

# 高纯化学品槽车供应系统的设计探讨

张广伟（上海精泰机电系统工程有限公司，上海 202305）

**摘要：**半导体元器件及集成电路制造过程中清洗、湿蚀刻、光刻、研磨、部件清洗等工艺需要高纯化学品参与半导体核心制程工艺，高纯化学品供应系统的可靠与稳定性直接影响生产线是否维持高品质运行和良率水平的提升。主要介绍高纯化学品槽车供应系统及分析以往槽车供应系统的案例，提出满足实际需求的高纯化学品供应系统供应模式及其优化方向，愿为从事相关工作人员参考借鉴。

**关键词：**半导体；槽车供应；稳定；可靠

## 0 引言

随着我国 4G、5G 通讯技术的高速发展，以及以氮化镓、碳化硅为代表的第三代半导体技术的日益成熟、批量投产，半导体芯片被广泛应用于智能手机、物联网、存储介质、新能源汽车等领域。大规模、高产能半导体器件制造工厂的陆续扩能及新建，高纯电子化学品供应系统面临需求大、供应稳、储量高等一系列挑战；因此针对半导体厂务高纯电子化学品供应这一特点，做好高纯电子化学品供应系统的规划设计，为半导体器件生产制造提供稳定、可靠的运行系统尤为关键；并分析半导体公司槽车供应系统的规划设计等内容。

## 1 高纯化学品槽车供应系统的组成

高纯化学品供应系统依据制程工艺端针对不同化学品需求量的差异可分三个模式；

模式一：200 liter Drum 或 200 liter Drum + Day Tank 供应方式；

模式二：IBC Tank 或 IBC Tank + Day Tank 供应方式；

模式三：槽车供应方式，槽车供应详见图 1。

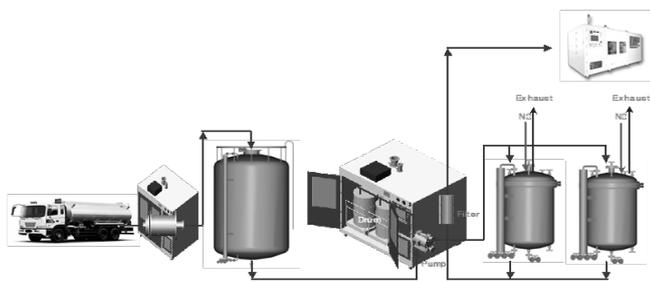


图 1 槽车供应方式 - 高纯化学品

槽车供应模式由含高纯化学品充装接口箱、储罐、高纯化学品传送设备、日用储罐、高纯化学品供应设备、支路分配阀箱、用点分配阀箱以及管路系统组成，该文着重论述化学品自充装接口箱至化学品供应设备

之间规划设计及存在问题。

## 2 高纯化学品槽车系统规划设计

### 2.1 槽车供应系统站房规划

槽车供应站房设计依据高纯化学品火灾危险特征分甲、乙、丙、丁、戊等类别，其中甲类为易燃易爆类化学品，针对液态化学品一般指闪点小于 28℃ 液体或受撞击、摩擦和与氧化剂、有机物接触时能引起燃烧或爆炸的物质。此类化学品站房通常布置于地面以上建筑内，站房必须远离居民建筑且与其他厂房间距大于 12m，与主要道路距离 10m 以上。站房设计时必须按照《建筑防火设计规范》要求并分房间独立存放酸、碱、有机类化学品。化学品储罐区除按《规范》布置外，应考虑设置房间内墙及地面耐酸碱（环氧涂布）、增设储罐区环氧围堰、地沟、废液收集坑、收集系统及甲类化学品除设置独立的消防灭火系统（CO<sub>2</sub> 灭火系统）外，站房地面需采用不发火地面和照明、电气等采用防爆设计。酸碱类化学品站房一般按照丁、戊类规范设计。

化学品围堰是为减少储罐内化学品泄漏引发的液体滞留时间和扩散范围及避免火灾造成蔓延等，围堰设计时，经验值通常考虑围堰内最大储罐有效容积 1.1 倍以上，并在围堰内设置废排液收集和动力排放装置；围堰高度设计可参考 FM7-83，如下所示：

$$H = \frac{Q}{1000A} + 0.05$$

其中：

H- 围堰高度 (M)；Q- 最大泄漏量 (m<sup>3</sup>)；A- 围堰净面积 (m<sup>2</sup>)；最大泄漏量 (Q) 选择：通常选用同一围堰区域内最大储罐的容积。

### 2.2 槽车供应系统主要设备配置及工艺流程

槽车供应系统主要设备分储罐存储及传送和供应设备两部分；储罐是高纯化学品主要的贮存单元，分酸

碱和有机两类。酸碱类通常采用不锈钢或钢制储罐内衬 PTFE 或 PFA 形式，有机类采用 SUS316LEP 或 SUS316 内衬 PFA；储罐存储 15-30 天或以上高纯化学品用量；传送及供应设备按设备类别分为高纯化学品充装接口箱、高纯化学品传送单元、高纯化学品供应单元三部分。

高纯化学品充装接口箱常内嵌于外墙内，负责将外运槽车内高纯化学品传送至站房储罐内；接口箱通常设置氮压单元、传送控制单元、传送衔接单元、来料检测取样单元、排换气单元和废液收集排放单元等。槽车内高纯化学品在高纯氮气的作用下迫使槽车内化学品连续、稳定传送至站房储罐内。高纯化学品接口箱材质分两类：酸碱类接口箱采用经 FM 认证的 PP 材质；有机类采用 SUS304 材质，有机类接口箱电控单元需与内部执行部件分离，满足 SEMI-S2 半导体制造设备的安全卫生及环保标准和 GB3836.1-爆炸性环境用防爆电气设备通用要求等对半导体供应设备电气防爆标准的要求。

高纯化学品传送单元负责将储罐内化学品传送到化学品供应单元，传送单元配置包含传送泵浦、传送过滤单元、传送回流单元、传送取样单元、传送排换气及排液单元等；传送单元设备外壳及电气控制部分配置要求与高纯化学品槽车接口箱配置原则一致。

高纯化学品供应单元是整个供应系统的核心，主要功能是将满足机台需求的高纯化学品供应至各机台用点。供应单元自带的独立 PLC 控制模块是槽车供应系统的“大脑”，除负责与各机台用点联动通讯外，且兼顾充装接口单元和传送单元指令发布与检验。高纯供应单元通常由备用充装单元、供应泵浦单元、终端过滤单元、终端取样单元、排换气单元及废排液单元组成；备用充装单元主要在槽车充装单元离线时负责应急支援，保证槽车供应系统连续、稳定运行。化学品备用充装单元可依据系统供应能力调整，200L Drum 或 1000L IBC Tank 均可选用。备用充装单元需设置独立的泵浦单元和桶槽氮封模块，氮封模块需设置微释压排气管路；泵浦一用一备。

### 2.3 槽车供应系统规划设计中可能存在的问题及解决方案

槽车供应系统储罐有常压和压力容器类两种方案，储罐至供应单元间衔接不直接参与工艺设备生产制造，传送单元至供应单元间化学品传递容许有微压力波动，常压储罐优先考虑；常压储罐在来料充填和

供应传送过程中常因罐体内液位升降、化学品动态回流和隔膜泵脉冲式工作等，引发储罐内压力实时调整和动态平衡；有效方案是提供储罐氮封保护的同时，增加补气微释压排气管路至高纯化学品供应单元内排换气模块，并在接入排换气模块前增加限流设置。

实际执行中，氮封补气微释压管路至供应单元排换气模块间释压管路三通位置选择多有不妥：

方式一，选择在氮封管路进储罐前开三通引释压管路至化学站房环境排气系统；采用 SUS316LEP 耐腐蚀等级材料；

方式二，选择在化学品供应单元气动控制室内氮封管路上开三通至供应单元排换气模块，采用 PTFE 定制三通，三通至排换气模块采用 PFA 柔性管；

方式三，在化学品供应单元桶槽区氮封管路上开三通至供应单元排换气模块，采用 PFA 扩孔或入珠成品三通；三通至排换气模块采用 PFA 柔性管。

详情如下：

方式一，采用 SUS316LEP 不锈钢管材在氮封管路进储罐前开三通设置释压管路；SUS316LEP 管路内壁长期被挥发性酸碱类化学品气体附着；容易引发 SUS316LEP 管内金属离子析出及严重时造成管路局部腐蚀，进而引发罐内化学品金属离子含量增加、超标，间接导致化学品供应品质下降和造成半导体器件良率降低。氮封管路在进储罐侧设置释压管路至化学房排气系统，该设置相当于气体分流且因排气管路长期处于负压状态，本应进入储罐的氮气因此处文丘里虹吸效应导致大量氮封气体进入排气系统，导致氮封气体流失和能量损耗的同时造成储罐内高纯化学品挥发浪费和加剧氮封管路的腐蚀。

方式二，采用传送供应单元气控室设置定制 PTFE 三通分流氮封，其风险点主要存在于 PTFE 三通接口处；PTFE 三通及其下游释压管路均伴有来自储罐的酸碱类挥发性气体长期附着、浸泡，且 PFA 与 PTFE 材质在硬度和延展性等方面存在的差异，强挥发性化学品供应时（31% 盐酸、69% 硝酸、49% HF 等）3-6 个月则会出现锁紧螺母侧会有微量泄漏或痕迹残留。挥发气体长时间积聚导致狭小环境内酸性气体浓度增加，而气控室内 PLC 控制单元 24 伏电源模块常常失灵或 PLC 端口接线柱处被腐蚀，甚至造成 PLC 短路、损毁。故设计时考虑规避材质不同或设备分室独立。

方式三采用桶槽区设置释压分流管路和 PFA 扩口或入珠三通的模式目前是最优选择，PFA（全称四氟

乙烯-全氟烷氧基乙烯基醚共聚物又称：过氟烷基化合物，可溶性聚四氟乙烯）是一种新型适用于高纯酸碱、有机类化学品的新型卷材，高纯级超高纯 PFA 母材主要来自 Dupont，尤其是 PFA451 HP PFA951HP 管材，其具有无金属离子析出、耐酸碱、低渗透、表面光滑度高、透明度、耐高温（260℃）、延展性强等特点；目前被广泛应用于高纯电子化学品系统的管道、阀门、泵浦、过滤装置等生产制造。桶槽区设置释压管路及 PFA 成品材料的选用，使氮封气体进入桶槽补气时同时释放少量氮封气体至排气部分，动态维持储槽和补气管路的压力平衡；一旦储罐内压力高于氮封压力，储罐压力可通过原释压管路自我动态调整，维持管路压力与储罐压力平衡。氮封管路设置有计量仪表、安全泄压阀、止回阀和调压单元；压力设定装置、流量控制单元、压力监控单元及氮封、释压管路等共同协作实现储罐内压力动态平衡。

常压储罐泄压除氮封补气维持储罐压力平衡外，亦可采用微压差泄压阀规避储罐压力超过设定警戒值；安全阀和爆破片需采用高纯级别耐腐蚀或内衬材质，其选用成本远高于安全阀和爆破片的功能性成本；故非使用方强制要求，可采用技术沟通渠道建议取消常压储罐配置该部件。

压力容器储罐常配置在供应单元侧，压力容器可设置安全阀和爆破片；容器类储罐采用高纯氮气作为动力源；通过在供应单元侧调节控制动力源，使储罐内高纯化学连续、稳定输出，经由主线分配阀箱、用点分配阀箱至各工艺机台用点。动力源氮气压力通常设置在 3.5-4.0Bar 之间，可据实调整。动力源氮气管路需设置气动阀、手动阀、减压阀、逆止阀、安全阀等。氮压供应系统较泵浦供应系统区分如述：

- ①氮压系统之流量及传送管路压力均相对稳定，不存在因脉冲引发的管路力波动；
- ②氮压供应系统针对氮气动力源连续、稳定有特殊的要求，建议动力源采用一用一备模式；
- ③氮压系统储罐是压力容器类，涉及压力容器报批、报审等，系统建造成本有显著提升。

故从稳定性、可靠性角度衡量，氮压供应输出较泵浦输出较稳定、可靠；从建造成本和维护角度衡量，泵浦供应系统建造成本较低且泵浦维护、调整更灵活。

## 2.4 槽车系统的选用和配置

依据新建厂房供应需求量的不同，结合酸碱类、

有机类、氧化类介质等物理、化学性质；槽车供应系统配置也略有不同。通常日需求量 200L 左右，则考虑 Drum 供应模式；日供应量 200L-400L 则优先考虑 200L Drum 或 IBC Tank 供应模式；日供应量在 600L 以上，建议优先考虑槽车供应系统。槽车供应系统传送设备配置可依实际调整，充装单元、供应单元及备用充装模块是槽车供应系统的标配。

## 3 高纯化学品槽车供应系统的实际应用

槽车供应系统之充装接口箱单元、传送及供应单元已实际运用于泛半导体行业体高纯化学品供应系统中；其灵活配置的模块化结构和稳定可靠的运行模式在高纯化学品供应系统中深得厂务管理端青睐。目前该供应模式已在泉州三安光电化学品供应系统及宁晋基地化学品供应系统等案例中顺利实现试车并稳定运行，试车一次性成功率达 100%。该产品性价比、稳定性、可靠性一定程度上领先其他供应模式，值得优先推荐的先进供应模式。

## 4 结语

槽车供应系统可采用泵浦或氮压两种供应模式，化学品介质贮存、传送通常采用常压储罐和依靠泵浦提供动力源；供应侧可考虑氮压和泵浦供应两种模式；在先进制程譬如 7Nm、14Nm 领域，氮压系统被优先考虑。28Nm 及以上工艺泵浦和氮压供应则各有考量。槽车供应系统的灵活配置及供应系统的稳定、可靠是影响核心制程的重要一环；在槽车供应系统配置选择和规划设计时，要着重关注系统稳定、可靠。贯彻实践检验理论的理念，在问题中找思路，在受挫中求发展，不断优化、完善槽车供应系统。在确保槽车供应系统稳定、可靠和高品质供应的核心目标下，最终实现投资减量化、成本合理化、维护平衡化这一目标，进而获得最佳的整体效益。

### 参考文献：

- [1] Semiconductor Equipment and Materials international, SEMI S2-0303, Environmental, Health, And Safety Guideline for Semiconductor Manufacturing Equipment, 2003 Edition.
- [2] Factory Mutual Insurance Company, FM (Factory Mutual Engineering and Research) Data Sheet 7-83, DRAINAGE SYSTEM FOR FLAMMABLE LIQUIDS.
- [3] GB50016-2014. 建筑防火设计规范 [S]. 北京：中国公安部消防局, 2015.