Как сделать полупроводниковое производство безопасным и эффективным

В микроэлектронике постоянно появляются новые идеи и технические решения. С каждым годом совершенствуется автоматизация производства, технология требует все более высокой точности. Основными этапами производства полупроводниковой продукции являются: вакуумное осаждение, экспонирование, травление, ионная имплантация и диффузия примесей. Во всех этих процессах используются специальные и гидридные газы, многие из которых — легковоспламеняющиеся, отравляющие и агрессивные. В статье рассматривается система газораспределения на производстве, обеспечивающая стабильную и высокоточную подачу газов без снижения уровня их чистоты.

Наталья Шадская

natalia@tronic.com.sg

Введение

Современное производство требует соблюдения точных технологических параметров, обеспечивающих его жизнеспособность. Важное место среди систем жизнеобеспечения в микроэлектронном производстве занимают системы распределения особо чистых специальных и гидридных газов.

На российском рынке имеется достаточный выбор оборудования для систем газораспределения. Несмотря на то что принцип работы различных систем такого оборудования отличается не сильно, класс его исполнения разный. Рассмотрим оборудование газораспределения бизнес-класса.

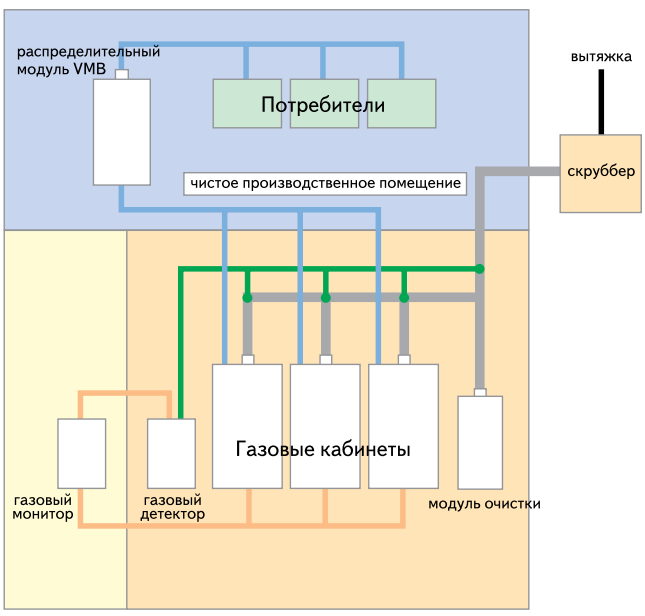

Рис. 1. Схема системы газораспределения

В состав системы газораспределения (рис. 1) производственного предприятия обычно входят: газовые кабинеты и стойки, модульные газовые кабинеты, распределительные модули (VMB), детекторы газа и система управления газораспределением.

Газовый кабинет

Для безопасного использования токсичных и гидридных газов все элементы системы с потенциальной возможностью утечки (запорная арматура, разъемные соединения и т. п.) должны быть размещены в газовых кабинетах. Что же это такое? Почему именно кабинет, а не шкаф? На первый взгляд, на кабинет он вовсе не похож, но если заглянуть внутрь, становится понятно: это сложное техническое устройство, которое просто шкафом не назовешь.

Рис. 2. Газовый кабинет

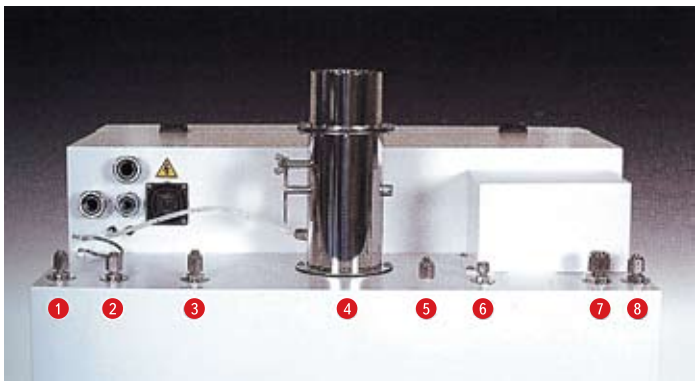

Рис. 3. Технологическая вытяжка:
1 — клапан продувки N_2; 2 — гелевый течеискатель; 3 — процессный клапан; 4 — заглушка; 5 — спринклер; 6 — клапан сжатого воздуха или N_2; 7 — система вентиляции; 8 — клапан общего азота

Газовый кабинет (рис. 2) оснащен автоматическим управлением и редуцированием газовых потоков, системами безопасности, подогрева сжиженных газов, контроля расхода газов, датчиками давления для контроля остаточного давления в баллонах.

Особенно важна функция вытяжки. Для снижения риска возникновения нежелательных последствий при утечке опасных газов или увеличении давления в баллонах для сброса газа на скруббер и дальнейшей очистки в соответствии с нормами ПДК используется технологическая вытяжка.

В каждом газовом кабинете устанавливают датчики утечки газа, чтобы в экстренном случае его подача блокировалась автоматически. Характеристики элементов вытяжки, представленной на рис. 3, приведены в таблице 1.

Газовая стойка

Если газы не представляют опасности, например N_2O, SF_6, He, то баллоны с ними вполне можно устанавливать в газовую стойку (рис. 4), в которой без дополнительных кожухов защиты расположены вентили, регуляторы, сенсоры и фитинги.

Рис. 4. Газовая стойка

Блок управления

Блок управления — это то, что отличает высококлассное оборудование от недорогих аналогов.

Каждый газовый кабинет и газовая стойка бизнес-класса оснащаются блоком управления, состоящим из PLC-контроллера и сенсорного дисплея. Такой блок позволяет легко и быстро настроить (запрограммировать) газовый кабинет в соответствии с производственными задачами.

Модульный газовый кабинет

Специалистам хорошо знакома проблема быстрого расхода «популярного» на производстве газа и ажиотаж, связанный с частой заменой баллонов с ним. Решить эту задачу позволяет модульный кабинет (рис. 5). При большом расходе конкретного газа конструируется единый модуль, состоящий из основного газового кабинета и нескольких связанных с ним второстепенных кабинетов для газа одной марки. Особенность такого модуля — единый блок управления и система запорной арматуры, расположенные в основном газовом кабинете. Таким образом, можно разместить до 14 баллонов с одним и тем же газом, что позволит избежать их частой замены.

Таблица 1. Характеристики элементов вытяжки

Наименование	Размер	Скорость потока	Примечания
Клапан продувки N2	1/4″	45–60 л/мин	Продувка при давлении 4,8–6,8 бар
Гелевый течеискатель	1/4″	–	103 бар
Процессный клапан	1/4–1/2″	–	–
Заглушка	100–150	4–5,5 м³/мин	–
Спринклер	1/2″	145,5 л/мин	2 бар
Клапан сжатого воздуха или N2	1/2–3/8″	30–45 л/мин	4,8–6,8 бар
Система вентиляции	–	50–60 л/мин	–
Клапан общего азота	1/4″	45–60 л/мин	4,8–6,8 бар

Распределительный модуль (VMB)

Обычно на производстве имеется более одной точки потребления газа, например два имплантера. В таком случае устанавливается распределительный модуль (valve manifold box, VMB). Используя его, можно подключить до восьми потребителей в разных точках производственного помещения. VMB имеет функцию автоматической продувки, что значительно упрощает весь процесс обслуживания системы. Кроме того, существует возможность объединения VMB в одну систему с газовыми кабинетами, контроллерами и управлением газораспределением.

Трубопроводы

Важно отметить особенности системы трубопровода специальных газов. Монтаж их производится методом орбитальной бесприсадочной сварки неплавящимся электродом в среде аргона (снаружи и внутри трубы). На трубопроводах вне газовых кабинетов

Рис. 5. Модульный газовый кабинет

Таблица 2. Взаимодействие газов

	AsH_3	B_2H_4	BCl_3	BF_3	C_2H_2	CH_2	Cl_2	ClF_3	CO	CO_2	DCS	F_2	GeH_2	H_2	H_2O	H_2S	H_2Se	HBr	HCl	HF	N_2O	NF_3	NH_3	NO	O_2	PH_3	Si_2H_6	SiF_4	SiH_4	$SiCl_4$	WFB	AlB
AsH_3	0	0	2	3	0	0	2	0	2	1	1	3	0	0	1	1	0	1	1	1	3	3	1	3	3	0	0	3	0	0	3	3
B_2H_4	0	0	2	3	0	0	3	0	2	1	1	3	0	0	3	1	0	2	2	2	3	3	1	3	3	0	0	3	0	0	3	3
BCl_3	2	2	0	0	2	0	0	2	0	1	0	2	2	1	2	2	2	0	0	1	0	0	1	1	0	1	2	0	2	0	0	0
BF_3	3	3	0	0	3	1	0	2	1	1	1	0	2	1	2	2	2	1	1	0	0	0	1	1	0	3	2	0	2	1	0	0
C_2H_2	0	0	2	3	0	0	3	1	2	0	2	3	1	3	1	1	1	3	3	3	3	3	1	2	3	1	1	3	1	3	3	3
CH_2	0	0	0	1	0	0	3	0	2	0	2	3	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3	1	2	3	0	0	2	0	1	2	3
Cl_2	2	3	0	0	3	3	0	2	2	1	0	2	2	3	1	2	1	1	0	0	3	1	3	2	0	3	3	1	3	3	1	0
ClF_3	0	0	2	2	1	0	2	0	2	0	1	3	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3	1	3	3	0	0	3	0	0	3	3
CO	2	2	0	1	2	2	2	2	0	0	2	3	2	2	0	1	1	2	2	2	2	2	1	1	1	2	2	1	3	2	1	1
CO_2	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	2	1	0	0	0	0	1	1	1	0	2	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0
DCS	1	1	0	1	2	2	0	1	2	0	0	3	1	0	2	1	1	1	1	1	2	2	2	3	2	1	1	1	1	1	1	1
F_2	3	3	2	0	3	3	2	3	3	2	3	0	3	3	2	2	2	2	2	2	2	0	2	3	3	3	3	0	3	3	0	3
GeH_2	0	0	2	2	1	0	2	0	2	1	1	3	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3	1	3	3	0	0	3	0	0	3	3
H_2	0	0	1	1	3	0	3	0	2	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3	0	2	3	0	0	3	0	1	3	3
H_2O	1	3	2	2	1	0	1	0	0	0	2	2	0	0	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0	0	1	0	1	1	0
H_2S	1	1	2	2	1	0	2	0	1	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3	1	2	2	0	0	1	0	1	1	2
H_2Se	0	0	2	2	1	0	1	0	1	0	1	2	0	0	1	0	0	0	0	0	3	3	1	2	3	0	0	1	0	1	1	3
HBr	1	2	0	1	3	0	1	0	2	1	1	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1
HCl	1	2	0	1	3	0	0	0	2	1	1	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	2	0	1	1	1	1	0	1	0
HF	1	2	1	0	3	0	0	0	2	1	1	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0	1	1	0	1	1	0	0
N_2O	3	3	0	0	3	3	3	3	2	0	2	2	3	3	0	3	3	0	0	0	0	0	3	1	0	3	3	0	3	3	0	0
NF_3	3	3	0	0	3	3	1	3	2	2	2	0	3	3	1	3	3	1	1	0	0	0	3	2	1	3	3	0	3	3	0	0
NH_3	1	1	1	1	1	1	3	1	1	0	2	2	1	0	1	1	1	1	1	1	3	3	0	2	3	1	2	3	2	2	3	3
NO	3	3	1	1	2	2	2	3	1	0	3	3	3	2	1	2	2	2	2	2	1	2	2	0	1	2	3	1	3	3	1	1
O_2	3	3	0	0	3	3	0	3	1	0	2	3	3	3	0	2	3	1	0	0	0	1	3	1	0	3	3	0	3	3	0	0
PH_3	0	0	1	3	1	0	3	0	2	1	1	3	0	0	0	0	0	1	1	1	3	3	1	2	3	0	0	3	0	1	3	3
Si_2H_6	0	0	2	2	1	0	3	0	2	1	1	3	0	0	0	0	0	1	1	1	3	3	2	3	3	0	0	3	0	0	3	3
SiF_4	3	3	0	0	3	2	1	3	1	1	1	0	3	3	1	1	1	1	1	0	0	0	3	1	0	3	3	0	3	3	0	0
SiH_4	0	0	2	2	1	0	3	0	3	1	1	3	0	0	0	0	0	1	1	1	3	3	2	3	3	0	0	3	0	0	3	3
$SiCl_4$	0	0	0	1	3	1	3	0	2	1	1	3	0	1	1	1	1	1	0	1	3	3	2	3	3	1	0	3	0	0	3	3
WFB	3	3	0	0	3	2	1	3	1	1	1	0	3	3	1	1	1	1	1	0	0	0	3	1	0	3	3	0	3	3	0	0
AlB	3	3	0	0	3	3	0	3	1	0	1	3	3	3	0	2	3	1	0	0	0	0	3	1	0	3	3	0	3	3	0	0

0	не взаимодействуют	1	низкая вероятность реакции	2	высокая вероятность реакции	3	взрыв

не допускаются разъемные соединения. Для транспортировки специальных газов используются трубы из коррозионностойких материалов (обычно из нержавеющей стали марки 316L с электрохимической полировкой внутренней поверхности). Для обеспечения требований чистоты и отсутствия влаги вся система продувается инертным газом (N_2).

После завершения монтажа системы необходимо провести серию тестов по следующим параметрам:

- качество сварных соединений;
- работоспособность системы при избыточном и пониженном давлении;
- наличие частиц;
- влажность;
- содержание кислорода.

Системы очистки выбросов

Эта система предназначена для удаления загрязняющих веществ, образующихся в процессе работы технологического оборудования, и для очистки воздуха при экстренном сбросе опасных газов из газовых кабинетов. Она включает в себя вытяжные системы кислотосодержащих, щелочесодержащих и растворяющих веществ.

Для очистки воздуха используются термальные скрубберы с водяным орошением и скрубберы сухой очистки. Термальные скрубберы обеспечивают температурный режим до 1000 °C с производительностью до 1000 л/мин. Параметры системы проектируются в соответствии с нормами ПДК, установленными региональным законодательством, причем в случае аварийной ситуации или отключения энергоснабжения для обеспечения безопасности персонала система должна продолжить работу.

Автоматическая система управления газораспределением

Это основа системы газораспределения, вся информация о ее функционировании аккумулируется в блоках контроля и мониторинга, что позволяет уменьшить число отказов или, в случае необходимости, моментально внести корректировку в ход работы системы, тем самым в значительной степени снизив производственные дефекты.

В любой момент возможны наблюдение и управление графиком давления, статусом запорной арматуры и сигнализацией, а также контроль объема оставшегося в баллонах газа и его температуры. При неисправности система подает сигнал, указывая точное место и причину произошедшего. Оператор, имеющий доступ к системе управления, вход в которую защищен паролем, в случае экстренной необходимости может отключить систему газораспределения.

Чистота и контроль превыше всего

При изготовлении составляющих системы газораспределения важно выполнение жестких требований к комплектующим, средствам производства и производственным помещениям, причем на каждом его этапе осуществляется контроль качества по стандартам ISO 9000-2001. Все комплектующие проходят входной контроль, основными критериями которого является качество внутренней полировки поверхности запорной арматуры и трубопроводов, а сборка газораспределительных систем производится только в чистых помещениях.

Детекторы газа

В чистых помещениях для решения проблем безопасности устанавливают детекторы газа, чувствительность сенсоров которых настолько высока, что они способны обнаружить даже миллионные доли вещества на ранних этапах утечки.

Размещение оборудования системы на производстве

Газы, представляющие особую опасность и способные входить во взрывоопасную реакцию друг с другом (табл. 2), следует размещать в разных помещениях, категорию опасности которых определяет проектная организация. Все подобные помещения в соответствии с их категорией должны отвечать требованиям взрыво- и пожаробезопасности.

Заключение

Таким образом, при выборе оборудования для оснащения производства рекомендуется руководствоваться следующими критериями:

- легкость наладки и технического обслуживания;
- минимизация риска скопления опасных газов;
- эффективная программа автоматической очистки;
- минимизация занимаемого оборудованием пространства;
- высокий уровень безопасности работы оператора;
- легкость программирования и управления оборудованием;
- возможность производства оборудования на заказ в соответствии с выдвигаемыми требованиями.

Проектирование и монтаж системы газораспределения требуют опыта и профессионализма, поэтому работы, связанные с такими системами, должны выполняться специализированными и лицензированными организациями. Важно также не экономить на качестве оборудования, отдавая предпочтение зарекомендовавшим себя маркам. Только в этом случае можно гарантировать, что производство станет по-настоящему безопасным и эффективным.