

1555432

На правах рукописи

БУЛЫГИНА Екатерина Вадимовна

**ПОВЫШЕНИЕ ВЫХОДА ГОДНЫХ СБИС ПУТЕМ УДАЛЕНИЯ
ПРИВНЕСЕННЫХ МИКРОЧАСТИЦ В ВАКУУМЕ**

Специальность 05.27.07 -

Оборудование производства электронной техники

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Москва, 1997

Работа выполнена в Московском Государственном Техническом
Университете им. Н.Э.Баумана

Научный руководитель - доктор технических наук, профессор
Панфилов Ю.В.

Официальные оппоненты - доктор технических наук, профессор
Каракеян Валерий Иванович,
кандидат технических наук, доцент
Степанчиков Сергей Валентинович

Ведущее предприятие - АО НИИ Точного Машиностроения

Защита диссертации состоится "17" сентября 1997 г. на
заседании диссертационного Совета К 053.15.01 в Московском
Государственном Техническом Университете им. Н.Э.Баумана по адресу:
107005 Москва, 2-я Бауманская ул., 5.

Ваш отзыв на автореферат в 1-м экземпляре, заверенный печатью,

ознакомиться в библиотеке Московского
университета им. Н.Э.Баумана.

"16.09" 1997 г.

1-63

1555432



Рябов В.Т.

Общая характеристика работы

Актуальность темы. Вакуумное технологическое оборудование (ВТО) широко используется во многих отраслях промышленности: электронной, приборостроении, машиностроении, химической, а также в медицине, строительстве и ряде других. Одним из путей повышения качества изделий, обрабатываемых в вакууме, является ужесточение требований к состоянию их поверхности, а именно - присутствию на ней привнесенных в процессе хранения, транспортирования и обработки мелкодисперсных частиц (МДЧ). При производстве изделий электронной техники в настоящее время подлежат контролю частицы размером в сотые доли микрометра. МДЧ критических размеров изменяют геометрические, оптические, электрические и другие характеристики поверхности и приводят к браку выпускаемой продукции. В ряде случаев по вине привносимой дефектности в брак идет до 70% больших интегральных схем (БИС) и 85% сверхбольших интегральных схем (СБИС).

Требования производственной экологии, расширение диапазона областей использования прецизионно-стерильных технологий обусловили необходимость работ, ставящих своей целью уменьшение привносимой дефектности выпускаемых изделий.

Как показывает практика, усилия, предпринимаемые для предотвращения попадания микрочастиц на предварительно очищенную поверхность изделий, не гарантируют их отсутствия на поверхности в момент обработки, т.к. между очисткой и обработкой изделие подвергается воздействию потоков МДЧ, например, во время откачки вакуумной камеры. Поэтому перспективным путем уменьшения привносимой дефектности изделий является удаление микрочастиц с их поверхности непосредственно в объеме вакуумной камеры перед обработкой (нанесением пленок, травлением слоев, ионным легированием и т.п.).

НТБ МГТУ им. Н.Э.Баумана



1555432

Булыгина Е.В. Повышение

Анализ работ, посвященных удалению МДЧ с поверхностей, свидетельствует об отсутствии систематизации методов отрыва частиц, инженерных методик расчета режимов работы и рекомендаций по созданию устройств, обеспечивающих удаление МДЧ с обрабатываемых поверхностей.

Поэтому *целью* данной работы является научное обоснование методов удаления мелкодисперсных частиц размером 0,01...100 мкм с поверхностей изделий в вакуумных камерах, а также выбор наиболее рациональных из них.

Для достижения указанной цели были решены следующие *задачи*:

- проанализированы и дополнены основные закономерности процесса удаления микрочастиц с поверхностей в вакууме;
- проведено теоретическое исследование различных способов воздействия на микрочастицы, находящиеся на поверхностях, в условиях вакуума;
- экспериментально проверены основные теоретические положения;
- создана методика расчета и выбора параметров устройств удаления микрочастиц с поверхностей в вакууме.

На защиту выносятся:

1. Физические и математические модели процессов удаления МДЧ с поверхностей в вакууме;
2. Результаты экспериментальных исследований способов уменьшения уровня привносимой дефектности поверхностей в вакууме;
3. Методика расчета и выбора параметров устройств удаления микрочастиц с поверхностей для ВТО.

Научная новизна работы состоит в следующем:

- разработана математическая модель процесса эффективного удаления микрочастиц с поверхностей в ВТО перед операциями нанесения тонких пленок, ионного травления и т.п.;
- выявлена и аналитически описана взаимосвязь между наиболее эффективными способами удаления микрочастиц (аэродинамическим, аэрозольным и

инерционным) и параметрами ВТО (внутрикамерным давлением и давлением напускаемого в камеру газа, температурой очищаемой поверхности, ее расположением в камере, диаметром натекателя, размером бомбардирующих МДЧ аэрозольных частиц, характеристиками лазерного излучения и рядом других):

- теоретически и экспериментально установлены наиболее рациональные режимы удаления микрочастиц методом одновременного уменьшения силы адгезии и увеличения внешних сил, отрывающих микрочастицы от поверхностей.

Практическая значимость работы заключается в:

- разработке рекомендаций по конструированию и выбору режимов работы устройств удаления привнесенных микрочастиц в вакуумном технологическом оборудовании,
- создании алгоритма расчета параметров и режимов работы устройств удаления микрочастиц в вакууме,
- возможности использования экспериментального стенда в учебном процессе студентами специальности "Электронное машиностроение".

Методы исследований. Теоретические исследования проводились в соответствии с методами математической физики, изложенными в работах А.Н.Тихонова и А.А.Самарского, и базировались на основных положениях механики аэрозолей Н.А.Фукса, газодинамики Г.Н.Абрамовича, теориях упругости Л.Д.Ландау и Е.М.Лифшица, адгезии А.Д.Зимона, на работах по проектированию чистых производственных помещений В.И.Ушакова, В.М.Редина, В.И.Каракеева и на работах по созданию вакуумного технологического оборудования А.Т.Александровой, В.В.Одинокова, Л.И.Ковалева, Ю.В.Панфилова, Е.А.Деулина и других авторов.

Экспериментальные исследования режимов удаления МДЧ осуществлялись на специально разработанном стенде, оснащённом современной

контрольно-измерительной аппаратурой. Проведение и обработка результатов экспериментов, оценка их точности и достоверности выполнялись с применением теории вероятностей и математической статистики.

Апробация работы. Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на восьми научно-технических конференциях и на заседаниях кафедры "Электронное машиностроение" МГТУ им. Н.Э.Баумана.

Публикации. По результатам выполненных исследований опубликовано 8 печатных работ и получено положительное решение по заявке на изобретение.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, общих выводов, списка литературы из 80 наименований и приложений. Работа содержит 182 страницы, 22 таблицы и 71 иллюстрацию.

Основное содержание работы

Во введении доказывается актуальность выбранной темы исследований, формулируются основные цели и задачи диссертационной работы и основные положения, выносимые на защиту.

В 1^й главе рассмотрена природа привносимой дефектности поверхностей изделий, обрабатываемых в ВТО, показана степень влияния микрочастиц на выход годной продукции. Обзор работ по проблеме привносимой дефектности свидетельствует о преобладании исследований, посвященных предотвращению попадания МДЧ на поверхность и их удалению на предшествующих обработке этапах. Между тем, процессы загрузки - выгрузки, перемещения и обработки изделий в ВТО приводят к значительному росту дозы привносимой дефектности их поверхностей. По этапам вакуумного технологического цикла плотность дефектов набирается, например, на установке вакуумного нанесения тонких пленок ОIНИ-7-015 следующим образом: перекладывание пластин из транспортной кассеты в рабочую - $1,41 \text{ шт/см}^2$, откачка и напуск воздуха в

плпозовое загрузочное устройство - $4,9 \text{ шт/см}^2$, прохождение пластин через всю установку - $10,4 \text{ шт/см}^2$, размеры частиц находятся в диапазоне $0,06 \dots 3,5 \text{ мкм}$.

Работы авторов, занимающихся вопросами удаления микрочастиц с поверхностей, выполнены в основном на качественном уровне и не позволяют выявить наиболее рациональные способы уменьшения привносимой дефектности и определить режимы их реализации.

В этой же главе показано, что основную роль в удержании частиц с микронными размерами на поверхности играет их адгезионное взаимодействие. Анализ составляющих силы адгезии позволил выделить наиболее значимые для микрочастиц силы: капиллярную и межмолекулярного взаимодействия, и выявить зависимость прочности "прилипания" частиц к поверхности от внешних факторов.

Положения, приводимые в 1^й главе, позволяют сделать вывод о большой перспективности операции удаления микрочастиц с поверхности изделий непосредственно перед их обработкой в ВТО и необходимости всестороннего анализа способов уменьшения привносимой дефектности изделий.

Во 2^й главе показано, что процесс удаления микрочастиц заключается в приложении к ним внешней силы F , преодолевающей силы, удерживающие частицы на поверхности. Причем, эффективность ее воздействия зависит от направления и может быть увеличена благодаря уменьшению величины силы адгезионного взаимодействия $F_{ад}$

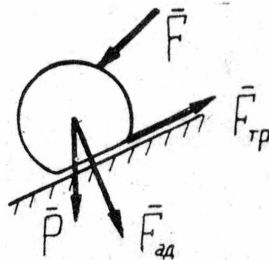


Рис.1. Схема силового воздействия на частицу: F - внешняя отрывающая сила, $F_{ад}$ - сила адгезии, P - вес, $F_{тр}$ - сила трения.

частиц с поверхностью (рис.1). С этой целью исследовалось влияние технологических факторов на силу адгезии после установления контакта частицы и поверхности (рис.2).

Показано, что адгезионное взаимодействие может быть ослаблено при удалении влаги из микрозазора между частицей и поверхностью, увеличении давления в камере до близкого к атмосферному и утечке электрического заряда с контактирующих поверхностей. Наибольшую роль в удержании на поверхности частиц размером меньше 20 мкм играет капиллярная составляющая силы адгезии, поэтому ее ликвидация, происходящая в результате нагрева поверхности, в значительной степени способствует эффективному удалению МДЧ.

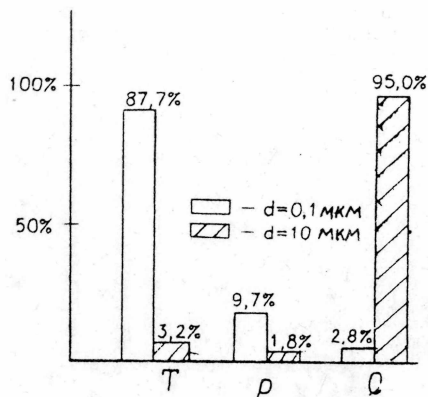


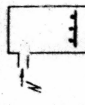
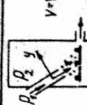
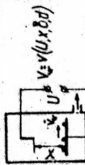
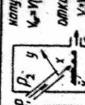
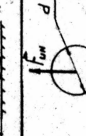
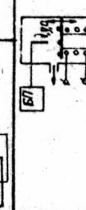
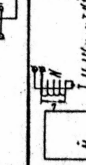
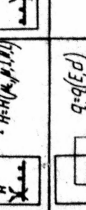
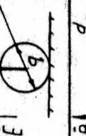
Рис.2. Долевое влияние температуры поверхности Т, давления в камере p_2 (низкий вакуум) и заряда поверхности подложки Q на адгезию частиц размера d к подложке.

В качестве отрывающих рассматриваются следующие силы (табл.1):

- лобового воздействия $F_{\text{л}}$, возникающая при обтекании частицы газовым потоком;
- инерции $F_{\text{и}}$, возникающая вследствие полученного частицей ускорения;
- ударная $F_{\text{у}}$, возникающая вследствие ударного воздействия на частицу;
- электрического взаимодействия $F_{\text{э}}$, обусловленная влиянием на заряженную частицу электрического поля;
- магнитного взаимодействия $F_{\text{м}}$, возникающая в магнитном поле при условии обладания частицей магнитным

Классификация способов внешнего воздействия на микрочастицы

Таблица I

Отрывающая сила / явление		Внешнее воздействие		Направление потока энергии	
Электрическое поле		Магнитное поле		Значение подложки	
Реконструкция		$N+N=N_2+Q$	—	—	
Ударная		$F = \frac{\pi \epsilon_0 V^2}{y} \left(\frac{A}{A_0} \right) \left(\frac{1}{\sin \alpha} \right)$ $A \cdot \rho d^3$	—	—	
Подобное		$F = \frac{\pi \epsilon_0 \rho d^2 v^2}{8}$		—	
Линейная		$F_{um} = \frac{\pi \rho a d^3}{b}$		$a = 4 \pi \rho d^3 \chi_m$	
Магнитного		$F_m = \frac{\pi d^2}{4} \left(\frac{\mu}{\mu_0} - 1 \right) \rho^2$		—	—
Закрытого		$F_s = qE$		—	
Линейная		$\vec{F}_{um} = q \vec{u} \vec{B}$		$\vec{B} = B(\mu, \chi_m)$	

Увеличение площади воздействия

Уменьшение минимального расстояния отрываемых частиц

моментом; - Лоренца $F_{\text{мл}}$ действующая на заряженные частицы при их движении относительно магнитного поля. В отдельную группу выделено удаление частиц, происходящее в результате рекомбинации на их поверхности атомов напускаемого в камеру атомарного газа. Помимо указанных выше в таблице 1 приняты следующие обозначения:

а - ускорение частицы, В - магнитная индукция, C_x - коэффициент аэродинамического сопротивления, c_R - скорость распространения поверхностной акустической волны в материале подложки, d - диаметр частицы, E - напряженность электрического поля, E_L - энергия лазерного излучения, H и H_m - напряженности магнитного поля частицы и катушки, соответственно, I - сила тока в катушке, l - расстояние от катушки до частицы, L - длина катушки, N - число витков в катушке, n - концентрация электронов, p_1 и p_2 - соответственно, давление поступающего в камеру газа и внутрикамерное давление, Q - выделяемая при рекомбинации атомов энергия, q - заряд частицы, R_n - радиус точки нахождения частицы относительно центра подложкодержателя, S_0 - быстрота откачки камеры, U - электрическое напряжение, v - скорость потока газа, v_m - скорость перемещения магнитного поля относительно частицы, $v_{\text{от}}$ - скорость обтекания частицы газовым потоком, x и y - координаты частицы, u_A - амплитуда колебаний подложки, α - угол наклона газового потока к поверхности, δ - толщина пограничного слоя потока газа, λ - длина волны лазерного излучения, μ_c и μ_m - соответственно, абсолютные магнитные проницаемости среды и материала частицы, μ_0 - магнитная постоянная, ν - частота колебаний, τ - длительность лазерного импульса, ω - угловая скорость вращения подложкодержателя, индекс "а" в выражении для расчета ударной силы относится к аэрозольным частицам.

Физические и математические модели, разработанные для описания способов реализации указанных силовых воздействий, позволили выделить

наиболее перспективные методы удаления микрочастиц: потоком напускаемого в камеру газа; потоком газа, несущим аэрозольные частицы, и воздействием на нерабочую зону поверхности импульсного лазерного излучения для возбуждения поверхностных акустических волн (ПАВ).

Уравнение, описывающее режимы реализации первых двух способов, имеет следующий вид:

$$p_2/p_1 = \left\{ 1 - \frac{v_{\infty}^2 (k-1) M}{2kRT \left(1 - \left[\frac{(y - R_0)/x + \operatorname{tg} \delta_c}{\operatorname{tg} \delta_c + \operatorname{tg} \delta_p} \right]^{1.5} \right)^4} \right\}^{k/(k-1)}, \quad (1)$$

где p_2/p_1 - отношение давления газа в камере к давлению напускаемого газа, v_{∞} - необходимая для отрыва частиц скорость газового потока вне пограничного слоя в точке с координатами нахождения частицы на одной из внутрикамерных поверхностей, рассчитываемая из условия отрыва микрочастицы, $\operatorname{tg} \delta_c$ и $\operatorname{tg} \delta_p$ - соответственно, тангенсы углов одностороннего сужения и расширения струи, y и x - координаты частицы относительно центра отверстия, через которое происходит напуск газа, R_0 - радиус этого отверстия, k - отношение теплоемкостей при постоянном давлении и объеме, R - универсальная газовая постоянная, T - температура, M - молярная масса газа.

Максимально возможное соотношение p_2/p_1 , необходимое для отрыва частиц, зависит от размера последних. При условии отсутствия затухания скорости газового потока, т.е. в предположении, что расстояние между очищаемой поверхностью и отверстием, через которое производится напуск газа, близко к 0, либо, что очищаемая область лежит на оси начального участка струи, величина p_2/p_1 принимает значения, представленные в таблице 2.

На величину внутрикамерного давления накладывается также ограничение, связанное с резким ростом адгезионного взаимодействия в высоком

вакууме, что обуславливает существование диапазона давления p_2 , соответствующего эффективному отрыву частиц (рис.3). В литературе содержатся противоречивые сведения о том, при каком давлении наблюдается увеличение адгезии, что обусловило необходимость экспериментальных исследований.

Таблица 2.
Режимы отрыва частиц потоком
напускаемого газа
(материал частиц - сталь 45,
поверхности - Si; газ - Ar, $p_2=10^3$ Па)

диаметр частиц	p_2/p_1
0,01 мкм	0,636
0,1 мкм	0,797
1 мкм	0,889
10 мкм	0,944
100 мкм	0,967

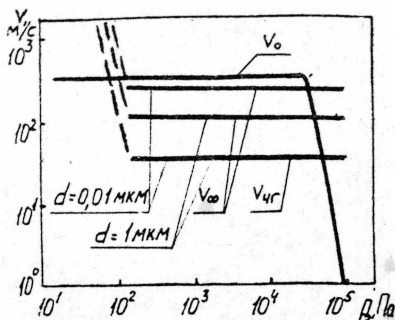


Рис.3. Зависимости необходимых для отрыва частицы от поверхности скоростей газового потока внутри $v_{ч}$ и вне пограничного слоя v_0 и скорости потока, обеспечиваемой при напуске, v_0 от давления в камере /давление поступающего газа - 10^5 Па, материал частицы - Fe, материал поверхности - Si/.

Условием, описывающим режимы отрыва частицы при наличии на очищаемой поверхности ПАВ, является выражение:

$$\tau_d = \frac{\pi \rho c_R d^3}{F_{ад} + P} \quad (2)$$

где τ_d - длительность акустического импульса, c_R - скорость распространения ПАВ в материале поверхности, d - диаметр частицы, $F_{ад}$ - сила ее адгезии к поверхности, P - вес частицы.

Для проверки аналитических зависимостей и уточнения режимов удаления МДЧ с поверхностей в вакууме были проведены экспериментальные исследования, представленные в 3^й главе. Их результаты (рис.4) подтвердили основные теоретические положения и показали, что наиболее рациональным для вакуумного технологического оборудования является способ, реализующий отрыв частиц потоком напускаемого в камеру газа. Подтверждены также зависимость возможности удаления МДЧ с поверхности от давления в вакуумной камере и наличие оптимального, с точки зрения эффективности удаления микрочастиц и расширения площади очищаемой поверхности, внутрикамерного давления, равного $10^3 \dots 10^4$ Па.

Эксперименты продемонстрировали возможность использования для создания внешней отрывающей силы электрических и магнитных полей в комплексе с более эффективными методами воздействия на удаляемые частицы, например, с газодинамическим.

Наибольшая эффективность удаления наблюдается также при соблюдении следующих режимов: температура поверхности $40^\circ \dots 100^\circ \text{C}$ (в зависимости от ее материала); заземлении очищаемой поверхности и ионизации окружающего газа при удалении частиц размером, большим 20 мкм; наклоне по-

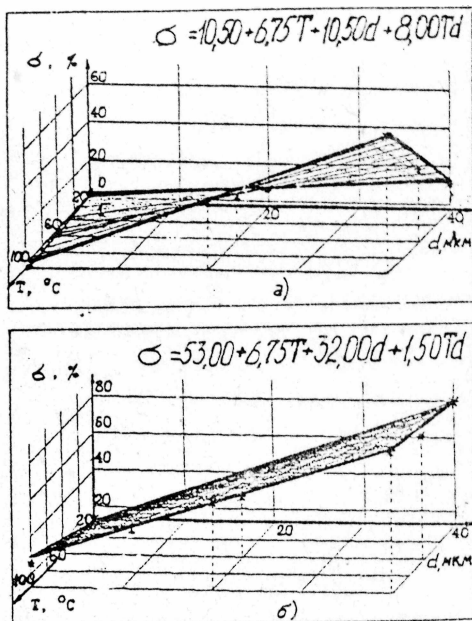


Рис.4. Зависимость эффективности удаления частиц σ от их размера и температуры поверхности при откачке /а/ и напуске /б/.

тока газа к поверхности под углом $45^{\circ} \dots 90^{\circ}$; Показано, что этим способом могут быть удалены, как относительно крупные МДЧ (20...100 мкм), так и частицы размером 1 мкм и меньше, отрыв которых вызывает наибольшие трудности.

В 4^й главе представлена методика расчета и выбора режимов работы и параметров конструкции устройств удаления МДЧ с обрабатываемых в ВТО поверхностей газодинамическим способом. Наличие такого устройства позволяет увеличить выход годной продукции за счет уменьшения уровня привносимой дефектности непосредственно перед обработкой поверхности изделия. Показано, что, например, для установки ионной имплантации "Везувий-13" этот показатель может быть увеличен на 23 %. Рассматриваемый метод уменьшения уровня привносимой дефектности возможно использовать для очистки разнообразных поверхностей, как в специальных вакуумных модулях, так и непосредственно в объемах камер, где производится их обработка. Доказательством служат примеры использования конструкций устройств удаления МДЧ с поверхностей полупроводниковых пластин в установке "Оратория 36/200" и отдельном модуле кластерной установки, а также с поверхностей оконных, автомобильных и т.п. стекол, на которые в вакуумной установке типа УВН-4М наносятся свето- и теплозащитные покрытия.

В первом случае в качестве элемента подачи газа, отрывающего частицы, используется заслонка, экранирующая поток распыляемого на изделие материала. Для этого она выполняется полой (рис.5а) и соединяется с системой напуска рабочего газа посредством полого вала. Натекание газа происходит через отверстия, находящиеся на обращенной к подложкодержателю стороне заслонки, в положении, когда последняя закрывает подложку от источника. На устройство для вакуумного нанесения тонких пленок, оснащенное указанной заслонкой, получено решение ВНИИПТЭ о выдаче патента на изобретение.

Если удаление частиц реализуется в специальном модуле, то напуск газа, срывающего частицы, производится через специальный патрубок (рис.5б). Его

форма обеспечивает продвижение к краям подложки оторванных частиц с тем, чтобы они могли быть удалены из модуля потоком откачиваемого газа.

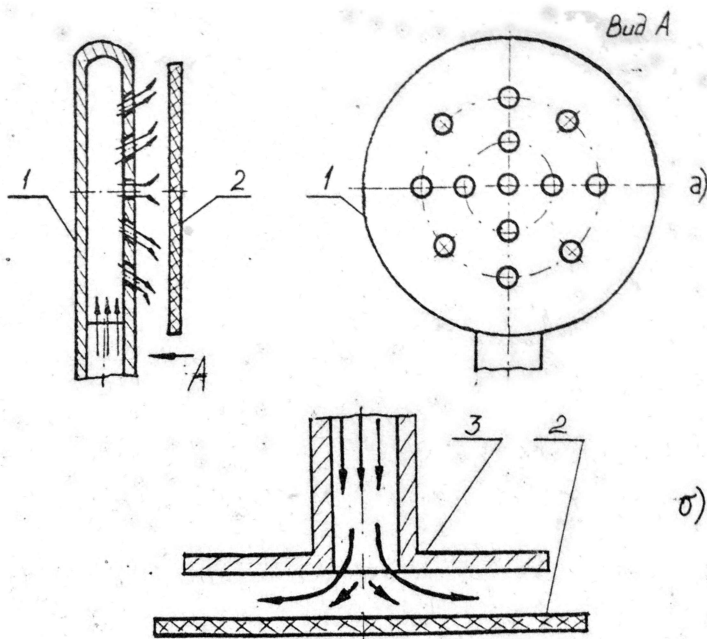


Рис.5. Схематичное изображение элементов подачи отрывающего частицы газа, выполненных в виде полрой заслонки (а) и патрубка специальной формы (б): 1 - заслонка, 2 - очищаемая поверхность, 3 - патрубок

Сложность, возникающая при конструировании устройства удаления МДЧ с поверхностей большой площади, например, оконных и автомобильных стекол, связана с необходимостью охвата газовым потоком всей подлежащей очистке от частиц поверхности. В этом случае в процессе очистки источник натекающего в камеру газа рекомендуется перемещать вдоль обрабатываемой поверхности.

По результатам работы сделаны следующие *основные выводы*:

1. Для увеличения выхода годных изделий, обрабатываемых в вакуумном технологическом оборудовании, необходимо непосредственно в вакуумной камере перед выполнением технологических операций провести процесс удаления с обрабатываемых поверхностей мелкодисперсных частиц с целью уменьшения доли привнесенной на поверхности дефектности.

2. Разработанные физическая и математическая модели процессов отрыва микрочастиц от поверхности могут быть рекомендованы, как инструмент для определения возможности и целесообразности применения операции уменьшения привнесенной дефектности обрабатываемых изделий.

3. На основе сравнительного анализа способов отрыва от поверхности МДЧ с размерами 0,01...100 мкм установлено, что для вакуумного технологического оборудования наиболее перспективным является газодинамический способ удаления микрочастиц.

4. Для реализации газодинамического способа удаления микрочастиц рекомендуется использовать процесс напуска газа в вакуумную камеру, осуществляемый одновременно с форвакуумной откачкой при отношении внутрикамерного давления к давлению поступающего в камеру газа меньшем или равном 0,633...0,967 (для частиц размером 0,01...100 мкм соответственно); давлении в камере $10^3 \dots 10^4$ Па; наклоне газового потока к обрабатываемой поверхности изделия под углом $45^\circ \dots 90^\circ$ и генерации колебаний внутрикамерной среды с частотой 30...300 кГц в случае необходимости использования для отрыва частиц сверхзвуковых скоростей газового потока.

5. Эффективность отрыва микрочастиц может быть увеличена за счет уменьшения силы их адгезии к поверхности, а именно - ликвидации электростатической составляющей путем ионизации газа и заземления поверхности и капиллярной составляющей путем нагрева поверхности до температуры $40^\circ \dots 100^\circ\text{C}$ (в зависимости от материала поверхности). Указанные меры

позволяют уменьшить адгезию мелких частиц (размером до 20 мкм) на 88%, а более крупных - на 95%.

6. Созданная методика расчета и выбора параметров устройств удаления микрочастиц в вакууме является универсальной и может быть использована для конструирования и расчета режимов работы указанных устройств на основе требований оборудования вне зависимости от материала, размеров, назначения изделий и природы находящихся на них частиц.

7. Для повышения выхода годной продукции рекомендуется использовать устройства, аналогичные переданным на промышленные предприятия: АО НИИТМ - устройство удаления МДЧ с поверхности полупроводниковых пластин диаметром 150 - 200 мм, ГНИИВТ им. С.А.Векшинского - устройство удаления микрочастиц с поверхности стекол размером 1300 - 1600 мм. Разработанный экспериментальный стенд может быть использован в учебном процессе студентами специальности "Электронное машиностроение" и смежных с ней.

Основные положения диссертации опубликованы в работах:

1. Бойков Д.О., Булыгина Е.В., Панфилов Ю.В. Обзор методов удаления мелкодисперсных частиц с поверхности полупроводниковых пластин в вакууме // Достижения и перспективы технологической экологии микроэлектроники в чистых производственных помещениях: Сборник докладов. - М., 1992. - С. 103-111.

2. Булыгина Е.В., Панфилов Ю.В. Анализ методов удаления микрочастиц с поверхностей полупроводниковых пластин в вакууме // Тонкие пленки в электронике: Материалы 5 Научно-технической Конференции. - М.-Йошкар-Ола, 1994. - С. 106-108.

3. Панфилов Ю.В., Булыгина Е.В. Влияние технологических факторов на процесс отрыва привнесенных микрочастиц от поверхности полупроводниковых пластин в вакууме // Тонкие пленки в электронике: Материалы 6 Международного Симпозиума. - М.-Киев-Херсон, 1995. - С. 96-98.

4. Панфилов Ю.В., Булыгина Е.В. Расчет и моделирование газовых потоков с целью очистки полупроводниковых пластин в вакууме // Вакуумная наука и техника: Тезисы докладов научно-технической конференции. - Гурзуф, 1995. - С. 98.

5. Булыгина Е.В. Экспериментальные исследования удаления микрочастиц с поверхностей подложек в вакууме // Тонкие пленки в электронике: Материалы 7 международного симпозиума. - М.- Йошкар-Ола, 1996. - С. 312-314.

6. Панфилов Ю.В., Одинокое В.В., Булыгина Е.В. Устройство для вакуумного нанесения тонких пленок с предварительным уменьшением уровня привносимой дефектности подложек // Тонкие пленки в электронике: Материалы международного симпозиума. - М.- Харьков, 1997. - С. 468-469.

7. Булыгина Е.В., Панфилов Ю.В. Система контроля микрочастиц при их удалении с поверхностей в вакууме // Датчики и преобразователи информации систем измерения, контроля и управления: Тезисы всероссийской научно-технической конференции с участием зарубежных специалистов. - Гурзуф, 1997. - С. 389-391.

8. Панфилов Ю.В., Булыгина Е.В., Одинокое В.В. Уменьшение уровня привносимой дефектности изделий в конструкциях, реализующих газодинамический метод удаления микрочастиц с поверхностей в вакууме // Высокие технологии в промышленности России: Материалы 2 российской конференции с участием зарубежных специалистов. - Москва, 1997. - С. 258-264.

Подписано к печати _____ г. Зак. 144 _____ объем 1,0 п.л. Тир. 100
Типография МГТУ им. Н.Э.Баумана