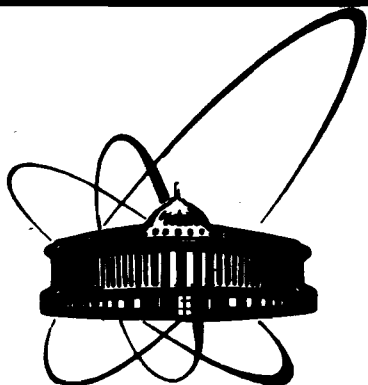


89-529



**СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА**

В 751

18-89-529

Е. Д. Воробьев, В. В. Овчинников, В. Д. Шестаков

**ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ
ЯДЕРНЫХ ПОЛИМЕРНЫХ МЕМБРАН
В ЧИСТЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЯХ**

1989

Существующие сегодня тенденции к улучшению качества выпускаемой продукции, повышение уровня медицинского обслуживания и получение наиболее достоверных результатов научных исследований обусловили потребность в сверхтонкой очистке воздуха в различных отраслях народного хозяйства в Советском Союзе, и в других странах мира. Обращает на себя внимание тот факт, что чистые объемы необходимы самым приоритетным отраслям, таким как электронная, химическая и атомная промышленность, в производстве интегральных микросхем, создании обычных чистых и новых сверхчистых веществ и материалов, производстве приборов и средств контроля и т.д. Особое значение имеют чистые условия в системе здравоохранения и медицинской промышленности - операционные помещения для стерильных хирургических операций без доступа микроорганизмов, производство фармацевтической продукции, препаратов, выпуск медицинского оборудования и приборов. Это в основном те отрасли, в помещениях которых необходимо обеспечивать очистку воздуха до 10 частиц в кубическом футе /28 л/ размерами не более 0,5 мкм.

Сегодня в мировой электронной промышленности наблюдается тенденция к увеличению выпуска запоминающих устройств емкостью в 4 Мбит, а многие японские и американские фирмы ведут разработки по элементам емкостью 16 и 64 Мбит. По прогнозам к 2000 г. выпуск запоминающих устройств составит 80% от общего объема всех видов интегральных схем /ИС/ и будет сопровождаться переходом от производства БИС /больших ИС/ к производству СБИС /сверхбольших ИС/, а в дальнейшем - к УБИС /ультрабольших ИС/. При этом число полупроводниковых слоев ИС возрастает до 18-20, а размеры элементов достигнут 0,3 мкм.

Одной из основных проблем, стоящих на пути создания высокоэффективной технологии производства ИС является обеспечение в воздухе чистого помещения минимального количества загрязняющих частиц, которые могут попасть на кремниевые пластины в процессе их обработки, транспортировки, межоперационного хранения и вывести из строя данную ИС. При этом источником дефектов принято считать частицы с кри-

тическим размером 0,1 минимального топологического размера ИС. Если исходить из размера элемента СБИС в 0,3 мкм, то критический размер частицы составит 0,03 мкм. Отсюда эффективность очистки воздуха чистых производственных помещений /ЧПП/ должна быть достаточно высокой в диапазоне размеров частиц вплоть до 0,03 мкм. Однако на сегодняшний день в технологически развитых странах классификацию ЧПП проводят согласно Федеральному стандарту США 209 С, представленному в табл.1.

Таблица 1
Федеральный стандарт 209 С США

Класс	Максимально допустимое число частиц в кубическом футе от размера частиц в мкм				
	0,1	0,2	0,3	0,5	5,0
1	35	7,5	3	1	0
10	350	75,0	30	10	0
100	-	750,0	300	100	0
1000	-	-	-	1000	7
10000	-	-	-	10000	70
100000	-	-	-	100000	700

Здесь наименьший контролируемый размер частиц достигает 0,1 мкм, что удовлетворяет требованиям производства СБИС емкостью в 1 Мбит /минимальный топологический размер 1 мкм/. Число таких частиц, например по классу 1, не должно превышать 35 в кубическом футе. Такую степень очистки возможно достичь только ультрафильтрацией.

Задача обеспечения сверхтонкой очистки воздуха для ЧПП на Западе решается с помощью фильтров HEPA - High Efficiency Particulate /эффективность очистки 99,99%/^{1/} и ULPA-Ultra Low Penetration Air /99,9995%/^{2/} и выше^{3/} при испытаниях по микрочастицам 0,1 и 0,3 мкм. В Советском Союзе аналогов фильтра ULPA нет^{4/}, а существующие фильтрационные устройства на ткани ФПП и ФПА обеспечивают эффективность очистки по микрочастицам 0,5 мкм ~99,9%/^{5,6/}.

Однако, несмотря на явный прогресс в создании фильтрующих материалов /эффективность очистки воздуха фильтрами ULPA достигает уже 99,9999%/^{3/}, дальнейшее повышение их качества становится в значительной степени ресурсоемким предприятием. Основные усилия разработчиков направлены не столько на увеличение эффективности фильтрации материалов, сколько на ликвида-

цию их собственного фона, тем более что этот фон может быть существенным как в переходных режимах работы /включение вентиляционных систем/, так и по мере их механического износа /разрушение фильтрационного материала в процессе долгой эксплуатации/. Большое влияние на эффективность фильтрации имеют и различного рода вибрации. В Федеральном стандарте 209 С вибрации регламентируются по амплитуде колебаний 0,5 - 2,0 мкм, но для каких именно объектов и частот, не указывается. Как было показано в работе^{7/}, на финишной очистке воздуха в ЧПП из-за дисбаланса вентиляционных агрегатов появляются большие объемные вибрации, нарушающие работу фильтрационных элементов /увеличение фона/.

В данной работе обсуждается способ решения проблемы по сверхтонкой очистке воздуха в ЧПП класса 10 и выше. Представлены результаты первых экспериментов с двухступенчатой очисткой воздуха, когда на финишной ступени стоит фильтр с "нулевым" собственным фоном и относительно высокими фильтрующими способностями - ядерная полимерная мембрана.

Ядерные мембраны, получаемые в СССР на основе тонких полиэтилентерефталатных пленок путем облучения тяжелыми ионами на ускорителях заряженных частиц с последующей химической обработкой^{8/}, обладают уникальными свойствами - полностью задерживать частицы с размерами, превышающими размер пор, и при этом не быть источником микрозагрязнений. Более того, ядерные полимерные мембраны, в силу наличия на поверхности электростатического заряда /измеренного в жидкости^{9/}, могут улавливать некоторое количество микрочастиц и аэрозолей с размерами, меньшими, чем диаметр пор.

Опытный образец фильтрационного модуля тонкой очистки был разработан и изготовлен в Лаборатории ядерных реакций Объединенного института ядерных исследований /Дубна/. В качестве основного материала модуля были использованы полистирольные перфорированные пластины, на каждой из которых располагается ядерная мембрана толщиной 10 мкм и пористостью около 6%. Эффективный размер пор мембраны составил, по измерению методом "пузырька", 0,32 мкм. Суммарная рабочая площадь мембраны достигала 1 м². Общий вид модуля представлен на рис.1.

Сборку экспериментального образца проводили в "грязных" условиях, а промывку и сушку - в камере с горизонтальным ламинарным потоком типа KL-21, содержащей на выходе не более 100 частиц в кубическом футе по микрочастицам 0,5 мкм. В качестве промывочных жидкостей использовали дистиллированную воду и этиловый спирт ВЧ с рециркуляционной очисткой их на фильт-

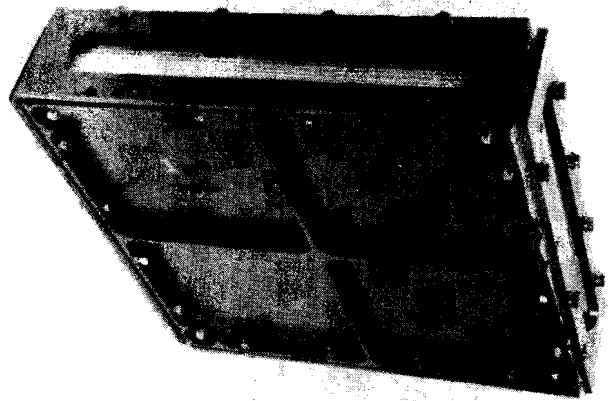


Рис.1. Общий вид фильтрационного модуля.

ре-патроне промышленного изготовления с ядерной мембраной, имеющей размеры пор 0,2 мкм.

Основной целью испытаний являлось определение эффективности фильтрации модуля по микрочастицам с размерами 0,3 мкм и более с использованием фотоэлектрического счетчика ПК.ГТА 0,3-002.

Измерения проводились внутри микроклиматической камеры КМК-6, обеспечивающей очистку воздуха по классу 100 /см. табл.1/, с использованием на входе в фильтрационный модуль нагнетающего вентилятора типа ЦР-2-2, создающего избыточное давление ~70 мм вод.ст. /рис.2/. Скорость вертикального потока воздуха в камере достигала 0,25 м/с, а на выходе фильтрационного модуля - 0,24 м/с (объемный расход около 10 м³/ч). Температура воздуха составляла 25,0±0,2°C при относительной влажности 32±3%.

Результаты измерений показали, что по микрочастицам 0,3 мкм на выходе из модуля обнаружена крайне низкая концентрация, укладываемая по своей величине в погрешность измерений счетчика ПК.ГТА 0,3-002 /±30%/. Микрочастицы с размерами 0,4 и 0,5 мкм не обнаружены.

Для оценки реальной эффективности фильтрации воздуха модулем были проведены также измерения в помещении с высокой степенью запыленности. Результаты показаны в табл.2.

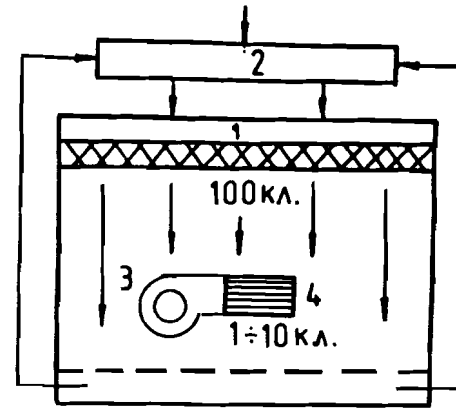


Рис.2. Принципиальная схема испытательного стенда на базе камеры КМК-6. 1 - фильтрующий материал марки ФПП или ФПА; 2 - блок термо- и влагостабилизации; 3 - нагнетающий вентилятор; 4 - фильтрационный модуль с ядерными мембранами.

Таблица 2
Основные параметры испытания фильтрационного модуля в "грязных" условиях

Размеры частиц в мкм	Число частиц на входе в модуль в куб.футе	Число частиц на выходе из модуля в куб.футе	Эффективность фильтрации, %
0,3	$(1,028 \pm 0,018) \cdot 10^7$	$(7,7 \pm 2,1) \cdot 10^3$	99,925±0,019

В таблице отображены только случайные погрешности измерений.

Несмотря на относительно низкую эффективность фильтрации воздуха, приведенную в табл.2, отсутствие собственного фона у полиэтилентерефталатных ядерных мембран приводит к очень высокой финишной очистке. Так, в табл.3 представлены оценочные данные при работе фильтрационного модуля в камере класса 100 /по частицам 0,3 мкм/.

Полученные результаты позволяют заявить, что фильтрационный модуль с ядерными мембранами, содержащими поры ~0,3 мкм, обеспечивает эффективность фильтрации воздуха по микрочастицам 0,3 мкм, удовлетворяющую помещениям класса 10 и выше, при входном потоке по классу 100.

Сравнительно низкая пористость и, следовательно, производительность ядерных мембран, позволяют рекомендовать их в первую

Таблица 3

Оценочные характеристики фильтрационного модуля на финишной очистке в камере класса 100

Размеры частиц в мкм	Число частиц на входе в модуль по классу 100, в куб.футе	Число частиц на выходе из модуля, в куб.футе*
0,3	300	0,23±0,06

*Приведена случайная погрешность.

очередь для очистки воздуха в небольших производственных помещениях. Например, в микроэлектронике - в стандартных системах передачи, перемещения и хранения пластин SMIF (Standard Mechanical Interface)^{/10/}. Хотя впервые такие системы были предложены советскими специалистами почти 20 лет назад, широкое распространение они стали получать только в последнее время^{/11,12/}.

Системы SMIF довольно однотипны и состоят, как правило, из небольшого числа элементов /рис.3/. Здесь контейнер 1 служит для хранения и транспортировки кассет с пластинами в шлюзовую камеру 3 при помощи манипулятора 2. Внутри контейнера поддерживается чистота по классу не хуже 10. В шлюзовой камере 3 должен обеспечиваться ограниченный "чистый объем" после извлечения пластин из контейнера. Общие требования для нее достаточно высоки - обеспечение герметичности внутреннего объема,

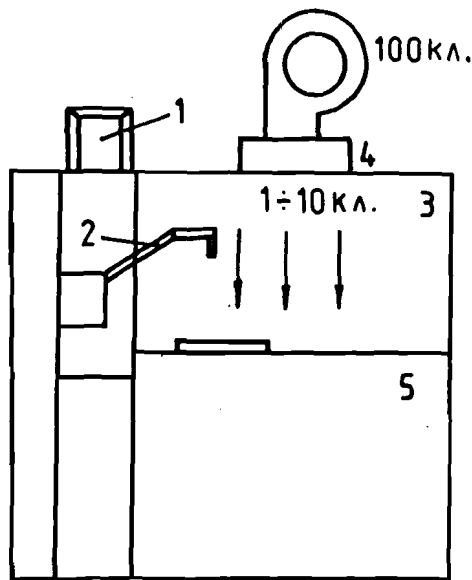


Рис.3. Общее устройство системы SMIF с фильтрационным модулем. 1 - контейнер; 2 - манипулятор; 3 - шлюзовая камера; 4 - фильтрационный модуль финишной очистки; 5 - технологическое оборудование.

сверхтонкая очистка воздушной среды модулем 4 с учетом установленного оборудования и правильный подбор материалов, дающих минимальное загрязнение.

Известные из литературы результаты испытаний^{/13/} показали, что манипуляторы системы SMIF по уровню выделения микрозагрязнений составляют всего около 1% от уровня загрязнений, вносимых оператором в защитной одежде. Именно при такой организации ЧПП ядерные мембраны наиболее предпочтительны в силу отсутствия собственного фона и обеспечения очистки воздушной среды до класса 10 и выше. К тому же очистка сравнительно небольших рабочих объемов позволит существенно повысить кратность воздухообмена. Например, для уже испытанного модуля с площадью мембран 1 м² в шлюзовой камере объемом 0,5 м³ кратность достигает величины порядка 5 1/4. Экономия электроэнергии, потребляемой вентиляционным оборудованием для сверхтонкой очистки воздуха, при такой организации составит до 75%/14/.

Таким образом, результаты испытаний фильтрационного модуля с ядерными мембранами позволяют сделать вывод о целесообразности применения этих "бесфоновых" фильтрационных материалов для сверхтонкой очистки воздуха как в микроэлектронике, так и в других сферах применения /медицина, биология, приборостроение и т.п./, где требуется получение чистых объемов. Согласно представленным данным ядерные мембраны способны обеспечить очистку помещений до класса 10 и лучше при создании на входе условий по классу 100 Федерального стандарта США 209 С. При существующих характеристиках таких мембран их наиболее целесообразным направлением применения, по-видимому, следует признать системы с небольшими объемами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Takasago Thermal Engineering Co. Ltd. Clean Rooms, 1986, Japan.
2. Gebrüder Trox GmbH. Filter. 1987.
3. Fell Clean Air Systems, Ltd. Clean Rooms, 1988, GB.
4. Хлебников Ю.П. и др. Фильтры и фильтрующие материалы для очистки воздуха. М.: ЦНИИТЭстроймаш, 1986.
5. Мадоян А.А., Власик В.Ф. Вентиляция атомных электростанций. М.: Атомиздат, 1984.
6. Пирумов А.И. Обеспыливание воздуха. М.: Стройиздат, 1981.
7. Производственно-техническая экология изделий электронной техники и принципы организации чистых помещений /под. ред. Ушакова В.И./, М.: МИЭТ, 1988.
8. Флеров Г.Н. - Вестник АН СССР, 1984, № 4, с.35.

9. Apel P.Yu., Pretzsch G. - Nucl.Tracks Radiat.Meas., 1986, No.1/2, p.45.
10. Баранов Ю.Л. - Зарубежная электронная техника, 1988, № 11.
11. Solid State Technology, 1984, No.7, p.111.
12. Semiconductor International, 1988, No.4, p.16.
13. Solid State Technology, 1986, No.12, p.61.
14. Semiconductor International, 1985, No.5, p.222.

Воробьев Е.Д., Овчинников В.В., Шестаков В.Д. 18-89-529
 Особенности применения ядерных полимерных мембран в чистых производственных помещениях

Обсуждаются вопросы обеспечения высокой степени очистки воздушной среды в чистых производственных помещениях /ЧПП/. Рассматриваются традиционно применяемые для сверхтонкой и ультратонкой очистки фильтрационные материалы, эффективность очистки которых зачастую определяется их собственным фоном. Предлагается новый подход в создании ЧПП класса 10 и выше с применением ядерных полимерных мембран. Рассматривается возможность организации сверхтонкой очистки воздуха ядерными мембранами в системе SMIF современного микроэлектронного производства.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1989

Перевод авторов

Vorob'ev E.D., Ovchinnikov V.V., 18-89-529
 Shestakov V.D.
 Some Peculiarities of Use of the Polymeric Nuclear Track Membranes in Clean Rooms

The problems of creating high rate cleaning the air in clean rooms are discussed. The traditional filtration materials used for super- and ultrafine cleaning are considered. Their cleaning efficiency in some cases is characterized by their proper background. New approach is proposed to create clean rooms of class 10 and higher using polymeric nuclear membranes. The possibility to organize the superfine air cleaning by polymeric nuclear membranes in the SMIF system of contemporary microelectronics manufacturing is discussed.

The investigation has been performed at the Laboratory of Nuclear Reactions, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1989

Рукопись поступила в издательский отдел
 12 июля 1989 года.