

**РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ОЧИСТКИ ПОДЛОЖЕК
ИНТЕГРАЛЬНЫХ МИКРОСХЕМ И ПОВЕРХНОСТЕЙ
ВАКУУМНЫХ ПРИБОРОВ ОТ БЫТОВЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ**

Разработчик:

Бабанский Никита Иванович

Ученик 9 М класса

Школы № 1601 имени Героя Советского Союза Е.К. Лютикова

Руководители:

Строев М. А., учитель химии

Школы № 1601 имени Героя Советского Союза Е.К. Лютикова

Морозов А.В., к.ф.-м.н., доцент кафедры физики

РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева

Москва, 2023 г.

Содержание

Введение.....	3
ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ	5
Возможные загрязнители	5
Средства очистки	6
Способы жидкостной очистки пластин и подложек	6
Способы сухой очистки пластин и подложек	7
ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ	8
Маршрут очистки.....	8
Реакции протекающие на подложке	8
Методика контроля качества	9
Выводы	10
Список литературы	11
Приложения.....	12

Введение

Актуальность: Несмотря на то, что производство современной электроники ведётся в особо чистых условиях, на полупроводниковых пластинах возникают загрязнения, связанные как с атмосферой производственного помещения, так и в результате технологических операций или человеческого фактора. Однако при проведении исследований в лабораториях далеко не всегда возможно обеспечить аналогичные производству условия. В лабораторных условиях, при проведении исследований, количество загрязнений может возрасти в разы, что может привести как к высокому проценту брака, так и к отклонениям при измерении параметров исследуемых подложек. Таким образом, особую важность приобретает процесс очистки поверхности подложек от внешних загрязнителей как перед проведением каких-либо технологических процессов, так и при выполнении измерений. Химическая обработка полупроводниковых пластин является очень важной в процессе производства интегральных микросхем различного назначения. Результаты подготовки подложек оказывают решающее влияние на получение различных структур и микроэлектронных изделий на их основе.

В зависимости от сложности получаемых изделий операции очистки поверхности подложек занимают до трети общего количества всех технологических этапов изготовления полупроводниковых изделий. Степень очистки оказывает непосредственное влияние на качество продукции, поэтому все больше микроэлектронных компаний прилагают усилия в этом направлении.

Цель: Разработка технологии процесса очистки поверхности подложек интегральных микросхем и вакуумных приборов от бытовых загрязнений, возникающих в процессе эксплуатации данных приборов и материалов. Предложить методику оценки качества очистки поверхности, позволяющую определять уровень очистки бесконтактным методом.

Задачи:

- 1) Изучить природу возможных загрязнителей, их химический состав и взаимодействие с другими химическими веществами.
- 2) Определить, какие химические вещества могут быть использованы для очистки поверхностей, с учётом того, что для интегральных микросхем и поверхностей вакуумных приборов недопустимо механическое повреждение поверхности при очистке.
- 3) Провести сравнительный анализ веществ и выбрать несколько вариантов технологического процесса очистки поверхности.
- 4) Предложить технологический маршрут очистки поверхности полупроводниковых пластин и поверхностей стенок вакуумных приборов от загрязнений.
- 5) Изучить и предложить методику контроля качества результата очистки поверхности изучаемых образцов.
- 6) Описать химические процессы, протекающие на поверхности образца при очистке.
- 7) Выполнить очистку пробной партии образцов и продемонстрировать работоспособность разработанного технологического маршрута.

Объект: Подложки, интегральные микросхемы, вакуумные приборы.

Предмет: Способы очистки поверхности подложек, интегральных микросхем, вакуумных приборов.

Методы и технологии: сравнение, анализ, синтез, эксперимент.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Возможные загрязнители

Загрязнения можно разделить на несколько групп по их физико-химическим свойствам и методам удаления.

Физические загрязнения – пылинки, ворсинки, абразивные материалы, силикаты, кремниевая пыль и другие посторонние частицы, химически не связанные с поверхностью пластин и подложек.

Загрязнения, *химически* связанные с поверхностью пластин и подложек – оксиды, нитриды и другие соединения.

Органические загрязнения – неполярные жиры, масла, силиконы и др.

Газы, адсорбированные поверхностью пластин и подложек.

Растворимые в воде *полярные загрязнения* – соли, кислоты, флюсы и пр.

№	Природа загрязнения	Примеры загрязнителей	Состав загрязнителей	Взаимодействие
1	Физические	Пылинки, ворсинки, кремниевая пыль	Мелкие частицы, не взаимодействующие с поверхностью подложки	Можно удалить сильным напором жидкости или газа
2	Химические	Оксиды, и прочие соединения	Слой, взаимодействующий с поверхностью подложки	Можно удалить кислотами
3	Органические	Жиры, масла	Тонкая плёнка на поверхности	Можно удалить спиртосодержащими средствами
4	Газы	Многие летучие соединения	Накапливается на поверхности	Можно удалить сильным напором жидкости или газа
5	Полярные загрязнения	Соли, кислоты	Накапливаются на поверхности	Можно удалить сильным напором жидкости или газа

Вывод: каждый тип загрязнения взаимодействует и удаляется с поверхности по-разному.

Средства очистки

Способы очистки так же делятся на физические и химические по механизму протекания процессов и по применяемым средствам на сухие и жидкие.

К *физическим методам* удаления загрязнений относят растворение, отжиг. Эти методы используют для удаления загрязнений, расположенных на поверхности.

Химические методы - для удаления загрязнений на поверхности и в приповерхностном слое, в том числе тех, которые находятся в химической связи с материалом пластины или подложки. Они основаны на переводе путем химической реакции загрязнений в новые соединения, которые затем легко удаляются.

Жидкостная очистка предусматривает использование растворов различных реактивов. Ряд органических жировых загрязнений не растворяется в воде и препятствует смачиванию водой и большинством растворов обрабатываемой поверхности (поверхность гидрофобная). Для обеспечения хорошей очистки поверхность пластин и подложек переводят в гидрофильное, т. е. хорошо смачиваемое водой, состояние (обезжиривают).

Сухая очистка основана на использовании отжига. Этот способ исключает применение дорогостоящих и опасных в работе жидких химических реактивов; он более управляем и легче поддается автоматизации.

В основу очистки положен один из 3 методов:

- ✓ Механическое удаление частиц потоком воды или газа.
- ✓ Растворение в воде.
- ✓ Химическая реакция.

Способы жидкостной очистки пластин и подложек

Процесс травления пластин и подложек состоит в растворении их поверхности при взаимодействии с соответствующими химическими

реагентами (щелочами, кислотами, их смесями и солями). В результате удаляются приповерхностный слой и имеющиеся на поверхности загрязнения.

Физическое обезжиривание основано на отрыве молекул жира от поверхности при ее взаимодействии с растворителями. Отрыв вызывается собственными колебаниями молекул жира и притяжением их молекулами растворителя. Для этого пластины погружают в резервуар с растворителем. После отрыва молекулы жира равномерно распределяются по всему объему ванны, что приводит к загрязнению растворителя и обратному процессу – адсорбции молекул жира очищенной поверхностью. Во избежание последнего требуется постоянное освежение растворителя.

На различных этапах изготовления производят неоднократно промывание пластин и подложек. Для промывания применяют дистиллированную воду. Промывание обязательно производится после обезжиривания и травления. Его назначение – удаление остатков загрязнений, продуктов реакции и остатков реагентов.

Способы сухой очистки пластин и подложек

Назначение термообработки состоит в нагреве пластины или подложки до температуры, при которой происходят удаление адсорбированных поверхностью загрязнений, разложение поверхностных загрязнений и испарение летучих соединений.

№	Природа загрязнения	Загрязняющее вещество	Тип очистки	Химические вещества для очистки
1	Химические	Оксиды	Травление	Серная кислота
2	Органические	Жиры	Обезжиривание	Спирт
3	Смешанные	Остатки реакций	Промывание	Перекись водорода
4	Химические	Остатки жидкости	Термообработка	Духовой шкаф
5	Полярные загрязнения	Соли	Промывание	Средства с высоким содержанием ПАВ

Вывод: Разобрав всевозможные загрязнения и способы их очистки, мы можем подобрать необходимые очистители.

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Из предложенных материалов, нам понадобятся: пинцет, набор стеклянных стаканов, духовой шкаф, лабораторная плитка, ультразвуковая ванна, образцы полупроводниковых пластин, серная кислота, перекись водорода, спирт. Эксперимент №1 проведен на примере лабораторных стекол, №2 – на примере интегральной микросхемы (Приложение 1).

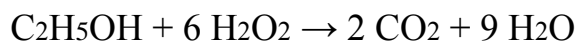
Спирт понадобится для обезжиривания поверхности, серная кислота для травления, перекись водорода для очистки плат и подложек после данных процессов. Духовой шкаф, для просушки образцов после вышеперечисленных операций.

Маршрут очистки

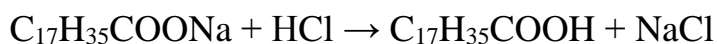
1. Обезжиривание нагретым спиртом 60-70 градусов.
2. Промывание перекисью водорода (удаление продуктов реакции).
3. Травление нагретой соляной кислотой 30-40 градусов (удаление ионов металла) в ультразвуковой ванне.
4. Промывание химическими элементами с высоким содержанием ПАВ (удаление остатков кислоты).
5. Сушка в духовом шкафу.

Реакции протекающие на подложке

При взаимодействии спирта (C_2H_5OH) и перекиси водорода (H_2O_2) выделяется углекислый газ (CO_2) и вода (H_2O), происходит реакция обмена.



При реакции соляной кислоты (HCl) и веществ с высоким содержанием ПАВ (такие как мыльный раствор), образуется соль ($NaCl$) и осадок ($C_{17}H_{35}COOH$ - стеариновая кислота)



Методика контроля качества

Предварительно контроль качества можно провести *методом капли*. Он основан на том, что очищенная поверхность хорошо смачивается водой, из-за чего капля будет хорошо растекаться на ней. Если же капля не растекается, то поверхность очищена плохо.

Загрязнения можно выявить в светлом или тёмном поле микроскопа.

Люминесцентный метод: используя ультрафиолет можно выявить органические загрязнения, органических плёнок и других загрязнений (Приложение 2).

Выводы

По итогам проекта:

- 1) Выявили природу и возможные загрязнения, появляющиеся на интегральных микросхемах и поверхностях вакуумных приборов в процессе производства.
- 2) Провели сравнительный выбор подходящих веществ и составили технологический маршрут очистки поверхности от загрязнений.
- 3) Выполнили очистку пробной партии, рассмотрели и описали реакции, проходящие на поверхности во время очистки.
- 4) Предложили методику контроля качества очистки.

В данной работе мы показали один из технологических маршрутов. У каждого маршрута есть свои плюсы и минусы и продолжая изучать эту тематику можно продолжать совершенствовать рациональные пути очистки подложек интегральных микросхем и поверхностей вакуумных приборов от бытовых загрязнений.

Используя комбинированные методы очистки и подбирая технологический процесс с учетом физико-химических свойств загрязнителей возможно добиться высокого качества результатов очистки интегральных микросхем и вакуумных приборов от бытовых загрязнений, что позволит улучшить технические параметры и продолжительность работы оборудования

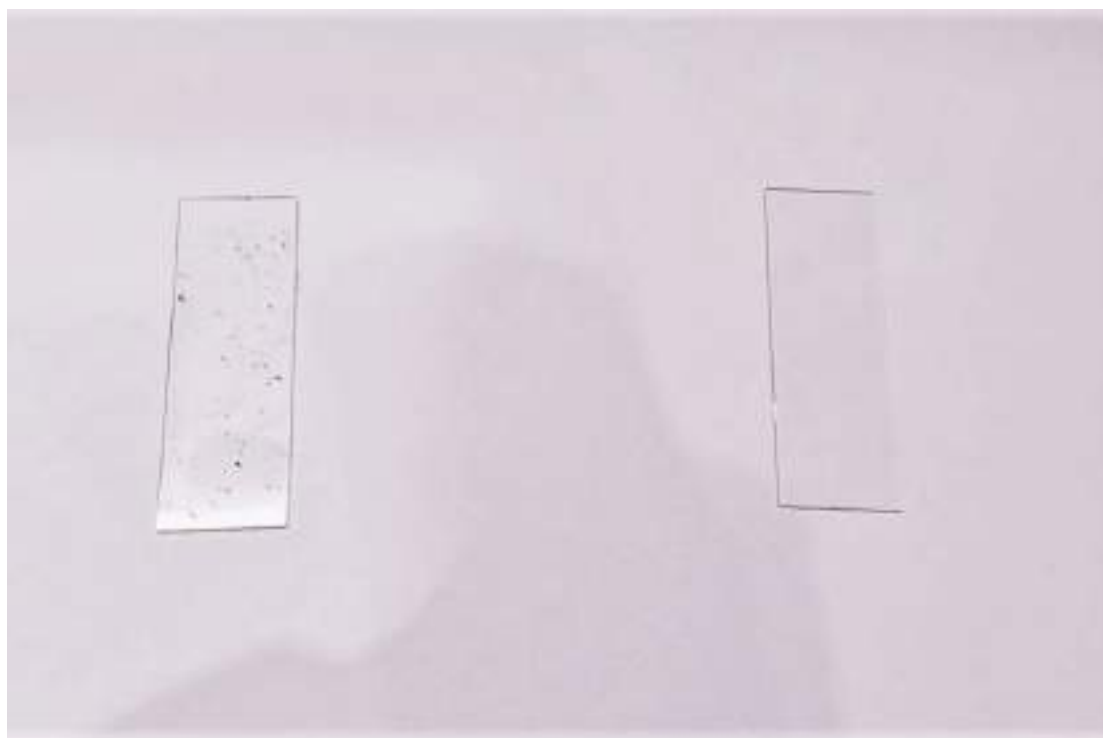
Список литературы

1. Березин, А.С., Мочалкина, О.Р. Технология и конструирование интегральных микросхем: учеб. пособие для ВУЗов / Под ред. И.П. Степаненко. – М.: Радио и связь, 1983. – 232 с.
2. Ефимов, И.Е., Козырь, И.Я., Горбунов, Ю.И. Микроэлектроника: учеб. пособие для ВУЗов / И.Е. Ефимов, И.Я. Козырь, Ю.И. Горбунов. – М.: «Высшая школа», 1986. – 464с.
3. Могэб, К., Фрейзер, Д., Фитчтнер, У. и др. Технология СБИС / Под редакцией С. Зи. - М.: «Мир», 1986. – 453с.
4. Калугин, В.В. Исследование и разработка процессов подготовки поверхности кремниевых пластин при изготовлении структур кремний на изоляторе: дисс. канд. техн. наук: 05.27.06 технология и оборудование для производства полупроводников, материалов и приборов электронной техники / В.В. Калугин. - М., 2001. – 186 с.
5. Красников, Г.Я., Зайцев, Н.А. Физико-технологические основы обеспечения качества СБИС / Г.Я. Красников, Н.А. Зайцев. - М.: «Микрон-принт», 1999. – 226с.
6. Прокопьев, Е.П., Тимошенков, С.П., Суворов, А.Л. и др. Особенности технологии изготовления КНИ структур прямым сращиванием пластин кремния и контроля их качества / Е.П. Прокопьев, С.П. Тимошенков, А.Л. Суворов // Институт теоретической и экспериментальной физики, 2000. №1. – С. 8-25.
7. Шангереева, Б.А., Муртазалиев, А.И., Шангереев, Ю.П. Способ очистки поверхности кремниевых пластин для изготовления мощных транзисторов // Б.А. Шангереева, А.И. Муртазалиев, Ю.П. Шангереев / Инновационная наука. - 2015. - №11. - 133-135.
8. Patrick, R., Baldwin, S., Williams, N. Closed-loop bias voltage control for plasma etching // R. Patrick, S. Baldwin, N. Williams / Solid state technology. - 2000. - V. 43. - № 2. - P.59 – 66.
9. Osborne, N., Rust, W., Laser, A. Understanding ion induced damage // N. Osborne, W. Rust, A. Laser / Semiconductor European. - 2000. - V. 22. - № 7. - P. 21 – 23.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Эксперимент №1 на примере лабораторных стекол

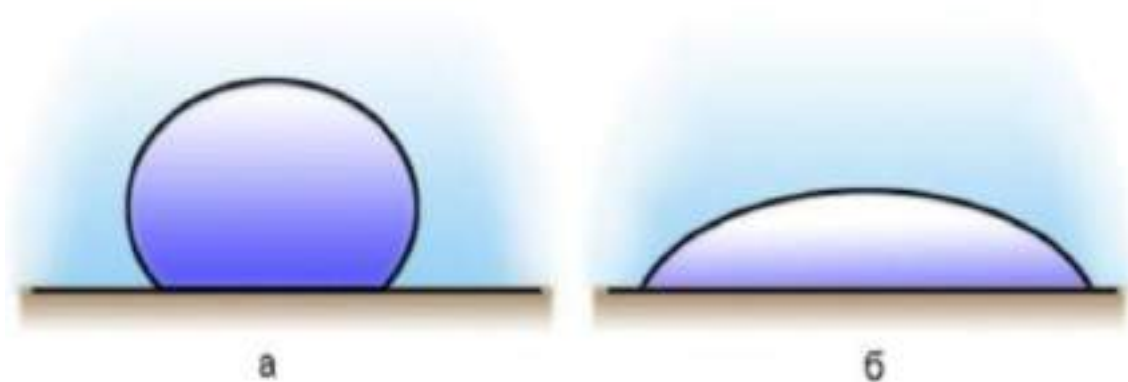


Эксперимент №2 на примере интегральной микросхемы



Приложение 2

Метод капли для контроля качества результата очистки



Люминисцентный метод для контроля качества результата очистки

