



T/CECS XXX-202X

中国工程建设标准化协会标准

电子工业超纯水紫外线降解总有机 碳系统应用技术规程

Technical specification for application of ultraviolet degradation system
of total organic carbon in ultrapure water for electronics industry

（征求意见稿）

提交反馈意见时，请将有关专利连同支持性文件一并附上

中国工程建设标准化协会标准

电子工业超纯水紫外线降解总有机
碳系统应用技术规程

Technical specification for application of ultraviolet degradation system
of total organic carbon in ultrapure water for electronics industry

T/CECS XXX-202X

主编单位：中国电子工程设计院股份有限公司

批准单位：中国工程建设标准化协会

施行日期：20XX 年 X 月 X 日

中国计划出版社

202X 年 北京

前 言

根据中国工程建设标准化协会《关于印发<2022 年第二批协会标准制订、修订计划>的通知》（建标协字〔2022〕40 号）的要求，编制组经深入调查研究，认真总结实践经验，参考国内外先进标准，并在广泛征求意见的基础上，制定本规程。

本规程共分 7 章和 1 个附录，主要技术内容包括：总则、术语、基本规定、设计、安装与调试、检测与验收和运行维护等。

本规程由中国工程建设标准化协会电子工程分会归口管理，由中国电子工程设计院股份有限公司负责具体技术内容的解释。执行过程中，如有意见或建议，请反馈给中国电子工程设计院股份有限公司（地址：北京市海淀区西四环北路 160 号，邮编：100142，邮箱：xuejiahui@ceedi.cn）。

主编单位： 中国电子工程设计院股份有限公司

参编单位：

主要起草人：

主要审查人：

目 次

1	总则.....	1
2	术语.....	3
3	基本规定.....	6
4	设计.....	7
4.1	系统设计.....	7
4.2	紫外线降解装置.....	10
4.3	离子交换装置.....	15
5	安装与调试.....	17
5.1	一般规定.....	17
5.2	安装.....	17
5.3	调试.....	19
6	检测与验收.....	21
6.1	系统检测.....	21
6.2	系统验收.....	22
7	运行维护.....	24
7.1	运行维护.....	24
7.2	安全防护.....	25
附录 A	痕量总有机碳的在线测定方法.....	26
用词说明		28
引用标准名录		29
附：条文说明		30

Contents

1	General	1
2	Terms.....	3
3	Basic specification	6
4	Design	7
4.1	System design	7
4.2	UV reduction device	10
4.3	Ion exchange device.....	15
5	Installation and commissioning	17
5.1	General specification.....	17
5.2	Installation.....	17
5.3	Commissioning	19
6	Testing and acceptance	21
6.1	System detection	21
6.3	System acceptance	22
7	Operating maintenance	24
7.1	Operating maintenance	24
7.2	Safety protection	25
	Appendix A Test method for dual-wavelength vacuum ultraviolet light intensity ..	26
	Explanation of wording.....	28
	List of quoted standards	29
	Addition:Explanation of provisions	30

1 总则

1.0.1 为提升电子工业超纯水工程建设质量，规范紫外线降解总有机碳系统的设计、安装、调试、检测、验收与运行维护，为电子工业工艺生产过程提供稳定运行的动力保障，制定本规程。

【条文说明】本规程中电子工业是研发和生产各类半导体器件、显示器件、光电子器件、电子专用材料的产业化行业。在以集成电路和新型显示器件为代表的电子工业半导体工艺生产过程中，超纯水是提供清洗、配制化学品以及靶材冷却液的重要高纯介质。随着工艺特征尺寸的缩小，超纯水的制备系统对总有机碳(Total Organic Carbon, TOC)等核心微污染指标提出了更加严格的控制要求，目前 12 英寸半导体超纯水制备系统中普遍采用 $\text{TOC} < 1\mu\text{g/L}$ 作为有机物的关键控制参数。紫外线降解总有机碳系统是满足 TOC 严格控制要求的关键处理单元，能够高效降解总有机碳，对生产工艺的有机微污染控制起着重要保障作用。

本规程的制定旨在从工程设计、施工检测和运行维护等方面规范紫外线降解总有机碳系统的应用要求，为紫外线灯管和降解装置的生产制造商、水处理系统集成商、工程设计单位、施工单位以及监理与建设单位提供有力的技术支撑，使紫外线降解系统应用于工程建设和生产运营有规可循、有据可依，切实起到提升超纯水制备工程建设质量、保障厂务动力系统稳定运行、提高工艺产品良率的作用。本规程还针对具有高标准微污染控制要求的集成电路先进制程工艺用水，提出降解系统次生微污染的防护方法，使技术规程具有先进性和前瞻性。

1.0.2 本规程适用于电子工业超纯水紫外线降解总有机碳系统的设计、安装、调试、检测、验收与运行维护，还适用于超纯水系统工艺设计中总有机碳逐级消减计算的设计验证。

【条文说明】本规程面向电子工业超纯水系统的制备与生产运行，对紫外线降解装置的制造与工程应用提出适用性、科学性、系统性和保障性的规定和要求。这里的电子工业超纯水系统指的是集成电路、光电子器件、半导体分立器件、传感器、新型半导体显示器件等微纳电子器件制造和其他电子器件及其专用原材料制造行业使用的超纯水制备系统，还包括光伏、发光二极管(LED)和集成电路封测等电子级水的制备系统。其它行业中纯水系统的技术要求和管理要求可参考使用本规程。本规程还适用于超纯水系统工艺设计中逐级消减的总有机碳设计负荷的计算验证。

1.0.3 电子工业超纯水紫外线降解总有机碳系统的设计、安装、调试、检测、

验收与运行维护，除应符合本规程外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

【条文说明】本规程重点解决电子工业超纯水制备中紫外线降解总有机碳系统的设计、安装、调试、检测、验收与运行维护问题。此外，紫外线降解总有机碳系统属于超纯水制备系统的单元处理系统，还应符合超纯水系统设计、安装和运行管理规定，并遵守和执行国家现行有关标准的规定。

2 术语

2.0.1 电子工业超纯水 ultrapure water for electronics industry

电子工业工艺生产过程中使用的高纯度水，具有极低污染水平，通常电阻率不低于 $18.0 \text{ M}\Omega\cdot\text{cm}$ 。

【条文说明】电子工业超纯水的水质指标，在不同电子产品、工艺组线、节点范围以及不同生产制造厂，提出了不同的要求。目前国际上通用的水质标准，如美国材料试验协会标准 ASTM D5127 *Standard guide for ultrapure water used in the electronics and semiconductor industries*，为参考标准。本规程节选 ASTM D5127-13 (2018) 的水质分类，将其七级分类中前四个涉及超纯水的水质等级 E-1、E-1.1、E-1.2 和 E-1.3 作为电子工业超纯水的四级水质类别，具体指标及参数如表 1 所示。

表 1 电子工业超纯水水质分类的指标及参数（节选自 ASTM D5127-13 (2018)）

指标		E-1 级	E-1.1 级	E-1.2 级	E-1.3 级
制程节点 (μm)		1.0~0.5	0.35~0.25	0.18~0.09	0.065~0.032
电阻率, 25°C (在线)		18.1	18.2	18.2	18.2
TOC ($\mu\text{g/L}$) (在线 $<10 \mu\text{g/L}$)		5	2	1	1
在线测量溶解氧 ($\mu\text{g/L}$)		25	10	3	10
在线检测蒸发后残留物 ($\mu\text{g/L}$)		1	0.5	0.1	—
在线检测微粒 (pcs/L)	$> 0.05\mu\text{m}$	—	—	—	500
	0.05~0.1	—	1000	200	N/A
	0.1~0.2	1000	350	< 100	N/A
	0.2~0.5	500	< 100	< 10	N/A
	0.5~1.0	200	< 50	< 5	N/A
	1.0	< 100	< 20	< 1	N/A
细菌 (CFU/体积)		—	—	—	—
100mL 样品		5	3	1	N/A
1L 样品		—	—	10	1
10L 样品		—	—	—	1
总硅 ($\mu\text{g/L}$)		5	3	1	0.5
溶解性二氧化硅 ($\mu\text{g/L}$)		3	1	0.5	0.5
IC 测阴离子和铵根 离子 ($\mu\text{g/L}$)	铵	0.1	0.1	0.05	0.050
	溴化物	0.1	0.05	0.02	0.050
	氯化物	0.1	0.05	0.02	0.050
	氟化物	0.1	0.05	0.03	0.050
	硝酸根	0.1	0.05	0.02	0.050
	亚硝酸根	0.1	0.05	0.02	0.050
	磷酸	0.1	0.05	0.02	0.050
	硫酸	0.1	0.05	0.02	0.050

续表 1

指标		E-1 级	E-1.1 级	E-1.2 级	E-1.3 级
ICP/MS 测金属元素 ($\mu\text{g/L}$)	铝	0.05	0.02	0.005	0.001
	铈	—	—	—	0.001
	砷	—	—	—	0.001
	钡	0.05	0.02	0.001	0.001
	硼	0.3	0.1	0.05	0.050
	镉	—	—	—	0.010
	钙	0.05	0.02	0.002	0.001
	铬	0.05	0.02	0.002	0.001
	铜	0.05	0.02	0.002	0.001
	铁	0.05	0.02	0.002	0.001
	铅	0.05	0.02	0.005	0.001
	锂	0.05	0.02	0.003	0.001
	镁	0.05	0.02	0.002	—
	锰	0.05	0.02	0.002	—
	镍	0.05	0.02	0.002	—
	钾	0.05	0.02	0.005	—
	钠	0.05	0.02	0.005	—
	锶	0.05	0.02	0.001	—
	锡	—	—	—	0.01
	钛	—	—	—	0.01
	钒	—	—	—	0.01
	锌	0.05	0.02	0.002	0.001
温度稳定性 (K)		—	—	—	± 1
温度梯度 (K/10min)		—	—	—	< 0.1
在线溶解氮 (mg/L)		—	—	—	8~18
溶解氮稳定性 (mg/L)		—	—	—	± 2

2.0.2 总有机碳 total organic carbon

水中溶解性和悬浮性有机物中碳的总量，反映水中有机物含量的指标。

2.0.3 微污染 micropollution

电子工业工艺生产过程中，对电子器件性能产生不良影响的微小物质，包括微粒子、微生物以及痕量或超痕量化学物质。

2.0.4 紫外线降解装置 UV degradation device

用紫外线技术降解水中有机物的装置，由紫外线反应器和电气控制柜组成。

2.0.5 离子交换装置 ion exchanger

水与交换剂进行离子交换的反应装置。

2.0.6 紫外线降解总有机碳系统 UV degradation system of total organic carbon

由紫外线降解装置与离子交换装置组成的深度降解水中有机物的工艺处理系统。

【条文说明】紫外线降解装置中的低压汞放电光源能够产生 185 nm 紫外线，促进水分子发生均裂反应，水分子吸收能量后，氢氧结构以外围 7 个电子的不稳定形式释放出羟基自由基，羟基自由基通过复杂的链式反应生成多种活性氧物种（ROSs），ROSs 降解有机物的主要反应是脱氢反应，产生可离子化的无机弱酸以及羧酸类脂烃基一元或多元有机酸，再经工艺下游的离子交换装置高效脱除。因此，紫外线降解装置联合后续离子交换装置，成为一个完整的深度降解水中有机物的工艺处理系统。

2.0.7 紫外线穿透率 UV transmittance (UVT₂₅₄)

波长为 254 nm 的紫外线在通过 1 cm 比色皿水样后的紫外线强度与通过前的紫外线强度之比。

【条文说明】UVT₂₅₄ 通常用 254nm 的波长和 1cm 的路径长度作为计算条件，如果使用替代路径长度，通过以下 1cm 路径长度的公式与 UV 吸收率 (A₂₅₄) 进行转换： $UVT(\%) = 100\% \times 10^{-A}$

2.0.8 紫外线目标剂量 reduction target dose

在 UVT₂₅₄ 等水质条件下，满足特定 TOC 去除率所需的 185nm 紫外线剂量，单位为 mJ/cm²。

2.0.9 石英套管紫外线穿透率 UV transmittance of quartz glass tube (UVT₁₈₅)

波长为 185nm 紫外线透过石英套管的光通量与入射光通量之比。

2.0.10 配送点 point of distribution (POD)

超纯水制备系统最终过滤器出口与超纯水分配回路之间的点，通常是分析与测试的标准位置。

3 基本规定

3.0.1 紫外线降解总有机碳系统的选择应根据纯水标准、原水参数和纯水制备流程等条件，综合考虑成本、效率、能耗、占地面积和环境影响等因素，经技术经济比较后确定。

【条文说明】本条是紫外线降解总有机碳系统的设计原则。紫外线降解总有机碳系统的选择影响因素较多，水源参数、纯水流程、POD 水质要求以及其他微污染控制参数都可能成为降解系统选择的影响因素，因此在进行紫外线降解系统的选择与设计时，应充分考虑各种因素的影响，综合评判和确定能够保障纯水水质指标且经济适用的降解系统与处理装置。

3.0.2 紫外线降解总有机碳系统应在满足超纯水配送点（POD）水质条件下，符合国家标准《电子工业纯水系统设计规范》GB 50685-2011 纯水分段处理的有关规定，并做到二次污染最小化。

【条文说明】根据《电子工业纯水系统设计规范》GB 50685 中规定，纯水制备流程分为多段处理工艺，通过集成式组合工艺系统，将 TOC 和其它微污染控制指标处理达到生产工艺用水的水质要求。在降解有机物的处理过程中，还要控制和避免反应过程或材质溶出造成的次生微污染，提高整个纯水制备流程的处理效率。

4 设计

4.1 系统设计

4.1.1 当配送点（POD）对 TOC 控制要求小于 30 µg/L 时，电子工业超纯水制备系统应设置紫外线降解总有机碳系统，并符合下列规定：

1 应根据纯水制备工艺流程和管道设计材质，将紫外线降解系统设置在深处理工艺段或精处理工艺段；

2 设置在深处理工艺段时，进水水质条件应满足 $UVT_{254} \geq 99\%$ ，且工艺上游至少应设计有一次纯水系统及 5 µm 以下精度过滤设备。

【条文说明】本条符合国家标准《电子工业纯水系统设计规范》GB 50685-2011 中第 3.5.2 条的规定。在超纯水制备工艺中，膜过滤（包括反渗透膜和超滤膜）可以去除生物杂质和有机物分子，活性炭吸附和多孔树脂吸附也可以有效去除有机物。后段制备工艺所要去除的溶解性有机物除了来源于前级处理工艺出水，还可以在工艺系统流程中积累。来自水箱、水泵、管道阀门等材质的微粒子、微量电解质和溶解性有机物增加了水中的微污染，特别是在精处理工艺段，痕量总有机碳超过设计要求将成为最终 POD 存在风险的不可控因素。根据纯水制备工艺流程和管道材质的设计与选择，设置紫外线降解总有机碳系统是必要的工艺设计保障措施。

此外，本条符合国家标准《电子工业纯水系统设计规范》GB 50685-2011 中第 3.1.7 条的规定，电子工业超纯水制备系统一般由预处理、深处理及精处理三段工艺组成。紫外线降解工艺是超纯水脱除有机物的一种关键处理方法。当水中含有大量有机物时，紫外线生成的自由基和产生的活性氧物种不能有效地降解有机物，所以 185nm 紫外线适宜应用于处理含有低浓度有机物的超纯水制备系统，也由此决定了紫外线降解装置在超纯水制备系统通常设置在深处理工艺段或精处理工艺段。

在深处理工艺段，紫外线降解装置的进水 TOC 一般小于 100 µg/L，且水质条件满足 $UVT_{254} \geq 99\%$ 。

在有机物降解工艺中，为了提高 185nm 紫外线辐照效率，保护链式反应产物活性氧物种（ROSs）尽可能不被竞争消耗，应考虑某些污染物指标（如浊度、铁、腐植酸和氟乙酸）的浓度变量，将脱盐、去除胶体有机物和降低淤泥密度指数（SDI）等工艺措施设计在紫外线降解装置上游，实现 185nm 紫外线辐照的最好效果。

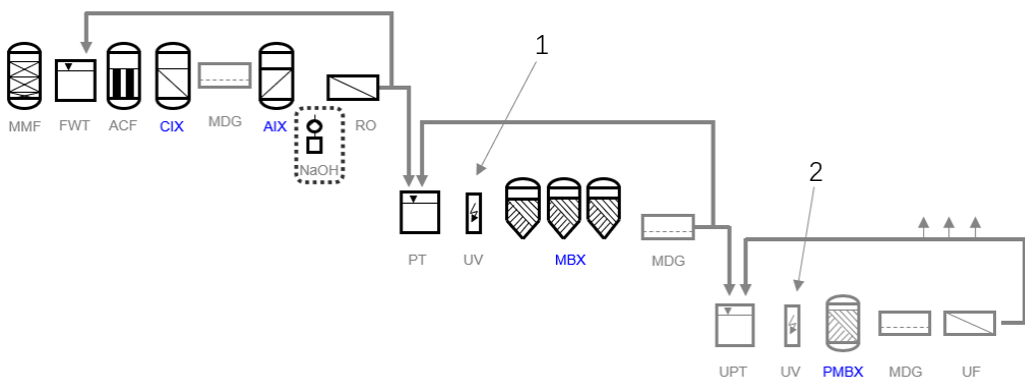
一次纯水系统即初级纯水系统，包括反渗透或离子交换处理工艺。

4.1.2 当配送点（POD）对 TOC 控制要求小于 5 μg/L 时，电子工业超纯水制备系统在通常原水条件下应设计两级紫外线降解总有机碳系统，并符合下列规定：

- 1 设置在深处理工艺段时，紫外线降解系统下游应采取纯水与空气隔绝措施；
- 2 应根据 TOC 与其他水质指标协同控制的处理需要，将两级降解系统分开设置。

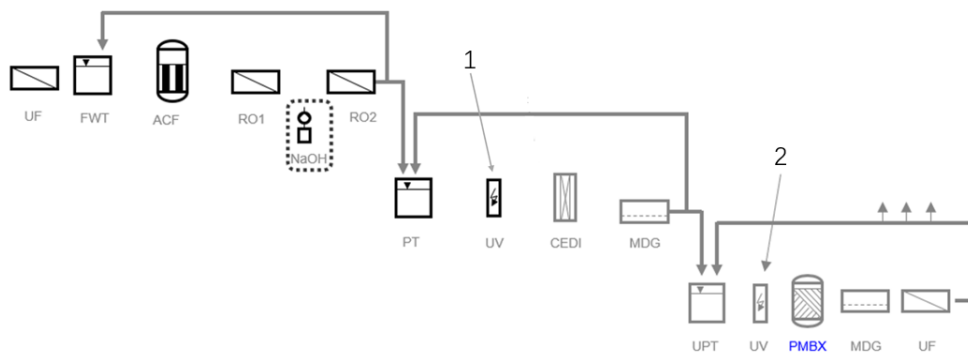
【条文说明】这里的通常原水条件，指的是超纯水制备系统的原水中 TOC<5 mg/L。当超纯水配送点的 TOC 控制要求小于 5 μg/L 时，对于制备系统的工艺流程、处理设备的设计容量以及与水接触的材质选择，都会提出较高要求。对于 TOC<5 μg/L，系统设计将面临深度处理的控制风险，应考虑原水中有机物的组分，如低分子量有机物（Low Molecular Weight Organic Matter, LMWOM）中的中性化合物（尿素和 THMs 等）不易截留的影响，而研究表明，加大单级紫外线降解装置的辐射剂量，是增加副产物（H₂O₂）产生的直接影响因素之一，将提高对后续水处理设备材料加快老化的风险。因此，在超纯水系统设计时，宜设计两级紫外线降解总有机碳系统，以保证 POD 的 TOC 满足低于 5 μg/L 的控制要求，同时尽量少地产生副产物。

根据紫外线降解总有机碳系统设计位置的不同，通常分为：深处理工艺段的紫外线降解系统（设置在纯水箱前）和精处理工艺段的紫外线降解系统（设置在纯水箱后）。离子交换法设计工艺的典型超纯水制备流程中紫外线降解装置设计位置见图 1，全膜法设计工艺的典型超纯水制备流程中紫外线降解装置设计位置见图 2。



1-深处理工艺段紫外降解装置；2-精处理工艺段紫外降解装置

图 1 离子交换法设计工艺的典型超纯水制备流程示意图



1-深处理工艺段紫外降解装置；2-精处理工艺段紫外降解装置

图 2 全膜法设计工艺的典型超纯水制备流程示意图

4.1.3 紫外线降解装置的设计选型应依据紫外线目标剂量确定，紫外线目标剂量应按下式计算：

$$D_{254} = I \cdot T \quad (4.1.3)$$

式中： D_{254} ——254nm 波长紫外线的投加剂量（ mJ/cm^2 ）；

I ——紫外线强度（ mW/cm^2 ）

T ——紫外线反应器腔体内停留时间（s）

当紫外线目标剂量不能确定时，可依据表 4.1.3 设计取值。

表 4.1.3 紫外线目标剂量表

TOC 质量浓度		紫外线目标剂量 D_{254n} （ mJ/cm^2 ）
进水（ $\mu\text{g}/\text{L}$ ）	出水（ $\mu\text{g}/\text{L}$ ）	
50	20	≥ 300
50	10	≥ 520
40	10	≥ 460
30	5	≥ 610
30	3	≥ 790
10	3	≥ 380
5	1	≥ 470
3	1	≥ 310
2	0.5	≥ 380

注：1 表中进水和出水 TOC 质量浓度分别为紫外线降解总有机碳系统的入流和出流 TOC 浓度的最大预测值；

2 表中紫外线目标剂量为降解 TOC 的最低剂量，工程设计选型不应低于此剂量；

3 表中出水 $\text{TOC} \leq 1 \mu\text{g}/\text{L}$ 时，紫外线目标剂量最大不宜超过 $1000 \text{ mJ}/\text{cm}^2$ ；

4 表中出水 $\text{TOC} \leq 0.5 \mu\text{g/L}$ 是适用于先进制程（工艺节点 $\leq 28 \text{ nm}$ ）超纯水制备系统的 POD 控制指标。在超纯水供应与处理工程中，应根据系统集成设计与工程优化设计，综合考虑成本、效率、能耗、占地面积和环境影响等因素进行紫外线剂量的选择与处理装置的设计。

4.1.4 在满足 TOC 逐级消减的控制目标并确保系统稳定性的基础上，紫外线降解装置在设计时应降低紫外线目标剂量，并优化缩减选型规格。

【条文说明】本条基于“碳足迹”全链条追踪控制理论和工艺集成优化的设计方向，在保证 TOC 指标控制的同时，要求紫外线降解系统做到低碳环保，对目标有机物逐级消减，且环境污染最小化。

此外，在紫外线降解工艺设计时，通过降低紫外线辐射剂量、提高辐射效率，优化降解 TOC 的处理工艺，可以避免增加用于去除副产物的催化处理单元的投资成本。减少紫外线辐射剂量也将有助于减少材料降解，延长关键 UPW 组件的寿命。

4.1.5 紫外线降解总有机碳系统管道设计应考虑管道材料的 TOC 及金属离子的溶出浓度、管道内壁粗糙度、管道耐温标准和管道连接方式等因素。

【条文说明】本条参考了国家标准《硅集成电路芯片工厂设计规范》GB 50809-2012 中第 10.3.6 条的规定。纯水系统管道选择时，主要考虑材料的化学稳定性、管道内壁的粗糙度以及管道与管件连接方式的平整度。

电子工业超纯水系统常用 Clean-PVC、PVDF、SS304 或 SS316 以及 PP-HP 等材质的管道。Clean-PVC 管道内壁粗糙度 $R_a < 0.3 \mu\text{m}$ ，最高耐温 60°C ，采用化学胶水粘接，有胶水溶出风险，易造成 TOC 增加；PVDF 管道内壁粗糙度 $R_a < 0.25 \mu\text{m}$ ，最高耐温 120°C ，热熔连接，不存在粘接剂溶出问题。

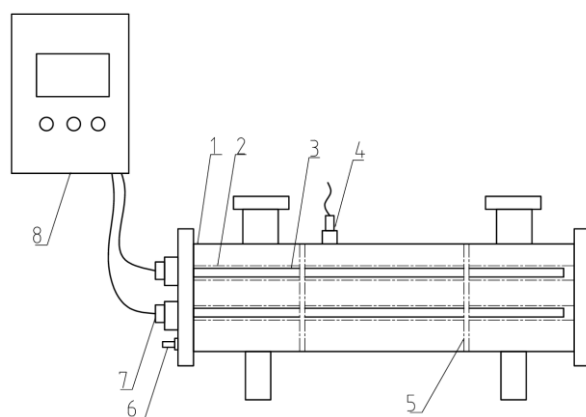
对于 $\text{TOC} < 5 \mu\text{g/L}$ 的紫外线降解系统，可采用 PVDF-HP、SS316L、PP-HP 以及 PFA-HP 材质的连接管道。

4.1.6 在利用回收水或再生水作为电子工业超纯水制备过程水源补给水的处理系统中，紫外线降解装置的进水宜为除盐水。

【条文说明】回收水或再生水中含有较多的小分子难降解有机物，应先经过必要的预处理后，再通过紫外线工艺降解有机物。回收水或再生水作为超纯水制备过程的水源补给水需经过必要的评估并满足相应的水质条件。

4.2 紫外线降解装置

4.2.1 紫外线降解装置应由紫外线反应器、电气控制柜两部分组成，典型构造如图 4.2.1 所示。具有总有机碳降解作用的紫外线灯管应固定在反应器内。



1-紫外线反应器壳体；2-石英套管；3-紫外线灯管；4-紫外线强度传感器；5-混流隔板；6-温度传感器；7-灯线；8-电气控制柜

图 4.2.1 紫外线降解装置基本组成示意图

4.2.2 紫外线灯管的选型和使用应符合下列规定：

1 低压气体放电灯在连续运行或开关频率不超过 3 次/天的运行条件下时，运行寿命应不低于 8000h；

2 采用非预热型灯管时，设备不应频繁启停，平均每天启停次数不应超过 3 次；采用预热型灯管时，平均每天启停次数不应超过 6 次；

3 紫外灯老化系数与运行寿命的检测，应按照现行国家标准《城镇给排水紫外线消毒设备》GB/T 19837-2019 附录 A 的方法进行测定；

4 汞灯内部的汞含量应控制在 15mg 以内，汞灯到达运行寿命后应按照危险废物品进行管理和处置；

5 灯管出厂前应 100%通过点亮试验，点亮时间应超过 24h，若系统为多灯管系统，则灯管之间的强度偏离应小于<5%。

【条文说明】紫外线降解装置灯管达到使用寿命后，发光效率低于降解所需要的有效值，无法提供足够的紫外线辐射剂量，从而影响降解的效果。影响灯管使用寿命的主要原因是灯管内部的汞会随使用时间的增加，释放到灯管内壁，逐步影响灯管的紫外线强度。因此，需要定期更换紫外线降解装置的灯管来保证紫外线的降解效果。

依据国家标准《城镇给排水紫外线消毒设备》GB/T 19837-2019 中第 3.1 条的定义，紫外灯老化系数指紫外灯在寿命期内特定时间的紫外线输出功率与紫外灯初始运行 100h 后的紫外线输出功率之比。通常采用紫外线传感器测量。灯管老化及套管结垢会直接影响紫外输出剂量，在计算紫外线有效剂量时，老化系数可取值不低于 0.8，以保证在寿命期内的特定时间达到 TOC 降解的目标剂量，使装置运行具有可持续性和稳定性。

点亮时间 24h 为灯管预热时间,不同供应商在保证最少 24h 基础上可能时间会有所不同。为了确保剂量验证准确而提出强度偏离的规定,若偏离过大则无法保证剂量分布的均一性和一致性,进而导致选型偏差。

4.2.3 石英套管的设计选型应符合下列规定:

- 1 套管材质应为高纯石英,壁厚不应低于 1mm;
- 2 应至少一端开口,且每根紫外线灯管配备一根套管,套管设计应满足更换灯管时不用排水的要求;
- 3 为保证密封性,每根套管应至少由一个压紧螺母固定,压紧螺母材质应为与腔体一致的 304 不锈钢或 316L 不锈钢,且更换灯管时不需要拆卸压紧螺母;
- 4 石英套管紫外线穿透率 UVT_{185} 在 185nm 波长处的穿透率应大于 65%,其他要求应符合现行国家标准《城镇给排水紫外线消毒设备》GB/T 19837 的相关规定。

【条文说明】为保证装置运行压力要求,套管壁厚应在 1mm 以上。例如国家标准《低压高强紫外线灯(征求意见稿)》,对于低压高强气体放电灯,石英套管壁厚为 1.2~2.0mm。

紫外线穿透率会影响到设备选型,低于规定穿透率会造成设计选型不经济,进而增加运行能耗和投资成本。

4.2.4 紫外线反应器壳体的设计选型应符合下列规定:

- 1 反应器壳体应包括反应器腔体、封罩和法兰,材质应为 304 不锈钢或 316L 不锈钢;
- 2 反应器腔体内外表面需经过电解抛光处理,用于深处理工艺段紫外线降解装置的腔体内表面粗糙度 Ra 应不高于 $0.6\mu m$,用于精处理工艺段紫外线降解装置的腔体内表面粗糙度 Ra 应不高于 $0.4\mu m$;
- 3 腔体及法兰的不锈钢焊缝应采用惰性气体吹扫的全熔透焊,焊缝处应在电解抛光前进行机械抛光;
- 4 腔体内表面如有与流体接触的螺纹表面时,螺纹丝口处应做额外清洗处理,不应有铁屑、油脂等污染物残留;
- 5 腔体应预留排气口及泄流口;
- 6 灯管维护侧应设计封罩作为灯线及电气连接线的保护;
- 7 反应器壳体设计压力应不低于 1Mpa。

【条文说明】在电子工业超纯水系统中,反应器壳体材质通常选用 316L 不锈钢,因为具有耐腐蚀、耐氧化、耐高压和较低金属离子污染的特性,可确保其使用寿命达到较高年限。

4.2.5 紫外线反应器密封件的设计应符合下列规定：

1 与流体接触的密封件材质应与臭氧有优良的相容性，并且耐受低浓度 H_2O_2 和紫外线；

2 紫外线反应器的密封件应确保紫外线辐射不会泄漏到环境中。

【条文说明】本条对紫外线反应器的密封件提出了材质和性能要求。紫外线在 185nm 会激发产生 O_3 及 H_2O_2 ，密封件材质和 O_3 等强氧化剂相容性差会导致过快老化，影响设备正常使用。根据紫外线降解装置的运行特点以及超纯水工艺的微污染控制要求，可选用含氟橡胶（PFA、PTFE 和 FKM 等）作为与纯水接触的密封件。

4.2.6 电气控制柜的设计应符合下列规定：

1 电气控制柜设计应符合现行国家标准《低压配电设计规范》GB 50054 和《电气装置安装工程 盘、柜及二次回路接线施工及验收规范》GB 50171 的相关规定；

2 电气元件应符合现行国家标准《低压配电设计规范》GB 50054 的相关规定；

3 电气部件的防护等级应符合现行国家标准《外壳防护等级（IP 代码）》GB/T 4208 的相关规定，电气控制柜柜体防护等级应不低于 IP50；

4 接线应符合现行国家标准《低压配电设计规范》GB 50054 和《电气装置安装工程 电缆线路施工及验收标准》GB 50168 的相关规定；

5 紫外线反应器应配置紫外线强度检测器和运行时间显示仪表，紫外线强度检测器可输出报警信号；

6 紫外线反应器应具有高温报警功能，能够在温度超过 45°C 情况下选择性断开设备；

7 紫外线反应器的其他运行信息，如对应编号的灯管状态、系统总运行时间等，应在电气控制柜上均能够显示；

8 每根紫外线灯管应配备独立的开关按钮；

9 控制系统应采用可编程控制器对系统进行编程；

10 控制柜内应设计电流过载保护，所使用的断路器应包括热保护元件（反过流）和磁元件（瞬时）；

11 在电气外壳内提供的保护方案，应包括接地故障断流器（GFI）或接地漏电断路器（ELCB）；

12 控制柜应为强制排风；

13 控制柜设计时应考虑元器件之间的电磁兼容性；

14 控制柜宜设计温度保护,同时监控反应器温度,能够在控制柜温度超过75℃情况下报警并选择断开灯管的供电。

【条文说明】本条规定了电气控制柜的设计应符合国家标准《低压配电设计规范》GB 50054-2011 中第 3 章的规定以及《电气装置安装工程 盘、柜及二次回路接线施工及验收规范》GB 50171-2012 中第 4 章的规定;电气元件应符合国家标准《低压配电设计规范》GB 50054-2011 中第 3 章的规定;接线应符合国家标准《低压配电设计规范》GB 50054-2011 中第 7 章的规定以及《电气装置安装工程 电缆线路施工及验收标准》GB 50168-2018 中第 6 章的规定。

半导体制造业对水质稳定性要求较高,反应器具具备高温报警功能成为必要的设计保障措施,而实际运转中也会出现温度传感器故障等原因导致的错误报警情况。在反应器报警后,可经工程师现场确认反应器温度超过 45℃后手动断开设备。

控制柜宜具备高温报警功能,而实际运转中会出现温度传感器故障等原因导致的错误报警情况。在工程应用中,可以设置高温报警,工程师现场确认(使用点温枪/红外成像测温仪等可以测量控制柜温度)是否达到 75℃,排除温度传感器可能的故障因素,再选择手动断开灯管的供电。

4.2.7 电气控制柜内整流器的设计选型应符合下列规定:

- 1 整流器的类型宜选择效率较高的电子整流器;
- 2 整流器应为电子式双回路,输入电压应为 120V 或 240V,输入频率 50/60Hz,输出频率应在 24 kHz~35 kHz 之间;
- 3 整流器的输入功率因数应大于 95%,输入电流波峰因数应小于 1.7;
- 4 整流器应具有输出短路保护功能。

【条文说明】电子整流器可以达到比电磁整流器更高的功率因数和整流性能。电子式双回路设计的原因在于降解总有机碳的过程会使用较多灯管,考虑到总体的占地面积和效率,一对多灯的整流器会减少故障率和电控柜占地面积。

4.2.8 电气控制柜与厂务控制系统的信号传输和交互,应符合下列规定:

- 1 灯管熄灭报警、就地远传状态和温度等信号应采用干接点形式接入电气控制柜,厂务控制系统能够采集紫外线降解装置的各类输出信号用于系统监测与报警;
- 2 低强度报警应由模拟量信号采集或者以 Modbus RTU、TCP/IP 及等同的方式采集;
- 3 电气控制柜应集成灯管状态、故障报警和远程通讯等功能,并带有工艺显示屏,操作界面宜为菜单式,在报警时宜自动显示错误信息窗口;

4 电气控制柜宜连接厂务系统的数据采集与监视控制（SCADA）系统，实现远程监控及操作。

【条文说明】《电子工业纯水系统设计规范》GB 50685-2011 第 6.1.3 条规定了纯水站房设计应满足主要水处理单元运行状态显示、液位控制、流量计量、水质监（检）测，以及水质取样的基本要求。

实现系统监测和自动化控制有利于保障电子工业超纯水系统安全、稳定、可靠、有效地运行，具有信号传输与交互功能的自动化控制系统，有助于监控运行状态、保障水质稳定、提高处理效率、减少运行能耗、改善工作条件及促进科学管理。

4.2.9 紫外线降解装置设计为多台并联使用时，占用空间应满足多台装置叠放高度的设计需要，叠放数量不宜超过四台，且应就近设置支架固定电气控制柜。

【条文说明】由于处理水量的不同和设备单元及其支架形式的变化，单台紫外线反应器高度会有所差异，但通常四台紫外线反应器叠加后，其总高度容易超过 3m，考虑维修、维护、紫外线灯管的更换以及操作人员的安全问题，设备叠加的数量不宜大于四台。

4.3 离子交换装置

4.3.1 组成紫外线降解总有机碳系统的离子交换装置宜从混合树脂离子交换器（MBX、PMBX）、阴树脂离子交换器（AIX、PAIX）、分床树脂离子交换器（SB-P）、连续电除盐装置（CEDI）和功能化树脂脱除器（Pd/AER）等形式中选择。

【条文说明】紫外线降解装置产生的可离子化的无机弱酸以及中间产物，需经工艺下游的离子交换装置进一步去除，由于离子交换不同的结构形式以及树脂不同的装填形式，形成了多种离子交换装置（MBX、AIX、SB-P 等）。

4.3.2 离子交换装置应含有强碱性阴离子交换剂，且具有可交换、吸附紫外线降解装置产生的低分子量中间产物的能力。

【条文说明】紫外线降解总有机碳系统对于溶解性低分子量有机物（如：中性羧基，ENCs），具有明显的降解优势，表现出比降解装置更高的脱除率。组成紫外线降解总有机碳系统的离子交换装置，不仅可以深度脱盐，填充的交换树脂表面碱性官能基团还可以与低分子量有机物分子间产生电荷吸附、离子交换、形成氢键等协同效应，进一步将总有机碳浓度消减至更低水平。

4.3.3 离子交换装置应选择 TOC 低溶出的离子交换树脂或介质，确保溶出 TOC 满足降解系统所在工艺段设计要求。

【条文说明】本条符合国家标准《电子工业纯水系统设计规范》GB 50685-2011 中第 3.5.1、3.5.2 条的规定。在紫外线反应腔，TOC 氧化降解为羧酸类脂烃基一

元或多元有机酸或无机酸式盐，而羧酸类有机弱酸具有氧化性，与反应腔光解缔合产物均可使树脂交联剂少量氧化溶出，溶出的有机聚合物进入处理水将带来 TOC 的升高。因而在离子交换装置中对洁净离子交换树脂或介质的设计考虑，成为紫外线降解总有机碳系统实现高降解效率不容忽视的条件因素。

4.3.4 当配送点（POD）对 H_2O_2 控制要求小于 $3\text{ }\mu\text{g/L}$ 时，在超纯水精处理工艺段，组成紫外线降解总有机碳系统的离子交换装置应填充有吸附、解离降解装置产生 H_2O_2 的专用处理材料，并且不应增加 TOC 和金属离子的痕量和超痕量的二次污染。

【条文说明】目前，控制活性氧化剂浓度低于标准限值已出现在新版国际半导体制造用超纯水的水质标准中，尤其在工艺节点 5nm 以下的先进制程超纯水制备指标体系，同时控制 TOC、 H_2O_2 、溶解氧（DO）以及痕量金属（Trace Metals）等多元微污染指标均低于标准限值，对于紫外线降解总有机碳系统中的离子交换装置提出了更高的要求。采用吸附、解离活性氧化剂的专用处理材料，离子交换装置可以将 H_2O_2 处理至 $1\text{ }\mu\text{g/L}$ 以下。本条规定适用于 POD 或生产工艺对 H_2O_2 提出重点控制要求的超纯水制备系统，对于没有 H_2O_2 量化控制指标的纯水制备系统，本条规定在设计时供参考选择。

5 安装与调试

5.1 一般规定

5.1.1 紫外线降解装置在安装前应具备下列条件：

1 组装的材料和部件，包括主要标准件、加工件、检测器具及测定装置等，均应符合设计文件及其产品标准的质量规定和要求，零部件与整体装置应有出厂质量合格证。

2 整体装置出厂应附有相关的压力测试报告及其它相关的检验、检测数据。

5.1.2 紫外线降解装置及其电气、管道的安装应符合现行国家标准《机械设备安装工程施工及验收通用规范》GB 50231、《电气装置安装工程电缆线路施工及验收标准》GB 50168、《电子工业纯水系统安装与验收规范》GB 51035 和《工业金属管道工程施工规范》GB 50235 的有关规定。

【条文说明】紫外线降解装置的安装应符合国家标准《机械设备安装工程施工及验收通用规范》GB 50231-2009 中的有关规定。

紫外线降解装置中电气装置的安装应符合国家标准《电气装置安装工程电缆线路施工及验收标准》GB 50168-2018 中的有关规定。其中，检测仪表应安装牢固，在线检测系统安装完毕后，应对检测系统的安装质量进行全面检查，验收合格后方可运行。

紫外线降解装置进、出口不锈钢管道的预制、焊接、安装及质量验收应符合国家标准《电子工业纯水系统安装与验收规范》GB 51035-2014 和《工业金属管道工程施工规范》GB 50235-2010 中的有关规定。

5.1.3 安装人员应熟悉纯水系统的工艺要求及设备、管道安装工法，并掌握安装操作技能。

5.2 安装

5.2.1 紫外线降解装置的安装应符合下列规定：

1 宜安装在室内，保持良好通风，环境温度宜小于 40℃并避免阳光直射；

2 安装时应确认进出水方向和更换灯管位置，预留足够的操作空间和检修通道。

【条文说明】超纯水系统的安装位置需有必要的环境通风和足够的新鲜空气，避免环境空气中含有难降解的挥发性有机物溶入纯水系统中。若装置在室外安装，须配备有必要的遮护措施。

紫外线降解装置是纯水站的关键处理设备，合理的设备与空间布局对于超纯水制备系统稳定可靠运行、延长设备使用寿命以及运行维护人员的安全起着重要

作用。

5.2.2 紫外线降解装置的安装偏差应符合《电子工业纯水系统安装与验收规范》GB 51035 中的相关规定，同时避免设备振动。

【条文说明】紫外线降解装置的安装偏差应符合国家标准《电子工业纯水系统安装与验收规范》GB 51035-2014 中“表 3.6.8 组装式设备安装的允许偏差及检查方法”的规定，见下表 3。

表 3 紫外线降解装置安装的允许偏差及检查方法的规定

序号	项目	允许偏差	检查方法
1	中心线位置	±10mm	经纬仪或拉线、卷尺检查
2	标高	±10mm	水准仪或水平尺、拉线、卷尺检查
3	垂直度	≤1/1000	线锤、卷尺检查

5.2.3 紫外线降解装置的管道安装应符合下列规定：

- 1 进出水管道和连接弯头应采用不锈钢材质，管道内壁应做电解抛光和钝化处理，抛光等级应与本规程第 4.2.4.2 条的规定一致。现场进行电解抛光的，应做好相应的污水处理，电解液处理合格后方可排放；
- 2 与装置直接相连的进出水管道长度应大于 5 倍管径；
- 3 与装置直接相连的进出水管应采用不少于两个弯头的 L 型或 S 型不锈钢管道；
- 4 进水侧管道应安装排气孔，出水侧管道应预留放空口；
- 5 安装旁通阀的，宜安装在靠近出水侧；
- 6 装置运行前，管道应做好标签，指示水流方向和介质。

【条文说明】本条规定符合国家标准《电子工业纯水系统安装与验收规范》GB 51035-2014 中第 3.1.9 条的规定。

紫外线降解装置的反应器按水流方向通常采用 U 型结构，应用计算流体力学（CFD）与光强场分布仿真模型优化紫外线反应器的设计，可改进为 L 型结构，以提升降解性能与效率。在管道安装过程中，U 型结构或 L 型结构的反应器进出水接口都适用于本条的安装措施，用以防止和减少由于紫外线照射造成后续输送管道的材料老化。

紫外线降解装置通常是水平安装的，与装置连接的进、出水管道在同一个水平线上，原则上管道安装高的一侧配置排气孔、低的一侧配置放空或取样口，以便于维修和维护。现场降解装置的进水通常来自高处管架的输送管道，实际排气孔的位置需根据工程现场的具体管道排布确定。

5.2.4 紫外线降解装置的电气安装应符合下列规定：

1 电气控制柜（箱）可挂靠在反应器本体上，和本体共用支架，也可分开独立安装；

2 电器控制元件与相邻的水处理设备须保持一定距离，装置上方不宜穿越管道，若无法避免穿越应采取防护措施；

3 应保证供电电压波动小于 $\pm 10\%$ ，并做好设备外壳接地处理。

【条文说明】降解装置及其电器控制元件与相邻水处理设备在安装时保持一定的间距，在于防止相邻设备或管道在发生泄漏时水喷淋到装置的电器元件上。

5.2.5 紫外线降解装置安装完成后，应先进行单机压力测试，再接入系统进行系统压力测试，待冲洗管道合格后方可进行后续的调试。

【条文说明】紫外线降解装置在调试前装入套管，进行压力试验。单机测试压力不小于工作运行压力的 1.25 倍，保压时间大于 8h，压力测试合格后才可以进行后续的测试和调试。压力测试时，避免站立在紫外线套管前，以防止意外的人身伤害。

5.2.6 紫外线降解装置的石英套管每次安装或更换后均应进行压力测试，测试合格后再通电运行。

5.2.7 紫外线灯管和石英套管的安装和清洗应参考供应商的操作手册，安装人员应佩戴洁净手套和防护服，做好安全防护和洁净保护。

【条文说明】低压灯管和中压灯管的安装方式，不同供应商的产品结构有所差异，维护前须仔细阅读和理解相应的操作说明。

5.3 调试

5.3.1 调试包括单机调试和系统联动调试，调试前应编制调试计划，调试后应编制调试报告。

5.3.2 紫外线降解装置调试前应完成下列准备工作：

1 单机设备压力测试完成，测试合格；

2 电气与控制测试完成，装置启动、停止测试完成，就地、远程控制测试完成，各个控制信号传输正确。

5.3.3 紫外线降解装置启动和停止运行的顺序应为：开机时，先通水，再通电；停机时，先断电，再断水，应待装置内压力充分释放后，再进行灯管安装和套管的维护工作。

【条文说明】更换紫外线灯和石英套管时，应确保系统有序降压，通过程序处理紫外线系统的启动和关闭。紫外线灯管发射的紫外光可产生能量，若不及时随水流传质、衰减或转化，可导致装置运行温度升高，极端情况下将破坏装置。

5.3.4 紫外线降解装置的通水调试应按下列步骤进行：

-
- 1 装入灯管前应先做隔离，将进、出水阀门缓慢关闭，排气泄压；
 - 2 按要求检查石英套管，做好防护措施后以水平方式缓慢装入紫外线灯管，并插好对应接头；
 - 3 装好端盖后，缓慢开启进水和排气阀门，直至装置内空气排放干净后，关闭排气阀门；
 - 4 待装置内压力稳定后，关闭进、出水阀门，静置 30min 以上，确认石英套管和接头连接没有渗漏；
 - 5 继续通水并缓慢增压至设计压力值，通电 8h 系统稳定后，可开始测试其运行效果。

【条文说明】在通电 8h 后降解装置的工况达到稳定值，而紫外线灯管的辐射剂量初始时较低，直至 24h 后剂量趋于稳定，才具有紫外线降解有机碳的初步效果。

5.3.5 紫外线降解装置调试时，禁止裸眼直视通电后的紫外线灯管。

【条文说明】紫外线降解装置的紫外线主要波长为 185nm，长期照射可对眼睛和皮肤造成伤害。

5.3.6 紫外线降解装置的单机调试完成后，应在降解装置不通电的状态下，对系统工艺下游的离子交换装置进行调试，冲洗或再生离子交换树脂，使其出水合格。

5.3.7 离子交换装置调试完成后，应对紫外线降解总有机碳系统所在处理工艺段进行系统联动调试，并做好相应的记录。系统联动调试应符合以下规定：

- 1 各装置单机运行的进、出水流量和压力应稳定均衡，降解系统的流量应满足设计要求；
- 2 通水后，管道系统应无渗漏，各装置通电测试合格，紫外线灯管的运行状态正常，紫外线反应器的工作温度正常；
- 3 灯管通电 24h 后，设定紫外线强度指示参数；
- 4 紫外线降解系统运行 24h 后，记录流量、压力、电阻率等运行数据，并测试记录紫外线降解装置的进水 TOC 质量浓度和紫外线降解系统的出水 TOC 质量浓度。

6 检测与验收

6.1 系统检测

6.1.1 对于超纯水系统的检测与验收,测量分析点应设置在超纯水配送点(POD)。

【条文说明】超纯水配送点(POD)作为高稳定性、高质量的测量点,代表了超纯水制备系统微污染控制的最高水平,因而湿法加工半导体器件的工艺用水对于总有机碳的样品采集与监测分析,大都设置于该点。对于特殊主制程工艺机台,如浸没式光刻机,建议将总有机碳最严格限定值可设定在工艺入口点(POE),以最大程度控制和降低关键有机微污染物的影响。本条适用于将总有机碳作为受控指标的超纯水系统规划、设计、集成和工程验收。

6.1.2 对于紫外线降解总有机碳系统的检测与验收,测量分析点应设置在离子交换装置的出口。

【条文说明】紫外线降解总有机碳系统是深度降除有机物的组合系统。组成系统的离子交换装置的出口,是总有机碳降解系统设计、检测和参数控制的关键点,也是紫外线反应器辐射剂量计算的预测点。

6.1.3 系统检测的环境应符合下列规定:

- 1 环境温度在 10℃~40℃, 温度梯度在 5℃/h 以内;
- 2 湿度保持在 0~80 % (无结露);
- 3 环境震动和冲击较少、安装平面保持水平;
- 4 分析仪靠近采样点及排水槽,排水槽应具备 500 ml/min 以上的排水容量。

【条文说明】本条对在线分析仪的检测环境提出了要求,通常将 TOC 分析仪安装在组合式仪表柜中,并设有防护门,避免环境震动或意外触碰带来的不利影响。

总有机碳在线分析仪一般在 25℃± 5℃的环境中进行校正和 TOC 验证。

6.1.4 系统检测应符合本规程表 6.1.4 的有关规定:

表 6.1.4 主要微污染项目的检测规定

检测项目	检测点	测定方式	主要检测方法	待测试样
TOC	离子交换装置出口	在线测定 (TOC≤10μg/L)	差减法(如紫外线氧化电导率分析法)	1.温度: 10℃~50℃;; 2.流量: 30mL/min~500 mL/min; 3 电导率: 小于 2 μS/cm。
H ₂ O ₂	紫外线降解装置出口	在线测定(H ₂ O ₂ <3μg/L)	气相定量测定法或化学发光法	1.电阻率≥15 MΩ.cm 2.TOC<5 μg/L 3.溶解氧<20 μg/L。

【条文说明】总有机碳的测定方式参照国家标准《电子工业纯水系统设计规范》GB 50685-2011 中第 6.1.3 条的规定，为保障电子工业超纯水系统安全稳定运行，加强水质在线检测控制。对于 TOC 低于 10 µg/L 的质量浓度测定，建议通过在线仪器进行分析，以获得最大的精确度。

总有机碳浓度的在线测定，可以采用差减法。其中 TOC 氧化的方法可分为紫外线氧化电导率分析法、紫外线/过硫酸盐氧化电导率分析法、紫外线/过硫酸盐氧化薄膜电导率分析法和燃烧氧化-非分散性红外光（NDIR）吸收法等。

总有机碳浓度在线测定时，在待测试样输送管道上可以设置调节阀调整分析仪的进样水流量。

紫外线降解装置产生了多种含氧中间物种，由于过短半衰期的影响，残留于超纯水中的副产物主要为 H₂O₂。通过降低紫外线设计剂量、提高有效输出功率，可以在保证降解效果前提下减少和控制装置出口 H₂O₂ 的产量，紫外线降解装置的出口也因此成为了测试、验证副产物游离浓度的有效分析点。对适用于更小工艺节点的先进制程半导体超纯水制备系统，H₂O₂ 成为受控指标时，采取在线测定方式可以更好满足痕量分析的要求。

6.1.5 对于 TOC 的系统检测，分析仪应符合下列规定：

- 1 采用紫外线氧化电导率分析仪的分析仪，紫外线波长不应超过 185 nm；
- 2 检出限（I.D.L）≤0.1 µg/L；
- 3 测定方法应符合本规程附录 A 的规定。

【条文说明】UPWIRDS 委员会在世界各地的多家半导体制造厂进行了微污染控制基准研究，结果表明，TOC 控制在 1 µg/L 以下不会发生已知的工艺影响缺陷。总有机碳在线分析的方法检出限（M.D.L）低至 0.05 µg/L 时，将更易于保障 TOC <1 µg/L 的监测与控制。

随着电子工业超纯水对总有机碳的控制参数趋于严格，超低分子有机物的降解效率和残留影响日渐引起关注。作为在线测定装置，总有机碳分析仪对于超低分子有机物的氧化能力和检出能力成为准确测定亚 ppb 级总有机碳浓度的影响因素。

6.1.6 对于痕量 H₂O₂ 的系统检测，分析仪应符合下列规定：

- 1 检出限（I.D.L.）：≤0.3 µg/L；
- 2 测量范围：0.3 µg/L ~3000 µg /L；
- 3 测量流量：≥180 ml/min。

6.2 系统验收

6.2.1 紫外线降解总有机碳系统在安装、调试、检测完成后，应按照国家有关规

定与相关合同要求参加建设项目单位工程的系统验收，验收合格后方可投入使用。

6.2.2 验收前应备齐下列竣工验收文件和资料：

- 1 紫外线降解装置的报验资料；
- 2 紫外线降解装置以及紫外线灯管、传感器、仪表等材料的质量证明文件；
- 3 设计、施工、管理、监理和建设单位签署的工程质量合格文件；
- 4 包括紫外线降解装置的纯水系统工程保修书。

6.2.3 紫外线降解装置的报验资料应包括设计图纸、使用说明书、进厂报审登记表、安装记录、压力测试报告、电气测试报告、调试报告、运行参数记录、检测数据记录和报验申请表。

【条文说明】6.2.1~6.2.3 此三条规定参考国家标准《机械设备安装工程施工及验收通用规范》GB 50231-2009 中第 8 章的规定、《电子工业纯水系统安装与验收规范》GB 51035-2014 中第 7 章的规定和《给水排水管道工程施工及验收规范》GB 50268-2008 中第 9 章的规定。

6.2.4 紫外线降解装置的质量证明文件应包括出厂合格证，合格证上应标明制造商名称或注册商标、检验日期和检验员签章。

6.2.5 紫外线降解总有机碳系统与超纯水制备系统联动进行综合性能验收时，紫外线降解装置正常运转的周期不应少于 72h，TOC、流量等检测指标应满足设计文件和相关标准的要求。

【条文说明】超纯水制备系统在综合性能验收时应确定运转周期，各单元系统的主要性能是水质参数和制水能力达到设计文件的控制要求，而出水压力、温度等工况参数不作为关键考核项目。

7 运行维护

7.1 运行维护

7.1.1 紫外线降解总有机碳系统的运行管理维护应由通过培训的专业人员实施。

7.1.2 紫外线降解装置的日常维护应包括下列项目：

- 1 检查紫外线装置进水流量、进水温度；
- 2 检查紫外线灯管正常运行（指示灯）；
- 3 检查紫外线灯管照射强度（传感器）；
- 4 检查紫外线装置整流器；
- 5 清洁紫外线装置电气控制柜的风扇，更换过滤棉；
- 6 检查紫外线灯管实际工作时间；
- 7 检查紫外线装置进出口阀门状态；
- 8 检查紫外线装置工作环境（温湿度）。

【条文说明】第 7.1.2 条规定了检查紫外线降解装置的累计运行时间、灯管运行时间和紫外线强度指示等数据的维护要求，通常低压紫外灯当运行时间大于 8000h，或紫外强度下降到初始值 80%以下时，需考虑更换灯管。

如果电控柜内温度过高，会损害相应的元器件，或缩短其使用寿命，因此第 7.1.2 条规定了要定期查看电控柜风扇运转状况，如果过滤棉堵塞、变色并造成电控柜内温度升高，应及时更换过滤棉。

7.1.3 紫外线降解装置的年度维护除了日常维护的项目外，应包括下列项目：

- 1 检查紫外线装置电气控制柜的排线；
- 2 检查和更换紫外线灯管和石英套管；
- 3 检查和更换紫外线装置内各种垫圈、螺帽。

【条文说明】紫外线降解装置运行流量的变化，会在反应器腔体内造成水流的过分扰动，导致垫圈的磨损，因此 7.1.3 条规定了需定期查看紫外线降解装置的各种垫圈和螺帽的运行状况，如有破损应及时更换。

7.1.4 应定期检测紫外线降解有机碳装置的运行环境，确保紫外线装置的运行温度和湿度符合要求。

【条文说明】总有机碳降解系统在运行过程中的环境条件随着季节的变化，可能发生变化，须定期检查确认。

7.1.5 应定期检测紫外线降解有机碳系统的去除效率和处理效果。

【条文说明】如果降解系统对有机物脱除效率降低，原因比较复杂，涉及后置离子交换树脂的工艺性能、再生度和污染情况，需要逐一分析和排查。从紫外线降

解装置的角度，可以检查进水水源水质是否发生变化，辐射强度是否明显衰减，继而考虑更换灯管或套管。

7.1.6 纯水系统使用后的废弃紫外线灯管应妥善处理。

【条文说明】出于环保考虑，更换后的紫外线灯应由专业废弃物处理单位妥善处理，避免对环境产生污染。

7.2 安全防护

7.2.1 紫外线灯管和石英套管的维修和维护，应严格按照相应的安全操作规程操作，操作时严禁通水、通电，并应做好挂牌和警示标志。

【条文说明】紫外线灯管和套管的维修和维护时，关闭水源和电源，做好挂牌警示，以避免造成人员伤害或引发其它安全事故。

7.2.2 设置有紫外线降解总有机碳系统的纯水系统，应建立安全管理制度，建立事故隐患信息档案，制定安全事故应急预案。

7.2.3 设置有紫外线降解总有机碳系统的纯水系统，应加强管理人员的安全教育、培训和考核，组织模拟事故演习和紧急处置措施。

附录 A 痕量总有机碳的在线测定方法

A.0.1 总有机碳分析仪采用紫外线氧化电导率法，测量待测试样氧化前后的电导率差值，通过分析仪内置转换公式，计算得出待测试样的总有机碳含量。

A.0.2 分析仪应符合下列规定：

1 技术参数宜满足下列指标要求：

- 1) 测量范围：0.1 $\mu\text{g/L}$ ~2000 $\mu\text{g/L}$ （以碳计）；
- 2) 仪器检出限（I.D.L.）： $\leq 0.1 \mu\text{g/L}$ ；
- 3) 精密度（RSD） $\leq 1\%$ 。

2 应输出稳定的紫外线，紫外线的波长为 185nm 或 172 nm。

3 应具有独立显示屏，显示样品分析的结果，能够显示 TOC 测定值，可以显示待测试样温度、电阻率（ $\text{M}\Omega\cdot\text{cm}$ ）或电导率（ $\mu\text{S/cm}$ ）以及温度补偿（或内置算法校正至 25 $^{\circ}\text{C}$ ）。

4 应能够显示过去一段时间的数据曲线以表示数据趋势，数据存储量可保证 1 年以上。

5 应具有报警显示和故障查询功能。

6 可拓展具有打印功能，可通过自带打印机记录异常情况、偏移等数据。

7 可拓展具有数据上传的模拟端口或者数字端口。

A.0.3 样品输送应符合下列规定：

1 待测试样应根据传感器的类型进行测量范围的分类，必须在传感器精度对应的浓度测量范围内进行 TOC 的测定。

2 待测试样从采样点引流至分析仪或流通池的管道、阀门不能带来 TOC 和阴离子浓度的二次污染，当 TOC 检测范围在 0.1 $\mu\text{g/L}$ ~10 $\mu\text{g/L}$ 时，应采用 PTFE、PFA 或 PVDF 材质的管道及阀门进行试样水测定前的采集和输送。

3 采样点与分析仪或流通池的管线距离应尽量缩短，当 TOC 检测范围在 0.1 $\mu\text{g/L}$ ~10 $\mu\text{g/L}$ 时，试样水测定前的输送距离宜小于 30 m。

4 待测试样流量应控制在 30 ml/min~500 ml/min，分析仪进样压力控制在 50 kPa~690kPa，当 TOC 检测范围在 0.1 $\mu\text{g/L}$ ~10 $\mu\text{g/L}$ 时，应控制试样水电导率 $\leq 2 \mu\text{S/cm}$ 。

5 可增加样品过滤器，用于去除悬浮物以保护仪器。

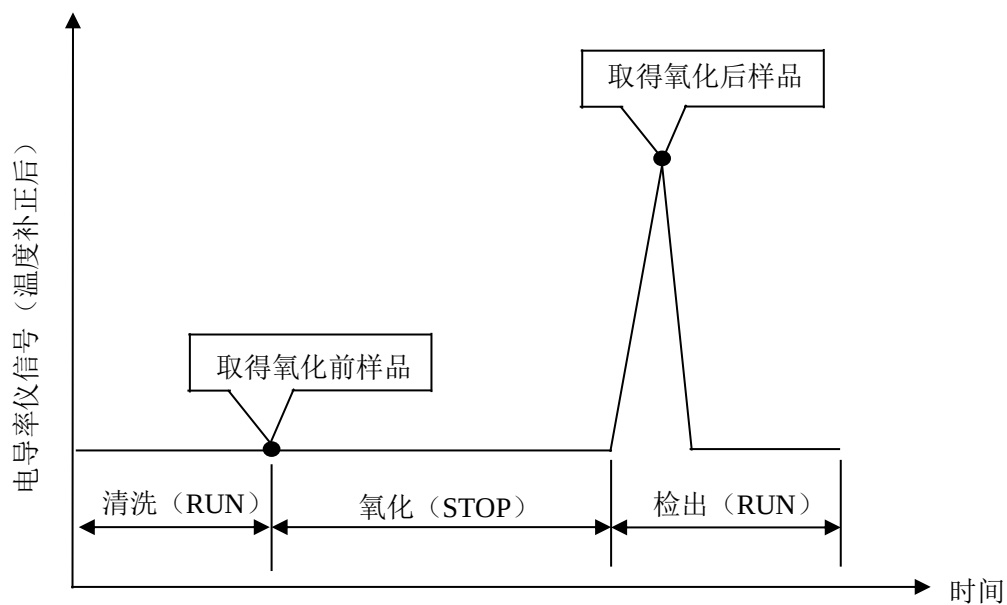
A.0.4 检测步骤应符合下列规定：

1 开机，进入分析仪初始界面，设定测量周期时间、温度补偿、报警条件、信号输出等参数；

2 进入测量模式，清洗内部管路，打开进入检测器的管路，测量未氧化样品的电导率。阀门切换，关闭进入检测器的管路，打开紫外线灯，氧化检测池中样品水的有机物。关闭紫外线灯，同时打开检测池管路，检测氧化后样品水的电导率。通过氧化后及氧化前两个电导率的差值换算出待测试样中的 TOC 浓度，并在分析仪显示界面呈现 TOC 浓度值；

3 TOC 测量数据宜以常用格式（如 TXT 文件、CSV 文件等格式）储存，可查看已保存的历史测量数据，并以趋势图形式或表格形式查看某一时间段测量结果，存储的数据可利用 USB 存储器进行数据导出；

4 应配备 USB 端口，使用以太网数据接口输出或 4-20mA 模拟输出，或可外接打印机直接打印结果。



*取得氧化前样品的电导率：在氧化前样品置换后节点取得。

*取得氧化后样品的电导率：氧化后样品到达电导率仪节点取得。

用词说明

为便于在执行本规程条款时区别对待,对要求严格程度不同的用词说明如下:

- 1 表示很严格,非这样做不可的:

正面用词采用“必须”,反面词采用“严禁”;

- 2 表示严格,在正常情况下均应这样做的:

正面用词采用“应”,反面词采用“不应”或“不得”;

- 3 表示允许稍有选择,在条件许可时首先应这样做的:

正面用词采用“宜”,反面词采用“不宜”;

- 4 表示有选择,在一定条件下可以这样做的,采用“可”。

引用标准名录

本规程引用下列标准。其中，注日期的，仅对该日期对应的版本适用本规程；不注日期的，其最新版适用于本规程。

《低压配电设计规范》GB 50054

《电气装置安装工程电缆线路施工及验收标准》GB 50168

《电气装置安装工程 盘、柜及二次回路接线施工及验收规范》GB 50171

《机械设备安装工程施工及验收通用规范》GB 50231

《工业金属管道工程施工规范》GB 50235

《电子工业纯水系统设计规范》GB 50685

《电子工业纯水系统安装与验收规范》GB 51035

《外壳防护等级（IP 代码）》GB/T 4208

《城镇给排水紫外线消毒设备》GB/T 19837-2019

中国工程建设标准化协会标准

电子工业超纯水紫外线降解总有机碳系统
应用技术规程

T/CECS XXX-20XX

条文说明

制 定 说 明

本规程制定过程中，编制组进行了广泛深入的调查研究，总结了我国电子工业超纯水紫外线降解总有机碳系统的设计、安装、检测及运行等工程实践经验，同时参考了国内外最新的技术标准和规范，制定符合我国国情的技术先进、处理高效、安全可靠和低碳节能的应用技术规程。

本规程的编制工作启动会于2023年5月在北京召开，制定了编制工作大纲，编写组开始了征求意见稿的起草。在主编单位的带领下，编制组通力协作，广泛收集国内外紫外线降解总有机碳系统的设计、安装、检测和运行方面的工程技术应用资料，结合多个电子工程超纯水制备项目，进行了深入交流和讨论。经主编单位主持编写征求意见稿后，召开编制讨论会，逐章、逐节、逐条的讨论了条文及条文说明并完成了征求意见稿。

为便于广大技术和管理人员在使用本规程时能正确理解和执行条款规定，《电子工业超纯水紫外线降解总有机碳系统应用技术规程》编制组按照章、节、条顺序编制了本规程的条文说明，对条款规定的目的、依据以及执行中需注意的有关事项等进行了说明。本条文说明不具备与标准正文及附录同等的法律效力，仅供使用者作为理解和把握标准规定的参考。

目 次

1	总则.....	1
2	术语.....	3
3	基本规定.....	6
4	设计.....	7
4.1	系统设计.....	7
4.2	紫外线降解装置.....	10
4.3	离子交换装置.....	15
5	安装与调试.....	17
5.1	一般规定.....	17
5.2	安装.....	17
5.3	调试	19
6	检测与验收.....	21
6.1	系统检测	21
6.2	系统验收	22
7	运行维护.....	24
7.1	运行维护	24
7.2	安全防护	25