

1.23. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ЭЛЕКТРОННОЙ ГИГИЕНЫ

Цель лекции: *изучение методов и средств электронной гигиены.*

1.23.1. ВЛИЯНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЙ НА ПРОИЗВОДСТВО ЭЛЕМЕНТОВ ПРИБОРНЫХ УСТРОЙСТВ

Изготовление надежных приборов, способных работать в течение длительного времени является одной из важных задач как разработчиков, так и технологов. Известно, что электрические параметры электронных полупроводниковых приборов, стабильность их работы и долговечность зависят от качества и состояния поверхности полупроводниковых пластин. При контакте полупроводниковых пластин с различными технологическими средами, с атмосферным воздухом на поверхности адсорбируются атомы и молекулы различных веществ, которые классифицируются как загрязнения. Надежность, качество и процент выхода годных приборов в значительной степени зависят от загрязнений, вызываемых, прежде всего механическими частицами. В процессах фотолитографии механические частицы приводят к искажению формируемого рисунка и, как следствие, к отказам в работе приборов. Присутствие инородных частиц на поверхности полупроводниковой подложки, подверженной ионной имплантации, приводит к рассеянию ионного пучка, в результате чего доза имплантированных ионов будет отличной от нормы. Возникают локальные участки с отличающейся электропроводностью, которые являются причиной возрастания токов утечки или короткого замыкания с полупроводниковой подложкой. При выращивании эпитаксиальных слоев загрязнения приводят к дефектообразованию, проявляющемуся в виде вздутий, бугорков, трещин, проколов.

Механические загрязнения имеют различный состав и могут содержать органические вещества, металлические примеси. Вредное действие органических загрязнений состоит в том, что они разлагаются при нагревании, а также под действием ионной и электронной бомбардировки, выделяя газообразные продукты (CO , CO_2 , H_2 , H_2O , O_2 и др.), ухудшающие условия осаждения и роста тонких пленок, эпитаксиальных слоев и т.д.

Металлические загрязнения могут попадать на поверхность полупроводниковых пластин до или после химической обработки. Остаточные либо привнесенные загрязнения металлов проникают в приповерхностный слой полупроводниковой пластины, нарушая характеристики работы транзистора, ухудшают результаты термического окисления, изменяют время жизни носителей заряда и т.д.

Загрязнения металлов могут диффундировать в глубь кристалла во время высокотемпературных обработок, образуя энергетические уровни в запрещенной зоне, увеличивая токи утечки. Наиболее распространены загрязнения

микрочастицами железа, так как железо содержится во многих металлических элементах оборудования. Остатки травителей на основе водных растворов плавиковой кислоты, в состав которых входят металлические примеси, оставляют механические загрязнения на поверхности кремния. Наиболее опасными примесями для полупроводниковых изделий являются тяжелые металлы – Fe, Cu, Ni, Zn, Cr, Au, Hg, Ag. К примеру, для технологии с минимальными топологическими нормами 0,6 мкм уровень опасных примесей металлов, включая Ni, Cu, Na, менее $5 \cdot 10^{10}$ ат./см², для технологии с нормами 250 нм – менее $2,5 \cdot 10^{10}$ ат./см², для технологии 180 нм - менее $1,3 \cdot 10^{10}$ ат./см².

1.23.2. ТРЕБОВАНИЯ К ЭЛЕКТРОННОЙ ГИГИЕНЕ

Электронная гигиена - комплекс обязательных требований, норм, средств и мероприятий, направленных на обеспечение заданных параметров технологического микроклимата с целью защиты изделий от неблагоприятных внешних воздействий в процессе производства (ГОСТ Р 50116-92).

Воздушная среда характеризуется запыленностью, температурой, относительной влажностью, скоростью воздушного потока и его ламинарностью, избыточным давлением, уровнем вибрации и шума, напряженностью электромагнитного поля, уровнем электростатического заряда. Поэтому необходимо создавать технологический микроклимат.

На рис. 1.216. представлена диаграмма распределения источников загрязнения в электронном производстве.

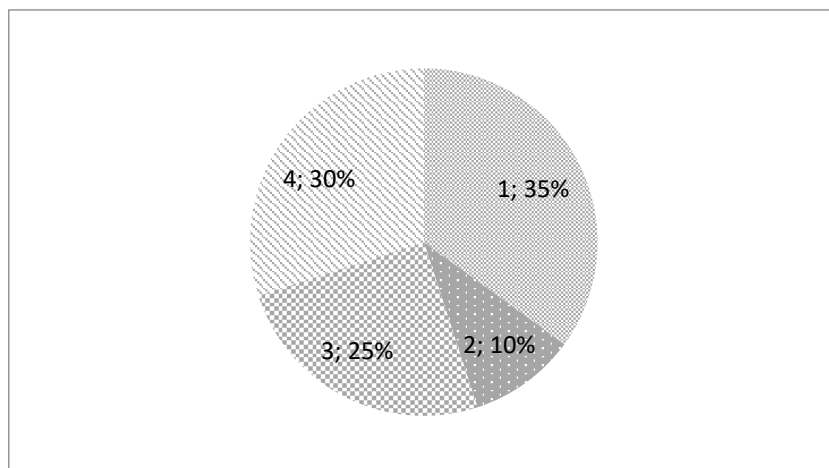


Рис. 1.216. Диаграмма распределения источников загрязнения
1 – Персонал; 2 - Технологические среды; 3 – Оборудование; 4- Помещение

К основным источникам загрязнений относят:

1) персонал (его численность, одежда, парфюмерия, волосы, отпечатки пальцев, продукты дыхания); этот источник загрязнения по эмпирическим данным составляет 30 - 40% от общего количества загрязнений;

2) технологические среды (загрязнения от используемой воды, газов, химических реактивов); они составляют 5 -10% от общего числа загрязнений;

3) технологическое оборудование (конструкция, принципы действия, материалы, инструмент, тара для хранения пластин); вклад составляет 20 - 30% от общего числа;

4) производственное помещение и технологический процесс (пыль, водяные пары, пары масел); вклад составляет 25 - 35% от общего числа загрязнений.

В соответствии с ГОСТ Р ИСО 14644-1-2017 чистое помещение (cleanroom)– этопомещение, в котором контролируется концентрация аэрозольных частиц и которое спроектировано, построено и эксплуатируется так, чтобы свести к минимуму поступление, выделение и удержание частиц в нем.

Чистые помещения и связанные с ними контролируемые среды обеспечивают контроль загрязнения воздуха и, если необходимо, поверхностей, в целях поддержания допустимого уровня загрязнений в чувствительных к ним процессах.

В табл. 1.37. представлены стандарты ISO 14644 «Чистые помещения и связанные с ними контролируемые среды».

Таблица 1.37.

Стандарты ISO 14644 «Чистые помещения и связанные с ними контролируемые среды».

Номер документа	Краткое наименование
ISO 14644-1	Классификация чистоты воздуха
ISO 14644-2	Требования к контролю и мониторингу для подтверждения постоянного соответствия ISO 14644-1
ISO 14644-3	Методы испытаний
ISO 14644-4	Проектирование, строительство и ввод в эксплуатацию
ISO 14644-5	Эксплуатация
ISO 14644-6	Термины и определения

ISO 14644-7	Изолирующие устройства (боксы перчаточные, укрытия с чистым воздухом и т.д.)
ISO 14644-8	Классификация молекулярных загрязнений в воздухе
ISO 14644-9	Классификация чистоты поверхности по концентрации частиц

В табл. 1.38. Представлены классы чистоты помещений.

Таблица 1.38.

Классы чистоты помещений ISO 14644-1:2015

Класс чистоты	Предельно допустимые концентрации частиц, частиц/м ³ , с размерами, равными или большими следующих значений ^a						
	1	2	3	4	5	6	7
N	≥ 0,1 мкм	≥ 0,2 мкм	≥ 0,3 мкм	≥ 0,5 мкм	≥ 1 мкм	≥ 5 мкм	
ISO 1	10 ^b	2	d	d	d	e	
ISO 2	100	24 ^b	10 ^b	d	d	e	
ISO 3	1 000	237	102	35 ^b	d	e	
ISO 4	10 000	2 370	1 020	352	83 ^b	e	
ISO 5	100 000	23 700	10 200	3 520	832	d,e,f	
ISO 6	1 000 000	237 000	102 000	35 200	8 320	293	
ISO 7	c	c	c	352 000	83 200	2 930	
ISO 8	c	c	c	3 520 000	832 000	29 300	
ISO 9	c	c	c	35 200 000	8 320 000	293 000	

^a - все концентрации в таблице являются кумулятивными, например, для класса 5 ИСО число 10200 частиц/м³ для порогового размера 0,3 мкм включает все частицы, размеры которых равны или превышают это значение;

^b - при этих концентрациях объем пробы, необходимый для классификации, становится слишком большим и может применяться последовательный отбор проб;

^c - в этой части таблицы пределы концентраций частиц не устанавливаются ввиду их очень высоких значений;

^d - классификация не предусматривается из-за ограничений, связанных с отбором проб и статистическим анализом при малых концентрациях частиц;

^e - классификация не предусматривается из-за ограничений на время отбора проб как при низких концентрациях частиц, так и при размерах частиц более 1 мкм из-за возможной потери частиц в системе отбора проб;

^f - для этих размеров частиц при классе 5 ИСО может использоваться дескриптор макрочастиц (M дескриптор) совместно по крайней мере с одним из других размеров частиц.

В таблице 1.39. Представлено соответствие различных стандартов

Таблица 1.39.

Соответствие различных стандартов

ГОСТ ИСО 14644-1	ГОСТ Р 50766-95	Стандарт США 209Е	Стандарт США 209D
1ИСО	P1	-	-
2ИСО	P2	-	-
3ИСО	P3(1)	М 1,5	1
4ИСО	P4(10)	М 2,5	10
5ИСО	P5(100)	М 3.5	100
6ИСО	P6(1000)	М 4,5	1000
7ИСО	P7(10000)	М 5,5	10000
8ИСО	P8(100000)	М 6,5	100000
9ИСО	P9(1000000)	-	-

От класса чистоты помещений очень сильно зависит процент брака в производстве микросхем. Чистые помещения в микроэлектронике обеспечивают выпуск высококачественных, так называемых годных микросхем – интеллектуальной основы всей современной техники.

1.23.3. ТРЕБОВАНИЯ К ЧИСТЫМ ПОМЕЩЕНИЯМ

Одной из ключевых характеристик в производстве микросхем является минимальный топологический или минимально-контролируемый размер. В свете стремительного развития нанотехнологий это настолько крохотная величина, что угрозу для нее представляют даже частицы размером с молекулу. Сегодня расстояния в микросхемах измеряются в десятых и сотых долях микрона и даже меньше. Это значит, что каждый микроб, каждый ион химических соединений, используемых в производстве, каждая частичка испарений с поверхностей приборов, участвующих в технологическом процессе и вообще любой элемент, невидимый невооруженным глазом, могут создать в микросхеме критический дефект, т.е. брак. И если не устранить из окружающего воздуха циркулирующие в нем микрочастицы, количество бракованных чипов будет нарастать.

И еще один нюанс: в микроэлектронике оперируют очень маленькими размерами и классы чистоты помещений здесь, как правило, одни из самых высоких. Такая стерильность не может быть достигнута исключительно контролем и поддержанием должных параметров стерильности, поэтому упор делается на так называемые «безлюдные технологии» с практически 100% автоматизацией технологического процесса. Но в отсутствие человеческого фактора на первый план выходят другие источники загрязнения, в первую

очередь, химические, поскольку в современном микроэлектронном производстве используют десятки самых разнообразных химических соединений, частицы которых могут стать причиной серьезного брака. Поэтому особое внимание в нанодиапазоне уделяется контролю именно химических загрязнений. Для решения проблемы применяются специальные конструкции помещений рис. 1.217. и особая система фильтрации, поскольку традиционно используемые герметики и фильтры НЕРА сами активно выделяют в окружающую среду бор и прочие химические элементы, легирующие кремниевые структуры чипов и снижающие ихгодность. В чистых помещениях должен существовать предел, ограничивающий максимальную скорость воздушного потока, но имеется также и нижний предел, связанный со временем восстановления ламинарности потока. Оптимальной является скорость потока $0,2 - 0,4 \text{ м/с}$. В чистом помещении поддерживается давление воздуха несколько больше, чем снаружи. Благодаря этому микрочастицы из окружающей среды не могут попасть внутрь помещения.

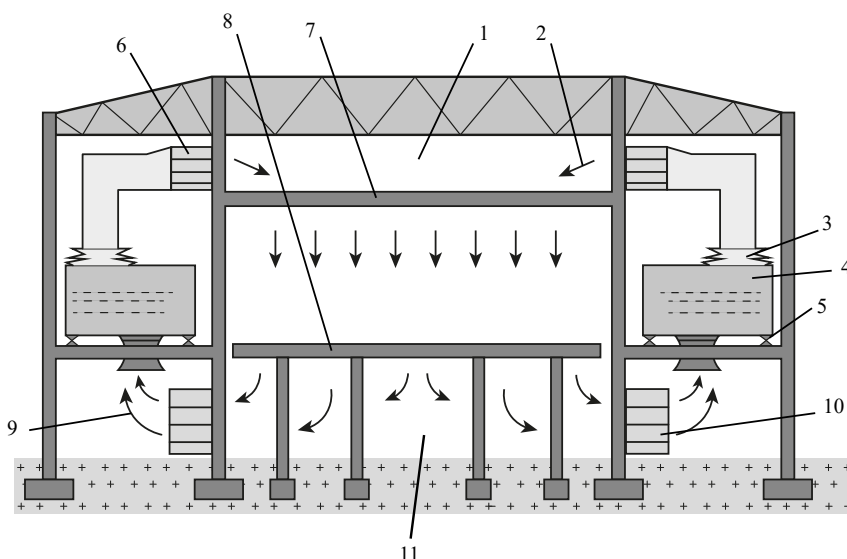


Рис. 1.217. Концепция чистого помещения

1 – камера статического давления; 2 – направление движения воздуха; 3 – гибкая вставка; 4 – вентиляционная система; 5 – виброизолятор; 6 – верхний шумоглушитель; 7 – потолочные НЕРА фильтры; 8 – перфорированный пол; 9 – направление возврата воздуха на рецикл; 10 – нижний шумоглушитель; 11 – подпольное пространство для рецикла воздуха

В табл.1.40. Представлена характеристика чистых помещений для производства СБИС.

Таблица 1.40.

Характеристика чистых помещений для производства СБИС

Технологическая операция	Класс чистоты			
	ИСО1	ИСО2	ИСО3	ИСО4
Фотолитография	+			
Эпитаксия	+	+		
Нанесение функциональных слоев		+		
Формирование рисунка (травление)		+	+	
Сборка		+	+	
Хранение				+

Как видно из табл.1.40. самыми критичными к чистоте помещения являются операции фотолитографии и эпитаксии.

ТЕСТЫ К ЛЕКЦИИ

Вопрос 1	К чему приводит наличие механических частиц в воздушной среде при фотолитографии?
Ответы:	
1	Приводит к искажению формируемого рисунка
2	Приводит к необходимости увеличивать время экспонирования
3	Приводит к необходимости уменьшать время экспонирования
Вопрос 2	К чему приводит присутствие инородных частиц на поверхности полупроводниковой подложки, подверженной ионной имплантации?
Ответы:	
1	Приводит к рассеянию ионного пучка, в результате чего доза имплантированных ионов будет отличной от нормы
2	Приводит к необходимости увеличивать скорость потока ионов
3	Приводит к необходимости уменьшать скорость потока ионов
Вопрос 3	К каким дефектам приводит наличие механических частиц при эпитаксии?
Ответы:	
1	Приводит к дефектообразованию, проявляющемуся в виде вздутий, бугорков, трещин, проколов
2	Приводит к возникновению линий дислокации
3	Приводит к возникновению пор и трещин

Вопрос 4	В чем заключается вредное действие органических загрязнителей при производстве интегральных схем?
Ответы:	
1	Разлагаются при нагревании, а также под действием ионной и электронной бомбардировки, выделяя газообразные продукты, ухудшающие условия осаждения и роста тонких пленок, эпитаксиальных слоев и т.д.
2	Ухудшают условия наблюдения в оптический микроскоп
3	Ухудшают условия наблюдения в электронный микроскоп
Вопрос 5	Что такое электронная гигиена?
Ответы:	
1	Электронная гигиена - комплекс обязательных требований, норм, средств и мероприятий, направленных на обеспечение заданных параметров технологического микроклимата с целью защиты изделий от неблагоприятных внешних воздействий в процессе производства
2	Электронная гигиена – это способы очистки электронных изделий от микробов
3	Электронная гигиена – это комплекс мероприятий, обеспечивающих стерильную поверхность электронных компонентов
Вопрос 6	Что относят к основным источникам загрязнений при производстве электронных изделий?
Ответы:	
1	Персонал, технологические среды, оборудование, помещение
2	Пыль во внешней среде
3	Ионизирующие излучения
Вопрос 7	Что такое чистое помещение?
Ответы:	
1	Это помещение, в котором контролируется концентрация аэрозольных частиц и которое спроектировано, построено и эксплуатируется так, чтобы свести к минимуму поступление, выделение и удержание частиц в нем
2	Это помещение, в котором произведен комплекс очистительных мероприятий и проведена проверка чистоты
3	Это помещение, полностью изолированное от внешней среды и в котором откачан воздух
Вопрос 8	Какое давление воздуха в чистом помещении?
Ответы:	
1	Несколько больше, чем снаружи
2	Несколько меньше, чем снаружи
3	Такое же, как и снаружи