

2.1.2. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2. ТЛЕЮЩИЙ РАЗРЯД В ВАКУУМЕ

Цель лабораторной работы: изучение влияния параметров обработки плазмой тлеющего разряда на состояние поверхности подложки.

Задание по лабораторной работе

1. Ознакомиться с физическими основами процесса формирования газоразрядной плазмы.
2. Ознакомиться с конструкцией и принципом работы вакуумной лабораторной установки.
3. Провести обработку образцов при различных параметрах тлеющего разряда.
4. Исследовать состояние поверхности путем проведения измерений краевого угла смачивания.
5. Проанализировать полученные данные, сделать краткие выводы по лабораторной работе.
6. Подготовить отчет и представить его к защите.

Теоретическая часть

При производстве приборов, их составных частей и изделий микроэлектроники одним из первых этапов технологического маршрута является подготовка поверхности изделия. От чистоты поверхности зависит адгезионная прочность наносимого покрытия. Адгезия (лат. *adhaesio* — прилипание, сцепление, притяжение) — поверхностное явление, которое заключается в образовании механической прочности при контакте поверхностей двух разных тел (конденсированных фаз). Адгезия обусловлена молекулярным притяжением контактирующих фаз или их химическим взаимодействием. Адгезия влияет на работоспособность и срок службы приборов.

Виды загрязнений

Для определения режимов очистки поверхности необходимо понимать, с какими видами возможных загрязнений сталкиваются в производстве.

Основными типами загрязнений и их источниками являются:

- волокна (нейлон, целлюлоза и т. д.): одежда, ткани, бумажные изделия;
- силикаты: горные породы, песок, почва, зола, пепел;
- оксиды и окалина: продукты окисления некоторых металлов;
- масла и жиры: масла от машинной обработки, отпечатки пальцев, жиры с открытых участков тела, средства для волос, мази, лосьоны;
- силиконы: аэрозоли для волос, кремы, лосьоны после бритья, лосьоны для рук, мыло;

– металлы: порошки и отходы машинной обработки и шлифовки, частицы из металлических контейнеров для хранения;

– ионные примеси: продукты дыхания, отпечатки пальцев (хлорид натрия), примеси из очищающих растворов, некоторые флюсы, примеси от химических операций;

– неионные примеси: неионные детергенты, органические материалы для обработки;

– растворимые примеси: очищающие растворители и растворы.

Распределение основных источников микрочастиц пыли на производстве представлено на рис. 2.3.

Методы очистки

В соответствии с применяемыми средствами очистку подразделяют на жидкостную и сухую. Классификация методов очистки пластин и подложек приведена на рис. 2.4.

Жидкостная очистка выполняется органическими растворителями, разнообразными составами, содержащими щелочи, кислоты, пероксид и другие реактивы. Подобрать жидкое средство, которое одновременно удаляет все поверхностные загрязнения, практически невозможно, поэтому жидкостная

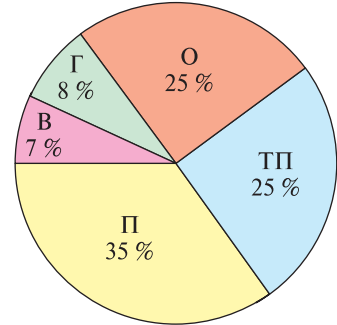


Рис. 2.3. Распределение основных источников микрочастиц пыли:

П — обслуживающий персонал; ТП — технологический процесс; О — оборудование, оснастка, средства автоматизации; Г — газы и химикаты; В — воздушная среда

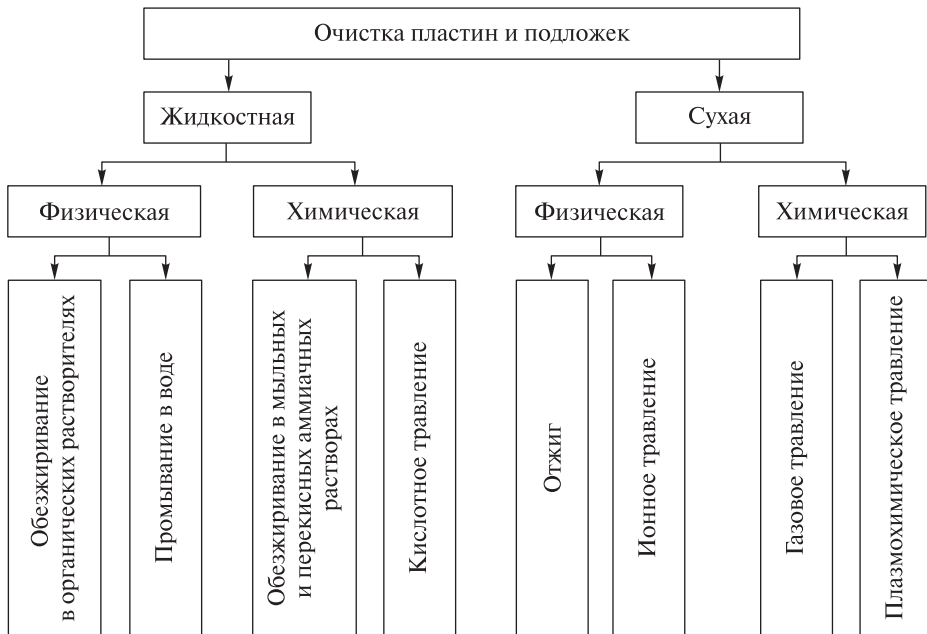


Рис. 2.4. Классификация методов очистки пластин и подложек

очистка включает в себя ряд последовательных операций. После жидкостной очистки на поверхности остаются капли жидкости, которые при высыхании образуют видимые пятна, изменяющие свойства формируемого покрытия. Во избежание этого капли после очистки следует сдувать струей воздуха или удалять центрифугированием, что усложняет процесс.

Эффективным способом очистки является травление, поскольку происходит удаление приповерхностного слоя материала, в котором обычно присутствуют соединения от взаимодействия с окружающей средой. Химическое травление предусматривает разрушение загрязнений или поверхностного слоя очищаемого объекта в результате химических реакций в растворе травителя. Недостатком жидкостного травления является наличие механически нарушенного слоя и вероятность наличия микропримесей после очистки.

Чистыми методами травления являются ионное, газовое и плазмохимическое травление. Эти методы относятся к сухой очистке. По сравнению с жидкостной очисткой сухая является менее трудозатратной и более прецизионной, поскольку очистка идет на молекулярном уровне.

Ионное травление (ИТ) — процесс очистки распылением слоя вещества с находящимися на его поверхности загрязнениями и адсорбированными газами. Травление выполняют в вакуумных установках путем бомбардировки пластин или подложек ускоренными положительными ионами инертных газов. Этот метод травления является наиболее универсальным методом очистки по сравнению с химическими методами травления, поскольку позволяет очищать подложки от загрязнений любого вида и травить поверхности любых материалов. К недостаткам ионного травления следует отнести низкие скорости травления (0,1...1 нм/с), значительные тепловые воздействия, вызывающие разрушения контактных масок, деградацию электрофизических параметров структур и необходимость охлаждения изделий при травлении.

Метод контроля чистоты

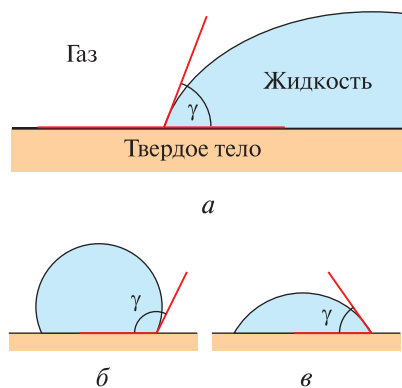


Рис. 2.5. Краевой угол смачивания γ (а), смачивание гидрофобной (б) и гидрофильной (в) поверхностей каплей воды

Оценка качества чистоты поверхности проводится измерением краевого угла смачивания. Краевым углом смачивания называется угол, который образует капля жидкости на поверхности твердого вещества к данной поверхности (рис. 2.5). Размер краевого угла между жидкостью и твердым веществом зависит от взаимодействия между веществами на контактной поверхности. Если взаимодействие незначительно, то такие поверхности обладают гидрофобными свойствами и большим краевым углом смачивания. Чем больше краевой угол, тем труднее смочить поверхность и тем меньше приставание чужеродных веществ к поверхности, следовательно адгезия покрытий к такой поверхности будет

низкой. В процессе очистки размер краевого угла уменьшается, поверхность приобретает гидрофильные свойства, адгезия покрытий к очищенным поверхностям повышается. Таким образом, чем меньше краевой угол смачивания, тем чище поверхность.

Описание лабораторного оборудования

При проведении лабораторной работы осуществляется ионная очистка стеклянных подложек в высокочастотной плазме низкого давления в среде аргона на специальном лабораторном стенде (рис. 2.6).

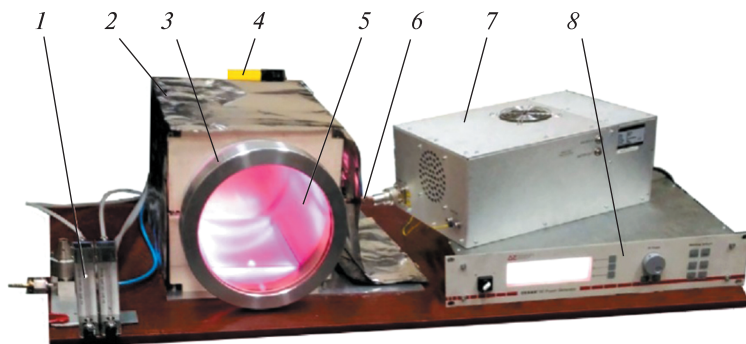


Рис. 2.6. Лабораторный стенд плазменной очистки

1 — ротаметр; 2 — экран; 3 — крышка; 4 — датчик давления; 5 — рабочая камера с внешними электродами; 6 — кабель для подключения ВЧ-генератора; 7 — согласующее устройство; 8 — ВЧ-генератор

Технические характеристики лабораторного стенда

| | |
|--------------------------------|------------------|
| Объем рабочей камеры, л | 11,7 |
| Размер камеры, мм | ∅235×300 |
| Материал камеры | Кварцевое стекло |
| Мощность, макс, Вт | 200 Вт |
| Частота, МГц | 13,56 |
| Количество рабочих газов | 2 |

Откачка камеры проводится со стороны задней стенки. На задней стенке расположен датчик давления, диапазон измерения которого $1,0 \cdot 10^5 \dots 1,0 \cdot 10^{-4}$ Торр. Остаточное давление камеры варьируется в диапазоне 20...30 мТорр. Через коаксиальный кабель коммутируются внешние электроды и ВЧ-генератор с согласующим устройством, которое предотвращает потерю мощности. Генерация плазмы в камере осуществляется за счет подачи напряжения питания на внешние электроды. В качестве рабочего газа используется аргон. Схема лабораторного стенда представлена на рис. 2.7.

Измерение краевого угла смачивания осуществляется на специальном приборе — гониометре.

Гониометр ЛК-1 (рис. 2.8) позволяет получать изображение лежащей на подложке капли с помощью цифровой видеокамеры, экспортировать

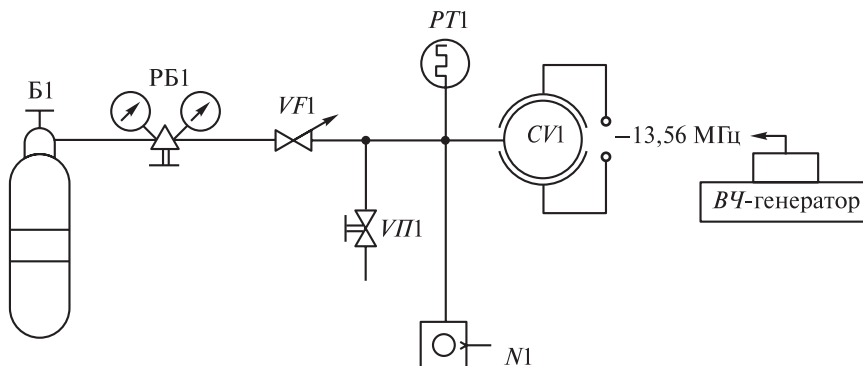


Рис. 2.7. Схема лабораторного стенда:

Б1 — баллон с рабочим газом; РБ1 — баллонный редуктор; VF1 — ротаметр; ВП1 — клапан напуска атмосферы; PT1 — датчик давления; CV1 — рабочая камера; N1 — спиральный насос; СУ — система управления

изображение в компьютер, определить краевой угол смачивания методом касательной и на основе описания формы контура капли уравнением Лапласа.

Исследуемую подложку помещают на специальный горизонтальный столик, который закреплен на препаратоводителе. На подложке микрошприцом

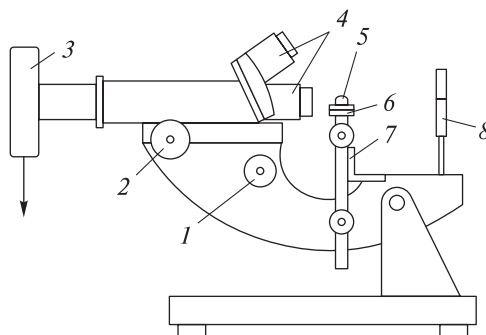


Рис. 2.8. Схема гониометра ЛК-1:

1, 2 — ручки регулировки точной и грубой фокусировки; 3 — видеоокуляр; 4 — объективы; 5 — капля на подложке; 6 — столик; 7 — препаратоводитель; 8 — зеркало

формируются каплю воды определенного размера. Препаратоводитель позволяет перемещать подложку в горизонтальной и вертикальной плоскости так, чтобы изображение капли на подложке располагалось по центру в поле зрения. Фокусировка проводится горизонтальной подачей в режиме непрерывной передачи изображения капли на экран ПК с помощью видеоокуляра. При этом используется объектив с четырехкратным увеличением, подсветка капли оптимизируется вращением зеркала.

Измерение краевого угла смачивания

Последовательность действий при измерении краевого угла смачивания:

1. Подготовить подложку и микрошприц с дистиллированной водой.
2. С рабочего стола компьютера запустить программу **DropShape**.
3. В открывшейся программе создать новый файл (меню **Файл**→**Создать**).
4. Активировать модуль захвата изображений с камеры (меню **Файл**→**Захват**).

5. В появившемся окне **Захват изображения** указать путь сохранения изображений каплей, выбрать устройство захвата **UCMOS01300KPA**, разрешение кадра **1280×1024 RGB** (выставляется автоматически). Возникает изображение с видеоокуляра.

6. Поместить подложку (образец) на столик препаратоводителя.

7. Отрегулировать зеркало так, чтобы добиться максимально равномерного освещения объектива.

8. Вращая подачи препаратоводителя, установить подложку в нижней части кадра.

9. При необходимости отрегулировать горизонтальность положения камеры. Для этого повернуть камеру так, чтобы изображение подложки было горизонтально.

10. Поместить каплю исследуемой жидкости на подложку с помощью дозиметра. Объем капли должен быть 4...10 мкл (выбранный объем капли соблюдать во всей проводимой серии измерений).

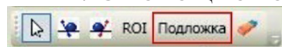
11. Сфокусировать микроскоп на каплю, используя грубую и точную настройку, с помощью ручек регулировки. При необходимости отрегулировать положение капли и освещение зеркалом.

12. Нажать кнопку **Захват**, при этом изображение появится слева в основном окне программы.

Примечание: желательно выполнять пункты 11, 12 как можно быстро, так как помещенная на подложку капля быстро высыхает.

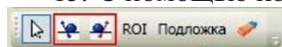
13. После захвата изображения можно приступить к измерению краевого угла смачивания. В основном окне программы кликнуть изображение для обработки. Оно появится справа, в основной части окна.

14. С помощью команды **Подложка** на панели графических инструментов



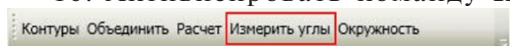
указать положение подложки на изображении. Для этого кликнуть мышью в точку пересечения подложки и контура капли слева и, удерживая левую клавишу мыши, провести отрезок до правой точки пересечения. При необходимости полученный отрезок можно отредактировать.

15. С помощью команд **Левый контактный угол** и **Правый контактный угол**




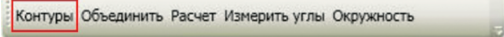

провести касательные к профилю капли в точке пересечения профиля с подложкой слева и справа соответственно.

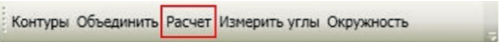
16. Активизировать команду **Измерить углы** на панели команд



В нижней части основного окна программы появятся значения краевых углов слева и справа, а также среднего краевого угла.

17. Для автоматического определения краевого угла по контуру капли, проведенному на основании уравнения Лапласа, необходимо распознать положение контура капли. Для этого командой **ROI** на панели графических инструментов  выделить участок изображения, содержащий каплю и подложку. По возможности исключить неоднородно освещенные участки фона.

18. Активировать команду **Контур** на панели команд . При плохом качестве распознавания контура удалить ненужные контуры клавишей **Del** и ненужные фрагменты контуров с помощью команды **Ластик** на панели графических инструментов .

19. Для расчета угла по контуру капли активировать команду **Расчет** на панели команд. Рассчитанный краевой угол появится в нижней части основного окна .

20. Результаты обработки могут быть сохранены и заново открыты в основном окне программы (меню **Файл**→**Сохранить** и **Файл**→**Открыть**).

Для каждого образца необходимо провести по три измерения, записать результаты значений краевого угла в таблицу и рассчитать среднее значение краевого угла смачивания.

Ионно-плазменная обработка образцов

Последовательность действий при очистке образцов:

1. Загрузить подложку в камеру.
 2. Закрывать и придерживать крышку камеры.
 3. Включить откачку камеры и отпустить крышку.
 4. Достичь остаточного давления 20...40 мТорр.
 5. Вращать ручку ротаметра до достижения давления 250 мТорр.
 6. Включить питание ВЧ-генератора.
 7. Выставить необходимую мощность.
 8. Включить автоматическую настройку согласующего устройства, нажав на кнопку Auto.
 9. Нажать на кнопку On.
 10. Провести обработку в течение определенного времени.
 11. Нажать на кнопку Off.
 12. Вращать ручку ротаметра до закрытия подачи рабочего газа.
 13. Выключить откачку камеры.
 14. Открыть клапан напуска атмосферы.
 15. Выгрузить образец.
- Повторить действия 1–5 и 9–15 для остальных образцов.

Контрольные вопросы

1. Основным источником пыли в чистых производственных помещениях является:

- а) персонал;
- б) оборудование;
- в) технологический процесс.

2. Очистка подложек в плазме газового разряда относится к группе методов:

- а) сухой очистки;
- б) жидкостной очистки;
- в) механической очистки.

3. При каком давлении происходит плазменная очистка подложек?

- а) при пониженном давлении (в вакууме);
- б) при атмосферном давлении;
- в) при давлении выше атмосферного.