

УДК 621.79.024.6

ОТРАБОТКА РЕЖИМОВ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОЧИСТКИ ПОДЛОЖЕК ПО КРИТЕРИЮ УГЛА

Юлия Сергеевна Макарова⁽¹⁾, Денис Дмитриевич Васильев⁽²⁾

*Студент 4 курса⁽¹⁾, студент 6 курса,⁽²⁾
кафедра «Электронные технологии в машиностроении»
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: К.М. Моисеев,
кандидат технических наук, доцент кафедры «Электронные технологии в машиностроении»*

Введение

Необходимым условием получения изделий высокого качества и точности является четкое выполнение всех операций при его производстве. Относительно технологий микроэлектроники все требования принимают особо важный характер. Помимо необходимости поддержания чистоты помещения при производстве микроэлектронных устройств, также необходимо уделять немалое внимание к предварительной подготовке их оснований, т.е. подложек.

Чистота поверхности подложек играет огромную роль при изготовлении устройств микроэлектроники. Во время производственного процесса наличие на поверхности пластины разного рода загрязнений неизбежно, что препятствует получению высокой адгезионной прочности наносимого покрытия.

Возникающие выше перечисленные трудности, появляющиеся в связи с недостаточной степенью чистоты поверхности подложки, могут быть предотвращены различными методами предварительной подготовки подложек. Существует немало методов очистки полупроводниковых пластин, поэтому важной задачей является определить наиболее технологичный из них. Данная работа посвящена исследованию наиболее распространенных способов очистки подложек и выявлению наиболее эффективного из них.

Предварительная жидкостная очистка подложек

Как известно, покрытия на ситалле, в частности медь, имеют достаточно малую адгезионную прочность. Но ситалл с напыленным медным покрытием широко применяется для СВЧ приборов, поэтому важной задачей является обеспечить высокую адгезию меди к ситаллу. При решении этой задачи необходимо обращать внимание на множество факторов, в том числе и на чистоту поверхности.

Жидкостная очистка (далее ЖО) выполняется органическими растворителями; разнообразными составами, содержащими щелочи, кислоты, пероксид и другие реактивы, водой. Для равномерной очистки поверхность подложек (пластин) необходимо перевести в гидрофильное, то есть хорошо смачиваемое водой, состояние. Операция удаления жировых загрязнений, сопровождаемая переводом поверхности из гидрофобного в гидрофильное состояние, называется обезжириванием [1].

Обезжиривание (отмывка) в органических растворителях применяется для удаления с поверхности пластин (подложек) жиров животного и растительного происхождения, минеральных масел, смазок, воска, парафина и других органических и механических загрязнений [1].

Обработку пластин и подложек обычно ведут при УЗ-колебаниях, когда кавитация отсутствует и очистка интенсифицируется за счет вихревых акустических протоков жидкости.

УЗ-колебания значительно повышают производительность и улучшают качество не только обезжиривания, но и других операций жидкостной обработки [1].

Ультразвуковая отмывочная ванна – оборудование, предназначенное для создания кавитации (т.е. процесс парообразования и последующей конденсации пузырьков воздуха в потоке жидкости, сопровождающийся шумом и гидравлическими ударами, образование в жидкости полостей, заполненных паром самой жидкости, в которой возникает) налитой в него жидкости. Устройство используется для ультразвуковой очистки твердых тел при помощи дезинфицирующих или моющих средств. Оборудование может применяться для катализации физических процессов или химических реакций в жидкостях - растворения, эмульгирования, экстракции, обеззараживания и др. [2].

Метод работы ультразвуковой мойки основывается на образовании в моющем растворе чередующихся волн высокого и низкого давления. Изделия, подвергающиеся обработке, полностью погружаются в жидкость. Размер очищаемой детали должен находиться в пределах 30-70% от объема емкости оборудования. Колебания при резонансной частоте создают кавитацию, образуя микроскопические пузырьки, которые разбиваются о поверхность очищаемого изделия. Данный процесс обеспечивает устранение загрязнений с мест, которые недоступны при применении других методов очистки [2].

Для контроля чистоты поверхности пластин используется гониометр. Прибор предназначен для измерения краевого угла смачивания методом лежащей капли. Прибор позволяет получать изображение лежащей на подложке капли с помощью цифровой видеокамеры, экспортировать изображение в компьютер, определять краевой угол смачивания методом касательной и на основе описания формы контура капли уравнением Лапласа. Прибор позволяет регистрировать отдельные изображения капель или серии изображений через равные промежутки времени [3].

Краевым углом (углом смачивания) обозначается угол, который образует капля жидкости на поверхности твердого вещества к данной поверхности. Размер краевого угла между жидкостью и твердым веществом зависит от взаимодействия между веществами на контактной поверхности. Чем незначительнее взаимодействие, тем больше значение краевого угла. Определив краевой угол можно узнать определенные свойства поверхности, как например, поверхностную энергию. Чем больше краевой угол, тем труднее смочить поверхность и тем меньше приращение чужеродных веществ к поверхности [4].

Необходимость обеспечения чистоты поверхности подложек возникает в связи с потребностью получения высокой адгезионной прочности покрытий. Одним из методов контроля адгезии пленки к подложке является скрайбирование, дающее качественную оценку адгезионной прочности. Результатом контроля покрытия скрайбированием является пленка, оставшаяся после снятия с нее клейкой ленты. Оставшиеся после скрайбирования сегменты пленки показывают качественную картину проведенного контроля.

Контроль производился с помощью оборудования, представленного на рисунке 1.

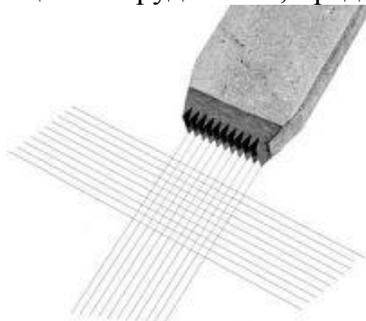


Рис.1. Адгезиметр Elcometer 107 (метод скрайбирования)

Описание экспериментов

Исходными образцами были ситалловые подложки, которые в процессе исследований обрабатывались различными способами и растворами.

Для достоверности полученных результатов необходимо было соблюдать неизменные исходные данные для каждого эксперимента, поэтому перед очисткой каждая подложка предварительно контролировалась и краевой угол смачивания каждой подложки составлял $72...75^{\circ}\text{C}$ (рис. 2). Контроль краевого угла смачивания проводился с помощью гониометра ЛК-1.

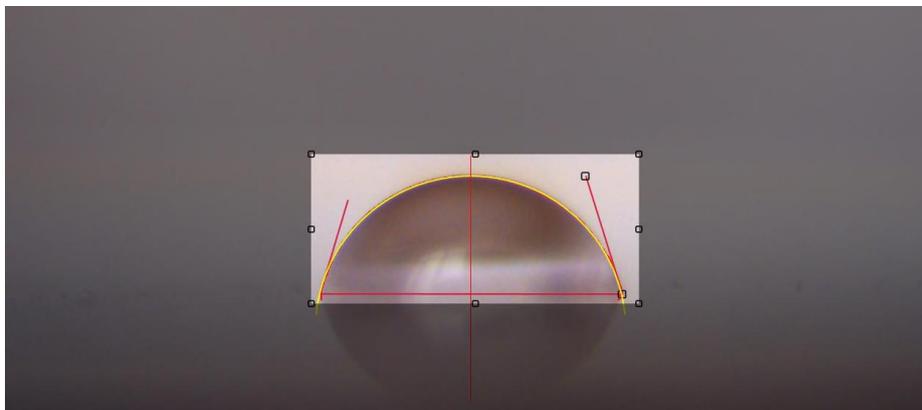


Рис. 2. Капля воды на поверхности неочищенной подложки

В процессе исследований использовался спирт, ацетон и концентрат А1 для выполнения предварительной очистки подложек.

Сами по себе растворы спирта и ацетона не представляют особо интереса для объяснения их функций и свойств. А1 представляет собой слабощелочной концентрат, который необходимо использовать при работе с ультразвуковой ванной (УЗВ). Рабочая температура раствора для очистки подложек находится в интервале $40 - 80^{\circ}\text{C}$, разводится водой в концентрации от 3% до 10%. В описании раствора указывается его узкая направленность функций, а именно для очистки керамических подложек и пластин для оптических приборов.

Для выполнения качественной очистки подложек и дальнейшего применения способа данной очистки в производстве необходимо использование УЗВ. Подложки чистились с помощью УЗВ «Водолей» (рис. 3, таб. 1).



Рис. 3. УЗВ «Водолей»

Таблица 1. Технические характеристики УЗВ «Водолей»

| Характеристика | Значение |
|---|----------|
| Объем УЗВ, л | 1,3 |
| Частота, кГц | 35 |
| Потребляемая мощность, Вт | 205 |
| Регулировка нагрева, $^{\circ}\text{C}$ | 20...70 |
| Регулировка времени, мин | 0...99 |

Целью экспериментов является исследование режимов предварительной очистки подложек и их влияние на чистоту поверхности и оценка зависимости адгезии от значения краевого угла смачивания подложки.

В первом этапе экспериментов определялся раствор, который при очистке в нем подложки обеспечивает наименьший краевой угол смачивания. Эксперимент проводился при промежуточных режимах, т.е. при температуре 50°C и времени очистки 5 мин в УЗВ и состоял в следующем: наливалось определенное количество исследуемого раствора, и помещалась подложка и эта емкость опускалась в УЗВ, наполненную предварительно водой. После очистки каждая подложка сушилась производственным феном. В отношении раствора А1 использовалась его фиксированная концентрация, равная 10%. Также, учитывая свойства раствора, его необходимо смыть, что осуществлялось путем промывки подложки проточной водой и спиртом (таб. 2).

Таблица 2. План экспериментов первого этапа

| | | | |
|--------|-------|--------|----|
| | Спирт | Ацетон | А1 |
| № эксп | 1 | 2 | 3 |

Во втором этапе экспериментов определялись зависимости краевого угла смачивания от температуры и времени обработки. Ход экспериментов проходил аналогично этапу 1, но уже только с наиболее эффективным раствором, выявленном в предыдущем этапе экспериментов (таб. 3).

Таблица 3. План экспериментов второго этапа

| | | | | | |
|--------|----|---|----|---|----|
| °С/мин | 1 | 3 | 5 | 7 | 9 |
| 40 | | | №6 | | |
| 50 | №7 | | №4 | | №8 |
| 60 | | | №5 | | |

Так как целью очистки является получение высокой адгезионной прочности покрытий, были проведены эксперименты по нанесению медного покрытия на очищенные подложки.

Пленки меди получались методом магнетронного распыления медной мишени на установке ВУП-11М (рис. 4) при помощи импульсного униполярного источника АРЕL-М-3РDС в лаборатории кафедры «Электронные технологии в машиностроении». Все покрытия формировались при одних параметрах процесса (таб. 4).



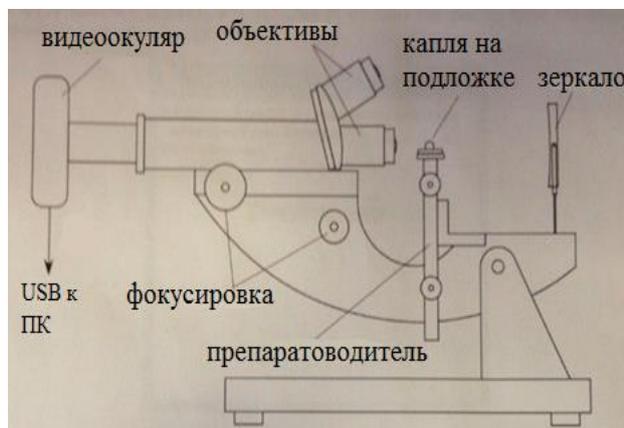
Рис. 4. Установка ВУП-11М

Таблица 4. Режимы нанесения медного покрытия

| Параметр | Значение |
|------------------------------------|---------------------|
| Остаточное давление, Па | $5,5 \cdot 10^{-3}$ |
| Рабочее давление, Па | 0,2 |
| Рабочий газ | Ar |
| Поток газа, л/ч | 0,52 |
| Ток, А | 0,3 |
| Режим нанесения | импульсный |
| Частота, кГц | 50 |
| Коэффициент заполнения импульса, % | 20 |
| Время, мин | 5 |
| Материал мишени | Cu |
| Диаметр мишени, мм | 100 |

Контроль чистоты поверхности подложки проводился с помощью определения краевого угла смачивания.

В качестве прибора для контроля краевого угла смачивания использовался гониометр ЛК-1 (рис. 5).



а) б)
Рис.5. Гониометр ЛК-1: а) общий вид; б) схема прибора

Исследуемая подложка помещается на специальный горизонтальный столик, который закреплен на препаратодателе. Капля дистиллированной воды помещается на подложку посредством микрошприца. Препаратодатель позволяет перемещать подложку в горизонтальной и вертикальной плоскости так, чтобы изображение капли на подложке располагалось по центру в поле зрения. Фокусировка производится горизонтальной подачей в режиме непрерывной передачи изображения капли на экран ПК при помощи видеоокуляра. Использовался объектив с 4x увеличением. Подсветка капли оптимизируется вращением зеркала.

Для получения наиболее достоверных результатов каждая подложка измерялась в трех точках, и бралось среднее значение угла. Также до очистки каждая неочищенная подложка контролировалась для соблюдения неизменности исходных данных.

Нанесенное медное покрытие проверялось на адгезию методом скрайбирования и оценивалась по шкале ISO. Данная шкала представляет собой пятибалльную систему оценки адгезии, где 5 – наихудшая, 0 – наилучшая.

Результаты экспериментов

В результате первого этапа экспериментов получено, что при очистке подложки разными растворами получается разный краевой угол смачивания поверхности (таб. 5).

Таблица 5. Результаты экспериментов по первому этапу

| № эксп. | Растворы | Значение краевого угла смачивания, °С |
|---------|----------|---------------------------------------|
| 1 | Спирт | 53,957 |
| 2 | Ацетон | 54,512 |
| 3 | A1 | 28,719 |

По итогам первой серии экспериментов было выявлено, что наиболее эффективным раствором для предварительной очистки является A1, поэтому дальнейшие исследования проводились на его базе.

По результатам второго этапа экспериментов необходимо было выявить зависимости между краевым углом смачивания и температурой и временем очистки подложки в УЗВ (таб. б).

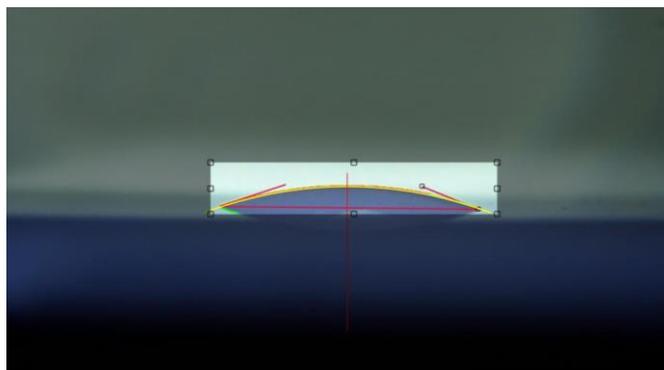
Таблица 6. Результаты экспериментов по второму этапу

| № эксп. | Температура очистки, °С | Время очистки, мин | Значение краевого угла смачивания | Адгезия |
|---------|-------------------------|--------------------|-----------------------------------|---------|
| 4 | 50 | 5 | 18,724 | 5 |
| 5 | 60 | 5 | 16,740 | 4 |
| 6 | 40 | 5 | 20,567 | 5 |
| 7 | 50 | 1 | 18,858 | 5 |
| 8 | 50 | 9 | 17,750 | 5 |

Анализ полученного набора результатов экспериментов показал, что на значение краевого угла смачивания сильно влияет температура очистки и слабо – время. Также с помощью предварительной очистки подложек в УЗВ достичь высокой адгезионной прочности покрытия не удалось. На рисунке 6 показаны результаты контрольных операций измерения адгезии и угла.



а)



б)

Рис.6. Результаты контрольных операций: а) измерение адгезии; б) измерение краевого угла смачивания

Выводы

Проведенные эксперименты по выбору раствора и отработке режимов предварительной очистки подложек показали, что наиболее эффективным является очистка раствором при температуре 60°С, времени очистки – 5 мин. Анализ результатов экспериментов показал, что интенсивность очистки явно зависит от температуры и слабо зависит от времени.

По результатам исследований высокой адгезионной прочности покрытия достигнуто не было. Это говорит о недостаточности только предварительной очистки и ставит необходимость в поиске дополнительных способов получения высокого значения адгезии. В дальнейшем планируется отработать предварительную очистку подложек, используя другие методы, такие как обработка пластины источником ионов и ее нагрев.

Литература

1. *Шмаков М., Паршин В., Смирнов А.* Школа производства ГПИС. Очистка поверхности пластин и подложек/Шмаков М.//Технологии в электронной промышленности – 2008. - №5. – С.77-78.
2. http://www.protehnology.ru/page/ultrazvukovye_vanny
3. Гониометр ЛК-1. Инструкция по эксплуатации.
4. <http://www.briteguard.com/109.html?L=8>