

ЭЛЕКТРОННАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

ISSN 0207—6357

7

1986



ОБЕСПЕЧЕНИЕ
СТАБИЛЬНОГО
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО
МИКРОКЛИМАТА
НЕ ТОЛЬКО
В ЗАМКНУТОМ
ПРОСТРАНСТВЕ,
ОГРАНИЧЕННОМ
ГАБАРИТАМИ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО
ОБОРУДОВАНИЯ,
НО И В КРУПНЫХ
ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ
ПОМЕЩЕНИЯХ —
ОСНОВА
ВЫСОКОГО
КАЧЕСТВА ИЭТ.

1986

МИНИСТЕРСТВО ЭЛЕКТРОННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ СССР-НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ СБОРНИК

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

А. А. Чернышев

(главный редактор)

В. А. Афанасьев

И. Н. Букреев

С. С. Булгаков

Ф. И. Бусол

А. А. Васенков

И. Н. Воженин

Г. Г. Горбунова

(ответственный секретарь)

А. П. Грибачев

Б. Г. Грибов

Г. Я. Гуськов

Н. Д. Девятков

В. И. Жильцов

(зам. главного редактора)

С. П. Жолобов

Г. М. Зверев

В. И. Иванов

А. И. Казьмин

Н. А. Киреев

А. А. Константинов

Э. А. Лукин

В. И. Машкин

Ю. Б. Митюшин

Ю. П. Поцелуев

Ю. А. Райнов

А. И. Савин

В. Н. Сретенский

В. Д. Степанов

П. М. Стуколов

(зам. главного редактора)

Я. А. Федотов

В. Е. Фетисов

О. В. Филатов

ДОСТИЖЕНИЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИХ, ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ И ЭКОНОМИЧЕСКИХ РУБЕЖЕЙ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ, НАМЕЧЕННЫХ НА 12-Ю ПЯТИЛЕТКУ, ВО МНОГОМ ЗАВИСИТ ОТ СВОЕВРЕМЕННОГО РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ И КОНТРОЛЯ ПРЕДЕЛЬНО ЖЕСТКИХ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО МИКРОКЛИМАТА И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СРЕД. ЭТА ПРОБЛЕМА МНОГОАСПЕКТНАЯ, ТРЕБУЮЩАЯ РЕШЕНИЯ В ПЕРВУЮ ОЧЕРЕДЬ ТАКИХ ВОПРОСОВ, КАК:

– ОСНАЩЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВА ВЫСОКОЧУВСТВИТЕЛЬНОЙ КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ АППАРАТУРОЙ И СИСТЕМАМИ ПОДДЕРЖАНИЯ ПАРАМЕТРОВ МИКРОКЛИМАТА;

– РАЗРАБОТКА НОРМ, СТАНДАРТОВ И ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЕЙСТВУЮЩИХ, РЕКОНСТРУИРУЮЩИХСЯ И ВНОВЬ СОЗДАВАЕМЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ ЧИСТЫМИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПОМЕЩЕНИЯМИ, СООТВЕТСТВУЮЩИМ ОБОРУДОВАНИЕМ, ОСНАСТКОЙ И СПЕЦОДЕЖДОЙ;

– ПОВЫШЕНИЕ ЧИСТОТЫ ЖИДКИХ И ГАЗООБРАЗНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СРЕД;

– ПОДБОР ПЕРСОНАЛА ДЛЯ РАБОТЫ НА ПРОИЗВОДСТВАХ, ТРЕБУЮЩИХ СОБЛЮДЕНИЯ РЕГЛАМЕНТИРОВАННЫХ ПАРАМЕТРОВ МИКРОКЛИМАТА И ОПРЕДЕЛЕННЫХ ПРАВИЛ ПОВЕДЕНИЯ.

ЦЕЛЬ ПУБЛИКАЦИИ МАТЕРИАЛОВ ПО ЭТИМ ВОПРОСАМ В НАСТОЯЩЕМ ВЫПУСКЕ – ПРИВЛЕЧЬ ВНИМАНИЕ СПЕЦИАЛИСТОВ-ТЕХНОЛОГОВ, ПРОЕКТИРОВЩИКОВ ЧИСТЫХ ПОМЕЩЕНИЙ И РАЗРАБОТЧИКОВ КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ К УКАЗАННОЙ ПРОБЛЕМЕ.

ЭЛЕКТРОННАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

1986 7
ИЗДАЕТСЯ С 1970 г. • ВЫПУСК (155)

OldPC.su

музей компьютеров

СОДЕРЖАНИЕ

- 3 *Дьяков Ю. Н., Лукичев А. В., Тимофеев Б. В.* Современные требования к технологическим средам и химикатам, используемым для микроэлектроники
- ИССЛЕДОВАНИЯ. РАЗРАБОТКИ. МЕТОДЫ РАСЧЕТОВ**
- 11 *Пильвинис Р. П.* Усовершенствование регламентирующих документов на условия производства изделий микроэлектроники
- 14 *Пильвинис Р. П.* Аэрозольное загрязнение в производстве ИЭТ
- 19 *Бутурлин А. И., Габузян Т. А., Васильев А. А., Дикевич А. Я.* Химические сенсоры для контроля технологических сред микроэлектроники
- 23 *Каракеян В. И., Муравин И. А., Рябышенков А. С., Ушаков В. И., Чамов А. Н.* Расчет параметров воздуха и характеристик чистых технологических помещений
- 25 *Банников В. С., Безручко С. М., Воженина Н. И., Кузьмин С. М., Чайка Н. В.* Определение микробиологических загрязнений деионизованной воды
- 28 *Губанов Л. Н., Ильичев А. В., Кнохинов Б. И., Найденко В. В.* Проблемы создания гибких автоматизированных процессов водообработки
- ТЕХНОЛОГИЯ**
- 30 *Волков Р. И.* Разработка чистых помещений высоких классов
- 33 *Каракеян В. И., Муравин И. А., Рябышенков А. С., Ушаков В. И., Чамов А. Н.* Влияние климатических параметров наружной среды на эффективность функционирования чистых технологических помещений
- 34 *Гребенкин В. З., Дегтярев А. А., Николаевский Е. В., Сергеев В. С.* Снижение вибраций в чистых технологических помещениях
- 35 *Абраменко Ю. М., Банников В. С., Безручко С. М., Бенинг Г. П., Борисов Б. С., Кузьмин С. В.* Требования к анализу и контролю технологических сред при производстве ИЭТ
- 41 *Казакевич О. В., Коробов И. В., Кушнарёва Е. Г., Лукичев А. В., Осипова Н. Г.* Фильтрующие материалы для микроочистки химических реактивов и технологических растворов
- 44 *Западных В. А., Кочергин Н. В., Огневский А. В., Садчикова Т. П.* Бессточная технологическая схема промывки гальванопокрытий
- ИЗМЕРЕНИЯ И КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ АППАРАТУРА**
- 46 *Банников В. С., Безручко С. М., Кузьмин С. В., Степанищев О. В.* Приборы контроля содержания частиц в жидкостях, применяемых в производстве ИС
- 50 *Гиргждис А. Ю., Лебедникас Б. Ю., Пильвинис Р. П., Тамошюнас А. В., Эйгелис Р. Ю.* Автоматический регистратор параметров микроклимата ЭОЛ-2

- 52 Гиргждис А. Ю., Пильвинис Р. П., Тамошюнас А. В. Многоканальная система автоматического контроля запыленности воздуха "АЭРОКС-10М"
- 53 Гиргждис А. Ю., Пильвинис Р. П., Тамошюнас А. В., Эйгелис Р. Ю. Автоматический логарифмический аэрозольный спектрометр для научных исследований
- 54 Тамошюнас А. В., Пильвинис Р. П. Система магнитного накопления данных "Макордер"
- 55 Непомнящий С. В., Олеск А. О., Станиславчик В. Ф., Широбоков Ю. П. Малогабаритные инфракрасные абсорбционные анализаторы жидких и газовых сред
- 57 Бутурлин А. И., Чахунашвили Г. Б., Чистяков Ю. Д. Интегральные термопреобразователи для контроля параметров парогазовых смесей
- 59 Афонин С. М., Наплеков И. Н., Натаров Ю. В., Осокин В. И. Программное обеспечение диалоговой системы контроля параметров микроклимата и технологических сред
- 62 Афонин С. М., Наплеков И. Н., Натаров Ю. В., Осокин В. И., Тризин Ю. Г. Диалоговая система контроля параметров микроклимата и технологических сред
- 63 Бархоткин В. А., Верстаков В. А., Крылков Н. О., Преснухин Д. Л. МикроЭВМ малого потребления для управления технологическим процессом в реальном масштабе времени
- 64 Демиденко В. В., Пушкин Е. У. Гибридная транзисторная сборка большой мощности
- 65 Александров И. В., Колеснева С. Н., Нестеров В. Д., Черник В. Н. Быстродействующие ОЗУ К1500РУ470 емкостью 4К
- 66 Андриянов В. В., Антонов М. И., Данилов В. С., Минаев В. С., Путинцев С. В. ППЗУ КМ 1608РТ1 с улучшенными эксплуатационными характеристиками
- 68 Андриянов В. В., Антонов М. И., Данилов В. С., Минаев В. С., Путинцев С. В. Биполярное ППЗУ КМ 1608РТ2 с буферным регистром на выходе
- 69 Вильсон А. Л., Кустов В. А., Лапенко В. Н. Генератор тестовых сигналов в стандарте КАМАК
- 70 Александров И. В., Колеснева С. Н., Шелег Ю. П. Микросхема объединения двух 4-разрядных слов К1500ИП156
- 70 Жлобич Т. Н., Колеснева С. Н., Шелег Ю. П. Микросхема контроля четности К1500ИЕ160
- 71 Демиденко В. В., Пушкин Е. У. Диодные сборки ДС-1, ДС-2 и ДС-4
- 72 Гришечкин Д. М., Зенкин А. Д., Колдашов Н. Д., Орлов В. В., Чеснокова Т. В. Переменный непроволоочный резистор движкового типа
- СООБЩЕНИЕ**
- 72 Мусалев Н. С., Попов В. В., Степанов В. К. Очистка фторсодержащих сточных вод
- РЕКЛАМА**
- 3-я стр. обл. Бейер Л. В., Данилевский Б. Б., Комиссарова К. О., Посувайло З. В., Сиверс Л. Л. ЭЛТ с волоконно-оптическим экраном для контактной фоторегистрации информации

В СЛЕДУЮЩЕМ НОМЕРЕ

— использование современных методов анализа отказов ИЭТ: электронной спектроскопии для химического анализа в сочетании с растровой электронной микроскопией; рентгеноспектрального флуоресцентного анализа; рентгенорадиометрии;

— контроль полупроводниковых пластин и структур в процессе производства изделий микроэлектроники; экономичная технология изделий электронной техники.

СОВРЕМЕННЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ СРЕДАМ И ХИМИКАТАМ, ИСПОЛЬЗУЕМЫМ ДЛЯ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ

Создание, поддержание и контроль технологической воздушной среды, необходимой для современного производства ИЭТ, следует рассматривать во взаимосвязи с достижением требуемых качественных параметров, используемых в производственном процессе прочих — жидких и газообразных — сред, вспомогательных материалов (химикатов, резистов для микролитографии и др.), а также энергоносителей (электроэнергии, сжатого воздуха, тепло- и хладоагентов и др.). К этой проблеме относятся также проектирование, строительство и эксплуатация специальных технологических помещений, разработка особой технологической одежды и обуви.

На современном этапе развития микроэлектроники все компоненты технологии: исходные материалы, среды, оборудование и оснастка являются потенциальными источниками превышения значений дефектности полуфабрикатов и готовых приборов, допустимых для их нормальной работы. Эмпирически сложившаяся характеристика качества технологических сред, необходимых для производства изделий микроэлектроники, базируется на понятии "особая чистота", которое достаточно точно отражает важнейшее требование технологии — достижение и поддержание максимальной степени защищенности объекта производства от возможных неблагоприятных воздействий окружающей среды. Это означает, что среда должна быть предельно чистой по конкретному перечню факторов физико-химического воздействия, приводящих при определенных условиях воздействия на объект к нежелательному изменению его функциональных характеристик. Наряду с показателями химической чистоты веществ на практике используются такие физико-химические параметры сред, как влажность, температура, состав сложной смеси жидких травителей или технологических газов, степень ионизации воздуха.

Для современной групповой технологии производства микроэлектронных приборов характерна комплексная взаимосвязь между функциональными параметрами приборов и качеством отдельных компонентов технологической среды, контактирующей с объектом производства. Практически невозможно гарантировать качество и высокий выход годных ИС, если хоть один из десятка или сотни факторов "чистоты" совокупного процесса производства вышел из-под контроля. Вот почему в последнее время в среде специалистов по микрозагрязнениям стал распространяться термин "экология кремниевой пластины". Чтобы понять и оценить зависимость производства изделий микроэлектроники от технологических сред, необходимо помимо их классификации и качественной спецификации знать теоретическую модель дефектообразования в технологическом процессе и определить, какие дефекты являются потенциально опасными для конкретных приборов, а также оценить допустимые в технико-экономическом аспекте производства уровни дефектности. При дальнейшем рассмотрении данной проблемы под изделиями микроэлектроники будут подразумеваться наиболее сложные на сегодня — полупроводниковые БИС и СБИС.

Развитие микроэлектроники имеет тенденцию к повышению прецизионности технологических процессов производства, обусловленную, в частности, многослойностью полупроводниковых структур со слоями толщиной от десятых до сотых долей микрометра и локальными планарными размерами топологических элементов от 0,5 до 1 мкм. Вследствие освоения более эффективных технологических процессов и оборудования существенно изменяются и методы контроля качества материалов и приборов. Невозможность применения традиционных методов физической статистики к тому же затруднит моделирование технологических

процессов и проектирование ультрабольших ИС (УБИС). Осложняется задача межоперационного технологического контроля, а также методы испытаний и контроля качества продукции. Достаточно отметить, что в ИС, содержащей 1 млн. транзисторов, за переключение одного элемента становятся ответственными всего 8000 электронов, а свойства активной области транзистора будут определяться лишь 100 примесными атомами.

Наиболее чистые современные материалы и технологические среды характеризуются уровнем микрозагрязнений по отдельным контролируемым примесям порядка нескольких десятков частей на миллиард (*ppb*), или $10^{-6}\%$, а суммарное содержание контролируемых примесей в них составляет от единиц до десятков и сотен частей на миллион (*ppm*), или $10^{-3} - 10^{-2}\%$. Несложные расчеты показывают, что такие уровни загрязнений не позволяют гарантировать надежную работу перспективных ИС. Так, солей металлов, содержащихся внутри оболочки всего только одной бактерии, достаточно, например, для перелегирования (при соответствующем термическом воздействии) локальной области СБИС и ее отказа при эксплуатации.

Дефекты, вносимые на различных стадиях технологического процесса в кристалл полупроводниковой ИС, можно условно разделить на два класса:

- механические макро- и микродефекты, являющиеся следствием нарушения структурной целостности, химической чистоты, оптических и электрофизических свойств сверхтонких слоев, приповерхностных областей и поверхности;

- дефекты энергетической структуры полупроводника, вызванные физико-химическим взаимодействием примеси с основным веществом, приводящие к изменению (с различной степенью локальности) ожидаемых объемных и поверхностных электрофизических характеристик кристалла ИС.

Причинами возникновения первой группы дефектов являются, как правило, дисперсные (взвешенные в технологических средах) микрочастицы размером от десятков до долей микрометра. Вторая группа

дефектов образуется при химическом взаимодействии с объектом производства примесей как растворенных в жидкой или газообразной технологической среде, так и взвешенных.

Использовавшиеся до недавнего времени методы глубокой очистки веществ не обеспечивали очистку жидкостей и газов от взвешенных микрочастиц, поэтому основную часть остаточных примесей в чистых и обособленных материалах, поставляемых для электронной техники химической промышленности, можно считать загрязненными микрочастицами. Таким образом, причиной дефектов, вносимых в полуфабрикаты и готовую продукцию при контакте их с очищенными технологическими средами, являются в основном микрочастицы.

Теоретическая оценка количества сферических частиц на литр жидкости показывает, что при уровне загрязнения в $10^{-4}\%$ должно быть около 2×10^{15} частиц размером 0,01 мкм; 2×10^{12} частиц — размером 0,1 мкм; 2×10^6 — размером 10 мкм и т. д. Экспериментальное определение количества микрочастиц в используемых кислотах и распределение по размерам хорошо согласуется с расчетом. Механизм загрязнения микрочастицами технологических сред и объектов, с ними контактирующих, определяется следующими важными факторами:

- распределением взвешенных частиц по размерам, характеризующимся резким увеличением числа частиц субмикронных размеров по сравнению с частицами размером более 1 мкм вследствие гравитационных закономерностей, а также динамики аэрозолей (хотя при определенных условиях для газов действуют и противоположные факторы, приводящие к конгломерации мелкодисперсных частиц);

- относительной силой адгезии субмикронных частиц к поверхности полированных кремниевых пластин, которая в миллионы раз выше, чем для частиц диаметром более микрометра;

- отсутствием эффективных способов защиты обособленных жидких и газообразных сред, находящихся в технологических емкостях и транспортируемых по трубопроводам,

вследствие чего происходит их быстрое загрязнение, в первую очередь, микро-частицами.

Не менее важен, чем установление факта преобладания микрочастиц как вида примеси в особоистых технологических средах и химикатах, практический вывод о том, что микрочастицы вызывают до 80% всех дефектов, возникающих в процессе производства БИС и СБИС. В технологии микроэлектроники критичным (по оценке вероятности стать источником дефектообразования) принято считать размер (диаметр) микрочастицы не менее 0,1 минимального размера ответственного топологического элемента микросхемы. Для ИС, изготавливаемых по МОП-технологии на основе полевого транзистора, минимальным критичным топологическим размером является ширина линии затвора. Так, для МОП ДОЗУ емкостью 16 кбит с топологическими нормами 4 мкм критичный размер микро-частиц — не более 0,4 мкм, для БИС емкостью 64 кбит с нормами 2,5–3,5 мкм — не более 0,2–0,3 мкм, а для СБИС емкостью 1 Мбит — порядка 0,1 мкм.

Прямую связь между количеством микро-частиц в газообразной или жидкой среде, их количеством на поверхности обработанной полупроводниковой пластины и соответствующим количеством и видом образовавшихся дефектов в кристаллах ИС установить трудно, что часто приводит к недооценке влияния чистоты сред на выход годной продукции. Но существуют упрощенные технологические эксперименты со значительно сокращенным набором критичных факторов, позволяющие с достаточной достоверностью моделировать процессы дефектообразования и прогнозировать результаты реальных сложных технологических процессов. Например, выращивание на поверхности кремниевой пластины слоев окисла различной толщины с последующим замером пробивного напряжения. Обработка пластины контрольными жидкими и газообразными средами с известной степенью загрязненности микрочастицами при последующем подсчете сорбированных поверхностью частиц позволяет по изменению величины пробивного напряжения связать качество

исходных сред с важнейшей функциональной характеристикой МОП ИС. Прямые электронномикроскопические исследования показывают, что в месте включения микро-частицы на границе раздела полупроводник—окисел происходит пробой диэлектрика.

Применяемые в последнее время при анализе отказов ИС сложные физико-химические методы исследования поверхности и приповерхностных областей полупроводниковых структур (лазерная, электронная и ионная спектроскопия и др.) подтверждают наличие корреляции между качеством исходных сред, уровнем загрязнения пластин (их дефектностью) и выходом годных ИС. Рост площади кристаллов ИС и увеличение их сложности сопровождается снижением количества годных кристаллов при неизменной плотности дефектов на пластине. Простейший графический метод анализа показывает, что для полупроводниковых пластин одного размера (например, диаметром 100 мм) с одинаковой плотностью дефектов (например, один дефект на 1 см² площади) гипотетический выход годных снизится с 75 до 19% (за счет уменьшения числа кристаллов и увеличения их размеров с 5x5 до 10x10 мм²). На практике широко используется формула распределения Пуассона, выражающая зависимость доли годных кристаллов от плотности дефектов на поверхности пластины и от площади кристалла одной ИС:

$$F(D, A) = e^{-DA} = \frac{1}{1+DA + \frac{(DA)^2}{2} + \dots} \approx \frac{1}{1+DA},$$

где D — плотность дефектов на поверхности пластины, см⁻², A — площадь одного кристалла, см².

Для оценки процента выхода годных СБИС в современном производстве с использованием многих фотолитографических операций следует применять модификацию этой зависимости:

$$Y = \frac{100}{(1 + D_0 A)^n},$$

где Y — выход годных кристаллов ИС, %; D_0 — удельная плотность дефектов, прихо-

дящаяся на один уровень фотолитографии (слой, маску), деф./см²/слой; n — число операций фотолитографии или последовательно используемых масок (уровней, слоев).

Из практики известно, что в условиях современного производства изделий микроэлектроники имеет место примерно квадратичная зависимость плотности микрочастиц от величины, обратной их размеру. С учетом этого плотность дефектов можно записать как

$$D_{эф} = D_0 (X_0/X_1)^2,$$

где D_0 — исходная плотность дефектов, X_0 и X_1 — исходный и перспективный минимальные размеры критичных элементов топологии СБИС.

Тогда формула для процента выхода годных кристаллов будет иметь вид:

$$Y = \frac{100}{(1 + D_{эф} A)^n}.$$

Это выражение, называемое моделью Бозе-Эйштейна, может служить аналитическим критерием для оценки эффективности новых технологий производства более сложных ИС. Например, легко предсказать, что передовой уровень производства БИС ДЗУ емкостью 64 кбит (уровень дефектности 0,5 деф./см²/слой с выходом годных порядка 60%) не достигим для предприятий, обладающих технологией с уровнем дефектности 2—3 деф./см²/слой (при этом выход годных 5—10%). Однако даже наилучший по современным критериям оценки удельный уровень дефектности (0,5 деф./см²/слой) при уменьшении размеров критичных элементов топологии СБИС до 1 мкм не защитит производство от резкого уменьшения выхода годных кристаллов ИС, так как величина $D_{эф}$ согласно приведенной выше формуле возрастет более чем в 9 раз. С ростом числа критичных процессов фотолитографии при постоянной величине $D_{эф} = 0,5$ деф./см²/слой экспоненциально уменьшается процент выхода годных, что еще более усугубляется ростом размера кристалла СБИС.

Таким образом, прогноз показывает, что неизменность показателей дефектности технологического процесса, если бы она

сохранялась даже на уровне лучших достижений, не позволяет рассчитывать на эффективное производство новых, более сложных приборов. Считается, что только для подтверждения 10%-ного выхода годных перспективных СБИС и УБИС в ближайшие пять лет потребуется достичь показателя удельной плотности дефектов менее 0,05 деф./см²/слой.

На основе практических оценок установлено, что собственно технологический процесс может быть причиной до 25% дефектов, вносимых в полупроводниковую пластину; оборудование и оснастка — причиной 25% дефектов; газы и химикаты — 8%, воздушная среда технологических помещений — 7%, производственный персонал — до 35%.

В технологическом процессе микрочастицы могут возникнуть вследствие определенных химических реакций (например, в газовой фазе). Процессы жидкостной химической очистки полупроводниковых пластин или размерной обработки (травления) в большинстве случаев сопровождаются дополнительной генерацией микрочастиц, загрязняющих объект производства и окружающую воздушную среду.

Что касается технологического оборудования и оснастки, включая межоперационную тару, микрочастицы генерируют здесь загрузочные устройства и все движущиеся механизмы в системе газораспределения, вращения подложкодержателей в реакторах и центрифугах, подъема колпаков. "Чистая" технологическая межоперационная тара для пластин содержит в среднем до 4 млн. частиц различных размеров. Особо следует учитывать возможность загрязнения микрочастицами, генерируемыми оборудованием через воздушную среду в технологических помещениях при хранении и транспортировке полуфабрикатов полупроводниковых изделий.

Оценочный критерий влияния чистоты газов и химикатов на генерацию (8%) базируется на значительном улучшении качества технологических сред, достигнутом в последние годы благодаря их обязательной финишной очистке в технологических процессах производства БИС и СБИС. Качество применяемых для микроэлектроники жид-

ких технологических сред и химикатов в значительной степени зависит от технологии глубокой комплексной очистки воды, поскольку вода не только используется в многочисленных операциях отмывки поверхности полуфабрикатов и готовых изделий, но и служит основой технологических растворов для отмывки, травления и др.

Перед технологическим применением в производстве изделий микроэлектроники природная вода подвергается многостадийной комплексной очистке, в том числе и биологической очистке, так как микроорганизмы и вирусы, не будучи полностью удаленными, через незначительное время вновь восстанавливают свою популяцию. По стандартным требованиям, в технологической воде для производства БИС уровня сложности до 64 кбит суммарное содержание растворенных примесей должно быть в десятки тысяч раз (а по отдельным критическим примесям в миллионы раз) меньше, чем в исходной. Критичный размер взвешенных частиц для конкретного вида продукции составляет 1 — 0,5 мкм. Число частиц размером выше установленного должно быть сокращено с сотен миллионов и миллиардов в литре исходной воды до одной тысячи в литре очищенной. Содержание бактерий не должно превышать 10 на литр, что требует также повышения эффективности очистки воды на несколько порядков величин.

Однако для промышленного производства СБИС и подготовки производства УБИС требуется вода в сотни, тысячи и десятки тысяч раз лучшего качества по неорганическим и органическим микропримесям. Бактерии, коллоиды и пирогены (остатки разрушенных бактерий) практически не допускаются. Допустимые размеры частиц снижаются до пределов 0,1—0,2 мкм, а число частиц свыше этого размера уже не должно превышать одного—двух десятков единиц на литр очищенной воды.

Использовавшиеся ранее для оценки жидких химикатов критерии "чистые" и "особо чистые" после перепроверки этих химикатов на содержание частиц оказались неприемлемыми для микроэлектроники. Недавно был освоен выпуск достаточно дорогих, но гораздо более чистых по содержанию

микрочастиц химикатов. В настоящее время решается вопрос создания стандартов на химикаты специально для микроэлектроники с ограниченным содержанием в них микрочастиц определенного размера в соответствии с конкретным технологическим назначением химикатов.

Воздух технологических помещений в производстве микроэлектронных изделий является наиболее чистым компонентом среди прочих технологических сред. Сравнительно давно установлены наиболее детализированные (хотя сейчас недостаточные и пересматриваемые) требования к качественным параметрам воздуха технологических помещений. Сравнение содержания микрочастиц определенных размеров в воздухе чистых производственных помещений, воде, жидких химикатах и технологических газах стандартного качества показало относительное превышение уровня частиц в химикатах в миллионы раз. Основными параметрами воздушной среды чистых технологических помещений и отдельных рабочих зон в производстве изделий микроэлектроники являются: запыленность взвешенными микрочастицами (объемная концентрация), не превышающая указанную в спецификации; диапазон рабочих температур и точность поддержания; влажность воздуха; кратность воздухообмена, скорость и направленность воздушных потоков; газовый состав воздуха; степень ионизации воздуха.

В чистых помещениях задаются и контролируются также степень освещенности, количество статического электричества на рабочих поверхностях оборудования и оснастки, а также уровень микровибрации оборудования. Эти параметры важны для технологии и частично для персонала.

Результаты специальных исследований убедительно свидетельствуют, что человек в современной сверхчистой производственной среде стал основным источником загрязнения микрочастицами. Человек в повседневной одежде может выделять в окружающую его воздушную среду в среднем не менее 2 млн. частиц различных размеров в минуту. Курящий человек при каждом выдохе выделяет в воздух около 10^4 частиц размером 0,2—0,4 мкм, как минимум в сотни раз больше некуряще-

го, а движущийся человек — в тысячи раз больше микрочастиц, чем неподвижно сидящий. Ряд человеческих привычек (использование косметики, ношение произвольной одежды, употребление в пищу ряда специфических продуктов и др.), заболевания кожи или волос недопустимы для персонала чистых комнат.

Ближайшие перспективы развития микроэлектроники резко ужесточают требования к чистоте воздушной среды чистой комнаты. В ближайшем будущем производство будет вынуждено использовать персонал в спецодежде изолирующего типа с масками и индивидуальными устройствами для дыхания, напоминающими экипировку космонавтов.

Альтернативой все большему дискомфорту и изоляции человека-оператора в технологии современных изделий микроэлектроники является дальнейшая автоматизация процессов и переход к полностью автономному производству, управляемому человеком дистанционно. Однако использование участков, цехов и заводов-автоматов, где роботы и робототехнические комплексы полностью заменяют человека в чистой производственной зоне, не решают проблемы полностью, так как автомат (робот) еще не стал существенно чище в динамике, чем человек, одетый в лучшую защитную одежду. Не достигнуто пока еще и полного соответствия в разнообразии и эффективности операций, которые может выполнять человек и которые можно доверить автоматическому манипулятору. Ряд специалистов считает, что роботизация и суперчистые помещения — это дорогой и недостаточно эффективный путь развития технологии изделий микроэлектроники. В настоящее время изучается концепция снижения требований к чистоте производственных помещений и к персоналу за счет ужесточения требований к герметичности технологического оборудования и организации транспорта материалов, полуфабрикатов и изделий внутри герметичных чистых коммуникаций, соединяющих рабочие места.

Техническое решение проблемы ограничения и полного исключения микрочастиц определенных размеров в жидких и газообразных технологических средах зависит от многих факторов вследствие разнообра-

зия источников таких загрязнений и различия природы частиц. Применительно к каждому конкретному источнику загрязнений кремниевой пластины в процессе производства разработаны комплексные меры защиты и очистки соответствующих технологических сред.

Уменьшение уровня загрязнений (в том числе растворимых) в технологических средах обуславливается тщательным выбором конструкционных материалов трубопроводов, регулирующей и контрольно-измерительной аппаратуры, реакторов, технологической тары и пр. Традиционным материалом технологической оснастки и оборудования является нержавеющая сталь специальных марок с высоким содержанием хрома, никеля и титана. Элементы межсоединений, уплотнения и трубопроводы из этого материала должны подвергаться тщательной химической очистке и финишной электрополировке с целью уменьшения до минимума поверхностных загрязнений и снижения возможности сорбции примесей. В последнее время в качестве универсальных конструкционных материалов с необходимым для технологии изделий микроэлектроники набором физико-химических свойств применяются фторполимеры (фторопласт-4 и его замещенные производные). Оптимальным с точки зрения применимости для микроэлектроники сочетанием свойств обладают материалы $[-CH_2-CF_2-]_n$ (фторопласт-2) и $[-CF_2-CFCl-]_n$ (фторопласт-3). Технологическая тара и оснастка периодически подвергаются интенсивной отмывке и сушке в атмосфере чистого азота.

Помимо применения специальных конструкционных решений генерация микрочастиц работающим оборудованием может быть существенно снижена устройством местных отсосов (вытяжной вентиляцией) в узлах и устройствах, служащих источниками загрязнения. Применимость технологического оборудования для "чистых комнат" должна рассматриваться в первую очередь с точки зрения эффективности решения задачи ограничения генерации им микрочастиц в условиях эксплуатации.

Эффективность применения жидких сред для очистки поверхности кремниевых пластин существенно зависит от условий процесса и выбора состава очищающего агента. Так, горячая (90°С) деионизованная вода

соответственно в 16 и 10 раз быстрее отмывает поверхность кремниевой пластины от следов азотной и серной кислот, чем деионизованная холодная вода (18°C). Очистка кремниевых пластин трихлорэтиленом оставляет на их поверхности в среднем в 5 раз больше дефектов, чем очистка в составах $\text{H}_2\text{SO}_4\text{—HNO}_3$ или $\text{H}_2\text{O}_2\text{—NH}_4\text{OH}$.

Важнейшим принципом достижения и гарантии высокой степени очистки жидких и газообразных сред к моменту и во время их технологического применения является использование финишной мембранной фильтрации. В зависимости от критичного размера частиц, содержание которых нужно ограничить или исключить, применяют различную мембранную фильтрацию: микрофильтрацию (0,05—5 мкм), ультрафильтрацию (0,001—0,05 мкм) или обратный осмос (до 0,0005 мкм). В отличие от объемных (волоконистых) фильтрующих материалов полимерные мембраны обладают абсолютными задерживающими свойствами, так как работает практически только поверхность фильтра, непроницаемого для частиц, которые по размеру больше пор. Тем не менее объемные фильтры также находят эффективное применение в качестве префильтров перед мембранами, разгружая их вследствие своей значительно большей грязеемкости. Устройство современных мембранных фильтров для жидкостей и газов разнообразно и характеризуется широким диапазоном производительности (площади фильтрации) размера пор и химической стойкости. Существенное повышение эффективности применения финишной фильтрации жидких сред достигается при их рециркуляции и непрерывной мембранной очистке. Широкое применение устройств для травления и отмывки пластин, проявления фоторезиста с рециркуляционной мембранной очисткой растворов не только позволяет существенно (в десятки раз) экономить химреактивы и чистую воду, но и заметно улучшает качество продукции за счет снижения дефектности поверхности пластин и повышенной воспроизводимости результатов. Трудно выделить наиболее рациональную схему очистки газообразных и жидких сред, так как производство и весь цикл очистки сред зависят от конкретных условий, т.е. он может быть организован либо на месте, либо централизованно — со специальным транспортом к рабочему месту и доочисткой перед началом использования. Глубокая очистка воды представляет собой наиболее комплексную и ответственную задачу. Как правило, предприятия имеют

полный цикл водоподготовки: от предварительной очистки исходной воды из источника снабжения, центральной (основной) стадии комплексной очистки от ионов, частиц и бактерий до финишной микрофильтрации или ультрафильтрации в месте использования. В зависимости от качества (состава) исходной воды, необходимого количества очищенной воды, а также ее финишного качества общая схема и отдельные блоки водоподготовки могут претерпевать существенные изменения.

Особое значение для микроэлектроники имеет очистка воздуха. С ростом производства ИС и их усложнением увеличиваются объемы чистых помещений и требования к параметрам технологического микроклимата. Основными критериями обеспечения эффективного поддержания жестких требований к чистоте технологической воздушной среды являются: высокая кратность обмена воздуха; ламинарный поток воздуха сверху вниз (с минимумом завихрений и отсутствием застойных зон); беспрепятственное удаление микрочастиц, образующихся в ходе производственной деятельности, вместе с потоком воздуха; постоянная подача воздуха со строго стабилизированными значениями запыленности, влажности, степени ионизации и температуры.

Задача очистки воздуха от микрочастиц с целью форсированной вентиляции помещений не может быть решена с помощью мембранных фильтров вследствие их недостаточной производительности. Решение найдено с помощью ступенчатой очистки воздуха объемными (волоконистыми) фильтрами (финишные фильтры тонкой очистки представляют собой герметичные блоки-сборки на основе гофрированных картонов очень высокой однородности, способные удерживать микрочастицы размером 0,1 мкм).

Эффективность удерживания частиц размером 0,1 мкм фильтрами финишной очистки воздуха составляет 99,9997%. Предварительно очищенный и увлажненный воздух подается на поточные блоки финишных фильтров, подвергаясь при этом дополнительной ионизации с целью уменьшения образования статического электричества и накопления пыли на рабочих поверхностях в чистой комнате. Дальнейшее повышение эффективности финишных воздушных фильтров достигается за счет включения в их состав специальных электродов-коллекторов пыли, на которые подается высокий потенциал (до 10 кВ).

Конструкции чистых помещений или их комплексов существенно различаются по

технологическому назначению, классу чистоты и экономическим ограничениям, определяемым доступными капиталовложениями. В настоящее время на предприятиях, производящих сложную микронэлектронную продукцию, чистые комнаты создаются внутри общих производственных зданий по модульному принципу с возможностью достройки новых помещений и их реконструкции при расширении или переориентации производства. Стандартными конструктивами являются центральная система кондиционирования воздуха и системы его финишной очистки и рецикла (повторного использования). Инженерное обеспечение современного чистого технологического помещения столь комплексно и сложно, что сервисные объемы превышают в 2—3 раза полезный объем. Стоимость типового чистого производственного модуля для производства СБИС достигает десятков миллионов рублей и большая часть этой суммы расходуется на инженерное обеспечение, специальное оборудование и оснастку. Задача гарантированного обеспечения требуемых жестких параметров технологического микроклимата внутри чистых комнат в динамике их эксплуатации столь сложна и специфична, что в большинстве стран с передовой электронной промышленностью сложились и эффективно развиваются специализированные подотрасли промышленности, целиком берущие на себя решение проблемы проектирования, строительства, запуска в эксплуатацию, а часто и сервисного обслуживания чистых комнат для производства изделий микроэлектроники.

Метрологическое обеспечение чистых комнат по сравнению с техническими средствами очистки сред от растворенных и взвешенных примесей еще не решено полностью. Существуют промышленные варианты лазерных счетчиков частиц и спектрометров, контролирующих наличие микрочастиц размером до 0,01 мкм в газах и до 0,3 мкм — в жидкостях, и средства автоматизированного контроля других параметров воздушной среды. Предложен и находится в стадии промышленного освоения новый метод счета частиц размером от 0,05 мкм с использованием эффекта конденсации паров легколетучей жидкости на аэрозоле. Поскольку лазерные методы анализа уже близки к теоретическим пределам чувствительности, в субмикронном диапазоне размеров детектируемых частиц они имеют крайне низкую производительность анализа (объем пробы). Более эффективное решение метрологических проблем предусматривает новый

конденсационный метод. Перспективной считается косвенная оценка степени загрязненности технологических сред по результатам анализа чистоты поверхности и уровня дефектности кремниевых пластин после конкретных технологических операций.

Соблюдение требований снижения дефектности, вносимой технологическим процессом, и соответствующие мероприятия по обеспечению необходимой чистоты технологических сред становятся очень дорогостоящими по мере усложнения продукции микроэлектроники и в ряде случаев приближаются к теоретическим ограничениям. В связи с этим необходим не только поиск альтернатив тотальной очистке контактирующих с кремниевой пластиной сред, но и иной подход к проблеме снижения ее дефектности. Так называемая "концепция дефектных зон полупроводникового кристалла" СБИС и УБИС дифференцирует по количественным и качественным признакам объемное распределение дефектов, что позволяет сконцентрировать усилия на защите конкретных локальных областей кристалла в процессе их формирования.

Подводя итог проведенному анализу проблемы обеспечения эффективного контроля чистоты сред и ограничения дефектности в технологии изделий современной микроэлектроники, можно сделать следующие выводы:

- имеет место прямая зависимость между чистотой технологических сред, выходом годных и экономической эффективностью производства БИС и СБИС;

- предприятия, выпускающие изделия микроэлектроники повышенной сложности, должны вкладывать все более значительные средства в повышение степени чистоты технологических сред при переходе к освоению выпуска новой продукции;

- необходим кардинальный пересмотр подходов к проблемам обеспечения и контроля чистоты сред в технологических процессах и достижения требуемого уровня дефектности полупроводниковых ИС.

Проблема получения особо чистых технологических сред для производства изделий современной микроэлектроники заслуживает самого пристального внимания всех работников отрасли. Ее успешное решение зависит от межотраслевой кооперации и сотрудничества с АН СССР и вузами страны.

ИССЛЕДОВАНИЯ. РАЗРАБОТКИ. МЕТОДЫ РАСЧЕТОВ

УДК 621.3.049.77.002:628.8

Р.П.Пильвинис

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ РЕГЛАМЕНТИРУЮЩИХ ДОКУМЕНТОВ НА УСЛОВИЯ ПРОИЗВОДСТВА ИЗДЕЛИЙ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ

В последние 10 лет окончательно сформировалась и интенсивно развивается новая область в производстве ИЭТ, которую можно назвать технологией микроклимата и чистых технологических сред и которая включает в себя совокупность процессов эксплуатации систем подготовки воздуха, газов, воды и технологических растворов, контроль за выполнением приемов работы и соблюдением соответствующих параметров, надзор за выполнением обязательных правил.

Рождение технологии микроклимата и чистых технологических сред (ЧТС), относимое к 1940 году, было обусловлено необходимостью изготовления для ВВС США высокоточных и малогабаритных приборов, когда потребовалось создание первой так называемой «чистой комнаты» [1]. В дальнейшем этой проблемой занялись различные ведомства, что потребовало разработки соответствующих регламентирующих документов. К их числу относится стандарт, в котором установлены функциональные критерии по проектированию и использованию чистых комнат и чистых рабочих станций. В США в 1963 г. был издан федеральный стандарт FS209B [1], послуживший основой при разработке национальных стандартов ряда стран. В этом стандарте, состоящем из двух частей — собственно стандарта и правил его выполнения, — введены три класса чистоты воздуха: 100000, 10000 и 100. Основой оценки класса чистоты послужили экспериментальные зависимости спектральных концентраций аэрозольных частиц от их размера, которые в определенном диапазоне размеров описываются в логарифмическом масштабе линейными функциями. В 1976 г. в указанный стандарт был введен дополнительный класс 1000.

Уровни классов чистоты по некоторым известным стандартам, определяемые по допустимым концентрациям микрочастиц определенных размеров (например, 0,5; 1,0; 5; 10; 25 мкм), очень близки друг к другу, как это видно из рис. 1 [2, 3]. Для сравнения на том же рисунке приведены примеры распределения концентраций естественного аэрозоля.

В последнее десятилетие, когда появились технические средства контроля частиц аэрозоля размером до 0,1 мкм [5, 6] и даже тысячных долей микрона [7, 8] и стала ясна необходимость контроля очень мелких частиц [9, 10], начались широкие исследования различных аспектов технологического микроклимата и чистых сред, а также работы по усовершенствованию стандартов и других регламентирующих документов. Объектами этих исследований и стандартизации являются: конструкция

чистых комнат и технология их эксплуатации, технологическая одежда, мембранная фильтрация, контрольное оборудование, методика его аттестации, состав и химическая чистота воздуха, правила поведения человека и приемы работы, уровень радиации, вибрации, шума, статических зарядов, внутренние источники тепла и т.п.

Успешное достижение намеченных научно-технических и производственных рубежей отечественной микроэлектроники находится в непосредственной зависимости от своевременного обеспечения требований технологического микроклимата, технологических сред и от научно-технической обоснованности этих требований. В этой связи особую актуальность приобретает корректировка ряда положений действующих отечественных отраслевых и государственных стандартов, в том числе и основного стандарта по электронной гигиене.

Наиболее рациональной концепцией по построению регламентирующих документов представляется разграничение основных параметров по классам — от предельно возможных значений до обычных ус-

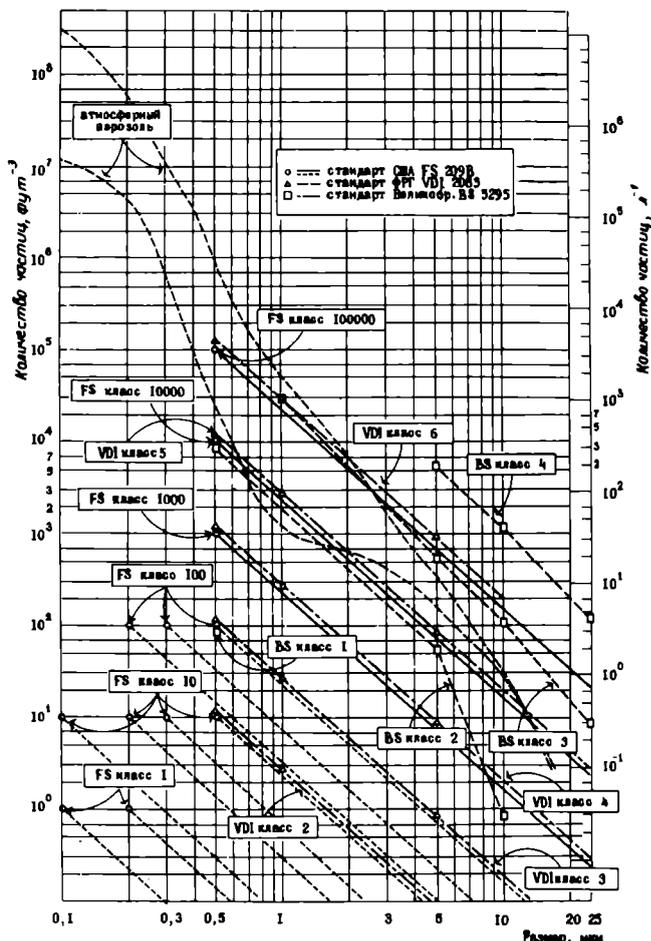


Рис. 1. Классы чистоты воздуха помещений по некоторым зарубежным стандартам и распределение концентраций естественного аэрозоля (по данным работ [2—4])

ловий и разработка стандартов по отдельным объектам (здания, оборудование, одежда и т.д.) с указанием порядка, норм и требований для приведения этих объектов на соответствие данному классу по чистоте и другим параметрам.

Перечень необходимых классов чистоты помещений по основным параметрам микроклимата и технологических сред приведен в табл. 1, а соответствующих стандартов — в табл. 2.

Таблица 1

Параметр	Объект
Концентрация микро-частиц	Воздух в рабочих объемах помещений и оборудования
То же	Поверхность изделия
—" —	Технологические газы
—" —	Технологические растворы
—" —	Технологическая вода
—" —	Фоторезисты
Температура	Воздух в рабочих объемах помещений и пылезащитного оборудования
Влажность	То же
Концентрация аэроионов	—" —
Химический состав (концентрация агрессивных веществ)	—" —
Уровень радиации	—" —
Уровень радиопомех	—" —
Напряженность электромагнитного поля	—" —
Уровень вибраций и шума	Конструкции зданий, энергетическое оборудование, прецизионное оборудование
Интенсивность генерации аэрозольных частиц	Текстильные материалы для технологической одежды, конструкционные материалы, технологическое оборудование, инструмент, оснастка

Таблица 2

Объект	Содержание стандарта
Производственные здания	Проектные нормы (соотношения между площадями под производство, обслуживание, бытовые помещения, конструкция, конструкционные материалы)
Производственные и бытовые помещения	Порядок эксплуатации и уборки, методы испытания и порядок контроля
Энергетическое оборудование	Требования к кондиционерам, калориферам, вентиляторам, воздуховодам, гибким вставкам, клапанам, заслонкам и другим устройствам подачи и регуляции воздуха

Продолжение табл. 2

Объект	Содержание стандарта
Технологическое оборудование	Требования по надежности, уровню генерации аэрозоля, вибрациям, выделению тепла, порядку испытаний на пригодность эксплуатации в помещениях соответствующего класса чистоты
Конструкционные материалы	Требования по статическому электричеству, абразивному износу, интенсивности генерации аэрозоля, методы испытаний
Тара, инструмент, оснастка	Требования по уровню генерации аэрозоля, порядок мойки и испытаний
Пылезащитное оборудование	Требования по скорости потока воздуха, выделению тепла, скорости обеспыливания, фоновой концентрации аэрозоля, вибрациям, порядок испытаний и эксплуатации
Фильтры тонкой очистки воздуха и фильтрующие панели	Требования по эффективности, производительности, аэродинамическому сопротивлению, размеру максимально проскакивающих и полностью задерживаемых частиц, концентрации и спектральному составу фонового аэрозоля, порядок испытаний и эксплуатации
Мембранные фильтры	Требования по производительности, гидродинамическому сопротивлению, эффективности, размеру максимально проскакивающих и полностью задерживаемых частиц, рекомендации по применению, порядок испытаний и эксплуатации
Чистые и сверхчистые технологические растворы и реагенты	Порядок транспортировки, расфасовки, хранения, использования
Технологическая вода	Требования по чистоте, составу, сопротивлению, количеству микрочастиц, порядок транспортировки по магистралям, методы испытаний
Технологическая одежда	Требования к форме, материалам, статическому электричеству, уровню генерации аэрозоля, порядок эксплуатации, частота стирки, методика испытаний
Контрольно-измерительное и испытательное оборудование технологии микроклимата и чистых сред (счетчики частиц, термометры, стенды и т.п.)	Требования по точности, производительности, надежности, рекомендации по применению, методика испытаний и аттестации
Персонал	Методика и тесты отбора, медицинский контроль, контроль физиологических выделений (пот, перхоть), контроль уровня генерации аэрозоля из дыхательных путей, порядок подготовки перед работой, рекомендации по отбору (по основным операциям), приемы работы

Общий уровень производства определяет установленный класс чистоты. В существующей редакции стандарта FS209B официально класс 10 не предусмотрен, хотя на практике он реализован и стоит вопрос о введении класса 1 [9]. Для высших классов основным критерием, как правило, служит количество микрочастиц размером 0,5 мкм в соответствующем объеме, хотя есть предложения для этих классов критерием считать меньший размер частиц — от 0,3 до 0,2 мкм [11]. Однако предпочтительнее, чтобы критерий определения был одинаков для всех классов. Альтернативным решением явилось бы использование в качестве критерия количества частиц размером 0,1 мкм в одном литре. При этом обозначения и уровни классов совпадают со стандартом FS209B. Например, класс 1000 по критерию 0,1 мкм/л практически соответствует классу 1000 по стандарту США, использующему в качестве критерия 0,5 мкм/фут³. Классы чистоты по предлагаемому критерию представлены на рис. 2.

Зависимость концентраций от размера частиц атмосферного и «комнатного» аэрозоля имеет модальный характер. Выбор фракции 0,1 мкм в качестве критерия определения класса чистоты корректен из физических соображений: эта фракция является очень устойчивой.

Дискретность классов, по зарубежным стандартам, соответствует уровням концентраций, различающимся на порядок. Производственная практика указывает на необходимость более тонкой дискретизации в виде подуровней внутри класса. На наш взгляд, было бы оправдано установление 5 подуровней, соответствующих значениям 2,4,6 и 8 мантииссы логарифмической шкалы ординат зависимости концентрации — размер. Тогда обозначения «класс 100/8» и «класс 100/2» соответствовали бы подуровням, не превышающим 80 и 20 микрочастиц размером 0,1 мкм в 1 л воздуха (точки А и В на рис. 2).

Определение класса чистоты производится путем нанесения экспериментальных данных на стандартный бланк «концентрация—размер» в логарифмическом масштабе в установленном диапазоне концентраций. Предпочтительнее, чтобы спектральный счетчик охватил большую часть рассматриваемого диапазона размеров частиц. При этом, с учетом известных сложностей соблюдения правильных условий аспирации и изменчивости оптических свойств аэрозоля [12, 13], для 1/5 части экспериментальных точек допустимо превышение оценки на 20%, т.е. на один подуровень. На рис. 2 приведены два примера определения класса чистоты с помощью спектрометра ЛАС-15 [14]: по предлагаемой методике кривая 1 соответствует классу 10000/4, кривая 2 — классу 1000 ровно. Таким же образом по зависимости количество—размер предлагается определять классы чистоты рабочих поверхностей обрабатываемых изделий ИЭТ [15], хотя четко выраженных законов распределения для чистых поверхностей при этом, как правило, не наблюдается.

С уменьшением концентрации микрочастиц точность определения уровня загрязненности снижается. На уровнях классов 10 и выше возникают серьезные проблемы обеспечения статистической достоверности, поскольку погрешность измерения концентрации частиц пропорциональна $1/\sqrt{N}$ (где N — количество частиц). При количестве частиц, равном 1000, относительная погрешность определения уровня загрязненности составит примерно 3%, при одной частице — 100%. Эти примеры свидетельствуют, что для низких и средних классов чистоты измерение в диапазоне размеров 0,1—0,3 мкм является желательным, но необязательным

условием. Для классов 10 и 1 измерения должны проводиться только по самым мелким частицам. Обеспечение статистической достоверности таких измерений представляет серьезные технические трудности. Для их преодоления необходимо увеличивать объемы проб воздуха.

Высший класс температуры, установленный отечественным стандартом, предусматривает ее допустимые колебания в пределах $\pm 0,2^\circ\text{C}$, чего на сегодняшний день явно недостаточно. Необходимо ужесточение требований к высшему классу и более тонкая дискретизация, например $\pm 0,1$; $\pm 0,2$; $\pm 0,3$; $\pm 0,5$; $\pm 1,0$; $\pm 1,5$; $\pm 2,0$; $\pm 3,0^\circ\text{C}$ от установленной температуры. Для высших классов сезонные изменения этой температуры недопустимы. Кроме того должны регламентироваться допустимые градиенты температуры. Высшие классы температуры, как правило, устанавливаются для помещений высших классов чистоты, где градиенты температур и скорости потока воздуха необходимо ограничивать весьма жестко.

Эксплуатация прецизионного механического, оптико-механического, оптического и радиоэлектронного оборудования также требует установки более жестких норм содержания агрессивных веществ, нежели это предусмотрено действующими санитарными нормами.

Требования к содержанию аэроионов в стандартах обосновываются исходя из необходимости компенсации аэроионной недостаточности. В помещениях высших классов чистоты ионизация имеет целью снятие статических зарядов с поверхностей

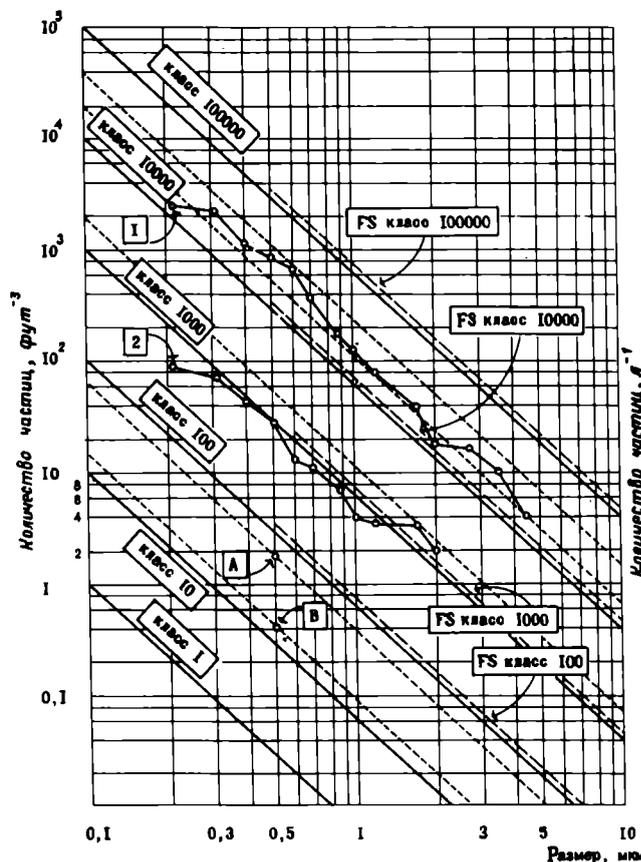


Рис. 2. Предлагаемые классы чистоты технологических помещений по критерию «количество частиц 0,1 мкм/л» (1, 2 — определение класса и уровня чистоты по данным спектрального анализа; А, В — то же самое по данным измерения на одном уровне размеров частиц)

предметов производственного интерьера. Очаги таких зарядов притягивают частицы пыли, которые практически всегда заряжены. Некоторые производственные процессы, например фотолитографические процессы с органическими фоторезистами, требуют пониженной влажности — около 30 и даже 10% [16]. Компенсация дискомфорта персонала из-за низкой влажности возможна за счет повышенной ионизации.

Проектирование производств, соответствующих классам чистоты 10 и выше, требует совершенно другого подхода к архитектуре зданий, энергетическому обеспечению производства, системам управления и контроля [17, 18], организации маршрутов движения и специальной подготовки персонала [19]. В частности, необходимо:

— резко увеличить площади под энергетику, обслуживание и бытовые помещения;

— проектировать системы автоматизированного контроля и управления чистотой и основными параметрами микроклимата и технологических сред;

— полностью виброизолировать все источники вибраций и обеспечить виброзащиту помещений и оборудования;

— использовать вторичные источники тепла, рециркуляцию параметризованного воздуха;

— обеспечить гибкость конструкций (возможность перестройки производства).

Аттестация производственных помещений на соответствие установленному классу чистоты должна производиться в динамике, т.е. при полном комплекте действующего оборудования и полном наборе положенного количества персонала. Требуемый результат может быть достигнут только в случае соответствия всех составных частей производства технически обоснованным нормам. Поскольку степень разработанности перечисленных стандартов весьма различна, встает задача обобщения имеющегося опыта и научно-технического задела, а также создания научных основ, разработки и освоения новых материалов, оборудования, контрольных приборов в рамках комплексной программы.

ЛИТЕРАТУРА

1. C r u m S. Change sweeps through clean room technology.— *Electr. Packaging and Production*, 1984, May, p. 58—63.
2. F l i ä k t. Clean rooms. Швеция, 8 с. [Проспект фирмы].
3. M e i s s n e r - W ü r s t. Mand W-Clean room technology. ФРГ, 44 с. [Проспект фирмы].
4. W h i t b y K.T. The physical characteristics of sulphur aerosoles.— *Atmos. Environment*, 1978, N 12, p. 135.
5. G e b h a r t V.J., B l a n k e n b e r g P., B o r m a n n S., R o s c h Ch., S t a n b.— *Reinhal Luft*, 1983, November, p. 439.
6. Optical particle counters: response, resolution and counting efficiency/I.Makynen, J.Hakulinen, T.Koisto, M.Lehtimäki.— *J.Aerosol Sci.*, 1982, N 6, p. 529.
7. TSI. Particle research instruments. США, 40 с. [Проспект фирмы].
8. KANOMAX Япония, 4 с. [Проспект фирмы].
9. T o l i v e r D.L. Contamination control: new dimension in VLSI manufacturing.— *Solid St. Technology*, 1984, March, p. 129.
10. G u l e t t M.R. A practical method of predicting IC yields.— *Semiconductor International*, 1981, March, p. 87.
11. B u r n e t t J. Clean rooms for ULSI manufacturing: class 1 practice.— *Solid St. Technology*, 1985, September, p. 121.
12. С м и р н о в В.В. Основные характеристики спектрометров аэрозолей.— Труды института экспериментальной метеорологии, 1984, вып. 7(112), с. 3.
13. Б е л я е в С.П., К у с т о в В.Т. Погрешности отбора проб атмосферных аэрозолей.— Труды институ-

та экспериментальной метеорологии. 1984, вып. 7(112), с. 72.

14. Г и р г ж д и с А.Ю., П и л ь в и н и с Р.П., Т а м о ш ю н а с А.В., Э й г е л и с Р.Ю. Автоматический логарифмический аэрозольный спектрометр для научных исследований.— *Наст.вып.*, с. 55.

15. B a r d i n a J. A method of classifying the cleanliness level of surfaces.— *Microcontamination*, 1984, February/March, p. 29.

16. K i l p a t r i c k M.K. Clean rooms: the common sense approach to effectiveness.— *Solid St. Technology*, 1984, March, p. 151.

17. И с и к а в а И. Хандотай корё-но куринрүму.— *Дэнси дзайрё*, 1982, т. 21, № 8, с. 38.

18. Consideration when building a 1 to 2 micron facility.— *Semiconductor International*, 1984, January, p. 19.

19. E d m a r k K.W., Q u a s k e n b o s G. An American assessment of Japanese contamination.— *Control Technology*.— *Microcontamination*, 1984, October/November, p. 47.

Статья поступила 11 апреля 1986 г.

УДК 628.8:621.382.002

Р.П.Пильвинис

АЭРОЗОЛЬНОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ В ПРОИЗВОДСТВЕ ИЭТ

Моделирование выхода годных ИЭТ от плотности дефектов и размеров кристалла приводит к зависимости типа обратной показательной функции [1]. Для нее характерен резкий спад при некотором значении плотности дефектов — тогда производство становится экономически невыгодно. При современных тенденциях микроминиатюризации и роста интеграции ИЭТ критичными становятся более мелкие дефекты. В этой связи для сохранения экономически выгодного выхода годных необходимо решать исключительно трудные технические проблемы обеспечения требуемых условий производства. Эти проблемы усложняются и психологическим барьером — трудностью восприятия при переходе к новым классам изделий. Так, например, по данным [2], для БИС 64К, характерных для 1982 года, выход годных на функционировании составлял 60% при плотности дефектов на слой $0,5 \text{ см}^{-2}$ на уровне $\geq 0,6 \text{ мкм}$. Для СБИС 1990 года, имеющих в 1,5 раза большую площадь кристалла и в три раза меньшие размеры элементов, чтобы обеспечить 10%-ный выход годных, плотность дефектов должна быть снижена до $0,05 \text{ см}^{-2}$ на уровне $\geq 0,2 \text{ мкм}$. С учетом известных соотношений распределения микрочастиц по размерам это равнозначно ужесточению требований к чистоте более чем на два порядка.

В данной работе сделана попытка выяснить физические и технические возможности, а также сопутствующие аспекты решения задачи обеспечения требуемого уровня содержания аэрозольных частиц в воздухе и газовых технологических средах при изготовлении ИЭТ.

Аэрозоли представляют собой взвеси твердых и жидких частиц в газовой среде. В глобальном масштабе доля аэрозоля антропогенного происхождения в настоящее время составляет

примерно 20—25% и постоянно возрастает [3]. С уменьшением размера частиц счетная концентрация аэрозоля возрастает пропорционально их диаметру в соответствии с закономерностью d^{-3} . Атмосферный и «комнатный» аэрозоль имеет многомодальное распределение. Значение модальных диаметров для распределений по счетной концентрации примерно соответствует размерам 10^{-2} , 10^{-1} и 10 мкм [4]. На аэрозольные частицы действует множество сил, обусловленных потоком (силы сопротивления, диффузионные), полем (тяжести, электрического, магнитного притяжения и отталкивания), инерцией и взаимодействием между собой (столкновения, трения, адгезии) и др. Аэрозольные частицы всегда частично заряжены. Под влиянием указанных сил происходят процессы генерации новых частиц, коагуляции, седиментации и оседания на поверхности других тел [5—7]. Счетная концентрация аэрозольных частиц отвечает установившемуся термодинамическому равновесию между скоростью их генерации и скоростью коагуляции и осаждения. Учитывая, что скорость коагуляции пропорциональна квадрату числовой концентрации, ее рост с уменьшением размера частиц можно объяснить исключительно высокими скоростями генерации малых аэрозольных частиц. Требование чрезвычайно низкого содержания аэрозоля в производственных помещениях соответствует крайне неустойчивому термодинамическому состоянию, для поддержания которого требуются высокие энергетические затраты. Чистых сред «самих по себе» не существует, так как процесс загрязнения уменьшает внутреннюю энергию системы. Для обеспечения чистоты энергетические затраты являются обязательными, но не достаточным условием. Поэтому возникает необходимость в специфической организации энергетических затрат, помещений, технологического процесса, рабочих приемов и других мероприятий.

Рассмотрим основные источники и механизм аэрозольного загрязнения производственных помещений и технологических газовых сред.

Опасность аэрозольного загрязнения от одного или другого источника зависит от размеров микрочастиц, счетной концентрации, их агрегатного состояния и природы. Многообразие потенциальных источников загрязнения может быть проиллюстрировано рис. 1 [5, 8—12]. Считается, что критический размер дефекта, который начинает сказываться на работоспособности ИЭТ, составляет 0,1 от размера минимального элемента [9, 13]. Дефекты, составляющие 0,25—0,33 от размера минимального элемента, расцениваются как катастрофические [14]. Этот критерий в рис. 1 взят за основу при определении границ опасности в зависимости от размера дефекта. Как видим, к 1990 году практически не останется никаких источников загрязнений, влиянием которых можно было бы пренебречь из-за малости размеров аэрозольных частиц. Надо отметить, что чем меньше микрочастица, тем сильнее она адгезирует и, следовательно, хуже поддается очистке (отношение силы адгезии микрочастицы к собственному весу обратно пропорционально ее размеру [15]).

Одним из источников аэрозольного загрязнения в производственных помещениях (см. таблицу) может быть само пылезаститное оборудование. При высоких скоростях вытесняющего потока в локальном рабочем объеме за-

щитного оборудования возрастает динамическая составляющая давления и снижается статическая. При незначительном избытке давления в помещении по отношению к зоне обслуживания статическая составляющая в локальном рабочем объеме может стать меньше, чем в зоне обслуживания. В результате начинается инжекция грязного воздуха из этой зоны через отверстия и неплотности в разделяющей стенке.

Незначительные неплотности в фильтрах тонкой очистки воздуха сильно снижают их эффективность. На конечных ступенях тонкой очистки воздуха из-за сложностей обеспечения герметичности не рекомендуется использовать фильтры с деревянным каркасом, поскольку в процессе эксплуатации в результате переисхания происходит их разгерметизация. Операции изготовления фильтрующих элементов и сборки фильтров должны производиться по крайней мере в условиях такого же класса чистоты, как и при их использовании. Нами установлено, что «приработка» фильтров типа ЛАЙК, во время которой происходит частичное самоочистление от накопившегося в процессе их изготовления пыли, занимает до 30 ч. Для этого периода характерно превышение фоновой концентрации аэрозоля в 20—25 раз (с отдельными всплесками до 75—200 раз) по сравнению с обычным уровнем.

Мощным источником технологически очень опасного аэрозоля являются негерметичные системы выхлопа масла. Интенсивность генерации масляного аэрозоля, состоящего из капелек размерами от 0,01 до нескольких микрон, как правило, очень высока. Например, при снижении диаметра выхлопной трубы малоомощного форвакуумного насоса в два раза в помещении с фоновой суммарной концентрацией аэрозоля 50—80 част./л в диапазоне размеров $\geq 0,26$ мкм после 5, 30 и 60 мин работы насоса

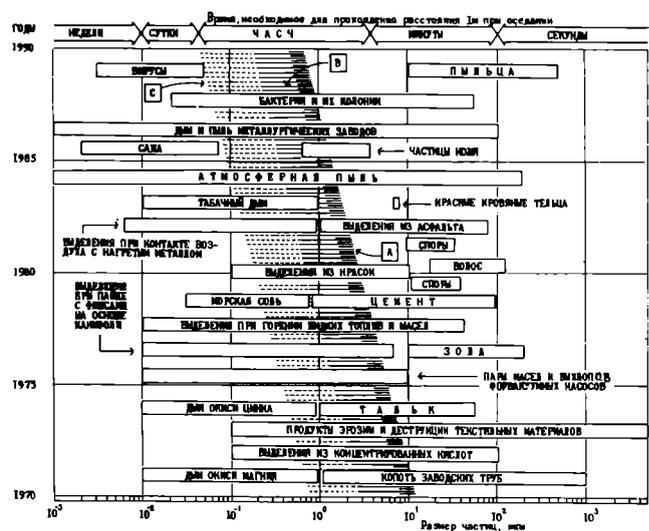


Рис. 1. Диапазоны размеров, временные характеристики гравитационного осаждения некоторых естественных и искусственных источников аэрозольных частиц.

Штрихами показана кинетика размеров минимальных элементов и критических дефектов. А — границы размеров минимальных элементов; В — область размеров дефектов, приводящих к катастрофическим отказам; С — область размеров дефектов, приводящих к параметрическому браку

концентрация аэрозоля возрастает до 9400, 6020 и 155060 част./л соответственно (объем помещения 165 м³, кратность обмена воздуха 12 ч⁻¹).

Пайка с применением флюса на основе канифоли также обуславливает образование аэрозоля. Когда пайка ведется в пылезащитном

оборудовании с воздушным потоком замкнутого цикла, засоряется все внутреннее пространство с размещенным в нем оборудованием. Кинетика обеспыливания рабочего объема пылезащитной установки после проведения процесса пайки приведена на рис. 2. Восстановле-

Источники и основные механизмы аэрозольного загрязнения производственных помещений

Первичные источники образования аэрозолей	Объект	Узел	Механизмы образования аэрозоля
Частицы, поступающие извне	Помещение	Фильтрующие панели, стыки элементов конструкции	Просачивание через неплотности наружного воздуха из соседних помещений из-за дисбаланса давления
	Пылезащитное оборудование	Конструкции, отделяющие чистую зону от зоны обслуживания	Инжекция через неплотности из зоны обслуживания при снижении статической составляющей давления при высоких скоростях потока воздуха, при циклах открытия-закрытия дверей в установках с замкнутым потоком воздуха
Частицы, генерируемые внутри помещения	Персонал, оборудование, инструменты, материалы, тара, оснастка, инвентарь		Отрыв осевших микрочастиц грязи под воздействием механических усилий, воздушных потоков, электрического поля от поверхности и зазоров, углублений на предметах и объектах, заносимых в помещение. Отрыв частиц от тела и одежды персонала
	Помещение	Элементы конструкции здания, помещения	Трение соприкасающихся элементов под воздействием вибраций, звуковых колебаний, изменения температуры, колебаний давления. Эрозия поверхности слоев под воздействием температуры, влажности, микроорганизмов, света, воздушных потоков, агрессивных сред
	Оборудование		Дополнительно: коррозия металла, выделение продуктов деструкции органической компоненты воздуха на горячих поверхностях; выделение металлического аэрозоля при искрении; разрушение под воздействием хим. реагентов, плазмы, механических напряжений, термоударов; захват остатков фоторезиста, полимеробразных продуктов реакции паразитными потоками или при повышенных скоростях напуска и откачки газов; царапание и скалывание острых краев кремниевых пластин, фотошаблонов, кварцевых труб и оснастки на операциях загрузки, выгрузки
	Технологический процесс		Хрупкое скалывание или прилипание фоторезиста при неоптимальных режимах термообработки. Образование рыхлых полимерных пленок при рекомбинации свободных радикалов в плазме, металлических и др. продуктов реакций в процессах вакуумного и плазменного формирования покрытий. Выделение масляного аэрозоля при неправильных режимах откачки
	Человек в технологическом процессе	Открытые части тела	Повышенное выделение аэрозоля из органов дыхания при курении и некоторых болезнях. Частицы кожи, волос, частицы при рубцевании царапин, укусов насекомых. Повышенное шелушение кожи при загаре
		Спецодежда, принадлежности, обтирочные технологические материалы, бумага	Пыль и ворс из-за механо- и термодеструкции, из-за некачественной стирки, нарушений частоты смены, наличия электростатических зарядов. Повышенная генерация аэрозоля при резких движениях, скоплении, ношении и использовании посторонних предметов. Ведение записей на бумаге
	Человек (ремонтно-наладочная работа, уборка)		Выделение аэрозоля при сварке, пайке с использованием флюса на канифольевой основе, от чертежей, измерительного оборудования, инструментов, материалов

ние концентрации аэрозоля до исходной занимает десятки минут.

Крайне нежелательны ремонтные работы во время технологического процесса. При необходимости их проведения должны быть предусмотрены соответствующие предохранительные меры (установка разделяющих перегородок, непрерывный контроль концентрации аэрозоля и т.п.).

С уменьшением размеров допустимых критических дефектов оказалось, что многие узлы технологического оборудования, которые раньше были вне подозрения, являются источниками загрязнения. В принципе, генераторами аэрозольных частиц являются все движущиеся, трущиеся узлы, стыки, регулирующие элементы (вентили, отверстия впуска-выпуска), места, подверженные термоударам, механическим напряжениям, вибрации, воздействию сильных газовых потоков [9, 16]. Даже специально предназначенные для работы в сверхчистой среде роботы при движении манипуляторов повышают концентрацию аэрозоля на 30—80% по отношению к фоновой концентрации, соответствующей паузам между движениями [17].

Аэрозоль генерируют также все предметы производственного интерьера, включая фильтры тонкой очистки воздуха и приборы по контролю среды. В этой связи все предметы производственного интерьера, и в первую очередь технологическое оборудование, необходимо аттестовать на параметр «интенсивность генерации частиц». Этот параметр наряду с технологическими возможностями оборудования и его надежностью должен быть основным критерием, позволяющим судить о пригодности оборудования для использования в производстве данного класса изделий.

Интенсивность генерации аэрозольных частиц должна определяться в условиях, максимально приближенных к производственным, с имитацией полного технологического процесса в динамике.

Также не существует абсолютно чистых технологических процессов. Основной объект микроэлектронного производства — кремний — является очень хрупким и подверженным скалыванию материалом. Хрупкой и скалывающейся является кварцевая оснастка, стеклянные или кварцевые подложки фотошаблонов, а также высушенные до стеклообразного состояния положительные фоторезисты. Газовыми воздушными потоками крошки этих материалов переносятся на обрабатываемую поверхность. С точки зрения аэрозольного засорения не рекомендуется применять такие технологические приемы, как транспортировка на воздушной подушке, обдувка сжатым газом, жидкая обработка методом распыления [15, 18].

Комплексный анализ и идентификация микрочастиц на поверхности обрабатываемых изделий указывает на то, что главным источником аэрозольных загрязнений является человек [14, 15, 19, 20]. По оценке, проведенной в работе [14], микрочастицы в 60% случаев являются причиной брака, из них на долю человека приходится 40%. Возможности полного исключения человека из производственного процесса изготовления ИЭТ на ближайшие 10—15 лет маловероятны. По данным [14], в настоящее время только 26—44% цикла производственного процесса может быть полностью роботизировано, все остальное требует вмешательства человека.

Требования к персоналу, правилам его поведения, технологической одежде общеизвестны.

Представляет интерес оговорить некоторые аспекты, без которых невозможен реальный прогресс в снижении аэрозольного загрязнения, источником которого является человек. Так, далеко не каждый человек по состоянию здоровья и физическому самочувствию может быть допущен к работе в сверхчистых условиях. В связи с этим требуется разработка и введение соответствующих тестов по подбору персонала для каждого вида работы и на возможность его допуска к работе в данный момент.

Особую проблему представляет собой курящий персонал. Концентрация аэрозоля частиц в воздухе, выдыхаемом курильщиком после затяжки, составляет 10^{11} — 10^{12} частиц (размерами 0,01—1 мкм) на 1 л. Максимум приходится на частицы размером 0,2—0,4 мкм

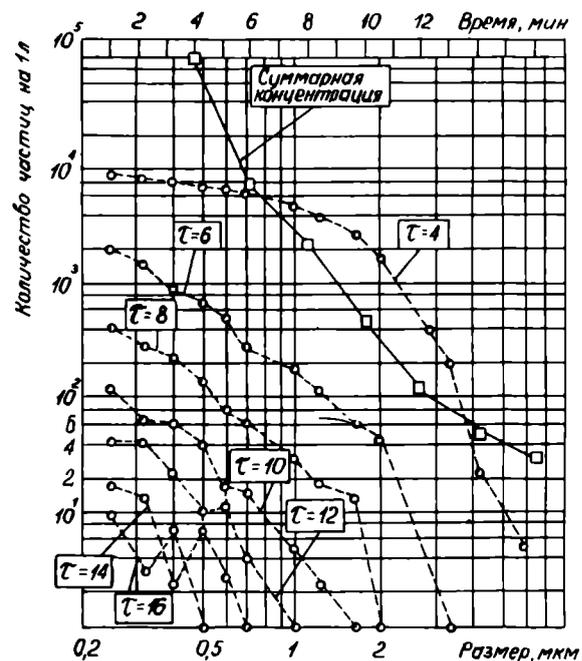


Рис. 2. Спектральное распределение концентрации аэрозоля и кинетика обеспыливания рабочего объема пылезащитной установки после пайки с применением флюса на основе канифоли (τ — время от начала пайки, в минутах)

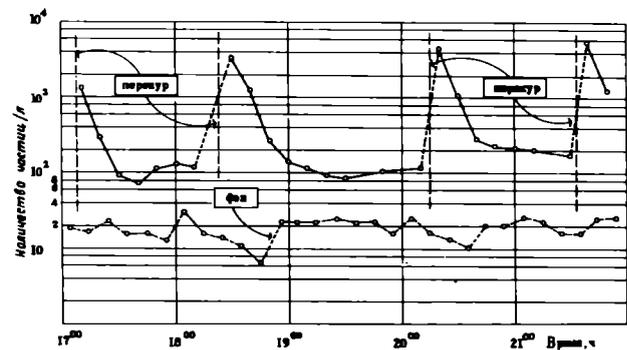


Рис. 3. Кинетика выделения аэрозольных частиц курящим в течение рабочей смены

[5]. После курения человек выделяет в 10—35 раз больше частиц, чем некурящий [20, 21]. Частицы табачного пепла переносятся курящим на рабочие места. Характерно, что после каждого перекура наблюдается постепенный рост интенсивности генерации аэрозоля (рис. 3). Выход здесь один — запрещение курения до работы и в течение рабочего дня для всех работников, которые потенциально могут иметь любой вид контакта со сверхчистым производством, а для самого производства использовать только некурящий персонал.

Технологическая одежда позволяет на один—два порядка снизить интенсивность генерации аэрозоля [22]. По данным работы [23], человек в одежде, соответствующей требованиям класса 10000, в среднем за минуту генерирует около 1750 част./л. Интенсивность генерации человека в одежде, соответствующей классу 100, оценивается как 208 част./л·мин. Поскольку интенсивность генерации аэрозоля зависит от интенсивности и частоты производимых работником движений, это накладывает определенные требования на приемы работы и правила поведения персонала. Соблюдение этих требований поведения при полном наборе защитных средств — от комбинезона и бахил до маски, фильтреток и очков, а также при отсутствии естественного для человека аэрозольного фона создает известный дискомфорт для работающего персонала. В результате часто недооцениваются поставленные требования, не принимаются новые приемы работы и проявляется нежелание работать в сверхчистых помещениях. Устранению психологического барьера может способствовать установление определенных надбавок к зарплате. Возможны и технические решения по снижению степени дискомфорта, например создание активных дыхательных масок и т.д.

Реальный прогресс в борьбе за повышение выхода ИЭТ невозможен без соответствующей психологической подготовки персонала и его постоянного технического обучения [24, 25]. Работающий обязан знать, каким образом и насколько может отразиться на выходе годных отступление от технологического процесса, несоблюдение необходимых приемов работы. Основными мероприятиями, способствующими снижению аэрозольного загрязнения в микроэлектронном производстве, надо считать следующие.

Снижение продолжительности технологического процесса, которая фактически (по оценке [4]) в настоящее время на порядок превышает теоретически требуемую.

Автоматизация и роботизация технологического процесса, что обеспечивает снижение загрязненности в среднем на порядок [17, 26] и обуславливает лучшую воспроизводимость результатов, меньший бой пластин, возможность работы робототехнических устройств с вредными и агрессивными веществами [27]. Использование роботов оправдано только тогда, когда они исключительно надежны, не требуют переналадок, характеризуются очень низкой вносимой дефектностью во время технологического цикла. С этой точки зрения, представляется сомнительной идея проведения полностью автоматизированного технологического цикла в замкнутом сверхчистом кольцевом объеме в условиях помещения средней чистоты [10, 26].

Новые технологические приемы, позволяющие снизить уровень аэрозольной запыленности. В этом отношении представляют интерес материалы, способные сохранять значительный электрический заряд даже при повышенной влажности. К их числу относятся электреты, притягивающие пыль из окружающего пространства с расстояния до 50 мм [17]. Микрочастицы с поверхности электретов легко смываются любым неполярным растворителем. Электреты могут использоваться с целью очистки поверхности полупроводниковых пластин и фотошаблонов, а также в качестве экранов-вставок для предохранения критических объемов оборудования от загрязнения. Для уменьшения выхода микрочастиц из внутреннего пространства технологической одежды, которая при совершении движений оператором работает как мехá, отдельные ее части (манжеты, воротник) выполняют из нетканых материалов, так называемых фильтреток [10]. Снижению занесения извне пыли на обуви способствует использование липких ковриков, представляющих собой многослойный материал из нескольких десятков слоев с адгезивом [28].

Любая заряженная поверхность предметов производственного интерьера притягивает и накапливает микрочастицы. Накопленная пыль под воздействием вибраций, механических толчков и деформаций отрывается определенными порциями, обуславливающими спорадические локальные всплески концентрации аэрозоля. Снижению уровня статического электричества способствует ионизация воздуха, поступающего из фильтров тонкой очистки, устройствами, генерирующими попеременно положительные и отрицательные аэроионы [29].

Организационно-технологические мероприятия. Достижение экономически оправданного выхода при переходе к изготовлению качественного нового класса изделий невозможно без отработки технологии, снижающей до необходимого уровня вносимую плотность дефектов на каждой ступени технологического процесса. Как правило, это требует больших капитальных затрат по реконструкции систем подготовки воздуха и технологических сред, разработке соответствующих автоматических систем контроля и управления. Далеко не каждое производство можно приспособить под новые задачи. Если необходимые мероприятия выполнены не комплексно, а только частично, выход годных никогда не будет высоким. Механизм дефектообразования определяет не только выход, но и надежность изделий: изделия, имеющие низкий выход, не могут быть высоконадежными. Поэтому организационно-технологические мероприятия должны предусматривать разработку системы, обеспечивающей быструю обратную связь измеренных данных с режимами технологического процесса, создание оптимальных технологических маршрутов, исключение неудачных технологических операций, уменьшение количества операторов и т.п.

Опыт зарубежных фирм показывает, что задачи организационно-технологического обеспечения наиболее эффективно выполняются, если ими занимаются специализированные научно-исследовательские группы, объединенные в соответствующем подразделении. Они курируют проектирование производств и систем их обеспечения, занимаются разработкой «чистых» технологических про-

цессов, систем контроля и управления параметрами микроклимата и технологических сред, проводят соответствующие прикладные исследования, обучают технический персонал.

Задачи обеспечения экономически оправданного выхода ИЭТ, и особенно при переходе к новым классам изделий, могут быть выполнены только при комплексном проведении мероприятий, повышающих культуру производства. Наиболее сложными, дорогостоящими, но и первоочередными являются мероприятия, направленные на снижение аэрозольного загрязнения на всех ступенях технологического процесса.

ЛИТЕРАТУРА

- Gulett M.R. A practical method of predicting IC yields — Semiconductor International, 1981, March, p. 87.
- Burnett I. Clean rooms for VLSI manufacturing: class I practice — Solid State Technology, 1985, Sept., p. 121.
- Петренчук О.П. Экспериментальные исследования атмосферного аэрозоля. — Л.: Гидрометеоиздат, 1978—1980. — 264 с.
- Whitby K.T. The physical characteristics of sulfur aerosols. — Atmos. Environment, 1978, N 12, p. 135.
- Грин Х., Лейн В. Аэрозоли-пыли, дымы и туманы/Пер. с англ. — Л.: Химия, 1972. — 427 с.
- Пирумов А.И. Обеспыливание воздуха. — Стройиздат, 1974. — 207 с.
- Клименко А.П. Методы и приборы для измерения концентрации пыли. — М.: Химия, 1978. — 206 с.
- Куприянов И.П. Технологический микроклимат. — М.: Сов. радио, 1976. — 176 с.
- Tolliver D.L. Contamination control: New dimensions in VLSI manufacturing — Solid State Technology, 1984, March, p. 129.
- Hoenig S.A., Daniel S. Improved contamination control in semiconductor manufacturing facilities — Solid State Technology, 1984, March, p. 119.
- Wolling L.R. Are clean rooms really necessary for fine-line printing-circuits — Circuit manufacturing, 1981, Nov., p. 54.
- Микролитография второй половины 80-х годов. Обзор по материалам зарубежной печати, 1985, вып. 21(326), 5 с. — ЦНИИ «Электроника».
- Duffin R.L. Process gas filtration in integrated circuit production — Microcontamination, 1983/84, N 4, p. 34.
- Harper I.G., Bailey L.G. Flexible material handling automation in wafer fabrication. — Solid State Technology, July, 1984, p. 89.
- Duffalo J.M., Monkowski I.R. Particulate contamination and device performance — Solid St. Technology, 1984, March, p. 109.
- Hoh P.D. Quantative particulate contamination studies utilizing reduced turbulence pumping and venting. — Journ. Vac. Sci. and Technol., A, 1984, vol. 2, N 2, p. 198.
- Hoenig A.S. Thi Clean room as a system for contamination control — Solid St. Technology, 1985, Sept., p. 129.
- Long M.M. Photoresist particle control for VLSI microlithography. — Solid St. Techn., 1984, March, p. 159.
- Tim B. Vander Wood. Identification of particulate contaminants in IC manufacture. — Solid St. Techn., 1985, August, p. 177.
- Crusial considerations when building a 1 to 2 micron facility — Semiconductor International, 1984, January, p. 19.
- Crum S. Change sweeps through clean room technology — Electr. Packaging and Production, 1984, May, p. 58.
- Ковамата Т. Эффективность НЕРА фильтров под частицы 0,1 мкм. — Денси дзайрё, 1982, т. 21, № 2, с. 122. (На японск. яз.).
- Dalstrom M.S. Clean room garments:

where from here? — Semiconductor International, 1983, April, p. 110.

24 Singer P.H. The technology of clean room design — Semiconductor International, 1984, June, p. 94.

25 Taimble Y.M. It's time to assess your training needs. — Microcontamination, 1983, June, p. 51.

26 Kaemp P.M. SMIF: A technology for wafer cassette transfer in VLSI manufacturing. — Solid St. Technology, 1984, July, p. 89.

27 Weiss M. Automated wafer processing using robots — Solid State Technology, 1984, July, p. 163.

28. С.ИТОН. Липкая цинковка для очистки пыли. (На японском языке). С. 4. [Перспектив фирмы]

29. Head G.O. Air ionization for control of particulates and electrostatic discharge. — Microcontamination, 1984, Aug/Sept., p. 24.

Статья поступила 11 апреля 1986 г.

УДК 621.317.799:621.3.049.77

А.И.Бутурлян, Т.А.Габузян, А.А.Васильев, А.Я.Дикевич

ХИМИЧЕСКИЕ СЕНСОРЫ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СРЕД МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ

Применение интегральных преобразователей химического состава парогазовых сред позволяет решить важную для микроэлектроники практическую задачу — определение концентрации активных газов, используемых на операциях изготовления интегральных микросхем.

Наиболее важным в микроэлектронном производстве является определение концентрации водорода и водородсодержащих газов, кислорода и других окислителей в инертной среде, а также контроль утечки этих газов в атмосферу чистых комнат. С этой точки зрения большое значение приобретает обеспечение работающих в этих производственных условиях портативными индивидуальными детекторами.

Существующие в настоящее время аналитические методы измерения концентрации активных газов предполагают использование сложного оборудования и не обеспечивают оперативного анализа газовой среды, а также возможности их применения в системах непрерывного контроля технологических процессов. Поэтому актуальной представляется разработка технологии и конструкции химических сенсоров и портативных приборов на их основе. Одним из путей решения этой задачи является применение полупроводников для определения концентрации газов, основанное на изменении примесной проводимости этих материалов при обратимой хемосорбции активных газов [1]. Концентрация газа при этом преобразуется непосредственно в электрический сигнал, для регистрации которого требуются относительно простые электрические схемы.

Наиболее широко при разработке газочувствительных резисторов используются полупроводниковые окислы металлов, и в частности двуокись олова. В этом полупроводнике *n*-типа, характеризующемся дефицитом

кислорода в кислородной подрешетке, кислородные вакансии служат основными поверхностными центрами хемосорбции окислителя, результатом которой является изменение проводимости.

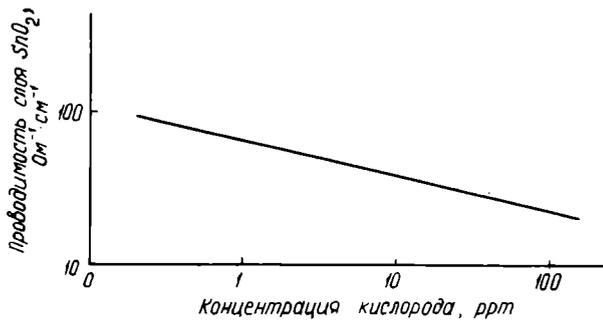


Рис. 1. Зависимость проводимости слоя двуокиси олова от концентрации кислорода. Температура слоя двуокиси олова 583 К

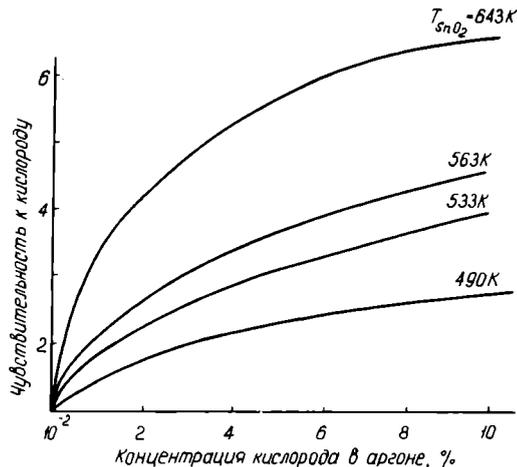


Рис. 2. Зависимость чувствительности к кислороду от концентрации кислорода и температуры слоя двуокиси олова

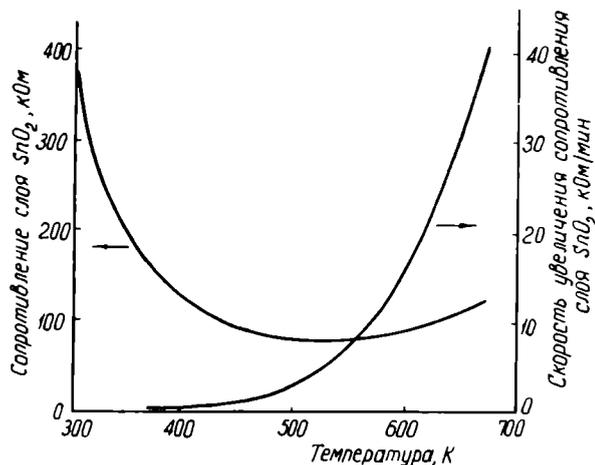


Рис. 3. Зависимость сопротивления и скорости изменения сопротивления слоя двуокиси олова от температуры. Парциальное давление кислорода 6 Па

Определение концентрации кислорода, фтора и химически активных фторидов

Наиболее распространенным окислителем в технологии интегральных микросхем является кислород. Кислород присутствует практически во всех технологических средах, и его концентрация в них является достаточной для существенного изменения проводимости SnO_2 . На поверхности указанного полупроводника кислород хемосорбируется в виде ионов O_2^- [2].

Как видно из зависимости проводимости пленок SnO_2 от концентрации кислорода (рис. 1), порог чувствительности по кислороду в инертной среде составляет примерно 0,1 ppm. Чувствительность к кислороду, определяемая как отношение сопротивления слоя SnO_2 при исследуемой концентрации к сопротивлению слоя при концентрации кислорода $10^{-5}\%$, возрастает с увеличением рабочей температуры полупроводника (рис. 2).

Хемосорбция кислорода в широком интервале концентраций кислорода может быть описана изотермой Фрейндлиха:

$$\sigma \sim B \cdot C_{\text{O}_2}^{1/4},$$

где σ — проводимость пленок SnO_2 ; B — константа; C_{O_2} — концентрация кислорода в газовой среде.

Кинетика хемосорбции кислорода оценивается по скорости захвата электронов, характеризующегося определенной энергией активации ΔE :

$$\frac{dn_i}{dt} = a \exp\left(\frac{\Delta E}{kT}\right),$$

где n_i — концентрация электронов, захваченных на хемосорбированные молекулы кислорода; a — константа; T — температура; t — время.

Как видно из температурных зависимостей сопротивления слоя двуокиси олова и скорости его изменения (рис. 3), скорость хемосорбции кислорода на пленках SnO_2 начинает возрастать при температурах выше 500 К. Таким образом, проводимость пленок SnO_2 в значительной мере определяется условиями их обработки в кислородсодержащей среде: температурой и концентрацией кислорода в газовой фазе [3].

Высокая чувствительность пленок SnO_2 к кислороду позволяет реализовать на их основе химические сенсоры для измерения концентрации кислорода в инертной среде и в воздухе.

При совместной хемосорбции двух электроотрицательных газов, один из которых химически активнее другого, например кислорода и фтора, может происходить сорбционное вытеснение одного газа другим. Например, фтор, обладая значительно большей теплоотой хемосорбции, чем кислород, вытесняет его с поверхности SnO_2 . При этом даже при малых концентрациях фтора в воздухе имеется очень высокая степень заполнения поверхностно-активных центров этого полупроводника.

На начальном участке хемосорбция фтора с высокой точностью аппроксимируется изотер-

мой Лэнгмюра (рис. 4):

$$\frac{\Delta\sigma}{\sigma_0} = \frac{0,25 C_{F_2}}{1 + 0,25 C_{F_2}},$$

где $\Delta\sigma = \sigma - \sigma_0$, σ_0 — проводимость пленки SnO_2 на воздухе; σ — проводимость при определенной концентрации фтора в воздухе; C_{F_2} — концентрация фтора в воздухе.

Аналогичный характер носит взаимодействие химически активных фторидов (например XeF_2 , XeF_6 и др.) с пленками SnO_2 . Пороговая чувствительность к этим газам в воздухе составляет 0,5 ppm.

Эксперименты также показали высокую чувствительность пленок SnO_2 к CO_2 и CF_4 в инертной среде. Пороговая чувствительность к этим газам лежит в диапазоне 50—100 ppm.

Определение концентрации водорода и водородсодержащих газов

Присутствие в измеряемой среде активных газов-восстановителей, например водорода и водородсодержащих газов, изменяет равновесную концентрацию хемосорбированного кислорода на поверхности пленки SnO_2 . Соответствующее изменение проводимости пленки SnO_2 в результате ее взаимодействия с активным восстанавливающим газом

$$\Delta\sigma = \sigma - \sigma_0 = e\mu (n_0 + \Delta n) - e\mu n_0,$$

$$\sigma/\sigma_0 \sim \Delta n = [e^-] \sim [\text{H}_2]^{2/3},$$

где σ_0 , σ — проводимость пленки SnO_2 до и после взаимодействия с газом; n_0 — первоначальная концентрация электронов; Δn — приращение концентрации электронов в результате взаимодействия пленки с активным восстанавливающим газом. Зависимость относительного изменения проводимости пленок от концентрации водорода в азоте (рис. 5) свидетельствует о том, что изменение проводимости в результате воздействия водорода хорошо описывается последней формулой.

Сигнал химических сенсоров по отношению к водороду и водородсодержащим газам практически не зависит от концентрации кислорода в окружающей среде, хотя величина начальной проводимости пленок SnO_2 при этом изменяется. Так, например, чувствительность к водороду в азоте (концентрация кислорода ~ 10 ppm) при концентрации водорода 0,5% и рабочей температуре сенсоров 673 К составляет около 9,54, а при той же концентрации водорода в воздухе и той же рабочей температуре — порядка 9,73. Несмотря на то, что концентрация хемосорбированного кислорода резко меняется при переходе из воздуха в инертную среду, концентрация активных центров, на которых преимущественно протекает гетерогенно-каталитическая реакция, остается при этом почти постоянной. Этот важный в практическом отношении вывод позволяет осуществлять определение концентрации восстанавливающих газов как в воздухе, так и в инертных газах.

Аналогично описанному выше происходит взаимодействие пленок SnO_2 с другими активными газами-восстановителями, что позволяет использовать химические сенсоры на основе пленок SnO_2 для анализа концентрации активных восстанавливающих газов в бинарных газовых смесях. В частности, возможно измерение концентрации паров органических растворителей, широко используемых в технологии микроэлектроники.

Технология получения газочувствительных пленок SnO_2

Исследованиями установлено, что газочувствительность, или степень модуляции проводимости пленок SnO_2 , зависит от двух основных факторов: размера зерен, определяющего удельную поверхность пленок и соответственно каталитическую активность полупроводника, и концентрации носителей. Эти факторы обуславливают степень обеднения зерен в результате хемосорбции кислорода.

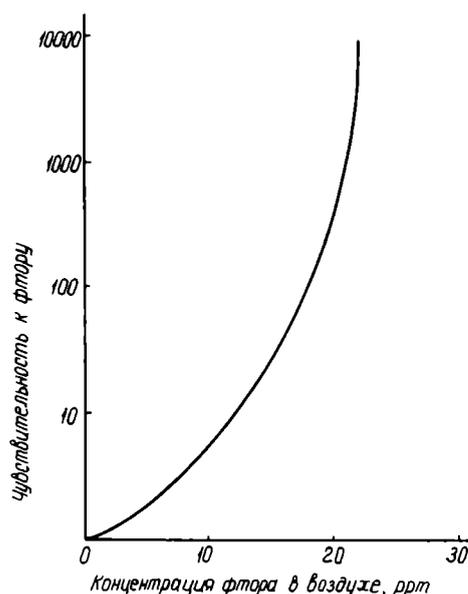


Рис. 4. Зависимость относительного изменения проводимости слоя двуокиси олова от концентрации фтора в воздухе. Температура слоя двуокиси олова 573 К

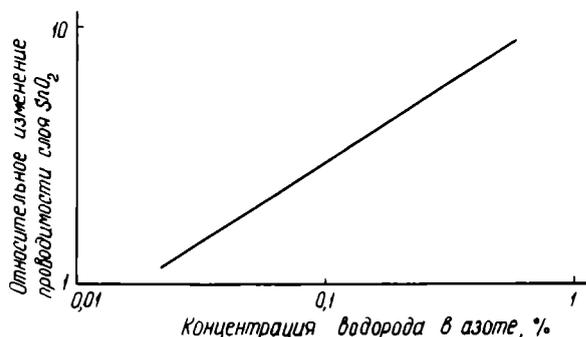


Рис. 5. Зависимость относительного изменения проводимости слоя двуокиси олова от концентрации водорода в азоте. Температура слоя двуокиси олова 623 К

Практика показывает, что для получения высокой чувствительности рассматриваемые пленки должны иметь размер зерна 10–30 нм и удельное сопротивление 10^3 – 10^5 Ом·см. Причем наиболее критичным параметром является удельное сопротивление: его значение ниже 10^3 Ом·см приводит (при сохранении малого размера зерен) к резкому падению газочувствительности [4].

При исследовании методов получения пленок SnO₂ (реактивного катодного распыления, ВЧ плазмохимического осаждения, ВЧ реактивного магнетронного осаждения, окислительного пиролиза оловоорганических соединений) установлено, что наибольшей газочувствительностью обладают мелкозернистые высокоомные пленки, полученные с небольшими скоростями осаждения в условиях, обеспечивающих наиболее полное окисление конденсирующихся частиц [5].

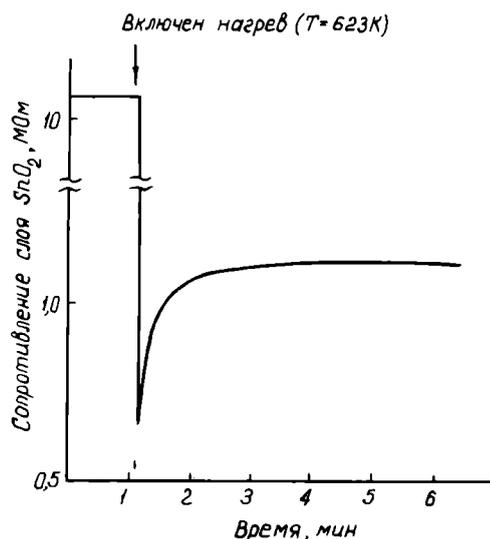


Рис. 6. Переходная характеристика химического сенсора при включении напряжения питания

Конструктивные особенности химических сенсоров

В большинстве случаев химические сенсоры состоят из диэлектрической подложки, пленок нагревателя и газочувствительного слоя, сформированных на этой подложке.

Диапазон рабочих температур сенсоров на основе пленок SnO₂ составляет 523–673 К [1]. Использование сенсоров в атмосфере агрессивных газов налагает жесткие требования к материалам нагревателя, контактных площадок и выводов. Наиболее широко в качестве материала нагревателя применяется платина, характеризующаяся высокой термической и химической стойкостью, относительно высоким удельным сопротивлением и ТКС.

Известно [1], что наименьшую стабильность в составе сенсоров имеют контактные площадки, в области которых формируется сплавное или термокомпрессионное соединение. Длительное воздействие высоких рабочих температур агрессивной среды может привести к деградации контактных областей, поэтому их располагают в зоне умеренных температур — путем применения мезаструктур на диэлектрических подложках с расположением нагревателя на более тонком, вытравленном участке подложки.

Основные характеристики химических сенсоров приведены в табл. 1.

Из переходной характеристики химического сенсора (рис. 6) видно, что постоянная времени установления равновесного сопротивления слоя SnO₂ определяется кинетикой перестройки поверхности (дегидратации) и последующей хемосорбцией кислорода на пленках SnO₂ и не превышает 3 мин (тепловой инерционностью чувствительного элемента можно пренебречь). При повторных включениях (при перерывах в работе сенсоров не более 2–4 ч) время выхода сенсора на режим не превышает 30 с.

Разработанные химические сенсоры могут использоваться в большинстве технологических процессов микроэлектроники для контроля концентрации активных и взрывоопасных газов.

Таблица 1

Основные характеристики химических сенсоров на основе пленок двуокиси олова

Определяемые газы		Анализируемая среда	Чувствительность, ppm	Диапазон измерения	Погрешность, %	Быстродействие, с	Время подготовки к анализу, мин	Время непрерывной работы, ч	Потребляемая мощность, мВт
Окислители	Кислород	Инертные газы, воздух	0,1	10^{-5} –30%	10	20–180	не более 3	не менее 1000	80–100
	Фтор (дифторид ксенона)	Воздух	0,5	0,5–20 ppm	5	1–3	0,5–1	не менее 1000	80–100
Восстановители	Водород	Инертные газы, воздух	50	$5 \cdot 10^{-3}$ –2%	5–10	1–3	0,5–1	не менее 1000	80–100
	Пары этанола (пары ацетона)	Воздух	10	10–5000 ppm	5–10	1–3	0,5–1	не менее 1000	80–100

Приборы на основе химических сенсоров

Высокая чувствительность химических сенсоров к активным окисляющим и восстанавливающим газам, а также их малая потребляемая мощность позволяет реализовать на их основе переносные и автономные портативные газоанализаторы [6], а также сигнализаторы утечек газов, снабженные световой и звуковой сигнализацией порогового значения концентрации (табл. 2).

Таблица 2

Характеристики сигнализаторов утечки газов

Тип прибора	Напряжение питания, В	Потребляемая мощность, мВт	Время непрерывной работы, ч	Габариты, мм	Масса, кг
Стационарный	200	350	≥ 1000	$50 \times 70 \times 200$	0,8
Автономный	12 (возможно питание от встроенных аккумуляторов)	200	8—10	$30 \times 30 \times 200$	0,3

ЛИТЕРАТУРА

- Газочувствительные датчики на основе металлоокисных полупроводников/А.И.Бутурлин, Т.А.Габузян, Н.А.Голованов и др.— Зарубежная электронная техника, 1983, № 10, с. 3—39.
- Advani G.N., Jordan A.G. Thin films of SnO_2 as solid state gas sensors.— Journal of Electronic Materials, 1980, vol. 9, N 1, p. 29—49.
- Бутурлин А.И., Габузян Т.А., Агафонов А.В. Влияние отжига на воздухе на структуру, фазовый состав и электрофизические параметры газочувствительных пленок полупроводниковых пленок двуокиси олова.— В сб.: Применение методов электронной и ионной обработки в промышленности. Материалы краткосрочного семинара, 6—7 июня 1985 г. Л.: АДНТИ, 1985, с. 59—62.
- Бутурлин А.И., Габузян Т.А., Голованов Н.А. Влияние режимов получения и структуры пиролитических пленок оксида олова на их газочувствительные свойства.— Сб. науч. трудов МИЭТ, сер. Полупроводниковые материалы. М., 1984, с. 95—98.
- Применение пиролитических пленок оксида олова в качестве чувствительного слоя полупроводниковых газочувствительных датчиков/А.И.Бутурлин, Н.А.Голованов, Т.А.Габузян, Б.И.Козыркин.— В сб.: Применение металлоорганических соединений для получения неорганических покрытий и материалов. Тезисы докладов 4-го Всесоюзного совещания, Горький, 21—23 сентября 1983 г.— М.: Наука, 1983, с. 101.
- Цифровой прибор для контроля содержания алкоголя в выдыхаемом воздухе/А.И.Бутурлин, Т.А.Габузян, А.В.Кушнарв и др.— Электронная промышленность, 1985, вып. 6, с. 66—68.

Статья поступила 14 апреля 1986 г.

УДК 681.586'36:628.8

В.И.Каракелян, И.А.Муравин,
А.С.Рябышенков, В.И.Ушаков, А.Н.Чамов

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ВОЗДУХА И ХАРАКТЕРИСТИК ЧИСТЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПОМЕЩЕНИЙ

Проектирование и расчет систем кондиционирования воздуха (СКВ) в чистых технологических помещениях выполняются в настоящее время по нормативным документам для производственных зданий трех классов с герметизированными помещениями (для точных производств) и в соответствии с указаниями ОСТ 11.050-067—82. При этом выбор схем потоков и обработки воздуха, его газодинамических и тепловлажностных параметров, а также содержание аэрозольных частиц осуществляется без достаточного расчетного обоснования [1].

Обычно в качестве первичного принимается воздух от центральных систем кондиционирования или приточной вентиляции, параметры и чистота которого затем доводятся до заданных в кондиционерах-доводчиках (типа КТН — неавтономных и типа КТА — автономных). Отличительным признаком местных систем кондиционирования воздуха на базе КТН является наличие присоединительных трубопроводов, по которым горячая и холодная вода подается от центральных источников; в системах на базе КТА источники холодоснабжения в виде холодильных машин встроены в кондиционеры. Как в автономных, так и в неавтономных СКВ происходит тепловлажностная обработка и фильтрация воздуха (см. рисунок), после чего он направляется в чистое технологическое помещение. В рабочих зонах этого помещения под воздействием технологических процессов воздух изменяет свое состояние: его температура, содержание влаги и аэрозольных частиц существенно увеличиваются. Кроме того, он насыщается примесями различных газов, раздражающе действующих на персонал.

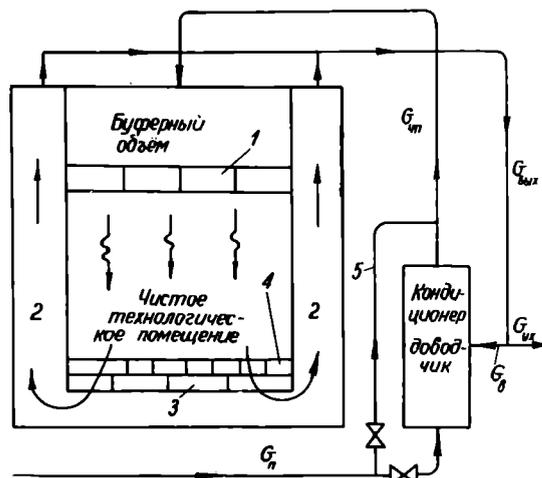


Схема обработки воздуха в чистом технологическом помещении с вертикальным ламинарным потоком: 1 — финишные фильтры; 2 — вентиляционные каналы; 3 — нижний фильтр; 4 — фальшпол; 5 — обводной воздуховод

Исходя из общего материально-влажностного баланса системы,

$$G_{\text{чп}}d_{\text{чп}} = G_{\text{ндп}} + G_{\text{вдв}}; G_{\text{вых}} = G_{\text{вдв}} + G_{\text{ухдух}},$$

где $d_{\text{чп}}$, $d_{\text{п}}$, $d_{\text{в}}$, $d_{\text{ух}}$ и $d_{\text{вых}}$ — влагосодержание воздуха в чистом помещении, первичного, внутреннего, уходящего в выходной воздуховод и выходящего из этого помещения; $G_{\text{чп}}$, $G_{\text{п}}$, $G_{\text{в}}$, $G_{\text{ух}}$, $G_{\text{вых}}$ — соответствующие расходы воздуха, можно получить расчетные формулы для определения влагосодержания и относительной влажности в любом из потоков воздуха. Например, влагосодержание первичного воздуха должно быть

$$d_{\text{п}} = (G_{\text{чп}}d_{\text{чп}} - G_{\text{вдв}}) / G_{\text{п}}. \quad (1)$$

Относительную влажность воздуха в чистом технологическом помещении получим, имея в виду, что $d_{\text{чп}} = 622 \mathcal{P} P_s / (R - \mathcal{P} P_s)$,

$$\mathcal{P}_{\text{чп}} = \frac{P_s (G_{\text{ндп}} + G_{\text{вдв}})}{P_s [622 (G_{\text{ндп}} + G_{\text{вдв}}) / G_{\text{чп}}] G_{\text{чп}}}; \quad (2)$$

где P_s и P_s — барометрическое давление воздуха и давление насыщения водяного пара при температуре воздуха в чистом технологическом помещении [2].

Относительная влажность выходящего воздуха определяется по аналогичной формуле:

$$\mathcal{P}_{\text{вых}} = \frac{P_s (G_{\text{вдв}} + G_{\text{ухдух}})}{P_s [622 (G_{\text{вдв}} + G_{\text{ухдух}}) / G_{\text{вых}}] G_{\text{вых}}}, \quad (3)$$

где P_s и P_s — барометрическое давление воздуха и давление насыщения водяного пара с учетом температуры выходящего из ЧТП воздуха.

Расходы воздуха в формулах (1) и (2) обычно известны или определяются экспериментально и подсчитываются по формуле $G = \rho F v$ (где ρ — плотность воздуха, F — сечение воздуховода, v — скорость воздуха). Давление P_s устанавливается по показаниям приборов или нормативно-инструктивным документам. Давление P_s определяется по таблицам в соответствии с температурой воздуха в чистом помещении или на выходе из него. Содержание влаги оценивается по формуле (1), так что все величины в правых частях формул (2) и (3) можно легко определить, а следовательно, подсчитать относительную влажность.

В связи с тем, что в чистых технологических помещениях с ламинарным вертикальным потоком скорость воздуха регламентирована (должна быть не более 0,3 м/с), можно аналитически установить размеры помещения в плане, используя для этого критериальное уравнение $Re_{\text{кр}} = \alpha v \rho / \mu$, где $Re_{\text{кр}}$ — критическое значение числа Рейнольдса, α — линейный размер, μ — вязкость. Имея в виду, что в большинстве случаев форма помещения в плане прямоугольная или квадратная, линейный размер целесообразно выражать через гидравлический радиус, т.е. $d = \alpha \theta / 2 (a + \theta)$, где a и θ — стороны прямоугольника. Если помещение в плане имеет форму квадрата, то его сторона

$$h = 4 Re_{\text{кр}} \mu / v \rho,$$

в случае прямоугольного сечения

$$a \cdot b / 2 (a + b) = Re_{\text{кр}} \mu / \rho v. \quad (4)$$

При пользовании формулой (4) следует учесть, что одна из сторон прямоугольника должна быть задана. Это всегда можно предусмотреть при разработке строительной части проекта. Необходимо также иметь в виду, что на практике значение $Re_{\text{кр}}$ всегда меньше его известного значения (2320) и зависит от условий, определяющих режимы движения воздуха при обтекании различных препятствий — оборудования, приборов, людей и т.д. Для инженерных расчетов достаточную точность обеспечивает значение $Re_{\text{кр}} = 2200$.

Метод материальных балансов может быть использован и для определения концентрации аэрозолей, кратности воздухообмена и других характеристик при разработке схемы фильтрования воздуха. Например, материальный баланс для воздуха, содержащего аэрозольные частицы в чистом технологическом помещении на выходе из финишных фильтров, можно записать так:

$$V_{\text{чп}} n_{\text{чп}} - V_{\text{ф}} n_{\text{ф}} = G_{\text{ф}},$$

где $V_{\text{чп}}$ и $V_{\text{ф}}$ — расход воздуха, проходящего через чистое помещение и финишные фильтры (л/ч), $n_{\text{чп}}$ и $n_{\text{ф}}$ — концентрация аэрозолей в чистом помещении и на выходе из финишных фильтров (част./л), $G_{\text{ф}}$ — масса частиц, подлежащая удалению из чистого помещения (част./л).

Без большой погрешности можно принять, что расходы воздуха через финишные фильтры, чистое помещение и кондиционируемого в системе равны между собой, тогда

$$G_{\text{ф}} = V_{\text{к}} (n_{\text{чп}} - n_{\text{ф}}).$$

Отсюда можно определить связь минимальной кратности воздухообмена с величиной $G_{\text{ф}}$. Известно, что минимальная кратность воздухообмена в чистых технологических помещениях определяется как

$$\Omega = k \frac{\bar{a} M}{(n_{\text{чп}} - n_{\text{ф}}) V_{\text{п}}},$$

где $k = 3,6$ — численный коэффициент; $\bar{a} = (1,5 - 2,0) \cdot 10^3$ — экспериментальное значение средней интенсивности генерации аэрозолей одним работающим, с^{-1} ; M — число работающих; $V_{\text{п}}$ — объем ЧТП, м^3 ; $n_{\text{чп}}$ и $n_{\text{ф}}$ — концентрация аэрозолей (частиц размером 0,5 мкм и более в 1 л воздуха) в объеме чистого технологического помещения и на выходе из финишных фильтров. Учитывая это, получим

$$G_{\text{ф}} = V_{\text{к}} \frac{k \bar{a} M}{\Omega V_{\text{п}}}.$$

Для расчета тепловых нагрузок на элементы СКВ (без учета массообмена) можно воспользоваться тепловыми балансами между ними и расчетным количеством тепла, содержащегося в объеме воздуха чистого технологического помещения, $Q_{\text{чп}}$. Если тепловая обработка не требуется, то справедливо равенство $Q_{\text{п}} + Q_{\text{в}} = Q_{\text{чп}}$, а если необходимы подогрев или охлаждение, то

$$(Q_{\text{п}} + Q_{\text{в}}) \pm \Delta Q = Q_{\text{чп}}, \quad (5)$$

где $Q_{\text{п}}$ и $Q_{\text{в}}$ — количество тепла в первичном и внутреннем воздухе; ΔQ — количество тепла, необходимое для подогрева или охлаждения

воздуха в кондиционере-доводчике. (Знак плюс относится к случаю подогрева, а минус — охлаждения.)

Равенство (5) может быть записано в развернутом виде. Например, для случая охлаждения воздуха

$$c_p(G_{ntn} + G_{stv}) - (G_n + Q_v) c_p(t_{vx} - t_{vnx}) = G_{чп} t_{чп} c_p,$$

где t_n , t_v , t_{vx} , t_{vnx} и $t_{чп}$ — температура воздуха, первичного, внутреннего, входного, выходного в кондиционере-доводчике и чистом технологическом помещении соответственно; c_p — теплоемкость.

Отсюда, имея в виду, что $G_n + G_v = G_{чп}$, можно получить формулы для расчета температуры в любом из элементов СКВ. Например, температура воздуха в чистом технологическом помещении

$$t_{чп} = \frac{G_{ntn} + G_{stv}}{G_{чп}} \cdot (t_{vx} - t_{vnx}).$$

Приведенные выше формулы использованы при проектировании и реконструкции чистых технологических помещений. Опыт их применения показал удовлетворительное совпадение полученных расчетов с экспериментальными данными.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пекер Я.Д., Мардер Е.Я. Справочник по оборудованию для кондиционирования воздуха. — Киев: Будивельник, 1977. — 232 с.
2. СНиП 11-33-75. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. — М.: Стройиздат, 1982. — 96 с.

Статья поступила 11 апреля 1986 г.

УДК 628.339

В.С.Бавников, С.М.Безручко, Н.И.Воженина, С.М.Кузьмин, Н.В.Чайка

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ ДЕИОНИЗОВАННОЙ ВОДЫ

Анализ существующих способов определения микроорганизмов в деионизованной воде показал, что способ, удовлетворяющий требованиям чувствительности, быстроты и автоматизации, может быть разработан только на принципе подсчета микроорганизмов как частиц, специфически люминесцирующих благодаря их селективному окрашиванию люминесцентным красителем.

Присутствие микроорганизмов в деионизованной воде, применяемой при изготовлении ИЭТ, жестко ограничено техническими условиями. Это связано с тем, что микроорганизмы (МО), загрязняющие деионизованную воду, размножаются в самих установках деионизации [1], разрушая поверхность их пластмассовых

элементов, причем продукты такого разрушения составляют весьма значительную часть механических загрязнений. Поэтому, кроме постоянного контроля за содержанием МО в воде, необходим контроль технического состояния самой установки деионизации.

Требования к методу определения МО в деионизованной воде для ИЭТ очевидны: он должен быть высокочувствительным (жесткость технологического регламента); быстрым (технологическая оперативность); инструментальным и поддаваться автоматизации (технологичность).

Ниже дается анализ существующих методов определения МО с точки зрения указанных требований.

Известные методы контроля за содержанием МО можно разделить на три группы в соответствии с природой параметра, по которому определяют их наличие: физические (изменение объема, массы, рассеяния света); микробиологические (рост колоний); биохимические (превращения веществ). По степени чувствительности, времени проведения анализа и возможности автоматизации эти методы различны (см. таблицу).

Все эти методы не лишены недостатков, таких как необходимость большого количества МО для обеспечения точности их регистрации, длительность анализа, низкая селективность.

Необходимость большого количества МО для регистрации. Гравиметрия, основанная на измерении массы микроорганизмов в процессе их роста, требует наличия 10^7 клеток для надежной регистрации, поскольку чувствительность современных электронных весов не превышает 10^{-6} г.

Валометрия, базирующаяся на измерении объема выделяющегося CO_2 в процессе роста МО или поглощаемого ими кислорода, кроме большого количества МО, требует еще и тщательного термостатирования [2].

В счетной камере, которая представляет собой стеклянную микрокювету с микросеткой, ограничивающей объем исследуемой жидкости до $5 \cdot 10^{-8}$ мл, минимальная определяемая концентрация МО составляет 10^7 мл $^{-1}$. На два порядка меньше концентрация МО, определяемая с помощью шаблона Брида [2].

При методе нефелометрии, который заключается в измерении интенсивности рассеянного суспензией света с последующим определением по ней концентрации, рассеяние света достигает необходимой для регистрации величины, если концентрация МО в деионизованной воде превышает 10^6 мл $^{-1}$ [3].

Хемилюминесцентными методами регистрируются свечения, сопровождающие некоторые биохимические реакции. Наиболее чувствительный метод из этой группы основан на обнаружении в среде аденозинтрифосфата (АТФ) — соединения, содержащегося во всех живых клетках [4]. АТФ определяют по его действию на люциферин-люциферазную реакцию, которая сопровождается свечением. Интенсивность свечения зависит от количества в пробе АТФ и может быть зарегистрирована при его концентрации примерно 10^{-12} М, которая возможна при концентрации МО примерно 10^5 мл $^{-1}$.

Из вариантов радиоизотопных методов широко применяются два — включение метки и радиореспирометрический. Включение метки,

Характеристика методов определения концентрации микроорганизмов

Методы		Чувствительность, мл ⁻¹	Длительность анализа	Возможность автоматизации
Физические	Оптические Гравиметрия Волюметрия Электрический счетчик	10 ⁷ 10 ⁷ 0,1—10 ⁶	10 мин 10 мин 1 мин	— — +
	Микроскопирование Счетная камера Шаблон Брида Счет на фильтрах	10 ⁷ 10 ⁵ 10	10 мин 10 мин 10 мин	— — —
	Фотоэлектронный счетчик	0,1—10 ⁶	10 мин	+
	Турбидиметрия Метод мутных трубок Нефелометрия	10 ⁸ 10 ⁷	1 мин 1 мин	± +
	Люминесценция Микроскопия на фильтрах Люминесцентный счетчик	0,1—10 ⁴ 0,1—10 ⁴	10 мин 10 мин	— +
Микробиологические	Чашечный метод	1	сутки	—
	Капельный метод	1	сутки	—
	Метод мембранных фильтров Визуальный счет колоний Автоматический счет колоний	0,1 0,1	сутки сутки	— +
Биохимические	Потенциометрический метод	1	10 ч	+
	Хемилюминесценция	10 ⁵	1 мин	+
	Энзиматический метод	1	сутки	+
	Радиоизотопные Включение меченых соединений Радиореспирометрия	10 ² 10 ⁴	10 мин 10 мин	+ +

выявляемое по накоплению радиоактивных продуктов жизнедеятельности МО, определяют измеряя радиоактивность на автоматических счетчиках. Количество МО, определяемое этим способом, не менее 10³—10⁴ мл⁻¹ [5—7].

Используя радиореспирометрический способ, основанный на том, что при окислении МО питательного вещества, меченного изотопом С¹⁴, выделяется радиоактивный углекислый газ, можно судить о количестве МО и интенсивности их метаболизма. Время определения степени загрязнения указанным способом зависит от количества МО [8]. Для надежного определения бактерий в количестве 10⁵ клеток требуется 0,5 ч, 10⁴ клеток — 2 ч, 10³ клеток — 3 ч, 10² — 4 ч.

Длительность анализа. Наибольшей длительностью характеризуются способы, основанные на регистрации роста колоний или культуры, а также продуктов превращения веществ. В их числе — чашечный метод, заклю-

чающийся в подсчете числа колоний МО, выросших на поверхности питательного агара из известного объема исследуемой жидкости [9], так как рост колоний требует около суток и более времени.

Капельный метод, основанный на статистическом подсчете «инфекционных» капель при очень малых объемах культуры, связан с зарастанием поверхности агара микроорганизмами, что также требует около суток времени. При этом определяется концентрация порядка 1 мл⁻¹.

Метод мембранных фильтров появился сравнительно недавно в связи с широким применением микропористых фильтров [10, 11]. Подсчет числа колоний из МО, задержанных на поверхности фильтра, осуществляется либо визуально, для чего выпускаются специальные фильтры с нанесенной сеткой [12] и фильтры, заранее помещенные в специальные контейнеры с питательной средой [13], либо автоматически

[12]. В последнем случае используется микро-фильтр с гидрофобной сеткой, по клеткам которой распределяются МО. Заросших колониями клеток тем больше, чем больше концентрация МО в исследуемом растворе. Концентрацию определяют на основании измерений по статистическим таблицам, аналогично методу капель.

Потенциометрический метод [13] основан на измерении э.д.с. между электродом, погруженным в исследуемую жидкость, и электродом сравнения, отделенным от жидкости мембраной, проницаемой для жидкости, но непроницаемой для микроорганизмов. Адсорбированные на поверхности измерительного электрода МО меняют его потенциал, по величине которого судят о наличии и росте МО. Для регистрации МО требуется инкубация в течение 8—9 ч, чтобы они могли подрасти до необходимой численности.

Энзиматический метод [14], заключающийся в обнаружении в среде наличия ферментов по характерным цветным реакциям, требует достаточного количества биомассы и накопления окрашенного продукта ферментативной реакции, что также обуславливает длительность анализа.

Низкая селективность. Достаточно высокая абсолютная чувствительность многих методов обнаружения МО в реальных условиях не достигается из-за значительных «фоновых» шумов.

В электрическом счетчике, где исследуемая жидкость прокачивается через отверстие диаметром 5—10 мкм и в этот момент измеряется его электрическое сопротивление, из-за наличия в реальной жидкости (кроме МО) механических частиц чувствительность счетчика снижается. Этот метод применим, если концентрация МО значительно больше концентрации механических частиц, поскольку тогда можно пренебречь концентрацией последних. Данное условие соблюдается при концентрациях клеток МО примерно 10^6 мл⁻¹.

Для фотоэлектронного счетчика действует аналогичное ограничение: он применим при концентрациях МО, значительно превышающих концентрацию других механических частиц.

Более перспективными с точки зрения селективного счета представляются люминесцентные методы. Регистрация люминесценции может осуществляться визуально под микроскопом [10] или при помощи люминесцентного счетчика [15].

Для определения МО под люминесцентным микроскопом их концентрируют на специальных микропористых фильтрах путем фильтрации, а окрашивание МО осуществляют добавляя краситель либо к исследуемой жидкости до фильтрации, либо к осажденным на фильтре МО. Независимо от способа окрашивания трудность состоит в селективности окрашивания именно МО, но не других частиц и материала фильтра. Для того, чтобы уменьшить люминесценцию фильтра, его обычно предварительно обрабатывают специальными тушащими красителями. Чувствительность метода определяется концентрацией частиц, имеющих собственную люминесценцию в той же спектральной области, что и селективно окрашенные МО.

Таким образом, при разработке методики необходимо исследовать люминесценцию всех

возможных загрязняющих частиц и подобрать краситель так, чтобы клетки МО люминесцировали специфически.

При использовании люминесцентного счетчика суспензию клеток, окрашенных люминесцентным красителем, пропускают через возбуждающий луч лазера, а вспышки люминесценции, возникающие при прохождении МО через луч, регистрируют при помощи фотоумножителя и электронных устройств. Для того, чтобы не отмывать клетки от избытка красителя, применяют красители, для которых характерно сильное увеличение квантового выхода люминесценции при связывании с внутриклеточными компонентами, например аурамин и флуоресцеиндиацетат (зеленая люминесценция). Чувствительность этого способа регистрации также определяется концентрацией частиц с собственной люминесценцией, т.е. селективностью окрашивания клеток.

Из сказанного выше видно, что требованиям быстроты и одновременно высокой чувствительности не удовлетворяет ни один из рассмотренных методов. Однако, если необходимость большого количества МО и длительности анализа представляются не устраиваемыми вследствие самой природы и ограничений методов, то в отношении селективности перспектива представляется более оптимистичной. Чувствительность приборов позволяет зарегистрировать единственную клетку, проблема только состоит в том, чтобы отличить ее от других частиц. Эта проблема возникает из-за малой концентрации МО в деионизованной воде по сравнению с концентрацией других частиц. Из трех рассмотренных методов, ограниченных только по селективности, — электрического, фотоэлектронного и люминесцентного — последний представляется наиболее перспективным в отношении возможности преодоления указанного ограничения и, следовательно, применения для контроля чистоты деионизованной воды. Для достижения требуемой селективности необходимо подобрать краситель (и методику окрашивания), избирательно окрашивающий МО в цвета, резко отличающиеся от люминесценции других частиц.

ЛИТЕРАТУРА

1. Роль микробиологической коррозии пластмасс в загрязнении деионизованной воды/И.А.Беляев, М.П.Дульдер, Е.В.Гришанкова и др.— Электронная техника. Сер. 3. Микроэлектроника, 1981, вып. 3, с. 67—74.
2. Collins C.H. Estimatic bacterial numbers.— London, 1976.— Chapt. 2. Microbiological methods, p. 194—200.
3. Hutter K.J. Eipel H.E. Advances in determination of cell viability.—J. General Microbiology, 1978, vol. 107, part 1, p. 165—167.
4. Пат. 3743581 (США).
5. Пат. 3935073 (США).
6. Пат. 3934471 (США).
7. Пат. 3969486 (США).
8. Postin S.A. A radiometric method for detection of cells.— Analitical biochemistry, 1987, vol. 90, p. 534—542.
9. Baddenmeyer W., Hutobiasson R., Cooger M. Biological fouling of purifield water systems.— Clinical Chemistry, 1976, vol. 22, N 9, p. 1459—1464.
10. Gill G. Gusey, Casterton Y.W. Membrane filters. Application, technology and problems.— N.Y.— Banl., 1981, p. 13—39.
11. Millipor Corp. Bedford. Millipor General Catalogue, 1974.

12. Пат. 1478575 (Великобритания).

13. Пат. 7118518 (Франция).

14. Пат. 4009078 (США).

15. Карнаухов В.И. Люминесцентный спектральный анализ клетки.— М.: Наука, 1978.

Статья поступила 3 марта 1986 г.

УДК 007.52:658.52.011.56.012.3:628.3

Л.Н.Губанов, А.В.Ильичев, Б.И.Кнохинов,
В.В.Найденко

ПРОБЛЕМЫ СОЗДАНИЯ ГИБКИХ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ПРОЦЕССОВ ВОДООБРАБОТКИ

Замкнутые и безотходные автоматизированные системы водопользования, технологическая гибкость, степень автоматизации и надежность которых соответствуют показателям гибкости технологии основного производства,— наиболее эффективны для обезвреживания промстоков, полностью исключают загрязнение окружающей среды и обеспечивают повторное использование очищенной воды и утилизацию ценных компонентов стоков.

Интенсивное внедрение гибких производственных процессов на предприятиях отрасли обусловило необходимость разработки автоматизированных гибких систем водообработки (СВ), гибкость которых не уступала бы гибкости основных технологических процессов. Существующие системы, как правило, не обладают технологической гибкостью, так как рассчитаны на небольшой диапазон колебаний объемов обрабатываемых промышленных стоков и концентрации загрязнений (наибольшие трудности возникают при изменении состава загрязнений). Характерным примером ограниченной гибкости систем являются станции обезвреживания промстоков гальванических производств, которые имеют несколько очистных сооружений, построенных в разное время по мере освоения новых технологических процессов.

Создание безотходных и замкнутых систем водопользования необходимо с точки зрения экономических и экологических требований и в целях рационального использования вторичных ресурсов.

Традиционные инженерные решения — строительство локальных очистных сооружений за пределами цехов и технологических участков, значительная часть объема которых выполняется из монолитного железобетона и громоздких конструкций,— бесперспективны, так как их применение ограничено условиями постоянства состава и назначения основных технологических операций, а замена коммуникаций, насосного оборудования отдельных блоков очистки требует больших капитальных затрат.

Проектирование гибких автоматизированных СВ требует создания методологической документации, необходимой для решения таких актуальных задач, как определение гибкости проектируемых и существующих систем очистки, установление научно обоснованных критериев оптимальности гибких СВ с учетом экономи-

ческих и надежностных показателей, разработка требований к степени автоматизации, унификации [1] и агрегатно-модульному принципу их построения.

Большинство существующих установок очистки и обезвреживания промстоков имеет уровень функциональной избыточности, недостаточный для создания гибких автоматизированных СВ, рассчитанных на длительный период работы в условиях изменения основной технологии. Для оценки функциональной избыточности таких систем предлагается ввести два показателя гибкости — статический и динамический. Под статическим следует понимать свойство технологических систем выполнять свое функциональное назначение при нестационарности показателей промстоков на входе очистных сооружений без привлечения средств управления и регулирования. Динамическая гибкость определяется функциональными возможностями регулирования и управления очистными сооружениями.

При оценке нестационарности сброса промышленных стоков предлагается [1] представлять исходную информацию о колебаниях расходов (Q) и концентраций загрязнений (C) в виде автокорреляционной функции и функции спектральной плотности (получение автокорреляционных функций — результат обработки численной информации в условиях функционирования технологического процесса).

В основу расчета показателей промстоков на выходе из технологической линии, участка или цеха [2] положен принцип матричного представления информации для каждого источника стоков. Матрицы формируются по картам технологического регламента с последующей обработкой информации на ЭВМ. Конечный результат — табулированное или графическое представление значений расходов и концентраций загрязнений как функций времени.

В условиях непрерывного развития основной технологии параметрическая нестационарность расходов промстоков и концентраций корректно описывается моделями, включающими статическую и динамическую составляющие [3].

Важным показателем при численной оценке эффективности и гибкости СВ является масса выделенных ингредиентов (M) на каждом этапе очистки. Для представления характеристик стоков $Q_i = f(t)$ и $C_i = f(t)$, где $i=1,2,3,\dots,n$, весь массив данных, поступающих ежечасно в течение суток (недели, месяца и года), подвергается статистической обработке с получением массивов значений $Q_i^j - t_i^j$, $C_i^j - t_i^j$ ($j=1,2,3,\dots,m$) для каждой ступени обработки стоков:

$$Q_i^{BX,j} - t_i^j; C_i^{BX,j} - t_i^j; Q_i^{ВЫХ,j} - t_i^j;$$

$$C_i^{ВЫХ,j} - t_i^j.$$

Одновременно вычисляется вероятность полученных значений, а также дисперсии входных и выходных значений.

Прогноз качественного состава сточной воды на выходе из каждого аппарата, сооружения и системы очистки стоков рекомендуется осуществлять на основе математических моделей технологических процессов с учетом реального времени пребывания стоков в технологическом процессе. Распределение концентраций загрязнений в стоках на входе и выходе аппа-

ратов и сооружений позволяет определять суммарную массу загрязнений, выделяемых на каждой j -стадии очистки сточных вод за период функционирования T ,

$$M_T = \sum_{i=1}^n Q_i^{ВХ,j} C_i^{ВХ,j} - \sum_{i=1}^n Q_i^{ВЫХ,j} C_i^{ВЫХ,j}$$

где $Q_i^{ВХ,j}$, $Q_i^{ВЫХ,j}$ — расходы сточных вод на входе и выходе аппаратов и сооружений на i -м интервале и j -й стадии обработки; $C_i^{ВХ,j}$, $C_i^{ВЫХ,j}$ — концентрации загрязнений на входе и выходе аппаратов.

Результаты анализа динамических характеристик систем водообработки и их элементов должны использоваться для выбора состава сооружений, определения оптимальных конструктивных и технологических параметров, проектирования систем оптимального регулирования и управления.

При обеспечении динамической оптимизации систем водопользования большое внимание уделялось анализу влияния нестационарности показателей сточных вод на входе сооружений и систем водообработки на устойчивость выходных показателей [1]. При этом проводилась численная оценка их статической и динамической гибкости с построением кривых распределения плотностей вероятностей концентрации органических загрязнений. Эта методика может применяться лишь для функционирующих технологических процессов. При проектировании новых систем очистки сточных вод рекомендуется оценивать гибкость систем очистки на основе существующих математических моделей аппаратов и сооружений.

Гибкость систем водообработки ($G_{СВ}$) в общем виде можно представить как

$$G_{СВ} = G_{С СВ} + G_{Д СВ} = f(V_{ТП}, \varepsilon_{ТП}, P),$$

где $G_{С СВ}$, $G_{Д СВ}$ — статическая и динамическая гибкость СВ; $V_{ТП}$ — скорость изменения качественных показателей исходных сточных вод; $\varepsilon_{ТП}$ — эффективность технологического процесса; P — надежность СВ.

Продолжительность функционирования СВ, которая в конкретных условиях определяется ее гибкостью, следует использовать в качестве одного из параметров технико-экономической оценки ГАП СВ. Показатели надежности систем водообработки не должны быть ниже уровня надежности основных технологических процессов. При сравнительной оценке альтернативных вариантов аппаратов, сооружений и СВ эти показатели надежности должны быть равны.

Важнейший аспект повышения функциональной избыточности СВ — унификация основных составляющих элементов с использованием блочно-модульного принципа конструкций, чему до настоящего времени уделялось очень мало внимания.

Вопросы унификации аппаратов, сооружений и СВ на основе стандартных рядов предпочтительных чисел и методологии оптимального проектирования рассмотрены в работах [4, 5].

Одним из важнейших этапов проектирования СВ является технико-экономическое сравнение альтернативных вариантов. До сих пор оно осуществлялось путем сопоставления годовых приведенных затрат без учета показателей гибкости и массы снятых загрязнений. Некорректность такого сравнения очевидна, так как дорого-

стоящая система может иметь большую продолжительность функционирования в условиях изменения основной технологии, количественного и качественного состава сточных вод и обеспечить более глубокую очистку. Следовательно, удельные затраты на единицу снятых загрязнений могут быть ниже удельных затрат, характерных для альтернативных вариантов систем.

Для сравнения вариантов СВ рекомендуется использовать универсальный критерий оптимальности, включающий приведенные затраты, массу снятых в процессе очистки воды загрязнений, продолжительности работы системы с заданной надежностью.

Целевая функция будет иметь вид

$$\Phi_T = \frac{\sum_{R=1}^n S_R}{\sum_{R=1}^n M_R \cdot T \cdot P}$$

где S_R — функция приведенных затрат по R -му периоду работы системы ($R=1, 2, 3, \dots, n$); M_R — масса снятых загрязнений за R -й период работы системы; T — суммарная продолжительность функционирования системы водообработки (при равных показателях надежности для альтернативных вариантов систем водообработки этим параметром можно пренебречь).

Безотлагательного решения требуют вопросы разработки контрольно-измерительной аппаратуры для непрерывной автоматизированной оценки качественных показателей сточных вод, а также исполнительных механизмов для автоматического регулирования параметров технологических процессов. Только при таком условии станет возможным создание АСУТП СВ на основе имеющейся микропроцессорной и вычислительной техники.

Опыт показывает, что при внедрении замкнутых и безотходных систем водопользования линий никелирования, цинкования и хромирования в гальванических цехах предприятий отрасли АСУТП этих систем следует структурно объединять с АСУ основных технологических процессов. Это позволит рационально использовать оборудование СВ, повысить его эффективность и надежность работы, поднять экологическую культуру производства и обеспечить рациональное использование вторичных и энергетических ресурсов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Очистка сточных вод гальванических производств/В.В.Найденко, Л.Н.Губанов, Б.И.Кнохинов и др.— Водоснабжение и санитарная техника, 1985, № 5.
2. Гордин И.Б., Манусова Н.Б., Смирнов Н.Д. Оптимизация химико-технологических систем очистки промышленных сточных вод.— Л.: Химия, 1977.— 176 с.
3. Ильичев А.В. Вероятностный метод прогнозирования качественных характеристик промышленных сточных вод.— В кн.: Отчетная научно-техническая конференция молодых специалистов по итогам реализации целевой комплексной программы Горьковской области «Строительный комплекс»: Тезисы докладов.— Горький: Горьковское областное правление научно-технического общества строиндустрии, 1986.
4. Найденко В.В., Кулакова А.П., Шеренков И.А. Оптимизация процессов очистки природных и сточных вод.— М.: Стройиздат, 1984.— 151 с.
5. Егоров В.А., Кнохинов Б.И. Унификация как основа автоматизации проектирования.— Электронная техника. Сер. 7. Технологическая, организация производства и оборудования, 1982, вып. 2, с. 87—93.

Статья поступила 8 апреля 1986 г.

УДК 628.8:621.3.049.771

Р.И.Волков

РАЗРАБОТКА ЧИСТЫХ ПОМЕЩЕНИЙ ВЫСОКИХ КЛАССОВ

Ускоренное развитие высоконадежных систем промышленной автоматики на базе электроники и более широкое применение сверхбольших интегральных схем в приборах и средствах автоматизации диктует необходимость резкого увеличения производства указанных изделий, предъявляющих более жесткие требования к созданию условий микроклимата, средствам контроля его параметров и автоматизации управления ими по сравнению с действующими производственными процессами. Так, при производстве СБИС с высокой степенью интеграции, когда размеры элементов составляют 1—2 мкм, критичными становятся частицы пыли, составляющие 1/10 геометрического размера элемента. Очень важным при производстве таких СБИС является соблюдение температурно-влажностных параметров среды производственного помещения и снижение вибрации.

К настоящему времени сформулированы технологические требования к микроклимату в помещениях, где проводятся процессы изготовления СБИС:

Допустимый перепад температуры	$\pm 0,1^\circ \text{C}$
Допустимый перепад влажности	$\pm 1\%$
Чистота	1 пылинка диаметром 0,1 мкм в 30 л воздуха
Скорость воздуха	0,45 м/с
Кратность воздухообмена	400 раз/ч
Вибрация	0,25 мкм в диапазоне частот 5—40 Гц
Статическое электричество	не допускается
Ионизация воздуха	необходима

Обеспечение этих условий возможно лишь в специальных, чистых помещениях, в которых осуществляется контроль и управление влажностью, потоком и давлением воздуха.

Развитие таких помещений началось с появления гермозон, площадь которых соответствовала габаритам цеха или участка. Параметры микроклимата гермозон поддерживались скрытыми в технических пространствах здания (техническом этаже, подполье) инженерными и технологическими коммуникациями, специальной отделкой помещений, кондиционированием воздуха и созданием специальных бытовых помещений. В дальнейшем наиболее ответственные технологические операции стали размещать в чистых комнатах, представляющих собой ограниченный замкнутый объем, в котором обеспечивалась кратность воздухообмена до 300 раз/ч, чистота воздуха до 5 частиц диаметром 0,3 мкм на 1 л воздуха, перепад температуры $\pm 0,25^\circ \text{C}$ и относительная влажность $\pm 5\%$. Однако дальнейшее развитие технологии потребовало применения больших по площади чистых помещений и более мобильных к изменениям в эксплуатации. Это обусловило создание чистых помеще-

ний нового типа, представляющих собой систему небольших по площади, узких и протяженных чистых комнат, связанных между собой чистым проходным коридором. По планировочной схеме такие помещения напоминают гребенку из чередующихся чистых комнат и зон обслуживания. Чистые помещения в комплексе с помещениями сервисного обеспечения и бытового обслуживания получили название «чистый технологический модуль» (за рубежом они известны как чистые помещения туннельного типа).

Переходу к новому принципу проектирования чистых помещений способствовало, наряду с необходимостью обеспечения жестких требований к микроклимату, развитие технологического оборудования, особенно для производства полупроводников и интегральных схем — от небольших, относительно простых технологических станков с использованием ручного труда до больших и сложных систем, в которых применяются автоматизированные комплексы и установки. Современная технология потребовала полного управления микроклиматом в чистых помещениях, что стало возможным благодаря применению специальных помещений, оборудованных высокоэффективными фильтровальными потолками, съемными полами, конструкциями перегородок, системой кондиционирования воздуха, комплексом контрольно-измерительных приборов и автоматикой регулирования микроклимата.

По способу раздачи воздуха чистые помещения делятся на комнаты с неламинарным и ламинарным потоком. Истинный ламинарный поток может быть получен только при отсутствии в помещении препятствий на пути его движения. Оборудование, столы, стулья, люди и другие объекты обуславливают возникновение турбулентности потока, поэтому в чистых помещениях устанавливают оборудование с обтекаемыми формами, применяют шкафы и столы с отверстиями, а технологическое оборудование и мебель размещают не вплотную к стене, что способствует сохранению ламинарности воздушного потока.

Ламинарный поток воздуха предусматривается, как правило, в помещениях классов 1000, 100, 10, которые в свою очередь делятся на чистые комнаты с горизонтальным и вертикальным ламинарным потоком. Опыт эксплуатации чистых помещений показал, что вертикальный ламинарный поток воздуха эффективнее горизонтального, поэтому вертикальный воздушный поток должен быть основным способом раздачи воздуха в помещениях высоких классов чистоты.

Учитывая высокую стоимость строительства и эксплуатации чистых помещений, при их проектировании технологические требования устанавливаются дифференцированно по производственным участкам и в соответствии с последними принимают определенный тип конструкции чистой комнаты и системы кондиционирования воздуха (рис. 1).

В типичной планировочной схеме (рис. 2) чистые помещения туннельного типа размещаются в общем объеме помещения с классом чистоты 10000 параллельными относительно друг друга рядами, чередуясь с зонами обслуживания. В чистых комнатах предусмотрены классы чистоты

100 и 1000, а в рабочих зонах, отделенных от зоны размещения операторов специальной светопрозрачной шторкой, обеспечиваются классы чистоты 1 и 10. Чистые помещения соединены между собой чистым проходным коридором, с помощью которого осуществляется также связь с бытовыми помещениями и поступление материалов. Вход в чистые помещения возможен только через обдувочный шлюз, а поступление материалов — через обдувочную кабину. Из чистого проходного коридора материалы поступают в чистые помещения через передаточные окна. Бытовые помещения для обслуживающего персонала размещаются смежно с чистыми помещениями. Гардеробные предусматривают двойное переодевание. В комплексе с обдувочными шлюзами, специальной технологической одеждой, липкими ковриками перед входом в шлюз такие строительно-организационные решения исключают возможность заноса частичек пыли в чистое помещение.

Основные конструктивные элементы чистых помещений рассматриваемого типа:

потолок, представляющий собой решетчатую подвесную систему из унифицированных ячеек с фильтрами, осветительной арматурой и глухими вставками (уплотнение между фильтрами, панелями, светильниками и решеткой осуществляется с помощью полиуретановых уплотнителей);

пол, покрытый гладким без рисунка виниловым листом с минимальным количеством швов;

ограждающие конструкции — глухие панели, подоконная и надоконная панели, окно, дверь, стойки. Панели применяются сборные типа сэндвич, с обшивкой стальными листами и утеплителем между ними, поверхность отделяется эмалью горячей сушки. Сборно-разборная конструкция перегородок позволяет приспособлять их к изменениям технологии производства.

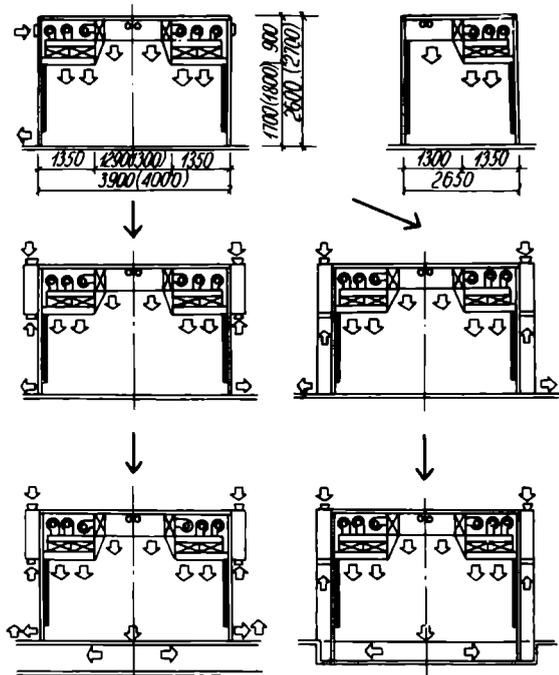


Рис. 1. Ряд чистых помещений туннельного типа, разработанных фирмой Hitachi (Япония). Черными стрелками показаны направления усложнения конструкций в целях создания сверхчистых условий

Воздух в чистое помещение подается от кондиционера с помощью гибких воздуховодов через фильтры. Если фильтры занимают 50% площади потолка, то в помещении обеспечивается класс чистоты 10000. В тех случаях, когда необходимо достижение класса чистоты 10, фильтрами заполняют всю поверхность потолка. Светильники в чистых комнатах крепятся к решетке снизу, на стыках между рядами фильтров. Пол в помещении предусмотрен перфорированный. Пространство под фальшполом используется для возврата воздуха на рециркуляционные вентиляционные установки. Смена фильтров осуществляется с помощью специальных пружинных замков.

В последние годы за рубежом получает распространение формирование чистых помещений из модульных блоков, готовых к работе. Каждый блок включает в себя:

специальные потолочные модули, состоящие из высокоэффективных фильтров, размещаемых в корпусе из стального листа. Ниже фильтров установлены решетки, обеспечивающие ламинарность воздушного потока. Светильники вмонтированы в потолок. Фильтровальный потолок опирается на стоечно-балочный каркас чистых помещений;

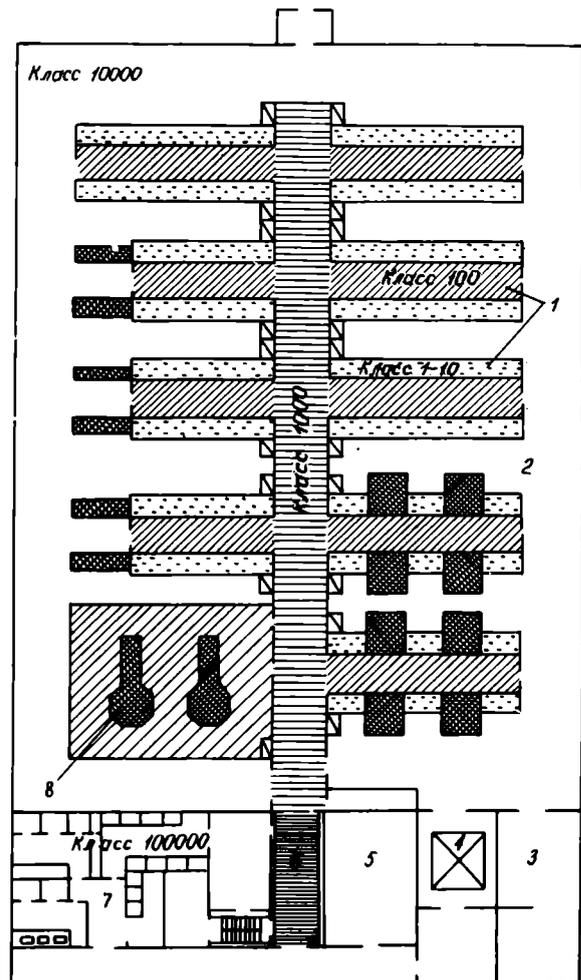
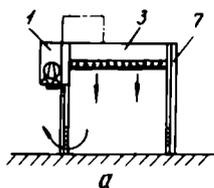
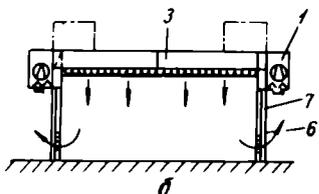


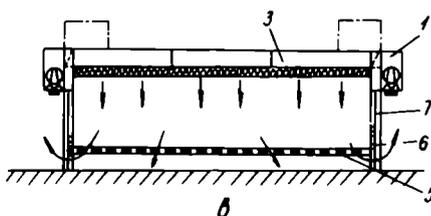
Рис. 2. Планировочная схема чистого помещения: 1 — чистые помещения, 2 — зона обслуживания, 3 — вспомогательные, 4 — обдувочный шлюз для грузов, 5 — административные, 6 — обдувочный шлюз, 7 — бытовые помещения, 8 — оборудование



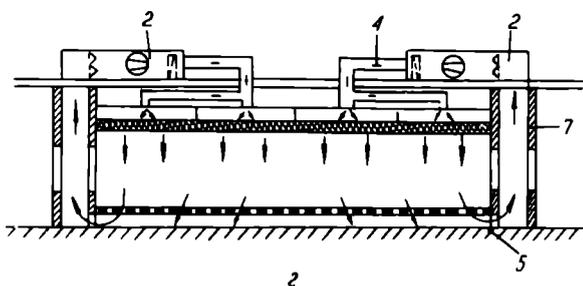
Однорядная чистая комната: ширина до 4 м, длина не ограничена, конструкция самонесущая с боковым или верхним размещением вентиляционных установок



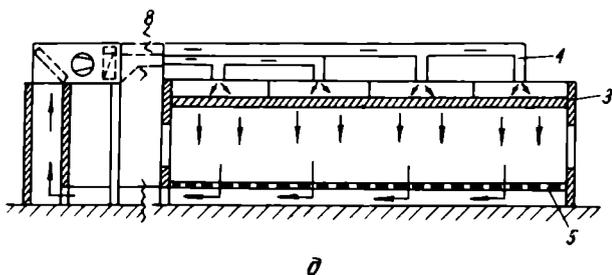
Двухрядная чистая комната: ширина до 7 м, длина не ограничена, вентиляционные установки по типу а



Трехрядная чистая комната: ширина до 10,5 м, длина не ограничена, фальшпол для вытяжки, вентиляционные установки по типу а



Четырех- или пятирядная чистая комната: ширина до 20 м, длина не ограничена, фальшпол 0,8 м, вентиляционные установки, каналы воздуховодов расположены на стальном каркасе или капитальном перекрытии здания



Виброизолированные чистые комнаты (четырёх- или многорядные): подводы с гибкими шлангами, все остальное по типу г

Рис. 3. Типы чистых комнат, скомпонованных из элементарных блоков-модулей: 1 — вентилятор типа PUG/K; 2 — циркуляционно-вентиляционный агрегат типа PUG; 3 — потолочный модуль типа PDM; 4 — воздуховоды; 5 — фальшпол; 6 — стены, двери, окна; 7 — стальной каркас; 8 — гибкие соединения

стены, окна, двери, фальшпол;

специальные компактные вентиляционные установки, крепящиеся к несущему каркасу пергородок и включающие два радиальных вентилятора (для надежности), два двигателя с регулируемыми оборотами, воздухоохладитель, систему автоматического поддержания постоянной температуры, щит управления. Для обеспечения воздухообмена 6500, 13000 и 20000 м³/ч предназначены компактные вентиляционные установки.

На базе элементарных модулей могут компоноваться чистые комнаты четырех типов (рис. 3). При этом наряду с рециркуляционными вентиляционными установками чистые помещения снабжаются центральным кондиционером, холодильной установкой, электрооборудованием, системой пылеуборки и комплектом измерительной аппаратуры, включающим в свой состав приборы для измерения частиц по рассеиванию света галогенных и лазерных источников, анемометр малых скоростей, термограф и термометр, приборы для измерения напряженности электрического поля, вибраций, самописцы давления, температуры, влажности.

Большое внимание при разработке чистых помещений уделяется оборудованию и принадлежности, необходимым для их эксплуатации: обдувочным шлюзам, устройствам для передачи грузов, устройству чистых туалетов и воздушной сушки рук, оборудованных эффективными фильтрами, а также созданию методик и техники определения чистоты, обеспечению операторов чистых помещений специальной технологической одеждой и обувью, в частности из пылеотталкивающих и некапливающих статическое электричество материалов. В число важных проблем включаются стирка, контроль и упаковка технологической одежды в герметичную тару, а также разработка чистых занавесей, чистых покрывал для неработающего технологического оборудования, салфеток для его протирки, рабочих столов для чистых помещений и даже чистого оберточного упаковочного материала, бумаги для записи, специальных приспособлений (пинцетов, отверток и др.) — всего того, что может стать источником загрязняющих частиц при эксплуатации чистых помещений. И все же, несмотря на широкий арсенал возможных средств обеспечения микроклимата в чистых помещениях, главный источник пылевого загрязнения — люди — не устраняется. Дальнейшее повышение эффективности производства сверхбольших интегральных схем связывается в этом плане с внедрением роботов и проведением технологического процесса в вакууме [1, 2].

Отечественный и зарубежный опыт проектирования и эксплуатации чистых помещений дает возможность установить основные принципы их конструктивных и планировочных решений:

в целях обеспечения гибкости чистые помещения должны представлять собой параметрический ряд комнат шириной 2,4—5,4 м (кратно 0,6 м), длиной до 24 м (кратно 1,2 м), высотой рабочей зоны до 3 м, с классами чистоты 100, 10, 1;

по планировочной структуре чистые помещения следует выполнять в виде системы чистых комнат, чередующихся с зонами обслуживания и связанных между собой проходным чистым коридором. Площадь чистых комнат (без зон обслуживания) может достигать 1,5 тыс. м² и более;

в целях экономии энергоресурсов классы

чистоты в чистых помещениях принимаются дифференцированно;

разработка чистых комнат выполняется на основе модульной координации размеров ее элементов. В качестве основного планировочного модуля целесообразно принять размер 600 мм, дополнительного — 300 мм;

элементы чистых помещений (фильтровальный чистый потолок, стены, пол и т.д.) должны быть унифицированными и взаимозаменяемыми. Конструкции чистых комнат должны быть сборно-разборными;

монтажные узлы, стыки панелей между собой, с потолком и полом должны выполняться герметичными (для герметизации следует применять гуммированные ленты, силиконовую мастику);

статическая камера может выполняться из строительных конструкций или в виде цельно-металлического кожуха. Предпочтительные размеры фильтров 600 × 600 мм, замену фильтров целесообразно проводить снизу;

в помещениях классов 100, 10 и 1 следует применять фальшполы из стальных или алюминиевых плит с отделкой из нержавеющей стали. Высота фальшпола должна быть не менее 900 мм;

для обеспечения виброзащиты на участке фотолитографии требуется применение системы технических решений, включающих использование виброизолированных плит и фундаментов, локальных виброопор, резиновых подушек и др.;

панели стен целесообразны глухие или с окном шириной 1200 мм и одной доборной панелью. Конструкция панелей должна быть теплоизолированной, с обшивкой стальными или алюминиевыми листами. Стальные листы покрываются антистатической эмалью, алюминиевые листы анодируются.

Сокращению сроков монтажа чистых помещений способствует полная заводская готовность и комплектная поставка всех элементов.

ЛИТЕРАТУРА

1 Clean rooms — today and tomorrow — Microelectronic Manufacturing and Testing, 1984, vol 13, N 7, p 1—4.

2. W a r g e n D. Clean facilities design: specialist contractor, jeneral contractor, or DO-IT-yourself?— Microelectronic Manufacturing and Testing, 1982, December, p. 16—17.

Статья поступила 11 апреля 1986 г.

УДК 628.8:621.3.049.77.002

**В.И.Каракеян, И.А.Муравин,
А.С.Рябыщенков, В.И.Ушаков, А.Н.Чамов**

ВЛИЯНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НАРУЖНОЙ СРЕДЫ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЧИСТЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПОМЕЩЕНИЙ

Основными признаками чистых технологических помещений, в которых производятся изделия электронной техники, являются предельно жесткие требования по поддержанию в них параметров

микроклимата (температуры, относительной влажности, подвижности воздуха и давления), концентрации и размеров аэрозольных частиц, уровня вибраций и шума, статического электричества, степени ионизации воздуха и его запаха. Все эти факторы взаимосвязаны между собой, однако можно выделить группу основных факторов, оказывающих решающее влияние на изменение других и определяющих функционирование чистого технологического помещения — это параметры микроклимата и характеристики аэрозольных частиц.

Повышение эффективности функционирования чистых помещений, в которых осуществляется производство СБИС, включает в себя комплекс мероприятий, куда органически входит и нормализация указанных выше факторов, и в первую очередь основных. Анализ, проведенный на ряде предприятий отрасли, показал, что отклонение основных факторов от требуемых норм (см. таблицу) достигает недопустимо больших значений. Такая денормализация является следствием большого числа причин, главные из которых следующие:

— центральные системы кондиционирования воздуха (СКВ) на предприятиях микроэлектроники спроектированы и выполнены в соответствии с проектными решениями, рассчитанными для промышленных зданий общего назначения. Точность круглогодичного поддержания параметров микроклимата с помощью этих систем по сравнению с требованиями для современных и будущих чистых технологических помещений совершенно неприемлема;

— в нормативно-расчетной и методической документации эксплуатируемых и проектируемых центральных СКВ не учитывается компонентно-фазовый состав приточного (наружного) и воздуха, поступающего в технологические помещения после обработки в кондиционерах.

Это делает невозможным определение в воздухе аэрозольных частиц и оценку изменения тепловлажностных характеристик воздуха при фазовых превращениях.

Следует отметить, что в существующей инструктивной документации, а также в строительных нормах и правилах по проектированию всех систем кондиционирования исходными обычно принимаются параметры группы Б для холодного и теплого периодов года, без учета конкретных погодно-климатических условий района.

Указанные факты свидетельствуют о том, что для предприятий электронной промышлен-

Показатели денормализации основных параметров воздуха в чистых технологических помещениях

Параметры	Точность поддержания		
	по ОСТу (круглогодично)	в холодный период года	в теплый период года
Температура, °С	0,2—0,5	±(1,7—2,3)	±(1,3—1,8)
Относительная влажность, %	±5	±(11—17)	±(16—23)
Давление, Па	+ (9,8—49)	0	0
Концентрация аэрозолей размером 0,5 мкм и более, част./л	1000—100000	9000—17000	13000—60000

ности должны быть разработаны новые положения с учетом изменений параметров воздуха и его компонентно-фазового состава в течение года.

Изменение параметров наружного климата в течение года (см. рисунок) [1, 2] описывается почти правильными гармоническими кривыми. Такая изменчивость дает возможность описать рассматриваемую зависимость в виде тригонометрического ряда. Достаточная точность аппроксимации изменения в большинстве случаев достигается уже при двух первых членах ряда:

$$Y = Y_r + A_y \cos \frac{2\pi Z}{365},$$

где Y_r — среднегодовое значение какого-либо параметра климата; A_y — годовая амплитуда изменения параметра; $Z = Z' - Z_{\max}$ — время, прошедшее от момента максимума параметра до исследуемого времени; Z' — время, отсчитанное от первого января текущего года.

Значения величин Y_r , A_y и Z_{\max} для различных климатических параметров и географических районов могут быть получены на основании материалов метеорологических наблюдений или данных, приведенных в СНиП 11-1—82. С помощью вышеприведенной формулы можно отыскать продолжительность времени ΔZ (в сутках), характеризующегося значением того или иного параметра выше заданного значения Y :

$$\Delta Z = \frac{365}{2\pi} \arccos \frac{Y - Y_r}{A_y}.$$

На тепловлажностные параметры наружного и обрабатываемого в кондиционерах воздуха большее влияние оказывает его компонентно-фазовый состав [3, 4]. Так, поступление влаги в кондиционеры в виде жидкой (вода) или твердой (снег, лед) фаз приводит к повышению влагосодержания воздуха в результате ее испарения при подогреве. Влагосодержание воздуха в этом случае может быть описано как

$$d_n = \frac{622(\varphi P_s + \Delta P_n)}{P - (\varphi P_s + \Delta P_n)} = \frac{622\varphi P_s}{P - \varphi P_s} + \gamma_a v,$$

где φ — относительная влажность; P_s — давление водяного пара при насыщении; P — барометри-

ческое давление; γ_a — масса твердых или жидких частиц в воздухе во время туманов и осадков; v — удельный объем воздуха.

Особенно негативное влияние на тепловлажностные характеристики воздуха оказывают метели и туманы при низких отрицательных температурах наружного воздуха. Например, при температуре -40°C обычное влагосодержание (масса водяного пара, приходящаяся на 1 кг сухого воздуха) составляет 0,078 г/кг, а во время метелей, когда в воздухе содержится масса снега около 3 г/м³, влагосодержание повышается в 32 раза. Аналогичное явление наблюдается и в системах кондиционирования, когда воздух из сепарирующих устройств кондиционеров поступает в воздуховоды вместе с дисперсной водой, не уловленной сепараторами. Эта вода по ходу движения смеси испаряется, увеличивая относительную влажность воздуха, поступающего в гермозоны и чистые технологические помещения. Чтобы избежать этого, нужно создать всепогодные центральные и прецизионные системы кондиционирования, которые обеспечивали бы необходимые параметры микроклимата и чистоту воздуха.

ЛИТЕРАТУРА

1. Богословский В.Н., Кокорин О.Я., Петров Л.В. Кондиционирование воздуха и холодоснабжение. — М.: Стройиздат, 1985. — 367 с.
2. Сотников А.Г. Системы кондиционирования воздуха с количественным регулированием. — Л.: Стройиздат, 1976. — 168 с.
3. Ушаков В.И. Выбор параметров наружного воздуха для систем кондиционирования воздуха. — Изв. вузов. Строительство и архитектура, 1973, № 6, с. 119—121.
4. Ушаков В.И., Понкратов Н.И. О работе фильтров кондиционеров во время туманов и осадков. — Изв. вузов. Строительство и архитектура, 1974, № 3, с. 128—130.

Статья поступила 14 апреля 1986 г.

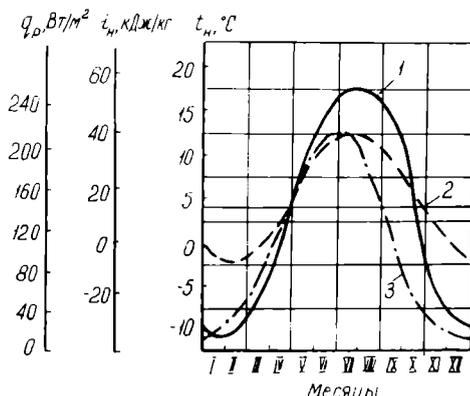
УДК 628.517

В.З.Гребенкин, А.А.Дегтярев,
Е.В.Николаевский, В.С.Сергеев

СНИЖЕНИЕ ВИБРАЦИЙ В ЧИСТЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПОМЕЩЕНИЯХ

Сочетание мер, обеспечивающих снижение уровня вибраций пола, чистых помещений, и прежде всего балансировка и виброизоляция источников вибраций с тщательно рассчитанной индивидуальной виброизоляцией прецизионного технологического и контрольного оборудования, позволяет повысить точность и надежность его работы.

В чистых комнатах с целью обеспечения требуемых параметров микроклимата (очистки воздуха, поддержания в заданных пределах его температуры и влажности, создания ламинарных потоков и др.) используются центральные кондиционеры и финишные фильтры, снабженные воздуходувками. Неуравновешенность воздуходувок и других агрегатов является одной из главных причин вибраций



Изменение параметров наружного климата для условий Москвы: 1 — температура наружного воздуха (t_n); 2 — энтальпия наружного воздуха (i_n); 3 — интенсивность солнечной радиации на горизонтальную поверхность (q_p).

и шума, нарушающих нормальную работу прецизионного технологического и контрольного оборудования, снижающих его точность, надежность и производительность и к тому же утомляющих оператора.

Измерения, проведенные на участках фотолитографии, дали возможность установить спектральный состав вибрационного шума, выделить частоты, характерные для чистых помещений, и указать основные источники вибрации.

Оказалось, что вибрации с частотами в диапазонах 9—11 и 16—18 Гц создаются вблизи технологического оборудования низкооборотными воздуходувками центральной системы кондиционирования, а также форвакуумными насосами. Обнаружены также колебания с частотой 23—25 Гц, обусловленные работой воздуходувок индивидуальных финишных фильтров, и с частотой 47—49 Гц — от небольших высокооборотных воздуходувок, входящих в состав оборудования или установленных поблизости от него. Зафиксированы, кроме того, колебания фундамента и рабочих столиков фотолитографического оборудования в горизонтальной плоскости с частотой около 2,5 Гц.

Существует мнение, что для устранения вредного влияния внешних вибраций достаточно установить прецизионное технологическое и контрольное оборудование на амортизаторы. Но это справедливо только в отношении колебаний высокой частоты. Низкочастотные колебания, а также случайные толчки и удары могут быть усилены амортизационной системой в результате вызванных в ней резонансных явлений. Учитывая это, при виброизоляции прецизионного оборудования должны приниматься во внимание не только абсолютные значения амплитуд перемещений на различных частотах, но и относительные виброперемещения тех элементов механической и оптической систем оборудования, которые определяют его точностные параметры*.

Виброизоляция прецизионного оборудования должна быть завершающим, но не единственным этапом комплекса мероприятий по защите его от вредного влияния вибраций. Решение этой задачи целесообразно начинать с тщательной балансировки всех воздуходувок. Допуск на неуравновешенность таких агрегатов при частоте вращения до 3000 об/мин не должен превышать 1 г·см на килограмм массы ротора. Это требование ставит перед разработчиками и поставщиками вспомогательного оборудования более жесткие условия в отношении качества его сборки и уровня вибрации. Соблюдение указанного допуска на неуравновешенность обеспечит снижение вибрационного фона в чистых помещениях почти на порядок и облегчит защиту от вибраций прецизионного оборудования. Кроме того, следует ожидать существенного уменьшения пульсации воздуха в трубопроводах и уровня шума в чистых помещениях.

Для уменьшения влияния на виброфон остаточной неуравновешенности, а также высокочастотных колебаний вследствие работы подшипников целесообразно устанавливать воздуходувки на амортизаторы, рассчитанные таким образом, чтобы частота собственных колебаний амортизационной системы превышала в 3—5 раз частоты вынужденных колебаний, зависящие от скорости вращения амортизируемого объекта.

Для обеспечения нормальной работы точного оборудования следует избегать применения агрегатов, механизмы которых практически не могут быть уравновешены, например, пластинчато-ротор-

ных форвакуумных насосов с двумя пластинами в каждой ступени. Замена их на насосы с большим числом пластин должна привести к снижению вибрационного фона чистых помещений.

В комплексе мероприятий по снижению влияния вибраций на точность и надежность прецизионного оборудования должна быть предусмотрена периодическая проверка и аттестация основных источников колебаний. Кроме того, на станинах прецизионных установок целесообразно смонтировать вибродатчики, подающие сигнал тревоги в случае, если фактический уровень вибраций превысит допустимый.

Статья поступила 11 апреля 1986 г.

УДК 621.3.049.771.002:628.8

Ю.М.Абраменко, В.С.Банников,
С.М.Безручко, Г.П.Бенинг, Б.С.Борисов,
С.В.Кузьмин

ТРЕБОВАНИЯ К АНАЛИЗУ И КОНТРОЛЮ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СРЕД ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ИЭТ

Тонкопленочная конструкция СБИС с размерами функциональных элементов порядка 1 мкм, необходимость лимитирования содержания посторонних ионов величиной до $10^{-7}\%$ в полупроводниковом материале привели к естественной классификации микрозагрязнений на ионы, микрочастицы и поверхностно-активные вещества. Постоянный анализ сред на эти составляющие должен стать неотъемлемой частью технологического процесса СБИС.

Контроль чистоты ИЭТ — одна из важных проблем в микроэлектронике. Установлено, что 67% отказов приборов вызвано загрязнениями, вносимыми в пластины из технологической среды, 22% — дефектами кремния и 11% — дефектами окисной пленки [1].

По мере повышения степени интеграции и приближения к субмикронным размерам элементов схем отрицательная роль загрязнений неизбежно возрастает [2—4]. Необходимость эффективной системы контроля чистоты очевидна, однако возникает ряд трудностей при создании такой системы. Основная их причина — беспрецедентно низкие (в сравнении с другими современными производствами) величины предельно допустимой концентрации (ПДК) вредных загрязнений и наличие большого разнообразия потенциально вредных веществ по химической природе и физическим свойствам. Почти любое вещество, не относящееся к основным рабочим компонентам данной среды, может рассматриваться как вредная примесь. Отсюда чрезвычайно жесткие требования к системам контроля, которые должны обеспечивать очень высокую чистоту, обнаруживая загрязнения самой разной природы. Для создания, запуска, отладки систем контроля чистоты сред необходима высокочувствительная аналитическая аппаратура и методы анализа.

Для выяснения требований к анализу чистоты технологических сред при производстве СБИС

* Николаевский Е.В., Дегтярев А.А. Пути снижения вибраций форвакуумных насосов. — В кн.: Вопросы создания и оптимизации оборудования микроэлектроники: Сб. научн. трудов. — М.: Изд. МИЭТ, 1984. — 136 с.

и соответственно к комплексам аналитической аппаратуры и методам контроля рассмотрим принципы классификации микрозагрязнений. Наибольшее внимание уделяется анализу загрязнений в деионизованной воде и воздушной среде, требования к которым наиболее жестки и, следовательно, средства анализа контроля которых должны обладать наибольшей чувствительностью. Рассмотрен вопрос о термодинамической и кинетической устойчивости сверхчистых сред в связи с оценкой скорости и периодичности анализа, необходимой для эффективного контроля, проанализированы различные методы и аппаратура анализа.

Классификация загрязнений

Факторы, влияющие на объединение в группы различных видов загрязнений, определялись постепенно, по мере развития электронной техники. Так, поскольку давно известно о вредном влиянии ионов металлов [5] на полупроводниковые приборы, контроль этой группы примесей в промывной воде осуществляется уже более 20 лет путем деионизации на ионообменных смолах, средством же оперативного анализа служат датчики удельной электропроводности, дающие информацию о порядке величины общей концентрации ионов, а не только ионов металлов. В последние стандарты [6] включены ПДК и на отдельные виды ионов: натрия, хлора, цинка, меди и др.

В отдельную группу загрязнений, приводящих к существенному снижению выхода годных, особенно при повышенной степени интеграции, микрочастицы были выделены значительно позже — с появлением доступных счетчиков микрочастиц [7].

В некоторых классификациях [7] среды и источники загрязнений подразделяются следующим образом:

в высококачественной воде — ионные загрязнения, бактериальный рост, органические остатки, коллоидные вещества;

в кислотах и растворителях — химические примеси (сумма), собственные частицы, внесенные частицы;

в фоторезистах — частицы геля, плотные частицы, «чувствительность к процессу» (т.е. стойкость к разложению или загрязнению резиста при его использовании);

в газах общего назначения — внесенные частицы, химические примеси, совместимость;

в агрессивных газах — загрязнения из баллона, утечки, краны, варибельность химического состава, ограничения по технике безопасности.

Другим примером может служить стандарт [6] на воду марки Е-1, параметры которой приведены ниже.

Удельное сопротивление, МОм·см	не менее 17
Максимальная концентрация примесей, мкг/л	
медь	2
хлориды	20
растворенные газы	10
калий	1
двуокись кремния	5
натрий	1
твердые частицы	5
из них неорганические	1
органические	4
цинк	1
общий органический углерод	75
Максимальное содержание в 1 см ³ , шт.	
крупных частиц (более 1 мкм)	2
бактерий	1

Высокая чувствительность СБИС к загрязнениям определяется, во-первых, физическими процессами, связанными с движением носителей заряда в полупроводниковом материале, содержащем не более 10⁻⁷% посторонних веществ и порядка 10⁻⁴—10⁻⁶% атомов легирующей примеси [5]. Во-вторых, микронными линейными размерами элементов с плотностью их размещения более 10⁴ мм², в-третьих, наличием тонких слоев и поверхностей раздела фаз с повышенной энергией концентрирования примесей из среды.

Вредные загрязнения, попадающие из среды на изделие, целесообразно подразделить на три группы:

ионы, создающие избыточную концентрацию зарядов на поверхности полупроводника или в пленках диэлектрика в приборах с зарядовой связью (концентрация зарядов не должна превышать 10¹⁰ см⁻², т.е. 100—1000 зарядов/мкм² [5]);

микрочастицы (твердые, гелеобразные, микроорганизмы), создающие проколы, разрывы, закортки элементов и являющиеся концентратами загрязнений остальных типов [8] (одна бактерия, например, содержит до 10⁸ ионов натрия и калия);

поверхностно-активные вещества (ПАВ), способные адсорбироваться на поверхностях раздела в концентрациях, в миллион и более раз превышающих их концентрацию в растворах; это, в основном органические соединения, содержащие ионную или гидрофильную «полярную головку» и незаряженный «гидрофобный радикал». Загрязняя поверхность и образуя на ней монослой из ионов и органических молекул, ПАВ способствуют адсорбции микрочастиц и препятствуют адгезии пленок фоторезиста.

Для названных групп загрязнений можно указать общие признаки очистки и анализа сред:

для ионов — ионный обмен, оценка общей концентрации (по электропроводности среды); для микрочастиц — фильтрование, седиментация и т.п., оценка общей концентрации (счетчиками частиц);

для ПАВ — адсорбция на пористых адсорбентах (оценка общей концентрации будет рассмотрена ниже).

Данная классификация относится не к примесям, а к микрозагрязнениям, например, растворенным в воде газам, летучим органическим растворителям, для которых уровень опасной концентрации превышает величину порядка нескольких миллиграммов на литр. Это разделение существенно с точки зрения оперативности анализа и контроля, так как чем ниже ПДК, тем чаще и быстрее будет происходить загрязнение среды до опасного уровня.

Оценка величин ПДК по отдельным группам загрязнений

Оценка норм ПДК связана с обеспечением определенной чувствительности аналитических средств системы контроля: она должна иметь приблизительно десятикратный запас по сравнению с величиной ПДК. Величина ПДК — переменная, зависит от особенностей технологического процесса, применяемой среды, вида изделия, степени интеграции и т.д. Зачастую нормы ПДК бывают не установлены нормативными документами и тогда они определяются производителями микросхем эмпирически.

ПДК для ионных загрязнений. Опасные уровни концентрации ионов металлов в деионизованной воде [9] приведены в табл. 1.

Таблица 1

Элемент	ПДК, мкг/л
Натрий	1,0
Калий	0,5
Цинк	0,1
Железо	0,1
Медь	0,1
Хром	0,1
Марганец	0,5
Алюминий	0,5

Согласно стандарту [6] нормы ПДК для определенных видов ионов составляют (мкг/л): медь — 2, хлориды — 20, калий — 1, натрий — 1, цинк — 1; минимальное удельное сопротивление 17 МОм·см. Элементарные оценки показывают, что при суммарной концентрации положительных ионов 10^{-7} моль/л (3 мкг/л) в промывной воде, которую затем удаляют с пластин центрифугированием, на пластине останется, если не учитывать адсорбции, около 10^9 ионов/см². Это на порядок ниже, чем допустимая плотность поверхностных состояний. Однако при наличии необратимой адсорбции при промывке в течение 10 мин и той же концентрации ионов либо сушке без центрифугирования на поверхности пластины будет уже $5 \cdot 10^{12}$ ионов/см², т.е. на два—три порядка выше допустимой плотности поверхностных состояний. Для степени интеграции 64К предельно допустимая концентрация загрязнений, составляющая 10^{-7} моль/л, является разумной. При переходе к степени интеграции 256К и 1М придется, вероятно, снизить ПДК на 1/2—1 порядка.

ПДК на микрочастицы. Микрочастицы — предмет наибольшего внимания среди прочих загрязнений [8—12]. Считается, что критический размер частиц не должен превышать 0,1 от минимальной величины линейного размера элемента схемы [10]. Для микросхем 64К это составляет 0,3—0,2 мкм, для 1М — 0,05—0,09 мкм. Предполагается, что частицы таких размеров адсорбируются на поверхности необратимо и для адсорбции достаточен однократный контакт частицы с поверхностью [11].

В газах (включая воздух) механизм захвата частиц может быть электростатический, если частица и пластина противоположны по знаку заряда; диффузионный, если частица настолько мала, что может прийти в контакт с пластиной в результате собственного броуновского движения; возможны также столкновения в ламинарном потоке, когда частица превышает сечение линии тока по размерам. В жидкостях основной механизм захвата частиц — столкновение в ламинарном потоке, поскольку вследствие высокой вязкости влияние диффузии и электростатического захвата играет меньшую роль. В агрессивных средах из-за растворения поверхностных слоев имеют место два дополнительных, противоположно направленных эффекта: при химических реакциях некоторые частицы удаляются, но ад-

сорбирующая способность пластины повышается вследствие образования новой активной поверхности. В целом жесткость требований к концентрации частиц должна убывать в следующем порядке: воздух (газы) — вода — фоторезисты — растворители и агрессивные среды.

В жидких средах принято различать твердые микрочастицы, коллоиды и микроорганизмы. Первые две группы отличаются по проникающей способности через фильтры — коллоиды могут продавливаться. Однако существуют конструкции фильтров [13], позволяющие работать при уменьшенном перепаде давлений и одновременно задерживать более эффективно и коллоиды, и твердые частицы. Поэтому указанное разделение не представляется очень строгим.

ПДК микрочастиц в той или иной среде зависит от скорости и характера (ламинарный или турбулентный) потока, вязкости и времени контакта среды, омывающей пластину, с ее поверхностью, а также от критического размера микрочастиц. Величину ПДК можно оценить на основании этих данных исходя из заданной дефектности (предельно допустимой поверхностной концентрации дефектов, обусловленных частицами, на 1 см² кристалла), выше которой выход годных становится экономически невыгодным [12]. Разумный баланс между результатами подобных расчетов и величинами ПДК выработан на практике [10, 11]. Так, в стандартах регламентируется не ПДК микрочастиц в воздушной среде на рабочем месте, а класс чистоты помещения (бокса или комнаты) в целом [7]. Соответствующие ПДК микрочастиц в воздухе помещения при производстве СБИС 256К составляют не более 3500 м^{-3} частиц диаметром выше 0,2 мкм. При массовом производстве СБИС и ССИС емкостью 1М величина ПДК составит менее 350 м^{-3} при критическом диаметре частиц 0,09 мкм [10, 11].

Из жидких сред наиболее жесткие требования по микрочастицам (как и по другим видам загрязнений) предъявляются к деионизованной воде в силу ее наиболее длительного контакта с изделиями в процессе производства. Требования [14, 15] к предельно допустимым размерам (диаметру) частиц и соответствующие им предельно допустимые концентрации в зависимости от степени интеграции приведены в табл. 2.

Таблица 2

Характеристика	Интеграция, бит/кристалл		
	16К	256К	1М
Диаметр частиц, мкм	0,2	0,1	0,05
ПДК, см ⁻³ , не более	200—300	20—150	менее 20
ПДК на микроорганизмы, см ⁻³ , не более	1	0,02—0,2	0,01

В соответствии с [6] (см. табл. 1) деионизованная вода марки Е-1 должна содержать не более 2 микрочаст./см³ диаметром свыше 1 мкм, т.е. требования менее жестки в отношении микрочастиц. Однако требования на содержание бактерий [6] должны составлять $0,02 \text{ см}^{-3}$ при изготовлении схем емкостью 256К и $0,01 \text{ см}^{-3}$ — для схем 1М. Различия в нормах ПДК зависят от конкретных особенностей технологического процесса изготовления схем. В частности, от

количества, режима, интенсивности и длительности промывок в деионизованной воде. В среднем можно считать, что ПДК на микрочастицы при производстве микросхем емкостью 16К и 1М соответственно составляют не менее 200 см^{-3} для частиц свыше $0,3 \text{ мкм}$ и несколько единиц на 1 см^3 — для частиц свыше $0,05\text{--}0,1 \text{ мкм}$ в диаметре.

ПДК на микроорганизмы на два порядка жестче, чем на микрочастицы. Причина — в их способности к размножению: при прохождении хотя бы одной бактерии через фильтр или ее попадании иным способом в деионизованную воду в точке потребления через некоторое время будет обнаружено значительное их количество. Поэтому наряду с абсолютными величинами ПДК микроорганизмов не менее важной является скорость изменения концентрации бактерий за определенный интервал времени: если за 6 ч концентрация увеличилась в 10 раз, через сутки количество бактерий возрастет уже в 10^4 раз. К наиболее благоприятным условиям относится наличие питательных органических веществ, растворенных в воде или извлекаемых бактериями из поверхностей, контактирующих с водой, где бактерии могут осесть и образовать колонии. Бактериальный рост свидетельствует о недопустимо высоком уровне органических веществ в среде или о непригодности материалов стенок труб, ванн и пр.

Уровень ПДК микроорганизмов целесообразно поставить в зависимость от темпов бактериального роста. Если количество бактерий за 8 ч не возрастает, то концентрация бактерий на уровне 10% от общего содержания микрочастиц будет допустимой. Прирост концентрации бактерий за 8 ч в 2—4 раза может быть позволительным, если исходная концентрация составляет менее 0,01 от стационарной величины ПДК на микроорганизмы. Более высокая скорость размножения недопустима при любых реально обнаруживаемых концентрациях бактерий.

Поверхностно-активные вещества до последнего времени не привлекали к себе должного внимания, на них не установлены нормы ПДК ни в СССР, ни за рубежом. Их влияние на качество и выход годных ИЭТ почти не изучено, хотя некоторые ПАВ применяются в технологическом процессе (при промывках, нанесении фоторезиста), а загрязнения, вносимые персоналом в технологическую среду, содержат сильно адсорбирующиеся ПАВ — белки, липиды. В газовой среде поверхность твердого тела обладает способностью адсорбировать практически любые органические вещества, и если последние обладают низкой упругостью паров, например масла, то их трудно, а иногда и невозможно удалить при термических обработках в вакууме. Соединения разлагаются на поверхности пластины и вжигаются в виде углеродной или полимерной пленки той или иной степени сплошности. Из водной среды на поверхности адсорбируются собственно ПАВ, т.е. соединения, молекулы которых обладают как гидрофобными (выталакиваемыми водой на поверхность), так и гидрофильными (имеющими сродство к воде) группировкам. От их баланса зависит поверхностная активность ПАВ. Если гидрофильная группа обладает зарядом, то в результате адсорбции на поверхности пластины после промывки в воде, загрязненной таким ПАВ, образуется избыточная концентрация зарядов. Это дает возможность оценить нижний предел допустимой поверхностной концентрации той же величиной,

что и для ионов, т.е. 0,1 атомных процентов или 0,1% площади поверхности полупроводника (или подзатворного окисла). Эта величина избыточной поверхностной концентрации, т.е. адсорбции одного вещества или суммы ПАВ, связана с поверхностным натяжением на границе раздела фаз известным уравнением Фрумкина [16]:

$$\pi = \sigma_0 - \sigma = -RT\Gamma_0 \ln(1 - \Gamma/\Gamma_0)$$

(которое для разбавленных растворов ПАВ аппроксимируется формулой $\pi = RT\Gamma$), где σ_0 — поверхностное натяжение растворителя; σ — поверхностное натяжение раствора; π — поверхностное давление, мН/м; R — газовая постоянная, Дж/моль \cdot К $^{-1}$; T — температура, К; Γ — адсорбция, ммоль \cdot м $^{-2}$; Γ_0 — предельная адсорбция. Для заданной выше величины $\Gamma/\Gamma_0 = 1 \cdot 10^{-3}$ (т.е. 0,1% площади) находим, что поверхностное давление π не должно превышать $0,01 \text{ мН}\cdot\text{м}^{-1}$.

Величина π является косвенным выражением абсолютной объемной концентрации ПАВ в среде, подобно тому, как электропроводность косвенно отражает суммарное содержание ионов в воде, однако она более адекватно характеризует наличие адсорбируемых поверхностью примесей из среды, чем суммарное содержание органического углерода.

Величина ПДК на органический углерод в воде марки Е-1 — 75 мкг/л [6]. Согласно более ранним стандартам величина ПДК составляла $500\text{--}1000 \text{ мкг/л}$. Причиной существенного ужесточения стандарта явилось, по-видимому, помимо развития методик анализа (от перманганатной окисляемости — к микрочислению в УФ свете), также и то, что при большем суммарном содержании органических соединений возрастает вероятность загрязнения ПАВ и роль органических соединений как фактора бактериального роста. Очевидно, однако, что из перечисленных групп загрязнений ПДК на органический углерод характеризуется наибольшей величиной (в массовом отношении). Это почти макропримесь.

В газовой среде, где суммарная концентрация органических веществ и концентрация ПАВ практически совпадают, наиболее приемлемым их мерилем была бы величина скорости адсорбции органических веществ из газа поверхностью твердой фазы. Однако этот подход нуждается в разработке способов измерения и обоснованных норм предельно допустимого значения этой величины. Все же можно предположить, что если пластина, находившаяся в данном газе в течение часа, окажется покрытой сплошным мономолекулярным слоем органических молекул, то их концентрация в газе превышает ПДК более чем на порядок.

В табл. 3 приведены предельно допустимые значения параметров для рассмотренных групп неспецифических загрязнений воды и воздуха при производстве микросхем емкостью 64Кбит и 1Мбит.

Для наглядного представления о требуемой степени чистоты величины ПДК, приведенные в табл. 3, целесообразно перевести в концентрации, выраженные в микрограммах на килограмм основного вещества. Для группы ионных загрязнений ПДК = 10^{-7} М , что для ионов металлов составит $1\text{--}10 \text{ мкг/кг}$ воды. Для микрочастиц (ПДК в воде 10^3 дм^{-3} , в воздухе 10^{-2} дм^{-3}) соответствующая величина в воде равна $\sim 10^{-4} \text{ мкг/кг}$, в воздухе $\sim 10^{-6} \text{ мкг/кг}$. Для ПАВ (предельное значение π в воде $0,01 \text{ мН/м}$), в зависимости

Таблица 3

Группа загрязнений	Параметр	Среда	Степень интеграции микросхем	
			64К	1М
Ионы	ПДК, моль/дм ³	вода	10 ⁻⁷	<10 ⁻⁷
Микрочастицы	размер, мкм	вода	0,3 10 ⁵	0,1 10 ³
	ПДК, дм ⁻³	воздух	3	10 ⁻²
Микроорганизмы	темп роста c ₂ /c, за 8 ч ПДК, дм ⁻³	вода	0—3	0 2
			10 ³	10 1
ПАВ	л, мН · м ⁻¹	вода	10 ⁻²	10 ⁻²
Органический углерод	ПДК, мкг · дм ⁻³	вода	10 ³	50
	скорость адсорбции, Г ₂ /Г ₁ , ч	воздух	—	10 ⁻²

от энергии адсорбции, величина массовой доли растворенных в воде ПАВ составит 1—10⁻² мкг/кг и ниже.

Таким образом, несколько миллиграмм какой-либо соли металла загрязняет тонну воды до недопустимого значения концентрации ионов.

Чистая технологическая среда как термодинамически и кинетически неустойчивая система

Предполагают, что при производстве микросхем емкостью 256 Кбит и более можно добиться требуемой чистоты помещений и сред путем автоматизации только собственно системы производства в сочетании с применением соответствующих материалов, конструкции и организации технологического процесса, т.е. что технологический цикл можно построить столь совершенным, что надобность в частых оперативных измерениях, не говоря уже о непрерывных автоматизированных анализах тех или иных загрязнений, отпадает и можно будет время от времени проводить только инспекционные отборы и анализы проб для проверки. На самом же деле сверхчистое состояние сред, в первую очередь воды и воздуха, является в реальных условиях технологии термодинамически и кинетически нестабильным. Возрастание их загрязненности энергетически выгодно и может происходить с большой скоростью. Понимание этого неизбежно приводит к необходимости измерения концентраций загрязнений со скоростью и частотой, позволяющей системе контроля устранить источник загрязнения до того, как будут нарушены ПДК.

Причины неустойчивости сверхчистых сред следующие. Технологическая среда не является изолированной системой. На пути от точки финишной очистки к точке потребления она контактирует с поверхностью конструктивных материалов труб, стенок резервуаров и т.п. Подавляющее большинство неорганических соединений, содержащих такие металлы, как натрий, цинк, калий, кальций и др., обладает (каждое в отдельности) растворимостью в воде, превышающей суммарную ПДК на ионы. Скорость растворения солей и минеральных веществ в воде может достигать величины (10⁻⁷—10⁻⁵) г/мм² · мин.

Поэтому свежеоочищенная вода будет растворять входящие в состав материалов в виде примеси или основного компонента неорганические соединения со скоростью, пропорциональной омываемой поверхности растворимого включения (кинетическая неустойчивость). При скорости растворения 10⁻⁶ г/мм² · мин контакт с водой поверхности загрязняющего включения площадью 1 мм² превысит ПДК на ионы в 1 л воды в течение минуты.

Аналогичным образом сверхчистая вода на своем пути растворяет и органические полимерные материалы, вымывая из них в первую очередь ПАВ, гидрофильные органические вещества. Диффузия малых молекул в органическом полимере протекает легче, чем в неорганических материалах, поэтому растворению постепенно подвергаются и примеси, например, пластификатора, вначале находившиеся в объеме полимера.

Появление микрочастиц в водной среде — неизбежное следствие процессов растворения, приводящих к разрыхлению и набуханию поверхностных слоев, образованию микротрещин и отрыву частиц труднорастворимого материала потоком воды. Ввиду того, что массовая доля микрочастиц, соответствующая ПДК, составляет доли наногаммов на килограмм воды, превышение нормы ПДК на эту группу загрязнений может происходить с наибольшей частотой и скоростью и характеризоваться существенной неравномерностью по абсолютной величине и по времени.

Микрочастицы в воздушной среде также представляют большую опасность, поэтому нормы ПДК на них чрезвычайно жестки. Механизмы генерации микрочастиц в воздухе и газах включают отрыв частиц при конвекции и турбулентности, процессы электризации, трения, конденсации на зародышах, диспергирование при контакте с жидкой поверхностью при ее возмущении.

Для общего содержания органических соединений ПДК существенно выше, чем для ионов, ПАВ, микрочастиц. Относительные изменения концентрации поэтому могут носить более плавный характер, а превышение ПДК — случаться реже. Рост микроорганизмов тоже является медленным процессом: для удвоения числа бактерий в водной среде требуется по крайней мере 1 ч.

Таким образом, по трем групповым параметрам — ионам, микрочастицам и ПАВ — сверхчистые технологические среды обладают неустойчивостью: концентрация этих загрязнений стремится превысить ПДК, причем превышение может произойти в непредсказуемый момент в течение нескольких минут. Обратная релаксация к норме ПДК термодинамически невыгодна, поскольку осуществляется за более длительный срок путем принятия мер по выведению и ликвидации источника загрязнения или при значительном увеличении скорости потока омывающей воды или воздуха. Отсюда следует вывод: в критических точках потребления сверхчистых сред для производства микросхем требуется оперативная и непрерывная информация о соответствии среды нормам ПДК на ионы, микрочастицы и ПАВ.

Методические и аппаратные возможности анализа различных групп микрозагрязнений

Ионы металлов. При ПДК 10⁻⁷ моль/дм³ необходимая чувствительность должна быть

10^{-8} моль/дм³, в пересчете на ионы натрия — около 0,2 мкг/л. Непосредственное определение ионов в таких концентрациях удается осуществить только путем дорогостоящих, требующих высококвалифицированного персонала, длительных методов — нейтронно-активационного анализа, атомной абсорбции, ионообменной жидкостной хроматографии высокого давления [17, 18]. Косвенное определение суммарной концентрации ионов по величине удельного сопротивления водного раствора широко распространено в практике и до недавнего времени было единственным оперативным методом контроля качества деионизованной воды на загрязнение. Метод прост, удобен, легко поддается автоматическому управлению и выводу информации, аппаратура выпускается серийно. Если ионный состав загрязняющих солей не слишком отклоняется от обычного набора, т.е. основными компонентами являются ионы натрия, калия, цинка, хлориды, сульфаты и т.п., то удельное сопротивление с точностью порядка 20—30% соответствует удельному сопротивлению раствора одной из солей этого набора, например, хлористого натрия той же молярности. Если показатель рН воды отличается от нейтрального, то результаты будут завышенными, так как ионы водорода или гидроксила обладают почти на порядок большей эквивалентной электропроводностью, чем перечисленные ионы. Это часто наблюдается на практике: при контакте с воздухом вода поглощает из него СО₂ и образуется угольная кислота — при этом электросопротивление воды заметно падает. Оценка же концентраций полимерных ионов, например полианионов кремниевой кислоты, этим методом дает заниженные результаты. По чувствительности метод соответствует критерию сравнения с ПДК: при концентрации хлорида натрия 10^{-7} моль/л удельное сопротивление раствора на 3,4 МОм·см меньше, чем у чистой воды. В целом существующая аппаратура пригодна для автоматического анализа ионных загрязнений воды. При переходе на производство схем емкостью 1М и более требуется коррекция по температуре и кислотному показателю.

Микрочастицы. Наиболее приемлемыми являются оптические методы и выпускаемые на их основе лазерные счетчики микрочастиц. Принцип их работы — подсчет частиц в потоке по импульсам рассеянного света с одновременной оценкой размеров частиц по интенсивности рассеяния [19]. Для оперативного анализа деионизованной воды приборы обладают достаточным быстродействием и возможностями автоматизации. Однако их чувствительность при контроле содержания частиц в жидкостях в производстве схем емкостью 256К и более недостаточна. Необходимо получить возможность обнаружения частиц размером 0,1 мкм.

Обнаружение частиц с размерами 0,1 мкм в газах не встречает затруднений, однако для газовой среды, где ПДК в 10^5 раз ниже, чем для жидкостей, трудности заключаются в необходимости увеличивать мерный объем датчика, чтобы зарегистрировать статистически достоверное число частиц за приемлемое время. Для регистрации более мелких частиц, по-видимому, перспективными являются приборы, действующие на основе конденсационного метода.

Микроорганизмы. Стандартный метод определения бактерий заключается в фильтровании исследуемой среды через контрольный фильтр, выращивании осевших бактерий на этом фильт-

ре, помещенном в питательную среду, и подсчете образовавшихся колоний [20]. Этот метод неоперативен: длительность — до 48 ч. Поскольку бактерии, в отличие от других частиц, способны размножаться и их концентрация в деионизованной воде увеличивается за сутки в 1000 раз [21], приходится ужесточать нормы ПДК. Метод подсчета колоний неудовлетворителен и по другой причине: в самой технологической среде значительная часть жизнеспособных бактерий находится в виде колоний на субстратах, из которых бактерии извлекают питание. Каждый такой агрегат, содержащий неопределенное число живых бактерий, попав на фильтр, даст еще одну колонию, и результат будет занижен.

Существует настоятельная необходимость в разработке ускоренных, оперативных методик определения концентрации жизнеспособных микроорганизмов в деионизованной воде в реальном масштабе времени.

ПАВ. Химические методы обнаружения ПАВ [22] для оперативного анализа непригодны вследствие их длительности, трудоемкости и малой чувствительности. Из физических методов определение поверхностного давления на границе раздела фаз вода—воздух при его значении $\sim 0,01$ мН/м с точностью хотя бы $\pm 30\%$ в производственных условиях представляет простую задачу. Авторами разработан метод и прибор, измеряющий изменение поверхностного давления при уменьшении площади поверхности в 100—150 раз [23]. В результате концентрирования ПАВ на меньшей площади поверхностное давление увеличивается тоже в ~ 100 —150 раз, и тогда предельно допустимое значение λ будет 1—1,5 мН/м. Чувствительность прибора составляет 0,1—0,3 мН/м.

Общий органический углерод. Традиционные химические методы — бихроматная окисляемость и т.п. — имеют недостаточную чувствительность и неоперативны. Существуют приборы для определения концентрации общего органического углерода, основанные на принципе сжигания при облучении образца источником ультрафиолета в присутствии кислоты с последующим кондуктометрическим определением образующейся углекислоты в водном растворе. По чувствительности (около 10 мкг углерода на 1 л), быстродействию и возможности автоматизации измерений приборы этого типа в общем удовлетворяют требованиям оперативного анализа и норм ПДК. По надежности и воспроизводимости результатов они, по-видимому, нуждаются в серьезной доработке. Перспективными являются методы, основанные на принципе импульсной полярографии, которые позволяют добиться большей воспроизводимости результатов при тех же величинах чувствительности и других параметрах.

Таким образом, при производстве схем со степенью интеграции 256 кбит и выше необходима автоматизированная система анализа чистоты технологических сред. Это связано с высокими требованиями к чистоте, так как среды, и в первую очередь вода и воздух, способны быстро и в непредсказуемые моменты времени загрязняться микроколичествами примесей до концентраций, приводящих к неработоспособности изготавливаемых схем. Поэтому необходимо оперативный контроль содержания микрочастиц, ионов и ПАВ. Имеющаяся аппаратура анализа указанных групп загрязнений позволяет создавать такие системы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Масуда С. Куки тева-то райто, 1984, т. 24, № 1, p. 127 (яп).
2. Физические ограничения минимальных размеров элементов современной микроэлектроники/ Ю.В.Гуляев, В.Б.Сафодомирский, А.А.Суханов, Ю.Я.Ткач.— Успехи физических наук, 1984, т. 144, вып. 3, с. 475.
3. Wallmark J.T. Physical limitations on the design of microcircuits—Phys. Status Solidi, B, 1982, vol. 78, p. 362.
4. Sugano T. Fluctuations of charge density in MOS gates— Suppl. Japan J.Appl. Phys. 1976, vol. 15, No 4, p. 18.
5. З и С. Физика полупроводниковых приборов, т. 1.— М.: Мир, 1984.— 455 с.
6. Качество деионизованной воды — один из ключевых параметров технологии СБИС.
7. Toller D.L. Contamination Control: new dimensions in VLSI manufacturing.— Solid State Technol., 1984, vol. 27, No 3, p. 129.
8. Monkowskij J.R., Zahour R.T. Failure mechanism in MOS gates resulting from particulate contamination.— IEEE Proc., IRPS, 1982. Sept., p. 244—248.
9. Макбейн К., Стьюарт Д. Требования к чистоте воды при производстве интегральных микросхем.— Зарубежная радиоэлектроника, 1984, № 6, с. 92.
10. Duffin R.L. Process gas filtration in integrated circuit production.— Microcontamination, 1983/1984, vol. 1, No 4, p. 34.
11. Duffalo J.M., Monkowskij J.R. Particulate contamination and device performance.— Solid State Technol., 1984, vol. 27, No 3, p. 109.
12. Murphy B.T. Cost-size optima of monolithic integrated circuits.— Proc. IEEE, 1964. Dec., p. 1537.
13. Millipore ultragard point-of-use ultrafiltration system for microelectronic D.I.Water2. Publ. by Millipore Corp., Bedford, USA, 4/1982, Cat. No UF008.
14. Motomura H. Ultrapure water treatment systems with closed wastewater reclamation.— Microcontamination, 1984, vol. 2, N 1, p. 45.
15. O'Neill T.G. Ultra-pure water update.— Semiconductor International, 1981, No 7, p. 55.
16. Поверхностно-активные вещества: Справочник/ Ред. А.А.Абрамзон и Г.М.Гаевой.— Л.: Химия, 1979.— 376 с.
17. Новые методы анализа особо чистых химических неорганических реактивов.— М.: ИРЕА, 1981, с. 3—37.
18. Knox J.H. High performance liquid chromatography.— Edinburgh: Edinburgh Univ., 1978, 700 p.
19. Приборы контроля содержания частиц в жидкостях, применяемых в производстве ИС/В.С.Банников, С.М.Безручко, С.В.Кузьмин, О.В.Степанищев.— Электронная промышленность, 1986.— См. наст. вып., с. 46.
20. ASTM F488-79 (1979), Standard test method for total bacterial count in water.
21. Tsuchizaki M. Ultrahigh-purity water for semiconductor manufacture: an approach to cleaning for VLSIs, in «Electronic Seminar», ed. by Millipore Corp., 1984. March, Aspects, p. 9.
22. Лурье Ю.Ю. Унифицированные методы анализа вод.— М.: Химия, 1971, с. 348—359.
23. А.с. 783655 (СССР). Устройство для определения концентрации поверхностно-активных веществ в водных растворах/Ю.М.Абраменко, С.М.Безручко, Г.П.Бенинг, В.А.Могилако, Г.И.Матвеев, В.А.Рыжиков, П.С.Сотников. Б.И., 1980, № 44.

Статья поступила 3 февраля 1986 г.

УДК 621.382.002:66.067/.078

О.В.Казакевич, И.В.Коробов,
Е.Г.Кушнарёва, А.В.Лукичев, Н.Г.Осипова

ФИЛЬТРУЮЩИЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ МИКРООЧИСТКИ ХИМИЧЕСКИХ РЕАКТИВОВ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РАСТВОРОВ

Сложность современных ИЭТ и постоянная тенденция уменьшения размеров микроэлектронных устройств повышает с каждым годом требования к допустимому содержанию и размерам частиц, а также к концентрации органических веществ в исходных материалах и в технологических средах. Так, допустимый размер частиц в технологических средах, определяемый как 1/10 от размера минимального топологического элемента ИС [1], составляет 0,1 мкм. Выше этого размера частицы могут стать источниками дефектов. Что касается органических загрязнений, характерной особенностью которых является их способность адсорбироваться на поверхности полупроводниковых пластин, то они при наращивании тонких пленок могут стать центрами образования зародышей, вследствие чего ухудшается кристаллическая структура пленок [2].

Жесткость требований к чистоте используемых в технологии ИЭТ сред, разнообразных по химическому составу и физико-химическим свойствам, обуславливает необходимость создания ассортимента фильтров для глубокой очистки.

Ниже рассмотрены фильтрующие материалы (ФМ) и патронные фильтры для глубокой очистки жидких технологических сред в производстве ИЭТ методом микро- и ультрафильтрации.

При исследованиях для всех ФМ (фильтрующих элементов и фильтров) определяли производительность, давление, соответствующее появлению первого пузырька, эффективность удерживания частиц, совместимость с различными химикатами, способность загрязнять фильтрат органическими веществами и частицами.

Эффективность удерживания частиц определяли с помощью лазерного анализатора частиц ЛАМ-1 [3, 4], а концентрацию органических веществ — путем регистрации изменения поверхностного натяжения в динамических условиях с помощью цифрового индикатора [5]. Нижний предел чувствительности прибора, используемого для этих целей, составляет 0,05—0,004 мг/л (в зависимости от определяемого органического вещества). При оценке способности ФМ загрязнять фильтрат частицами и органическими веществами через исследуемый образец пропускали с определенной скоростью поток сверхчистой воды, а затем контролировали фильтрат на содержание частиц размером более 0,3 мкм и органических веществ.

Как показывают результаты испытаний ФМ для микроочистки, которые выпускаются в виде промышленных и опытно-промышленных партий, они имеют высокую эффективность удерживания частиц при очистке как жидких, так и газообразных сред (табл. 1). Это объясняется узким распределением пор по размерам (рис. 1).

Установлено, что рассмотренные ФМ перед использованием требуют отмывки в деионизованной воде марки А с целью удаления с их поверхности частиц и органических веществ. Причем необходимый объем воды для отмывки различен для каждого ФМ. Эта характеристика ФМ очень важна, так как обеспечивает правильную подготовку

фильтра перед использованием и достижение высокого качества очистки. Наибольшую чистоту поверхности имеют ФМ на основе фторированных полимеров.

В последнее время разработан ФМ на основе алифатического полиамида (на подложке и без подложки) с размером пор 5 мкм, который предназначен для предварительной очистки фоторезистов,

Основные характеристики мембранных фильтрующих материалов

Таблица 1

Тип фильтрующего материала	Назначение	Размер задерживаемых частиц, мкм	Эффективность удерживания частиц, %		Расход воды, л/см ² , для отмывки	
			размером 0,5 мкм и более в жидких средах	размером 0,12 мкм и более в газообразных средах	от частиц размером 0,5 мкм и более	от органических веществ
«Хемофил» СПА (алифатический полиамид)	Микроочистка деионизованной воды, резистов, растворителей	0,2 0,5 1,0	99,52 99,91 99,28	— — —	0,35	0,217
«Владипор» МФЦ (регенерированная целлюлоза)	Микроочистка резистов и растворителей	0,15 0,25 0,45 0,60	— 99,91 99,97 99,90	— — —	0,8—1,6	0,09
«Владипор» МФФ (сополимер винилиденфторида с тетрафторэтиленом)	Микроочистка агрессивных жидких и газообразных сред кислого и щелочного характера (при 20—80°C)	0,15 0,25 0,45 0,60	— 99,99 99,99 99,99	100 100 100 99,997	0,05—0,15	0,04
«Хемофил» ПВХ (поливинилхлорид)	Микроочистка разбавленных и концентрированных кислот типа HF и HNO ₃ при 20°C, газообразных сред, в том числе агрессивных	0,2 0,5 1,0	99,97 91,86 —	100 100 99,7	0,5—1,2	0,253—0,1
«Ядерный фильтр» (лавсан)	Микроочистка деионизованной воды, слабокислых растворов, некоторых типов резистов, растворителей	0,20 0,25 0,50 1,0	99,9338 — 99,9986 —	— — — —	2,8	— — — —
Мембраны капроновые микропористые	Микроочистка резистов и растворителей	0,2	99,94	—	0,1	0,05

Фильтрующие материалы для ультрафильтрационной очистки жидких сред

Таблица 2

Фильтрующий материал	Размер пор, мкм	Производительность по воде, мл/мин · см ² (при ΔР, кПа)	Селективность удерживания органических веществ, % (при ΔР, кПа)
УПМ-250 (полисульфонамид)	0,025	1,5 (200)	98 (50—200)
УПМ-350 (полисульфонамид)	0,035	4,3 (200)	100 (50—200)
УПМ-500П (полисульфонамид)	0,05	0,78 (200)	98 (50—200)
«Ядерный фильтр» (лавсан)	0,04	0,13 (100)	0 (100) 81—87 (50)
УПА-50 (полиамид) в виде полых волокон	0,006	0,1 (150)	100 (150)
Р ТНК 00001 (полисульфон)	0,006	1,056 (180)	99 (180)

растворителей и различных органических сред с высокой вязкостью. Результаты его испытания показали, что материал имеет высокую производительность по воде (до 290 мл/мин · см² при ΔР=100 кПа) и высокий ресурс работы. Хорошие характеристики этого ФМ объясняются его развитой пористой структурой (рис. 2). Для микроочистки небольших объемов жидких и газообразных сред используются фильтрующие элементы (ФЭ) в виде дисков, а для микроочистки больших объемов — в виде патронов.

В технологии финишной микроочистки денонизованной воды хорошо себя зарекомендовали патронные фильтры на основе материала «Ядерный фильтр» с размером пор 0,2 мкм. Для подготовки к работе достаточно их двухчасовой промывки денонизованной водой. При этом ФЭ полностью отмываются от органических, неорганических, а также от механических загрязнений. Длительная эксплуатация этих ФЭ показала возможность достижения с их помощью высокой степени очистки (до 50 мл⁻¹ частиц размером 0,5 мкм). Указанные ФЭ имеют высокий ресурс работы (как правило, несколько месяцев). Этим ФЭ не уступают патронные ФЭ на основе ФМ марки СПА.

Для микроочистки больших объемов жидких сред кислого и щелочного характера предназначены ФЭ на основе материала марок ПВХ и МФФ. При их испытании получены достаточно обнадеживающие результаты, однако жесткие требования к чистоте фильтруемых сред, в том числе и агрессивных, требуют проведения дальнейших тщательных исследований фильтра в целом.

Более глубокая очистка жидких сред от взвешенных микрочастиц и от органических веществ достигается при использовании ультрафильтрационных мембран с размером пор менее 0,1 мкм. С целью определения возможности использования существующих ФМ в технологии ультрафильтрационной очистки были исследованы образцы мембран различной химической природы с размером пор 0,02—0,006 мкм, которые выпускаются для микробиологической и пищевой промышленности (табл.2). Для сравнения был выбран ФМ типа РТНК00001 с размером пор 0,006 мкм. Кроме перечисленных характеристик, определяли также способность ФМ удерживать органические вещества с известной молекулярной массой, например водный раствор поверхностно-активного вещества «Синтанол». Установлено, что испытанные ФМ имеют высокую селективность удерживания органических веществ с молекулярной массой ~700. При этом ультрафильтрационные мембраны значительно труднее отмываются от таких загрязнений, что обуславливается не только высокой загрязненностью их поверхности, но и возможным отторжением полимерных частиц материала мембраны. (Загрязненность

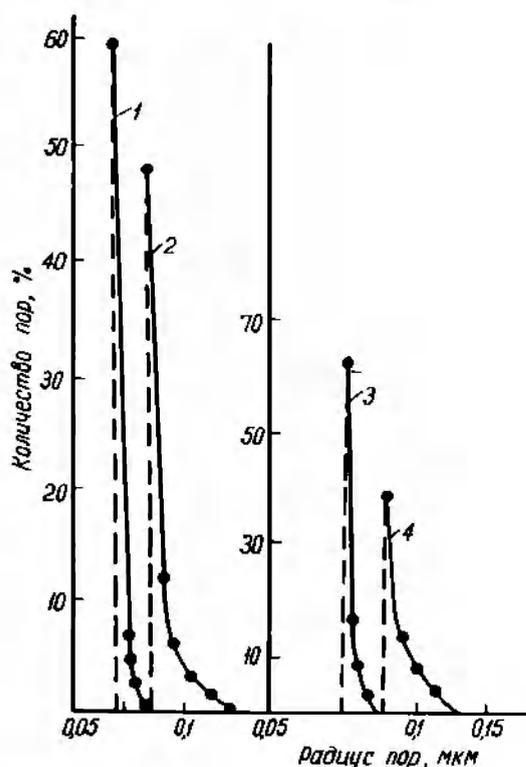


Рис. 1. Распределение пор по размерам в различных фильтрующих материалах: 1 — МФФ с размером пор 0,15 мкм; 2 — МФФ с размером пор 0,2 мкм; 3 — FG с размером пор 0,2 мкм; 4 — FH с размером пор 0,5 мкм

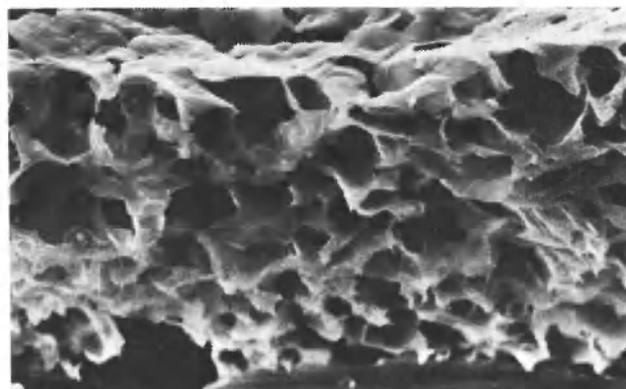


Рис. 2. Структура фильтрующего материала «Хемофил» СПА на подложке с размером пор 5,0 мкм. Микрофотография среза(х1500)

Результаты атомно-адсорбционного анализа жидких сред

Таблица 3.

Наименование пробы	Определяемые химические элементы, %									
	Mg	Pb	Mn	Cr	Sn	Fe	Al	Zn	Cu	Si
Лимонная кислота (2%-ный раствор)	1 · 10 ⁻⁷	1 · 10 ⁻⁸	5 · 10 ⁻⁹	2 · 10 ⁻⁷	< 2 · 10 ⁻⁹	3 · 10 ⁻⁷	1 · 10 ⁻⁷	< 2 · 10 ⁻⁷	5 · 10 ⁻⁸	2 · 10 ⁻⁶
Лимонная кислота (2%-ный раствор) после мембраны УПМ-350	1 · 10 ⁻⁷	6 · 10 ⁻⁶	1 · 10 ⁻⁷	6 · 10 ⁻⁷	7 · 10 ⁻⁷	1 · 10 ⁻⁶	1 · 10 ⁻⁷	8 · 10 ⁻⁶	> 5 · 10 ⁻⁵	1 · 10 ⁻⁶

фильтрата собственными частицами не позволяет для данных ФМ определить истинную эффективность удерживания частиц.) Даже отмытые большим объемом сверхчистой воды мембраны УПМ-350 вносят загрязнение в фильтрат (табл. 3). Несколько легче мембраны отмываются от органических загрязнений.

При исследовании ультрафильтрационных мембран на химическую стойкость в кислотах и щелочах установлена возможность их использования только при очистке разбавленных растворов. Для ультрафильтрационной очистки концентрированных кислот и щелочей необходимы мембраны на основе фторированных полимеров.

Следует отметить, что в основу систем ультрафильтрационной очистки положен принцип тангенциального потока, когда очищаемая жидкость в процессе фильтрации направляется вдоль поверхности мембраны. В таких системах ФМ может компоноваться в ФЭ типа плоских кассет или в виде рулонов. Если мембраны изготавливаются на основе полых волокон, то из них формируются трубчатые ФЭ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Weiss A. Filtration of chemicals, gases and photoresist. — *Semiconductor International*, 1982, July, p. 55—56.
2. Strigfellow G.B., Linnebach R. Photoluminescence — of challowacceptors in epitaxial $Al_xGa_{1-x}As$ — *J. Appl. Phys.*, 1980, vol. 51, N 4, p. 2212—2214.
3. Метод определения качества фильтрующих материалов/В.С.Банников, С.М.Безручко, С.В.Кузьмин и др.— *Электронная промышленность*, 1983, вып. 10, с. 43—45.
4. Устройство для измерения концентрации и размеров частиц в жидкостях/С.В.Кузьмин, С.А.Саунин, Ю.А.Сприжидкий и др.— *Приборы и техника эксперимента*, 1983, № 1, с. 177—178.
5. Метод контроля содержания поверхностно-активных веществ в деионизованной воде/Ю.М.Абраменко, С.М.Безручко, И.А.Беляев, Г.П.Беннинг.— *Электронная техника*, сер. 3. Микроэлектроника, вып. 1, 1982, с. 91—94.

Статья поступила 7 апреля 1986 г.

УДК 628.5:621.357

**В.А.Западов, Н.В.Кочергин,
А.В.Огневский, Т.П.Садчикова**

БЕССТОЧНАЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА ПРОМЫВКИ ГАЛЬВАНОПОКРЫТИЙ

Технологическую схему можно рекомендовать для использования в гальванических цехах или на других участках, где необходимо очищать сточные воды с возвращением концентрата и фильтрата непосредственно в технологический процесс.

В процессах получения гальванопокрытий при промывке деталей и смены отработанного электролита образуется большое количество сточных вод, загрязненных тяжелыми металлами и подобными им токсичными веществами. Такие сточные воды

вместе с получающимися в других производствах стоками поступают на станции нейтрализации. Основной задачей, решаемой на этих станциях, является нейтрализация кислых стоков для осаждения загрязнений с образованием шламов. При этом, во-первых, в связи с большим разнообразием загрязняющих примесей и условий их осаждения никогда не удастся очистить воду одновременно от всех токсичных веществ, а во-вторых, выделить индивидуальные вещества и вернуть их в производство практически невозможно.

Комплексное решение этих проблем возможно только путем качественной перестройки всей системы переработки сточных вод, выражающейся в создании очистных установок непосредственно для каждого источника загрязнений и организации на этой базе замкнутого цикла оборотного водоснабжения с возвращением ценных компонентов в производство. Такая схема разработана для участка промывки деталей после их никелирования.

В традиционном процессе обработки деталей предусмотрена их промывка сначала холодной и горячей водопроводной водой, а затем — деионизованной. Организовать на базе этой схемы систему оборотного водоснабжения не представляется возможным по двум причинам. Во-первых, концентрат, получающийся на обратноосмотической установке — наиболее эффективной для очистки воды и выделения содержащихся в ней компонентов [1, 2] — включал бы значительное количество солей жесткости и не мог бы быть возвращен в электролизную ванну. Во-вторых, наличие в промывной воде этих солей усложнило бы процесс концентрирования, так как эти компоненты дают плотный трудноудаляемый осадок, загрязняющий поверхность мембраны и сокращающий срок ее службы. В этой связи потребовалось изменение схемы промывки.

В предлагаемом варианте вместо водопроводной воды на первых двух стадиях промывки используется обратная вода, очищенная на обратноосмотической установке. При этом фильтрат применяется для промывки деталей, а концентрат возвращается в электролизную ванну. Необходимая степень концентрирования определяется материальным балансом по электролиту и воде. Горячая деионизованная вода используется на третьей стадии и затем направляется для подпитки первых двух. Улучшение отмывки деталей обеспечивается их противотоком по отношению к промываемой воде.

Поступающая на разделение в обратноосмотическую установку промывная вода является многокомпонентным раствором. В случае необходимости расчета процесса разделения таких сложных систем обычно исходят из предположения о независимости разделения веществ в растворе. Однако проведенные исследования показали, что такие допущения возможны только в некоторых случаях, например, для смеси электролитов валентного типа 1:1—1:1. Как правило, селективность разделения меняется в присутствии посторонних веществ. Так, добавление многовалентных ионов к раствору, содержащему одновалентный катион, ведет к снижению селективности по первому иону. Но в более сложных системах, содержащих как электролиты, так и органические вещества, пока не удается теоретически предсказать даже направление влияния различных добавок на селективность разделения растворов. Поэтому для расчета установки по обратноосмотическому концентрированию и очистке промывных вод, содержащих хлорид натрия, сульфат никеля, борную кислоту и органические блескообразователи, потребовались дополнительные исследования, которые были проведены

на модельных и реальных растворах с использованием серийно выпускаемых мембран марки МГА-95.

С целью стабилизации параметров мембран проводилась их предварительная термическая усадка путем выдержки при температуре 60°C и давлении 8 МПа. (Селективность разделения обработанной мембраны по стандартному 0,01 н. раствору NaCl составляла 94,3%.) Исходный раствор имел состав (мг/л по металлам): NaCl — 182,5; NiSO₄ — 50,0, что соответствует промывным водам. В ходе концентрирования проводился анализ проб фильтрата, а концентрация раствора рассчитывалась по материальному балансу и проверялась прямыми измерениями.

В ходе концентрирования модельных растворов выявлено изменение содержания в растворе Ni²⁺ и Na⁺ — оно возрастает соответственно до 25,9 и 5,3 г/л. Селективность разделения никеля высока — 99,4% и практически не меняется при изменении состава раствора (рис. 1). Дополнительные исследования показали, что снижение селективности по натрию с 94 до 89% вызвано не ростом его содержания в растворе, а повышением в нем массовой доли солей никеля. Селективность разделения борной кислоты остается на уровне около 50%, а блескообразователей — приближается к 100%.

На основе полученных экспериментальных зависимостей и с учетом поставленной задачи получения чистой воды при ограниченном объеме концентрата была синтезирована оптимальная схема организации каскада обратноосмотических установок (рис. 2) и рассчитаны поверхности мембран на каждой стадии [3]. При производительности 1,5 м³/сут. по фильтрату общая поверхность мембран составляет 15 м².

Для анализа работы схемы промывки и определения возможного накопления веществ в промывных ваннах была составлена математическая модель процесса, по которой учитываются следующие входные данные:

- опытные зависимости селективности и производительности мембран от концентрации содержащихся в растворе солей натрия, никеля и борной кислоты;
- количество электролита, приносимого в промывную ванну на обрабатываемых деталях;
- объем воды, теряющейся с брызгами и при испарении;
- объем концентрата и необходимая степень очистки оборотной воды.

Приведенный анализ показал, что если в начале работы промывочные ванны заполнены деионизованной водой, то в процессе промывки концентрация солей в фильтрате постепенно растет до постоянного уровня, определяемого характеристиками мембран и составом промывной воды. При постоянной селективности мембраны время выхода установки на установившийся режим работы практически не изменяется и составляет 2—3 суток. Концентрация фильтрата при этом растет пропорционально количеству загрязнений, но даже при пятикратном его повышении по сравнению со средним расчетное значение концентрации составляло по никелю 3,1, а по натрию 33,8 (мг/л). Эти величины примерно в 10 раз меньше, чем величина среднего содержания тех же веществ в промывных водах на действующей схеме. Хотя уменьшение на 15—20% селективности мембран приводит к увеличению содержания компонентов электролита в растворе, а также времени (до 3—4 суток) выхода установки на стабильный режим работы, это не снижает достоинств предлагаемой технологической схемы промывки.

Проведенный технико-экономический расчет по-

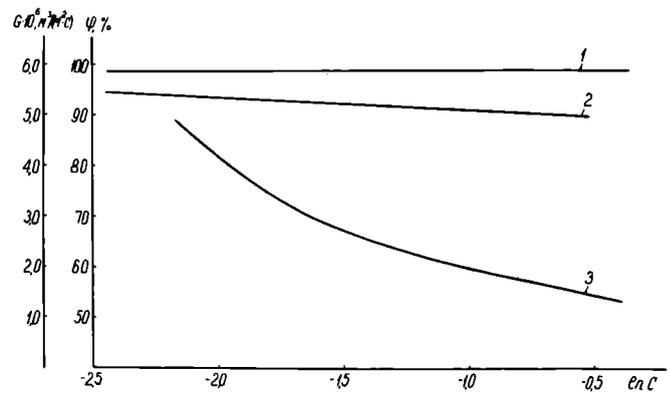


Рис. 1. Изменение селективности (кривые 1 и 2) и проницаемости (кривая 3) мембраны в ходе обратноосмотического концентрирования модельного раствора

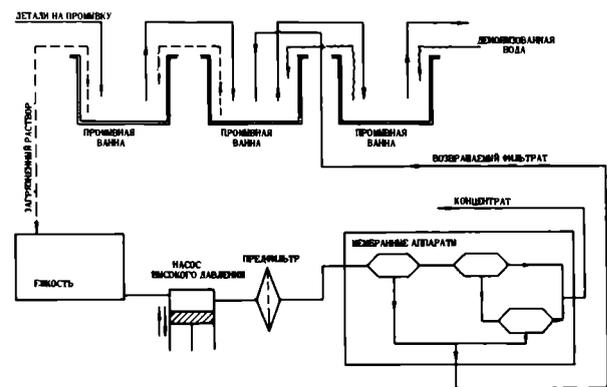


Рис. 2. Технологическая схема промывки деталей

казал, что затраты на создание схемы оборотного водоснабжения производительностью 1500 л/сут окупаются через 14 месяцев.

ЛИТЕРАТУРА

1. Обработка воды обратным осмосом и ультрафильтрацией/А.А.Ясминов, А.К.Орлов, Ф.Н.Карелин, Я.Д.Раппопорт.— М.: Стройиздат, 1978.— 120 с.
2. C a r t w i g h t P.S. Reverse osmosis and ultrafiltration in the plating shop.— Water Res., 1982, vol. 16, N 15.
3. К о ч е р г и н Н.В., П о л я н с к а я Н.Б. Выбор оптимальной схемы обратноосмотической установки.— Труды МХТИ им. Д.И.Менделеева, 1982, вып. 122, с. 39.

Статья поступила 27 февраля 1986 г.

ИЗМЕРЕНИЯ И КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ АППАРАТУРА

УДК 621.317.799:621.3.049.77.002

В.С.Банников, С.М.Безручко, С.В.Кузьмин,
О.В.Степанищев

ПРИБОРЫ КОНТРОЛЯ СОДЕРЖАНИЯ ЧАСТИЦ В ЖИДКОСТЯХ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В ПРОИЗВОДСТВЕ ИС

Необходимость контроля концентраций твердых частиц в жидкостях, применяемых в производстве ИС, не вызывает сомнений: частицы, осевшие на пластину из этих жидкостей, приводят к дефектам литографии, влияют на качество пленок [1—5]. Металлические примеси, оставленные частицами, хемосорбируются на поверхности пластин или становятся примесями замещения в кристаллической решетке [6—8]. Хемосорбированные примеси являются причиной ухудшения СВ-характеристик и возрастания токов утечки [1, 8, 9]. Примеси замещения (атомы, проникающие в кремниевую пластину при проведении диффузии) обуславливают появление энергетических уровней внутри запрещенной зоны, которые действуют как центры генерации-рекомбинации и вызывают увеличение токов утечки р-п переходов, уменьшение времени жизни неосновных носителей, изменение профилей диффузантов [1, 8]. Частицы, оставленные на поверхности пластин, ухудшают адгезию алюминия и хрома, слоев фоторезиста [1, 2]. Реагируя с пленкой SiO₂ при ее высокотемпературном выращивании, эти частицы обуславливают возникновение локальных областей, отличающихся высокой проводимостью и являющихся основной причиной снижения выхода годных МОП ИС [5, 10].

Адсорбированные на поверхности частицы часто уже невозможно удалить. Единственный способ недопущения загрязнения пластин заключается в устранении возможности попадания на них частиц из химических реактивов, воды и газов. Поддержание высокого уровня чистоты этих сред требует постоянного контроля содержания в них частиц [11, 12]. Такой контроль необходим и для правильного выбора фильтрующих материалов [1, 13], контроля работы систем очистки деионизованной воды [14], реактивов [9, 15].

Контроль содержания частиц в жидкостях осуществляется методом фильтрации и последующего подсчета частиц, оставшихся на фильтре [16], кондуктометрическим [17] или оптическим [12] методами.

Метод фильтрации хотя и является наиболее распространенным, имеет больше всего недостатков, связанных с субъективной способностью оператора различать слабо светящиеся точки. Минимальный размер наблюдаемых частиц (1—2 мкм) также зависит от остроты зрения оператора.

Наиболее перспективными для контроля содержания частиц в жидкостях являются опти-

ческие методы: регистрация ослабления луча при пересечении его отдельными частицами; регистрация света, рассеянного отдельными частицами; регистрация диаграммы рассеяния от многих частиц; регистрация флуктуаций интенсивности рассеянного излучения.

При регистрации ослабления луча он фокусируется на капилляр прямоугольного сечения, через который прокачивается жидкость. Свет проходит через капилляр и попадает на фотоприемник. Если концентрация частиц в жидкости невелика, то частицы в жидкости пересекают луч поочередно, одна за другой. При этом фотоприемник регистрирует ослабление света. По амплитудам импульсов можно судить о размерах частиц [18]. Число импульсов соответствует количеству частиц в прошедшей через луч жидкости. Верхняя граница измеряемых таким методом концентраций не превышает 10^3 — 10^4 част./см³. (Это ограничение обуславливается тем, что в освещенном объеме не должно находиться более одной частицы.) Минимальные размеры регистрируемых частиц составляют 1 мкм. Разрешающая способность приборов (т.е. возможность различать частицы близких размеров) определяется идентичностью условий освещения частиц, пересекающих световой луч. Для обеспечения одинакового освещения частиц падающий на капилляр луч делают гораздо шире канала капилляра, поскольку луч, сравнимый с шириной канала, оставляет внутри него плохо освещенные области, при прохождении через которые частицы рассеивают мало света, в результате чего размеры зарегистрированных частиц занижаются.

Преимуществом приборов с регистрацией ослабления луча является слабая зависимость амплитуд импульсов, фиксируемых фотоприемником при пересечении частицами светового потока, от показателей преломления частиц [18]. Основным же их недостаток — невозможность регистрировать частицы с размерами менее 1 мкм, что связано с шумами источника излучения. Использование в рассматриваемых приборах гелий-неонового лазера в режиме TEM₀₀ с одной аксиальной модой способствует уменьшению шумов излучения, что дает возможность регистрировать частицы с размерами около 0,8 мкм [19].

Для измерения концентрации частиц меньшего размера используют метод регистрации света, рассеянного отдельными частицами в определенный телесный угол. Луч от лампы или лазера фокусируется, пересекает капилляр с исследуемой жидкостью и задерживается диафрагмой. Излучение, рассеянное отдельными частицами при пересечении ими луча, собирается и регистрируется фотоприемником. О размерах частиц и их концентрации судят по амплитудам импульсов и частоте их следования [20]. Минимальный размер частиц, регистрируемых по рассеянному ими излучению при использовании капилляра и лампы в качестве источника излучения, составляет 1—5 мкм. При использовании специальной высокоапертурной оптики и введении фильтрации высокочастотных и низкочастотных

шумов становится возможной регистрация частиц с размерами в диапазоне 0,5—1 мкм. Однако при этом возникает необходимость точного поддержания постоянства скорости потока исследуемой жидкости. Применение в качестве источника излучения гелий-неонового лазера мощностью 10 мВт, освещающего кювету с прямолинейным каналом, позволяет надежно измерять концентрацию и размеры частиц с диаметром более 0,5 мкм [21].

Указанный метод регистрации света, рассеянного частицами при протекании исследуемой жидкости через капилляр, применен в счетчике ФС-112. Внутренние размеры капилляра 1,5×1,5 мм. Регистрируется излучение, рассеянное частицами под углом, близким к 90°. Прибор позволяет определять частицы размерами 5—500 мкм с концентрацией менее 200 част./см³ (объем пробы 50 см³).

Общим недостатком приборов, регистрирующих рассеянное излучение от частиц, проходящих через освещенный капилляр, является попадание на фотоприемник света, рассеянного стенками капилляра. Этот свет вызывает в фотоприемнике дробовые шумы, на фоне которых мелкие частицы не удается зарегистрировать. Внутренняя поверхность капилляра постепенно загрязняется. Свет, рассеянный от загрязненной поверхности, вносит дополнительный вклад в ухудшение чувствительности прибора. Этот недостаток имеет принципиальное значение и не позволяет создавать устройства, регистрирующие частицы с размерами менее 0,4—0,5 мкм при использовании малогабаритных гелий-неоновых лазеров.

Концентрация частиц с размерами более 0,3 мкм может быть определена также с помощью двухканальных приборов с электрооптическим выделением рабочего объема [22]. Оптический блок этих приборов встраивается в водопроводную магистраль с расходом жидкости несколько литров в минуту. Через лазерный луч проходит и анализируется в минуту всего несколько миллилитров. При этом для получения достоверных результатов концентрация не должна быть меньше 1 част./см³ в каждом диапазоне размеров.

Распределение по размерам частиц с диаметром меньше 0,3 мкм, содержащихся в жидкостях, можно определить, регистрируя флуктуации интенсивности излучения, рассеянного множеством частиц, находящихся в лазерном луче. Точность определения высока, если в жидкости содержатся частицы близких размеров и в больших концентрациях, и несколько хуже, когда разброс

размеров частиц значителен. Необходимо вместе с тем иметь в виду, что приборы, регистрирующие флуктуации интенсивности, не предназначены специально для контроля чистых жидкостей и работают с концентрациями частиц, которые обычно на несколько порядков больше концентраций, характерных для загрязненных технологических сред [21].

Распределение частиц по размерам может быть определено и по угловому распределению излучения, рассеянного большим количеством частиц. Правда, этот метод справедлив лишь для частиц с размерами, превышающими длину волны излучения лазера [20—24]. Вместе с тем слабая зависимость результатов измерений от разброса показателей преломления исследуемых частиц является его достоинством.

Для регистрации частиц размерами 0,3—300 и 0,2—300 мкм разработаны приборы ЛАМ-1, ЛАМ-2-0,3 и ЛАМ-2-0,2.

Прибор ЛАМ-1 (рис. 1) предназначен для определения концентрации в жидкости частиц, размеры которых составляют: 0,3—0,5; 0,5—0,75; 0,75—1; 1—5 и 5—300 мкм. Максимальная концентрация регистрируемых частиц составляет 10⁵ част./см³.

В ЛАМ-1 используется излучение многомодового гелий-неонового лазера мощностью 2 мВт, направляемое зеркалами на линзу, которая фокусирует лазерный луч внутри защитной камеры на струю жидкости с плоскопараллельными гранями, вытекающую из фторопластового сопла прямоугольного сечения. Поскольку исследуемая жидкость соприкасается только со фторопластом, это дает возможность проводить анализ любых, в том числе и агрессивных жидкостей, прозрачных в красной спектральной области. Причем жидкость забирается из произвольной тары с помощью специального устройства подачи, вносящего минимальные загрязнения. Выходное сечение сопла 0,3×3,5 мм. Защитная камера выполнена также из фторопласта и предназначена для защиты узлов оптического блока от попадания на них паров исследуемой жидкости. Для окон камеры используется сапфир.

При проведении анализа сигнал, снимаемый с фотоумножителя, подается в электронный блок прибора. Число импульсов отображается на светодиодных индикаторах, установленных на его передней панели. Обычно используемый в счетчике частиц капилляр, служащий для подачи жидкости в световой луч, заменен в ЛАМ-1 на свободную струю жидкости, пересекающую лазерный луч. Это улучшает соотношение сигнал-шум устройства в 50 раз и позволяет регистрировать частицы диаметром 0,3 мкм. Выполнение всех соприкасающихся с жидкостью деталей из фторопласта дает возможность проводить измерения содержания частиц в агрессивных средах. Конструкцией прибора предусматривается прохождение через лазерный луч только части поступающей в прибор жидкости, так что при объеме пробы, составляющем 1 л, через луч пройдет примерно 10 мл. При этом достоверные результаты измерений могут быть получены при концентрации более 1 част./см³ в каждом диапазоне размеров.

Ухудшение точности измерений прибором ЛАМ-1 могут вызвать крупные частицы, проходящие через края луча, где освещенность меньше, чем в центре. Эти частицы вызывают небольшие импульсы рассеянного света, которые воспринимаются прибором как импульсы от мелких частиц. Однако в подавляющем большинстве

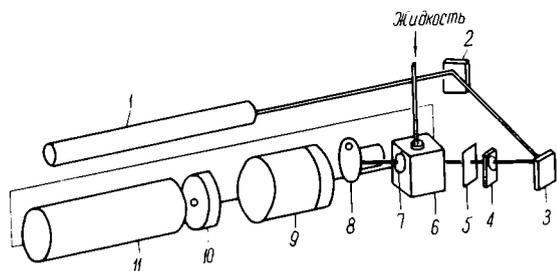


Рис. 1. Оптическая схема прибора ЛАМ-1: 1 — лазер; 2, 3 — зеркала; 4 — фокусирующая линза; 5 — диафрагма; 6 — фторопластовая защитная камера; 7 — окно камеры; 8 — диск-заслонка; 9 — собирающий объектив; 10 — диафрагма; 11 — фотоумножитель

жидкостей доля крупных частиц по отношению ко всем присутствующим в жидкости частицам невелика и погрешность измерений, вносимая краевым эффектом, незначительна.

Прибор ЛАМ-2-0,3 по чувствительности и диапазону измеряемых концентраций не отличается от ЛАМ-1, но точность его измерений, разрешение и надежность выше. Расширены возможности осуществления подачи исследуемой жидкости в прибор. Так, кроме устройства подачи жидкости из произвольной тары, обычно используемого для работы с прибором ЛАМ-1, в ЛАМ-2-0,3 можно использовать специально разработанное, легко промываемое распределительное устройство. К этому устройству может быть подведено до 8 шлангов от различных точек водяной магистрали. Под управлением оператора или ЭВМ устройство отбирает пробы из любого шланга и направляет их в прибор, работающий в режиме одиночных или повторяющихся измерений.

До 15 приборов ЛАМ-2-0,3 может быть подключено к микроЭВМ типа ДВК-2М или «Электроника-60». Информация о концентрации частиц во всех диапазонах размеров выводится на дисплей и цифropечать. ЭВМ производит автоматическую калибровку прибора, определяет время начала и конца измерений, время между измерениями, проводит управление распределительным устройством, осуществляющим отбор проб из любой точки водной магистрали.

В режиме измерения проб из нескольких точек водной магистрали ЛАМ-2-0,3, подключенный к ДВК-2М, работает следующим образом. ДВК-2М проводит калибровку прибора, после чего, подавая управляющий сигнал на распределительное устройство, подключает первую точку водной магистрали к прибору, затем организует работу прибора в режиме повторяющихся измерений поступающей жидкости. Результаты каждого измерения передаются в ЭВМ и обрабатываются. После стабилизации получающихся показаний прибора ЭВМ запоминает результаты измерений вместе с датой их проведения и номером подключенной точки водной магистрали и выводит эту информацию на цифropечать. Затем вновь производится калибровка прибора, к нему с помощью распределительного устройства подключается новая точка водной магистрали и цикл измерений повторяется.

Применение двухканальной фотоприемной системы в приборе ЛАМ-2-0,3 (рис. 2) позволяет регистрировать только частицы, находящиеся при прохождении через луч в строго одинаковых условиях освещения, что значительно улучшает его разрешающую способность [23].

Конструкция и эксплуатационные возможности прибора ЛАМ-2-0,2 не отличаются от ЛАМ-2-0,3, но в нем применен более мощный лазер, что позволило надежно регистрировать частицы диаметром 0,2 мкм.

Вместо оптических методов измерений можно использовать кондуктометрический метод [17]. Однако набор жидкостей, в которых можно проводить измерения кондуктометрическим методом, сильно ограничен, так как исследуемые жидкости должны быть электролитами. В серийных кондуктометрических приборах при измерении жидкость соприкасается со стеклом и ртутью: из стекла выполнены сосуд с исследуемой жидкостью и перегородка между электродами, а ртуть используется в манометре, по которому определяется объем жидкости, прошедшей при измерении через отверстие в перегородке. Диапазон размеров регистрируемых частиц и макси-

мальная измеряемая концентрация, достигаемые с помощью этого метода, зависят от диаметра отверстия в перегородке и применяемого электролита. Для частиц, находящихся в 0,9%-ном растворе NaCl, диапазоны размеров регистрируемых частиц и максимальные концентрации представлены в табл. 1. Использование более слабых электролитов приводит к уменьшению чувствительности приборов.

Таблица 1

Диаметр отверстия в перегородке, мкм	Измеряемые размеры частиц, мкм	Максимальная измеряемая концентрация, част./см ³
30	0,4—12	$1,5 \cdot 10^6$
50	0,8—24	$320 \cdot 10^5$
70	1,1—30	$116 \cdot 10^3$
100	1,4—42	$40 \cdot 10^3$
140	2—60	$15 \cdot 10^3$
200	2,7—80	$5 \cdot 10^3$
280	4—120	$1,8 \cdot 10^3$
400	6—180	625
560	8—240	228

Разработанные на основе рассмотренных выше принципов приборы и их основные характеристики приведены в табл. 2.

Методы определения содержания частиц в жидкостях и приборы на их основе быстро совершенствуются [11, 23—26]. Ультрамикроскопический метод с использованием двухканальной схемы регистрации и аргонового лазера мощностью 2 Вт позволяет с высоким разрешением регистрировать поочередно каждую частицу с размерами до 0,03 мкм [27]. Методы с использованием анализа изображений дают возможность определить форму частиц с размерами больше нескольких микрон [28]. Развитие люминесцентных методов анализа частиц в потоке жидкости, пересекающей лазерный луч [29, 30], по всей вероятности, приведет к созданию приборов, с помощью которых можно будет установить материал частиц.

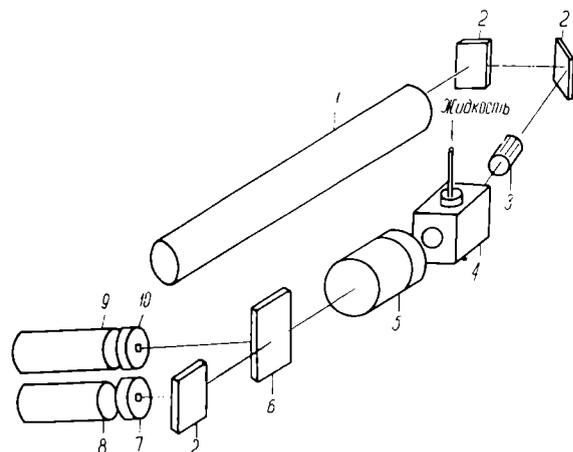


Рис. 2. Оптическая схема прибора ЛАМ-2-0,3: 1 — лазер; 2 — зеркала; 3 — фокусирующая линза; 4 — фторопластовая защитная камера; 5 — собирающий объектив; 6 — полупрозрачное зеркало; 7, 10 — диафрагмы; 8, 9 — фотоумножители

Таблица 2

Марка прибора	Фирма, страна	Размеры регистрируемых частиц, мкм	Максимальная измеряемая концентрация, част./мл	Расход жидкости, мл/мин	Материалы капилляра кюветы	Число диапазонов размеров
ROYCO 345	ROYCO, США	5—200 (2—200 при специальной наладке)	3000 или 12000	150 или 35	Нержавеющая сталь	6 6
ФС 112	СССР	5—500	200		Кварц	1
C1-221	США	0,5—10 или 0,5—140	1000	100—500	Кварц или стекло (пирекс), нержавеющая сталь, фторопласт	8
C1-221 C	США	0,5—10 или 0,5—140	1000	100—500	Кварц или стекло (пирекс), фторопласт	8
CT-221 H	США	1—10 или 1—140	1000	100—500	Сапфир и фторопласт	8
HIAC	HIAC, США	2—60, 5—150				
HIAC-720	HIAC Instruments Division Pacific Scientific, США	1—60 или до 9000	30000 0,2	4—6 100	Нержавеющая сталь, стекло	24
LV	Particle Measuring Sistsms, США	более 0,8 мкм	10^3 — 10^4		Совместимые с любыми жидкостями	15
ROYCO 346	HIAC/ROYCO Instruments Division, США	0,5—25	3000 12000	100 25	Нержавеющая сталь, сапфир или фторопласт	6 9 12
Partascope FMP капилляр SQ	KRATTEL, ФРГ	1—75 15—150	12000 4000	10 ± 1 25 ± 5	Нержавеющая сталь, кварц или фторопласт и сапфир	32 64
Partascope FMP капилляр HC	KRATTEL, ФРГ	1—75 1,5—150 2,5—250	25000 9000 4000	$6 \pm 0,5$ 12 ± 3 50 ± 20	Сапфир или фторопласт	32 64
ЛАМ-1*	СССР	0,3—300	10^5	180	Фторопласт	5
ЛАМ-2-0,3	СССР	0,3—300	10^5	300	Фторопласт, сапфир	5
ЛАМ-2-0,2	СССР	0,2—300	10^5	300	Фторопласт, сапфир	5
Malvern 3300	Англия	1—1800			Нержавеющая сталь, стекло	31
Malvern 3600E	Англия	0,5—560			Нержавеющая сталь, стекло	31
LIL**	США	0,3—7,5		25—4000	Совместимые с водой	15
LPOU**	США	0,3—0,5 или 0,3—20	1—13000	2—40 л/мин	Совместимые со всеми жидкостями, кроме HF	15 4
H4	Coulter	0,003—4				32
Nanosiger	Coulter	0,04—3				5
TA-2***	Coulter	0,4—240; 0,05	0,5 или 2	228— $15 \cdot 10^6$	Стекло, ртуть	16

* Анализируется 1% протекающей через прибор жидкости.

** Анализируется 0,1% протекающей через прибор жидкости, давление.

*** Частицы регистрируются в электролитах. Диапазон размеров частиц указан для 0,9%-го IаСl.

ЛИТЕРАТУРА

1. Weiss A. Particulate filtration of chemicals gases and photoresist. — *Semiconductor*, 1982, vol. 5, N 7, p. 55—64.
2. Bansal I. Particle contamination during chemical cleaning and photoresist stripping of silicon wafers. — *Microcontamination*, 1984, Aug./Sept., p. 35—39, 90.
3. Toliver D.L. Changing factor of process chemicals. — *Semiconductor International*, 1984, vol. 7, p. 99—103.
4. Jones H.F. Avoiding particle contamination in wafer fabrication. — *Electronic manufacturing and testing*, 1980, November, N 11, p. 30.
5. Monkowski J.R., Zahour R.T. Failure mechanism in MOS gates resulting from particulate contamination. — *Proc. of the IEEE International Reliability Physics Symp. 20th Annual*, 1982, Sept., p. 244—248.
6. Parkh P.C. The influence of stationary dislocations and faults on some transistor parameters. — *Solid State Electronics*, 1971, vol. 14, p. 273—280.
7. Plantinda G.H. Influence of dislocations of properties of shallow diffused transistors. — *IEEE Trans. Electron. dev.*, 1969, E 16, N 4, p. 394—400.
8. Макбэй М., Стьюарт Д. Требования к чистоте воды при производстве ИС. — *Зарубежная радиоэлектроника*, 1984, № 2, с. 92—95.
9. Advances in contamination control of processing chemicals in VLSI integrated circuit manufacture/ E.M. Juleff, W.J. McLeod, E.A. Hulse, S. Fawcett. — *Solid State Technology*, 1982, vol. 25, N 9, p. 82—88.
10. Juleff E.M. Purity requirements for chemicals in semiconductor processing. — *Microelectronics Journal*, 1976, vol. 7, N 4, p. 17.
11. West G.C. Light scattering liquid born particle counters for pure water monitoring. — *Proc. of the second annual semiconductor pure water conference*, 1983, January, N 13—14, p. 65—73.
12. Проблемы микроочистки жидких и газообразных сред/Е.Г.Кушнарева, П.Д.Щекотов, Н.Г.Осипова и др. — *Электронная техника. Сер. 6. Материалы*, 1983, № 6.
13. Метод определения качества фильтрующих материалов/В.С.Банников, С.М.Безручко, С.В.Кузьмин и др. — *Электронная промышленность*, 1983, вып. 10, с. 43—45.
14. Hall D. Contamination control of light purity water. — *Semiconductor International*, 1984, May, p. 182—186.
15. Toliver D.L. Changing factors of process chemicals. — *Semiconductor International*, 1984, July, p. 99—103.
16. ОСТ 11.029.003-80. Изделия электронной техники. Вода, применяемая в производстве. Марки и технические требования, методы очистки и контроля. 1981.
17. Coulter W.H. High speed automatic blood counter and cell size analyzer. — *Proc. Nat.-Electron. Conf.*, 1956, N 12, p. 1034.
18. Ванде Хюлст Г. Рассеяние света малыми частицами. — М.: ИЛ., 1961. — 424 с.
19. Kollenberg R.G. In situ optical particle size measurements in liquid media. — *Proc. of the second annual semiconductor pure water conference*, 1983, January, N 13—14, p. 83—108.
20. Hirliman E.D. Response characteristics of laser diffraction particle size analysers: optical sample volume extend and lens effects. — *Optical Engineering*, 1984, vol. 23, N 5, p. 610—619.
21. Спектроскопия оптического смещения и корреляции фотонов/Под ред. Г.Камминса и Э.Пайка. — М.: Мир, 1978. — 383 с.
22. Lieberman A. Optical instruments monitor liquid borne solids. — *Chemical Engineering*, 1978, Dec., vol. 18, p. 105—109.
23. Устройство для измерения концентраций и размеров частиц в жидкостях/С.В.Кузьмин, С.А.Сауини, Ю.А.Сприжидский и др. — *Приборы и техника эксперимента*, 1983, № 1, с. 177—178.
24. Керг М. The scattering of light and other electromagnetic radiation. — N.Y. Acad. Press, 1969.
25. Lieberman A. An optical submicron

particle counter for measurements in liquid suspension streams — *Proc. Europ. Simp. on particle characterisation*. Nurnberg, 1979, Sept., p. 24—26.

26. Определение концентрации и размеров микро-частиц в жидких технологических средах/С.В.Кузьмин, С.А.Сауини, Ю.А.Сприжидский и др. — *Микроэлектроника*, 1984, vol. 13, № 6, с. 558—560.

27. Повышение точности и чувствительности ультра-микроскопического метода/О.В.Степанищев, С.В.Кузьмин, С.М.Безручко, В.С.Банников. — *Коллоидный журнал*, 1985, № 2, с. 407—410.

28. Austin T.M. Techniques for particle measurement. — *Industrial Research/Development*, 1979, p. 129—132.

29. Horan P.K., Wheelless L.L. Quantitative single cell analysis and sorting. — *Science*, 1977, vol. 198, p. 149—156.

30. Herzberg L.A., Sweet R.G., Herzberg L.A. Fluorescence activated cell sorting. — *Scientific Amer.*, 1980, vol. 234, N 3, p. 108—117.

Статья поступила 11 апреля 1986 г.

УДК 621.317.799:628.8

А.Ю.Гиргджис, Б.Ю.Лебедникас,
Р.П.Пильвинис, А.В.Тамошюнас,
Р.Ю.Эйгелис

АВТОМАТИЧЕСКИЙ РЕГИСТРАТОР ПАРАМЕТРОВ МИКРОКЛИМАТА ЭОЛ-2

Для контроля параметров микроклимата и чистых технологических сред широкое распространение получают многоканальные системы, позволяющие получать информацию о запыленности, температуре, влажности, давлении, скорости потока и др. [1—4]. Большую точность измерения указанных параметров обеспечивает отечественный многоканальный прибор «Электроника-МК» [5], который не позволяет, к сожалению, измерять концентрацию аэрозольных частиц.

Автоматический регистратор параметров микроклимата (АРПМ) ЭОЛ-2 предназначен для постоянного контроля и регистрации запыленности, температуры и влажности в помещениях и в критических объемах технологического оборудования (рис. 1, 2).

Прибор состоит из блоков управления — таймера (Т) и контроллера (К); блоков сбора и обработки информации о параметрах микроклимата, влажности (ВВ), запыленности (БЗ), температуры (БТ); блоков отображения информации: транскриптора дисплея (ТД), транскриптора печати (ТП) и печатающего устройства (ПУ) типа «Строка-190»; датчика влажности (ДВ) и управляющего устройства датчиком влажности (УУДВ); переключателя пневмоканалов (ППК); исполнительного устройства переключателя каналов (ИУППК), насоса (Н); блока питания (БП).

К прибору подключены датчики (ДТ₁—ДТ₃), дисплей (Д), фотоэлектрический датчик аэрозольных частиц АЗ-5, пневмоканалы (ПК1—ПК6) для отбора проб воздуха.

Информация, подводимая от датчиков запыленности АЗ-5, температуры и влажности, обрабатывается в соответствующих блоках. При

помощи транскрипторов ТД и ТП она представляется в виде комментариев и цифр на экране дисплея, а в случае отклонения от заданных норм параметров микроклимата — в виде цифр на ПУ.

Обмен информацией между указанными блоками ЭОЛ-2 осуществляется под управлением

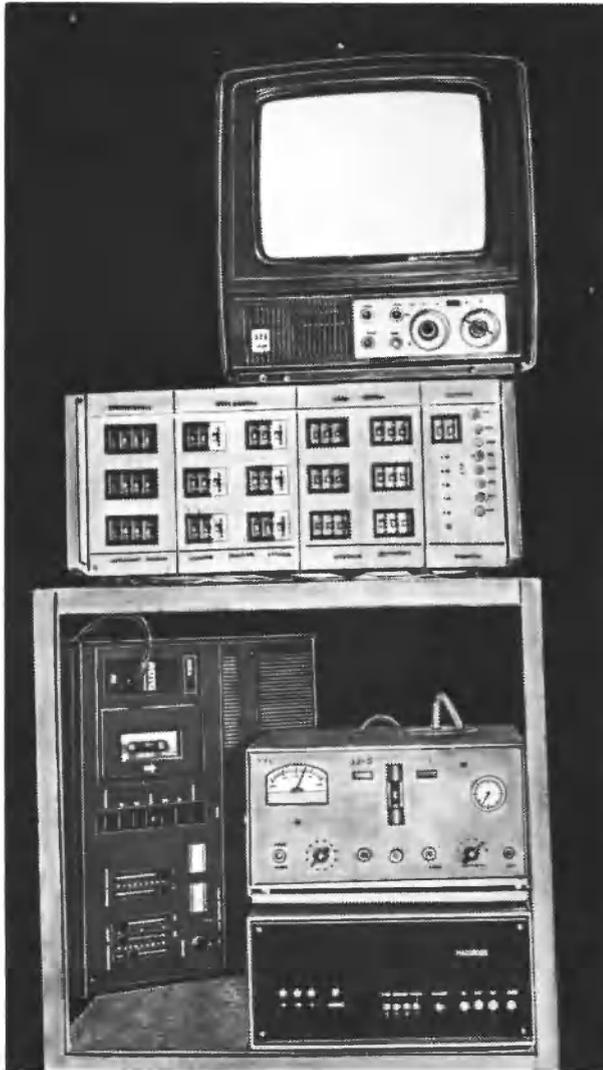


Рис. 1. Автоматический регистратор параметров микроклимата ЭОЛ-2 с системой магнитного накопления данных «Макордер»

Технические характеристики АРПМ

Температура	
Диапазон измерения, °С	10—35
Погрешность измерения, °С	±0,1
Точность установки норм на отклонение, °С	0,1
Количество точек измерения	3
Концентрация аэрозоля	
Диаметр регистрируемых аэрозолей, мкм	0,5—10; 3—10
Диапазон измерения счетной концентрации	0—10 ⁴
Погрешность измерения, %	±20
Объемный расход аэрозоля, л/мин	1,2
Количество точек измерения	6
Влажность	
Диапазон измерения точки росы, °С	—10÷35
Погрешность измерения, °С	±1,0
Точность установки нормы на отклонение, °С	1
Количество точек измерения	3

контроллера по линиям связи, совокупность которых представляет собой магистраль или шину сопряжения. Магистраль состоит из шин адреса, данных и управления. Блоки прибора подключаются к магистрали через соответствующие интерфейсные карты ИКАР, расположенные внутри блоков. Контроллер определяет источники запросов, устанавливает очередность обслуживания, адреса передачи и приема сообщений, осуществляет защиту передаваемых данных. Управление передачей информации с помощью процедуры установления соответствия сопровождается тем, что одни блоки ожидают готовности других.

Отбор пробы воздуха от соответствующей точки производственной линии ведется по пневмоканалам. Переключатель пневмоканала под управлением таймера приводит в действие ИУ, которое подключает пробоотборную систему к соответствующему пневмоканалу. По линии обратной связи ППК сообщает таймеру о прохождении начального положения (ноль-репера). Далее воздух поступает на АЗ-5 и, пройдя камеру датчика влажности, насосом отсасывается наружу. Информация о запыленности пробы воздуха в виде последовательности электрических импульсов от АЗ-5 поступает в блок запыленности и по линии обратной связи выдает команды к АЗ-5 на подключение соответствующего диапазона.

Температура и влажность измеряются в трех каналах; при включении каналов 2, 4 или 6 таймер выдает команду «Пуск» УУДВ, по которой подключается питание холодильника датчика влажности. По достижении температуры точки росы на поверхности датчика влажности по линии обратной связи на таймер поступает команда «Готов», после чего отключается питание холодильника, а таймер выдает команду на передачу данных от соответствующего датчика температуры на блок температуры.

По окончании времени отбора пробы воздуха от таймера поступает на блоки БВ, БЗ и БТ команда вывода накопленной информации в магистраль (в течение 30 с). После этого таймер подготавливает следующий номер канала, для чего запрещается дальнейший обмен информацией и ИУППК подключает соответствующий пневмоканал. В течение следующих 30 с проводится лишь продувание нового пневмоканала. Затем цикл команд от таймера повторяется.

Внутреннее устройство таймера позволяет эксплуатировать всю систему или отдельные ее узлы как круглосуточно, так и в режиме

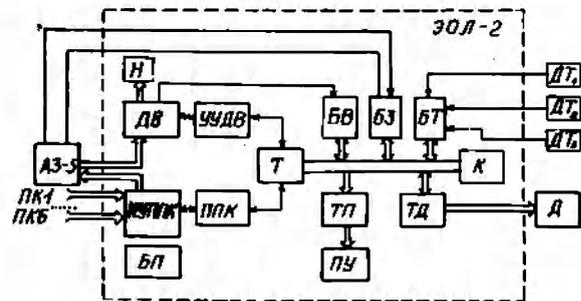


Рис. 2. Структурная схема АРПМ ЭОЛ-2

программного управления, т.е. разрешает включение и выключение системы (или ее блоков) по заданной суточной программе.

ЛИТЕРАТУРА

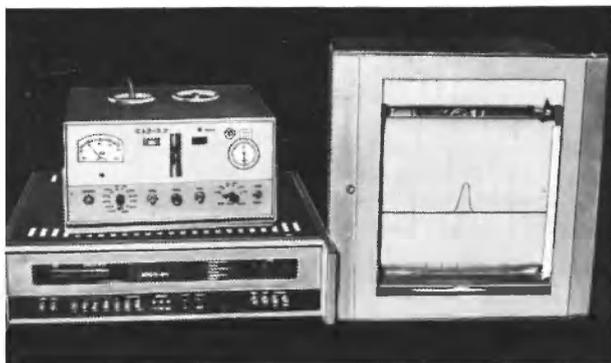
1. Microcontamination, 1983, June/July, p. 59. [Рекламное сообщение].
2. HIAC/ROYCO, Laser-based aerosol particle counters, 5100, p. 8 [Перевод с английского].
3. Microcontamination, 1984, April/May, p. 71. [Рекламное сообщение].
4. Microcontamination, 1984, August/September, p. 66. [Рекламное сообщение].
5. Многоканальный прибор для измерения параметров технологических сред/С.А.Арбей, М.В.Волков, С.Г.Жулай и др.— Электронная промышленность, 1983, вып. 11, с. 42.

Статья поступила 11 апреля 1986 г.

УДК 621.317.799—52:628.511

А.Ю.Гиргждис, Р.П.Пильвинис,
А.В.Тамошюнас

МНОГОКАНАЛЬНАЯ СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ЗАПЫЛЕННОСТИ ВОЗДУХА «АЭРОКС-10М»



Многоканальная система автоматического контроля запыленности воздуха «Аэрокс-10М» предназначена для регистрации аэрозоля в помещениях, где требуется повышенная чистота воздуха.

Система позволяет с помощью одного фотоэлектрического счетчика аэрозольных частиц, работающего в автоматическом режиме, периодически контролировать запыленность в десяти точках производственных помещений или оборудования.

Система выполняет следующие функции: на воздухоотборный вход АЗ-5 по заданной программе коммутирует пневмоканы, подведенные к контролируемым местам производственной линии; в цифровой форме накапливает подводимую от АЗ-5 информацию о степени запыленности окружающей воздушной среды и посредством потенциометра КСП-4 отображает ее на диаграммной ленте; в цифровой форме (на табло) и в аналоговой (на КСП-4) выдает вспомогательную информацию: текущее время суток, в которое проводятся контрольные измерения запыленности, номер места отбора (канал), диапазон счетной кон-

центрации аэрозолей; автоматически управляет циклами работы приборов КСП-4 и АЗ-5, а также микропроцессора ВК-1.

Основные технические характеристики многоканальной системы «Аэрокс-10М» приведены ниже.

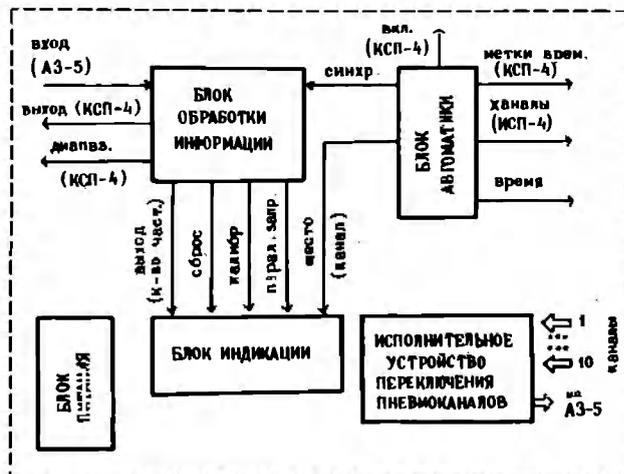
Размер регистрируемых от АЗ-5 аэрозольных частиц, мкм	0,5—10
Количество диапазонов счетной концентрации аэрозоля	5
Счетная концентрация аэрозольных частиц, част./л	
в I диапазоне	1—10
в II диапазоне	0—50
в III диапазоне	0—100
в IV диапазоне	0—500
в V диапазоне	0—1000
Количество мест отбора проб воздуха	10
Скорость отбора проб воздуха, л/мин	1,2±0,12
Время отбора пробы воздуха на одном месте, мин	12
Период отбора пробы воздуха на одном месте, ч	2
Максимальная мощность потребления от сети переменного тока, Вт	200

Центральное устройство (см. рисунок) прибора состоит из блоков обработки информации (БОИ), индикации (БИ), автоматики (БА), питания (БП), исполнительного устройства переключения пневмоканалов (ИУППК).

Блок обработки информации в двоичном коде ведет подсчет импульсов, поступающих от фотоэлектрического счетчика аэрозольных частиц АЗ-5 (вход), и передает их на блок индикации с целью цифрового отображения (выход); преобразует полученную информацию о запыленности воздуха в аналоговую форму и передает ее на КСП-4; туда же передает информацию о диапазоне счетной концентрации (диапазон); управляет блоком индикации во время коррекции уровня выходного сигнала на КСП-4.

Блок индикации отображает в цифровой форме накопленную информацию о запыленности воздуха, а также порядковый номер места отбора пробы воздуха (канал).

Блок автоматики ведет отсчет текущего времени суток, представляет его в цифровой форме (время) и передает временную информацию на КСП-4 (метки времени); управляет суточным циклом отбора аэрозоля, включая необходимые при-



Функциональная схема системы «Аэрокс-10М»

боры; управляет 12-минутными циклами отбора проб воздуха на местах производственной линии, посылая через каждый цикл командные сигналы: на ИУПК для переключения пневмосистем на следующий канал, на БОИ для прекращения сбора информации в конце предыдущего цикла и подготовки к сбору информации в начале нового цикла; в конце цикла включает КСП-4 на время, необходимое для отображения информации о запыленности воздуха на диаграммной ленте.

Прибор «Аэрокс-10М» работает в двух режимах: в рабочем (с 6 ч 59 мин до 23 ч 01 мин) и в дежурном (остальное время суток, когда работает лишь таймер центрального устройства).

При кратковременном сбое питания системы подсчет аэрозоля в канале прекращается, счетчик центрального устройства обнуляется (блокировка ложных показаний). При сбоях питания, превышающих 12 мин, устанавливается тот канал, контроль которого должен производиться в конкретный момент времени.

Многоканальная система автоматического контроля запыленности воздуха «Аэрокс-10М» успешно эксплуатировалась в течение двух лет в фотолитографических линиях по обработке кремниевых пластин.

Статья поступила 11 апреля 1986 г.

УДК 681.785.554:628.511

А.Ю.Гиргждис, Р.П.Пильвинс,
А.В.Тамошюнас, Р.Ю.Эйгелис

АВТОМАТИЧЕСКИЙ ЛОГАРИФМИЧЕСКИЙ АЭРОЗОЛЬНЫЙ СПЕКТРОМЕТР ДЛЯ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ



При исследованиях в области микроклимата и чистых технологических сред применяются спектральные счетчики аэрозольных частиц [1—3].

Автоматический логарифмический аэрозольный спектрометр ЛАС-15 состоит из фотозлектрического датчика аэрозоля ФАД-3 и логарифмического анализатора импульсов ЛИАНА-15.

Датчик выполнен на основе оптико-механической части серийного прибора АЗ-5 [4]. Кали-

братор, которым снабжен датчик, вырабатывает световой сигнал, имитирующий пролетающую частицу определенного размера. Пневматическая часть датчика включает в себя вибрационный насос, ротаметр с регулирующим краном, глушитель и измерительную камеру. Электрическая схема датчика состоит из источников высокого напряжения и питания, осветителя, электродвигателя калибратора и юстировочной лампы. Настройка чувствительности прибора осуществляется измерительной схемой с индикаторным прибором.

Технические характеристики датчика

Диапазон измерения счетной концентрации аэрозольных частиц, л ⁻¹	не более 3×10 ⁹
Приведенная погрешность измерения концентрации, %	не более ±20
Объемный расход воздуха, л/мин	1,2±0,12
Диапазоны размеров, мкм	
1-й канал	0,24—0,29
15-й канал	не менее 5,0
Габаритные размеры, мм	300×140×440
Масса, кг	не более 6

Анализатор состоит из дискриминатора, блоков управления, информации, индикации и печати, печатающего устройства, таймера, узла органов управления, блока питания.

При поступлении на анализатор импульса от датчика на выходе дискриминатора формируется 15-разрядное цифровое слово, пропорциональное амплитуде импульса. Далее оно передается в узел буферной памяти блока управления, где фиксируется на время обработки информации и при помощи дешифратора преобразуется в двоично-десятичный код, который определяет номер адреса 15-канального узла накопления в памяти блока информации. После выполнения определенных операций блок управления прекращает прием информации и под управлением от таймера начинает вывод данных на блок информации.

Технические характеристики анализатора

Количество каналов	15
Емкость памяти канала, количество импульсов	не более 10 ⁵
Время обработки импульса, мкс	не более 2
Длительность вывода информации, с	48±1
Габаритные размеры, мм	не более 470×480×135
Масса, кг	не более 10
Потребляемая мощность, кВт	не более 0,2

На переднюю панель анализатора выводится номер и содержимое канала, текущее время (число, часы, минуты), индикация перепол-

нения и расширения емкости канала, индикация режимов работы. Информация также выводится на цифropечатающее устройство типа «Строка-190», предусмотрена возможность подключения самопишущего устройства типа КСП-4, а также внешнего интерфейса для дальнейшего накопления и обработки информации во внешних цифровых устройствах.

Опыт эксплуатации в течение двух лет показал высокую надежность и эффективность прибора, с помощью которого проведен широкий круг прикладных исследований технологии микроклимата.

ЛИТЕРАТУРА

1. Оптико-электрические методы изучения аэрозолей/С.П.Беляев, Н.К.Никифорова, В.В.Смирнов, Г.И.Щелчков.— М.: Энергоиздат, 1981.— 232 с.
2. ГРИММ. Приборы счета частиц в воздухе. 4с. [Проспект фирмы ФРГ].
3. HIAC/ROYCO. Laser-based aerosol particle counters, 5100, p. 8 [Проспект фирмы США].
4. Фотозлектрический счетчик аэрозольных частиц типа АЗ-5: Техническое описание.— М.: В/О Машприборинторг, 1972, 33 с.

Статья поступила 11 апреля 1986 г.

УДК 621.317.4:628.8

А.В.Тамошюнас, Р.П.Пильвинис

СИСТЕМА МАГНИТНОГО НАКОПЛЕНИЯ ДАННЫХ «МАКОРДЕР»

Система «Макордер» предназначена для записи на магнитной ленте цифровой информации и воспроизведения ее на телевизионном дисплее.

Запись информации может быть осуществлена от измерительных приборов, имеющих цифровой параллельный выход с последовательным представлением цифровых данных, сопровождаемых сигналами синхронизации. Накопление информации производится на магнитной ленте кассеты типа МК-60 (или аналогичной) при помощи модифицированного бытового кассетного магнитофона «Рута-201». Записанная информация воспроизводится на экране бытового телевизора «Электроника Ц401» (или аналогичного, имеющего выход «Видео»).

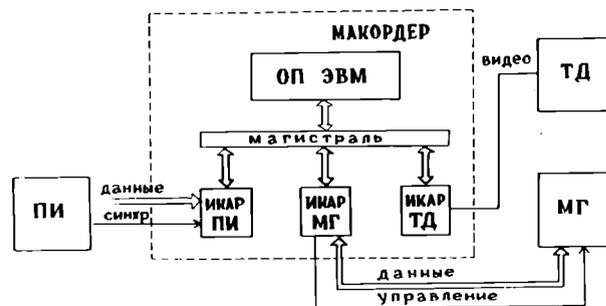
Центральное устройство «Макордер» построено на основе БИС микропроцессорного комплекта КР580. Прибор работает в автоматическом и полуавтоматическом режимах. Предусмотрена возможность ввода программы пользователя для дополнительной обработки первичной цифровой информации.

Использование микропроцессорной серии К580 обеспечивает универсальность прибора по отношению к источникам информации, ее накопителям и приемникам: при замене одного из них достаточно заменить соответствующий интерфейс и часть программы. Кроме того, можно ввести программу пользователя, которая позволяет обработать нужную первичную информацию.

Центральное устройство (см. рисунок) состоит из одноплатной ЭВМ (ОП ЭВМ), набора интерфейсных карт (ИКАР), прибора источника данных (ПИ), магнитофона (МГ), телевизионного дисплея (ТД), блока питания.

Обмен данными между ОП ЭВМ и ИКАР осуществляется посредством магистрали ЭВМ, состоящей из 8-разрядной двунаправленной шины данных, 16-разрядной однонаправленной шины адресов и шины управляющих сигналов.

По программе, записанной в ППЗУ ОП ЭВМ, центральное устройство работает в одном из режимов — накопления данных, получаемых от



Функциональная схема системы «Макордер»

ПИ, на магнитную ленту или считывания данных с магнитной ленты и вывода информации на экран ТД.

В режиме накопления центральное устройство под управлением сигналов синхронизации принимает данные от ПИ, которые размещаются в определенной зоне памяти ОП ЭВМ, накапливаются до создания файла определенной величины и далее выводятся на магнитофон через ИКАР МГ. Режим накопления информации протекает автоматически.

Основные технические характеристики системы

Информационная емкость кассеты при скорости записи 300 Бод, Кбайт	не более 90
Длина блока цифровой информации в режимах запись — воспроизведение, Кбайт	не более 2
Количество блоков файла в режиме запись — воспроизведение при длине файла не более 2 Кбайт	не более 15
Уровни сигналов в тракте запись — воспроизведение, мВ	250—400
Способ записи	последовательный, асинхронный
Уровни сигналов, принимаемых от измерительного прибора	ТТЛ
Габаритные размеры центрального устройства, мм	300×460×150
Масса, кг	не более 10

В режиме воспроизведения информация считывается с магнитной ленты, при помощи ОП ЭВМ форматируется и через ИКАР ТД выводится на экран дисплея. Данный режим протекает полуавтоматически, что позволяет реализовать «стоп-кадр» во время отображения информации.

Система может быть использована для накопления любых экспериментальных данных. Метод накопления и обработки информации дает ряд преимуществ по сравнению с перфоленкой или диаграммной лентой.

Опытная эксплуатация системы «Макордер» для обработки данных от автоматического регистратора параметров микроклимата ЭОЛ-2* подтвердила ее надежность и эффективность.

*Автоматический регистратор параметров микроклимата ЭОЛ-2/А.Ю.Гиргджис, Б.Ю.Лебедникас, Р.П.Пильвинис и др. — См. наст. вып., с. 50.

Статья поступила 11 апреля 1986 г.

УДК 543.422

С.В.Непомнящий, А.О.Олеск,
В.Ф.Станиславчик, Ю.П.Широбоков

МАЛОГАБАРИТНЫЕ ИНФРАКРАСНЫЕ АБСОРБЦИОННЫЕ АНАЛИЗАТОРЫ ЖИДКИХ И ГАЗОВЫХ СРЕД

Малогабаритный, цифровой газоанализатор углекислого газа, созданный на базе оптически согласованных пар излучатель—фотоприемник, работающих в спектральном диапазоне 2,0—5,0 мкм, открывает возможность разработки портативных оптических абсорбционных анализаторов жидких и газовых сред с закрытым и открытым оптическим каналом, применимых для решения широкого круга задач.

В условиях микроэлектронного производства, а также при проведении оперативного контроля состояния конкретной газовой или жидкостной среды аналитические задачи имеют стабильный характер в течение длительного времени. Поэтому целесообразным является использование абсорбционных методов анализа, сочетающих высокую чувствительность и селективность по отношению к компонентам газовых и жидких смесей в широком диапазоне измеряемых концентраций. Возможность выделения нужных интервалов спектра без применения диспергирующих оптических элементов значительно упрощает устройство абсорбционных оптических анализаторов [1]. Для выделения необходимого интервала спектра, где происходит оптическое поглощение анализируемым веществом, применяются избирательный источник излучения и фотоприемник, которые, являясь основными элементами анализатора, определяют не только его чувствительность и селективность, но также потребляемую мощность и объемно-массовые показатели.

Почти все современные оптические абсорбционные анализаторы газовых и жидких сред используют либо УФ (200—400 нм), либо ИК (2—30 мкм) излучение. При этом подавляющее большинство аналитических задач может быть решено при работе в средней ИК области спектра (2—5 мкм). Это связано с тем, что в указанном диапазоне находятся оптические спектры поглощения воды (2,8 мкм), углеводов (3,39 мкм), двуокиси углерода (4,26 мкм), окиси углерода (4,6 мкм) и некоторых других веществ. Существенными ограничениями использования современных оптических абсорбционных анализаторов, работающих в указанном оптическом диапазоне, являются их значительные габариты и масса, большие энергопотребление и материалоемкость, высокая стоимость. Наиболее перспективным направлением работ по расширению области применения этих устройств становится разработка их малогабаритных модификаций, в том числе с автономным питанием. Однако до последнего времени создание таких приборов сдерживалось отсутствием достаточно экономичных, малогабаритных, эффективных и недорогих оптически согласованных пар источник излучения—фотоприемник. Использование традиционных источников ИК излучения, таких как лампы и нити накаливания с механической модуляцией, а также приемников излучения на основе

оптико-акустического явления не позволяет реализовать такие оптопары.

Большие возможности в этом направлении открывает разработка высокоэкономичных полупроводниковых излучателей на базе материалов группы $A^{IV}B^{VI}$ и их твердых растворов, а также создание спектрально согласованных с ними селективных фотоприемников на основе этих же материалов [2, 3] — в сочетании с микросхемами и аналогово-цифровыми преобразователями. Применение электронных способов стабилизации температурных характеристик излучателей и фотоприемников позволяет реализовать малогабаритные цифровые анализаторы и сигнализаторы для решения многих задач жидкостного и газового анализа. Основными достоинствами таких приборов по сравнению с существующими являются: высокая чувствительность и селективность в сочетании с малыми объемно-массовыми характеристиками и низким энергопотреблением (не превышающим несколько ватт и даже долей ватта при применении цифровой индикации на жидких кристаллах).

На основе новых оптоэлектронных элементов разработан малогабаритный цифровой газоанализатор двуокиси углерода ДУГ-2 (рис. 1, 2), предназначенный для определения концентрации этого газа в смесях (в частности в воздухе, выдыхаемом человеком).

Основной частью этого прибора является оптический блок, включающий полупроводниковый электрически модулируемый источник излучения на основе селенида свинца с максимумом спектральной характеристики 4,2 мкм; кювету



Рис. 1. Цифровой газоанализатор двуокиси углерода ДУГ-2.

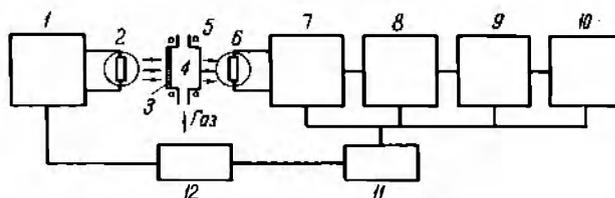


Рис. 2. Структурная схема ДУГ-2: 1 — генератор импульсов; 2 — излучатель; 3 — фильтр; 4 — газовая кювета; 5 — подогреватель; 6 — приемник излучения; 7 — усилитель; 8 — компаратор; 9 — аналого-цифровой преобразователь; 10 — цифровой индикатор; 11 — стабилизированный блок питания; 12 — элементы температурного контроля

для запуска анализируемого газа с двумя сапфировыми окнами, на одно из которых напылен узкополосный интерференционный фильтр со спектральной характеристикой, максимально согласованной с полосой поглощения двуокиси углерода; фотоприемник на основе материалов группы А^{IV}В^{VI} с максимумом спектральной характеристики 4,2 мкм.

Генератор вырабатывает прямоугольные импульсы с частотой 5—6 кГц, которые подаются на излучатель.

Источник излучения формирует световой поток в виде параллельных лучей, падающих перпендикулярно плоскости интерференционного фильтра, проходящих через газовую кювету и далее собираемых фотоприемником (фотоприемник снабжен германиевой линзой, в фокусе которой находится фоточувствительный элемент). В отсутствие анализируемого газа оптическая прозрачность кюветы максимальна, а на выходе фотоприемника формируется сигнал максимальной величины. При заполнении кюветы исследуемым газом прозрачность кюветы снижается и выходной сигнал фотоприемника уменьшается по мере увеличения концентрации углекислого газа.

Стабилизированный источник питания выполнен в виде отдельного блока, обеспечивающего электронную схему необходимыми напряжениями.

В электронной части схемы использованы микросхемы типа К140УД6, аналогово-цифровой преобразователь типа КР572ПВ2В, светоизлучающие индикаторы АЛС324Б.

В состав ДУГ-2 входит схема термостабилизации параметров фотоприемника и излучателя. Предусмотрен обогрев кюветы с целью

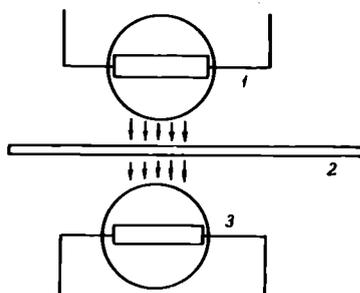


Рис. 3. Принцип действия анализатора с открытым оптическим каналом при определении влажности бумаги в целлюлозно-бумажной промышленности: 1 — излучатель; 2 — бумага; 3 — фотоприемник

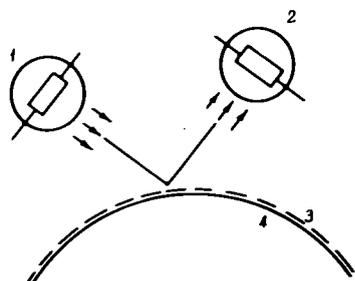


Рис. 4. Принцип действия анализатора с открытым оптическим каналом при определении толщины пленки воды в процессе офсетной печати: 1 — излучатель; 2 — фотоприемник; 3 — пленка воды; 4 — полиграфический барабан

исключения выделения водяного конденсата на ее окнах.

Установка на нуль осуществляется при отсутствии в кювете двуокиси углерода. Время готовности прибора к работе определяется временем прогрева кюветы и составляет несколько минут.

Технические характеристики ДУГ-2

Пределы измерения концентрации, %	0—10
Погрешность измерения, %	5
Постоянная времени, с, не более	0,1
Напряжение питания, В	220
Потребляемая мощность, Вт	3
Габаритные размеры, мм	135×90×35

На базе унифицированной электронной схемы в зависимости от выбранных ИК излучателя и фотоприемника могут быть использованы оптические схемы как с закрытым, так и с открытым оптическим каналом. В последнем случае возможен вариант с прохождением излучения через анализируемое вещество (например, при измерении влажности бумаги, рис. 3) либо может быть использован вариант с определением степени поглощения излучения и регистрацией отраженного сигнала (например, при определении толщины слоя водяной пленки в процессе офсетной печати, рис. 4).

Ниже указаны области применения малогабаритных абсорбционных анализаторов и сигнализаторов на рассмотренной элементной базе.

Нефтяная, газовая, металлургическая промышленность	Определение мест утечки метана в газопроводах и содержания нефти в воде; анализ колошниковых газов доменных печей
Охрана и контроль окружающей среды	Определение влажности воздуха производственных и иных помещений; оценка содержания углеводородов и окиси углерода в выхлопных газах автомобилей
Медицина, сельское хозяйство, транспорт	Определение содержания алкоголя и углекислого газа в выдыхаемом человеком воздухе; определение содержания углекислого газа в тепличном хозяйстве и метрополитенах
Полиграфическая и целлюлозно-бумажная промышленность	Определение влажности бумаги в процессе ее производства, определение толщины пленки воды и краски в процессе офсетной печати

Конструктивное оформление и параметры этих приборов могут быть скорректированы в зависимости от конкретной аналитической задачи.

ЛИТЕРАТУРА

- Бреслер П.И. Оптические абсорбционные газоанализаторы и их применение.— Л.: Энергия, 1980, с. 5—12.
- Новые полупроводниковые излучатели для оптического диапазона/Л.К.Дийков, С.В.Непомнящий, А.О.Олеск, Ю.А.Шелехин.— Электронная промышленность, 1985, вып. 9, с. 29.
- Новые фотоприемники для оптоэлектронной аппаратуры/Л.К.Дийков, Ю.В.Калинин, Н.Д.Малькова и др.— Электронная промышленность, 1985, вып. 9, с. 27.

Статья поступила 6 марта 1986 г.

УДК 621.36.049.77:539.216.2:669.018.45

А.И.Бутурлян, Г.Б.Чахунашвили,
Ю.Д.Чистяков

ИНТЕГРАЛЬНЫЕ ТЕРМОПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ ПАРОГАЗОВЫХ СМЕСЕЙ

Разработанные на основе пленок тугоплавких металлов терморезисторы обладают стабильными параметрами и постоянной времени до $2 \cdot 10^{-4}$ с. Такие терморезисторы позволяют эффективно решить задачу контроля параметров парогазовых смесей.

Контроль параметров парогазовой смеси может быть осуществлен с помощью терморезисторов на основе металлических и полупроводниковых пленок, нанесенных на диэлектрические подложки [1]. Однако такие недостатки, как низкая воспроизводимость электрофизических характеристик, невысокая химическая стойкость и прочность пленочных структур, наличие относительно толстой (0,2—0,3 мкм) подложки снижают чувствительность и быстродействие терморезистивного чувствительного элемента. Избежать этих недостатков позволяет разработка интегральных терморезисторов на основе пленок тугоплавких металлов [2]. Эти материалы обладают высокими значениями ТКС, а также временной и термической стабильностью электрофизических параметров, что дает возможность реализовать на их основе пленочные терморезисторы с постоянной времени $2 \cdot 10^{-4}$ с. Повышение чувствительности и быстродействия терморезисторов достигается путем уменьшения толщины подложки п о ойным химическим травлением.

В качестве изолирующих подложек я изготовления пленочных терморезисторов используются подложки сапфира и термически окисленного кремния.

Из многообразия методов, которые могут быть использованы для нанесения пленок тугоплавких металлов, наиболее эффективен вакуумно-дуговой. С его помощью при давлении 10^{-2} Па, скорости напыления 20 нм/с и температуре подложки 300 К получают пленки W, Mo или Ta, обладающие наиболее совершенной кристаллической структурой. Они характеризуются двухосной ориентацией, с осью $\langle 110 \rangle$, перпендикулярной плоскости подложки, и плоскостью (100), параллельной ей.

Установлено, что степень совершенства структуры пленок зависит и от осаждаемого металла, и от материала подложки. На подложках сапфира пленки вольфрама обладают самым малым углом рассеяния текстуры ($\pm 2^\circ$) по сравнению с пленками молибдена ($\pm 4^\circ$) и тантала ($\pm 10^\circ$). На оксидной пленке кремния угол рассеяния текстуры для всех исследованных пленок больше: $\pm 4, 7$ и 12° соответственно для W, Mo и Ta. Увеличение температуры подложки при формировании пленок тугоплавких металлов обеспечивает улучшение структуры пленок, причем при 673 К она становится одинаковой как на сапфире, так и на оксиде кремния.

Пленки W, Mo и Ta при толщине более 10 нм являются сплошными и независимо от материала подложки имеют текстуру с осью $\langle 110 \rangle$,

но начиная с некоторых толщин одноосная ориентация меняется на двухосную. На подложках сапфира это проявляется при толщине пленок более 30 нм, а на подложках окисленного кремния — если толщина пленок превышает 50 нм.

Таблица 1

Электрофизические параметры пленок тугоплавких металлов для термопреобразователей

Метод конденсации	Подложка	Материал пленки	Удельное сопротивление, мкОм·см	ТКС, 10^{-3}K^{-1}	β
Вакуумно-дуговой	Сапфир	W	5,9	4,4	15
		Mo	6,1	4,2	25
		Ta	15	3,2	При 4,2 К пленки были сверхпроводящими
	Si—SiO ₂	W	6,3	4,1	12
		Mo	6,6	3,9	25
		Ta	18	2,9	20
Электронно-лучевой	Сапфир	W	50	1,0	1,5
	Ta же	W	150	0,3	1,1
Ионно-плазменный	—	W	20	1,5	2
Магнетронный	—	W	20	1,5	2

* β — отношение сопротивлений пленок при комнатной температуре к температуре жидкого гелия.

Электрофизические параметры пленок, полученных указанным выше методом (табл. 1), близки к соответствующим характеристикам монокристаллических металлов, что хорошо коррелирует с более высокой степенью совершенства их кристаллической структуры, по сравнению с пленками, полученными другими методами. Необходимо отметить, что у пленок, осажденных вакуумно-дуговым методом, параметр β на порядок выше, чем у пленок, сформированных другими методами конденсации в вакууме. Это свидетельствует о большей чистоте первых пленок. Изменение электрофизических характеристик пленок на подложках сапфира в диапазоне температур их формирования 300—673 К незначительно. На подложках окисленного кремния наблюдается улучшение электрофизических характеристик пленок при увеличении температуры подложки от 300 до 673 К, с приближением к соответствующим значениям для монокристаллических образцов. Дальнейшее повышение температуры подложки до 773 К не приводит к изменению электрофизических характеристик пленок как на сапфире, так и на подложках окисленного кремния. Минимальной толщиной пленок, при которых их электрофизические параметры (ρ и ТКС) остаются постоянными, является 100 нм для W и Mo и 120 нм для Ta.

Полученные выше результаты дали возможность создать на основе рассмотренных пленок терморезистивные чувствительные элементы. Их реализация обеспечивается использованием методов профилирования подложек.

Профилирование подложек сапфира осуществляется методом вакуумно-углеродного травления в электровакуумной печи при температуре 2073 К. Процесс анизотропного травления кремниевых подложек кристаллографической ориентации (100) проводится в термостатируемой установке в травителе, содержащем гидрат окиси калия, воду и изопропиловый спирт при температуре 383 К.

Таблица 2

Основные параметры терморезистивных чувствительных элементов на основе пленок тугоплавких металлов*

Наименование параметров	Тип 1		Тип 2		Тип 3		
	W	Mo	W	Mo	W	Mo	Ta
Диапазон номинальных сопротивлений, Ом	10—500	10—500	20—2000	20—2000	20—2000	20—2000	20—2000
Отклонение от номинального сопротивления для партии терморезисторов, %	±10	±10	±2	±2	±2	±2	±2
Температурный коэффициент сопротивления при 300 К, К ⁻¹ · 10 ³	4,4	4,2	4,4	4,2	4,4	4,2	3,2
Разброс по величине температурного коэффициента К ⁻¹ · 10 ³	±0,1	±0,1	±0,1	±0,1	±0,1	±0,1	±0,1
Максимальная допустимая мощность, Вт	0,05	0,05	1	1	4	4	4
Мощность рассеяния, не вызывающая разогрева чувствительного элемента на воздухе, Вт	10 ⁻³	10 ⁻³	0,02	0,02	0,05	0,05	0,05
Постоянная времени на воздухе, с	2 · 10 ⁻⁴	2 · 10 ⁻⁴	0,05	0,05	1	1	1

* Пленки нанесены на сапфировую подложку.

Разработаны терморезистивные чувствительные элементы трех типов:

1 — в виде свободной нити толщиной 0,5—0,3 мкм с контактами, расположенными на рамке сапфира;

2 — в виде меандра из W, Mo и Ta на профилированных подложках сапфира и Si—SiO₂ с толщиной чувствительной области 10 мкм;

3 — в виде меандра из W, Mo и Ta на подложках сапфира или Si—SiO₂ толщиной 200—300 мкм.

Основные параметры этих элементов приведены в табл. 2. Терморезисторы типа 2 и 3, как это видно из таблицы, имеют малое отклонение от номинального сопротивления, что достигается их лазерной подгонкой к номиналу. Повышение допустимой мощности этих терморезисторов обеспечено пассивацией их поверхности слоем боросиликатного стекла толщиной 0,8 мкм.

Терморезистивные чувствительные элементы на основе пленок тугоплавких металлов позволили разработать прибор для измерения параметров парогазовой смеси. Этот прибор имеет три независимых канала — для измерения расхода технологических газов, давления и температуры.

Принцип действия прибора при измерении давления парогазовой смеси основан на зависимости ее теплопроводности от давления (использован терморезистор типа 1), при измерении ее расхода — на зависимости мощности, вызывающей перегрев чувствительного элемента, от скорости потока (использован терморезистор типа 2), при измерении температуры — на зависимости сопротивления терморезистора от температуры (использован терморезистор типа 2). При измерении давления и расхода газа используется электрическая схема, позволяющая поддерживать температуру терморезистивных чувствительных элементов постоянной. Схема измерения температуры выполнена по методу стабилизации тока через терморезистивный чувствительный элемент.

Разработанный прибор обеспечивает диапазоны измерения давления 200—0,1 Па, температуры — 300—773 К, расхода газа — до 60 л/ч (по воздуху). Это дает возможность использовать его в различных областях техники, где требуется измерение быстроменяющихся температур и тепловых потоков, малых расходов газа, вакуума и световых потоков в ИК диапазоне.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бутурлин А.И., Чахунашвили Г.Б. Датчики температуры, давления и расхода газа с чувствительным элементом на полиимидной пленке. — Тезисы докладов X Всесоюзной конференции по микроэлектронике, Таганрог, 1982, с. 249.

2. Чувствительный элемент для измерения мгновенных значений температуры газа/А.И.Бутурлин, А.А.Кузьмин, В.С.Папков и др. — Тезисы докладов X Всесоюзной конференции по микроэлектронике, Таганрог, 1982, с. 250.

Статья поступила 14 апреля 1986 г.

УДК 681.3.015.06:628.8

С.М.Афонин, И.Н.Наплеков, Ю.В.Натаров, В.И.Осокин

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИАЛОГОВОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ МИКРОКЛИМАТА И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СРЕД

Применение стандартизации и унификации программного обеспечения на языке Паскаль позволяет уменьшить трудоемкость и сократить время разработки рабочих программ.

Создание диалоговой системы контроля [1] предусматривает обеспечение единства программных и аппаратных средств, соотношения между которыми устанавливаются с учетом ограничений по быстродействию вычислительных средств и материальным затратам на аппаратные.

Программное обеспечение системы реального времени устанавливает связи между пользователем и программой в диалоговом режиме, программой и аппаратными средствами, структурными программными секциями.

Для сокращения сроков разработки и достижения наглядности структуры рабочих программ используются принципы стандартизации и унификации [2], основанные на применении структурированных средств языка высокого уровня Пас-

каль. Программное обеспечение состоит из рабочей программы и операционной системы ОС ДВК, позволяющей программировать в машинных кодах, на языках Ассемблер, Паскаль, Бейсик, Фортран-IV, выполнять операции с файлами, проводить диалог с оператором, редактирование и отладку рабочих программ, ввод-вывод от внешних устройств. Обращение к буферным регистрам внешних устройств (измерительных преобразователей) возможно с использованием адресных инструкций на языках Ассемблер и Паскаль. Предпочтительный выбор языка Паскаль определяет наглядность рабочей программы, экономию времени при ее составлении и простоту восприятия, легкость исправлений и корректировок за счет блочной структуры программы с широким использованием процедур и функций [3] (рис. 1).

Работа пользователя в диалоговом режиме ориентирована на использование справочника режимов работы системы. В первом режиме производится корректировка номинальных значений и допусков на параметры микроклимата и технологических сред. Второй обеспечивает контроль и управление параметрами технологических сред; опрос измерительных преобразователей и индикацию на экране дисплея числовых значений параметров (рис. 2) и результатов допускового контроля в виде специальных символов с одновременной подачей звукового сигнала при выходе параметров из нормы; выработку сигналов управления внешними устройствами и регуляторами; статистическую обработку результатов измерений и запись результатов

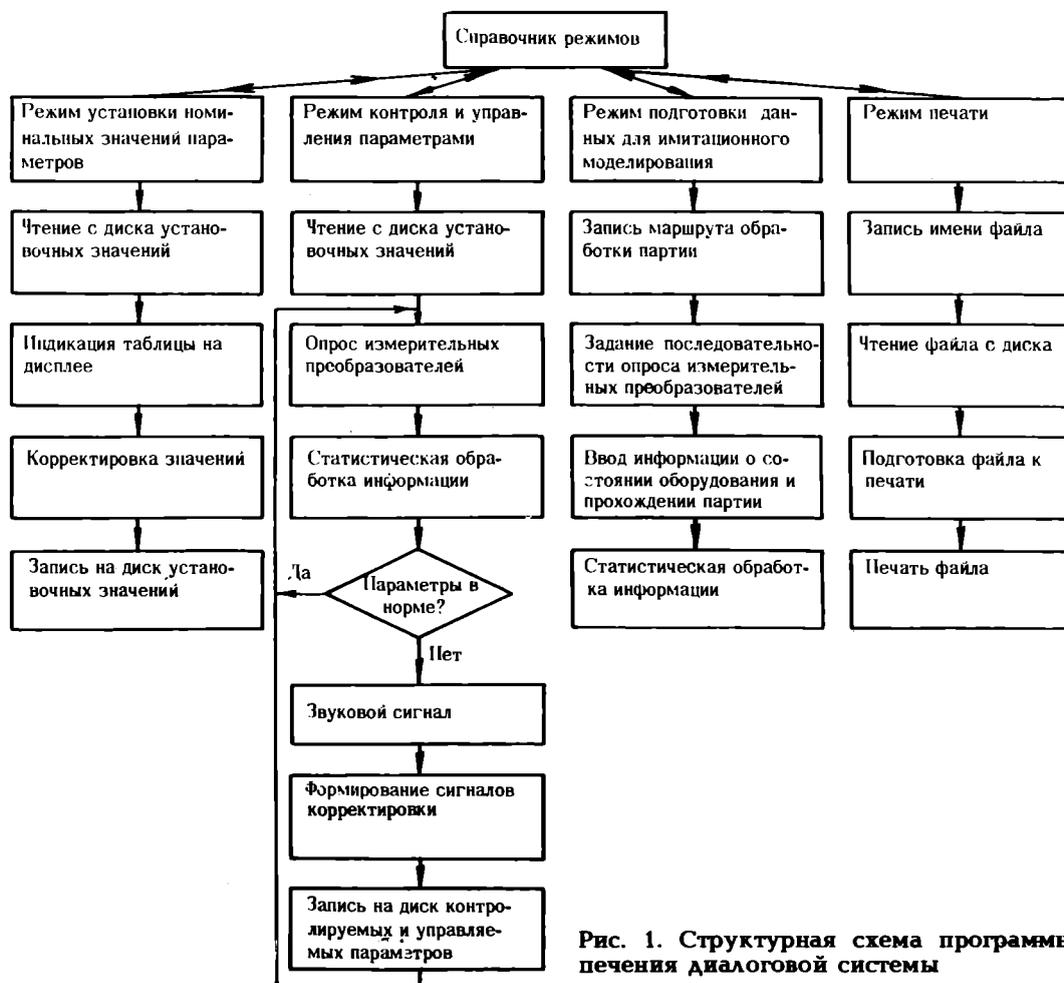


Рис. 1. Структурная схема программного обеспечения диалоговой системы

96 0 0 0 0 0 1 1 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 9 5 1
 НА 9 час.12 мин.11сек.

КЛИМАТИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ В ЧИСТЫХ ПОМЕЩЕНИЯХ

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
T 20.0	20.0	20.0	20.0		20.0	20.0	20.0	20.0	20.0
T T20/0.1	20/0.1	20/0.1	20/0.1	20/0.1	20/0.1	20/0.1	20/0.1	20/0.1	20/0.1
T T T				19.7					
V 42.0	41.0	41.0		43.0	41.0	43.0	42.0	41.0	43.0
V V40/5.0	40/5.0	40/5.0	40/5.0	40/5.0	40/5.0	40/5.0	40/5.0	40/5.0	40/5.0
V V V			34.0						
П 1.4	1.3	1.4	1.2	3.8	1.2	1.3	1.3	1.4	1.2
П П 1/0.6	1/0.8	1/0.6	1/0.8	1/0.6	1/0.8	1/0.6	1/0.8	1/0.6	1/0.8
П П П П									

Рис. 2. Пример заполнения таблицы результатов допускового контроля параметров микроклимата

на гибкий магнитный диск. В третьем режиме осуществляется ввод данных на гибкий магнитный диск о состоянии оборудования и прохождении партий ИЭТ для последующего имитационного моделирования технологического процесса. В четвертом распечатываются результаты измерений и контроля с указанием состояния оборудования и номера обрабатываемой партии, определяется корреляционная связь между коэффициентом выхода годных изделий на операции и параметрами микроклимата и технологических сред, степень влияния тех или иных параметров на качество с последующей коррекцией технологического процесса. Выбор режима работы системы осуществляется пользователем при нажатии соответствующей клавиши на клавиатуре дисплея. Блочная структура программы и диалоговый режим позволяет программисту и пользователю совершенствовать алгоритм работы системы. Программист проверяет правильность написания каждой процедуры и проводит редактирование. Унификация программного обеспечения позволяет при изменении состава аппаратных средств перестраивать программные средства с минимальными временными затратами, а универсальность обеспечивает минимальную доработку при перенесении в другие системы реального времени для контроля и управления технологическими процессами.

Примерами стандартизации и унификации программного обеспечения на языке Паскаль слу-

```

PROCEDURE WR(N: INTEGER);
BEGIN
  REWRITE(OUT, 'ИМЯ ФАЙЛА');
  FOR I:=1 TO N DO
    BEGIN
      OUT<:=C1[I];
      PUT(OUT);
    END;
  CLOSE(OUT);
END;

```

жат процедуры записи WR и чтения RE с гибкого магнитного диска для ввода данных, принятых от измерительных преобразователей или записанных оператором с клавиатуры дисплея, и для вывода информации на экран дисплея.

Спецификация и размерность переменных задаются вне пределов процедур для их использования в различных рабочих программах.

```

PROCEDURE RE(N: INTEGER);
BEGIN
  RESET(INP, 'ИМЯ ФАЙЛА');
  FOR I:=1 TO N DO
    BEGIN
      C2:=INP<;
      GET(INP);
    END;
  CLOSE(INP);
END;

```

Переменные INP и OUT описаны как файлы действительных значений, N1 — как целочисленные, C1 и C2 — как массивы.

Для программирования систем реального времени широко используется также язык Ассемблер, обеспечивающий программирование внешних устройств (измерительных преобразователей, буферных регистров). Однако программы на языке Ассемблер не столь наглядны, поэтому более предпочтительно включение сегментов программы на языке Ассемблер в общую программу на языке Паскаль. Например, в рассматриваемой диалоговой системе контроля и управления используется один общий буферный регистр на группу внешних устройств (измерительных преобразователей) и выбор необходимого преобразователя осуществляется через мультиплексор, который подключает требующуюся линию связи через преобразователь частота—код к буферному регистру, причем контрольный бит (например, 13-й) буферного регистра является управляющим и служит признаком обновления информации в регистре. Для реализации этого

протокола обмена используется следующий блок программы на языке Паскаль с фрагментом на языке Ассемблер:

```

PROCEDURE OPROS;                                (* ПАСКАЛЬ *)
VAR ADR1,ADR2,I,J:INTEGER;
    PROCEDURE COLLECT;
    BEGIN
        ADR2:=157774B;
        (*AC
            I  MOU ADR1(R5),R0                      ; АССЕМБЛЕР
              BIT@10000,R0
              BNE I#
              MOU (R0),ADR2(R5)
        *)
    END;
BEGIN                                           (* ПАСКАЛЬ *)
ADR1:=157777B;
FOR I:=1 TO 100 DO
    BEGIN
        COLLECT;
        BANK(I):=ADR2;
        ADR1:=ADR1+2;
    END;
END;
    
```

Совместное использование языков Паскаль и Ассемблер позволяет минимизировать требуемый объем памяти для размещения оттранслированной рабочей программы.

Рассмотренные принципы разработки программного обеспечения были положены в основу программных средств системы контроля и управления параметрами микроклимата и технологических сред.

ЛИТЕРАТУРА

1. Диалоговая система контроля параметров микроклимата и технологических сред/С.М.Афонин, И.Н.Наплеков, Ю.В.Натаров и др.— См.наст.вып., с. 62.
2. Романов А.К. Микропроцессорная техника и автоматизация народного хозяйства.— Микропроцессорные средства и системы, 1984, № 1, с. 3—6.
3. Фаулджер Р. Программирование встроенных микропроцессоров/Пер. с англ.— М.: Мир, 1985.— 275 с., ил.

Статья поступила 14 апреля 1986 г.

УДК 681.3.015.06:628.8

С.М.Афонин, И.Н.Наплеков, Ю.В.Натаров, В.И.Осокин, Ю.Г.Тризин

ДИАЛОГОВАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ МИКРОКЛИМАТА И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СРЕД

Использование частотно-модулированного сигнала вместо кодового, введение резервирования микроЭВМ, максимальное приближение устройств согласования к преобразователям информации и другие схемотехнические особенности системы обеспечивают надежный и качественный сбор и обработку параметров микроклимата и технологических сред.

Повышение степени интеграции СБИС предъявляет все более высокие требования к параметрам технологических сред (концентрации примесей в газах — азоте, аргоне, кислороде, водороде

и сжатом воздухе, сопротивлению денонзированной воды), обеспечить которые невозможно без автоматической системы контроля и управления.

Цеховая система контроля параметров микроклимата и технологических сред (рис. 1) реализована на базе ДВК «Электроника 80—20/2М», состоящего из микроЭВМ «Электроника НЦ—80—01Д», дисплея 15ИЭ—00—13, двух накопителей на гибких магнитных дисках «Электроника НГМД—6022», устройства печати [1].

Технические характеристики системы

Количество параметров, шт.	
контролируемых	160
регулируемых	64
Расстояние от измерительных преобразователей, м	500

Система (рис. 2) обеспечивает сбор и обработку информации со 160-ти измерительных преобразователей (ИП), сгруппированных по территориальному признаку по 16 преобразователей, выходы которых соединены с входами максимально приближенных устройств согласования (УСО). Этим достигается уменьшение потерь измерительной информации, представляющей собой, как правило, напряжение постоянного тока в диапазоне 0—10 мВ. Выходной сигнал поступает на мультиплексор (М) непосредственно, если с выхода ИП снимается частотно-модулированный (ЧМ) сигнал; через преобразователь напряжения — частота (ПНЧ), если выходной сигнал ИП — напряжение постоянного тока в диапазоне 0—10 В; через ПНЧ и усилитель (У), если выходной сигнал ИП — напряжение постоянного тока в диапазоне 0—10 мВ. С выхода мультиплексора



Рис. 1. Фрагмент системы, состоящей из измерительного преобразователя, двух устройств согласования, двух блоков управления и ДВК-2М

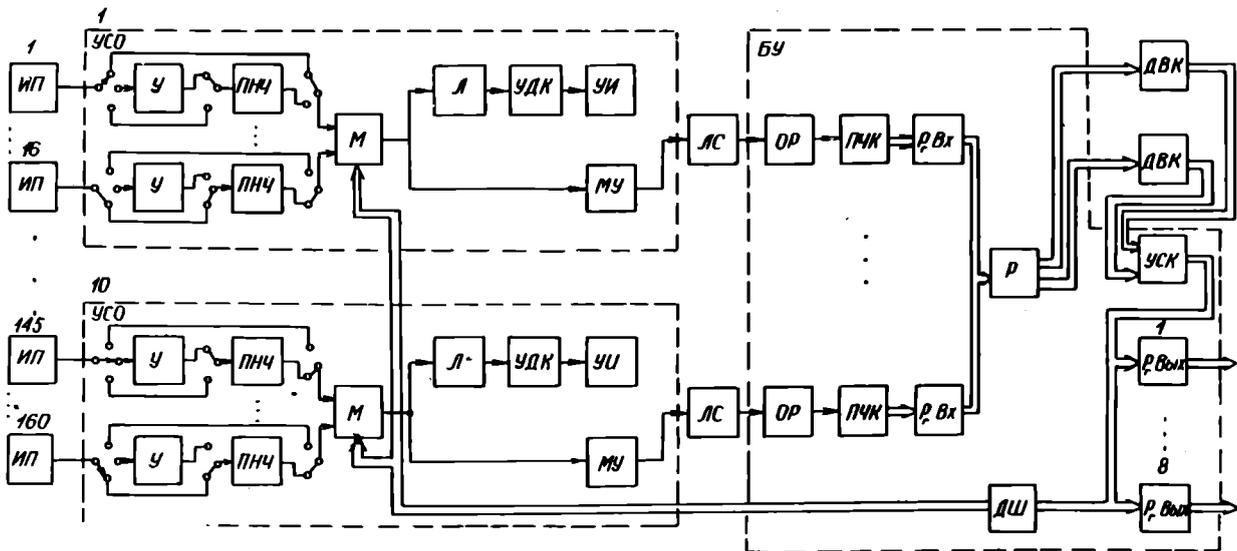


Рис. 2. Структурная схема диалоговой системы

ЧМ сигнал через магистральный усилитель (УМ) по кабельной линии связи (ЛС) передается на центральный пост системы, состоящий из блока управления (БУ) и ДВК-2М. Использование ЧМ сигнала устраняет потери информации при удалении БУ от УСО до нескольких сот метров, повышает помехоустойчивость системы, упрощает структуру УСО, БУ и рабочих программ (по сравнению с передачей кодовой информации). Некоторое снижение частоты опроса ИП при этом не играет существенной роли, поскольку скорости изменения значений контролируемых параметров технологических сред и микроклимата незначительны.

Преобразование ЧМ сигнала в цифровую форму осуществляется преобразователем частота — код (ПЧК) и фиксируется в соответствующем входном регистре (Рг Вх). Учитывая, что надежность системы определяется в основном надежностью микроЭВМ, предусмотрена возможность работы с двумя ДВК-2М [2]. При этом цифровая информация с входных регистров поступает на распределитель (Р) и далее на основную и резервную микроЭВМ. Результаты обработки информации с двух микроЭВМ сравниваются в устройстве сравнения кодов (УСК), которое определяет исправность работы микроЭВМ и выдает информацию на общую шину через выходные регистры (Рг Вых) и на дешифратор (ДШ) с выхода исправной микроЭВМ, обеспечивая в соответствии с рабочей программой через ДШ управление мультиплексорами и реализуя тем самым требуемый алгоритм сбора информации с ИП.

В выходных регистрах формируются цифровые сигналы управления исполнительными устройствами для поддержания требуемых значений контролируемых параметров.

В рассматриваемой системе УСО фактически представляют собой локальные системы контроля 16-ти параметров технологических сред, поскольку в них предусмотрены автономный режим работы без участия ДВК-2М с последовательным опросом 16-ти ИП, линейаризация характеристик используемых ИП с произвольной функцией преобразования с помощью линейаризатора (Л), сравнение полученного результата измерения с допустимыми значениями в устрой-

стве допускового контроля (УДК) и индикация результата измерения в цифровом виде в устройстве индикации (УИ). При этом индицируется номер опрашиваемого в данный момент ИП (номер канала) и вид контролируемого параметра (температура, относительная влажность и т.д.). В случае выхода параметра за пределы допуска обеспечивается световая индикация. Предусмотрена возможность работы УСО при непосредственном подключении его к ДВК-2М (минуя БУ) в случае необходимости сбора, обработки и регистрации текущей измерительной информации.

Система работает по следующему алгоритму: прием информации от измерительных преобразователей, индикация числовых значений параметров на экране дисплея, статистическая обработка результатов измерений, сравнение с допустимыми значениями параметров, выработка световых и звуковых сигналов при превышении допуска на параметр с указанием времени выхода за пределы нормы на экране дисплея, выработка сигналов управления исполнительными механизмами и регуляторами, запись на гибкий магнитный диск результатов измерений, ввод оператором данных о состоянии оборудования и прохождении партий ИЭТ, распечатка результатов измерения и контроля параметров за смену с указанием номера обрабатываемой партии. Анализ накопленной информации позволяет определить взаимосвязь процента выхода годных изделий с параметрами технологических сред и микроклимата, выработать и поддерживать оптимальный режим этих параметров, обеспечивая таким образом максимальный объем производства и высокое качество выпускаемой продукции.

ЛИТЕРАТУРА

1. Толстых Б.Л. Развитие средств вычислительной техники. — Электронная промышленность, 1984, № 1, с. 37—39.
2. Фрич В. Применение микропроцессоров в системах управления/Пер. с нем. — М.: Мир, 1984. — 464 с., ил.

Статья поступила 14 апреля 1986 г.

ИЗДЕЛИЯ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ

УДК 681.3.014

В.А.Бархоткин, В.А.Верстаков,
Н.О.Крыляков, Д.А.Преснухин

МИКРОЭВМ МАЛОГО ПОТРЕБЛЕНИЯ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ В РЕАЛЬНОМ МАСШТАБЕ ВРЕМЕНИ

Выбор архитектуры и системы команд, отвечающих критерию максимального быстродействия, обеспечил возможность разработки микроЭВМ на микропроцессорном комплекте серии 587, удовлетворяющей всем требованиям эксплуатации в АСУТП в реальном времени.

Для создания микроЭВМ, управляющих технологическими процессами и имеющих высокую помехоустойчивость, малую потребляемую мощность и возможность нормального функционирования в широком диапазоне температур окружающей среды в условиях повышенной влажности и запыленности, наиболее предпочтительны микропроцессорные комплекты (МПК) серий 587, 588 и 1806 [1], выполненные по КМОП-технологии. По величине помехоустойчивости существенно выделяется МПК серии 587 с повышенным напряжением питания (9 В), однако он имеет сравнительно невысокое быстродействие.

Достижение максимального быстродействия микроЭВМ на МПК серии 587 явилось определяющим при выборе архитектуры и создании специальной системы команд [2], при которых длительность цикла выполнения микрокоманды равна длительности цикла БИС микропроцессора, а темп подачи команд и данных с магистралей соответствует минимальным циклам ввода-вывода микропроцессорных БИС. При этом возникает необходимость предварительного считывания следующей микрокоманды во время выполнения предыдущей, для чего в устройстве управления формируются признаки «разрешение считывания» и «разрешение дешифрации» при выполнении каждой микрокоманды.

Основные параметры микроЭВМ

Разрядность	16
Способ представления информации	с фиксированной точкой
Емкость ЗУ	16К 32-разрядных слов
Емкость ОЗУ	512 16-разрядных слов
Число РОН	8
Время выполнения, мкс	
операции регистр-регистр	6
команды сложения регистр-ОЗУ	10
умножения регистр-ОЗУ	24
деления	320
извлечения квадратного корня	570
Потребляемая мощность, Вт	
процессора	не более 1
ЗУ	10—15

Особенности БИС арифметического устройства (АУ) МПК серии 587 — наличие трех информационных каналов (К1, К2, К3), по которым независимо друг от друга осуществляется кавитационный обмен, выдача из БИС сигналов вычисления фаз микрокоманды, возможность внешней синхронизации их, а также запараллеливания первой и последней фазы (ввода микроинструкции и выдачи предыдущего результата), — создают предпосылки для синтеза устройства управления, обеспечивающего оптимизацию по быстродействию.

В состав микроЭВМ входят: запоминающее устройство (ПЗУ или ОЗУ), регистры адреса (РА) и данных (РА), ЗУ со схемой защиты по Хеммингу, собственно ОЗУ, РА ОЗУ, устройство управления, мультиплексоры MS1, MS2, АУ с арифметическим расширителем (АР), шинный формирователь и таймеры T1 и T2.

С целью повышения быстродействия и упрощения архитектуры в одном ЗУ совмещены память микрокоманд со специальной системой команд, память рабочих программ и констант. Применение защиты информации с использованием кода Хемминга, позволяющей исправлять однократные ошибки, значительно повышает надежность работы микроЭВМ. ОЗУ используется для хранения входных данных при работе с АУ. РА ОЗУ, загружаемый при выполнении команды и микрокоманды по каналу из АУ, используется, кроме основного назначения, и как буферный регистр при работе с константами; для выдачи адреса подключаемого внешнего устройства; как микрокомандный автоинкрементный счетчик, загружаемый при выполнении команды или микрокоманды, содержимое которого можно модифицировать путем выдачи признаков результата операции АУ по каналу К3 при выполнении микрокоманд ветвления. Таким образом, адресация ЗУ возможна через РА ЗУ, РА ОЗУ или через РОН АУ, выдаваемый по каналу К2 через MS1 на адресные шины ЗУ.

АР используется для аппаратного умножения, сдвигов на несколько разрядов одновременно и других операций в соответствии со своей системой команд. Управление микроЭВМ позволяет выполнять параллельно микрокоманды АУ и АР, а также обмен между ними и ОЗУ (например, микрокоманда умножения РОНа АУ на ячейку ОЗУ с задачей результата в каналы). Шинный формирователь предназначен для передачи информации из ЗУ в канал К2. При программировании существует возможность записывать команды и микрокоманды подряд, добиваясь минимального времени выполнения программы.

Внешние устройства подключаются через буфер к каналу К1. Адрес внешнего устройства, сопровождаемый различными stroбами (отдельно для ввода, вывода информации и выдачи команд), задается частью разрядов РА ОЗУ. Опрос внешних устройств, управление ими и выдача в них данных осуществляется командно или микрокомандно. Внешние устройства могут иницировать процессор по шине «Пуск».

Таймер Т1 служит для регистрации текущего времени, прошедшего с момента его пуска. С помощью таймера Т2 можно осуществлять задержки выполнения программы на заданное время. Для повышения надежности работы системы управления предусмотрена принудительная циклическая аппаратная установка устройства управления и РА ЗУ в начальное состояние.

Конструктивно микроЭВМ выполнена в виде блока из пяти ячеек размером $320 \times 160 \times 12$ мм, соединенных с помощью гибкой матрицы, и источника питания. На первых трех ячейках размещен собственно процессор, на четвертой — обрательное ЗУ, пятая ячейка (накопитель ЗУ) — сменная: возможен либо накопитель ОЗУ, выполненный на микросхемах 541РУ1, либо накопитель ПЗУ (на микросхемах 556РТ5 или 556РТ7).

К микроЭВМ разработан пульт контроля, позволяющий выдавать управляющие сигналы, загружать ЗУ вручную, с перфоленты с помощью фотосчитывателя FS-1501 и с гибкого магнитного диска через подключаемый к нему диалоговый вычислительный комплекс ДВК-2М. При вводе информации осуществляется автоматический контроль. Кроме того, пульт служит для индентификации в 16-разрядном коде содержимого ЗУ, ОЗУ, регистров и РОН и передачи его в ДВК с целью обработки и вывода на экран дисплея или в печатающее устройство.

Математическое обеспечение, состоящее из микро- и макроассемблеров, набора тестов для диагностики процессора ЗУ и внешних устройств, программ подготовки данных для программирования ППЗУ, вычисления констант и моделирования рабочей программы, реализовано на ЭВМ «Электроника НЦ-80-20/2М» (ДВК-2М).

Таким образом, разработанная с учетом максимального быстродействия микроЭВМ отвечает всем требованиям эксплуатации в системах автоматического управления технологическими процессами в реальном масштабе времени.

ЛИТЕРАТУРА

1. Микро мощный микропроцессорный комплект БИС К587 на дополняющих МДП транзисторах/ В.А.Дшхуня, С.С.Коваленко, П.Р.Машевич и др.— Электронная промышленность, 1978, вып. 5, с. 15—19.
2. Микропроцессорные БИС и микроЭВМ. Построение и применение/А.А.Васенков, Н.М.Воробьев, В.А.Дшхуня и др.— М.: Сов. радио, 1980, с. 80—140, 196—213.

Статья поступила 30 декабря 1985 г.

УДК 621.382.3.002.72

В.В.Демиденко, Е.У.Пушкин

ГИБРИДНАЯ ТРАНЗИСТОРНАЯ СБОРКА БОЛЬШОЙ МОЩНОСТИ

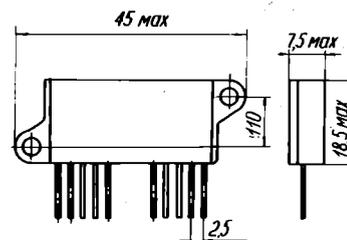
Транзисторная сборка типа МГТС4-1-6,ОИ, разработанная на базе мощного бескорпусного эпитаксиального и-р-п транзистора КТ-826, предназначена для работы в импульсных модуляторных схемах, ключевых устройствах и другой высоковольтной радиотехнической аппаратуре широкого применения.

Транзисторная сборка (масса 20 г) оформлена в специальном 10-выводном металлокерамическом корпусе, в котором размещено четыре бескорпусных транзистора КТ-826 (рис. 1). Напряжение изоляции между выводами и фланцем корпуса $U_{изол} \geq 1700$ В. Диапазон рабочих температур от -45 до 100°C . Сборка используется с теплоотводом, на который монтируется с помощью винта с гайкой или одного винта. Для снижения теплового сопротивления необходимо применять теплопроводящие пасты.

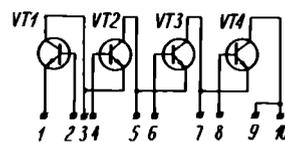
Основные электрические параметры элементов транзисторной сборки при $T_{окр.ср} = 25^\circ\text{C}$

Обратный ток коллектора* при $U_{кз}=600$ В, $R_{эб}=10$ Ом, мА не более 2
Обратный ток эмиттера при $U_{эб}=5$ В, мА не более 2
Статический коэффициент передачи тока в схеме с ОЭ при $U_{кз}=10$ В, $I_{кз}=0,1$ А 10—120
Напряжение насыщения коллектор—эмиттер при $U_{кз}=0,2$ В, $I_{кз}=0,5$ А, В не более 2,5
Граничное напряжение, В не более 500

* Замер параметров производится на каждом элементе сборки отдельно.



а



б

Рис. 1. Габаритно-присоединительные размеры (а) и электрическая схема (б) сборки

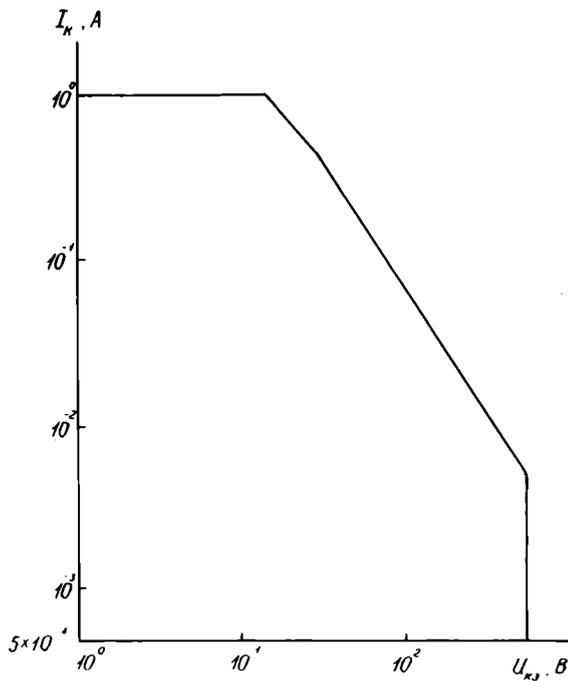


Рис. 2. Область максимальных режимов элементов транзисторной сборки при $T_{корп.}=50^{\circ}\text{C}$

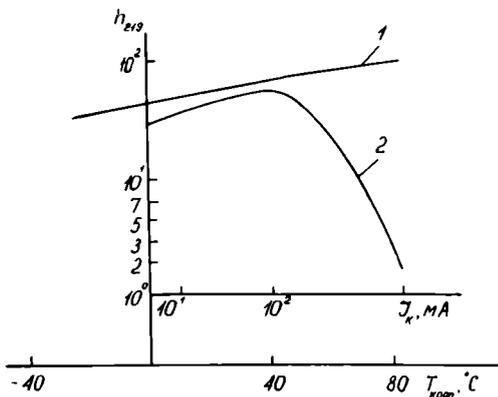


Рис. 3. Зависимости статического коэффициента передачи тока h_{213} элементов транзисторной сборки от температуры корпуса при $I_k=0,1\text{A}$ и $U_k=10\text{В}$ (кривая 1) и от тока коллектора при $U_k=10\text{В}$ (кривая 2)

Предельно допустимые режимы эксплуатации при $T_{окр} = 25^{\circ}\text{C}$

Максимально допустимое постоянное напряжение коллектор—эмиттер при $R_{эб}=10\text{ Ом}$, $T_{корп.}\leq 75^{\circ}\text{C}$, В*	600
Максимально допустимое постоянное напряжение эмиттер—база, В	5
Максимально допустимый постоянный ток коллектора (базы), А	1 (0,75)
Максимальная постоянная рассеиваемая мощность при $T_{корп.}\leq 50^{\circ}\text{C}$, Вт**	60
Максимально допустимая температура перехода (корпуса), $^{\circ}\text{C}$	150 (100)
Тепловое сопротивление, град/Вт	3,5

* Замер всех параметров производится на каждом элементе транзисторной сборки.
 ** При $T_{корп.}\geq 50^{\circ}\text{C}$ мощность рассчитывается по нижеприведенной формуле R_{thj} .

Графические зависимости электрических параметров сборок приведены на рис. 2, 3. Режим работы отдельных элементов транзисторной сборки, при заданных значениях I_k и U_k (рис. 2), можно определить по формуле

$$R_{thj} = \frac{T_{кр\text{ макс}} - T_{корп.}}{I_k U_k} \text{ [град./Вт]}.$$

Статья поступила 21 февраля 1986 г.

УДК 681.327.2—185.4

И.В.Александров, С.Н.Колеснева,
В.Д.Нестеров, В.Н.Черник

БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩИЕ ОЗУ K1500PY470 ЕМКОСТЬЮ 4К

Микросхема K1500PY470 представляет собой статическое ЭСЛ ОЗУ с организацией 4096x1, предназначенное для использования в быстродействующей аппаратуре при напряжении питания $4,5\text{В} (\pm 5\%)$ в температурном диапазоне от 1 до 85°C . Назначение выводов и таблица истинности приведены ниже.

Назначение выводов ИС K1500PY470

Номер вывода	Обозначение	Назначение
1	D0	Выход
2—8, 10—14	A0—A11	Адресные входы
9	U _{EE}	Вывод к источнику питания
15, 16, 17	WE, CS, DI	Входы
18	GND	Общий

Таблица истинности микросхемы K1500PY470

Входы			Выход	Режим работы
CS	WE	DI	D0	
H	X	X	L	Хранение
L	L	L	L	Запись L
L	L	H	L	Запись H
L	H	X	D0	Считывание

Из таблицы истинности следует, что для обращения к микросхеме необходимо подать сигнал низкого уровня на вход выбора CS, при этом

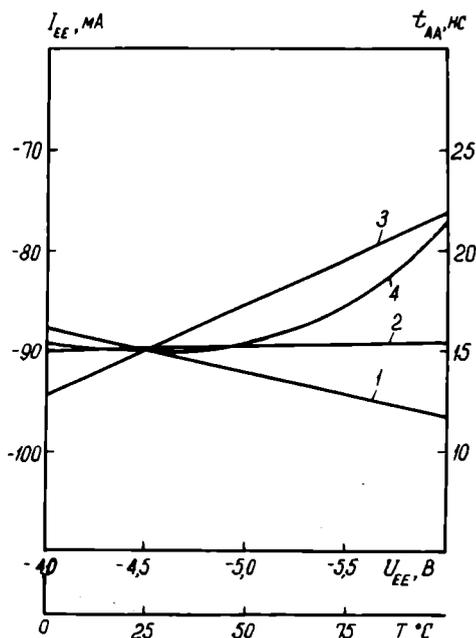
сигнал на входе разрешения записи \overline{WE} определяет тип выполняемой операции: запись информации (со входа DI) при $\overline{WE}=L$ и считывание информации (по выходу DO) при $\overline{WE}=H$.

Работа статического ОЗУ K1500PY470 возможна в режиме постоянного обращения, при этом вход CS может находиться в неподключенном состоянии, что соответствует низкому уровню на этом входе. Для обеспечения правильного функционирования управляющие сигналы CS, A и DI должны опережать сигнал записи WE на соответствующее время подготовки и сохраняться неизменными после этого сигнала в течение времени сохранения.

В режиме считывания информационный сигнал на входе микросхемы появляется после сигнала адреса через время выборки T_{AA} (при CS=L) или через время выборки разрешения TACS после сигнала выборки CS (при установленном адресе).

Выход микросхемы выполнен по схеме повторителя с открытым эмиттером, что обеспечивает возможность выбора значения нагрузочного резистора для конкретных условий применения микросхемы, например, объединения выходов нескольких микросхем на одну нагрузку с реализацией логической функции ИЛИ. Номинальной нагрузкой, для которой определены нормы на выходные параметры, является резистор величиной 50 Ом, подключенный к источнику напряжения -2 В. Выходные уровни микросхемы имеют линейную зависимость от тока в диапазоне до 30 мА с эквивалентным сопротивлением около 7 Ом.

Основные параметры микросхемы K1500PY470 в рабочем диапазоне температур при номинальной нагрузке приведены ниже. Статические параметры определены при номинальном напряжении питания, динамические — при $U_{EE} = -4,5$ В ($\pm 5\%$).



Зависимости тока потребления I_{EE} (1) и времени выборки адреса t_{AA} (2) от напряжения питания при $T_{окр.} = 25^\circ\text{C}$, I_{EE} (3) и t_{AA} (4) от температуры при $U_{EE} = -4,5$ В

Основные параметры микросхемы K1500PY470

Выходное напряжение, В	
высокого уровня	от $-1,035$ до $-0,880$
низкого уровня	от $-1,810$ до $-1,610$
Входное напряжение, В	
высокого уровня	от $-1,165$ до $-0,880$
низкого уровня	от $-1,810$ до $-1,475$
Входной ток, мкА	
высокого уровня	не более 50
низкого уровня	не менее -50
Ток потребления, мА	не менее -195
Время выборки адреса, нс	не более 35
Время выборки разрешения, нс	не более 15
Длительность сигнала записи, нс	не менее 30
Время подготовки (сохранения), нс, не менее	
сигнала адреса	10(5)
сигнала входной информации	5
сигнала выбора	5

На рисунке представлены временные и токовые зависимости. Конструктивно микросхема K1500PY470 выполнена в плоском 18-выводном стеклокерамическом корпусе 4116.18-3 с планарным расположением выводов. Тепловое сопротивление кристалл—корпус $20^\circ\text{C}/\text{Вт}$, максимально допустимая температура кристалла 125°C .

Обеспечиваемая в микросхеме K1500PY470 полная стабилизация логических уровней по напряжению питания и температуре облегчает реализацию высоких динамических характеристик этих микросхем в аппаратуре.

Статья поступила 18 апреля 1986 г.

УДК 681.327.28

В.В.Андрянов, М.И.Антонов, В.С.Данилов, В.С.Минаев, С.В.Путинцев

ППЗУ KM1608PT1 С УЛУЧШЕННЫМИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

Улучшенные характеристики по быстродействию и программируемости обеспечивают широкое применение ППЗУ KM 1608PT1 в устройствах автоматики и вычислительной техники.

БИС KM1608PT1 представляет собой постоянное программируемое ЗУ информационной емкостью 256 бит. Микросхема выполнена по планарно-эпитаксиальной технологии в едином кристалле кремния, тип логики — ТТЛ с диодами Шотки. Программирование осуществляется пережиганием плавких перемычек из силицида платины импульсами электрического тока.

Основные электрические параметры в диапазоне температур от -40 до 85°C

Напряжение источника питания, В	$5 \pm 5\%$
Ток потребления, мА	не более 115
Выходное напряжение, В	
«лог. 0»	не более 0,45
«лог. 1»	не менее 2,4
Входной ток, мкА	
«лог. 0»	не более -250
«лог. 1»	не более 25
Ток утечки на выходе, мкА	
«лог. 0»	не более -45
«лог. 1»	не более 45

Время выборки адреса (разрешения), нс, при $C_n=30$ пФ,
 $T_{окр}=85^\circ\text{C}$ не более 50 (30)
 $T_{окр}=25^\circ\text{C}$ не более 35 (20)

Назначение выводов микросхемы приведено в таблице.

Номер вывода	Обозначение	Назначение
1—7,9	Z1—Z8	Выходы
8	0V	Общий
10—14	A0—A4	Входы адресные
15	E	Вход выборки
16	V _{cc}	Питание

Основные узлы микросхемы

Адресные формирователи служат для получения прямого и инверсного значений адресного кода. Включенные по схеме эмиттерного повторителя входные р-р-р транзисторы обеспечивают большой входной импеданс (малые входные токи), входные антизвонные диоды Шотки — малую величину остаточного напряжения от отрицательных выбросов. Дешифратор с организацией 5×32, выполненный на диодах Шотки, предназначен для выбора одного из 32 слов в соответствии с кодом входного адреса. Запоминающая матрица с организацией 32×8 состоит из диодов Шотки и плавких перемычек из силицида платины. Схема формирования сигнала выбора микросхемы реализует согласование сигнала выбора с уровнями микросхемы и управление работой цепей записи—считывания. Выходные усилители, выполненные по схеме с тремя состояниями, служат для преобразования уровней, считываемых с запоминающей матрицы, в уровни, необходимые для работы схемы на внешнюю нагрузку.

Принцип работы микросхемы поясняется таблицей истинности (для положительной логики).

Таблица истинности

Вход выбора кристалла	Вход адреса	Выходы микросхемы
E	A0—A4	Z1—Z8
1	X	ТС
0	Состояние выходов соответствует заложенной программе	
X — состояние на входе безразлично; ТС — третье состояние.		

Основные преимущества БИС КМ1608РТ1:

— высокое быстродействие, достигаемое благодаря применению диодов Шотки, пороговых усилителей считывания, двухуровневой металлизации, позволяющей повысить плотность упаковки элементов, снизить значения паразитных RC-цепей;
 — высокая надежность программирования и хранения записанной информации за счет применения плавких перемычек из силицида платины, который является хорошим проводником, обладает более высокой твердостью и химической инертностью

по сравнению с нихромом и поликремнием. При программировании перемычки из силицида платины на ней образуется зазор величиной от 1 до 3 мкм (значительно больше, чем на нихромовых или поликремниевых), что снижает вероятность восстановления пережженных связей в процессе эксплуатации, повышает надежность и долговечность ППЗУ. Типовое время пережигания перемычек из силицида платины 50 мкс, т.е. значительно меньше, чем для нихромовых;

— простой способ программирования, при котором не требуется повышать напряжение источника питания, а следовательно, не происходит дополнительный нежелательный нагрев микросхемы;

— стабильная работа в диапазоне температур окружающей среды от -40 до 85°C за счет применения термостабилизирующих цепей — элементов компенсации колебаний напряжения источника питания и температуры;

— возможность проведения тестового контроля программирования не только на пластине, но и в корпусах с обращением к тестовым словам через основные выводы и рабочие цепи микросхемы, чем обеспечивается дополнительная предварительная проверка программирования (увеличивается выход годных при программировании у потребителя).

Конструктивно микросхема выполнена в 16-выводном металлокерамическом корпусе типа 201.16—17 с воздушным зазором для обеспечения доступа воздуха при пережигании плавких перемычек. Вес микросхемы не превышает 1,2 г.

Методика программирования БИС КМ1608РТ1

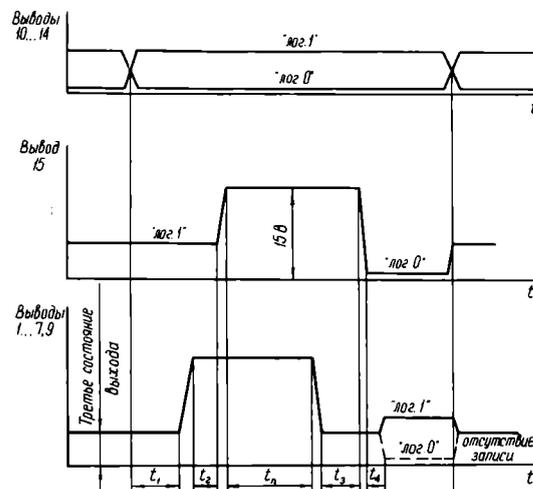
Запись (программирование) информации осуществляется в двух режимах — основном и дополнительном, который применяется при обнаружении после программирования в основном режиме отсутствия пережигания перемычки. Параметры импульсов и длительность цикла программирования в каждом режиме приведены ниже, временная диаграмма — на рисунке.

Задержки включения (выключения) программирующих импульсов, подключения контрольного устройства (t_1, t_2, t_3, t_4), мкс 0,1—1,0

Время программирования, основной режим, мкс 50—100

Амплитуда программирующего импульса ($U_{вх.п.}$), В 19,5—20,5

Амплитуда импульса, подаваемого на вывод 15 ($U_{вк.п.}$), В 14,5—15,5



Временная диаграмма программирования ППЗУ КМ 1608РТ1

Напряжение источника питания в режиме программирования (U_{cc}), В	5,0—5,5
Напряжение «лог. 0» в режиме программирования, В	0—0,5
Напряжение «лог. 1» в режиме программирования, В	2,4—5,5

Исходное состояние микросхемы. Вывод 8 «Общий» заземлен. На выводе 15 установлено напряжение «лог. 1», что соответствует режиму записи выборки, выходы микросхемы находятся в третьем состоянии; на выводе 16 — напряжение питания. По всем адресам записана информация, соответствующая «лог. 0».

Режим записи. На адресные входы 10—15 подается напряжение «лог. 0» или «лог. 1» в соответствии с кодом адреса слова, в которое записывается информация. На выход, соответствующий разряду, в который записывается информация, подается напряжение программирования $U_{вх.п.}$. Напряжение на выводе 15 повышается до $U_{вх.п.}$, напряжение $U_{вх.п.}$ снимается с программируемого выхода. На выводе 15 напряжение снижается с уровня «лог. 1» до «лог. 0».

По окончании цикла записи проводится контроль наличия записанной в данном разряде информации. Для этого напряжение на выводе 15 устанавливается на уровне «лог. 0» и производится считывание информации в данном разряде выходного слова.

Если запись произошла, на выходе микросхемы фиксируется «лог. 1», если переключатель не пережглась — на выходе сохраняется «лог. 0».

Первоначальный набор импульсов в основном режиме характеризуется минимальной длительностью $t_{л}$ совместного воздействия напряжений $U_{вх.п.}$ и $U_{вх.л.}$

Если в данный разряд информация не записалась при подаче первого набора импульсов, то необходимо перейти к дополнительному режиму с увеличенной длительностью. Дополнительный режим состоит из нескольких циклов программирования, причем контроль записи осуществляется после каждого цикла. Суммарная длительность всех циклов не должна быть более 400 мс. Если по истечении 400 мс записи нет, программирование проводить далее нецелесообразно.

Микросхема КМ1608РТ1 обеспечивает коэффициент программирования не менее 0,8.

Статья поступила 3 февраля 1986 г.

УДК 681.327.28

В.В.Андрянов, М.И.Антонов, В.С.Данилов,
В.С.Минаев, С.В.Путинцев

БИПОЛЯРНОЕ ППЗУ КМ1608РТ2 С БУФЕРНЫМ РЕГИСТРОМ НА ВЫХОДЕ

Наличие на выходе быстродействующего постоянного запоминающего устройства КМ1608РТ2 8-разрядного триггерного регистра позволяет использовать его в системах поточной обработки информации без применения дополнительных устройств.

Быстродействующие ППЗУ КМ1608РТ2 информационной емкостью 4096 бит (512×8) программируются в процессе эксплуатации путем пере-

жигания плавких связей из силицида платины, который обеспечивает высокий коэффициент программирования и надежное хранение информации.

Микросхема КМ1608РТ2 выполнена по планарно-эпитаксиальной технологии, совместима со стандартными ТТЛ- и ТТЛШ-схемами, содержит наряду с известными для схем памяти узлами 8-разрядный триггерный регистр и схему управления его работой. Назначение выводов приведено в таблице.

Номер вывода	Обозначение	Назначение
1—4	Z5—Z8	Выходы
18—21	Z1—Z4	
8—10	A0—A2	Входы адресные
12—17	A3—A8	
5	C	Синхровход
6,7	\bar{E}_1, \bar{E}_2	Входы выборки
11	V_{cc}	Питание
22	OV	Общий

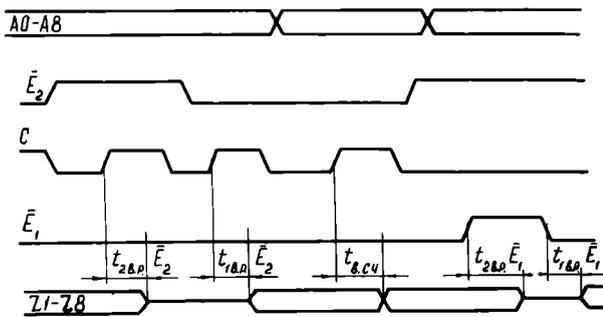
Микросхема имеет два входа разрешения выборки E_1 и E_2 , один из которых осуществляет непосредственное управление выходными каскадами усилителя считывания, а второй обеспечивает возможность включения и отключения выходов с приходом синхросигнала на вход С. При подаче на микросхему питающего напряжения обеспечивается автоматический перевод выходных каскадов в состояние высокого импеданса независимо от уровней сигналов на входах E_1 и E_2 , что исключает возможность считывания ложной информации.

При подаче на входы микросхемы адреса считываемой информации код информации выбирается дешифраторами строк и столбцов и загружается в ведущие триггеры 8-разрядного буферного регистра, при этом информация на выходе микросхемы остается неизменной. Перепись информации в ведомый триггер происходит в момент поступления на вход С очередного синхроимпульса (по положительному его фронту). Информация на выходе усилителя считывания появляется при условии присутствия на входе E_2 «лог. 0» в момент поступления на вход С положительного фронта импульса, а также «лог. 0» на входе E_1 .

Входные каскады микросхемы КМ1608РТ2 выполнены по схеме эмиттерных повторителей на вертикальных р-п-р транзисторах с заземленным коллектором и обеспечивают высокий коэффициент объединения по входу. Все входы защищены антизвонными диодами Шотки.

Выходные каскады с тремя устойчивыми состояниями обеспечивают согласование со стандартными ТТЛ- и ТТЛШ-схемами при токах «лог. 0» 16 мА и «лог. 1» 2 мА.

В матрице запоминающих элементов используются диоды Шотки и плавкие переключатели из силицида платины. Высокий коэффициент программирования обеспечивается лучшими по сравнению с нихромовыми и поликремниевыми переключателями энергетическими характеристиками пере-



Временная диаграмма работы ППЗУ КМ 1608РТ2

жигания, а также специальными методами технологического контроля в процессе производства. Возможность таких методов контроля обеспечивается принципиальной схемой, которая позволяет осуществлять контроль характеристик программирования как на пластинах, так и в корпусах. Временная диаграмма, поясняющая работу схемы, приведена на рисунке. (Обозначения, принятые на рисунке: $t_{пр.в}$ — время разрешения выборки, $t_{2р.в}$ — время перехода схемы в режим невыбора, $t_{в.сч}$ — время считывания информации из регистра по входу С.)

Основные электрические параметры микросхемы

- Время выборки считывания, нс не более 40
- Время разрешения выборки, нс не более 45
- Ток потребления, мА не более 185
- Входное (выходное) напряжение, В
 - «лог. 0» не более 0,8 (0,5)
 - «лог. 1» не менее 2,0 (2,4)
- Входной (выходной) ток, мкА (мА)
 - «лог. 0» не более 250 (16)
 - «лог. 1» не более 25 (2)
- Ток утечки на выходе, мкА не более 40
- Напряжение питания, В $5 \pm 5\%$
- Диапазон рабочих температур, °С от -10 до 70

Методики программирования микросхемы КМ1608РТ2 аналогичны методикам программирования КМ1608РТ1.

Статья поступила 3 февраля 1986 г.

УДК 621.317.765.7

А.Л.Вильсов, В.А.Кустов, В.Н.Лапенко

ГЕНЕРАТОР ТЕСТОВЫХ СИГНАЛОВ В СТАНДАРТЕ КАМАК

Назначение генератора тестовых сигналов — воспроизведение периодических колебаний произвольной формы, в том числе полигармонического сигнала, состоящего из жестко синхронизированных гармоник.

Существующие устройства, основанные на методе ступенчатой аппроксимации, отличаются низким качеством сигналов, малой максимальной частотой (в лучшем случае 2 кГц) и сложной перестройкой с одной формы сигнала на другую [1]. Использование аппаратуры в стандарте КАМАК, работающей под управле-

нием мини- или микроЭВМ, и быстродействующих интегральных ЦАП позволяет успешно решить эти проблемы.

В состав разработанного генератора тестовых сигналов входят: интерфейс магистрали КАМАК, ЗУ, узел перебора адресов, устройство управления, генератор тактовых импульсов, ЦАП, управляемый фильтр низкой частоты (ФЧ), узел синхронизации, выходной усилитель.

Интерфейс магистрали КАМАК обеспечивает обмен информацией и управление генератором от ЭВМ через стандартный контроллер крейта. Запоминающее устройство представляет собой ПЗУ или ОЗУ (в последнем случае отсчеты воспроизводимого сигнала вычисляются или вводятся с внешнего устройства ЭВМ, например, с накопителя ГМД-7012). Узел перебора адресов позволяет менять количество отсчетов в цикле воспроизводимого сигнала в пределах от 2 до 4096. Устройство управления обеспечивает задание с ЭВМ режимов работы узла перебора адресов, генератора тактовых импульсов, узла синхронизации и ФНЧ. Генератор тактовых импульсов синхронизирует работу всех устройств и определяет частоту опроса запоминающего устройства. Возможно тактирование от внешнего генератора прямоугольных импульсов, наличие выхода генератора позволяет объединять и синхронизировать несколько подобных модулей.

Узел синхронизации выдает произвольное количество (от 16 до 4096) синхриимпульсов за период опроса всего запоминающего устройства. Варьируя режимами данного узла и узла перебора адресов, можно получать произвольное число импульсов на период тестового сигнала (например 7, 9, 13 и т.д.). Кроме этого предусмотрен режим стробоскопической синхронизации, позволяющей работать совместно с низкоскоростными АЦП при большом числе выборок на период тестового сигнала. Управляемый ФНЧ подавляет паразитные гармоники тестового сигнала, появляющиеся вследствие ступенчатой аппроксимации [2]. Он представляет собой фильтр Чебышева 4-го порядка с 8-ю фиксированными частотами среза. Выходной усилитель имеет дополнительный суммирующий вход, что дает возможность объединять сигналы нескольких генераторов.

Основные технические характеристики генератора

- Разрядность запоминающего устройства 12
- Минимальный интервал между отсчетами, нс 500
- Частоты среза ФНЧ, кГц 20; 10; 5; 2,5; 1,3; 0,63; 0,32; 0,16
- Минимальное сопротивление нагрузки, Ом 50
- Максимальная амплитуда выходного напряжения, В ± 7
- Коэффициент гармоник при воспроизведении синусоиды по 32 отсчетам на частоте среза ФНЧ, % 0,05

Выполненный на базе микросхем серий 155, 541, 556, 140, 1108, 564 в стандарте модуля М2 КАМАК, генератор успешно применялся для снятия комплексных коэффициентов передачи четырехполюсников с использованием дискретного преобразования Фурье.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бородин А.М., Казаков Б.М. Цифровой генератор функций. — Приборы и техника эксперимента, 1982, № 4, с. 129—131.

2. Кустов В.А., Лапенко В.Н., Вильсон А.А. Оценка спектрального состава генератора тестовых полигармонических сигналов. Тез. докл. Всесоюзной конференции «Проблемы метрологического обеспечения систем обработки измерительной информации». — М., 1984, с. 223—224.

Статья поступила 30 декабря 1985 г.

УДК 621.3.049.77

И.В.Александров, С.Н.Колеснева, Ю.П.Шелег

МИКРОСХЕМА ОБЪЕДИНЕНИЯ ДВУХ 4-РАЗРЯДНЫХ СЛОВ К1500ИП156

ЭСЛ микросхема К1500ИП156, выполняющая операции маскирующего объединения двух 4-разрядных слов, предназначена для использования в высокопроизводительных ЭВМ. Конструк-

тивно выполняется в плоском стеклокерамическом корпусе 4114.24-3. Основные параметры микросхемы приведены ниже.

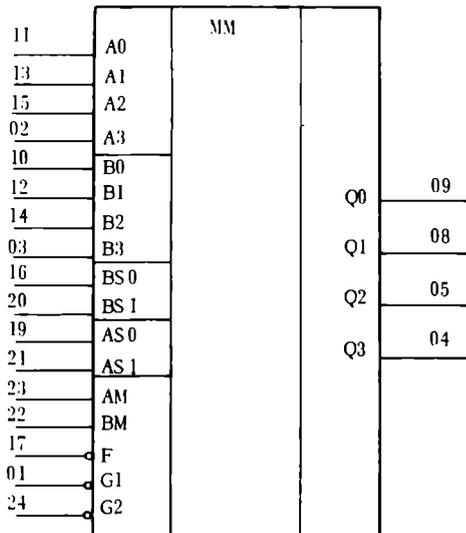
Ток потребления, мА, не менее	214
Входной ток высокого уровня, мкА, не более	
по входам А0—А3, В0—В3	340
по остальным входам	265
Время задержки распространения сигнала, нс, не более	
по входам А, В	1,90
по входу Е	2,50
по входам G, АМ, ВМ	3,80
по входам АS, ВS	3,80

Условное графическое изображение ИС и таблица истинности представлены ниже.

Выходное 4-разрядное слово Q, при наличии разрешения на входах \bar{G}_1, \bar{G}_2 , является результатом поразрядного объединения двух 4-разрядных слов А и В. При АМ=Н в зависимости от адреса маски АSj происходит замена одного, двух или трех разрядов в слове В на соответствующие разряды слова А. При ВМ=Н по маске ВSj происходит та же операция замены разрядов в слове А на разряды слова В. При одновременном разре-

G2	X	H	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	X
BM	X	X	L	L	L	L	L	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	X
G1	H	X	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	X
AM	X	X	L	H	H	H	H	L	L	L	L	H	H	H	H	H	H	H	H	H	X
BS1	X	X	X	X	X	X	X	L	L	H	H	L	L	L	L	H	H	H	H	H	X
BS0	X	X	X	X	X	X	X	L	H	L	H	L	L	L	H	H	L	L	L	H	X
AS1	X	X	X	L	L	H	H	X	X	X	X	L	H	H	H	H	H	L	L	H	X
AS0	X	X	X	L	H	L	H	X	X	X	X	H	L	H	L	H	H	L	L	H	X
E	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	H
Q0	B0	B0	A0	B0	A0	A0	A0	A0	B0	B0	B0	A0	A0	A0	B0	B0	B0	B0	B0	B0	Q0
Q1	B1	B1	A1	B1	B1	A1	A1	A1	B1	B1	B1	B1	A1	A1	A1	B1	B1	B1	B1	B1	Q1
Q2	B2	B2	A2	B2	B2	B2	A2	A2	A2	B2	B2	B2	B2	A2	A2	A2	B2	B2	B2	B2	Q2
Q3	B3	B3	A3	B3	B3	B3	A3	A3	A3	B3	B3	B3	B3	B3	B3	B3	B3	B3	B3	B3	Q3
Примечание	Замена слова В на разряды слова А			Замена слова А на разряды слова В				Объединение слов А и В				Адрес BS ≥ адреса AS				Режим хранения					

X — произвольный логический уровень



шении обеих операций (АМ=Н, ВМ=Н) маска BSj имеет приоритет перед маской АSj. В отсутствие разрешения ($\bar{G}=Н$) на выходы микросхемы проходит слово В.

Выходы микросхемы выполнены на триггерах-защелках, управляемых сигналом Е.

Статья поступила 28 февраля 1986 г.

УДК 621.382.004

Т.Н.Жлобич, С.Н.Колеснева, Ю.П.Шелег

МИКРОСХЕМА КОНТРОЛЯ ЧЕТНОСТИ К1500ИЕ160

Разработана ЭСЛ микросхема К1500ИЕ160, предназначенная для использования в высокопроизводительных ЭВМ и отвечающая общим

требованиям к электрическим параметрам, режимам, условиям эксплуатации серии К1500. Конструктивно схема выполняется в плоском стеклокерамическом корпусе 4114.24—3.

Микросхема состоит из двух независимых блоков контроля четности, каждый из которых имеет 9 информационных входов DA, D0A—D7A (DB, D0B—D7B) и один выход ZA(ZB) соответственно. Если суммарное количество сигналов высокого уровня на входах четное, то Z=H, в противном случае Z=L. Дополнительный выход C (выход сигнала сравнения) дает сигнал низкого уровня (C=L) при попарном равенстве четных и нечетных разрядов двух восьмиразрядных слов, представленных на входах D0A—D7A и D0B—D7B. Функциональные соотношения между входными и выходными сигналами микросхемы описываются уравнениями:

$$ZA = [DA + \sum_{i=0}^7 DA_i]; \quad ZB = [DB + \sum_{i=0}^7 DB_i];$$

$$\bar{C} = \sum_{i=0}^7 [(DA_{2i} \oplus DA_{2i+1}) + (DB_{2i} \oplus DB_{2i+1})].$$

Основные параметры микросхемы К1500ИЕ160

Потребляемый ток (не менее), мА	—115
Входной ток высокого уровня (не более), мкА	
по входам DA, DB	340
по остальным входам	220
Время задержки распространения сигнала (не более), нс	
по входам D0A—D7A(D0B—D7B) — выходу ZA(ZB)	4,10
по входам D0A—D7A(D0B—D7B) — выходу C	3,10
по входу DA(DB) — выходу ZA(ZB)	1,60

Входы DA и DB имеют меньшую задержку распространения сигнала и поэтому предпочтительны как входы расширения при наращивании разрядности. Для осуществления контроля четности 16-разрядного слова на одной микросхеме К1500ИЕ160 выход ZA следует подключить ко входу DB.

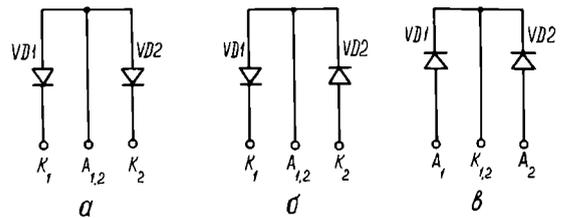
Статья поступила 3 февраля 1986 г.

УДК 621.382.2.002.72

В.В.Демиденко, Е.У.Пушкин

ДИОДНЫЕ СБОРКИ ДС-1, ДС-2 и ДС-4

Диодные сборки ДС-1, ДС-2 разработаны на базе бескорпусных кремниевых высоковольтных быстродействующих диодов типа КД-226А, а ДС-4 — на базе бескорпусных кремниевых эпитаксиально-планарных выпрямительных диодов n-p⁺ проводимости с барьером Шотки. Сборки предназначены для работы в радиотехнической и телевизионной аппаратуре широкого применения. Конструктивно оформлены в корпусе КТ-28, в котором размещено два бескорпусных диода. Напряжение изоляции у сборок ДС-2 и ДС-4 между выводами сборки и фланцем корпуса U_{изол.} ≥ 1700 В. Масса сборки не более 3 г.



Электрические схемы диодных сборок ДС-1 (а), ДС-2 (б), ДС-4 (в)

Электрические параметры и предельно допустимые режимы эксплуатации в диапазоне температур от —45 до 100°С

	ДС-1	ДС-2	ДС-4
Постоянное прямое напряжение на каждом элементе диодной сборки, В, при T _{опр} =25°С ± 10% (—45°С ± 3%) и			
I _{пр} =0,7 А	1,5(1,7)		
I _{пр} =0,6 А		1,5(1,7)	
I _{пр} =3 А			1,0(1,3)
Постоянный обратный ток через каждый элемент сборки, мА, при T _{опр} =25°С ± 10% (100°С ± 5%) и			
U _{обр} =150 В	0,05(0,1)		
U _{обр} =600 В		0,1(0,2)	
U _{обр} =40 В			10(20)
Максимально допустимое импульсное* (постоянное) обратное напряжение, В	200(150)	700(600)	40
Максимально допустимый импульсный (постоянный) прямой ток, А	1(0,7)	1,8(0,6)	5(3)
Максимально допустимая температура корпуса (кристалла), °С	100(125)	100(125)	100(125)
Время обратного восстановления, нс, при T _{опр} =25°С ± 10%	250	250	

* Синусоидальной или прямоугольной формы с частотой следования до 200 кГц.

Диодные сборки используются с теплоотводом и без него. Монтаж сборок на плату или теплоотвод осуществляется при помощи винта с шайбой (или с шайбой и гайкой). Если мощность рассеяния превышает 0,3 Вт, применение теплоотвода обязательно. Для снижения теплового сопротивления при монтаже на теплоотвод необходимо применять теплопроводящие пасты. При объемном монтаже следует исключить возникновение изгибающих и растягивающих усилий в месте выхода вывода сборки из корпуса.

Статья поступила 21 февраля 1986 г.

УДК 621.316.82

Д.М.Гришечкин, А.Д.Зенкин, Н.Д.Колдашов,
В.В.Орлов, Т.В.Чеснокова**ПЕРЕМЕННЫЙ
НЕПРОВОЛОЧНЫЙ РЕЗИСТОР
ДВИЖКОВОГО ТИПА**

В связи с тем, что применяемый в бытовой радиоаппаратуре для регулирования громкости, тембра, стереобаланса (а также яркости, цветности и контраста — в телевизорах) переменный непроволочный резистор СПЗ-23 по целому ряду параметров не удовлетворяет требованиям, предъявляемым к аппаратуре высшего класса, были разработаны более совершенные конструкции резистора указанного назначения.

Примером такой конструкции является переменный непроволочный резистор дискретного регулирования роторного типа РП1-57 [1].

В процессе его разработки возникла необходимость сравнения между собой возможных вариантов с целью выбора оптимальной конструкции.

Для решения этой задачи был создан диалоговый пакет прикладных программ (ДППП) многопараметрического сравнения вариантов, обеспечивающих оперативное сравнение вариантов инженерных решений по нескольким параметрам и представление результатов сравнения в количественном виде. Главной особенностью пакета, обуславливающей удобство его применения, является возможность оценки вариантов не в общей массе, а попарно (чисто качественной оценки: «лучше», «хуже», «одинаково»). Обработка результатов попарных сравнений производится методом расстановки приоритетов [2], позволяющим каждому из вариантов присваивать некое количественное выражение предпочтительности.

Указанный пакет программ позволяет не только находить оптимальный вариант, но и выявлять слабые места, не отвечающие параметрам «идеального» резистора.

По результатам анализа при помощи ДППП выбрана конструкция резистора в виде единого модуля с перемещением подвижной системы в пределах 30, 45 и 60 мм (одинарного или сдвоенного исполнения).

Основные электрические параметры

Номинальное сопротивление, Ом $5 \cdot 10^2 - 1 \cdot 10^6$
 ТКС $\cdot 10^{-6}$, град⁻¹ ± 250
 Тип функциональной характеристики А, В, Е/И
 Износоустойчивость, циклов 50000
 Температура окружающей среды, °С от -60 до 125

В зависимости от назначения резистор может быть снабжен системой фиксации подвижной части в среднем положении, дополнительным центральным отводом и иметь от 19 до 27 положений, независимо от длины хода движка. Данный принцип выбора конструкции был положен в основу разработки переменного непроволочного резистора дискретного регулирования, совмещающего технические характеристики дискретных регуляторов с функциональным исполнением движкового резистора. Токпроводящий элемент этого резистора выполнен аналогично элементу РП1-57.

Новое изделие предназначено как для печатного, так и для навесного монтажа.

ЛИТЕРАТУРА

1. Переменный непроволочный резистор РП1-57/ В.В.Анохин, Н.Д.Колдашов, В.В.Орлов, А.М.Семих. — Электронная промышленность, 1984, № 9, с. 73—74.
2. Б л ю м б е р г В.Д., Г л у щ е н к о Г.А. Какое решение лучше? Метод расстановки приоритетов. — Л.: Лениздат, 1982. — 160 с.

Статья поступила 11 февраля 1986 г.

ЭП СООБЩЕНИЕ ЭП

УДК 628.5

**ОЧИСТКА ФТОРСОДЕРЖАЩИХ
СТОЧНЫХ ВОД**

Разработан способ очистки фторсодержащих сточных вод, при котором вместо дефицитного сернистого алюминия используется недорогой реагент — отработанный травильный раствор металлургического производства. Такой раствор образуется в результате растворения в соляной или серной кислоте поверхностного окисленного слоя проката черного металла. Содержание двухвалентного железа в отработанном травильном растворе составляет 50—300 г/л в пересчете на $FeSO_4$.

При очистке вод, образующихся после химического травления кремниевых пластин ($pH = 1-3$, содержание фтора 50—150 мг/л), в них вводится в определенном порядке известковое молоко и указанный раствор.

В результате добавления к сточной воде известкового молока до $pH \geq 9,0$ происходит связывание основного количества фтора. Но независимо от концентрации фтора в исходной воде его содержание может быть уменьшено только до 20 мг/л. Дальнейшее снижение содержания фтора достигается за счет добавления к суспензии отработанного травильного раствора до $pH < 4$ с некоторым избытком.

Введение на конечной стадии очистки в сточную воду известкового молока до $pH \geq 9,0$ способствует переводу избытка раствора двухвалентного железа в нерастворимую гидроксид, которая в свою очередь в присутствии нерастворимых хлопьев фтористых кальция и железа дополнительно извлекает остаточный фтор. После отделения образовавшейся твердой фазы содержание фтора в очищаемой воде не превышает 1,5 мг/л.

Опыт эксплуатации очистных сооружений показал эффективность применения отработанного травильного раствора для очистки фторсодержащих сточных вод. Являясь многотоннажным отходом металлургического производства, отработанный травильный раствор может быть использован на многих предприятиях.

Н.С.Мусалев, В.В.Попов, В.К.Степанов

ЭЛТ

С ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИМ ЭКРАНОМ ДЛЯ КОНТАКТНОЙ ФОТОРЕГИСТРАЦИИ ИНФОРМАЦИИ



ЭЛТ с волоконно-оптическим экраном (ВОЭ) размером 25x224 мм предназначена для работы в системах контактной фоторегистрации быстропротекающих медико-биологических процессов. ЭЛТ является основным узлом многоканальных регистраторов, используемых в электрокардиографии, эхокардиографии, миографии, неврологии и т.п. Прибор также может быть использован в устройствах документирования цифробуквенной и графической информации, выводимой из ЭВМ, фототелеграфии, геологическом и медицинском приборостроении и в других областях науки и техники.

Применение ВОЭ дает возможность значительно повысить эффективность использования светового потока с экрана высокоинформативной ЭЛТ и соответственно увеличить скорость записи при использовании дешевых бессеребряных фотоносителей или малочувствительных фотослоев с пониженным содержанием серебра.

Наиболее эффективно применение ЭЛТ с ВОЭ в быстродействующих фоторегистраторах при использовании фотоносителей прямого почернения с сухими процессами проявления, например, тепловыми или световыми.

Данный прибор позволяет осуществлять контактную запись на бумагу шириной 210 мм, что значительно повышает объем обрабатываемой информации.

Тип экрана	А
Рабочая часть экрана, мм	210x10
Фокусировка	электростатическая
Отклонение луча	электромагнитное
Угол отклонения, град	45
Удельная разрешающая способность при контрасте в мелких деталях 50%, тв.лин/мм	не менее 10
Энергетическая яркость линии, Вт/см ²	не менее 1,2
Рабочий ток луча, мкА	20
Напряжение анода, В	10000
Напряжение модуляции, В	не более 30
Длина прибора, мм	не более 375
Масса прибора, г	не более 1250

Л.В.Бейер, Б.Б.Данилевский, К.О.Комиссарова, З.В.Посувайло, Л.Л.Сиверс

Ответственные за выпуск С.И.Баранова, М.Ф.Белякова
Художник В.А.Чернецов
Технический редактор Г.М.Корнеева
Корректоры А.В.Смирнова, Л.П.Данченкова



Подписано в печать 30.07.86 г.
Т-17517 Формат 60x90/8 Объем 9 п.л.
Уч.—изд. л.10,5 Индекс 3833 34 статьи
Заказ 802. Тираж 5030 Цена 2 руб.10 коп.

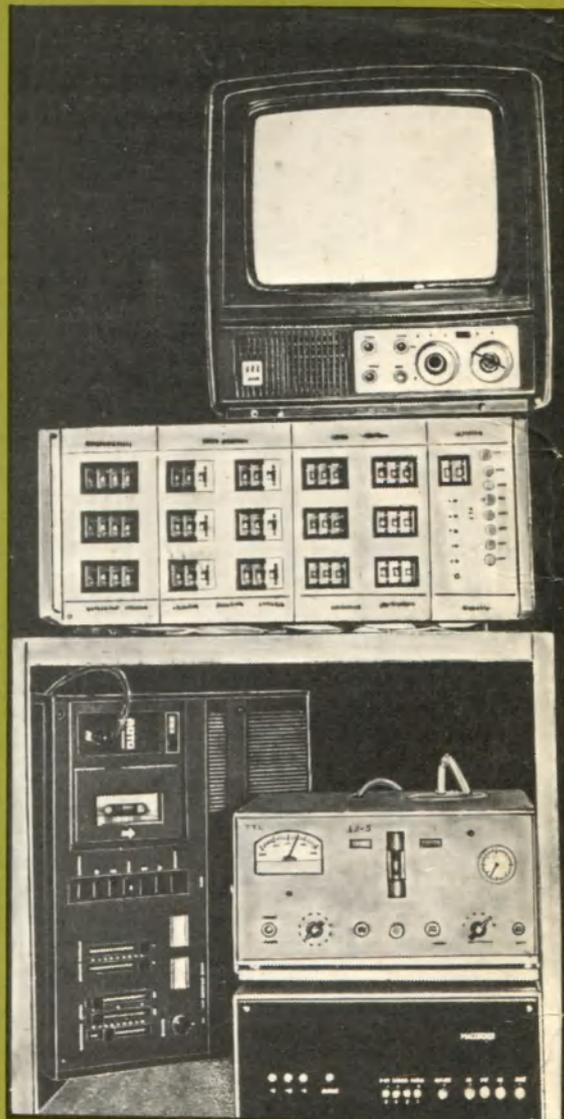
1 Автоматический аэрозольный спектрометр

2

2 Автоматический регистратор параметров микроклимата ЭОЛ-2 и система магнитного накопления данных «Макордер»

3 «Дэрокс-10М» — многоканальная система автоматического контроля запыленности воздуха

1



3

