

УДК 621.3.049.77(045)

В. М. Синеглазов, д-р тех. наук, проф.,
В. Н. Федосенко

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЧИСТЫХ ПОМЕЩЕНИЙ ДЛЯ МИКРОЭЛЕКТРОННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Институт аэрокосмических систем управления НАУ, e-mail: svm@nau.edu.ua

Предложена структура системы автоматизированного проектирования чистых помещений для микроэлектронной промышленности, определен перечень систем контроля, обеспечивающих выполнение нормативных требований, предъявляемых к чистому помещению.

Ключевые слова: чистое помещение, автоматизированное проектирование, системы мониторинга и сигнализации.

Введение. Требование к пространству, в котором должны быть обеспечены почти идеальные условия для реализации технологических процессов при производстве микроэлектроники были и остаются очень жесткими. Высокое качество изделий, постоянная борьба за повышение производительности требуют точного контроля и координации между технологическим оборудованием, инженерным обеспечением и организацией работ, и всё это базируется на точном соблюдении параметров окружающего пространства, основывающимся, в свою очередь, на современных технологиях чистых помещений. Под чистым помещением понимается помещение, в котором контролируется счетная концентрация аэрозольных частиц которое построено и используется так, чтобы свести к минимуму поступление, генерацию и накопление частиц внутри помещения и в котором при необходимости контролируются другие параметры, например, температура, влажность и давление. Чистые помещения классифицируются по степени чистоты воздуха в них. Класс чистоты изменяется в зависимости от состояния, в котором находится чистое помещение. Класс чистоты помещений при производстве приборов микроэлектроники может меняться от 1 до 10 0000.

Производители приборов микроэлектроники очень широко используют чистые помещения. Современные технологические операции проводятся почти на молекулярном уровне, а с точки зрения физики процесса работа изделия зависит от чистоты материала, измеряемой на уровнях ниже, чем один атом примеси на триллион атомов основного вещества.

В данное время наиболее важными проблемами при проектировании чистых помещений являются:

- сокращение сроков проектирования;
- экономия материалов и энергоресурсов.

Данные проблемы могут быть успешно решены путем использования современных информационных технологий, которые основаны на использовании CALS-технологий, направленных на создание и развитие методов проектирования и соответствующего программного обеспечения. Эта стратегия базируется на программном техническом обеспечении и стандартах на подачу и обмен информации.

В соответствии с требованием современных международных стандартов основным пространством создания, сохранения и передачи информации становится электронное пространство. Чистое помещение представляется электронным макетом, компоновка которого должна производиться на ЭВМ.

Объемно-планировочные и конструктивные решения чистых помещений. Чистые помещения предлагается проектировать по схеме «помещение в помещении», когда более чистое помещение располагается внутри другого помещения, окружающего его со всех

сторон. Это предохраняет чистые помещения от потери тепла, нарушения баланса воздухообмена, конденсации влаги на окнах, проникновения солнечных лучей.

Целесообразно осуществлять расположение зон технического обслуживания, коммуникаций и трубопроводов вне чистых помещений или в менее чистых зонах.

Учитывая то, что чистое помещение – дорогостоящее сооружение, площадь чистых помещений принята минимальной, но с учетом перспективы развития. Чистые зоны по своей форме повторяют рабочие зоны оборудования.

Для обзора деятельности внутри чистых помещений без их осмотра в стеновых панелях предусматривается достаточное количество окон.

В помещениях класса чистоты «100 000» возможно использование бесшовного износостойкого ПВХ-покрытия.

В отделении химической обработки слитков и отделении травления сырья предусмотрено химически стойкое из винилопластовых листов.

В помещениях уборных и душевых – керамическая плитка с гидроизоляцией.

Желательно применение защитных покрытий например, ковриков, дорожек, которые снимают загрязнение с подошвы обуви или колес тележки.

Полы должны быть гладкими, без раковин и пор, но и противодействовать скольжению, легко мыться и дезинфицироваться, быть износостойкими, устойчивыми к воздействию случайно пролитых или рассыпанных агрессивных веществ, обладать необходимыми антистатическими или электропроводными свойствами. Они не должны сами выделять загрязнения. Пол должен выдерживать требуемое статистическое и динамическое воздействие требуемой продолжительности, не допускать трещин и изломов.

Перегородки чистых помещений проектируются из сертифицированных трехслойных панелей из цинкованной стали, заполненных минераловатыми плитами из базальтного волокна. Панели имеют предел огнестойкости один час. Трехслойная конструкция панелей повышает их теплоизолирующие и звукоизолирующие качества. Наружные поверхности панелей покрыты антистатической краской, предотвращающей накопление статистического электричества и стойкой к антисептическим растворам.

В остекленных панелях примыкание стекла к поверхности панелей выполняется в одной плоскости, чтобы избежать выступов. Стеновые панели представляют собой трехслойную конструкцию из двух слоев оцинкованного профлиста и теплоизоляционного слоя из базальтового волокна. Профлист имеет одностороннее эмалевое покрытие. Огнестойкость панелей составляет один час.

В помещениях используются герметичные потолки из панелей, выполненных из оцинкованной стали, наружные поверхности которых покрыты антистатической краской, предотвращающей накопление статистического электричества и стойкой к антисептическим растворам.

Применение герметичных потолков обеспечивает защиту чистого помещения от загрязнений, находящихся в запотолочном пространстве. Конструкция потолка и крепление панелей, светильников, вентиляционных блоков исключают их влияние на воздушный поллок и обеспечивают удобство замены и обслуживание в условиях чистого помещения.

Предусматриваются применение металлических дверей, окрашенных антистатической краской и снабженных уплотнениями в притворах и механизмами для самозакрывания. Стыки панелей перегородок, панелей потолка, светильников и вентиляционных блоков обеспечивают герметичность стыков и единую поверхность благодаря применению упругих прокладок и заполнению швов белым силиконовым герметиком.

Примыкания потолка к стенам, стен к полу и стен в углах помещений предусмотрены скругленными. Благодаря гладким поверхностям и закругленным профилям в местах примыкания конструкций и покрытия пола обеспечивается удобство уборки помещений.

Отделка поверхностей стен и перегородок выполняется матовыми красками белого цвета, покрытие пола (бесшовным линолеумом или наливное) светлых тонов обеспечивают благоприятное для глаз восприятие и не создают бликов на поверхности.

Принятая высококачественная отделка поверхностей стен в помещении, расположенных рядом с «чистым», обеспечивает, как и отделка «чистых помещений», прочность и долговечность, износостойкую поверхность, устойчивость к воздействию моющих и дезинфицирующих веществ, влагостойкость и устойчивость к образованию плесени.

Кроме того, с целью недопущения проникновения паров кислот в другие производственные помещения предусматривается контроль перепада давления воздуха между следующими помещениями:

- чистый коридор – коридор;
- чистый коридор – отделение сушки сырья;
- чистый коридор – чистый коридор;
- чистый коридор – отделение компоновки «n»;
- чистый коридор – отделение компоновки «Si-poli»;
- зона обслуживания – отделение компоновки «p»;
- зона обслуживания – отделение травления сырья.

В «чистом» помещении однонаправленный воздушный поток движется от потолка, состоящего из высокоэффективных фильтров, вниз через пол чистого помещения. Этот тип чистого помещения обычно используется для помещений площадью более 1000 м. В некоторых проектах возврат воздуха осуществляется через камеры, расположенные под фальшполом, в то время, как в других вариантах имеются большие подпольные пространства для технического обслуживания.

В «чистом» помещении зального типа потолок из высокоэффективных фильтров снабжает чистым воздухом всю комнату безотносительно к реальным нуждам. Воздух лучшего качества необходим там, где находится изделие, а в других местах будет приемлем и менее чистый воздух. На базе такой концепции проектируются более дешевые чистые помещения, в которых сервисные коридоры, соответствующие более низкому классу чистоты, чередуются в виде «гребенки» с чистыми туннелями более высокого класса, где и проходит работа с продукцией.

Оборудование встроено в перегородки так, чтобы подвод трубопроводов находился в сервисных коридорах. Обслуживающий персонал может получить доступ к технологическому оборудованию, не входя в чистое помещение, где проводится технологический процесс по производству микроэлектроники. В чистых помещениях зального типа это также возможно, но требует установки дополнительных стеновых перегородок, обеспечивающих выделение чистых туннелей и сервисной зоны. Такие перегородки можно демонтировать и вновь собирать в разных конфигурациях по мере необходимости.

В «чистых» помещениях проектируется однонаправленный поток воздуха. Схема воздушораспределения в производственных «чистых» помещениях – сверху-вниз-в сторону, в коридорах – сверху-вниз-вверх.

Очистка воздуха, подаваемого в помещения класса чистоты 100000, запроектирована трехступенчатой.

На первой ступени предусматривается карманный фильтр класса G4, на второй – F7, на третьей – класса H13 (высокоэффективный фильтр HEPA).

Фильтры устанавливаются:

- первая ступень – на входе в кондиционер;
- вторая ступень – на выходе из кондиционера;
- третья ступень – непосредственно перед воздухоподаточными устройствами.

Подача отфильтрованного воздуха поддерживает положительный перепад давления в помещениях более высокого класса чистоты с учетом эксфильтрации воздуха через щели дверного проема 7,5 – 25 Па по отношению к окружающим зонам более низкого класса.

В помещениях тамбуров подается воздух для создания и поддержания избыточного давления в них 20 Па.

Общеобменная вытяжная вентиляция из отделения травления В5 обеспечивает восьмикратный воздухообмен, необходимый на случай возможной аварии в этом помещении и поэтому является в том числе и аварийной. Вентагрегаты системы В5 (АВ) запроектированы с автоматическим включением резерва. Включение вентагрегатов данной системы заблокировано с газоанализаторами.

Для локализации вредных веществ над технологическим оборудованием проектируются местные отсосы.

Предусматривается контроль концентрации паров фтористой и азотной кислот и в помещениях модуля химии и компоновки.

С целью обеспечения минимальной 50 %-й производительности в системах кондиционирования «чистых» помещений запроектировано по две рабочих установки.

Вытяжная система местных отсосов В4 предусматривается с резервным вентагрегатом. Резервный вентагрегат автоматически включается при остановке рабочего автоматического включения резерва.

Воздух системы В1 перед выбросом в атмосферу проходит через карманный фильтр класса G4 для очистки от кремниевой пыли.

В сервисную зону обычно подается меньшее количество воздуха, и его чистота соответствует более низкому классу. Чистые туннели могут быть спроектированы так, чтобы обеспечить разные классы чистоты. Однонаправленный воздушный поток может идти от потолка или стены, поверхность которых целиком состоит из фильтров; в системах, не требующих самого высокого класса чистоты, фильтры могут не занимать 100 % поверхности.

С целью повышения уровня чистоты в полупроводниковом производстве используются минизоны. В минизонах для изоляции наиболее чувствительного загрязнения или критического производственного участка применяется физический барьер (как правило, ограждение из стекла, пластиковой плёнки или листов).

Системы мониторинга и сигнализации в полупроводник производстве имеют очень высокий приоритет, а при проектировании им уделяется огромное внимание. Проектировщик должен принять во внимание:

- чистоту и физическое состояние жидкостей, технологических газов и окружающего воздуха;
- безопасность персонала, завода и технологического оборудования ;
- объём и качество выпускаемой продукции;
- отношение с населением, а также возможные выбросы сильно пахнущих и токсичных веществ;
- требования государственных органов надзора по проведению контроля, измерений и записи параметров;
- состояние оборудования и технологических систем, а также предотвращение несанкционированного доступа к системам контроля и управления.

Очевидно, что одна система не может контролировать все эти факторы одновременно. Разработка такой системы была бы не менее, если не более сложной по сравнению с разработкой технологии производства самих изделий.

Проектирование чистых помещений предусматривает проектирование систем контроля.

Системы контроля. В качестве систем контроля следует использовать: систему контроля содержания токсичных газов и жидкостей в воздухе чистого помещения; систему мониторинга параметров воздуха; систему анализа содержания примесей в газах по данным

непрерывного мониторинга; систему автоматического измерения концентрации вредных веществ в газообразных выбросах и жидких стоках; систему контроля деионизованной воды; система пожарной сигнализации; система безопасности.

Система контроля содержания токсичных газов и жидкостей в воздухе чистого помещения. Датчики системы должны иметь чувствительность, обеспечивающую регистрацию концентраций на порядок ниже, чем значение предельно допустимой концентрации. Предельно допустимая концентрация – это концентрация, при которой возможна безопасная работа персонала в течении восьми часов. Датчики должны работать в режиме реально времени. Не следует применять приборы, использующие отложенный во времени анализ.

Сигнал тревоги должен:

- звучать громко, чтобы его безошибочно опознавали как в производственной зоне, так и в помещении контроля безопасности (на центральном пульте);
- обеспечивать визуальную сигнализацию (мигающий свет);
- извещать службы секретности, безопасности, пожарной охраны;
- записывать подобную информацию в базу данных обслуживающего компьютера;
- автоматически отключать подачу токсичных газов и жидкостей;
- исполнять другие функции автоматики, например, включать водяную спринклерную систему при утечке пирофорных газов.

Система мониторинга параметров воздуха. Мониторинг температуры и относительной влажности, а также наличия паров кислот и растворителей в воздухе чистого помещения требуется в относительно малом количестве точек. Мониторинг концентрации частиц должен проводиться в воздушных потоках, контактирующих с продуктом, с высокой частотой и в точках, максимально приближенных к изделию. В среднем в производственной зоне для изготовления пластин должно быть установлено несколько сотен датчиков частиц, расположенных в наиболее критических зонах.

При предварительном планировании необходимо решить:

- какие данные и когда должны быть получены;
- где, в каком виде и как долго они должны сохраняться, а также в каком виде и как часто их необходимо представлять.

Компьютер должен быть запрограммирован так, чтобы обеспечить отображение на дисплее значений текущих параметров, кратких сведений по прошлым данным, главным образом описание отказов (сбоев). В программе должно быть определено предельное время хранения информации перед автоматическим стиранием.

Система анализа содержания примесей в газах по данным непрерывного мониторинга. Проверяются все технологические газы на предприятии, включая осушенный воздух, сжиженный газ и баллонные газы. Все данные вводятся в компьютер и анализируются аналогично системе контроля воздуха, т. е. немедленно отмечаются отклонения от технических условий или сбой; выводятся текущие параметры; изменение данных за последнее время, а также информации, запрещенной для удаления.

Система автоматического измерения концентрации вредных веществ в газообразных выбросах и жидких стоках. Ее применение может быть предписано в законодательном порядке. Обычно такие данные собираются, анализируются, оформляются, хранятся специализированными государственными органами. Эти данные также могут вводиться в компьютерную программу. Отличие от ранее описанных систем заключается в том, что срок хранения данных в компьютере и на жестких носителях определяется правовыми нормами.

Система контроля деионизованной воды. Требования к деионизованной воде в последнее время стали значительно выше, чем это было несколько лет назад. Раньше стандарт определял достаточным для чистой воды иметь электрическое сопротивление 18 МОм. В настоящее время известно, что содержание ионов железа, кремния,

гидрокарбонатов и хлора в концентрации одна часть на триллион убийственно для микросхем, а между тем такие концентрации почти не влияют на электрическое сопротивление воды. Наличие бактерий может оказать губительный эффект на качество эпитаксиального слоя, и их фрагменты могут даже повлиять на выход годной продукции.

Ужесточение требований к параметрам деионизованной воды требует более строгого производственного контроля. К сожалению, некоторые параметры не могут оцениваться приборами, установленными непосредственно на линии (on-line) и в режиме реального времени, а должны определяться в лаборатории. Такая практика будет продолжаться до тех пор, пока не будет разработано соответствующее инженерное оборудование.

Система пожарной сигнализации. Рекомендации по ее проектированию изложены.

Система безопасности. Это система от типа продукции. Однако в любом случае необходимо, чтобы информация от основных систем мониторинга, управления и сигнализации собиралась в центре управления службы безопасности. Это делается для того, чтобы на основе имеющейся информации обеспечить адекватную реакцию на любую чрезвычайную ситуацию и связаться с соответствующими службами.

Выводы. Предложен подход к автоматизированному проектированию чистых помещений в микроэлектронной промышленности основанный на использовании системного подхода и метода декомпозиции общей задачи на отдельной подзадачи. Определен перечень систем контроля, обеспечивающих функционирование чистых помещений.

Список литературы

Вильям У. Проектирование чистых помещений / У. Вильям. – М.: Клинрум, 2004. – 360 с.

В. М. Синеглазов, В. М. Федосенко

Автоматизоване проектування чистих приміщень для мікроелектронної промисловості
Запропоновано структуру системи автоматизованого проектування чистих приміщень для мікроелектронної промисловості, визначено перелік систем контролю, що забезпечують виконання нормативних вимог, що ставлять до чистого приміщення.

V. M. Sineglazov, V. N. Fedosenko

Automate the design of clean rooms for industries mikroelektronnoy

The structure of computer-aided design of cleanrooms for the microelectronics industry, a list of monitoring systems to ensure implementation of regulatory requirements for clean room.