

## **ВВЕДЕНИЕ**

Микроэлектромеханические системы (МЭМС) представляют собой объединение трех элементов твердотельной электроники: 1) датчики (информационные преобразователи энергии неэлектрических явлений и величин (давление, температура, влажность, ... ) в электрический сигнал); 2) интегральные микросхемы (ИМС), обеспечивающие обработку электрического сигнала, имеющего три параметра (напряжение, ток, частоту), что сегодня не представляет принципиальных трудностей ввиду огромного опыта в этой области; 3) актоаторы (преобразователи электрической энергии в механическую (выключатели, устройства поворота, изгиба, ...)).

Каждый из указанных элементов, в свою очередь, построен на технологических слоях (полупроводниковых, проводящих и диэлектрических). Эти слои всех трех элементов создаются практически одинаковыми технологиями. Однако толщина этих слоев варьируется от нанометров до долей микрон (в ИМС) и от долей микрона до сотен микрон (в датчиках и актоаторах). Это обуславливает разные технологические варианты производства (высокотемпературные, вакуумно-плазменные, электрохимические, ...) и имеет свои особенности.

В настоящее время по степени интеграции и минимальным размерам топологии ИМС практически подходят к пределу реальной возможности их изготовления, и из-за повышенного тепловыделения МЭМС вынуждена переходить с 2D- на 3D-структуры корпусирования.

Все это приводит к тому, что ужесточаются требования к размерам повреждающих дефектов, а их возможная концентрация в технологическом пространстве увеличивается.

Несмотря на значительные усилия по обеспечению чистоты производственных помещений, рабочих газов, технологических растворов, а также достижения в области снижения уровня загрязняющих частиц от оборудования и оснастки, химическая обработка подложек и технологических слоев остается ключевым процессом, влияющим на эффективность производства ИМС и МЭМС.

Снизить уровень дефектности слоев можно только при условии качественного выполнения операций химической обработки. Это, в свою очередь, осуществимо лишь при правильном выборе состава технологических растворов, оптимальных режимов проведения процессов и соответствующих методик контроля качества выполнения операций.

# **ГЛАВА 1. ОСНОВНЫЕ КОМПОНЕНТЫ ХИМИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ**

## **1.1. Деионизованная вода**

Получение чистой воды в технологии изготовления интегральных микросхем является очень важным и серьезным вопросом. Качество деионизированной воды, которая является самой важной технологической жидкостью, определяет качество и надежность изготавливаемой продукции. В технологии изготовления интегральных микросхем деионизованная вода используется для приготовления технологических растворов, протирки технологического оборудования, стирки технологической одежды, а также служит основным промывочным реагентом для удаления с поверхности полупроводниковой пластины химических веществ, используемых в технологическом процессе в качестве технологических растворов и образующихся в процессе взаимодействия химических растворов с технологическим слоем или примесью на поверхности пластины. Деионизованная вода — жидкость высокой степени чистоты, так как из нее практически полностью удалены соли металлов, растворенные газы, примеси механических веществ, микроорганизмы.

В настоящее время средний уровень чистоты деионизированной воды составляет 99,9999%, что соответствует концентрации остаточных ионов  $2 \cdot 10^{-6}\%$  или уровню удельного сопротивления 17–18 МОм·см. (Удельное сопротивление теоретически чистой деионизированной воды при температуре 25°C составляет 18,24 МОм·см.)

Сверхчистая вода является сильным растворителем, и это приводит к положительным и отрицательным моментам в процессе ее использования.

**Положительные моменты:** деионизованная вода растворяет практически все химические соединения, адсорбированные на поверхности пластин.

**Отрицательные моменты:** сверхчистая вода может собирать грязь из распределительной системы (трубопроводов, ионообменных смол, фильтродержателей, ванн и т. д.), растворять и уносить с собой вещества пластмассовых магистралей воды, что приводит к ухудшению качества обрабатываемых изделий.

### **1.1.1. Требования к качеству деионизированной воды**

В мировой практике не установлены однозначные количественные характеристики, соответствующие термину «ультрачистая вода». В разных странах и даже в одной стране существует несколько стандартов, определяющих качество деионизированной воды для электронной промышленности. В таблице 1.1 приведено сравнение спецификаций ASTM (Американское общество по испытанию материалов) и SEMI (Институт полупроводниковых материалов и оборудования США) на сверхчистую воду.

В Японии существует определенная взаимосвязь между степенью интеграции микросхем и параметрами воды, применяемой при производстве этих микросхем. В таблице 1.2 приведен пример подобной взаимосвязи.

Таблица 1.1

**Сравнительные данные по требованию к качеству деионизированной воды для электронной промышленности США в соответствии со стандартами ASTM и SEMI**

Контролируемый параметр	Единица измерения	ASTM тип E-1	SEMI Super Quality
Удельное сопротивление	МОм·см	18 (90% времени)	17
SiO <sub>2</sub> (общее)	ppb	5	5
Число частиц размером более 1 мкм	шт./мл	2	1
Живые организмы	шт./100 мл	100	50
Углерод органический (TOC)	ppb	50	75
Медь	ppb	1	2
Хлориды	ppb	2	20
Калий	ppb	2	1
Натрий	ppb	1	1
Цинк	ppb	5	1
Общее количество твердых веществ	ppb	10	15

Таблица 1.2

**Качество ультрачистой воды, применяемой для производства микросхем в Японии**

Контролируемый параметр	Степень интеграции			
	64 Кбит	256 Кбит	1 Мбит	4 Мбит
Удельное сопротивление (МОм·см)	15–16	17–18	17,5–18,0	18,0
Микрочастицы (шт./мл)	0,2 мкм 50–150	0,2 мкм 30–50	0,1 мкм 10–20	0,1 мкм 5–10
Бактерии (шт./100 мл)	50–100	5–20	1–5	1
Общий органический углерод (ppb)	50–200	50–100	30–50	20–30
SiO <sub>2</sub> (ppb)	20–30	10	5	5
Растворенный кислород (ppb)	100	100	50–100	50

Требования отечественных стандартов, определяющих качество деионизованной воды марки А, применяемой для работы с полупроводниковыми пластинами в электронной промышленности, приведены в таблице 1.3.

Таблица 1.3

**Требования отечественных стандартов к качеству деионизированной воды марки А**

Контролируемый параметр	Максимально допустимое значение
Удельное сопротивление при $T = 20 \pm 2^\circ\text{C}$ , (МОм·см)	18,0
Перманганатная окисляемость в пересчете на кислород (ppb)	200
Кремниевая кислота (ppb)	9
Железо (ppb)	2
Медь (ppb)	2
Микрочастицы размером 2 мкм (шт./мл), не более	10
Бактерии (шт./мл)	1

Из данных таблиц 1.1–1.3 видно, что требования к качеству сверхчистой воды, применяемой для производства интегральных микросхем, разных стандартов имеют различия. Очевидно, что требования отечественных стандартов менее жесткие по допустимой величине значений контролируемых параметров и по количеству параметров, подлежащих контролю.

Значения количества примесей в деионизованной воде, приведенные в таблицах 1.1 и 1.2, могут служить опорными значениями при определении качества воды для соответствующей степени интеграции изготавливаемых микросхем.

Создавая источник сверхчистой воды для производств по изготовлению интегральных микросхем, необходимо ставить перед собой двойную задачу: очищать воду до требуемого уровня чистоты, а затем следить за тем, чтобы сверхчистая вода подавалась в место ее использования без потерь качества. Для осуществления такой задачи существует три вида систем (технологий): очистительная система, которая создает сверхчистую воду; распределительная система, которая подает эту сверхчистую воду в место ее использования; система контроля качества воды на разных этапах ее изготовления и распределения.

### 1.1.2. Получение деионизированной воды

Технология получения деионизированной воды при любой схеме ее реализации состоит из четырех основных этапов: предварительной обработки, деионизации, хранения и финишной деионизации.

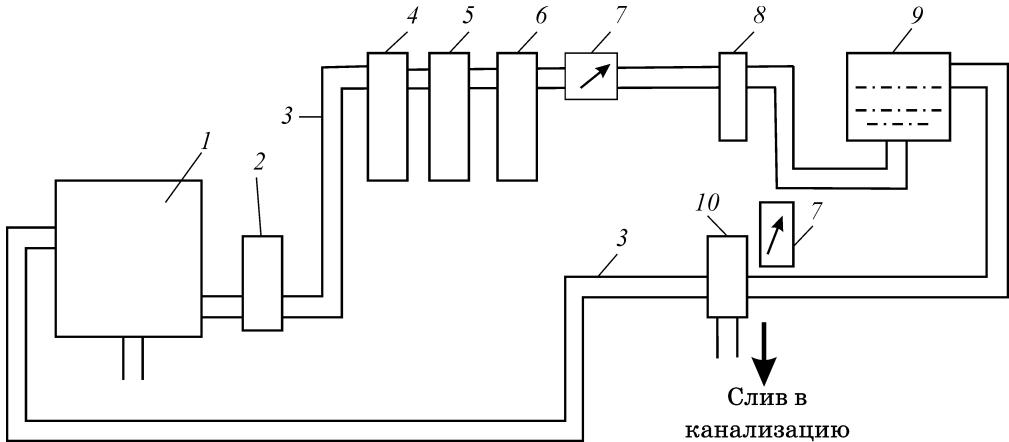
Принцип деионизации представлен на рисунке 1.1. Типичная внутрипроизводственная система очистки для получения сверхчистой воды приведена на рисунке 1.1.



Рис. 1.1

Блок-схема типичной внутрипроизводственной системы для получения сверхчистой воды

Системы для получения деионизированной воды по схеме, указанной на рисунке 1.1, как правило, высокопроизводительные и требуют значительных финансовых затрат. Для решения вопроса по обеспечению одной или нескольких единиц технологического оборудования существуют локальные системы фильтрации деионизированной воды. Эти системы имеют свой накопительный резервуар, четырехпозиционный блок для патронных фильтров и измеритель удельного сопротивления воды (рис. 1.2).



**Рис. 1.2**

Вид локальной системы фильтрации воды:

1 — накопительная емкость; 2 — водяной насос; 3 — трубопровод; 4 — фильтр предварительной очистки; 5 — фильтр очистки от углеродсодержащей органики; 6 — фильтр смешанного действия; 7 — измеритель удельного сопротивления; 8 — фильтр тонкой очистки; 9 — потребитель; 10 — система возврата воды на повторное использование.

Фильтрация воды в локальной системе производится через:

- фильтр предварительной очистки;
- фильтр очистки от углеродсодержащей органики (патрон заполнен специальной смесью на основе активированного угля);
- фильтр смешанного действия (патрон заполнен смесью катионита и анионита в определенном соотношении);
- фильтр тонкой очистки.

Рассмотрим более подробно стадии получения сверхчистой воды. Системы предварительной очистки используют сырую воду и создают в ней определенные условия, благодаря которым более эффективно работает главная очистительная система. Большинство из используемых на данной стадии очистки воды методов предназначены для удаления из водопроводной воды примесей, которые могут присутствовать в виде частиц, органических соединений, коллоидов или растворенных солей.

Основное назначение операции предварительной очистки — улучшение качества воды, поступающей на установку обратного осмоса (весьма дорогостоящую), с целью увеличения долговечности и эффективности мембран по следней. Точная конструкция модуля предварительной обработки определяется как характеристиками источника сырой воды, так и конструкцией главной очи-

стительной системы. При предварительной очистке используются такие методы, как фильтрация через различные среды, адсорбция, ультрафильтрация, удаление органических веществ и размягчение путем катионообмена или добавления кислоты.

В процессе обратного осмоса вода поступает под давлением и накачивается в модуль, который содержит в себе полунепроницаемую мембрану. Часть сырой воды проходит через мембрану, очищается от большинства имеющихся в ней загрязнений, образуя при этом пермеат (растворенное вещество). Загрязнения накапливаются в оставшемся потоке, который называется концентрат, и сливаются в установки в виде отходов.

При данном способе очистки чем выше пропорция поступающей воды, восстановленной в виде пермеата, тем больше загрязнений накапливается в потоке концентрата. В связи с этим, модуль очистки с помощью обратного осмоса должен быть точно спроектирован, чтобы исключить накопления на мембранах загрязнений, присутствующих в очищаемой сырой воде (в процессе очистки на мембранных установках обратного осмоса часто образуется пленка из твердых солей, соединений железа, частиц и коллоидов).

Большинство мембран обратного осмоса, используемых в современных системах по очистке воды, изготавливаются из полиамидных материалов, которые не разрушаются под воздействием биологических материалов, а также устойчивы к изменению pH, т. е. могут работать как в кислой, так и в щелочной среде. Иногда в качестве мембран используются целлюлозные пленки. Однако они могут разрушаться под воздействием как химических, так и биологических веществ и работают только в ограниченном диапазоне величин pH.

Тонкопленочные волокнистые полиамидные мембранные установки обратного осмоса в настоящее время заменяются полиамидными мембранными, имеющими конфигурацию намотанной спирали. Композитные мембранные со спиральной намоткой имеют меньшую площадь поверхности относительно единицы объема фильтруемой воды, чем пористые волокна. Однако они менее подвержены образованию пленок из органических веществ после прохождения воды. Кроме того, их можно использовать при меньших давлениях, так как они более устойчивы к щелочным очистным агентам.

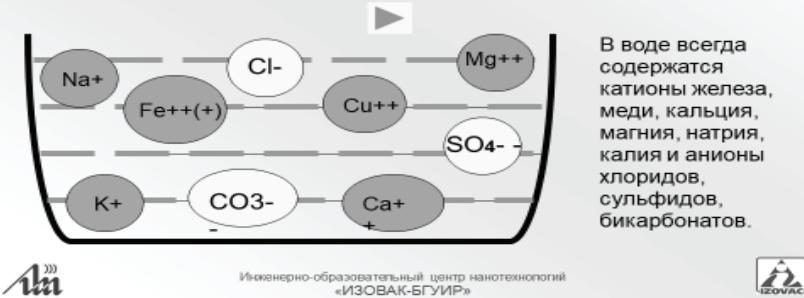
С помощью метода обратного осмоса удаляется 95% бактерий, твердых частиц и растворенных органических примесей, а также до 90% ионизируемых примесей, что в значительной мере продлевает срок службы ионообменных колонок.

После процесса дегазации, при котором удаляется растворенная двуокись углерода, вода подвергается первичной деионизации в установках ионного обмена.

Ионный обмен — это обратимый взаимообмен ионов с одноименными зарядами, протекающий между раствором и твердым веществом, находящимся в контакте с этим раствором (рис. 1.3).

Твердое вещество, осуществляющее обмен ионов, называется ионитом, ионообменником или ионообменной смолой. Если обменивающиеся ионы заряжены положительно, ионит представляет собой катионный ионообменник — катионит, если же они заряжены отрицательно — анионный ионообменник или анионит.

**Деионизованную воду получают методом ионного обмена, сущность которого состоит в том, что в системе вода — ионит происходит обмен ионами. В качестве ионитов используют различные ионообменные смолы.**

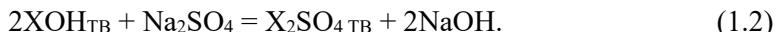


**Рис. 1.3**  
Сущность ионного обмена

В качестве типичной реакции катионного обмена может служить реакция



Примером анионного обмена является реакция



В качестве ионитов в технологии получения деионизированной воды используются синтетические ионообменники смолы. Смолы поставляются в виде сферических зерен  $\varnothing 0,5$  мм.

Каркасы — матрицы синтетических ионообменных смол состоят из неправильной высокомолекулярной сетки углеводородных цепей. В матрице закреплены группы несущих заряд фиксированных ионов, в качестве которых наиболее часто встречаются:

- у катионитов:  $\text{SO}_3^-$ ;  $\text{PO}_3^{2-}$ ;  $\text{COO}^-$  и  $\text{AsSO}_3^{2-}$ ;
- у анионитов:  $\text{NH}_3^+$ ;  $\text{NH}_2^+$ ;  $\text{N}^+$  и  $\text{S}^+$ .

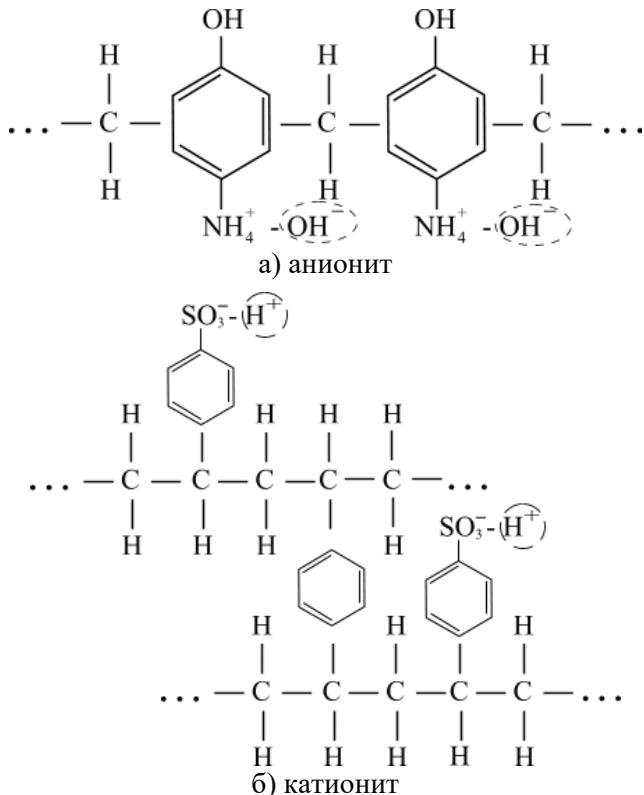
Свойства синтетических ионообменных смол в основном определяются числом и типом фиксированных ионов, а также строением матрицы и в первую очередь плотностью ее пространственной решетки, т. е. числом поперечных связей. Эта плотность, наряду с другими факторами, определяет степень набухания ионообменной смолы, от которой зависит подвижность ионов, а следовательно, и скорость их обмена.

На рисунке 1.4 в качестве примера дано строение молекул ионитов, изготовленных на основе синтетических смол. В одном из них противоионами являются отрицательно заряженные ионы гидроксильной группы, а в другом эту роль выполняют катионы водорода.

Структурная формула катионита служит примером того, каким образом структура молекулы позволяет противоионам совершать движения внутри смо-

лы и из нее. Здесь цепи атомов, несущих отрицательный заряд, удерживаются на определенном расстоянии мостиками бензольных колец.

В данном случае расстояния между молекулярными цепями достаточно велики, чтобы ионы металлов и даже сравнительно крупные группировки могли легко диффундировать внутрь катионита и в окружающий его раствор.



**Рис. 1.4**  
Строение молекул типичных ионитов

На практике для получения деионизированной воды чаще всего используются синтетические ионообменные смолы на основе полистирола, а для сшивки основных цепей — молекулы дивинилбензола. От количества молекул дивинилбензола в структуре ионообменной смолы зависит степень ее набухания в процессе эксплуатации. Содержание дивинилбензола указывается в маркировке ионообменной смолы. Например:

- КУ-2-8 — катионит универсальный, 2-я модель, содержание дивинилбензола 8%;
- АВ-17-8 — анионит высокоосновной, 17-я модель, содержание дивинилбензола 8%.

Важнейшей физико-химической характеристикой ионообменных смол является емкость ионита, под которой понимают количественную меру способности ионита поглощать противоионы. От емкости ионита зависит срок службы ионообменных колон до последующей регенерации.

Итак, после декарбонизации вода поступает в колонну с катионитом, на которой происходит улавливание всех катионов растворенных в воде солей и замещение их на положительно заряженный ион водорода, т. е. соли превращаются в кислоты с различным кислотным остатком ( $\text{HCl}$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{H}_3\text{PO}_4$  и т. д.).

Следующий этап очистки, анионная очистка на высокоосновных анионитах, предназначен для удаления из воды слабых и сильных кислот.

В основном чистая от анионов и катионов вода проходит последнюю стадию очистки на фильтре со смешанным слоем ионитов, который обычно представляет смесь катионита и анионита в объемном соотношении 1:2 (соотношение 1:2 выбрано из-за того, что обменная емкость катионита в два раза выше, чем обменная емкость анионита). На данном фильтре из воды удаляются практически все анионы и катионы. Фильтром смешанного действия заканчивается первая стадия получения деионизованной воды, и вода, имеющая удельное сопротивление в пределах 12–16 МОм·см, поступает в накопительные емкости, начиная с которых уже происходит финишная доочистка деионизованной воды.

Время от времени ионообменные смолы становятся насыщенными улавливаемыми примесями и их следует подвергать регенерации. Использованная катионообменная смола восстанавливается до водородной формы путем промывки ее соляной кислотой, а использованная анионообменная смола может быть восстановлена до гидроксильной формы с помощью гидроксида натрия. Современные деионизаторы самостоятельно производят автоматическую регенерацию, как только качество воды падает ниже заданного для такой системы уровня.

Системы финишной доочистки деионизированной воды, как правило, включают в себя ультрафиолетовые стерилизаторы, предфильтры и ультрафильтры, финишные фильтры со смешанным слоем катионита и анионита. Обязательным условием для систем финишной доочистки является наличие системы рециркуляции, т. е. неиспользованная в точке потребления деионизованная вода должна в обязательном порядке вернуться в накопительный резервуар.

Ультрафиолетовая стерилизация в системе финишной доочистки деионизированной воды предназначена для уничтожения живых микроорганизмов. Обработка воды ультрафиолетовыми лучами в диапазоне 240–280 нм обеспечивает полное истребление и инактивацию всех микробов, бактерий и вирусов, находящихся в ней. Обычно источником энергии являются ртутные лампы низкого давления, расположенные по диаметру кварцевой трубы, по которой протекает деионизованная вода.

Стерилизацию воды можно осуществлять с помощью озона. Растворенный в воде озон (легко разлагающийся на кислород при УФ-облучении) окисляет не только микробы, но и продукты их размножения, а также непрерывно дезинфицирует трубопроводы, по которым циркулирует вода, и окисляет растворенные в воде органические вещества, образующиеся в производственных циклах отмычки пластин. Однако к такому способу стерилизации воды нужно относиться очень осторожно, так как не все трубопроводы выдерживают длительное воздействие озона. Известно, что озон разрушает трубопроводы из поливинилхлорида (ПВХ), образуя углубления, в которых могут скапливаться бактерии.

Фильтры смешанного действия на стадии финишной очистки деионизованной воды, как правило, заполняются специальной ионообменной смолой «ядерной» степени чистоты, так как предназначены для получения воды высокой степени чистоты. Ионообменные смолы «ядерной» степени чистоты могут быть использованы только для одного рабочего цикла и не подлежат регенерации. Однако использование таких смол не влечет за собой особых затрат, поскольку финишные системы устанавливаются после первичного деионизатора и срок их службы продолжается несколько лет.

Микро- и ультрафильтрация в системах финишной доочистки деионизованной воды представляют собой сложное физическое просеивание через фильтры с размером пор от 1 до 0,1 мкм. Эти фильтры способны удалять из поступающей воды три типа загрязнений:

- частицы и микроорганизмы;
- коллоиды;
- органические макромолекулы.

### **1.1.3. Транспортировка и распределение деионизированной воды**

Не менее важной задачей, чем получение деионизированной воды высокой чистоты, является сохранение достигнутого уровня в процессе ее расходования. При движении деионизированной воды в длинных и сложных трубопроводах, длина которых в ряде случаев достигает нескольких сотен метров, и при налинии на пути воды множества клапанов и фиттингов возможно ее загрязнение. Основными причинами загрязнения воды являются:

- рост бактерий;
- выделение примесей и микрочастиц из материала трубопроводов;
- проникновение в трубопроводы воздуха и газов.

Правильное проектирование распределительной системы позволяет поддерживать высокое качество очищенной воды в точках ее потребления. Обычная схема такой системы включает в себя подачу деионизированной воды в резервуар для рециркуляции с постоянной подачей этой воды в круговую распределительную систему, соединенную с данным резервуаром.

Важным условием работы распределительной системы является постоянная циркуляция воды с определенной скоростью. Как показывают многочисленные исследования, при скорости потока воды по трубопроводам, в 1,5 раза превышающей скорость поступления воды на рабочие позиции, с единовременной рециркуляцией неиспользованной воды предотвращается застарение трубопроводов и размножение бактерий.

Основным источником загрязнений воды в процессе транспортировки является распределительный трубопровод. Если на стенках имеются загрязнения или частицы, то они опадают в циркулирующую воду. Таким образом, материал, из которого изготавливаются трубопроводы, краны, прокладки, клапаны, держатели фильтров, является ключевым фактором, определяющим уровень загрязнения воды. В идеальном случае такой материал должен быть совершенно гладким и полностью инертным. Что касается химической стойкости материала трубопроводов, то обязательным условием является отсутствие вымывания ос-

новного компонента и добавок, входящих в состав материала, в воду в процессе эксплуатации, а также материал трубопровода не должен терять свое качество при контакте с химреактивами, особенно с окислителями и горячей водой, которые используются для дезинфекции трубопроводов.

Что касается физической стабильности, то требуется, чтобы материалы выдерживали без деформации в течение длительного времени давление воды в диапазоне от 5 до 10 кг/см<sup>2</sup>. Кроме того, следует отметить, что материал для изготовления труб должен иметь небольшой коэффициент теплового расширения, так как изменение размеров (удлинение или сужение) отрицательно влияет на конструкции с зафиксированными трубами (появление трещин, негерметичностей соединений, изгибов и т. д.).

Наиболее часто в качестве материала для труб, предназначенных для транспортировки сверхчистой воды, используется поливинилхлорид (ПВХ). Это обусловлено его низкой стоимостью, легкостью монтажа трубопроводов, достаточной механической прочностью и приемлемой химической стойкостью. Широкое применение для этой цели также находят трубы из полипропилена (ПП) и поливинилиденфторида (ПВДФ). В последнее время начались работы по применению труб из перфторалкоксивинилового эфира (ПФА) и полиэфир-эфиркетона (ПЭЭК).

Пластики, из которых в дальнейшем делают трубы, обычно проходят следующую технологическую цепочку:

- синтез из мономера порошкообразной смолы;
- грануляция смолы;
- плавление гранул при высокой температуре в экструдере;
- формирование изделий.

В зависимости от типа материала и качества выполнения вышеназванных технологических операций получаемые изделия имеют внутреннюю поверхность разной степени шероховатости. Поры на поверхности изделия из пластика чаще всего наблюдаются на границе гранул, которые при сплавлении не были переведены в истинное вязкотекущее состояние.

В общем, понятно, что трубы с гладкой внутренней поверхностью и меньшим количеством пор имеют преимущества при подаче сверхчистой воды, так как не сорбируют на себя частицы и препятствуют адгезии бактерий.

Классификация материалов для труб и их сортировка требуют способов оценки числа и размеров пор. Наиболее простой метод оценки качества материалов, используемых для изготовления труб, заключается в исследовании состояния их внутренней поверхности с помощью сканирующей электронной микроскопии (СЭМ). Метод СЭМ позволяет оценить количество частиц на поверхности материала и состояние (гладкость) внутренней поверхности изделия.

В таблице 1.4 приведены данные по состоянию поверхности различных материалов: исходных и после выдержки их в воде в течение одного дня при  $T = 20^{\circ}\text{C}$  и в течение 1 дня при  $80^{\circ}\text{C}$  (результаты исследования японских специалистов). Из таблицы 1.4 видно, что материалы ПВДФ и ПЭЭК наиболее устойчивы к образованию пор и имеют более гладкую поверхность.

Таблица 1.4

## Результаты исследований стойкости материалов при выдержке в воде

Наименование материала	Состояние внутренней поверхности	Микропоры		
		Исходный образец	Образец после выдержки при 20°C в течение дня	Образец после выдержки при 80°C в течение дня
ПВХ	XXX	+	+	++
ПП	X	+	+	+
ПВДФ	XX	-	-	-
ПЭЭК	XXX	-	-	-

Гладкость поверхности:

XXX — превосходная;

XX — хорошая;

X — плохая.

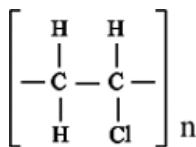
Микропоры:

+ — много;

— — мало.

Рассмотрим более подробно свойства каждого материала, рекомендуемого для изготовления трубопроводов подачи сверхчистой воды.

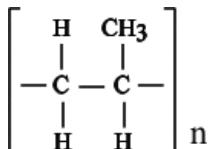
*Поливинилхлорид.* Основным компонентом ПВХ является смола на основе винилхлорида. Молекулярная структура ПВХ имеет вид:



Кроме того, в композицию входят добавки в виде сульфатов четырех- и двухвалентного свинца, стеараты свинца, кальция и бария, а также пигменты (белая двуокись титана) и воск. Соотношение этих добавок меняется от изготовителя к изготовителю. В результате этого в воду, контактирующую с материалом, выделяются различные количества примесей.

Трубы из ПВХ характеризуются большим количеством пор, низкой стойкостью к озону. Кроме этого, при использовании труб из ПВХ наблюдается выделение в воду хлора. Установлено, что концентрация хлорид-ионов после 25 дней выдержки составляла 290 ppm. Эта величина соответствует количеству выделяющихся примесей в 1,7 мг на 1 м<sup>2</sup> внутренней поверхности. Максимальная температура воды при использовании труб из ПВХ не должна превышать 60°C. Трубы из ПВХ обычно используются при создании приборов с топологическими нормами 2 мкм и более.

*Полипропилен.* Молекулярная формула полипропилена (ПП) имеет вид:



Полипропилен — достаточно пластичный материал при повышенных температурах и хорошо поддается сварке.

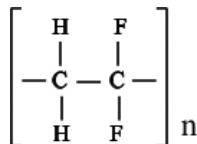
Трубы из полипропилена характеризуются высокой степенью шероховатости и большим содержанием пор на внутренней поверхности. При прохожде-

нии воды через трубы из полипропилена в первоначальный момент в ней обнаруживаются ионы натрия, кальция и сульфат ионы. С повышением температуры количество вышеназванных ионов увеличивается. В процессе эксплуатации трубопровода концентрация этих ионов снижается.

В связи с этим следует, что вводу в эксплуатацию системы раздачи из полипропиленовых труб, должны предшествовать длительная и тщательная промывка.

Максимальная температура использования труб из полипропилена — 100°C.

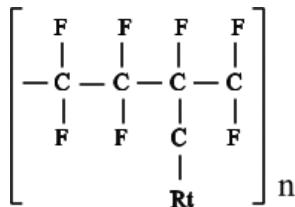
**Поливинилидендифторид.** Молекулярная формула поливинилидендифторида (ПВДФ) имеет вид:



Поливинилидендифторид достаточно инертный материал. Трубы, изготовленные из ПВДФ, имеют очень гладкую внутреннюю поверхность, на ней практически отсутствуют поры.

Материал устойчив в процессе периодической очистки к окислителям. Преимущества ПВДФ особенно очевидны при конструировании системы с использованием озона, для которой этой материал вне конкуренции. При прохождении воды по трубам из ПВДФ в воду выделяются незначительное количество фтор-иона. При повышении температуры воды концентрация фтор-иона увеличивается. В связи с этим необходимо быть предельно внимательным при использовании труб из ПВДФ в системах, непрерывно используемых при повышенной температуре. Температура эксплуатации ПВДФ до 140°C.

**Перфтораллоксивиниловый эфир.** Молекулярная формула перфтораллоксивинилового эфира (ПФА) имеет вид:

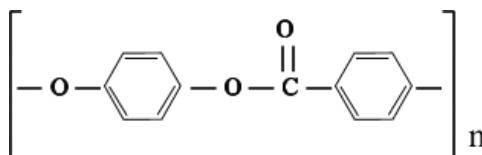


ПФА практически инертный материал. Он широко используется в технологии изготовления интегральных микросхем для изготовления ванн и кассет для химической обработки пластин в агрессивных жидкостях при повышенных температурах.

Трубы, изготовленные из ПФА имеют гладкую внутреннюю поверхность. Аналогично трубам из ПВДФ трубы из ПФА способны выделять в таких же количествах фтор-ион. Предельная температура эксплуатации материала ПФА — 260°C.

Следует отметить, что для соединения труб из ПФА между собой требуется особые сложные технологии.

**Полиэфирэфиркетон.** Молекулярная формула полиэфирэфиркетона (ПЭЭК) имеет вид:



ПЭЭК — достаточно инертный и прочный материал. Обладает высокой теплопроводностью, успешно выдерживает тепловую стерилизацию. У ПЭЭК превосходная теплостойкость, небольшой коэффициент линейного теплового расширения.

Гладкая внутренняя поверхность практически не генерирует микрочастиц. Вода, подаваемая по трубам из ПЭЭК, не загрязняется органическими и ионными примесями.

Предельная температура эксплуатации полиэфирэфиркетона — 152°C.

В таблице 1.5 приведены основные физические характеристики материалов, рекомендуемых для изготовления распределительных систем для сверхчистой воды.

Таблица 1.5

**Основные физические характеристики материалов, применяемых для изготовления распределительных систем деионизованной воды**

Характеристика	ПВХ	ПП	ПВДФ	ПФА	ПЭЭК
Удельный вес (н/м <sup>3</sup> )	1,43	0,91	1,77	2,12–2,17	1,3
Прочность при растяжении (кг/см <sup>2</sup> )	500–550	250	500–600	320	930
Модуль упругости (кг/см <sup>2</sup> )	$2,7 \cdot 10^4$	$1,5 \cdot 10^4$	$1,4 \cdot 10^4$	—	$4 \cdot 10^4$
Коэффициент линейного теплового расширения (1/°C)	$6-8 \cdot 10^{-3}$	$11 \cdot 10^{-3}$	$12 \cdot 10^{-3}$	$12 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-3}$
Удельная теплопроводность (кал/см·с·град)	0,13	0,15–0,2	0,11	0,22	0,22
Предельная температура эксплуатации (°C)	60	100	140	260	152

При создании систем распределения деионизированной воды особое внимание следует уделять монтажу трубопроводов. Монтажные работы систем распределения воды должны выполняться в специальных помещениях с определенным качеством воздушной среды. Помещение должно быть разделено на три зоны:

- зона обработки резанием и зачистки. Зона должна быть снабжена устройством для отсоса стружки;
- зона сварочных работ или зона склеивания;
- зона мокрой очистки трубопроводов и деталей.

Все узлы изготавливаемой системы должны по возможности поставляться к месту сборки в герметичной упаковке. Если это невозможно по техническим причинам, то перед сборкой все составные части трубопроводов подвергаются мокрой очистке. Мокрая очистка труб и деталей должна проводиться неионогенными поверхностно-активными веществами или спирто-водяной смесью.

При монтаже системы раздачи в обязательном порядке должны быть выполнены следующие требования:

- а) путь воды по трубе (от последнего очистного аппарата до точки ее потребления) должен быть минимальным;

Конец ознакомительного фрагмента.  
Приобрести книгу можно  
в интернет-магазине  
«Электронный универс»  
[e-Univers.ru](http://e-Univers.ru)