

# 再生水利用 电子级水水源

## 编制说明

《再生水利用 电子级水水源》标准编制组

二零二二年十月

项目名称：2020 年中国环境科学学会标准（第二批）

承担单位：清华大学、江苏中电创新环境科技有限公司、清华大学深圳国际研究生院、中国电子系统工程第二建设有限公司、长江存储科技有限责任公司、武汉京东方光电科技有限公司

项目联系人：王文龙

编制组负责人：胡洪营

编制组联系人：王文龙

# 目录

|                                |    |
|--------------------------------|----|
| 1 工作简况 .....                   | 1  |
| 1.1 任务来源 .....                 | 1  |
| 1.2 工作过程 .....                 | 2  |
| 2 电子和半导体行业概况 .....             | 4  |
| 2.1 行业细分概况 .....               | 4  |
| 2.2 行业用水概况 .....               | 4  |
| 2.2.1 电子级水的用量 .....            | 4  |
| 2.2.2 电子级水的水质要求 .....          | 5  |
| 2.3 行业发展趋势 .....               | 5  |
| 2.3.1 半导体集成电路制造发展趋势 .....      | 5  |
| 2.3.2 液晶面板制造发展趋势 .....         | 6  |
| 3 再生水用于电子级水水源标准制订的必要性 .....    | 7  |
| 3.1 再生水利用必要性 .....             | 7  |
| 3.2 再生水利用标准不健全 .....           | 8  |
| 3.2.1 再生水国内标准不健全 .....         | 8  |
| 3.2.2 再生水国际标准不健全 .....         | 8  |
| 3.2.3 企业标准发展及需求 .....          | 8  |
| 3.3 再生水利用面临的挑战 .....           | 10 |
| 4 编制依据和原则 .....                | 11 |
| 5 电子和半导体制造业的电子级水水质 .....       | 12 |
| 5.1 电子级水标准 .....               | 12 |
| 5.1.1 国内标准 .....               | 12 |
| 5.1.2 国际标准 .....               | 13 |
| 5.1.2 国内电子企业电子级水实际水质要求 .....   | 4  |
| 5.2 电子级水制备系统 .....             | 6  |
| 5.2.1 自来水制备电子级水的工艺流程 .....     | 6  |
| 5.2.2 电子级水制备中的污染物控制技术 .....    | 7  |
| 5.2.3 电子级水制备中各环节的污染物去除效率 ..... | 8  |

|                                |           |
|--------------------------------|-----------|
| <b>6 标准主要技术内容</b> .....        | <b>10</b> |
| 6.1 标准适用范围 .....               | 10        |
| 6.2 标准文本主要章节 .....             | 10        |
| 6.3 水质指标的选择 .....              | 10        |
| 6.3.1 选择说明 .....               | 10        |
| 6.3.2 水质控制项目选取 .....           | 10        |
| 6.3.3 电子级水的其他污染物筛查 .....       | 12        |
| 6.4 污染物限值的确定及制定依据 .....        | 12        |
| 6.4.1 水质控制项目及限值的确定方法 .....     | 12        |
| 6.4.2 水质控制项目及限值的确定过程 .....     | 13        |
| 6.4.3 水质控制项目限值 .....           | 33        |
| 6.4.4 再生水水质特征 .....            | 34        |
| 6.5 取样与分析方法 .....              | 35        |
| <b>7 标准实施效益分析</b> .....        | <b>36</b> |
| 7.1 实施本标准的环境效益 .....           | 36        |
| 7.2 实施本标准的经济效益 .....           | 36        |
| <b>8 标准征求意见及对意见的处理情况</b> ..... | <b>37</b> |

# 1 工作简况

## 1.1 任务来源

我国面临严峻的水资源短缺和水环境污染问题，污水再生利用是解决我国水资源问题的重要途径。2021年1月11日，国家发展改革委员会等十部委联合发布《关于推进污水资源化利用的指导意见》，明确指出积极推动污废水工业循环利用，完善再生水处理和利用标准体系。

电子和半导体工业，水量需求大，水质要求高。随着我国高端电子和半导体工业自主发展的刚性需求，电子级水需求将大幅增加，传统水资源越来越难以满足快速增长的纯水制备需求。我国缺水地区，如北京、上海，正逐步开展城市再生水用于电子级水制备的生产实践。未来，进一步拓展城市再生水在电子级水制备中的应用将是我国电子行业高质量发展的重要支撑。

电子级水要求极高的水质。例如，12寸集成电路产线要求纯水的总有机碳（TOC） $<1\ \mu\text{g/L}$ ，金属离子 $<1\ \text{ng/L}$ ，电阻率 $>18.2\ \text{M}\Omega\cdot\text{cm}$ 等。因此，电子企业对水制备系统进水中的小分子有机物、硼、硅浓度有严格的要求。再生水是一种重要的工业用水水源，但是，现有再生水水质标准体系并不完善，仅涉及工业冷却水、洗涤水、锅炉用水等工业用水，指标种类少、水质要求低，未限定TOC、尿素、硼、硅等影响电子级水制备的关键水质指标，难以满足电子级水水源要求。

基于城镇污水厂出水和电子企业厂内循环水制备的再生水，可用于制备电子级水，是缓解我国水资源短缺与电子级水快速增长矛盾的重要途径，也是推动污废水工业循环利用的重要环节。但是，我国乃至全球范围内，尚未发布用于电子级水水源的再生水标准，阻碍了再生水在电子企业的应用。

本标准以建立用于电子级水水源的再生水分类及水质要求为目标，确定再生水水质指标及限值、处理要求及管理。本标准的制定和实施，对规范和指导再生水用于电子级水制备具有积极的现实意义，为推动污废水工业循环利用提供标准和技术支持。

## 1.2 工作过程

标准起草组经过内部多次研讨和专家论证,形成了目前的送审稿及其编制说明。

### (1) 编制启动

2020年1月,清华大学、江苏中电创新环境科技有限公司共同探讨了电子级水用再生水水质标准编制的必要性及紧迫性,联合成立了工作组,并积极邀请长江存储科技有限责任公司和京东方光电科技有限公司等国内知名电子企业的水处理系统专家,共同承担标准制定工作。工作组确定由清华大学及江苏中电创新环境科技有限公司为主要起草单位,推进团体标准的编制工作。

### (2) 理论研究

2020年3月~2020年9月:标准起草组收集并学习了《城市污水再生利用 工业用水水质(GB/T 19923)》、《城市污水再生利用 地下水回灌水质(GB/T 19772)》、《城市污水再生利用 景观环境用水水质(GB/T 18921)》、《城市污水再生利用 分类(GB/T 18919)》、《生活饮用水卫生标准(GB 5749)》、《生活饮用水标准检验方法(GB/T 5750)》和新加坡《HANDBOOK ON APPLICATION FOR WATER SUPPLY》中涉及的NEWater再生水等标准和水质指标,以及台湾台积电、北京中芯国际和北京京东方的再生水回用企业标准。经过资料分析和提炼,理顺了标准制定的方向和思路,形成标准编制大纲。

### (3) 企业调研

为了使标准具有科学性和可操作性,标准起草组以资料分析为主,现场调研为辅,分别于2020年10月~2021年1月赴各细分行业典型企业进行实地考察,与相关技术和管理人员进行了深入探讨。

### (4) 标准草稿

2021年1月~2021年6月:标准起草组召开起草工作研讨会,就标准起草过程中存在的问题进行集中研讨,经过若干次课题组内部研讨会和专家咨询会,形成了标准草稿。

### (5) 标准立项

2021年6月:标准起草组向中国环境科学学会提交制修订立项申请书。

2021年11月:经中国环境科学学会审议进行立项公示。

2021年12月：经中国环境科学学会审议进行正式立项。

(6) 标准征求意见稿

2021年6月~12月：标准起草组召开工作研讨会，通过多次修改和内部讨论，持续完善《再生水利用 电子级水水源》。

2021年4月：在中国环境科学学会主持的专家研讨会中，就标准适用范围、水质指标选取等内容进行深入讨论，进一步完善《再生水利用 电子级水水源》（征求意见稿）。

2021年4月~10月：标准起草组召开工作研讨会，通过多次修改和内部讨论，进一步完善标准内容，形成了《再生水利用 电子级水水源》（征求意见稿）。

## 2 电子和半导体行业概况

### 2.1 行业细分概况

电子级水主要应用于电子和半导体制造的相关行业、液晶面板制造的相关行业，用于清洗半成品、成品。在生产过程中电子级水应用较为广泛，且水质要求高，用水量大。

电子和半导体制造的相关行业主要是半导体、集成电路芯片及封装行业，这些行业对电子级水需求与集成电路的集成度和工艺环节密切相关，集成电路的集成度越高，线宽越窄，对电子级水水质的要求也越高；集成电路刻蚀环节对电子级水水质的要求也高于大硅片制造或封装行业。

液晶面板的制造包含包括薄膜晶体管液晶显示器件（TN/STN-LCD、TFT-LCD）、低温多晶硅薄膜晶体管液晶显示器件（LTPS-TFT-LCD）、有机发光二极管显示器件(OLED)、真空荧光显示器件(VFD)、场发射显示器件(FED)、等离子显示器件（PDP）、曲面显示器件以及柔性显示器件等。其生产环节也有集成电路刻蚀环节，但是其集成电路的集成度较半导体制造较低，对电子级水水质的要求也低于电子和半导体制造。

### 2.2 行业用水概况

#### 2.2.1 电子级水的用量

电子和半导体行业主要利用市政自来水（以下简称自来水）作为水源，使用量大。如表2-1所示，某TFT-LCD液晶面板工厂的水消耗达54000 m<sup>3</sup>/d，与30万城镇居民的生活用水量相当。然而，严峻的水资源短缺和水环境污染问题，严重制约了电子和半导体工业的发展。污水是一种水量大、水质可控的非常规水资源。随着污水再生深度处理技术的快速发展，城市再生水已经成为市政供水和工业用水的重要补充来源。

表2-1 部分电子和半导体制造企业的用水量

| 企业 | 类型              | 用水量 (m <sup>3</sup> /d) |
|----|-----------------|-------------------------|
| A  | 8.5代TFT-LCD面板制造 | 4.1万                    |
| B  | 8.5代TFT-LCD面板制造 | 3.8万                    |

|   |                 |       |
|---|-----------------|-------|
| C | AMOLED面板制造      | 3.4万  |
| D | 8.5代TFT-LCD面板制造 | 4.0万  |
| E | 8.6代TFT-LCD面板制造 | 5.4万  |
| F | 12英寸集成电路制造      | 3.0万  |
| G | 12英寸集成电路制造      | 0.96万 |
| H | 12英寸集成电路制造      | 1.0万  |
| I | 8英寸集成电路制造       | 1.3万  |

### 2.2.2 电子级水的水质要求

电子级水是集成电路、液晶面板等电子和半导体制造产业的重要原料，其品质对芯片的产品质量具有至关重要的影响。例如，电子级水中的细小微粒会导致栅氧化膜厚度不均、产品图形发生缺陷；微量有机物会影响栅氧化膜的均一度与绝缘耐压性能，导致产品良率下降。因此，电子和半导体制造产业要求极高的电子级水水质，如12寸集成电路产线要求电子级水的TOC<1 μg/L，金属离子<1 ng/L电阻率>18.2 MΩ·cm等。各细分行业电子级水的具体要求详见5.1节。

## 2.3 行业发展趋势

国务院批准发布实施制造强国战略的第一个十年行动纲领《中国制造2025》，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。

2017年以来，我国工业经济开局平稳，电子信息制造业发展势头良好，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。

### 2.3.1 半导体集成电路制造发展趋势

国内政策及需求双重驱动，为国内集成电路发展提供机遇。国内集成电路市场需求旺盛，与之相比的是晶圆代工市场份额严重不足，晶圆代工自给率严重不足，未来市场空间巨大。同时，国务院、财政部、工信部、证监会等多部门不断出台减税免税、产业培育、产业融资等政策，国内晶圆代工企业迎来发展良机。

技术升级节奏放缓为国内企业追赶创造机会。台积电与三星计划2022年量产3nm芯片、微电子研究中心（IMEC）已经规划1 nm，摩尔定律仍然在维持，但进一步提升推动摩尔定律难度会显著提升：巨额的资本投入与研发投入、不断升级的晶体管工艺、更为先进的光刻机，以及对沉积与刻蚀、检测、封装等环节也均有更高的要求。正是因为面临巨大的资本和技术挑战，以及晶圆制造技术迭代快，行业呈现寡头集中，未来技术升级节奏将逐步放缓，这为中芯国际及其他厂商追赶国际头部厂商创造了机会。

5G通信网络的建设不断推进，催生了如物联网、车联网等终端应用，增加了终端对芯片的需求范围。芯片需求的增长将使得晶圆代工受益。根据IHS的预测，先进工艺晶圆代工市场规模有望从2020年的212亿美元增长到2025年的442亿美元，成熟工艺晶圆代工有望从2019年的372亿美元增长到2025年415亿美元。

### **2.3.2 液晶面板制造发展趋势**

随着LCD产业技术日趋成熟，大尺寸、超高清化需求将成为LCD面板需求增长的主要动力。工信部、国家广播电视总局等联合颁发《超高清视频产业发展行动计划（2019-2022年）》，强调4K/8K显示面板创新，将推动LCD的持续发展。

对比LCD面板，OLED面板优势明显。目前OLED面板生产良率较低、成本较高，一定程度上限制OLED面板行业的发展。由于LCD面板与OLED面板在生产工艺上相似度高，因此LCD生产线可向OLED生产线转换和升级，大幅减少OLED生产线的建设成本。随着LCD的逐渐步入衰退期，OLED将会取代LCD，迎来成熟期。IHS统计，2016-2018年OLED市场规模分别为160亿美元、227亿美元、250亿美元。预计2021年OLED面板产值有望达到400亿美元。

## 3 再生水用于电子级水水源标准制订的必要性

### 3.1 再生水利用必要性

“十四五”城镇污水处理及资源化利用发展规划（2021.6）明确，到2025年，基本消除城市建成区生活污水直排口和收集处理设施空白区，全国城市生活污水集中收集率力争达到70%以上；城市和县城污水处理能力基本满足经济社会发展需要，县城污水处理率达到95%以上；水环境敏感地区污水处理基本达到一级A排放标准；全国地级及以上缺水城市再生水利用率达到25%以上，京津冀地区达到35%以上，黄河流域中下游地级及以上缺水城市力争达到30%；城市污泥无害化处置率达到90%以上。

在2021年国家发布的《关于推进污水资源化利用的指导意见》中要求，到2025年，全国地级及以上缺水城市再生水利用率达到25%以上，京津冀地区达到35%以上，工业用水重复利用水平显著提升；2016年印发的《“十三五”全国城镇污水处理及再生利用设施建设规划》中，对京津冀地区的城市的污水再生水的使用率进行了规划，提出了明确的目标及建设任务；苏州市发布的《关于开展节水型工业园区建设工作的通知》（苏市水[2017]177号）中要求将工业园区作为主体开展节水创建工作，以提高水资源利用效率，鼓励工业园区内部的污水循环利用。

电子和半导体工业是高耗水行业，存在水回收率低，污水排放量大等问题，对产业集中区的水资源消耗十分严重。我国北方地区缺水问题尤其突出，对电子行业用水限制严格，基于城镇污水处理厂尾水和电子企业厂内循环生产的再生水，将成为重要的电子级水水源。北京亦庄工业开发区对城市再生水进行反渗透处理，将再生水用于集成电路芯片、液晶显示屏制造行业等电子级水源。再生水在电子级水制备中的使用将推动工业水循环。但是，各厂家对再生水水质的要求以运行经验推断为主，缺少科学依据，水质指标不全面、限值不合理等问题十分突出。

新加坡建立的NEWater再生水系统（以下简称NEWater）已用于新加坡饮用水、城市杂用、工业利用等多个方面，并且用于电子级水制备，对我国电子行业再生水利用极具参考价值。目前，国内再生水水质标准对城市杂用水、景观环境用水、地下水回灌、工业用水和农田灌溉的水质作了详细规定，但尚无相关的国家、行业和地方标准规定了用于电子级水水源的再生水水质。

因此，制定本标准，可以填补用于电子级水水源的再生水水质标准空白，对规范和指导再生水用于电子级水水源具有积极的现实意义，为再生水在电子级水制备领域的推广提供标准和技术支撑。

## 3.2 再生水利用标准不健全

### 3.2.1 再生水国内标准不健全

国内再生水水质标准有《城市污水再生利用 城市杂用水水质（GB/T18920-2002）》、《城市污水再生利用 景观环境用水水质（GB/T18921-2002）》、《城市污水再生利用 地下水回灌水质（GB/T19772-2005）》、《城市污水再生利用 工业用水水质（GB/T19923-2005）》、《城市污水再生利用 农田灌溉用水水质（GB20922-2007）》，对城市杂用水、景观环境用水、地下水回灌、工业用水和农田灌溉的水质作了详细规定，无针对电子级水水源的再生水水质标准。

### 3.2.2 再生水国际标准不健全

目前国际标准ISO/TC282专门负责制定水回用领域相关的国际标准，以推动水回用行业的健康规范发展。ISO/TC282/SC4为工业水回用秘书处，负责制定的ISO 22449-1: 2020《工业冷却系统中再生水的使用-第1部分：技术准则》等9个已发布或制定中的国际标准均未专门针对电子和半导体制造行业水制定回用水标准。国际行业标准SEMI F98-0618和SEMI F61-0301提供了指导电子和半导体制造行业回用工业水系统设计、生产的定义和建议，但未说明水系统能否使用再生水，也未提出明确的再生水水质要求。新加坡NEWater已用于电子和半导体制造工业，但其制定的再生水标准文件仅强调了其相对于自来水的优势，并未规定用于电子级水水源的再生水利用标准。

### 3.2.3 企业标准发展及需求

目前再生水应用于电子级水水源时，以满足用水企业的企业标准为主。其中北京中芯国际、京东方B4和台积电分别针对自身需求和当地供水情况设定企业标准，具体企业标准限值如表3-1所示。

表3-1 再生水用于电子级水制备的企业标准

| 编号 | 指标               | 单位                        | 限值      |            |             |
|----|------------------|---------------------------|---------|------------|-------------|
|    |                  |                           | 台积电     | 中芯国际       | 京东方B4       |
| 1  | 温度               | ℃                         | 15-35   | 15-20      | -           |
| 2  | SS               | mg/L                      | <1.0    | -          | -           |
| 3  | 浊度               | NTU                       | <0.3    | <5         | <5          |
| 4  | 色度               | -                         |         | <5         | <5          |
| 5  | COD              | mg/L                      | <4      | <10        | <10         |
| 6  | pH               | -                         | 6.5-8.5 | 6.4-6.6    | 6.5-7.5     |
| 7  | TDS              | mg/L                      | <150    | <150       | 270-380     |
| 8  | 电导率              | μS/cm                     | <250    | <250       | <540        |
| 9  | TOC              | mg/L                      | <1.0    | <0.5       | <2          |
| 10 | 总硬度              | mg/L as CaCO <sub>3</sub> | <50     | <50        | <230        |
| 11 | 碱度               | mg/L                      | <30     | <15        | <170        |
| 12 | 氨氮               | mg/L                      | <0.5    | <1         | <2          |
| 13 | 亚硝酸氮             | mg/L                      | <0.1    | 0.06-0.08  | <20         |
| 14 | 硝酸盐氮             | mg/L                      | <10     | <15        | <15         |
| 15 | SiO <sub>2</sub> | mg/L                      |         | <3         | <11         |
| 16 | As               | mg/L                      | <0.05   | -          | -           |
| 17 | B                | μg/L                      | 100     | 200        | 500         |
| 18 | Cr               | mg/L                      | <0.05   | <0.002     | <0.002      |
| 19 | Al               | mg/L                      |         | <0.01      | <0.1        |
| 20 | Ba               | mg/L                      |         | <0.1       | -           |
| 21 | Ca               | mg/L                      |         | 4-20       | <130        |
| 22 | Cu               | mg/L                      |         | <0.05      | <0.05       |
| 23 | Cd               | mg/L                      | <0.005  | -          |             |
| 24 | Fe               | mg/L                      |         |            | <0.04       |
| 25 | Mn               | mg/L                      |         | <0.05      |             |
| 26 | Na               | mg/L                      |         | 15-35      | <35         |
| 27 | Sr               | mg/L                      |         | <0.1       | <0.1        |
| 28 | Zn               | mg/L                      |         | <0.1       | <0.1        |
| 29 | 氟离子              | mg/L                      |         | <0.5       | <0.5        |
| 30 | 氯化物              | mg/L                      | <15     | <20        | <25         |
| 31 | 硫酸盐              | mg/L                      | <45     | <5         | <60         |
| 32 | 磷酸根              | mg/L                      | <0.5    | -          | -           |
| 33 | 余氯               | mg/L                      |         | <0.5       |             |
| 34 | 尿素               | mg/L                      | <0.005  | 0.015-0.02 | 0.025-0.035 |

本标准拟对相关国际标准或国外先进标准中规定的再生水水质进行细化,选择性采纳现有的国外标准中的定义和建议,结合国内外再生水和自来水相关标准,通过开展再生水中难去除的关键有机组分检测、识别专项研究和相关企业水系统再生水使用需求调研完善本标准。

### 3.3 再生水利用面临的挑战

实地取样测量与文献调研分析表明,城市污水处理厂二级出水中TOC的波动范围为2.9-15.7 mg/L, TDS的波动范围为418-1370 mg/L, 不同污水处理厂的城市二级出水中, TOC的浓度均较低且波动范围小, 但TDS的浓度较高且波动范围较大。城市二级出水中金属阳离子Ca<sup>2+</sup>的波动范围为59-114 mg/L, Mg<sup>2+</sup>的波动范围为16-32 mg/L, Na<sup>+</sup>的波动范围为31-358 mg/L, 三种金属阳离子在城市二级出水中的浓度均较低。此外, 城市二级出水中阴离子Cl<sup>-</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>及NO<sub>3</sub><sup>-</sup>的浓度约为100 mg/L, 不同污水处理厂的城市出水间差异较小。

现有的电子级水以自来水为水源,设计的进水水质参考当地自来水水质,并未对再生水进行针对性设计。再生水由市政或工业园区的废水经反渗透和超滤等深度处理后,回用至相关使用点。因此,再生水与自来水水质差异大。以无锡市自来水和城镇污水厂再生水(超滤+反渗透双膜法)水质为例,自来水和再生水水质对比如表3-2所示。自来水的多项水质指标差于再生水,但由于受工业废水影响,再生水的氟离子浓度高于自来水。

表3-2 无锡市自来水和再生水水质比较

| 指标  | 单位    | 自来水   | 再生水   |
|-----|-------|-------|-------|
| pH  | -     | 7.27  | 6     |
| 电导  | μs/cm | 553.0 | 46.6  |
| 浊度  | NTU   | 0.1   | 0.17  |
| 碱度  | mg/L  | 96.9  | 2.98  |
| TDS | mg/L  | 335   | 71    |
| TOC | mg/L  | 3.40  | 0.829 |
| Ca  | mg/L  | 44.20 | 0.539 |
| Mg  | mg/L  | 9.39  | 0.044 |
| F   | mg/L  | 0.31  | 0.75  |
| Ba  | mg/L  | /     | 0.003 |

|                    |      |      |      |
|--------------------|------|------|------|
| 活性SiO <sub>2</sub> | mg/L | 1.34 | 0.25 |
|--------------------|------|------|------|

自来水和再生水中有机物的分子量分布结果如表3-3所示。值得注意的是，虽然再生水的TOC浓度低于自来水，但其组成与自来水有很大差异，尤其再生水中的小分子有机物含量显著高于自来水。这些小分子有机物极易穿透电子级水制备过程中的反渗透单元和树脂离子交换单元，导致电子级水TOC超过使用要求。

研究发现，反渗透产水中的有机物以电荷中性的小分子有机物为主，包括卤代有机物（如三卤甲烷、卤代乙腈的卤化消毒副产物）、含氮有机物（尿素、亚硝酸胺）和羰基有机物（臭氧氧化副产物），其中三卤甲烷和尿素是两种典型的电荷中性小分子有机物常常被电子企业作为特征小分子有机物。因此，再生水用于电子级水源时应尤其重视小分子有机物，减少其导致的TOC超标、电子和半导体产品良率降低等问题。

表3-3 自来水和再生水中有机物分子量分布（单位：μg/L）

| 有机物分子量组分 | >20000 Da<br>生物聚合物 | 20000~<br>1000 Da<br>腐殖质 | 300~500 Da<br>生物体基本<br>组成物质 | 350 Da<br>中性物质 | 350 Da<br>酸性物质 | 总量   |
|----------|--------------------|--------------------------|-----------------------------|----------------|----------------|------|
| 自来水      | 81                 | 633                      | 219                         | 194            | -              | 1127 |
| 再生水      | 2                  | 3                        | 5                           | 354            | 9              | 373  |

## 4 编制依据和原则

本标准按照《中国环境科学学会标准管理办法（试行）》的要求和规定，确定标准的组成要素。

在标准制定过程中遵循了以下几个原则：

- （1）科学性和规范性；
- （2）先进性和实用性；
- （3）与国内现行的节水政策、产业政策等相结合；
- （4）尽量与相关的标准、法规接轨；

（5）充分考虑我国污水再生利用技术发展水平、不同再生水利用途径用水特点、再生水行业产业升级和发展方式转变、符合再生水行业规范化发展需求。

## 5 电子和半导体制造业的电子级水水质

### 5.1 电子级水标准

#### 5.1.1 国内标准

《中华人民共和国国家标准:电子级水 (GB/T 11446.1-2013)》规定了用于电子和半导体工业的高纯清洗用水的水质,将电子级水分为EW-I、EW-II、EW-III、EW-IV四类,并规定了其水质限值,如表5-1所示。该标基于1995年ASTM D5127-90标准制定,但已难以满足当前电子和半导体工业的高纯清洗用水要求。

表5-1 电子级水的技术指标

| 项目                    |              | 技术指标                   |                        |        |       |
|-----------------------|--------------|------------------------|------------------------|--------|-------|
|                       |              | EW-I                   | EW-II                  | EW-III | EW-IV |
| 电阻率 (25°C) /MΩ·cm     |              | ≥18<br>(5%时间不<br>低于17) | ≥15<br>(5%时间不<br>低于13) | ≥12    | ≥0.5  |
| 全硅/ (μg/L)            |              | ≤2                     | ≤10                    | ≤50    | ≤1000 |
| 微粒<br>数/<br>(个<br>/L) | 0.05μm~0.1μm | 500                    | -                      | -      | -     |
|                       | 0.1μm~0.2μm  | 300                    | -                      | -      | -     |
|                       | 0.2μm~0.3μm  | 50                     | -                      | -      | -     |
|                       | 0.3μm~0.5μm  | 20                     | -                      | -      | -     |
|                       | >0.5μm       | 4                      | -                      | -      | -     |
| 细菌个数/ (个/mL)          |              | ≤0.01                  | ≤0.1                   | ≤10    | ≤100  |
| 铜/ (μg/L)             |              | ≤0.2                   | ≤1                     | ≤2     | ≤500  |
| 锌/ (μg/L)             |              | ≤0.2                   | ≤1                     | ≤5     | ≤500  |
| 镍/ (μg/L)             |              | ≤0.1                   | ≤1                     | ≤2     | ≤500  |
| 钠/ (μg/L)             |              | ≤0.5                   | ≤2                     | ≤5     | ≤1000 |
| 钾/ (μg/L)             |              | ≤0.5                   | ≤2                     | ≤5     | ≤500  |
| 铁/ (μg/L)             |              | ≤0.1                   | -                      | -      | -     |
| 铅/ (μg/L)             |              | ≤0.1                   | -                      | -      | -     |
| 氟/ (μg/L)             |              | ≤1                     | -                      | -      | -     |
| 氯/ (μg/L)             |              | ≤1                     | ≤1                     | ≤10    | ≤1000 |
| 亚硝酸根/ (μg/L)          |              | ≤1                     | -                      | -      | -     |
| 溴/ (μg/L)             |              | ≤1                     | -                      | -      | -     |
| 硝酸根/ (μg/L)           |              | ≤1                     | ≤1                     | ≤5     | ≤500  |
| 磷酸根/ (μg/L)           |              | ≤1                     | ≤1                     | ≤5     | ≤500  |

### 5.1.2 国际标准

主要国家和地区及国际组织电子级水水质标准有ITRS（International Technology Roadmap for Semiconductors）、IRDS（INTERNATIONAL ROADMAP FOR DEVICES AND SYSTEMS）、SEMI（Semiconductor Equipment and Materials International）、ASTM（American Society for Testing and Materials）等。ITRS和IRDS是由欧洲、日本、韩国、台湾、美国五个主要的芯片制造地区的有关协会专家发出的一系列文件的统称；SEMI是由半导体设备和材料制造商的贸易组织，也是相关标准和指南生成的交流中心；ASTM是一个为所有行业的材料、产品、系统来服务开发和颁布技术标准的国际标准组织。电子行业水的水质标准规定的指标主要有电阻率、TOC、颗粒物、细菌、SiO<sub>2</sub>、硼、溶解氧（DO）、离子类等，通过检测这些指标来控制水的纯度。行业标准随着电子行业的发展逐渐更新完善的，具体标准如表5-2至5-4所示。表5-2和表5-3节选了相关标准的部分指标，表5-4为ASTM规定的电子级水水质要求完整。根据上述标注，确定了本标准的基本水质控制指标。电子级水的水质是随着工艺和制程的进步逐渐发展的，国际上对于电子级水指标的完善程度明显高于国内，国内对于电子级水的水质的标准也亟待完善。

电子级水的水质和半导体集成电路的线宽密切相关。随着集成的线宽的降低，所需的水水质也逐渐提高。再生水含有去除难的部分痕量污染物，深度处理存在易产生氧化副产物和引入杂质离子等问题。当再生水用于低线宽电子和半导体工艺的电子级水水源时，企业需要依据自身实际情况，增加痕量污染物去除环节。

表5-2 ITRS和IRDS水水质标准（节选）

|                  |        |      |      |
|------------------|--------|------|------|
| 线宽               | nm     | 7~24 | <7   |
| 晶圆尺寸             | mm     | 300  | 300  |
| 电阻率（25℃）         | MΩ·cm  | 18.2 | 18.2 |
| TOC              | μg/L   | 1    | 1    |
| 细菌               | cfu/L  | 1    | 1    |
| SiO <sub>2</sub> | μg/L   | 0.5  | 0.5  |
| 微粒子>0.05μm       | pcs/mL | 0.2  | 0.2  |
| DO               | μg/L   | 10   | 10   |

|   |     |    |    |
|---|-----|----|----|
| 硼   | ppt | 50 | 50 |
| 金属 (As、Ba、Cd、Mn、Pb、Sn、Sb、V)               | ppt | 10 | 1  |
| 关键金属 (Al、Ca、Cr、Cu、Fe、K、Li、Mg、Na、Ni、Ti、Zn) | ppt | 1  | 1  |
| 其他离子                                      | ppt | 50 | 50 |
| 磷酸盐                                       | ppt | 20 | 20 |

表5-3 SEMI F063水水质 (节选)

| 典型线宽             |        | <65 nm |      |
|------------------|--------|--------|------|
| 指标               |        | 限值     | 精度   |
| 电阻率 (25℃)        | MΩ·cm  | 18.18  | ±0.2 |
| TOC              | µg/L   | 2      | 0.05 |
| 细菌               | cfu/L  | 1      | 1    |
| SiO <sub>2</sub> | µg/L   | 0.5    | 0.5  |
| 微粒子>0.05µm       | pcs/mL | 0.5    | 0.5  |
| DO               | µg/L   | 10     | ±0.2 |
| 硼                | ppt    | 50     | 15   |

表5-4 ASTM D5127-2013水水质表

| 指标         |            | Type E-1 | Type E-1.1 | Type E-1.2 | Type E-1.3  | Type E-2 | Type E-3 | Type E-4 |
|------------|------------|----------|------------|------------|-------------|----------|----------|----------|
| 线宽         | μm         | 1.0-0.5  | 0.35-0.25  | 0.18-0.09  | 0.065-0.032 | 5.0-1.0  | >5.0     | -        |
| 电阻率 (25℃)  | MΩ·cm      | 18.1     | 18.2       | 18.2       | 18.2        | 16.5     | 12       | 0.5      |
| TOC        | μg/L       | 5        | 2          | 1          | 1           | 50       | 300      | 1000     |
| DO         | μg/L       | 25       | 10         | 3          | 10          | -        | -        | -        |
| 微粒子        |            |          |            |            |             |          |          |          |
| >0.05μm    | pcs/L      | -        | -          | -          | 500         | -        | -        | -        |
| 0.05~0.1μm | pcs/L      | -        | 1000       | 200        | N/A         | -        | -        | -        |
| 0.1~0.2μm  | pcs/L      | 1000     | 350        | 100        | N/A         | -        | -        | -        |
| 0.2~0.5μm  | pcs/L      | 500      | 100        | 10         | N/A         | -        | -        | -        |
| 0.5~1.0μm  | pcs/L      | 200      | 50         | 5          | N/A         | -        | -        | -        |
| >1.0μm     | pcs/L      | 100      | 20         | 1          | N/A         | -        | -        | -        |
| 细菌         |            |          |            |            |             |          |          |          |
| 100mL      | cfu/Volume | 5        | 3          | 1          | N/A         | 10       | 50       | 100      |
| 1L         | cfu/Volume | -        | -          | 10         | 1           | -        | -        | -        |
| 10L        | cfu/Volume | -        | -          | -          | 1           | -        | -        | -        |
| 全硅         | μg/L       | 5        | 3          | 1          | 0.5         | 10       | 50       | 100      |
| 溶解硅        | μg/L       | 3        | 1          | 0.5        | 0.5         | -        | -        | -        |
| 温度波动       | ℃          | -        | -          | -          | ±1          | -        | -        | -        |

|       |          |     |     |    |      |                 |                   |                   |
|-------|----------|-----|-----|----|------|-----------------|-------------------|-------------------|
| 温度梯度  | °C/10min | -   | -   | -  | 0.1  | -               | -                 | -                 |
| DN    | ppm      | -   | -   | -  | 8~18 | -               | -                 | -                 |
| DN 波动 | ppm      | -   | -   | -  | ±2   | -               | -                 | -                 |
| 铵     | ppt      | 100 | 100 | 50 | 50   | -               | -                 | -                 |
| 溴化物   | ppt      | 100 | 50  | 20 | 50   | -               | -                 | -                 |
| 氯化物   | ppt      | 100 | 50  | 20 | 50   | 10 <sup>3</sup> | 10 <sup>4</sup>   | 10 <sup>6</sup>   |
| 氟化物   | ppt      | 100 | 50  | 30 | 50   |                 |                   |                   |
| 硝酸盐   | ppt      | 100 | 50  | 20 | 50   | 10 <sup>3</sup> | 5×10 <sup>3</sup> | 5×10 <sup>5</sup> |
| 亚硝酸盐  | ppt      | 100 | 50  | 20 | 50   | -               | -                 | -                 |
| 磷酸盐   | ppt      | 100 | 50  | 20 | 50   | 10 <sup>3</sup> | 5×10 <sup>3</sup> | 5×10 <sup>5</sup> |
| 硫酸盐   | ppt      | 100 | 50  | 20 | 50   | 10 <sup>3</sup> | 5×10 <sup>3</sup> | 5×10 <sup>5</sup> |
| 铝     | ppt      | 50  | 20  | 5  | 1    | -               | -                 | -                 |
| 锑     | ppt      | -   | -   | -  | 1    | -               | -                 | -                 |
| 砷     | ppt      | -   | -   | -  | 1    | -               | -                 | -                 |
| 钡     | ppt      | 50  | 20  | 1  | 1    | -               | -                 | -                 |
| 硼     | ppt      | 300 | 100 | 50 | 50   | -               | -                 | -                 |
| 镉     | ppt      | -   | -   | -  | 10   | -               | -                 | -                 |
| 钙     | ppt      | 50  | 20  | 2  | 1    | -               | -                 | -                 |
| 铬     | ppt      | 50  | 20  | 2  | 1    | -               | -                 | -                 |
| 铜     | ppt      | 50  | 20  | 2  | 1    | 10 <sup>3</sup> | 2×10 <sup>3</sup> | 5×10 <sup>5</sup> |

|   |     |    |    |   |    |                   |                   |                   |
|---|-----|----|----|---|----|-------------------|-------------------|-------------------|
| 铁 | ppt | 50 | 20 | 2 | 1  | -                 | -                 | -                 |
| 铅 | ppt | 50 | 20 | 5 | 1  | -                 | -                 | -                 |
| 锂 | ppt | 50 | 20 | 3 | 1  | -                 | -                 | -                 |
| 镁 | ppt | 50 | 20 | 2 | 1  | -                 | -                 | -                 |
| 锰 | ppt | 50 | 20 | 2 | 10 | -                 | -                 | -                 |
| 镍 | ppt | 50 | 20 | 2 | 1  | 10 <sup>3</sup>   | 2×10 <sup>3</sup> | 5×10 <sup>5</sup> |
| 钾 | ppt | 50 | 20 | 5 | 1  | 2×10 <sup>3</sup> | 5×10 <sup>3</sup> | 5×10 <sup>5</sup> |
| 钠 | ppt | 50 | 20 | 5 | 1  | 10 <sup>3</sup>   | 2×10 <sup>3</sup> | 5×10 <sup>5</sup> |
| 锶 | ppt | 50 | 20 | 1 | -  | -                 | -                 | -                 |
| 锡 | ppt | -  | -  | - | 10 | -                 | -                 | -                 |
| 钛 | ppt | -  | -  | - | 10 | -                 | -                 | -                 |
| 钒 | ppt | -  | -  | - | 10 | -                 | -                 | -                 |
| 锌 | ppt | 50 | 20 | 2 | 1  | 1×10 <sup>3</sup> | 5×10 <sup>3</sup> | 5×10 <sup>5</sup> |

### 5.1.2 国内电子企业电子级水实际水质要求

水系统生产的电子级水主要是用于电子元件生产过程中的清洗，其纯净度与其电子元件的精密程度有关。集成电路芯片生产过程中使用的电子级水对水质的要求最高。实际生产中，企业对电子级水质的要求并不严格遵循某个标准，通常根据相关国际标进行优化调整，满足自身需求。因此，不同企业的电子级水水质要求不同。国内部分企业对电子级水水质的要求如表5-5所示。大多数企业的电子级水质基本与ASTM标准一致。当电子和半导体线宽（14~28 nm）更先进时，企业会参考IRDS标准或根据自己的需求，要求更严格的电子级水质。

表5-5 国内部分电子和半导体制造企业的电子级水水质要求

| 序号 | 水质检测项目          | 单位    | 指标限值              |                   |                   |                  |
|----|-----------------|-------|-------------------|-------------------|-------------------|------------------|
|    |                 |       | 14                | 14-28             | 50                | 90               |
| 1  | 线宽              | nm    | 14                | 14-28             | 50                | 90               |
| 2  | 电阻率             | μS/cm | 18.2              | 18.2              | 18.2              | 18.2             |
| 3  | TOC             | μg/L  | 0.5               | 0.5               | 1                 | 2                |
| 4  | 硼               | ng/L  | 10                | 20                | 10                | -                |
| 5  | F               | μg/L  | 0.01              | 0.002             | 0.03              | 1.8              |
| 6  | 全硅              | μg/L  | 0.15              | 0.2               | 0.5               | 2                |
| 7  | 微粒子             | 个/mL  | 0.1<br>(≥0.05 μm) | 0.1<br>(≥0.05 μm) | 0.2<br>(≥0.05 μm) | 0.1<br>(≥0.1 μm) |
| 8  | DO              | μg/L  | 1                 | 1                 | 2                 | 2                |
| 9  | Na              | μg/L  | 0.0005            | 0.0005            | 0.005             | 0.03             |
| 10 | K               | μg/L  | 0.0005            | 0.0005            | 0.005             | 0.05             |
| 11 | Ca              | μg/L  | 0.0005            | 0.0005            | 0.005             | 0.05             |
| 12 | Mg              | μg/L  | 0.0005            | 0.0005            | 0.005             | 0.05             |
| 13 | Cl              | μg/L  | 0.002             | 0.005             | 0.01              | 0.2              |
| 14 | NO <sub>3</sub> | μg/L  | 0.002             | 0.005             | 0.01              | 0.05             |
| 15 | PO <sub>4</sub> | μg/L  | 0.005             | 0.01              | 0.01              | -                |
| 16 | Br              | μg/L  | 0.005             | 0.01              | 0.005             | -                |
| 17 | Cr              | μg/L  | 0.0005            | 0.0005            | 0.005             | -                |
| 18 | Zn              | μg/L  | 0.0005            | 0.0005            | 0.005             | 0.05             |
| 19 | Fe              | μg/L  | 0.0005            | 0.0005            | 0.005             | 0.05             |
| 20 | Ni              | μg/L  | 0.0005            | 0.0005            | 0.005             | -                |
| 21 | Mn              | μg/L  | 0.0005            | 0.0005            | 0.005             | -                |
| 22 | Ti              | μg/L  | 0.0005            | 0.0005            | 0.005             | -                |
| 23 | Cu              | μg/L  | 0.0005            | 0.0005            | 0.005             | 0.05             |
| 24 | SO <sub>4</sub> | μg/L  | 0.005             | 0.005             | 0.02              | 0.1              |
| 25 | NH <sub>4</sub> | μg/L  | 0.01              | 0.01              | 0.02              | 0.1              |

国内部分液晶面板制造企业对电子级水水质的要求如表5-6所示。液晶面板制造企业电子级水的水质要求多介于ASTM的E-1和E-2之间。

表5-6 国内部分液晶面板制造企业的电子级水水质要求（典型值）

| 序号 | 水质检测项目          | 单位    | 显示器件         |              |
|----|-----------------|-------|--------------|--------------|
|    |                 |       | TFT-LCD      | AMOLED       |
| 1  | 电阻率             | μS/cm | 18           | 18           |
| 2  | TOC             | μg/L  | 30           | 10           |
| 3  | 硼               | ng/L  | -            | 1000         |
| 4  | F               | μg/L  | 1            | -            |
| 5  | 全硅              | μg/L  | 5            | 1            |
| 6  | 微粒子             | 个/mL  | 10 (≥0.2 μm) | 10 (≥0.1 μm) |
| 7  | DO              | μg/L  | 50           | 30           |
| 8  | Na              | μg/L  | 0.5          | 0.05         |
| 9  | K               | μg/L  | 0.05         | 0.01         |
| 10 | Cl              | μg/L  | 1            | 0.05         |
| 11 | NO <sub>3</sub> | μg/L  | -            | 0.05         |
| 12 | Zn              | μg/L  | 0.05         | 0.01         |
| 13 | Fe              | μg/L  | 0.05         | 0.01         |
| 14 | Cu              | μg/L  | 0.05         | 0.01         |

## 5.2 电子级水制备系统

### 5.2.1 自来水制备电子级水的工艺流程

1) 极高水质电子级水的处理工艺如图1所示。极高水质电子级水水质要求极高的TOC和硼，需经两级TOC-UV+抛光混床处理。

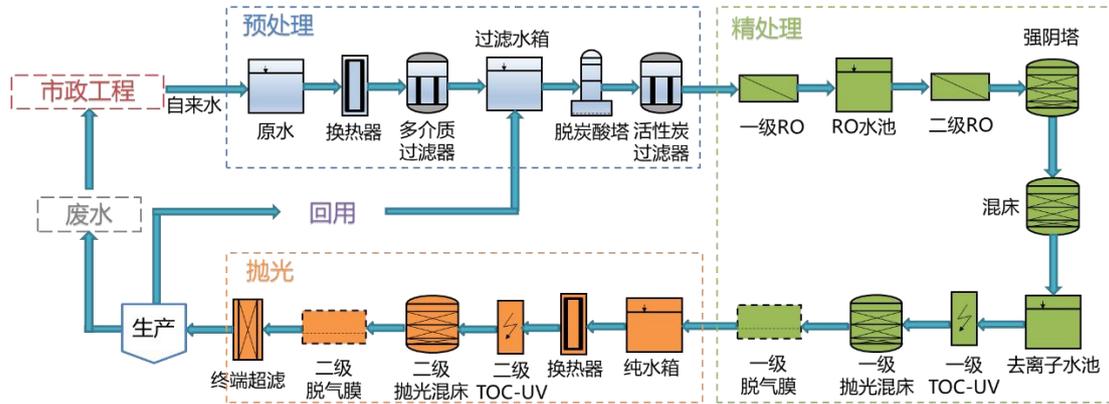


图1 极高水质电子级水的处理工艺

2) 较高水质电子级水的处理工艺如图2所示。较高水质电子级水的离子、TOC等水质指标略低。因此，较高水质电子级水的处理工艺减少了一级脱气膜、一级TOC-UV和一部分离子交换系统。

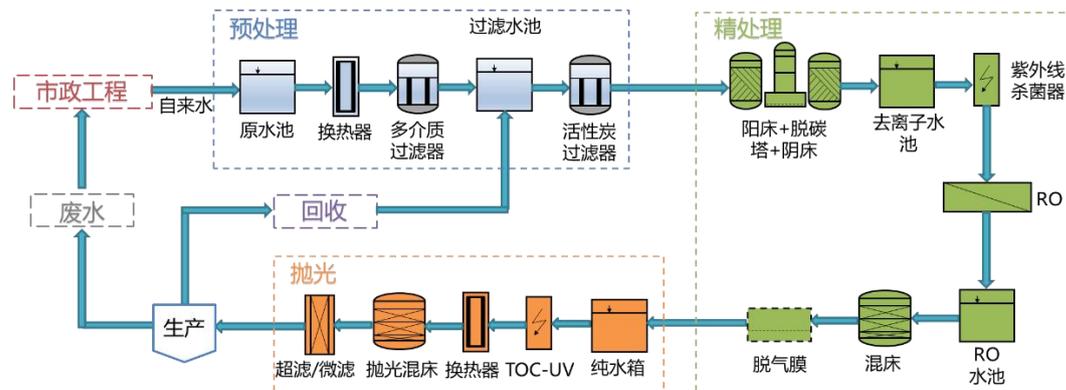


图2 较高水质电子级水的处理工艺

3) 常见电子级水的处理工艺如图3所示，其要求的水质指标项目较少，但仍需要反渗透、树脂的组合工艺以满足水质要求。

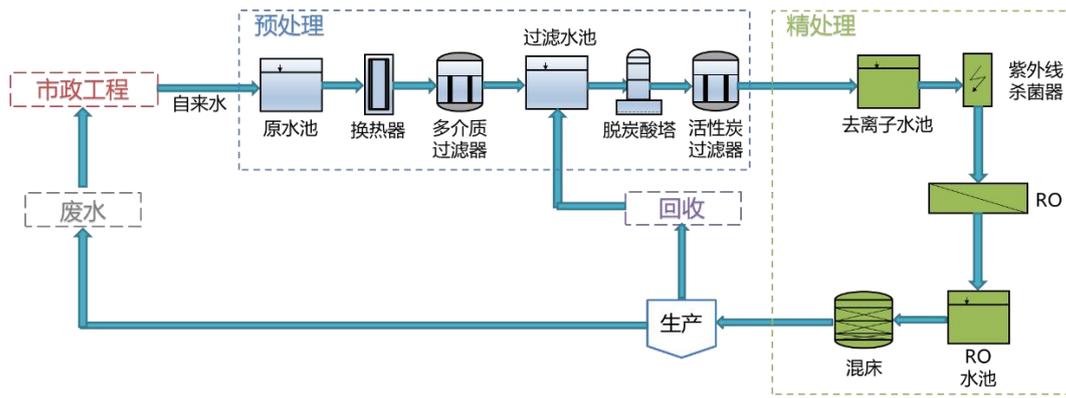


图3 常见电子级水的处理工艺

### 5.2.2 电子级水制备中的污染物控制技术

常用的控制技术主要有化学氧化、离子交换和膜分离。

#### 1) 化学氧化

化学氧化法是指利用化学氧化剂将污染物转化为稳定、低毒性、无毒性或易去除的物质的过程。在水系统中化学氧化法主要用于去除水中的小分子有机物，将其氧化为带电的有机物或完全矿化为无机离子，以便后续流程去除。常用于水系统中的化学氧化的方法主要有次氯酸钠法、次溴酸钠法、双氧水法、过硫酸盐法和紫外线法。化学氧化法用于水系统会产生少量反应副产物，如三卤甲烷、甲醛、丙酮等，这部分副产物已经被证明是不易被反渗透系统和离子交换系统去除的，极易穿透整个水系统，从而影响水水质。

#### 2) 离子交换（树脂）

离子交换是溶液中的离子与某种离子交换剂上的离子进行交换的作用或现象，是借助于固体离子交换剂中的离子与稀溶液中的离子进行交换，以达到提取或去除溶液中某些离子的目的。水系统中的离子交换剂主要是离子交换树脂，通过离子交换的方法去除水中的痕量的带电离子。

#### 3) 膜分离（超滤、反渗透）

膜是具有选择性分离功能的材料。利用膜的选择性分离的功能可以实现料液的不同组分的分离、纯化、浓缩的过程称作膜分离。水系统中使用的膜分离技术有反渗透技术和超滤技术。

超滤是一种膜分离技术，利用超滤膜表面微孔，通过膜两侧压力差推动，以机械筛分原理对溶液进行分离，进一步保证出水水中的细菌和颗粒物要求。水、

无机盐等小于膜孔径的小分子可以透过，大于膜孔径的细菌，颗粒、微生物等大分子物质则被截留。

反渗透是一种利用半透膜的特性进行液体分离的技术。给水中的水分子在高压作用下，克服其自身的渗透压透过膜，之后收集汇总形成产水；同时绝大部分溶解盐和大分子量的有机物因不能透过膜，而被浓缩形成浓水。反渗透被认为是分子级的过滤过程，这种“过滤作用”能够从水中除去99%溶解性矿物质，95-97%大多数不溶性有机物和98%以上的生物和胶体物质，能够有效去除TOC。但是，反渗透膜对纯水中的中性小分子有机物的截留率非常低，如尿素、部分消毒副产物（三卤甲烷等），这些有机物极易出现在再生水的反渗透产水中，也极易穿透水系统，出现在水系统的终端产水中，从而影响电子产品的生产良率。

### 5.2.3 电子级水制备中各环节的污染物去除效率

电子级水制备中各环节的典型水质如表5-7所示。反渗透处理是电子级水净化的主要环节。多介质过滤器（Multi Media Filter，简称MMF）和活性炭过滤器（Activated Carbon Filter，简称ACF）的过滤主要去除水中的浊度和SS，ACF可以吸附水中的部分有机物和余氯，但ACF对于有机物的吸附极易饱和（使用3-6个月左右），饱和后的活性炭需要更换后才能恢复吸附有机物的能力；2B3T（阳床、脱碳塔、阴床）可以去除水中的带电离子、硬度、碱度，产水的电导率大约 $<2\ \mu\text{S}/\text{cm}$ ，树脂也可以吸附部分水中的带电有机物，对水中有机物去除效率大于90%；反渗透主要去除水中绝大部分的离子、有机物等，但RO对硼的去除率相比于其对普通离子的去除率，有一定的差距（除硼率70%，除普通离子95%）；双波长紫外线+混床式离子交换树脂塔（UV+MB）和双波长紫外线+抛光混床式离子交换树脂塔（UV+PMB）首先通过高能紫外线的照射分解水中残存的有机物，使其矿化或者分解成为带电有机物，后通过离子交换树脂进行去除，经过两级紫外线氧化，水中的TOC可以降低至 $1\ \mu\text{g}/\text{L}$ 以下；脱气膜（MDG）主要通过真空+高纯氮气吹扫的方式将水中的溶解氧去除，通过两级MDG的处理，水中的溶解氧可以降低至 $1\ \mu\text{g}/\text{L}$ 以下。

表5-7 某集成电路各段工艺产水水质参数

|     | 电导率                     | 电阻率                            | TOC                    | B                      | 全硅                     | DO                     |
|-----|-------------------------|--------------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
|     | $\mu\text{S}/\text{cm}$ | $\text{M}\Omega\cdot\text{cm}$ | $\mu\text{g}/\text{L}$ | $\mu\text{g}/\text{L}$ | $\mu\text{g}/\text{L}$ | $\mu\text{g}/\text{L}$ |
| 原水池 | 315                     | -                              | 2760                   | 86                     | 1340                   | 8250                   |

|                    |      |       |      |       |      |      |
|--------------------|------|-------|------|-------|------|------|
| MMF                | 315  | -     | 2760 | 86    | 1340 | 8250 |
| ACF                | 315  | -     | 2080 | 86    | 1340 | 8250 |
| 2B3T               | 1.85 | -     | 186  | 10    | 4.16 | 8250 |
| RO                 | 0.96 | -     | 32   | 3     | 0.86 | 8250 |
| UV+MB              | -    | 17.85 | 3.12 | 0.45  | 0.26 | 8250 |
| MDG-1              | -    | 17.85 | 3.12 | 0.45  | 0.26 | 9.57 |
| UV+PMB             | -    | 18.22 | 0.65 | 0.015 | 0.05 | 9.57 |
| MDG-2              | -    | 18.22 | 0.65 | 0.015 | 0.05 | 0.57 |
| POU (Point-Of-Use) | -    | 18.22 | 0.65 | 0.015 | 0.05 | 0.57 |

## 6 标准主要技术内容

### 6.1 标准适用范围

本标准规定了作为电子级水水源的再生水用途分类及水质、处理、安全和监测要求。

本文件适用于作为电子级水水源的再生水，再生水水源包括：城镇污水处理厂出水和企业内循环水。

### 6.2 标准文本主要章节

本标准规定了电子级水制备用水的水质标准：电子级水制备用水水质的相关术语和定义、水质指标要求、取样与分析方法。

- (1) 适用范围；
- (2) 规范性引用文件；
- (3) 术语和定义；
- (4) 用途分类；
- (5) 水质控制项目及其限值；
- (6) 再生水处理；
- (7) 安全与风险控制
- (8) 取样与监测

### 6.3 水质指标的选择

#### 6.3.1 选择说明

由于现有的水系统的水源多为自来水，所以污染控制项目的选择主要参考《生活饮用水卫生标准（GB 5749）》，并结合台积电公司对水系统用的再生水的要求，以及新加坡NEWater再生水的相关指标，最后对再生水中可能包含的尿素、消毒副产物等做出了更为细致的规定。

#### 6.3.2 水质控制项目选取

电子行业水系统大部分使用城市自来水作为水源，系统的处理工艺和处理负荷都是按照自来水水中的污染物组分确定的，所以污染物指标的选取首先应从《生活饮用水卫生标准（GB 5749）》（当地有地方标准需要参考当地地标）中

的筛选水系统的敏感指标,同时对比为台湾台积电公司供水的台南市永康再生水厂的产水水质指标与新加坡NEWater再生水水质指标项目,最终确定再生水中污染物指标项目。

《生活饮用水卫生标准(GB 5749)》旨在保证居民饮用水的安全,水质指标多涉及对人体有害的物质,并通过限值限制其对人体的伤害;水系统旨在去除水中的杂质,保证水中的纯净度,筛选出的水系统的敏感指标需要符合水系统的特性(如表6-1),再对表6-1中的指标进行筛选,得到标准中的污染物控制项目。

表6-1 水系统的敏感指标

| 编号 | 指标               | 单位                        | 限值      |                  |         |
|----|------------------|---------------------------|---------|------------------|---------|
|    |                  |                           | 生活饮用水   | NEWater<br>(典型值) | 台积电     |
| 1  | 温度               | °C                        |         |                  | 15-35   |
| 2  | SS               | mg/L                      |         |                  | <1.0    |
| 3  | 浊度               | NTU                       | 1       | <5               | <0.3    |
| 4  | 色度               | -                         |         | <5               |         |
| 5  | COD              | mg/L                      | 3       |                  | <4      |
| 6  | pH               | -                         | 6.5-8.5 | 7-8.5            | 6.5-8.5 |
| 7  | TDS              | mg/L                      | 1000    | <150             | <150    |
| 8  | 电导率              | µS/cm                     |         | <250             | <250    |
| 9  | TOC              | mg/L                      |         | <0.5             | <1.0    |
| 10 | 总硬度              | mg/L as CaCO <sub>3</sub> | 450     | <50              | <50     |
| 11 | 碱度               | mg/L                      |         |                  | <30     |
| 12 | 氨氮               | mg/L                      | 0.5     | <1               | <0.5    |
| 13 | 亚硝酸氮             | mg/L                      | 0.7     |                  | <0.1    |
| 14 | 硝酸盐氮             | mg/L                      | 10      |                  | <10     |
| 15 | SiO <sub>2</sub> | mg/L                      |         | <3               |         |
| 16 | 砷                | mg/L                      | 0.01    |                  | <0.05   |
| 17 | 硼                | µg/L                      | 500     | 500              | 100     |
| 18 | 铬                | mg/L                      | <0.05   |                  | <0.05   |
| 19 | Al               | mg/L                      |         | <0.1             |         |
| 20 | Ba               | mg/L                      |         | <0.1             |         |
| 21 | Ca               | mg/L                      |         | 4-20             |         |
| 22 | Cu               | mg/L                      | 1       | <0.05            |         |
| 23 | 镉                | mg/L                      | <0.005  |                  | <0.005  |
| 24 | Fe               | mg/L                      | 0.3     | <0.04            |         |
| 25 | Mn               | mg/L                      | 0.1     | <0.05            |         |
| 26 | Na               | mg/L                      |         | <20              |         |

|    |                 |        |     |       |        |
|----|-----------------|--------|-----|-------|--------|
| 27 | Sr              | mg/L   |     | <0.1  |        |
| 28 | Zn              | mg/L   |     | <0.1  |        |
| 29 | NO <sub>3</sub> | mg/L   |     | <15   |        |
| 30 | 氟化物             | mg/L   | 1   | <0.5  |        |
| 31 | 氯化物             | mg/L   | 250 | <20   | <15    |
| 32 | 硫酸盐             | mg/L   | 250 | <5    | <45    |
| 33 | 磷酸根             | mg/L   |     |       | <0.5   |
| 34 | 余氯              | mg/L   |     | <2    |        |
| 35 | 异养菌数            | CFU/ml |     | <300  |        |
| 36 | 大肠菌群总数          | mg/L   |     | 不得检出  |        |
| 37 | 肠病毒             | mg/L   |     | 不得检出  |        |
| 38 | 尿素              | mg/L   |     |       | <0.005 |
| 39 | 总三卤甲烷           | mg/L   | 1   | <0.08 |        |

常规水系统的污染物主要包含阴阳离子、有机物、颗粒等，针对水制备系统的处理特性，首先选取电子级水的核心控制指标，如TOC、电阻率（电导率）、B、全硅；其次选取阴阳离子中对水系统中重要处理环节影响较大的水质指标，如TDS、pH、浊度、SS、总硬度、总碱度；最后选取阴阳离子中的常见的特征性污染物，如F、氨氮、亚硝酸氮、硝酸盐氮、磷酸根、氯盐、硫酸根、砷。另外，针对经过反渗透系统处理的反渗透产水中小分子有机物占比较高的特性，额外选取尿素和总三卤甲烷作为TOC要求较高的集成电路水用再生水的代表性控制指标项目。

### 6.3.3 电子级水的其他污染物筛查

在污水处理和再生水的生产过程中可能采用不同的氧化方法，不同的氧化方法会引入不同的氧化副产物，如，臭氧氧化的副产物为醛、酮、酸等羰基化合物，这部分有机氧化副产物在反渗透系统中的去除能力较差，也会对纯水系统带来不良的影响，再生水用于电子级水制备原水时，需要根据上游水源和水处理工艺，针对相关的氧化副产物进行污染物筛查，确定电子级水制备用水其他污染物项目以及限值。

## 6.4 污染物限值的确定及制定依据

### 6.4.1 水质控制项目及限值的确定方法

再生水作为电子级水水源时，其水质控制项目及限值的确定方法如下。

- (1) 参考电子级水制备系统的传统水源水质特征；

- (2) 参考全国各地自来水的水质特征；
- (3) 参考全国各地典型再生水的水质特征；
- (4) 参考国际、国内相关水质要求，包括我国《生活饮用水卫生标准（GB 5749）》、新加坡NEWater再生水水质标准和电子与半导体企业对作为电子级水水源的再生水水质要求；
- (5) 根据电子级水制备中各环节对污染物的去除效率和终端水质要求，计算进水的水质限值，制备系统无需改造即可利用再生水制备满足要求的电子级水。

#### 6.4.2 水质控制项目及限值的确定过程

##### (1) 电导率

电导率是表示物质中电荷流动难易程度的指标。再生水电导率可以表示带电离子浓度。再生水电导率越高，带电离子浓度越高。在电子级水制备系统后段，电子级水的离子含量极低，电导率极低，变化不明显。因此，再生水电阻率，即电导率的倒数，被用于指示电子级水中带电离子的含量。再生水电阻率越高，带电离子浓度越低。

电导率和电阻率是电子级水的基本指标，对于纯水离子去除效果的评价有着重要的意义。各细分行业电子级水对电阻率的要求较高，如表6-2所示。

表6-2 ASTM电子级水的电阻率限值

| 指标         |       | Type E-1 | Type E-1.1 | Type E-1.2 | Type E-1.3 | Type E-2 | Type E-3 | Type E-4 |
|------------|-------|----------|------------|------------|------------|----------|----------|----------|
| 电阻率 (25°C) | MΩ·cm | 18.1     | 18.2       | 18.2       | 18.2       | 16.5     | 12       | 0.5      |

电子级水制备中各环节对带电离子的去除效率（即电阻率的提高效率，或电导率的降低效率）如表6-3所示。离子交换树脂处理、反渗透处理是去除带电离子、提高电子级水电阻率的主要技术环节。再生水的电导率越高，电子级水制备系统的投资成本、运行成本越高。因此，再生水的电导率不宜太高。

表6-3 电子级水制备中各环节对带电离子的去除效率

| 工艺段     | 2B3T | RO  | MB  | 总去除率   |
|---------|------|-----|-----|--------|
| 各工艺段去除率 | 98%  | 95% | 90% | 99.99% |

相关企业对再生水电导率的要求，及国内各地区自来水的电导率实测值如表6-4和表6-5所示。台积电、中芯国际及新加坡的NEWater对再生水的电导率要求

均为 $<250\mu\text{S}/\text{cm}$ ；京东方B4对再生水的电导率主要参考当地的自来水实际水质，为 $<540\mu\text{S}/\text{cm}$ 。国内自来水电导率的地区差异较大，波动范围为 $87.7\sim 789.0\mu\text{S}/\text{cm}$ ；平均值为 $317.2\mu\text{S}/\text{cm}$ 。北方地区自来水的电导率较高，南方地区自来水电导率较低。

可用于电子级水水源的再生水多由超滤-反渗透工艺生产，带电离子含量较低。因此，用于电子级水水源的再生水电导率值应 $<250\mu\text{S}/\text{cm}$ 。当电子级水制备系统的设计值小于 $250\mu\text{S}/\text{cm}$ 时，应对再生水进行深度处理，如二级反渗透工艺、反渗透+离子交换树脂工艺等。

表6-4 自来水的电导率范围和典型电子企业再生水的电导率限值（单位： $\mu\text{S}/\text{cm}$ ）

| 项目 | 自来水        | 台积电     | 中芯国际（北京） | 新加坡<br>NEWater | 京东方B4           |
|----|------------|---------|----------|----------------|-----------------|
|    |            | 7nm线宽工艺 | 14nm线宽工艺 |                | 8.5代<br>TFT-LCD |
| 数值 | 87.7-789.0 | $<250$  | $<250$   | $<250$         | $<540$          |

表6-5 国内主要城市自来水的电导率值（单位： $\mu\text{S}/\text{cm}$ ）

| 城市 | 电导率   | 城市 | 电导率   | 城市  | 电导率   |
|----|-------|----|-------|-----|-------|
| 北京 | 443.0 | 厦门 | 167.0 | 昆明  | 161.0 |
| 上海 | 340.0 | 福州 | 235.0 | 洛阳  | 685.0 |
| 无锡 | 497.0 | 宁波 | 87.7  | 天津  | 278.0 |
| 淮安 | 322.0 | 杭州 | 204.0 | 武汉  | 377.0 |
| 泰州 | 319.0 | 滁州 | 181.0 | 大连  | 253.0 |
| 苏州 | 551.0 | 重庆 | 414.0 | 合肥  | 161.2 |
| 徐州 | 789.0 | 吉安 | 111.0 | 成都  | 276.0 |
| 南京 | 238.0 | 广州 | 206.0 | 平均值 | 317.2 |

## (2) TOC

总有机碳(TOC)是以碳的含量表示水中有机物的总量。再生水中的TOC越高，说明水中的有机物含量越多。TOC是评价电子级水的基本指标，在电子行业中，激光会运用于电子产品的生产之中，当激光器照射时，某些类型的有机物会被照射分解，从而引起的pH值变化和潜在的微气泡产生，会对激光造成潜在的光干扰，从而使产品产生缺陷，所以TOC对于电子产品的生产良率有着重要的影响。

TOC是电子级水的基本指标，对于纯水有机物去除效果的评价有着重要的意义。再生水中较高浓度的TOC会对超纯水中的TOC含量造成影响。各细分行业电子级水对TOC的要求如表6-6所示。

表6-6 ASTM电子级水的TOC限值

| 指标  |      | Type E-1 | Type E-1.1 | Type E-1.2 | Type E-1.3 | Type E-2 | Type E-3 | Type E-4 |
|-----|------|----------|------------|------------|------------|----------|----------|----------|
| TOC | μg/L | 5        | 2          | 1          | 1          | 50       | 300      | 1000     |

电子级水制备中各技术环节对TOC和小分子有机物的去除效率如表6-7所示，小分子有机物的去除效率较普通TOC去除率低。离子交换树脂处理、反渗透处理、双波长紫外线是去除TOC、降低电子级水TOC的主要技术环节。再生水的TOC越高，电子级水制备系统的投资成本、运行成本越高。因此，再生水的TOC不宜太高。

表6-7 电子级水制备中各技术环节对TOC的去除效率

| 工艺段         | ACF | 2B3T | RO  | UV+MB | UV+PMB | 总去除率   |
|-------------|-----|------|-----|-------|--------|--------|
| 各工艺段去除率     | 15% | 90%  | 80% | 90%   | 70%    | 99.95% |
| 小分子有机物各段去除率 | 15% | 80%  | 70% | 90%   | 70%    | 98.47% |

相关企业对再生水TOC的要求，及国内各地区自来水的TOC实测值如表6-9和表6-10所示。台积电、中芯国际及新加坡的NEWater对再生水的TOC的要求为0.5-1 mg/L；京东方B4是液晶面板TFT-LCD制造企业，生产过程对电子级水的TOC要求较低，并参考北京地区的自来水实际水质，对TOC的参考值为<2 mg/L。

表6-9 自来水实测TOC及相关电子企业再生水TOC限值（单位：mg/L）

| 项目 | 自来水     | 台积电 | 中芯国际（北京） | 新加坡<br>NEWater | 京东方B4           |
|----|---------|-----|----------|----------------|-----------------|
|    |         | 7nm | 14nm     |                | 8.5代<br>TFT-LCD |
| 数值 | 0.58 ~5 | <1  | <0.5     | <0.5           | <2              |

表6-10 国内各地区的自来水TOC指标 (单位: mg/L)

|    |      |    |      |     |      |
|----|------|----|------|-----|------|
| 城市 | TOC  | 城市 | TOC  | 城市  | TOC  |
| 北京 | 1.92 | 厦门 | 1.40 | 昆明  | 0.60 |
| 上海 | 2.10 | 福州 | 2.70 | 洛阳  | 0.58 |
| 无锡 | 2.50 | 宁波 | 0.60 | 天津  | 0.80 |
| 淮安 | 5.00 | 杭州 | /    | 武汉  | 1.40 |
| 泰州 | /    | 滁州 | /    | 大连  | 2.53 |
| 苏州 | 2.70 | 重庆 | 1.72 | 合肥  | 2.01 |
| 徐州 | 4.20 | 吉安 | 2.00 | 成都  | 0.75 |
| 南京 | 0.70 | 广州 | /    | 平均值 | 1.90 |

国内自来水TOC的平均值为1.90 mg/L；各地区差异较大，波动范围为0.58 mg/L ~5 mg/L。结合水系统各段工艺对TOC的去除效率，当原水的TOC=1mg/L时，产水的TOC大约为0.5 μg/L，可以满足E-1.3类标准对电子级水中TOC的水质要求。考虑到再生水的生产工艺多为双膜法，产水的小分子有机物比例较高，小分子有机物的处理效率会有一定的下降，当再生水的TOC=0.5mg/L时，产水的TOC大约为0.75 μg/L，同时参考全国各地自来水中的TOC实测值，因此确定再生水的TOC限值如表6-11。

表6-11 再生水用作工业水水源的TOC限值

| 项目                | EWS-1 | EWS-2 | EWS-3 |
|-------------------|-------|-------|-------|
| 总有机碳 (以C计) (mg/L) | <0.5  | <1.0  | <2.0  |

可用于电子级水水源的再生水多由超滤-反渗透工艺生产，TOC含量较低，但小分子有机物含量较高。因此，用于电子级水水源的再生水电导率TOC值应满足表6-11。当电子级水制备系统的设计值小于相对应的TOC限值时，可根据情况对再生水进行深度处理，如采用二级反渗透工艺或反渗透+高级氧化工艺。

### (3) 硼

硼 (B) 是元素周期表第三主族唯一的非金属元素，B原子的价电子结构是  $2s^2 2p^1$ ，B原子的价电子少于价轨道数，所以存在缺电子情况，但硼与同周期的金属元素锂，铍相比原子半径小，电离能高，电负性大，以形成共价键分子为特征。在pH较低的情况下，以硼酸形式存在的B，反渗透的去除效率低（普通反渗透膜，pH=9时，去除率为80%左右），化学清洗会导致脱硼效率明显下降。在离子交换树脂的选择性表中，B的选择性较低，比较难以将离子交换树脂中的氢

氧根交换出来，所以离子交换树脂对于硼的去除率比一般离子较低，B的波动会导致离子交换树脂容易被B穿透，硼的去除效果急剧下降，所以硼对于水中离子的去除能力有着重要的指示意义。再生水B越高，电子级水系统的硼泄漏可能性越高，需要更高的离子去除能力。

电导率和电阻率是高等级电子级水的基本指标，对于纯水离子去除效果的评价有着重要的意义。各细分行业电子级水对B的要求如表6-12所示。

表6-12 ASTM电子级水的B限值

| 指标 |     | Type E-1 | Type E-1.1 | Type E-1.2 | Type E-1.3 | Type E-2 | Type E-3 | Type E-4 |
|----|-----|----------|------------|------------|------------|----------|----------|----------|
| 硼  | ppt | 300      | 100        | 50         | 50         | -        | -        | -        |

电子级水制备中各技术环节对硼的去除效率如表6-13所示，部分企业为了达到严格的B指标要求，增加了专门的除硼树脂对硼进行深度去除。离子交换树脂处理、反渗透处理是去除硼的主要技术环节。再生水的硼越高，电子级水制备系统的投资成本、运行成本越高。因此，再生水的硼不宜太高。

表6-13 电子级水制备中各技术环节对B的去除效率

| 工艺段     | 2B3T | RO  | MB  | PMB | 总去除率   |
|---------|------|-----|-----|-----|--------|
| 各工艺段去除率 | 95%  | 80% | 90% | 90% | 99.99% |

相关企业对再生水B的要求，以及国内各地区自来水的B实测值如表6-14和表6-15所示。台积电、中芯国际对再生水的硼要求为0.1-0.2 mg/L；新加坡NEWater和京东方B4的再生水用户对电子级水中的B并无要求，所以对再生水B的要求较低，为<0.5 mg/L。国内自来水B的平均值为0.08 mg/L，各地区差异较大，波动范围为0.01 mg/L-0.39 mg/L，根据《生活饮用水卫生标准》（GB 5749），自来水中的B的限值为<1.0 mg/L，各地自来水均可以满足自来水的限值要求。

表6-14 自来水中的硼及相关电子企业再生水硼限值（单位: mg/L）

| 项目 | 自来水       | 台积电          | 中芯国际（北京）     | 新加坡<br>NEWater | 京东方B4           |
|----|-----------|--------------|--------------|----------------|-----------------|
|    |           | 12英寸<br>集成电路 | 12英寸<br>集成电路 |                | 8.5代<br>TFT-LCD |
| 数值 | 0.01-0.39 | <0.1         | <0.2         | <0.5           | <0.5            |

表6-15 国内各地区的自来水硼指标（单位: mg/L）

|    |      |    |        |     |       |
|----|------|----|--------|-----|-------|
| 城市 | 硼    | 城市 | 硼      | 城市  | 硼     |
| 北京 | 0.01 | 厦门 | <0.01  | 昆明  | <0.01 |
| 上海 | 0.03 | 福州 | 0.02   | 洛阳  | /     |
| 无锡 | 0.07 | 宁波 | <0.01  | 天津  | 0.01  |
| 淮安 | 0.08 | 杭州 | 0.02   | 武汉  | 0.03  |
| 泰州 | /    | 滁州 | <0.011 | 大连  | 0.11  |
| 苏州 | 0.09 | 重庆 | /      | 合肥  | 0.05  |
| 徐州 | 0.39 | 吉安 | 0.21   | 成都  | 0.07  |
| 南京 | 0.02 | 广州 | <0.1   | 平均值 | 0.08  |

表6-16 再生水用作工业水水源的硼限值（单位: mg/L）

| 项目 | EWS-1 | EWS-2 | EWS-3 |
|----|-------|-------|-------|
| 硼  | <0.1  | <0.3  |       |

结合水系统各段工艺对B的去除效率，当再生水的B=0.2 mg/L时，常规电子级水系统的产水的B大约为20 ng/L，可以满足12英寸集成电路行业对电子级水的水质要求。不同细分行业用户对电子级水的水质要求差距较大，同时参考全国各地自来水中的B实测值，为了防止离子交换树脂的过早穿透，本标准针对用于3类水处理系统的再生水中的B进行规定，限值如表6-16所示。

可用于电子级水水源的再生水多由超滤-反渗透工艺生产，带电离子含量较低，因此，用于电子级水水源的再生水硼应满足表6-16。当现有水制备系统的设计值小于相对应的B指标时，可根据情况对再生水进行深度处理，如采用二级反渗透工艺或反渗透+除硼树脂等。

#### （4）总溶解性固体

总溶解固体（英文：Total dissolved solids，缩写TDS），又称溶解性固体总量，它表明1升水中溶有多少溶解性固体。在再生水中，TDS可以表示水中无机物和有机物两者的含量，TDS越高，说明再生水中的无机物和有机物越多，TDS与电导率、电阻率有一定的关联性，再生水中的TDS越高，再生水电导率越高。

TDS是电子级水的基本指标，对于纯水有机物和无机物去除效果的评价有着重要的意义。

电子级水制备中各环节对无机和有机溶解性固体的去除效率参见表6-3和表6-7所示。离子交换树脂处理、反渗透处理是去除无机和有机溶解性固体、降低电子级水TDS的主要技术环节。原水中的TDS越高，水系统的投资成本、运行成本越高。

相关企业对再生水TDS的要求，以及国内各地区自来水的TDS实测值如表6-17和表6-18所示。台积电、中芯国际和新加坡NEWater对再生水的TDS要求均为150 mg/L；京东方B4对再生水的TDS主要参考当地的自来水水质标准，为270-280 mg/L。国内自来水TDS的平均值为199 mg/L；各地区差异较大，波动范围为18 mg/L~512 mg/L。北方地区自来水的TDS较高，南方地区自来水TDS较低。

表6-17 自来水实测TDS及相关电子企业再生水TDS限值（单位：mg/L）

| 项目 | 自来水    | 台积电  | 中芯国际（北京） | 新加坡<br>NEWater | 京东方B4           |
|----|--------|------|----------|----------------|-----------------|
|    |        | 7nm  | 14nm     |                | 8.5代<br>TFT-LCD |
| 数值 | 18-512 | <150 | <150     | <150           | <270-280        |

表6-18 国内各地区的自来水TDS指标（单位：mg/L）

| 城市 | TDS | 城市 | TDS | 城市  | TDS |
|----|-----|----|-----|-----|-----|
| 北京 | 282 | 厦门 | /   | 昆明  | 111 |
| 上海 | /   | 福州 | /   | 洛阳  | 486 |
| 无锡 | 320 | 宁波 | 44  | 天津  | /   |
| 淮安 | /   | 杭州 | 155 | 武汉  | 248 |
| 泰州 | /   | 滁州 | /   | 大连  | 32  |
| 苏州 | /   | 重庆 | /   | 合肥  | 18  |
| 徐州 | 512 | 吉安 | 96  | 成都  | 87  |
| 南京 | /   | 广州 | /   | 平均值 | 199 |

可用于电子级水水源的再生水多由超滤-反渗透工艺生产，溶解性有机物含量较低。因此，用于电子级水水源的再生水TDS值为<150 mg/L。当电子级水制备系统的设计值小于150 mg/L时，可根据情况对再生水进行深度处理，如采用二级反渗透工艺或反渗透+离子交换树脂工艺。

#### （5）氟离子

氟离子是一种阴离子，再生水中氟离子的来源主要是工业废水的排放，尤其是电子企业的生产中会产生大量的含氟废水，这部分含氟废水会排放至下游的污水处理厂最终排放至水体或成为再生水。

再生水中的氟离子是一种电子行业典型污染物，在电子工业再生水中极易富集，对于再生水的水质评价有着重要的意义。各细分行业电子级水对氟离子的要求如表6-19所示。

表6-19 ASTM电子级水对氟离子的要求（单位: ng/L）

| 指标  | Type E-1 | Type E-1.1 | Type E-1.2 | Type E-1.3 | Type E-2 | Type E-3 | Type E-4 |
|-----|----------|------------|------------|------------|----------|----------|----------|
| 氟离子 | 100      | 50         | 30         | 50         | -        | -        | -        |

电子级水制备中各技术环节对氟离子的去除效率如表6-3所示。离子交换树脂处理、反渗透处理是去除氟离子的主要技术环节。再生水水中的氟离子越高，电子级水制备系统的投资成本、运行成本越高。因此，再生水的氟离子不宜太高。

相关企业对再生水氟离子的要求，以及国内各地区自来水的氟离子实测值如表6-20和表6-21所示。中芯国际、新加坡NEWater和京东方B4对再生水的氟离子要求均为0.5 mg/L，台积电对再生水中的氟离子暂时没有规定的限值。国内自来水氟离子的平均值为0.33 mg/L；各地区差异较大，波动范围为0.1 mg/L ~0.8 mg/L。根据《生活饮用水卫生标准》（GB 5749），自来水中F的限值为<1 mg/L。结合相关企业对再生水氟离子的要求和自来水中氟离子的含量，确定再生水的氟离子限值为<0.5 mg/L。在水制备系统中，氟离子的限制也是需要满足系统浓水的排放标准，在最新的《电子工业水污染物排放标准》（GB 39731-2020）中规定氟离子的直接排放标准为10 mg/L，在水的处理过程中会采用反渗透的处理方式，反渗透的回收率为80%左右，当氟离子的进水大于2 mg/L时，纯水系统的反渗透浓水的氟离子含量将有超过10 mg/L的风险，影响反渗透浓水的排放，当再生水中氟离子的限值为<0.5 mg/L时，不会影响企业废水的排放。当企业当地的废水中F的排放指标限值低于3 mg/L时，需要计算纯水系统的排放浓水中的氟离子浓度，确定再生水的氟离子限值。

表6-20 自来水实测氟离子及相关电子企业再生水氟离子限值（单位: mg/L）

|    |         |          |                |                 |
|----|---------|----------|----------------|-----------------|
| 项目 | 自来水     | 中芯国际（北京） | 新加坡<br>NEWater | 京东方B4           |
|    |         | 14nm     |                | 8.5代<br>TFT-LCD |
| 数值 | 0.1-0.8 | <0.5     | <0.5           | <0.5            |

表6-21 国内各地区的自来水氟离子指标（单位: mg/L）

|    |      |    |      |     |      |
|----|------|----|------|-----|------|
| 城市 | 氟离子  | 城市 | 氟离子  | 城市  | 氟离子  |
| 北京 | 0.35 | 厦门 | 0.40 | 昆明  | 0.09 |
| 上海 | 0.20 | 福州 | 0.30 | 洛阳  | 0.80 |
| 无锡 | 0.33 | 宁波 | 0.29 | 天津  | 0.20 |
| 淮安 | 0.51 | 杭州 | 0.28 | 武汉  | 0.23 |
| 泰州 | /    | 滁州 | 0.40 | 大连  | 0.19 |
| 苏州 | 0.40 | 重庆 | /    | 合肥  | 0.28 |
| 徐州 | 0.70 | 吉安 | /    | 成都  | 0.10 |
| 南京 | 0.20 | 广州 | 0.27 | 平均值 | 0.33 |

可用于电子级水水源的再生水多由超滤-反渗透工艺生产，氟离子含量较低。因此，用于电子级水水源的再生水氟离子浓度应<0.5 mg/L。当现有水制备系统的设计值小于0.5 mg/L时，可根据情况对再生水进行深度处理，如采用二级反渗透工艺、除氟树脂。

#### （6）全硅

全硅是指水中总二氧化硅的含量，由于二氧化硅水解产生的硅酸根离子选择性较低，难以将阴离子交换树脂中的氢氧根置换出来，全硅的去除效果较差，最后造成电子级水的全硅超标。

全硅是电子级水的基本指标，对于纯水离子去除效果的评价有着重要的意义。各细分行业电子级水对全硅的要求较高，如表6-22所示。

表6-22 ASTM电子级水对全硅的要求（单位: μg/L）

|    |          |            |            |            |          |          |          |
|----|----------|------------|------------|------------|----------|----------|----------|
| 指标 | Type E-1 | Type E-1.1 | Type E-1.2 | Type E-1.3 | Type E-2 | Type E-3 | Type E-4 |
| 全硅 | 5        | 3          | 1          | 0.5        | 10       | 50       | 100      |

电子级水制备中各技术环节对全硅的去除效率如表6-23所示。离子交换树脂处理、反渗透处理是去除全硅的主要技术环节。原水中的全硅越高，水系统的投资成本、运行成本越高。因此，再生水的全硅不宜太高。

表6-23 电子级水制备中各技术环节对全硅的去除效率

| 工艺段     | 2B3T | RO  | MB  | PMB | 总去除率   |
|---------|------|-----|-----|-----|--------|
| 各工艺段去除率 | 99%  | 90% | 80% | 70% | 99.99% |

相关企业对再生水全硅的要求，以及国内各地区自来水的全硅实测值如表6-24和表6-25所示。中芯国际和新加坡NEWater对再生水的全硅要求均为3 mg/L；京东方B4的再生水的全硅指标主要参考当地的自来水水质标准和自身水对全硅的水质要求，所以对再生水全硅的要求较低，为<11 mg/L。国内自来水全硅的平均值为7.83 mg/L；各地区差异较大，波动范围为2 mg/L~31.3 mg/L。参考水系统各段工艺对全硅的去除效率，当再生水的全硅=3 mg/L时，产水的全硅大约为0.18 μg/L，可以满足12英寸集成电路行业对电子级水的水质要求。另外结合全国各地自来水中全硅的实测值，保证再生水的标准可以优于全国的自来水中全硅含量，确定再生水中全硅的限值如表6-26所示。

表6-24 自来水实测全硅及相关电子企业再生水全硅限值（单位：mg/L，以二氧化硅计）

| 项目 | 自来水    | 中芯国际（北京） | 新加坡<br>NEWater | 京东方B4       |
|----|--------|----------|----------------|-------------|
|    |        | 14nm     |                | 8.5代TFT-LCD |
| 数值 | 2-31.3 | <3       | <3             | <11         |

表6-25 国内各地区的自来水全硅指标（单位：mg/L，以二氧化硅计）

| 城市 | 全硅   | 城市 | 全硅   | 城市  | 全硅   |
|----|------|----|------|-----|------|
| 北京 | 4.97 | 厦门 | 12.8 | 昆明  | 4.4  |
| 上海 | 6.5  | 福州 | 31.3 | 洛阳  | 14.3 |
| 无锡 | 2.7  | 宁波 | 8.92 | 天津  | 3.82 |
| 淮安 | /    | 杭州 | /    | 武汉  | 6.91 |
| 泰州 | 3    | 滁州 | <1   | 大连  | 5.97 |
| 苏州 | 2    | 重庆 | 4.32 | 合肥  | 6.53 |
| 徐州 | 7.6  | 吉安 | 5.53 | 成都  | 5.98 |
| 南京 | 8    | 广州 | 11.1 | 平均值 | 7.83 |

表6-26 再生水用作工业水水源的全硅限值

| 项目        | EWS-1 | EWS-2 | EWS-3 |
|-----------|-------|-------|-------|
| 总硅 (mg/L) | <3    | <10   |       |

可用于电子级水水源的再生水多由超滤-反渗透工艺生产，全硅含量较低，因此，用于电子级水水源的再生水全硅应满足表6-26。当现有水制备系统的设计值小于相对应的全硅指标时，可根据情况对再生水进行深度处理，如采用二级反渗透工艺或反渗透+离子交换树脂。

### (7) 尿素

尿素分子式 $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ ，分子量60，是一种小分子有机物，在再生水中，以市政生活污水为水源的再生水中会有较高浓度的尿素。电子级水中的尿素的超标会影响生产过程中的光阻涂布，从而影响电子产品的生产良率。尿素由于其分子结构具有很强的稳定性，且分子量很低，水系统对其降解效果非常有限，其原水中的浓度会显著影响水中TOC的含量，所以尿素的指标控制对水系统有着重要的意义。目前各细分行业电子级水对尿素并无明确标准，主要通过TOC的指标对其进行控制。

根据尿素的分子式，每1g尿素可以贡献0.2g TOC，所以对于电子级水有要求较高的行业，尿素的残留，极易导致TOC指标的超标。在水制备系统中，尿素是通过紫外线氧化的方法去除的。典型水系统各段工艺对尿素的去除效率如表6-27所示，水系统对尿素的去除率极低，所以需要严格控制水系统原水中的尿素指标。再生水的尿素含量越高，电子级水制备系统的投资成本、运行成本越高。因此，再生水的尿素含量不宜太高。

表6-27 电子级水制备中各技术环节对尿素的去除效率

| 工艺段     | 2B3T | RO | UV+MB | UV+PMB | 总去除率 |
|---------|------|----|-------|--------|------|
| 各工艺段去除率 | 0%   | 0% | 40%   | 40%    | 64%  |

表6-28 相关电子企业再生水尿素限值 (单位:  $\mu\text{g/L}$ )

| 项目 | 台积电      | 中芯国际 (北京) | 京东方B4       |
|----|----------|-----------|-------------|
|    | 12英寸集成电路 | 12英寸集成电路  | 8.5代TFT-LCD |
| 数值 | <5       | 20-40     | 25-35       |

相关企业对再生水尿素的要求如表6-28所示。国内相关的电子企业对尿素均有要求，集成电路制程最为先进的台湾台积电公司鉴于其先进的制程要求（7 nm以下），对再生水中尿素的要求最为严格，达到了5  $\mu\text{g/L}$ ；大陆的电子行业对再

生水中尿素的限值,主要参考当地自来水中的尿素含量以及自身制程对尿素的要求,限值为20-40 µg/L;新加坡NEWater对再生水的尿素暂无要求。依据水系统各段工艺对尿素的去除效率,当再生水的尿素=10 µg/L时,产水的尿素大约为3.6 µg/L,换算成TOC为0.72 µg/L,可以满足先进制程(7-28 nm制程)对电子级水TOC<1 µg/L的要求(水中含有其他有机物)。根据实际调研国内自来水尿素的平均值为12~15 µg/L;各地区差异较大,波动范围为8 µg/L~40 µg/L。因此,确定再生水中尿素的限值如表6-29所示。

表6-29 再生水用作工业水水源的尿素限值(单位:µg/L)

| 项目 | EWS-1 | EWS-2 | EWS-3 |
|----|-------|-------|-------|
| 尿素 | <10   | <15   | <40   |

可用于电子级水水源的再生水多由超滤-反渗透工艺生产,对尿素的去除效率不佳,尤其是市政污水再生水,产水极易高于表6-29中的要求,因此超滤-反渗透工艺生产无法满足相对应的尿素指标时,可根据情况对再生水进行深度处理,如采用高级氧化工艺。

#### (8) 总三卤甲烷

三卤甲烷是一类化学物质,是一类具有代表性的中性小分子有机物,是指甲烷(CH<sub>4</sub>)中的三个氢原子,为卤族元素所取代,一般很少自然存在于水体中,但在再生水厂加氯去除臭味及消毒过程中,水中有机物和氯反应所形成;而主要的生成物包括CHCl<sub>3</sub>(氯仿)、CHBrCl<sub>2</sub>(一溴二氯甲烷)、CHBr<sub>2</sub>Cl(二溴一氯甲烷)、CHBr<sub>3</sub>(溴仿)等。电子级水系统中的痕量三卤甲烷对于水的TOC指标影响较大,且去除效率较低。三卤甲烷作为电子级水中一种代表性的氧化有机副产物,其在再生水中的含量与终端的水的TOC指标有着密切的关系,对电子级水的终端TOC有着重大的影响,所以总三卤甲烷对于电子级水的制备过程有重要的意义。各细分行业电子级水对总三卤甲烷并无明确标准,主要通过TOC的指标对其进行控制。

虽然各细分行业电子级水对三卤甲烷并无明确标准,但三卤甲烷的超标会影响TOC指标,依据三氯甲烷的分子式,每1g三氯甲烷可以贡献0.1gTOC,其余三卤甲烷贡献值根据相对分子质量的升高而下降,所以三卤甲烷的残留量越高,TOC超标的风险越高。在水制备系统中,总三卤甲烷是通过树脂、反渗透和紫外线氧化的方法联合去除的。典型水系统各段工艺对总三卤甲烷的去除效率如表

6-30所示,水系统对三氯甲烷的总去除率约为96.25%左右。为满足水的水质要求,再生水中的总三卤甲烷越高,水系统的投资成本、运行成本越高。因此,再生水的总三卤甲烷不宜太高。

表6-30 电子级水制备中各技术环节对总三卤甲烷的去除效率

|         |      |     |       |        |        |
|---------|------|-----|-------|--------|--------|
| 工艺段     | 2B3T | RO  | UV+MB | UV+PMB | 总去除率   |
| 各工艺段去除率 | 50%  | 70% | 50%   | 50%    | 96.25% |

表6-31 相关电子企业再生水总三卤甲烷限值(单位:  $\mu\text{g/L}$ )

|    |     |          |                |                 |
|----|-----|----------|----------------|-----------------|
| 项目 | 台积电 | 中芯国际(北京) | 新加坡<br>NEWater | 京东方B4           |
|    | 7nm | 14nm     |                | 8.5代<br>TFT-LCD |
| 数值 | /   | /        | <80            | /               |

相关企业对再生水总三卤甲烷的要求如表6-31所示。国内相关的电子企业对再生水中的小分子有机物的控制仍以尿素为主,并没有对总三卤甲烷的限制指标;新加坡NEWater由于其再生水的杀菌方式为氯杀菌,所以对再生水中的总三卤甲烷有所限值,为 $80 \mu\text{g/L}$ 。依据水系统各段工艺对总三卤甲烷的去除效率,当再生水的总三卤甲烷= $20 \mu\text{g/L}$ 时,产水的总三卤甲烷大约为 $0.8 \mu\text{g/L}$ ,假设全部为三氯甲烷,换算成TOC为 $0.08 \mu\text{g/L}$ ,可以满足先进制程(7-28 nm制程)对电子级水TOC $<1 \mu\text{g/L}$ 的要求(水中含有其他有机物)。根据实际调研国内自来水总三卤甲烷的平均值为 $15\sim 20 \mu\text{g/L}$ ;各地区差异较大,波动范围为 $10 \mu\text{g/L} \sim 70 \mu\text{g/L}$ 。因此用于电子级水制备系统的再生水中总三卤甲烷限值如表6-32所示。

表6-32 再生水用作工业水水源的总三卤甲烷限值(单位:  $\mu\text{g/L}$ )

|       |       |       |       |
|-------|-------|-------|-------|
| 项目    | EWS-1 | EWS-2 | EWS-3 |
| 总三卤甲烷 | <20   | <40   | <80   |

可用于电子级水水源的再生水多由超滤-反渗透工艺生产,总三卤甲烷的含量较低,在消毒过程中需要严格控制杀菌剂的用量,减少总三卤甲烷等消毒副产物的产生,因此,用于电子级水水源的再生水总三卤甲烷应满足表6-32。当现有水制备系统的设计值小于相对应的总三卤甲烷指标时,可根据情况对再生水进行深度处理,如采用高级氧化工艺。

### (9) pH

pH(氢离子浓度指数)是指溶液中氢离子的总数和总物质的量的比。在再生水中,pH可以表示水中氢离子的含量,中性的pH=7,pH距离中性偏离越多,说

明水中的氢离子或者氢氧根离子越多。在电子级水的制备系统中，水需要在中性条件下处理，进入水系统的水源需要通过投加酸碱，将水中的pH值调节至中性，pH是电子级水的基本指标，对于水系统的处理稳定性有着重要的意义。若再生水中pH超出要求的范围，需要投加更多的酸碱调节pH，同时，投加的酸碱也会提高水中的TDS和电导率。因此，再生水的pH应接近中性。

相关企业对再生水pH的要求，以及国内各地区自来水的pH实测值如表6-33和表6-34所示。国内外电子行业使用的再生水对pH的要求主要是中性附近，根据《生活饮用水卫生标准》（GB 5749），自来水中的pH的限值为6.5-9.5，实测国内自来水的pH均在6.0-8.0之间，平均值为7.39。因此，本标准对于各类再生水的pH限值均为6.5-8.5。

可用于电子级水水源的再生水多由超滤-反渗透工艺生产，pH在中性附近，当电子级水制备系统的设计值超出6.5-8.5时，可投加酸碱调节pH，但投加后电导率、TDS等指标不应超过本标准的限定值。

表6-33 自来水实测pH及相关电子企业再生水pH限值

| 项目 | 自来水       | 台积电     | 中芯国际（北京） | 新加坡<br>NEWater | 京东方B4           |
|----|-----------|---------|----------|----------------|-----------------|
|    |           | 7nm     | 14nm     |                | 8.5代<br>TFT-LCD |
| 数值 | 6.21-7.94 | 6.5-8.5 | 6.5-7.5  | 7-8.5          | 6.5-7.5         |

表6-34 国内各地区的自来水pH指标

| 城市 | pH   | 城市 | pH   | 城市  | pH   |
|----|------|----|------|-----|------|
| 北京 | 7.15 | 厦门 | 7.08 | 昆明  | 7.7  |
| 上海 | 7.55 | 福州 | 7.1  | 洛阳  | 6.8  |
| 无锡 | 7.6  | 宁波 | 7.1  | 天津  | 7.93 |
| 淮安 | 7.47 | 杭州 | 7.39 | 武汉  | 7.81 |
| 泰州 | 7.9  | 滁州 | 7.94 | 大连  | 7.47 |
| 苏州 | 7    | 重庆 | 7.6  | 合肥  | 7.24 |
| 徐州 | 7.7  | 吉安 | 6.21 | 成都  | 7.58 |
| 南京 | 7.1  | 广州 | 7.75 | 平均值 | 7.39 |

#### （10）浊度

浊度是指溶液对光线通过时所产生的阻碍程度，它包括悬浮物对光的散射和溶质分子对光的吸收。水的浊度不仅与水中悬浮物质的含量有关，而且与它们的

大小、形状及折射系数等有关。在再生水中，浊度可以表示水中悬浮杂质的含量，浊度越高，说明水中的悬浮杂质越多。浊度是电子级水原水的基本指标，对于电子级水原水的洁净程度有着重要的意义。

水中的浊度主要是预处理系统中的砂滤、碳滤或者超滤等过滤手段去除，投加少量PAC后，经过过滤的产水浊度 $<0.01$  NTU。纯水系统进水浊度的增加会增加PAC的投加量，并提高过滤装置的负荷、压损和反洗频率。因此，再生水的浊度不应太高。

相关企业对再生水浊度的要求，以及国内各地区自来水的浊度实测值如表6-35和表6-36所示。根据《生活饮用水卫生标准》（GB 5749），自来水中的浊度的限值为 $<1$ NTU，实测国内自来水的浊度均 $<1$  NTU，大部分地区 $<0.3$  NTU，国内电子行业使用的再生水和新加坡的NEWater对浊度的要求主要是 $<3-5$  NTU，国内的自来水水质可以满足相关要求，台湾台积电对再生水的浊度要求为 $0.3$  NTU。因此确定再生水的浊度值为 $<0.3$ NTU。

表6-35 自来水实测浊度及相关电子企业再生水浊度限值（单位：NTU）

| 项目 | 自来水  | 台积电    | 中芯国际（北京） | 新加坡<br>NEWater | 京东方B4           |
|----|------|--------|----------|----------------|-----------------|
|    |      | 7nm    | 14nm     |                | 8.5代<br>TFT-LCD |
| 数值 | $<1$ | $<0.3$ | $<3$     | $<5$           | $<5$            |

表6-36 国内各地区的自来水浊度指标（单位：NTU）

| 城市 | 浊度     | 城市 | 浊度     | 城市 | 浊度     |
|----|--------|----|--------|----|--------|
| 北京 | $<1$   | 厦门 | $<0.1$ | 昆明 | 0.2    |
| 上海 | 0.2    | 福州 | $<0.5$ | 洛阳 | 0.3    |
| 无锡 | 0.3    | 宁波 | $<0.1$ | 天津 | $<0.1$ |
| 淮安 | $<0.5$ | 杭州 | $<1$   | 武汉 | 0.3    |
| 泰州 | ND     | 滁州 | $<0.5$ | 大连 | $<1$   |
| 苏州 | /      | 重庆 | /      | 合肥 | $<1$   |
| 徐州 | 1      | 吉安 | $<0.5$ | 成都 | $<1$   |
| 南京 | $<1$   | 广州 | 0.3    |    |        |

(11) 悬浮物

悬浮物（Suspended Solids）指悬浮在水中的固体物质，包括不溶于水中的无机物、有机物及泥砂、黏土、微生物等。在再生水中，SS可以表示水中悬浮杂质的含量，SS越高，说明水中的悬浮杂质越多。SS是电子级水原水的基本指标，SS对于电子级水原水的洁净程度有着重要的意义。

预处理系统中的砂滤、碳滤或者超滤等过滤手段是去除SS的主要技术环节。SS的增加会增加PAC的投加量，并提高过滤装置的负荷、压损和反洗频率，增加纯水系统的运行成本。因此，再生水的SS不应太高。

国内各地区的自来水SS均较低，大陆地区的自来水和自来水中常采用浊度来控制自来水中的悬浮杂质数量，台湾地区台积电对再生水的SS要求为 $<1\text{ mg/L}$ 。因此确定再生水的SS值为 $<1\text{ mg/L}$ 。

#### （12）总硬度

水的总硬度指水中钙、镁离子的总浓度。在再生水中，钙镁的过量存在会导致反渗透膜容易结垢，所以在进入反渗透之前需要将过量的硬度去除，再生水中总硬度对电子级水制备系统的反渗透系统的去除效果和运行成本的控制有着重要的意义。在水系统中总硬度增加会提高纯水系统的阳树脂的使用量，增加再生使用的酸量，提高水系统的投资和运行成本。

相关企业对再生水总硬度的要求，以及国内各地区自来水的总硬度实测值如表6-37和表6-38所示。台积电、中芯国际及新加坡的NEWater对再生水中总硬度的要求是 $<50\text{ mgCaCO}_3/\text{L}$ ；京东方B4对再生水的总硬度主要参考当地的自来水水质标准，为 $<230\text{ mgCaCO}_3/\text{L}$ 。国内自来水总硬度的平均值为 $125.98\text{ mgCaCO}_3/\text{L}$ ；各地区差异较大，波动范围为 $17\text{ mgCaCO}_3/\text{L}$  -  $352\text{ mgCaCO}_3/\text{L}$ 。根据《生活饮用水卫生标准》（GB 5749），自来水中的总硬度的限值为 $450\text{ mgCaCO}_3/\text{L}$ ，实测国内自来水的均能满足自来水的要求，在电子行业内，因此主要参考相关企业和相关标准，确定再生水的总硬度值为 $<50\text{ mgCaCO}_3/\text{L}$ 。

表6-37 自来水实测总硬度及相关电子企业再生水总硬度限值（单位： $\text{mgCaCO}_3/\text{L}$ ）

| 项目 | 自来水    | 台积电   | 中芯国际（北京） | 新加坡<br>NEWater | 京东方B4           |
|----|--------|-------|----------|----------------|-----------------|
|    |        | 7nm   | 14nm     |                | 8.5代<br>TFT-LCD |
| 数值 | 17-352 | $<50$ | $<50$    | $<50$          | $<230$          |

表6-38 国内各地区的自来水总硬度指标（单位： $\text{mgCaCO}_3/\text{L}$ ）

| 城市 | 总硬度   | 城市 | 总硬度   | 城市  | 总硬度    |
|----|-------|----|-------|-----|--------|
| 北京 | 62.5  | 厦门 | 46.4  | 昆明  | /      |
| 上海 | 135.1 | 福州 | 75.0  | 洛阳  | 352.0  |
| 无锡 | 134.7 | 宁波 | 17.0  | 天津  | /      |
| 淮安 | 156.0 | 杭州 | 70.1  | 武汉  | /      |
| 泰州 | 121.8 | 滁州 | 129.0 | 大连  | 94.3   |
| 苏州 | 157.0 | 重庆 | /     | 合肥  | 55.4   |
| 徐州 | 295.5 | 吉安 | 55.4  | 成都  | 128.7  |
| 南京 | 181.8 | 广州 | /     | 平均值 | 125.98 |

可用于电子级水水源的再生水多由超滤-反渗透工艺生产,带电离子含量较低,因此,用于电子级水水源的再生水总硬度值为 $<50 \text{ mgCaCO}_3/\text{L}$ 。当电子级水制备系统的设计值小于 $50 \text{ mgCaCO}_3/\text{L}$ 时,可根据情况对再生水进行深度处理,如采用二级反渗透工艺或反渗透+软化树脂工艺。

### (13) 碱度

碱度是表示水吸收质子的能力的参数,通常用水中所含能与强酸定量作用的物质总量来标定。这类物质包括强碱、弱碱、强碱弱酸盐等。天然水中的碱度主要是由重碳酸盐(bicarbonate, 碳酸氢盐, 下同)、碳酸盐和氢氧化物引起的,其中重碳酸盐是水中碱度的主要形式。在再生水中,碱度越高说明水中的重碳酸盐、碳酸盐和氢氧化物越多。碱度的去除主要是通过阳床或加酸将重碳酸盐和碳酸盐转化成水中游离的二氧化碳,通过脱碳酸塔将二氧化碳去除,从而去除水中的碱度。碱度是电子级水原水的基本指标,碱度对于电子级水中离子交换系统和脱碳酸塔的设计有着重要的意义。

相关企业对再生水碱度的要求,以及国内各地区自来水的碱度实测值如表6-39和表6-40所示。台积电对再生水中碱度的要求是 $<30 \text{ mgCaCO}_3/\text{L}$ ;中芯国际对再生水中碱度的要求较为严格,为 $<15 \text{ mgCaCO}_3/\text{L}$ ;京东方B4对再生水的碱度主要参考当地的自来水水质标准,为 $<170 \text{ mgCaCO}_3/\text{L}$ 。国内自来水碱度的平均值为 $80.63 \text{ mgCaCO}_3/\text{L}$ ;各地区差异较大,波动范围为 $21.3 \text{ mgCaCO}_3/\text{L}$  - $217 \text{ mgCaCO}_3/\text{L}$ 。在电子行业内,北京中芯国际对再生水中碱度的要求国内所有的已测自来水都无法满足,所以借鉴台积电对再生水中碱度的要求,确定再生水的碱度值为 $<30 \text{ mgCaCO}_3/\text{L}$ 。

表6-39 自来水实测碱度及相关电子企业再生水碱度限值(单位: $\text{mgCaCO}_3/\text{L}$ )

|    |          |     |          |                 |
|----|----------|-----|----------|-----------------|
| 项目 | 自来水      | 台积电 | 中芯国际（北京） | 京东方B4           |
|    |          | 7nm | 14nm     | 8.5代<br>TFT-LCD |
| 数值 | 21.3-217 | <30 | <15      | <170            |

表6-38 国内各地区的自来水碱度指标（单位: mgCaCO<sub>3</sub>/L）

| 城市 | 碱度   | 城市 | 碱度   | 城市  | 碱度    |
|----|------|----|------|-----|-------|
| 北京 | 95.3 | 厦门 | 26.1 | 昆明  | 57    |
| 上海 | 95   | 福州 | 39   | 洛阳  | 217   |
| 无锡 | 86   | 宁波 | 21.3 | 天津  | 90.3  |
| 淮安 | 196  | 杭州 | 53   | 武汉  | 121   |
| 泰州 | /    | 滁州 | 54   | 大连  | 60.2  |
| 苏州 | /    | 重庆 | /    | 合肥  | 49.4  |
| 徐州 | /    | 吉安 | 40   | 成都  | 125.1 |
| 南京 | 73   | 广州 | 33.3 | 平均值 | 80.63 |

可用于电子级水水源的再生水多由超滤-反渗透工艺生产,带电离子含量较低,因此,用于电子级水水源的再生水碱度值为<30 mgCaCO<sub>3</sub>/L。当电子级水制备制备系统的设计值小于30 mgCaCO<sub>3</sub>/L时,可根据情况对再生水进行深度处理,如采用二级反渗透工艺或反渗透+软化树脂工艺。

#### （14）氨氮、亚硝酸氮、硝酸盐氮、氯盐、硫酸盐、磷酸根

水的氨氮、亚硝酸氮、硝酸盐氮、氯盐、硫酸盐、磷酸根均为水中的离子污染物。在再生水中,这些指标越高,说明水中的带电离子越多,处理成本越高。水的氨氮、亚硝酸氮、硝酸盐氮、氯盐、硫酸盐、磷酸根的指标对水系统的处理工艺选择和运行成本有着重要的意义。在水系统中使用树脂、反渗透等方式联合去除,这部分离子的超标会增加水系统中离子交换树脂和反渗透系统的负荷,增加树脂量和再生频率。

国内各地区的自来水氨氮、硝酸盐氮、氯盐、硫酸盐如表6-41所示,相关电子企业对再生水质的典型值规定如表6-42所示,部分电子行业的再生水的水质要求较为严格,要求明显优于自来水中的相关指标要求;京东方B4对再生水的相关指标主要参考当地的自来水水质标准,所以要求较为宽松。台积电的氯盐指标和中芯国际的氨氮、亚硝酸氮、硝酸盐氮、硫酸盐对比自来水的实测水质较为严格,根据水系统各段工艺对水中离子的去除率,较高的标准对水系统的产水并无

影响，因此采用台积电的氨氮、亚硝酸氮、硝酸盐氮、硫酸盐指标和中芯国际的氯盐指标，确定再生水的水质限值为表6-43所示。

当现有水制备系统的设计值对应的指标时，可根据情况对再生水进行深度处理，如采用二级反渗透工艺或反渗透+离子交换树脂工艺。若进入再生水系统的市政废水或工业废水中有一类污染物的排放，为了防止此一类污染物的富集作用影响水反渗透浓水的排放，相关一类污染物限值参考《生活饮用水卫生标准》(GB 5749) 的规定。

表6-41 国内各地区的自来水相关水质指标

| 城市 | 氨氮         | 硝酸盐氮       | 氯盐     | 硫酸盐    |
|----|------------|------------|--------|--------|
|    | (mg/L,以N计) | (mg/L,以N计) | (mg/L) | (mg/L) |
| 北京 | 0.26       | 2.94       | 29.08  | 56.15  |
| 上海 | 0.11       | 1.2        | 31     | 28     |
| 无锡 | ND         | 0.19       | 49.4   | 66.8   |
| 淮安 | ND         | /          | 44.4   | 49.7   |
| 泰州 | /          | 1.06       | 16.7   | 19.6   |
| 苏州 | /          | /          | 45.6   | 120    |
| 徐州 | 0.8        | 1.7        | 93     | 122    |
| 南京 | <0.4       | 1.7        | 9.7    | 17     |
| 厦门 | ND         | 2.4        | 8.9    | 23     |
| 福州 | <0.04      | 5.6        | 17.5   | 27     |
| 宁波 | ND         | 3.5        | 3.8    | 3.7    |
| 杭州 | /          | 9.2        | 16.4   | 17.6   |
| 滁州 | 0.07       | 0.61       | 13.8   | 19.5   |
| 重庆 | <0.1       | 7.7        | 16.8   | 53.2   |
| 吉安 | /          | 1.17       | 13.6   | 13     |
| 广州 | 0.03       | /          | 26.5   | 18     |
| 昆明 | /          | 1.04       | 5.9    | 3.7    |
| 洛阳 | 0.02       | 10         | 40     | 20     |
| 天津 | ND         | 1          | 13     | 31     |
| 武汉 | ND         | 1.4        | 24     | 49     |
| 大连 | 0.23       | 2.46       | 16.97  | 33.86  |
| 合肥 | 0.06       | 0.2        | 15.13  | 11.83  |
| 成都 | 0.28       | 0.58       | 7.35   | 26.73  |

|     |      |      |       |       |
|-----|------|------|-------|-------|
| 平均值 | 0.21 | 2.78 | 24.28 | 36.10 |
|-----|------|------|-------|-------|

表6-42 自来水实测水质及相关电子企业再生水的水质要求（单位：mg/L）

| 项目   | 自来水       | 台积电  | 中芯国际（北京）  | 新加坡<br>NEWater | 京东方B4       |
|------|-----------|------|-----------|----------------|-------------|
|      |           | 7nm  | 14nm      |                | 8.5代TFT-LCD |
| 氨氮   | 0.04-0.28 | <0.5 | <0.5      | <1             | <1          |
| 亚硝酸氮 | 无         | <0.1 | 0.06~0.08 | 无              | <20         |
| 硝酸盐氮 | 0.19-7.7  | <10  | <1        | <15            | <15         |
| 磷酸根  | 无         | <0.5 | 无         | 无              | 无           |
| 氯盐   | 3.8-49.4  | <15  | <20       | <20            | <25         |
| 硫酸盐  | 3.7-122   | <45  | <5        | <5             | <60         |

表6-43 再生水用作工业水水源的水质限值

| 项目             | 再生水参考水质指标 |
|----------------|-----------|
| 氨氮（mg/L）       | <0.5      |
| 亚硝酸氮（mg/L）     | <0.1      |
| 硝酸盐氮（mg/L）     | <10       |
| 磷酸根（以P计）（mg/L） | <0.5      |
| 氯离子（mg/L）      | <20       |
| 硫酸根（mg/L）      | <45       |

### （15）菌落总数

菌落总数就是指在一定条件下（如需氧情况、营养条件、pH、培养温度和时间等）每克（每毫升）检样所生长出来的细菌菌落总数。菌落总数测定是用来判定水被细菌污染的程度及卫生质量，尤其是水经过长距离运输，需要在输送管道中投加杀菌剂进行杀菌，减少运输过程中的细菌繁殖，提高水的质量。

再生水菌落总数的提高会导致电子级水制备系统的处理环节长菌，产生污堵，影响处理能力。在水系统中使用杀菌剂或者紫外线等方式去除，菌落总数的过量会提高杀菌剂的投加量，增加后续处理系统的负担，造成负面影响。

根据《生活饮用水卫生标准（GB5749）》，菌落总数的要求为<100 MPN/mL或CFU/mL；相关企业对菌落总数没有提出额外的要求。考虑到再生水需要经过长距离运输，所以本标准的菌落总数要求拟参考《生活饮用水卫生标准（GB5749）》，在末梢水中的菌落总数统一要求为<100 MPN/mL或CFU/mL。此外,再生水出厂水和末梢水中消毒剂限值、消毒剂余量均应符合《生活饮用水卫生标准》（GB 5749）的规定。

### 6.4.3 水质控制项目限值

再生水用作工业水水源时，基本控制项目及限值应满足表6-44的规定，推荐控制项目及限值可以参考表6-45的规定。

表6-44 再生水用于电子级水水源的基本水质控制项目及限值

| 序号 | 项目              | EWS-1 | EWS-2 | EWS-3 |
|----|-----------------|-------|-------|-------|
| 1  | 总有机碳(以C计)(mg/L) | <0.5  | <1.0  | <2.0  |
| 4  | 尿素(μg/L)        | <10   | <15   | <40   |
| 5  | 总三卤甲烷(μg/L)     | <20   | <20   | <80   |
| 2  | 硼(mg/L)         | <0.1  | <0.3  |       |
| 3  | 总硅(mg/L)        | <3    | <10   |       |
| 6  | 电导率(μS/cm)      | <250  |       |       |
| 7  | 总溶解性固体(mg/L)    | <150  |       |       |
| 8  | 氟离子(mg/L)       | <0.5  |       |       |

表6-45 再生水用于电子级水水源的参考水质控制项目及限值

| 序号 | 项目                              | 再生水参考水质指标 |
|----|---------------------------------|-----------|
| 1  | pH                              | 6.0-8.5   |
| 2  | 浊度(NTU)                         | <0.3      |
| 3  | 悬浮颗粒物(mg/L)                     | <1.0      |
| 4  | 总硬度(以CaCO <sub>3</sub> 计)(mg/L) | <50       |
| 5  | 氨氮(mg/L)                        | <0.5      |
| 6  | 亚硝酸氮(mg/L)                      | <0.1      |

|    |                                    |      |
|----|------------------------------------|------|
| 7  | 硝酸盐氮 (mg/L)                        | <10  |
| 8  | 磷酸根 (以P计) (mg/L)                   | <0.5 |
| 9  | 氯离子 (mg/L)                         | <20  |
| 10 | 硫酸根 (mg/L)                         | <45  |
| 11 | 碱度 (以CaCO <sub>3</sub> 计) (mg/L)   | <30  |
| 12 | 菌落总数/ (MPN/mL或CFU/mL) <sup>2</sup> | <100 |

注1: 未出现在表内但确需要考虑的指标, 请参考当地自来水或水系统源水中该项指标的典型值。

注2: 再生水出厂水和末梢水中消毒剂限值、消毒剂余量均应符合《生活饮用水卫生标准》(GB 5749)的规定。

#### 6.4.4 再生水水质特征

本标准起草组根据现场实际调研走访, 实地取样分析, 测得北京和无锡两地的再生水厂(UF+RO工艺)的产水中相应控制项目的实际污染物浓度, 如表6-46。可以看出, 再生水中的大部分指标均可以满足本标准中的水质要求, 仅有小分子有机物(尿素、总三卤甲烷, 加粗)的含量无法满足本标准中集成电路行业的限值要求, 所以在将再生水使用于集成电路行业时, 需要对再生水中的小分子有机物进行深度处理(如化学氧化等), 处理后的水仍需要满足相应细分行业的水质的各项限值的要求。

表6-46 北京和无锡再生水水质特征

| 序号 | 水质指标         | 单位                      | 北京亦庄再生水 | 无锡新城再生水 |
|----|--------------|-------------------------|---------|---------|
| 1  | 电导率          | uS/cm                   | 93.6    | 59.5    |
| 2  | TOC          | mg/L                    | 425     | 729     |
| 3  | 硼            | mg/L                    | 0.059   | 0.085   |
| 4  | TDS          | mg/L                    | 61      | 48      |
| 5  | F            | mg/l                    | 0.18    | 0.29    |
| 6  | 全硅           | mg/L                    | 0.4     | 0.25    |
| 7  | <b>尿素</b>    | μ g/L                   | 19      | 39      |
| 8  | <b>总三卤甲烷</b> | μ g/L                   | 65      | 39      |
| 9  | pH           | -                       | 6.58    | 6.25    |
| 10 | 浊度           | mg/L                    | 0.1     | 0.09    |
| 11 | SS           | mg/l                    | 0.23    | 0.21    |
| 12 | 总硬度          | mg CaCO <sub>3</sub> /L | 2.58    | 1.25    |

|    |      |                         |       |       |
|----|------|-------------------------|-------|-------|
| 13 | 氨氮   | mg/L                    | <0.02 | 0.03  |
| 14 | 亚硝酸氮 | mg/L                    | 0.058 | 0.025 |
| 15 | 硝酸盐  | mg/L                    | 0.928 | 0.698 |
| 16 | 磷酸根  | mg/L                    | 0.256 | 0.198 |
| 17 | 氯盐   | mg/L                    | 21.1  | 15.6  |
| 18 | 硫酸盐  | mg/L                    | 1.22  | 0.985 |
| 19 | 总碱度  | mg CaCO <sub>3</sub> /L | 9     | 2.98  |

## 6.5 取样与分析方法

本章节规定对再生水的取样要求；对再生水的监测频率；所规定的各项指标的分析方法，包含基本控制项目和选择控制项目的分析方法。

6.5.1 取样要求：水样取样点宜设在再生水进入水系统的管线末端。

6.5.2 表 6-44 中所列主要项目 (电导率、TOC、硼、SiO<sub>2</sub>)的应设置在线监测。

6.5.3 监测分析方法按表 6-47 或国家认定的替代方法、等效方法执行。如有争议时则按本标准执行。

表6-47 监测分析方法表

| 序号 | 监测项目   | 监测方法          | 依据           |
|----|--------|---------------|--------------|
| 1  | 电导率    | 便携式电导率仪法      | JJG 376      |
| 2  | pH     | 玻璃电极法         | GB/T 6920    |
| 3  | 浊度     | 比浊法           | GB/T 13200   |
| 4  | 悬浮颗粒物  | 重量法           | GB/T 11901   |
| 5  | 总有机碳   | 氧化和红外线分析方法    | GB/T 11446.8 |
| 6  | 总硬度    | 乙二胺四乙酸二钠滴定法   | GB/T 7477    |
| 7  | 氨氮     | 蒸馏和滴定法        | GB/T 7478    |
| 8  | 亚硝酸氮   | 离子色谱法         | GB/T 11446.7 |
| 9  | 硝酸盐氮   | 离子色谱法         | GB/T 11446.7 |
| 10 | 硼      | 电感耦合等离子体发射光谱法 | HJ 776       |
| 11 | 磷酸根    | 离子色谱法         | GB/T 11446.7 |
| 12 | 氯离子    | 离子色谱法         | GB/T 11446.7 |
| 13 | 总溶解性固体 | 重量法           | GB/T 5750.4  |

|    |       |       |                |
|----|-------|-------|----------------|
| 14 | 硫酸盐   | 离子色谱法 | GB/T 11446.7   |
| 15 | 氟离子   | 离子色谱法 | GB/T 11446.7   |
| 16 | 总碱度   | 容量法   | GB 6276.1-1986 |
| 17 | 全硅    | 分光光度法 | GB/T 11446.6   |
| 18 | 尿素    | 分光光度法 | GB/T 18204.2   |
| 19 | 总三卤甲烷 | 气相色谱法 | HJ 620         |

## 7 标准实施效益分析

### 7.1 实施本标准的环境效益

标准实施会产生良好的环境效益。我国的淡水资源总量为28000亿立方米，占全球水资源的6%，仅次于巴西、俄罗斯和加拿大，名列世界第四位。但是，我国的人均水资源量只有2300立方米，仅为世界平均水平的1/4，是全球人均水资源最贫乏的国家之一。然而，中国又是世界上用水量最多的国家。2019年，全国用水总量6021.2亿立方米，较2018年增加5.7亿立方米。其中，工业用水1217.6亿立方米，占用水总量的20.2%。提升污水的资源化利用水平也成为了国家推进污水资源化利用的重要目标。随着我国高端电子行业自主生产的刚性需求，电子级水需求将大幅增加，也会对我国的水资源的供应量提出更高的要求，传统水资源越来越难以满足快速增长的水制备需求。

2018年我国大陆地区高端芯片产能达3200万片晶圆（8英寸当量），电子级水用量超过2.2亿立方，若执行本标准后，可以使用再生水替代大部分电子级水的制备水源，可以有效降低电子行业对我国水资源的使用。由此可见，实施本标准后，在再生水用于电子级水制备方面，将起到积极的促进作用，具有良好环境效益。

### 7.2 实施本标准的经济效益

目前电子行业电子级水的水源绝大部分为自来水，自来水的水价在不同的地区有一定的区别，如北京市非居民用自来水水价为9-9.5元/立方米（含污水处理费）；上海市非居民用自来水水价为5元/立方米（含污水处理费）；广州市非居民用自来水水价为4.86元/立方米（含污水处理费），呈现北方价格高，南方价格

低的特点。对于再生水厂，以15000吨/天的再生水厂为例，工艺为UF+RO，原水为市政污水处理厂排水，投资成本约为5000-10000万元，运行成本约2.5-3.5元/吨（含电耗、化学品、耗材、人工、折旧等），低于我国绝大地区的自来水价格，尤其相对于自来水价格较高的北方地区，可见本标准对于企业减少新鲜取水具有经济效益。

## 8 标准征求意见及对意见的处理情况