

# Гибридно-пленочные интегральные микросхемы. Чистые помещения

**В свете последних событий, происходящих в России, наблюдается растущий интерес к микроэлектронике (МЭ). Это не может не радовать, поскольку МЭ — область электроники, в которой наша страна занимала когда-то лидирующие позиции. Потом были 1990-е, «лучшим образом» сказавшиеся на развале того задела, который создавался на протяжении нескольких десятилетий. И нам обидно за людей, переживших развитие, становление и... полный развал МЭ промышленности.**

**Максим Шмаков**

mxm-shmakov@yandex.ru

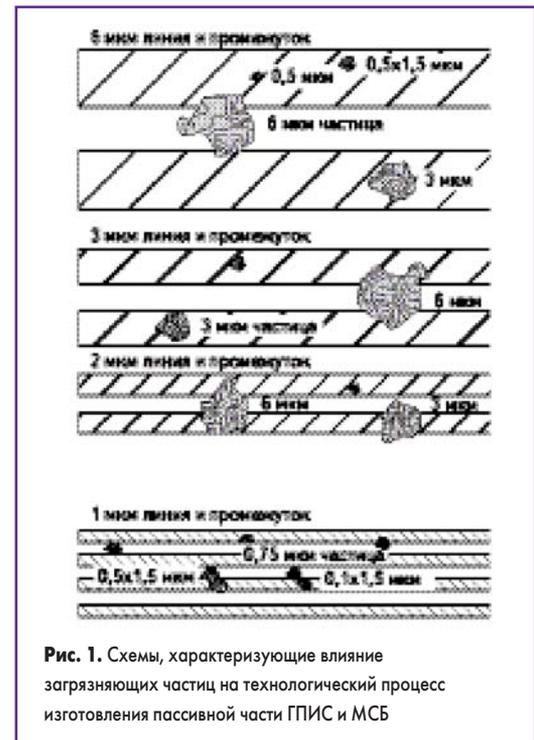
**Елена Теплякова  
Валерий Паршин,  
К. Т. Н.**

Сейчас многие компании открывают отделы микроэлектроники, но проблема, на наш взгляд, заключается не столько в оборудовании и материалах для данной отрасли, сколько в технологиях создания микроэлектронной аппаратуры (МЭА), способной конкурировать с западными аналогами. Глобальной проблемой также является отсутствие кадров, того самого инженерного состава, который располагает запасом знаний, необходимым для создания конкурентной МЭА.

Эта статья открывает цикл, затрагивающий вопросы создания гибридно-пленочных интегральных схем (ГИИС) и микросборок (МСБ), а именно — тонко- и толстопленочных интегральных схем с дальнейшей их сборкой и герметизацией, а также с промежуточными контрольными операциями. Речь пойдет о том заделе, который был похоронен в начале 90-х годов и который сейчас пытаются возродить за столь короткий период времени.

Технология изготовления ГИИС и МСБ часто связана с повышением степени их интеграции, требующей в свою очередь чистоты не только газов, жидких сред и степени вакуума, но и воздушной среды производственных помещений. Поэтому хочется начать именно с требований электронной гигиены к чистым производственным помещениям (ЧПП), поскольку данная проблема, на наш взгляд, весьма актуальна. Поскольку размеры элементов соизмеримы с размерами микрочастиц, которые, попадая на кристаллы интегральных микросхем (ИМС), могут стать причиной их выхода из строя, требования к воздушной среде производственных помещений приравниваются к требованиям, предъявляемым к другим технологическим средам. Это определяется характером выполняемых технологических операций и санитарными нормами для обслуживающего персонала. В производстве ИМС установлены жесткие требования электронной гигиены (ЭГ):

- к микроклимату производственных помещений (запыленности воздушной среды, относительной влажности, температуре, скорости воздуш-

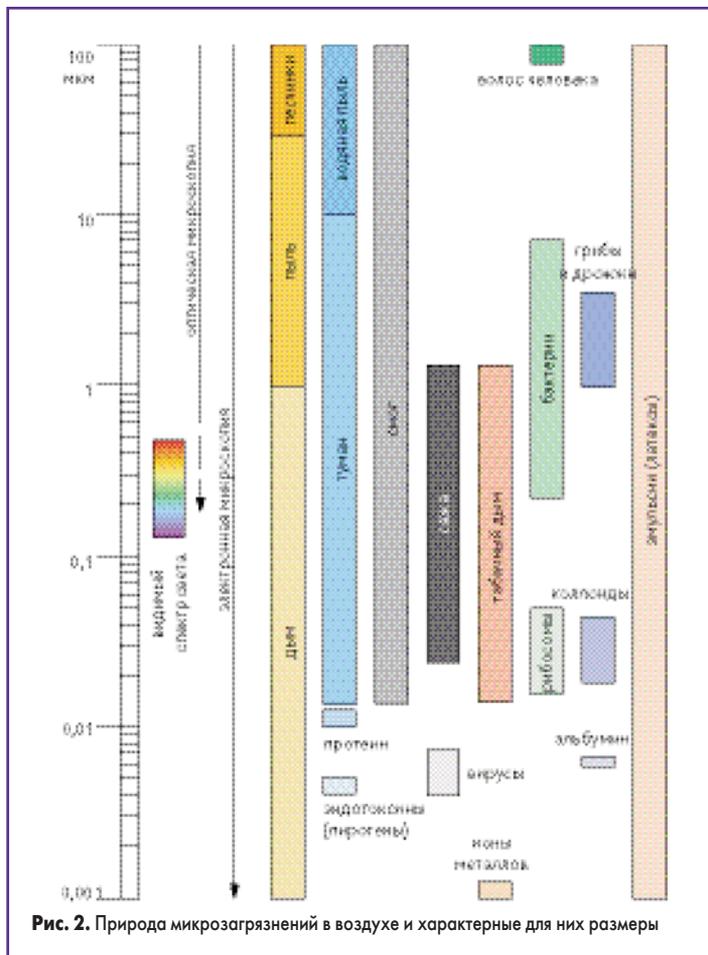


**Рис. 1.** Схемы, характеризующие влияние загрязняющих частиц на технологический процесс изготовления пассивной части ГИИС и МСБ

ных потоков, перепаду давления в смежных помещениях);

- к технологическому оборудованию и оснастке (отсутствие вибрации, шума, открытых движущихся частей, использование специальных материалов и др.);
- к производственному персоналу (одежда, правила поведения в рабочих помещениях).

Нельзя просто выбрать хорошее изделие из плохой партии. Нужно так построить технологию и организацию производства, чтобы невозможно было выпустить продукцию низкого качества и надежности — это принципиальная основа современного подхода к обеспечению качества. Важной частью его является технология чистоты.



В микроэлектронной промышленности требуемый уровень контроля загрязнений и соответствующий класс чистоты помещений определяется минимальным размером топологического элемента или толщины пленки.

Класс чистоты с минимальной концентрацией частиц обычно выбирается исходя из критического размера частиц (~1/10 минимального размера топологического элемента).

На рис. 1 приведены схемы, показывающие влияние загрязняющих частиц на качество ИМС.

Основные термины и определения ЭГ, используемые в производстве ИМС, приведены в таблице 1.

На рис. 2 показана природа микрозагрязнений в воздухе и характерные для них размеры.

**Требования к параметрам ТМК**

Основными параметрами ТМК являются:

- чистота воздуха;
- температура;
- относительная влажность;
- подвижность воздуха.

**Требования к чистоте воздуха**

Основным признаком, по которому устанавливается уровень чистоты ЧПП, ЧК, рабочих мест и объемов, является массовая концентрация аэрозольных частиц различного размера, содержащихся в 1 литре воздуха. В таблице 2 приведены классы чистоты ЧПП в соответствии с наиболее распространенным в мире до 2000 года Федеральным стандартом США FS 209E, в котором граничные значения представляют собой концентрацию (число ча-

стиц в единице объема) аэрозольных частиц диаметром, равным или превышающим значения, указанные в таблице 2.

Чистота по взвешенным в воздухе частицам обозначается классификационным числом *N*. Максимально допустимая концентрация частиц *C<sub>n</sub>* для каждого данного размера частиц *D* определяется из уравнения:

$$C_n = 10^N \left( \frac{0,1}{D} \right)^{2,08}$$

где *N* — классификационное число ИСО, *N* = 1; 1,1; 1,2...1,9; 2; 2,1...9.

**Таблица 2. Классы чистоты ЧПП по аэрозольным частицам**

Класс чистоты	Стандарт США FS 209E	Максимально допустимая концентрация частиц диаметром, мкм									
		0,1		0,2		0,3		0,5		5	
СИ		м <sup>3</sup>	фут <sup>3</sup>	м <sup>3</sup>	фут <sup>3</sup>	м <sup>3</sup>	фут <sup>3</sup>	м <sup>3</sup>	фут <sup>3</sup>	м <sup>3</sup>	фут <sup>3</sup>
M1	-	350	9,91	75,7	2,14	30,9	0,875	10	0,283	-	-
M1,5	1	1240	35	265	7,5	106	3	35,3	1	-	-
M2	-	3500	99,1	757	21,4	309	8,75	100	2,83	-	-
M2,5	10	12 400	350	2650	75	1060	30	353	10	-	-
M3	-	35 000	991	7570	214	3090	87,5	1000	28,3	-	-
M3,5	100	-	-	26 500	750	10 600	300	3530	100	-	-
M4	-	-	-	75 700	2140	30 400	875	10 000	283	-	-
M4,5	1000	-	-	-	-	-	-	35 300	1000	247	7
M5	-	-	-	-	-	-	-	100 000	2830	618	17,5
M5,5	10 000	-	-	-	-	-	-	353 000	10 000	2470	70
M6	-	-	-	-	-	-	-	1 000 000	28 300	6180	175
M6,5	100 000	-	-	-	-	-	-	3 530 000	100 000	24 700	700
M7	-	-	-	-	-	-	-	10 000 000	283 000	161 800	1750

**Таблица 1. Термины и определения**

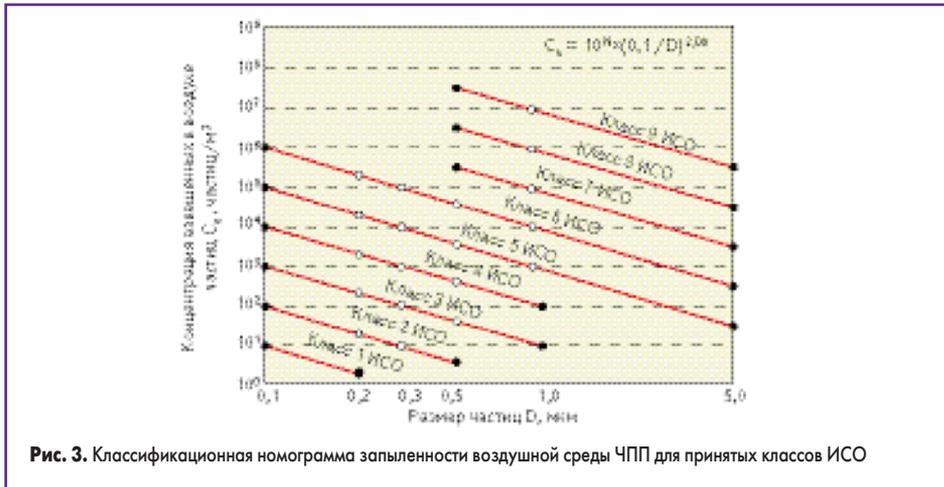
Термин	Определение
Электронная гигиена (ЭГ)	Комплекс обязательных требований, средств и мероприятий, обеспечивающих специальные условия для разработки и производства изделий МЭ
Чистое производственное помещение (ЧПП)	Производственное помещение, своим строительным решением и применением средств обеспечения ЭГ соответствующее определенному классу чистоты и нормативным параметрам температуры, влажности, давления воздуха и скорости воздушного потока.
Чистая комната (ЧК)	Часть ЧПП, представляющая собой замкнутый объем, который обеспечивается подачей отфильтрованного ламинарного потока воздуха, соответствующего класса чистоты и параметров ТМК и предназначенного для проведения технологических операций, размещения оборудования и работающего персонала.
Чистая зона (ЧЗ)	Часть ЧПП, в которой ламинарный поток отфильтрованного воздуха обеспечивает определенный класс чистоты.
Рабочий объем	Рабочее место, в котором производится технологическая операция, обеспеченное подачей отфильтрованного ламинарного потока воздуха и соответствующее определенному классу чистоты.
Зона обслуживания	Зоны, в которых расположены части технологического оборудования, не выходящие в рабочую зону. В зонах обслуживания рабочий процесс закрыт по отношению к окружающей среде. Зоны обслуживания обычно располагаются рядом с соответствующей рабочей зоной
Вспомогательная зона	Зоны, находящиеся вблизи рабочих зон, зон обслуживания и способствующие разделению более чистых и менее чистых зон. В этих зонах не располагаются ни продукт, ни оборудование
Технологический микроклимат (ТМК)	Микроклимат в производственных помещениях и в рабочем объеме, обеспечивающий поддержание заданных нормативных параметров воздушной среды (температуры, влажности и скорости воздушных потоков) в соответствии с операционными требованиями технологических процессов
Класс чистоты воздуха	Максимально допустимое количество частиц установленного размера и более в 1 л воздуха
Концентрация частиц	Количество частиц в единице объема воздуха
Размер частицы	Кажущийся максимальный размер частицы в плоскости наблюдения, определенный с помощью средств измерений

В таблице 3 приведены классы чистоты ЧПП согласно ГОСТ Р ИСО-14644-1.

Максимальное содержание частиц других размеров в ЧПП классов чистоты 1-100 000 определяется по классификационной номограмме запыленности воздушной среды ЧПП для принятых классов ИСО, приведенной на рис. 3.

В таблице 4 приведено соответствие современной классификации ЧПП стандартам, использовавшимся до 2000 года.

В обозначении класса чистоты конкретного ЧПП указывается, при каких размерах частиц проведена аттестация помещения. Например,



**Рис. 3.** Классификационная номограмма запыленности воздушной среды ЧПП для принятых классов ИСО

**Таблица 3.** Классы чистоты по взвешенным в воздухе частицам для чистых помещений и чистых зон

Класс ИСО (Классификационное число N)	Пределы максимальных концентраций (частицы/м³ воздуха) частиц размером, равным и большим приведенного ниже, мкм					
	0,1	0,2	0,3	0,5	1	5
Класс 1 ИСО	10	2				
Класс 2 ИСО	100	24	10	4		
Класс 3 ИСО	1000	237	102	35	8	
Класс 4 ИСО	10 000	2370	1020	352	83	
Класс 5 ИСО	100 000	23 700	10 200	3520	832	29
Класс 6 ИСО	1 000 000	237 000	102 000	35 200	8320	293
Класс 7 ИСО				352 000	83 200	2930
Класс 8 ИСО				3 520 000	832 000	29 300
Класс 9 ИСО				35 200 000	8 320 000	293 000

**Примечание.** Из-за неопределенности, связанной с процессом измерения, при классификации следует использовать данные по концентрации, имеющие не более трех значащих цифр.

формулировка «Класс 4 ИСО (при 0,2 мкм и 1 мкм)» относится к воздуху, содержащему не более 2370 частиц/м³ размером 0,2 мкм и выше, не более 83 частиц/м³ размером 1 мкм и выше.

Для производства изделий, изготавливаемых по пленочной технологии, рекомендуется устанавливать следующие классы чистоты:

- на рабочих местах для выполнения наиболее критичных операций (фотолитография) — 100;
- на участке в целом (кроме сборки и герметизации) — 1000;
- на участке сборки и герметизации — 10 000.

Примеры применения чистых помещений для МЭ приведены в таблице 5.

**Таблица 4.** Соответствие современной классификации ЧПП стандартам, использовавшимся до 2000 года

Класс чистоты		Содержание частиц в 1 м³	Интенсивность воздухообмена	Давление в чистой комнате	
ГОСТ Р ИСО-14644	Федеральный стандарт 209е	0,3 мкм	0,5 мкм	[час-1]	[Па]
2	-	10	4	*	-
3	~ 1	102	35	*	-
4	~ 10	1020	352	540 *	15
5	~ 100	10 200	3520	500 *	15
6	~ 1000	102 000	35 200	500 *	15
7	~ 10 000	-	352 000	180	10–15
8	~ 100 000	-	3 520 000	60–120	10–15

\*) Скорость ламинарного потока воздуха 0,3–0,5 м/с

**Требования к температуре и относительной влажности**

Колебания температуры изменяют линейные размеры оснастки и обрабатываемых объектов, скорости химических реакций, скорости испарения применяемых материалов, показания контрольно-измерительных приборов, параметры ГПИС и МСБ. Поэтому для каждой чувствительной к колебаниям температуры технологической операции устанавливаются нормы допусков на отклонения от оптимальной температуры воздушной среды.

Влажная среда нежелательна при проведении практически всех технологических операций. Абсорбируясь на различных поверхностях,

влага и растворенные в ней вещества приводят к образованию нежелательных оксидов и труднорастворимых соединений. При термических обработках на таких поверхностях могут образоваться неровности (эрозия), приводящие к ухудшению параметров ИМС. Влажность воздуха ЧПП стремятся поддерживать минимальной, но не ниже санитарной нормы.

Стандартами установлены следующие допустимые значения точности поддержания температуры воздушной среды: ±0,1; ±0,2; ±0,3; ±0,5; ±1,0; ±5,0.

Выбор значения точности поддержания температуры осуществляется в зависимости от технологических операций, но значения температуры не должны выходить за пределы 20–24 °С.

Также установлены следующие допустимые значения точности поддержания относительной влажности воздушной среды: ±3%; ±5%; ±10%.

Выбор значения точности поддержания относительной влажности осуществляется в зависимости от вида выполняемых в ЧПП операций, но значения относительной влажности не должны превышать 60%.

Для примера в таблице 6 приведены нормативные значения параметров поддержания температуры и относительной влажности для воздуха ЧПП, ЧК и рабочих объемов оборудования для категории работ «легкая-1».

**Требования к ЧПП**

Обеспечение необходимых параметров ТМК, специфика используемого оборудования и технологических операций определяют планировочное решение, конструкцию ЧК и систему вентиляции воздуха.

Главная цель создания ЧПП — изоляция диэлектрических подложек от влияния окружающей среды — достигается за счет реализации комплекса процессов в системе жизнеобеспечения ЧПП. При этом необходима координация работы энерготехнологического оборудования, учет климатических факторов, психофизиологических аспектов, требо-

**Таблица 5.** Примеры применения ЧПП для МЭ

Класс чистоты помещения в эксплуатируемом состоянии	Тип потока воздуха	Средняя скорость потока воздуха, м/с	Объем подаваемого воздуха, м³, на 1 м² площади помещения в 1 ч	Примеры применения
2 ИСО	однонапр.	0,3–0,5	Не применяется	Фотолитография и другие критические зоны (следует предусмотреть непроницаемый барьер)
3 ИСО	однонапр.	0,3–0,5	То же	Рабочие зоны
4 ИСО	однонапр.	0,3–0,5	»	Рабочие зоны. Производство масок с несколькими подложками, производство компактных дисков, зоны обслуживания и вспомогательные зоны
5 ИСО	однонапр.	0,2–0,5	Не применяется	То же
6 ИСО	не однонапр. или смеш.	Не применяется	70–160	Зоны обслуживания, вспомогательные зоны
7 ИСО	не однонапр. или смеш.	То же	20–70	Зоны обслуживания, вспомогательные зоны, обработка поверхностей
8 ИСО	не однонапр. или смеш.	»	10–20	Зоны обслуживания, вспомогательные зоны

Однонаправленный поток воздуха в чистом помещении обычно задается средней скоростью потока. Значения скорости потока воздуха могут задаваться непосредственно после фильтров или в других точках. В таблице для примера приведены ориентировочные значения объема подаваемого воздуха на 1 м² площади в 1 ч при высоте помещения 3,0 м.

## Инженерное обеспечение и чистые помещения

**Таблица 6.** Нормативные значения параметров поддержания температуры и относительной влажности

Наименование показателя ТМК	Значение параметра ТМК	
	Период года	
	Холодный	Теплый
Оптимальная температура воздушной среды в ЧПП, ЧК и рабочих объемах		
Классов чистоты 1000–100 000, °С	21±1	23±1
Оптимальная температура воздушной среды в рабочих объемах оборудования и ЧК, °С		
Классов чистоты 1000	22±0,2	
Допустимые значения относительной влажности воздуха среды в ЧПП, ЧК и рабочих объемах, %		
Классов чистоты 1000–100 000	50±5	
В рабочих объемах теплолагодоконстантного оборудования	45±3	
Скорость изменения оптимальной температуры и относительной влажности в установленных пределах в ЧПП, ЧК и рабочих объемах:		
Классов чистоты 1000–10 000	Не более 1 ч.	
Классов чистоты 100 000	Не нормируется	
Скорость воздушного потока в ЧПП и ЧК, м/с:		
Классов чистоты 1000	0,15–0,25	
Классов чистоты 10 000–100 000	0,05–0,15	

ваний к культуре производства, а также контроль множества характеристик (табл. 7).

Как уже было сказано, к ЧПП относятся помещения классов 1, 10, 100, 1000, 10 000, 100 000. Рассмотрим только те ЧПП, которые соответствуют классам чистоты 100–100 000, поскольку именно эти классы чистоты применяются в производстве ГПС и МСБ (табл. 5).

В общем случае в ЧПП существуют ламинарные и турбулентные потоки воздуха, однако в помещениях с чистотой класса выше 1000 допустим только ламинарный поток. Это связа-

**Таблица 8.** Особенности ЧПП ламинарным воздушным потоком во всем объеме и на отдельных рабочих местах

Характеристики	Ламинарный вертикальный поток во всем объеме	Чистый коридор
Степень чистоты	Максимальная чистота внутри помещения (без учета пылевыведения во время работы). Во время работы степень чистоты определяется количеством оборудования и обслуживающего персонала, способом размещения оборудования (необходимо отметить существенное влияние типа и формы оборудования на степень турбулизации воздушного потока)	Максимальная чистота в коридоре. Учитывая возможность загрязнения чистого коридора в результате втягивания во время работы воздуха из технологической зоны, целесообразно объединять и состыковывать отдельные установки и элементы. При турбулентном режиме в технологической зоне степень чистоты отвечает классу – 10 000 (необходимо следить, чтобы в коридоре не было турбулизации)
Перестраиваемость	Перемещение и замена оборудования, пересоединение и замена трубопроводов легко осуществимы (в частности, при перестройке сначала вносят изменения в вентиляционную систему, а затем – в размещение оборудования)	Замена и перестановка оборудования лимитируются его габаритами и формой. Перемещение и изменение размеров оборудования затруднены тем, что заданная панель и зона обслуживания связаны с трубопроводом
Технологичность, техническое оборудование	Возможны некоторые отступления от технического регламента. Поскольку перегородок нет, движения и проведение технологических операций неограниченны. Просторное помещение не угнетает психику персонала. Техническое обслуживание при достаточной высоте потолка не вызывает затруднений. Удобно для автоматизированной транспортировки	При продуманной планировке и оптимальном размещении персонала, приборов и приспособлений проблем в работе не возникает. Техническое обслуживание не вызывает затруднений при достаточно большом объеме зоны обслуживания. Возможна автоматизированная транспортировка
Химически активные газы и коррозия	Поскольку такие операции, как промывка и травление, проводятся в одном помещении, не разделенном перегородками, нельзя устранить полностью коррозию оборудования парами химически активных веществ	Возможно выделение обособленных секций для проведения работ с химически активными газами
Вибрации, допустимые нагрузки	Снижает прочность пола, в результате чего появляется сложность устранения вибрации и повышения удельных нагрузок на пол	Поскольку возможно применение усиленных конструкций, проблема легко разрешима. Возможна установка фундаментов, изолированного от здания и коммуникаций
Эксплуатационные расходы	Большое сечение воздушного потока ведет к увеличению расхода воздуха и очень большим эксплуатационным расходам на вентиляцию. Обычно ламинарный поток поддерживается круглосуточно, что ведет к увеличению энергозатрат.	Ламинарный поток поддерживается только в чистом коридоре, что снижает энергозатраты на вентиляцию. Возможны прекращение вентиляции коридора и снижение расхода воздуха, что снижает энергозатраты
Капитальные затраты	Очень высокие	Относительно высокие (умеренные по сравнению с методом ламинарного потока)

но в первую очередь с необходимостью минимизировать вероятное осаждение аэрозольных частиц на диэлектрическую подложку.

Ламинарный воздушный поток может быть реализован во всем объеме ЧПП или на отдельных рабочих местах (чистый коридор, рис. 4), особенности этих конструктивных решений приведены в таблице 8.

При выполнении разных операций в одном помещении класс его чистоты устанавливается по наиболее критичному процессу. Не допускается выполнение технологических опе-

раций, требующих высшего класса чистоты, в помещении низшего класса.

Существует шесть основных типов ЧПП (четыре из которых представлены в табл. 9).

### Требования к ЧПП

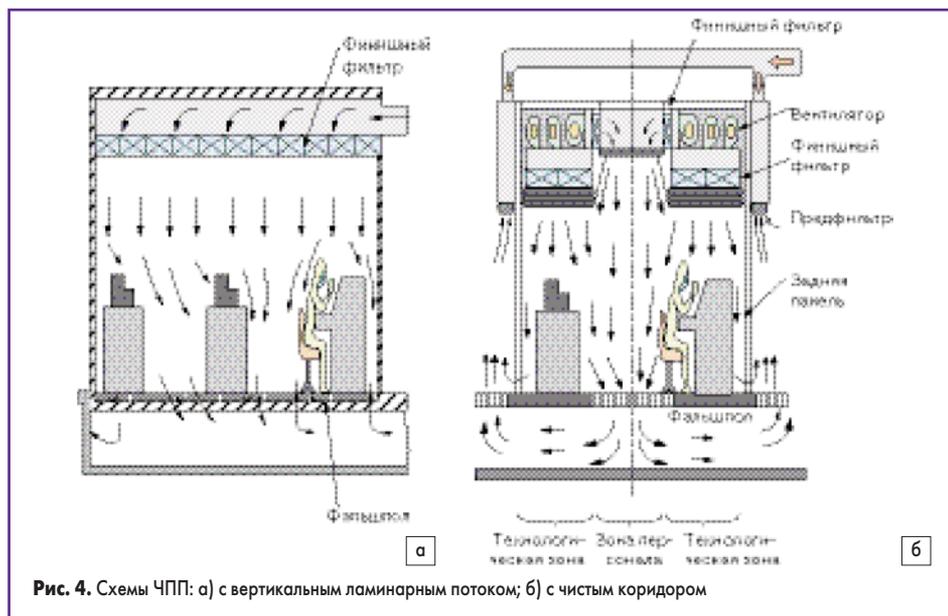
Все ЧПП должны соответствовать следующим основным требованиям:

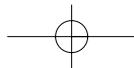
- производственные помещения разделены на чистую рабочую зону и зону технического обслуживания оборудования, при этом рабочие столы и оборудование устанавливаются так, чтобы линия разделения воз-

**Таблица 7.** Контролируемые характеристики технологической экологии

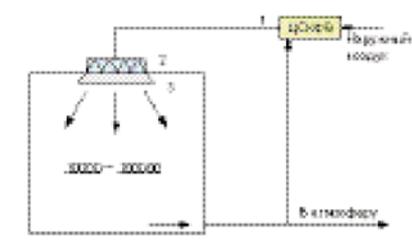
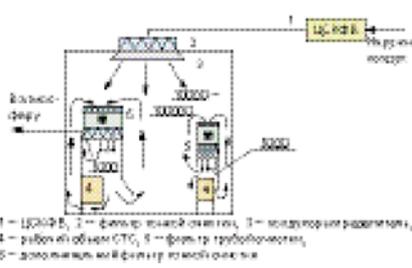
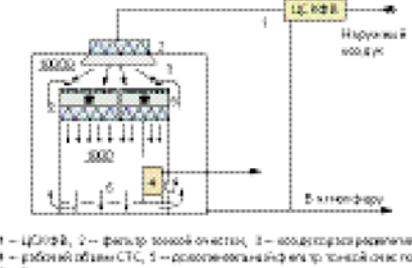
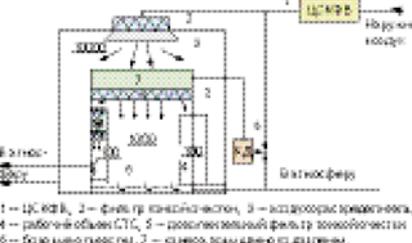
Процессы технологической экологии	Характеристики
Фильтрация воздуха до и после ЧПП	Концентрация аэрозольных частиц, $\text{дм}^3$ концентрация вредных примесей, $\text{мг}/\text{м}^3$
Охлаждение и нагревание СКФВ	Температура, °С
Осушение и увлажнение воздуха в СКФВ	Относительная влажность, %
Обеспечение аэродинамики потока воздуха	Скорость воздуха, м/с давление воздуха, Па
Контроль пылегенерации оборудования	Интенсивность пылегенерации, $\text{мг}/\text{с}$
Ионизация воздуха	Концентрация ионов, $\text{см}^{-3}$
Статическая электризация	Плотность зарядов, $\text{Кл}/\text{м}^2$
Вибрации и их контроль	Амплитуда, мкм, частота, Гц
Шум и контроль его уровня	Уровень звука, дБА
Специальное облучение	Плотность потока, $\text{Вт}/\text{м}^2$

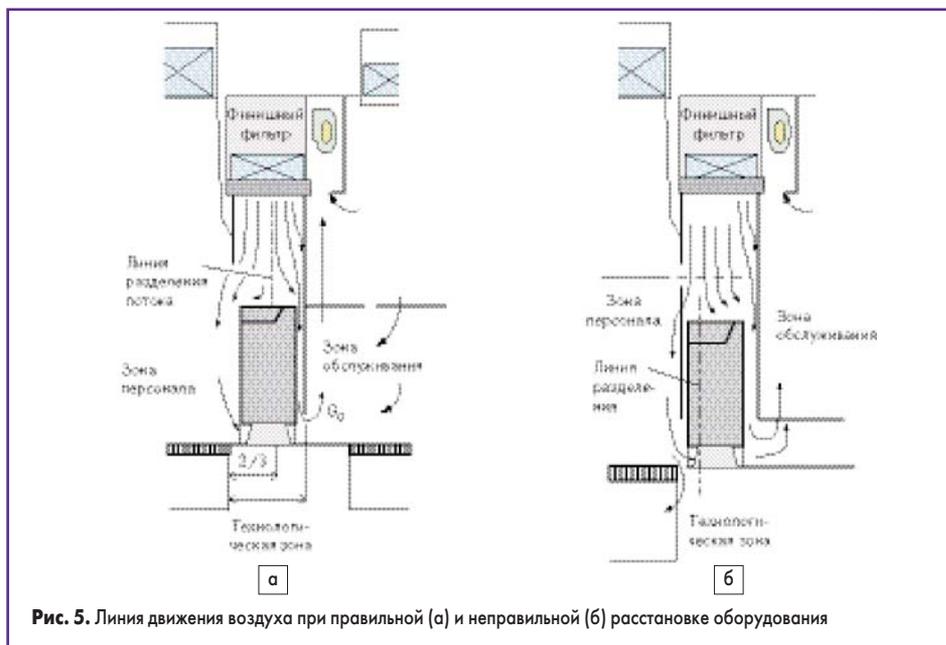
**Примечание.** СКФВ – система конденсации и фильтрации воздуха





**Таблица 9. Условия обеспечения требований ЭГ**

Схема	Реально достижимые классы чистоты. Характерные особенности
 <p>1 - ЦСФВ, 2 - фильтр тонкой очистки, 3 - воздухоотделитель</p>	<p>Классы чистоты 10 000 и 100 000 обеспечиваются созданием турбулентного потока воздуха. Подготовленный в центральной системе кондиционирования и фильтрации воздуха (ЦСФВ) 1 по параметрам температуры и влажности воздух подается в верхнюю зону ЧПП через фильтр тонкой очистки 2 и воздухоотделитель 3.</p>
 <p>1 - ЦСФВ, 2 - фильтр тонкой очистки, 3 - воздухоотделитель, 4 - рабочий объем СТО, 5 - фильтр грубой очистки, 6 - дополнительный фильтр тонкой очистки</p>	<p>Чистые рабочие зоны класса чистоты 1000 обеспечиваются установкой в ЧПП дополнительного обеспыливающего оборудования: установок и блоков обеспыливания. Воздух подается из общего объема ЧПП классов чистоты 10 000, 100 000 в рабочий объем специального технологического оборудования (СТО) 4 через дополнительные фильтры грубой 5 и тонкой 6 очистки.</p>
 <p>1 - ЦСФВ, 2 - фильтр тонкой очистки, 3 - воздухоотделитель, 4 - рабочий объем СТО, 5 - воздухоотделитель, 6 - блок обеспыливания</p>	<p>ЧК класса чистоты 1000 организуются установкой сплошного потолка из блоков обеспыливания и созданием ламинарного потока воздуха с постоянной скоростью воздуха от 0,15 до 0,25 м/с. ЧК класса чистоты 1000 организуются в ЧПП классов чистоты 10 000 и 100 000. Воздух в ЧК через перфорированный фальшпол или боковое отверстие в нижней части комнаты 6 поступает на блоки обеспыливания.</p>
 <p>1 - ЦСФВ, 2 - фильтр тонкой очистки, 3 - воздухоотделитель, 4 - рабочий объем СТО, 5 - дополнительный фильтр тонкой очистки, 6 - блок обеспыливания, 7 - камера повышенного давления, 8 - камера рециркуляции</p>	<p>Для прецизионного СТО с параметрами поддержки температуры в пределах от 0,2 до 0,5 °С и влажности в пределах от 3 до 5% рециркуляционный воздух проходит дополнительную обработку в кондиционере-доводчике 8, из которого воздух поступает в камеру повышенного давления 7, и через фильтры тонкой очистки, установленные по всему потолку, создает устойчивый ламинарный поток воздуха, обеспечивающий класс чистоты 1000. Устройство в таких комнатах линеек с дополнительной фильтрацией через установки обеспыливания позволяет организовать рабочий объем класса чистоты 100. На линейках фотолитографии и химической обработки обеспыленный воздух от СТО полностью удаляется в атмосферу, для чего в рабочих объемах обязателен постоянный контроль баланса воздуха.</p>



душного потока находилась на расстоянии, примерно равном 2/3 ширины технологической зоны (рис. 5). В противном случае основная масса загрязнений от рук оператора распределяется по всей поверхности стола;

- конструкция ЧПП должна быть прочной, герметичной, удобной при монтаже, эксплуатации и уборке, по возможности недорогой, обеспечивать необходимый воздухообмен, обладать теплоизолирующими свойствами и гибкостью к перепланировке;
- материалы, применяемые для интерьера ЧПП, должны быть долговечными, влагостойкими и влагонепроницаемыми, тепло- и звукоизоляционными, коррозионно-стойкими, химически инертными, исключать возможность загрязнений и возгорания, выделения токсичных веществ и накопления статического электричества, не иметь запаха и не сорбировать сильно пахнущие вещества, с гладкими, легко очищаемыми поверхностями. В качестве облицовочных материалов с такими свойствами используются

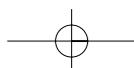


Таблица 10. Источники основных возможных загрязнений ЧПП

Фактор загрязнения	Категория загрязнения	Источник загрязнения	Размеры частиц загрязнения, мкм
Динамические факторы	Технический и обслуживающий персонал	Выделение бактерий и вирусов	От 0,01 до 10
		Испарение тела и жировые выделения	От 0,01 до 1
		Использование косметики	От 0,1 до 1
		Шелушение кожи	От 0,1 до 100
		Выпадение волос	100
		Проникновение табачного дыма	От 0,1 до 1
		Использование технологической одежды из пылевыведяющих тканей	От 1 до 10
		Выделение частиц при передвижении	От 1 до 5
	Технологическое оборудование и материалы	Использование пылевыведяющих материалов	До 100
		Генерация частиц внутри производственного оборудования	От 1
		Выделение пыли из вакуумных устройств	От 0,1 до 0,5
		Масляный туман из вакуумного насоса	От 0,01 до 1
		Использование неочищенных инструментов и приспособлений	От 1 до 100
	Транспортировка изделий	Использование загрязненных кассет и других видов тары для хранения и транспортировки изделий	От 0,1
		Выделение пыли от транспортных устройств	От 10
Манипулирование	Выделение частиц при межоперационной транспортировке	От 1 до 500	
	Повреждение деталей при выполнении загрузочных и разгрузочных работ	От 1 до 500	
Статические факторы	Технологическая среда	Малозффективная очистка подаваемого в ЧПП воздуха	От 0,5
		Попадание в технологический воздух посторонних частиц (генерируемые частицы и т. п.)	От 0,5
	Химические реагенты	Посторонние включения в исходных фоторезистах и реагентах, реактивы	От 0,5
		Коррозия аппаратов, трубопроводов, сосудов, фильтров	От 1,0
Техническая вода и газы	Неочищенные газы и деионизованная вода	От 0,05	

алюминиевые и стальные листы, окрашенные терморезистивными смолами или покрытые слоем фторопласта;

- двери с гладкими поверхностями, без выступов в сторону производственных помещений;
- окна плотно соединяются с конструкциями;
- полы сплошные с антистатическим покрытием (кроме ЧК класса чистоты 100, где необходимы полы с антистатическим покрытием, двойные, сплошные или с перфорированной поверхностью фальшпола), что способствует быстрому удалению пыли из рабочего пространства вытяжной вентиляцией;
- общий вход в ЧПП оборудован тамбуром для прохода персонала и отдельно для ввоза оборудования и материалов;
- для передачи изделий в ЧК оборудованы передаточные шлюзовые окна;
- оборудованы системами автоматического контроля и регулирования температуры и относительной влажности;
- вход и выход в ЧПП осуществляется только через гардеробы технологической одежды. Вспомогательные санитарно-бытовые помещения для персонала производственных помещений всех классов чистоты должны соответствовать следующим требованиям:
- облицовка стен душевых, умывальных, уборных и других санитарно-гигиенических помещений на всю высоту выполняется из гладких плиточных нескораемых материалов, легко поддающихся влажной уборке;

- уборные и помещения личной гигиены женщин отделяются от производственных помещений, гардеробов технологической одежды и комнат отдыха тамбуром или коридором;
  - класс чистоты гардероба технологической одежды не больше, чем на один класс ниже класса соответствующего ЧПП;
  - гардеробы технологической одежды оборудованы шкафами с раздельными секциями для хранения домашней и технологической одежды и обуви для персонала, работающего в ЧПП классов чистоты 1000–100 000, скамейками для переобувания. Также должно быть предусмотрено оборудование для раздельного хранения и транспортировки чистой и грязной одежды.
- Вспомогательные санитарно-бытовые помещения для персонала, работающего в ЧК классов чистоты 100, должны соответствовать требованиям, изложенным выше, и иметь:
- раздельные гардеробы для домашней и технологической одежды второго переобувания;
  - умывальные при гардеробах технологической одежды второго переобувания, оборудованные умывальниками с педальным пуском вод, воздушными электрополотенцами;
  - уборные, оборудованные унитазами консольного типа со смывными кранами и педальным спуском;
  - обдувочные тамбуры-шлюзы с контролируемым подпором относительно ЧК;

Таблица 11. Перечень материалов, запрещенных к применению в ЧПП

Наименование материала	Класс чистоты помещений
Карандаш	100–100 000
Мел	100–100 000
Древесина	100–10 000
Наждачная бумага	100–10 000
Резина, содержащая серу	100–10 000
Скрепки для бумаг	100–1000
Смазка	100–1000
Цинк	100
Души, дезодоранты	100–1000
Косметика (тушь, пудра и т. п.)	100–10 000
Вата	1–10 000



радиофицированные гардеробы, комнаты отдыха и приема пищи.

Для справки в таблице 10 приведены источники основных возможных загрязнений ЧПП. В таблице 11 приведен перечень материалов, запрещенных к применению в ЧПП.

Авторам приходилось сталкиваться с одной интересной проблемой, которая заключалась в следующем. Спустя некоторое время после создания на предприятии ЧПП класса чистоты 10 000 с чистой комнатой класса 1000, возникла проблема снижения класса чистоты, что явилось следствием нарушения регламента и правил уборки ЧПП.

Несмотря на то, что соблюдение регламента уборки в ЧПП является обязательной частью ЭГ, к этому пункту относятся, скажем так, пренебрежительно. В конечном счете это отрицательно сказывается на системе кондиционирования и фильтрации воздуха (ЦСКФВ), поскольку она делает за уборщиков дополнительную работу по очистке помещений.

В таблице 12 приведен регламент уборки ЧПП и относящихся к ним вспомогательных помещений.

В заключение хочется привести одну диаграмму (рис. 6).

Из диаграммы видно, что проблема чистых помещений носит комплексный характер. Недостаточно создать собственно чистое про-

**Таблица 12.** Регламент уборки ЧПП и относящихся к ним вспомогательных помещений

Вид помещения, характер работы	Периодичность работы	Класс чистоты
Рабочий объем, ЧК		
Влажная протирка рабочего места и установленного оборудования, тары и инструмента, приспособлений и дверных ручек	Ежедневно не менее 3-х раз в смену (перед началом работы, после обеденного перерыва, по окончании смены), при необходимости	100-1000
Рабочий объем, ЧК		
Вакуумная уборка СТО и коммуникаций	Ежедневно перед началом работы, при необходимости	100-1000
ЧК, ЧПП		
Влажная протирка дверей, внутренних поверхностей стен, остеклений, оборудования, светильников установок обеспыливания	Ежедневно	100-1000
ЧК, чистые коридоры	Еженедельно	10 000-100 000
Влажная протирка полов, уборка ковриков, мытье мусоросборников	Ежедневно перед началом смены	10 000-100 000
ЧК		
Влажная протирка потолка	Ежемесячно	100-1000
ЧПП и вспомогательные помещения		
Мытье полов, протирка дверей, уборка мусора, ковриков, мытье раковин	Ежедневно за 30 мин до начала каждой смены	100-100 000
ЧПП и вспомогательные помещения, технические зоны		
Влажная протирка стен, колонн, перегородок, остеклений, оборудования и коммуникаций	Еженедельно	1000-100 000
Общие объемы ЧПП, зоны технического обслуживания, чистые вспомогательные помещения		
Влажная протирка (мытьё) стен, колонн, перегородок, остеклений, дверей, окон, труднодоступных участков коммуникаций, оборудования, воздуховодов, светильников и других электрических устройств	Не менее одного раза в месяц	100-100 000
Уборка под фальшполом	Один раз в квартал	10 000-100 000
	Ежемесячно	100-1000

изводственное помещение, которое обеспечивает нужный класс чистоты при отсутствии технологического оборудования и персонала. Нужно одновременно применять оборудование, выделяющее минимум загрязнений или не выделяющее их вообще, одеть людей в «непылящую» одежду, научить их правильно вести себя и т. д. (но это уже другая тема, которая требует отдельного рассмотрения). Иначе значительные затраты на создание чистых помещений попросту бессмысленны...

### Литература

1. Энциклопедия машиностроения. Том III-8. Технологии, оборудование и системы управления в электронном машиностроении. Под ред. Ю. В. Панфилова. Машиностроение. М.: 2000.
2. ГОСТ Р ИСО 14644-1-2000. чистые производственные помещения и связанные с ними контролируемые среды. Ч. 1. Классификация чистоты воздуха.
3. РД 107.460093.002-90. Требования электронной гигиены к условиям производства изделий специальной микроэлектроники.
4. ОСТ 11 14.3302-87. Изделия электронной техники. Общие технические требования электронной гигиены к чистым помещениям.
5. Материалы семинара «Микротехнологии в сборочном производстве изделий электроники». ЗАО Предприятие ОСТЕК, М.: 2006.