小时平均浓度  $C_m=0.25\text{mg}/\text{m}^3$ ，结合式 (2) 计算的排放速率为  $1.5\text{kg}/\text{h}$ 。

## 7. 锡及其化合物

锡及其化合物主要来源于半导体封装中可能采用的含锡电镀、焊接等工艺，企业一般采用吸附法处理。现行标准中未对锡及其化合物进行控制。上海市大气综合排放标准浓度限值为  $5\text{mg}/\text{m}^3$ ，最高允许排放速率分别为  $0.22\text{kg}/\text{h}$ 。企业的

实测数据较少，基本都来自半导体封装测试企业和分立器件企业。该指标的检出率很低，仅为 30%左右。已检测数据范围在 0.000014-0.0143mg/m<sup>3</sup>。

**表 7-39 国内外相关标准中氰化氢限值规定列表**

	浓度限值 (mg/m <sup>3</sup> )	最高允许排放速率 (kg/h)
现行标准	-	-
北京	0.5	-
江苏	1	-
上海大气综排	5	0.22

本修订标准中增加锡及其化合物的控制要求，浓度限值设置为 1mg/m<sup>3</sup>。锡及其化合物主要可能来自于集成电路封装企业，以 50000m<sup>3</sup>/h 为考虑，苯的排放速率限值要求为 0.05kg/h。

## (八) 无组织大气污染物排放限值的确定

半导体生产工艺对环境要求很高，工艺阶段基本都在洁净厂房内开展。就生产环境而言，从原料输送到废气排放，整体的密闭特性较好。对工艺过程中可能产生的无组织排放，以达到国家最新发布的《挥发性有机物无组织排放控制标准》(GB 37822-2019) 为主。对于厂界，增加特征因子的边界大气污染物浓度限值。

现行标准并未制定边界的大气污染物排放要求，因此企业未将其纳入日常环境监测。在本标准修订期间，部分企业进行了边界的大气污染物监测工作，课题组也选择了特征企业进行现场实测，指标包括氰化物、氯气、氯化氢、硫酸雾、非甲烷总烃及 VOCs。从企业实际监测情况来看，厂界各项指标的浓度都普遍较低。

**表 7-40 本市半导体企业厂界监测情况 (单位: mg/m<sup>3</sup>)**

企业	氯气	氯化氢	硫酸雾	苯	非甲烷总烃	VOCs
A	NA-0.1	NA-0.084	NA-0.175	0.0005- 0.0166	0.938-3.99	0.0721- 0.2741
B	NA	-	NA	0.0015- 0.0022	0.0543- 0.765	0.0311- 0.654
C	-	-	-	0.0008- 0.0014	1.55-2.06	0.0773- 0.1001

企业	氯气	氯化氢	硫酸雾	苯	非甲烷总烃	VOCs
D	-	-	NA-0.11		2.46-3.58	

表 7-41 国内相关标准中厂界限值规定列表（单位：mg/m<sup>3</sup>）

序号	污染物	北京	江苏	上海综排
1	氰化氢	0.0024	0.0024	0.024
2	氯气	0.02	0.4	0.1
3	氯化氢	0.01	0.2	0.15
4	非甲烷总烃	-	2.0	4.0

结合本市企业实际监测情况和上海市地标对厂界无组织废气的监控，确定本标准的边界大气污染物浓度限值。

表 7-42 本标准企业厂界大气污染物监控点浓度限值（单位：mg/m<sup>3</sup>）

序号	污染物	本标准
1	氰化氢	0.024
2	氯气	0.1
3	氯化氢	0.15
4	非甲烷总烃	4.0

## 八、国内外相关标准对比分析

### （一）水污染物相关排放标准对比分析

表 8-1 给出了本标准与美国、德国、世行、台湾地区半导体行业水污染物排放相关标准的限值一览表。从限值来看，总体上本标准除个别重金属指标外，都严于其他国家和地区的半导体行业排放标准要求。而与国家电子标准相比，总铅、总镍及总银等重金属指标有所加严，其他指标基本一致。

表 8-1 水污染物排放标准比较（单位：mg/L）

国家/地区	美国	德国	世行	中国台湾	国家电子 <sup>1)</sup>	江苏 <sup>2)</sup>	本标准 <sup>1)</sup>
pH	6-9	-	6-9	6-9	6-9	6-9	6-9
悬浮物	61（最大值）；	-	50（最	30	70/400	20/50/250	50/400

国家/地区	美国	德国	世行	中国台湾	国家电子 <sup>1)</sup>	江苏 <sup>2)</sup>	本标准 <sup>1)</sup>
	23 (连续 30 日日均值)		大) ; 20 (月均)				
石油类	-	-	10 (油脂)	10	5/20	1/3/5	3/15
化学需氧量 (COD <sub>Cr</sub> )	-	-	-	100	100/500	50/60/300	60/500
总有机碳 (TOC)	-	-	-	-	30/200	15/20/90	20/150
氨氮	-	-	10	10/20(水源保护区内/外)	25/45	8/10/20	5/45
总氮	-	-	-	-	35/70	10/15/35	15/70
总磷	-	2	5	-	1/8	0.5/1/3	0.5/8
阴离子表面活性剂 (LAS)	-	-	-	10	5/20	0.5/1/1	3/20
总氰化物	-	-	0.1 (游离) 1.0 (总)	1.0	0.5/1.0	0.2/0.2/0.2	0.2/0.5
硫化物	-	1	-	1.0	1/1	1/1/1	1/1
氟化物	32.0 (日最大值) ; 17.4 (连续 30 日日均值)	-	20	15	10/20	8/10/15	8/20
五日生化需氧量 (BOD <sub>5</sub> )	-	-	-	-	-	-	20/300
总铜	-	0.5	0.5	3.0	0.5/2	0.3/0.3/0.3	0.5/1
总锌	-	2	-	5.0	1.5/1.5	1/1/1	1.5/1.5
总铅	-	0.5	0.1	1.0	0.2	0.1/0.2	0.1
总镉	-	-	0.1	0.03	0.05	0.01/0.05	0.05
总铬	-	0.5	-	2.0	1.0	0.5/0.5	0.5
六价铬	-	0.1	0.1	0.5	0.2	0.1/0.1	0.1
总砷	2.09 (日最大值) ; 0.83 (连续 30 日日均值)	0.2 或 0.3 (砷化镓半导体)	0.1	0.5	0.5	0.1/0.2	0.2
总镍	-	0.5	0.5	1.0	0.5	0.1/0.5	0.1

国家/地区	美国	德国	世行	中国台湾	国家电子 <sup>1)</sup>	江苏 <sup>2)</sup>	本标准 <sup>1)</sup>
总银	-	0.1	-	0.5	0.3	0.1/0.3	0.1

1) 项目 ph 至总锌分别为直接排放标准/间接排放标准；项目总铅至总银为直接（间接）排放标准。

2) 项目 ph 至总锌分别为特别排放限值/直接排放标准/间接排放标准；项目总铅至总银为特别排放限值/直接（间接）排放标准。

## (二) 大气污染物相关排放标准对比分析

表 8-2 给出了本标准与世行、台湾地区半导体行业大气污染物排放相关标准的限值一览表。从标准体系上来看，台湾地区的采用的是排放削减率及排放总量的控制模式，与本标准体系完全不同。从限值来看，本标准 and 世行标准基本保持一致，个别指标更严。

表 8-2 大气污染物排放标准比较（单位：mg/m<sup>3</sup>）

污染物	世行	中国台湾	北京	江苏	上海综排 <sup>1)</sup>	本标准 <sup>1)</sup>
硫酸雾	-	排放削减率应大于 95% 或工厂总排放量应小于 0.1kg/h。	5	5	5/1.1	5/2.6
氯化氢	10	排放削减率应大于 95% 或工厂总排放量应小于 0.6kg/h。	10	10	10/0.18	10/0.43
氟化氢	5	排放削减率应大于 95% 或工厂总排放量应小于 0.6kg/h。	3	1.5	5/0.073	1.5/0.17
氯气	-	-	3	5	3/0.36	3/0.52
砷化氢	-	-	-	1	1/0.0036	1/0.0036
磷化氢	1	-	-	1	1/0.022	1/0.022
氰化氢	-	-	0.5	0.5	1.9/0.11	0.5/0.02 5
氨	-	-	10	10	-	15/4.9
苯	-	-	1/0.5	1	1/0.1	1/0.06

污染物	世行	中国台湾	北京	江苏	上海综排 <sup>1)</sup>	本标准 <sup>1)</sup>
VOCs	20	排放削减率应大于 90% 或工厂总排放量应小于 0.6kg/h (以甲烷为计算基准)。	-	100	-	20/1.2
非甲烷总烃	-	-	20/10	50	70/3.0	20/1.2
颗粒物	-	-	10	20	30/1.5	10/1.5
氮氧化物	-	-	10	50	200/0.47	50/1.5
			100 (焚烧装置)	-	150 (废气热氧化处理装置) /-	150/- (焚烧装置)
锡及其化合物	-	-	1	1	5/0.22	1/0.05

1) 分别为最高允许排放浓度限值/排放速率。

## 九、实施本标准的环境效益和经济技术分析

### (一) 技术可达性分析

本标准在制订时,根据上海市已有企业的实际污染物处理工艺和国外相关企业调查,对主要污染物认定了其最佳实用技术。这些技术在当时基本都已是半导体行业较为成熟有效的处理技术。现结合这些最佳实用技术,对其可达性进行深入分析。

#### 1. 废水处理技术可达性分析

半导体企业的废水可以分为含氟废水、含氨废水、重金属废水、酸碱废水等。针对不同类型的废水,一般都有相应的废水处理系统。

对于集成电路制造企业而言,含氟废水、含氨废水在单独处理完成以后,基本都回后接至中和处理系统,全部废水处理达标后,排至市政污水管网。集成电路封装企业产生的含重金属废水按要求应单独处理,达标后也是进入中央废水处理系统处理后排放。针对不同类型的废水采用专门的废水处理系统,有利于废水

的达标排放。

### (1) 含氟废水

含氟废水的处理方法有多种，包括石灰沉淀法、混凝沉淀法、吸附法、离子交换法和电渗析法，每种方法都存在其各自的优缺点。目前，国内外常用的含氟废水处理方式为化学沉淀法。该工艺方法简单、费用低，也是半导体企业采用的成熟技术，属于含氟废水处理的最佳实用技术。

半导体行业中的集成电路制造企业往往是含氟废水的产生大户，针对这一类型废水，均设有单独的处理系统。氟化物经处理至一定水平后排入后续的废水处理系统。表 9-1 给出了本市主要半导体含氟废水处理设施的情况。从表中的数据来看，针对含氟废水的处理系统处理效率可以达到 90%左右，企业的实测数据也显示氟化物具有非常好的达标率，说明化学沉淀法对含氟废水的处理具有很好的技术可达性。

表 9-1 本市主要半导体企业含氟废水处理设施情况

企业	企业类型	生产线	处理工艺	设计处理能力 (t/d)	实际处理量 (t/d)	处理效率 (%)
A	集成电路制造	1/2/3	絮凝沉淀	1440	895	91
		4/5	絮凝沉淀	2400	1373	91
B	集成电路制造	1	化学沉淀	4860	6250	90
		2	化学沉淀	720	1790	90
		3	化学沉淀	480	3200	90
C	集成电路制造	-	絮凝沉淀	2400	2318	-
D	集成电路制造	1/2/3	化学沉淀	1008	770	-
E	集成电路制造	-	化学沉淀	480	400	-

### (2) 含氨废水

含氨废水主要产生于大量使用氨水、氟化铵等清洗的工序，部分企业将其视为碱性废水。含氨废水的处理方法包括次氯酸钠氧化法、吹脱法、硝化反硝化法等。表 9-2 给出了本市主要半导体含氨废水处理设施的情况。从反馈的情况来看，基本上集成电路制造企业都设有专门的处理系统，对此类型的废水进行专门的处

理，但在处理工艺的选择上有所不同。吹脱法是使用最多的处理工艺。从处理效率来看，基本保持在 85%以上。作为含氨废水的特征污染物的氨氮是国家和本市重点关注的污染物指标。通过开展专门的处理，后续排放达标起到了积极的作用。虽然不同企业间采用的技术有所不同，但结合企业监测情况来看，其处理成效还是有所保障的，具有较好的技术可达性。

**表 9-2 本市主要半导体企业含氨废水处理设施情况**

企业	企业类型	生产线	处理工艺	设计处理能力 (t/d)	实际处理量 (t/d)	处理效率 (%)
A	集成电路制造	1/2/3	吹脱法	600	500	85.7%
		4/5	吹脱法	360	164	80%
B	集成电路制造	1	硝化-反硝化 生物法	3210	-	90
		2	硝化-反硝化 生物法	2568	-	90
		3	硝化-反硝化 生物法	240	-	90
C	集成电路制造	-	二级吹脱、 吸附处理	960	766	-
D	集成电路制造	1/2/3	氧化还原	1008	770	-
E	集成电路制造	-	折点加氯法	480	400	-

### (3) 含重金属废水

含重金属的废水主要来自于集成电路封装企业的电镀工序。重金属废水的处理方法通常有沉淀法、物理化学法、电化学处理技术、生物化学法等，不同方法间各有利弊。一般集成电路封装企业针对含重金属废水多采用沉淀法。重金属属于一类污染物，需要在车间口或处理设施口进行监测。从企业实际的监测数据来看，重金属的检出率较低，检出浓度也基本都远远小于排放标准要求，说明企业针对重金属废水的处理是有效的。

### (4) 酸碱废水

酸碱废水是半导体企业水量最大的废水。针对酸碱废水的处理一般就是采用

中和的方式。表 9-3 出了本市主要半导体酸碱废水处理设施的情况。中和处理往往是企业生产废水最后的一道处理工艺，部分企业则会增加混凝沉淀等物化工艺，以保证最后的出水达标排放。

**表 9-3 本市主要半导体企业酸碱废水处理设施情况**

企业	企业类型	生产线	处理工艺	设计处理能力 (t/d)	实际处理量 (t/d)
A	集成电路制造	1/2/3	中和	10800	7044
		4/5	中和	12000	2791
B	集成电路制造	1	中和	1080	-
		2	中和	2640	-
		3	中和	4200	-
C	集成电路制造	-	中和	10800	3500
D	集成电路制造	1/2/3	中和	7200	3200
E	集成电路制造	-	中和	480	303
F	集成电路制造	-	中和	1320	700

## 2. 废气处理技术可达性分析

### (1) 酸碱废气

酸碱废气是半导体企业最主要的废气种类之一。酸性废气处理工艺按照有无废水排出分为干法、半干法和湿法三种，每种工艺有其组合形式，也各有优缺点。相对于干性工艺，湿法净化工艺虽然流程复杂、配套设备较多，但对污染物的净化效率最高。半导体行业废气排放具有气量大、浓度低的特点，针对半导体生产工艺产生的酸性废气，行业内部基本都采用了喷淋的湿法进行处理，后续产生的废水则可以通过自身的废水处理系统予以解决。本标准制订时将碱性湿式洗涤塔作为酸性气体的最佳实用技术。表 9-4 了本市主要半导体企业酸性废气处理设施情况。从表中可以看到，湿式洗涤塔的设计处理效率基本都达到 80% 以上。结合企业实际监测情况，酸性废气浓度达标率较高，说明该处理技术针对半导体行业的酸性气体排放具有很好的技术可达性。

**表 9-4 部分半导体企业酸性气体处理设备情况**

企业	企业类型	生产线	处理工艺	设备数 (个)	设计处理效率 (%)
A	集成电路制造	1	加碱湿式洗涤	5	80
	集成电路制造	2	加碱湿式洗涤	5	80
	集成电路制造	3	加碱湿式洗涤	9	80
	集成电路制造	4	加碱湿式洗涤	6	80
	集成电路制造	5	加碱湿式洗涤	2	80
B	集成电路制造	-	加碱湿式洗涤	20	90
C	集成电路制造	1	加碱湿式洗涤	4	80
	集成电路制造	2	加碱湿式洗涤	4	80
	集成电路制造	3	加碱湿式洗涤	4	80
D	集成电路制造	-	加碱湿式洗涤	22	-
E	集成电路封装	-	湿式洗涤	2	-
F	集成电路封装	-	碱性洗涤塔	1	95

和酸性废气相似，针对碱性废气，半导体行业普遍采用的也是湿式洗涤塔的技术。表 9-5 给出了本市主要半导体企业酸性废气处理设施情况。从表中可以看到，湿式洗涤塔的设计处理效率基本也都达到 80%以上。结合企业的实际监测数据来看，排放浓度和排放速率总体都较低，说明这一技术在实现企业排放达标方面具有较好的可达性。

**表 9-5 本市部分半导体企业碱性气体处理设备情况**

企业	企业类型	生产线	废气类型	处理工艺	设备数 (个)	设计处理效率 (%)
A	集成电路制造	1	碱性	加酸湿式洗涤	1	90
		2	碱性	加酸湿式洗涤	1	90
		3	碱性	加酸湿式洗涤	3	90
		4	碱性	加酸湿式洗涤	2	90
		5	碱性	加酸湿式洗涤	0	-
B	集成电路制造	-	碱性	加酸湿式洗涤	11	-
C	集成电路制造	1	碱性	加酸湿式洗涤	0	-
		2	碱性	加酸湿式洗涤	0	-
		3	碱性	加酸湿式洗涤	2	80
D	集成电路制造	-	碱性	加酸湿式洗涤	1	-

## (2) 有机废气

有机废气是半导体企业另一种重要的废气类型。由于在工艺过程中使用了大量有机溶剂，其组成成分繁杂，产生的有机废气是这一行业废气治理的重点。表一给出了本市主要半导体企业有机废气处理设施情况。目前，国内半导体企业针对有机废气治理的工艺主要集中在沸石转轮+焚烧和活性炭吸附这两种，它们也都是列入《上海市工业固定源挥发性有机物治理技术指引》中推荐的吸附法处理技术，在半导体行业内容也是较为成熟和普遍使用的技术。沸石转轮由于投资和运行成本较大，主要应用于集成电路制造企业，而集成电路封装企业由于 VOCs 产生量相对较少，因此基本采用的都是活性炭吸附工艺。这两项技术在本标准制订时，也被认定为 VOCs 处理的最佳实用技术。结合企业监测情况来看，总体的达标率很高，说明这两项技术在处理本行业 VOCs 方面具有较好的可达性。

**表 9-6 本市部分半导体企业有机气体处理设备情况**

企业	企业类型	生产线	废气类型	处理工艺	设备个数 (个)	设计处理效率 (%)
A	集成电路制造	1	有机	沸石转轮+TO 炉燃烧	1	88
		2	有机	沸石转轮+TO 炉燃烧	1	88
		3	有机	沸石转轮+TO 炉燃烧	1	88
		4	有机	沸石转轮+TO 炉燃烧	1	88
		5	有机	沸石转轮+TO 炉燃烧	1	88
B	集成电路制造	-	有机	沸石转轮+催化燃烧	9	-
C	集成电路制造	1	有机	活性炭吸附	2	80
		2	有机	活性炭吸附	1	80
		3	有机	活性炭吸附	1	80
D	集成电路制造	-	有机	活性炭吸附	1	-
E	集成电路制造	-	有机	活性炭吸附	1	-
F	集成电路封装	-	有机	活性炭吸附	2	92
G	集成电路封装	-	有机废气	活性炭吸附	3	95

## （二） 经济分析

### 1. 投资估算

本标准适用于所有半导体制造及封装测试企业，包括分立器件和集成电路的制造和封装。从调查分析来看，集成电路制造业方面，为控制生产过程中产生的废水和废气排放，这些企业对环保的投入是很大的，往往达到上千万甚至上亿元人民币。集成电路是一个技术资金密集型产业，其生产线本身的投资是巨大的。现在建设一条 12 英寸的生产线需要 20 亿美元-30 亿美元。因此，虽然在环保方面投入资金很多，但占企业总投资的比例还是很低的，一般都不超过 5%。

集成电路封装测试企业的情况与集成电路制造企业类似，且相对集成电路制造过程而言，集成电路的封装测试工艺本身排放的污染物量非常小，在环保方面的投资金额较集成电路制造企业要小得多。

分立器件类企业，本次调查的为港资企业，本身总投资相对较高，环保投资占总投资的比例较低。由于半导体行业污染处理设备投资巨大，新建企业排放标准限值实施后，预计企业不会对污染处理设备进行大规模的替换，但会结合自身运营状况，针对不能达标的项目进行局部的调整。

表 9-7 半导体企业投资情况

企业	总投资（亿元）	环保投资（万元）	环保投资所占比例（%）
A	14	4550	3.25
B	86	12483	1.45
C	84	22752	2.71
D	12	1436	1.20
E	462	82690	1.79
F	114	36150	3.17
G	502	98130	1.95
H	200	9450	0.47

### 2. 运行费估算

集成电路制造过程中，由于其排放的污染物量较大，用于废水和废气治理设施的运行费用也较大，年环保运行费用需要几百至上千万。目前，国内大多数集

成电路制造企业废水为纳管排放，相对运行费用较低，而废气处理方面的运行费用则较高。企业年运行费用占当年年产值的比例一般在 2%以下。相对集成电路制造企业而言，集成电路封装测试及分立器件企业由于其自身排放污染物的量较小，年环保运行费用约为几十万元，表 9-8 为半导体企业环保运行费用情况表。

**表 9-8 半导体企业环保运行费用情况**

企业	废水处理设备总运行费用（万元/年）	废气处理设备总运行费用（万元/年）	环保运行费用占当年年产值的比例（%）
A	450	197.3	0.46
B	44.89	284	1.09
C	3395.7	7847	0.25
D	780	1304	1.57
E	400	2075	0.62
F	-	3280	-

由于目前国内的大多数半导体企业都为合资或独资企业，作为商业机密，编制组很难得到有关企业生产成本和利润方面的数据。因此，难以计算目前企业的环保运行费用对生产成本和利润的影响。

### （三） 环境效益分析

本标准废水排放标准中收严了包括总镍在内的部分重金属指标的限值要求。目前，本市半导体企业废水排放基本都是纳管排放。总镍等重金属指标的严化，有利于后续污水处理厂的安全允许，避免可能产生的环境风险。

本标准大气排放标准中收严了挥发性有机物排放的限值要求，并且明确了对无组织排放的要求。臭氧超标等是目前上海市大气环境面临的一个主要环境问题，挥发性有机物就是重要的前体物。加强对挥发性有机物的管控，减少企业排放总量，符合本市目前阶段大气环境管理的需求。

## 十、 说明

本标准涉及的行业为半导体行业，包括集成电路制造、集成电路封装测试和

分立器件，属于行业型污染物排放标准。建议进一步理清本标准与其他标准的关系，以便标准能好的实施：

1. 半导体行业不再执行本市大气综合排放标准。根据我国污染物排放标准实施的要求，综合性排放标准与行业型排放标准不交叉执行。但本市 2015 年发布实施的地方《大气污染物综合排放标准》（DB31/933-2015）的前言中提出：国家或地方排放未规定的项目可其他污染源执行本标准。即允许行业排放标准与综合排放标准交叉执行。但 2015 年这一版的大气综排标准对各项指标的控制要求都很严，特别是排放速率指标，基本考虑的 10000m<sup>3</sup>/h 左右风量的排气筒。而半导体行业废气排放的一大特点是废气量大。基本单个排气筒的风量都在 10000m<sup>3</sup>/h 以上，若多个排气筒需要计算等效排放速率的话，则排风量更高。若要求企业执行地方综排的话，不具有合理性。因此，本标准发布实施后，继续延续综合性排放标准与行业型排放标准不交叉执行的思路，不再执行上海市 DB31/933-2015。

2. 半导体行业不执行电镀污染物排放标准。半导体行业中的封装工艺涉及到电镀工艺，自国家《电镀污染物排放标准》（GB 21900—2008）发布后，出现要求企业执行该标准的情况。在本半导体标准制定时，实质已提出了对相应重金属及其他污染物的控制要求，因此半导体行业仅需执行本标准即可，无需再执行电镀的相关标准。