

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Сибирский государственный университет геосистем и технологий»
(СГУГиТ)

Д. М. Никулин, М. П. Егоренко

ТЕХНОЛОГИЯ ТОНКИХ ПЛЕНОК

Утверждено редакционно-издательским советом университета
в качестве практикума для обучающихся по направлениям подготовки
12.03.01 Приборостроение, 12.03.02 Опотехника (уровень бакалавриата)

Новосибирск
СГУГиТ
2023

УДК 539.23:539.216.2

Н651

Рецензенты: начальник лаборатории филиала АО «ПО УОМЗ» «Урал-Сиб-НИИОС», кандидат технических наук *Д. С. Шелковой*

кандидат технических наук, доцент, СГУГиТ *И. Н. Карманов*

Никулин, Д. М.

Н651 Технология тонких пленок : практикум / Д. М. Никулин, М. П. Егоренко. – Новосибирск : СГУГиТ, 2023. – 31 с. – Текст : непосредственный. ISBN 978-5-907711-15-0

Практикум подготовлен кандидатами технических наук, доцентами Д. М. Никулиным и доцентом М. П. Егоренко на кафедре фотоники и приборостроения СГУГиТ.

Предназначен для обучающихся при выполнении практических работ по получению тонких пленок, а также их контролю и измерению толщины.

Содержит методические рекомендации по выполнению практических работ, общие теоретические сведения, порядок выполнения работы, а также предусматривает перечень контрольных вопросов для проверки знаний изученного материала.

Практикум по дисциплине «Технология тонких пленок» предназначен для обучающихся по направлениям подготовки 12.03.01 Приборостроение и 12.03.02 Опто-техника (уровень бакалавриата).

Рекомендован к изданию кафедрой фотоники и приборостроения, Ученым советом Института оптики и технологий информационной безопасности СГУГиТ.

Печатается по решению редакционно-издательского совета СГУГиТ

УДК 539.23:539.216.2

ISBN 978-5-907711-15-0

© СГУГиТ, 2023

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
Общие методические рекомендации	5
Практическая работа № 1. Получение тонких пленок методом центрифугирования	6
Практическая работа № 2. Получение тонких пленок химическим методом	12
Практическая работа № 3. Контроль толщины тонких пленок по массе испаряемого вещества в вакууме.....	18
Практическая работа № 4. Измерение толщины тонких пленок с помощью микроинтерферометра МИИ-4	25
Библиографический список	30

ВВЕДЕНИЕ

Настоящий практикум по дисциплине «Технология тонких пленок» предназначен для обучающихся по направлениям подготовки 12.03.01 Приборостроение и 12.03.02 Опотехника (уровень бакалавриата).

Перечень практических работ включает четыре наименования, рассчитан при обучении на 2 курсе, 4 семестре и предназначен для закрепления лекционного материала по разделам: «Способы нанесения тонких пленок» и «Контроль технологических параметров тонких пленок».

При проведении практических работ изучается получение тонких пленок методом центрифугирования, получение тонких пленок химическим методом, контроль толщины пленки по массе испаряемого вещества в вакууме, а также измерение толщины тонкой пленки с помощью микроинтерферометра МИИ-4.

Описания практических работ содержат общие теоретические сведения изучаемой дисциплины, порядок выполнения работ, а также предусматривают перечень контрольных вопросов для проверки знаний изученного материала.

ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

Результаты выполнения практической работы оформляются в виде отчета. Оформленный отчет должен включать в себя:

- титульный лист;
- цель и задачи работы;
- используемое оборудование и приборы;
- рабочие формулы, рисунки и таблицы (при наличии и в зависимости от работы);
- выводы по результатам выполненной работы;
- ответы на контрольные вопросы.

Перед выполнением практической работы обучающемуся необходимо повторить лекционный материал по теме практической работы.

К проведению практических работ допускаются обучающиеся, прошедшие инструктаж по технике безопасности и основным правилам эксплуатации оборудования.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 1

ПОЛУЧЕНИЕ ТОНКИХ ПЛЕНОК МЕТОДОМ ЦЕНТРИФУГИРОВАНИЯ

Цель и задачи работы: изучить получение тонких пленок методом центрифугирования. Подобрать режимы и отработать технологию получения тонких пленок на круглую подложку методом центрифугирования.

Перечень приборов и принадлежностей

1. Центрифуга SPIN-1200T.
2. Круглые подложки.
3. Раствор для получения тонких пленок.
4. Шприц для нанесения раствора.

Подготовка к работе

Изучить вопросы по лекционному материалу «Получение тонких пленок методом центрифугирования»:

- физические принципы получения тонких пленок методом центрифугирования;
- параметры процесса центрифугирования, от которых зависят толщина и однородность полученных тонких пленок.

Общие теоретические сведения

Метод центрифугирования. Метод центрифугирования (рис. 1.1) является одним из самых распространенным при получении тонких пленок при производстве микроэлектроники [1].

Процесс получения тонких пленок можно описать следующим образом [3, 4].

1. Капля раствора наносится в центр неподвижной или медленно вращающейся подложки. Количество раствора должно хватать для образования пленки нужной толщины.

2. Угловая скорость подложки увеличивается и под действием центробежной силы капля растекается по подложке. Толщина слоя полученной на поверхности подложки будет зависеть от скорости вращения центрифуги, состояния поверхности подложки, состава и вязкости наносимого раствора, температуры и влажности окружающей среды.

3. Подложка вращается с постоянной угловой скоростью. Происходит выпаривание растворителя, слой покрытия утончается, становится равномерным.

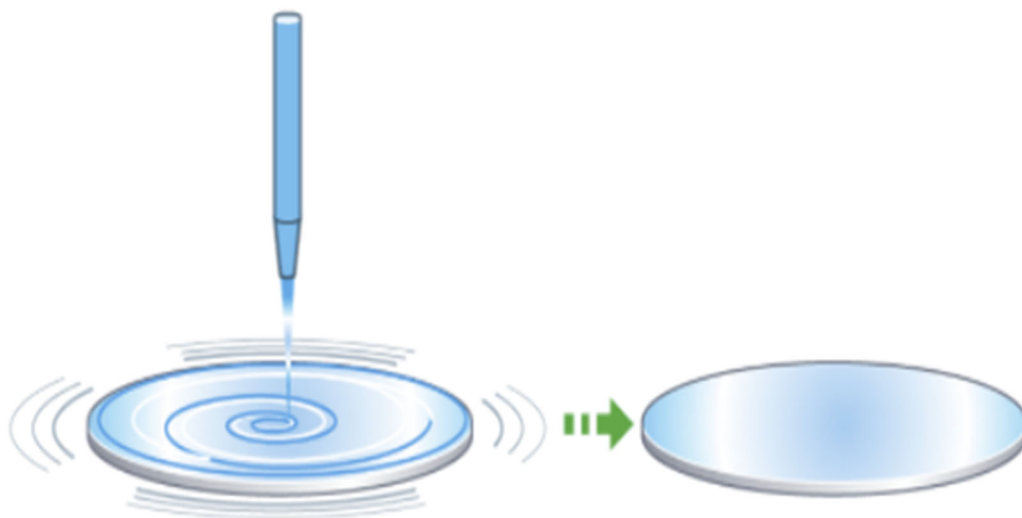


Рис. 1.1. Метод центрифугирования [2]

После высыхания тонкие пленки могут иметь различные виды брака:

- плохая адгезия к подложке, связанная с плохой подготовкой поверхности подложки;
- неоднородный рельеф, связанный с нарушением технологического процесса: перекосом центрифуги, временем изменения угловой скорости подложки при разгоне центрифуги, изменением вязкости раствора;
- дефекты в виде проколов, связанные с присутствием посторонних частиц в растворе.

Описание и принцип работы установки. Для получения тонких пленок используется центрифуга для нанесения фоторезиста модели SPIN-1200T, представленная на рис. 1.2.

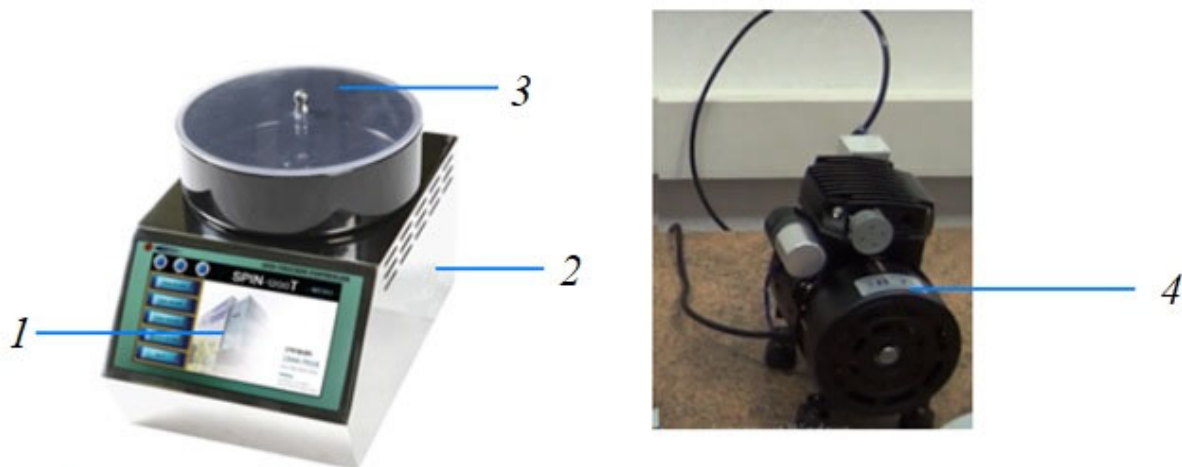


Рис. 1.2. Центрифуга SPIN-1200 и вакуумный насос:

1 – цветной touchscreen дисплей; 2 – корпус центрифуги; 3 – рабочая камера с крышкой; 4 – вакуумный насос с комплектом кабелей

Установка для выполнения практической работы состоит из:

- цветного touchscreen дисплея 1 (на нем можно посмотреть конфигурацию центрифуги, создаваемый вакуум в держателе пластин и также программатор для создания рецептов);
- корпуса центрифуги 2;
- рабочей камеры с крышкой 3, в которой расположен вакуумный держатель подложек (рис. 1.3) с возможностью закрепления подложек диаметром до 100 мм;
- вакуумный насос с комплектом кабелей 4.



Рис. 1.3. Вакуумный держатель подложек

Технология выполнения работы

1. Ознакомиться с паспортом установки и изучить программатор для создания рецептов.
2. Получить у преподавателя раствор и подложки для получения на них тонких пленок.
3. Включить центрифугу к заземленной розетке.
4. Включить центрифугу с помощью кнопки, расположенной сзади прибора (кнопка на рис. 1.4).



Рис. 1.4. Кнопка для включения и выключения прибора

5. Установить симметрично круглую подложку на вакуумный держатель.
6. Нажать на дисплее функцию <<Vacuum off>> для закрепления подложки под действием атмосферного давления к ней, чтобы она не отлетела в процессе вращения.
7. Настроить в программаторе ориентировочный рецепт для получения тонкой пленки с указанием максимальной скорости (об/мин) вращения подложки, а также времени, за которое подложка наберет максимальную скорость, и времени вращающейся с максимальной скоростью подложки (рис. 1.5).



Рис. 1.5. Внешний вид дисплея с программатором

8. Капнуть в центр подложки раствор объемом 1,0 мл.

9. Закрыть защитную крышку.

10. Запустить процесс центрифугирования.

11. После завершения процесса достать подложку с полученной тонкой пленкой и изучить ее визуально. Если пленка получилась неоднородной и сплошной по всей поверхности подложки, сделать анализ и изменить рецепт.

12. Методом эксперимента, изменяя рецепт в программаторе и количество нанесенного раствора, добиться получения однородной и сплошной пленки по всей поверхности подложки с минимальным количеством использования объема раствора.

13. Заполнить табл. 1.1. с используемыми рецептами.

14. Сформулировать вывод.

Таблица 1.1

Рецепты

№ рецепта	V, об/мин	Ускорение/замедление, с	Время вращающейся с максимальной скоростью подложки, с	Объем раствора, мл	Комментарии по внешнему виду полученной тонкой пленки

Контрольные вопросы

1. От чего зависит толщина тонкой пленки, получаемой методом центрифугирования? Почему?
2. Какие виды брака бывают при нанесении тонких пленок методом центрифугирования?
3. Какие физические процессы происходят при нанесении тонких пленок методом центрифугирования?

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 2

ПОЛУЧЕНИЕ ТОНКИХ ПЛЕНОК ХИМИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Цель и задачи работы: изучить получение тонких пленок химическим методом. Нанести на оптические детали однослойное покрытие травлением в водных растворах кислот и солей.

Перечень приборов и принадлежностей

1. Оптические детали.
2. Химические реактивы.
3. Химическая посуда.
4. Сушильный шкаф.

Подготовка к работе

Изучить вопросы по лекционному материалу «Растворы и их классификация»:

- истинные и коллоидные растворы;
- способы нанесения растворов на подложку для получения тонких пленок.

Общие теоретические сведения

Химические методы получения тонких пленок. Химические методы являются безвакуумными, что позволяет упростить технологический процесс и уменьшить стоимость пленок. С помощью химических методов возможно получать пленки сложного состава с высокой степенью однородности [5].

Основой многочисленных химических методов (рис. 2.1) в получении тонких пленок лежат разнообразные химические процессы.

Технология химического осаждения пленок из растворов включает в основном следующие этапы:

- приготовление раствора;
- нанесение раствора на поверхность подложки;

- низкотемпературная обработка, при которой происходит высушивание тонких пленок;
- высокотемпературная обработка, при которой образуется плотная кристаллическая пленка требуемого состава.



Рис. 2.1. Химические методы получения пленок [6]

Способы нанесения растворов на подложку различны: центрифугирование подложки с нанесенным на ее поверхность раствором, метод погружения подложки в раствор с последующим вытягиванием подложки из раствора, распыление растворов с последующим переносом и конденсацией частиц аэрозоля на подложке.

Нанесение однослойных покрытий травлением в водных растворах кислот и солей. Метод основан на извлечении из поверхностного слоя стекла всех растворимых компонентов, в результате чего на поверхности силикатного стекла остается пористый кремнеземный слой. Поверхностная

пленка представляет собой оставшуюся неизменной часть структуры стекла (кремнистый слой) и кремниевую кислоту или нерастворимые силикаты, образующиеся при выщелачивании и коагуляции в ячейках скелета стекла. Для стекол с показателем преломления $n_{ст} = 1,6 - 1,75$ показатель преломления поверхностной пленки равен $n_{пл} = 1,44 - 1,45$. В результате отражения в средах пленка-воздух и пленка-стекло при некоторых значениях толщины пленки может происходить интерференция света определенных длин волн. Так как образующаяся пленка прозрачна и сохраняет качество полированной поверхности, то она применяется в качестве просветляющего покрытия для оптических деталей из силикатного стекла.

В соответствии с требованиями теории отражения света прозрачными диэлектриками полное уничтожение света определенной длины волны возможно лишь при условии, что $n_{пл} = n_{ст}$.

Технологический процесс просветления. Процесс просветления оптических деталей травлением состоит из следующих операций:

- а) подготовка деталей для просветления;
- б) травление водным раствором кислоты,
- в) промывка и сушка просветленных деталей.

Подготовка деталей заключается в чистке поверхностей, подлежащих просветлению, и в их дополнительной обработке водным раствором щелочи. Необходимость равномерности толщины и скорость образования пленки зависит от чистоты поверхности оптических деталей. Наличие на поверхности жировых веществ, следов воска или других загрязнений замедляет выщелачивание и приводит к образованию пленки неоднородной по толщине и по интерференционной окраске. Для чистки полированной поверхности стекол используется спирто-эфирная смесь в концентрации 50 на 50 процентов.

Обработка водным раствором щелочи производится с целью освежения детали, то есть удаления кремнеземной пленки, образующейся на поверхности стекла при полировании и хранении деталей. Особенно быстро пленка образуется на стеклах 5-й группы химической активности.

Освежение деталей должно производиться 0,5 раствором едкого кали или едкого натра (соответственно 28 или 20 г на литр воды). Температура раствора 25 ± 1 °С.

Продолжительность обработки деталей растворами щелочи в зависимости от группы химической устойчивости стекол к кислым растворам приводится в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Продолжительность обработки деталей растворами щелочи в зависимости от группы химической устойчивости стекол к кислым растворам

Группа химической устойчивости		Продолжительность обработки, мин
1–3		15–25
4		10–15
5	К1, БК8, 10, 11 ТК3, 4, 12; БФ7, 11, 15, 16 ТФ3, 4, 5; ОФ1, 2	5–10
	ТК7, 8, 9, 13, 14, 16, 20 ТФ7, 8, 10	До 1

Детали помещают в сосуд с раствором щелочи, размещая их на специальной подставке. Выдержав указанное в таблице время, их вынимают из ванны, промывают водопроводной водой и затем прополаскивают в дистиллированной воде. Детали из стекла марок ТК7, ТК8, ТК9, ТК13, ТК16, ТК20, ТФ7, ТФ8 и ТФ10 обрабатывают раствором щелочи не путем погружения в ванну, а вручную, прополаскивая их в щелочном растворе при осторожном протирании ватой. После этого детали тщательно промывают водой, вытирают мягкой салфеткой и сразу же передают на просветление.

Травление водным раствором кислоты. Детали после чистки и освежения передают на операцию просветления. Режимы травления деталей водными растворами азотной или уксусной кислоты в зависимости от группы химической устойчивости стекол приводится в табл. 2.2.

При травлении детали размещают в ванне с раствором на подставках из текстолита или кислотоупорной пластмассы. Форма подставки должна обеспечивать равномерное обмывание деталей раствором кислоты. Раствор должен быть предварительно нагрет до температуры, указанной в табл. 2.2.

В ванну, как правило, следует загружать детали одной марки стекла. Допускается одновременная обработка стекол в пределах одной группы при условии, что у них одинаковое время травления.

Таблица 2.2

Продолжительность травления в зависимости от марки стекла и раствора травления

Марка стекла	Продолжительность травления, ч		Марка стекла	Продолжительность травления, ч	
	HNO ₃	CH ₃ COOH 0,1 н раствор		HNO ₃	CH ₃ COOH 0,1 н раствор
К2	2–3	–	БФ19	–	0,5–1,0
К3	30–40	–	БФ21	–	28–32
К8	30–35	–	БФ23	–	–
К15	–	5–6	БФ24	–	14–23
К19	65	–	БФ25	2,0–2,5	4–5
К20	30–40	–	БФ26	–	11–12
БК6	70–80	–	БФ27	–	4,5–5,0
БК9	–	2,5–3,0	БФ28	6–8	30–40
БК12	1,0–1,5	–	ЛФ11	30–35	40–45
БК13	–	1,0–1,5	Ф1	29–35	40–45
ТК1	–	5,0–10	Ф2	28–35	40–45
ТК2	–	4,0–5,5	Ф4	23–25	25–30
БФ6	35–40	50–80	Ф7	10–12	–
БФ8	5–6	20–24	Ф13	33–45	–
БФ12	–	1,0–1,5	ТФ1	–	2,5–3,0
БФ18	50–55	60–70	ТФ2	–	2,5–3,0
Температура раствора 80 ± 2 °С					

После достижения требуемой толщины пленки детали промывают водой и сушат в струе подогретого воздуха для ускорения процесса упрочнения пленки.

Контроль за достижением требуемой толщины пленки может осуществляться непосредственно в процессе травления по изменению интерференционной окраски или по окончании травления – измерением пропускания или отражения света (табл. 2.3).

Цвет пленки различной оптической толщины

Цвет пленки в отраженном свете	Оптическая толщина, нм	Область минимального отражения, нм
Темно-желтый	100	320–520
Пурпурный	130	420–680
Темно-синий	150	480–780
Светло-синий	175	580–940
Голубой	200	620–1 000
Голубовато-зеленый	250	820–1 320
Желто-зеленый	300	960–1 590
Золотисто-оранжевый	350	1 120–1 800
Фиолетовый	400	1 280–2 340
Синий	450	1 400–2 300
Голубовато-синий	500	1 600–2 500

Указанный технологический процесс прост и не требует сложной аппаратуры, применим для изделий любой конфигурации и размеров.

Метод обеспечивает толщину наращивания пленок до 0,7–0,8 мкм. Получаемые пленки химически устойчивы, их сопротивляемость царапанию больше, чем у непросветленных стекол.

К недостаткам метода следует отнести следующие: травление применимо только для силикатных стекол и эффективно лишь для тех, у которых показатель преломления больше, чем 1,6. Этим методом невозможно нанести многослойные покрытия.

Контрольные вопросы

1. Каковы особенности получения тонких пленок химическим методом?
2. Какие существуют способы нанесения растворов на подложку?
3. В чем заключается метод нанесения однослойных покрытий травлением в водных растворах кислот и солей?
4. Почему одновременно рекомендуют травить детали одной марки стекла?
5. Каковы минусы и плюсы получения тонких пленок методом травления?

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 3 КОНТРОЛЬ ТОЛЩИНЫ ТОНКИХ ПЛЕНОК ПО МАССЕ ИСПАРЯЕМОГО ВЕЩЕСТВА В ВАКУУМЕ

Цель и задачи работы: изучить термическое испарение вещества в вакууме. Научиться рассчитывать требуемую толщину напыляемых тонких пленок по массе испаренного вещества методом термического испарения.

Перечень приборов и принадлежностей

Таблица с необходимыми данными для расчета требуемой толщины тонкой пленки.

Подготовка к работе

Изучить вопросы по лекционному материалу «Термическое испарение в вакууме»:

- испарение вещества из точечного источника;
- испарение из поверхностного источника;
- выбор способа испарения.

Общие теоретические сведения

Термическое испарение в вакууме. При нанесении тонких пленок на подложки методом термического испарения напыляемое вещество нагревают в высоком вакууме до температуры испарения. Пары вещества распространяются в вакууме, достигают подложки и на ней конденсируются. Схема установки нанесения пленок методом термического испарения показана на рис. 3.1 [7].

Количество вещества, достигающее поверхности подложки, зависит от конфигурации испарителя и подложки, их взаимного расположения, а также времени испарения. По количеству испаренного вещества возможно контролировать толщину тонкой пленки, напыляемой на подложку.

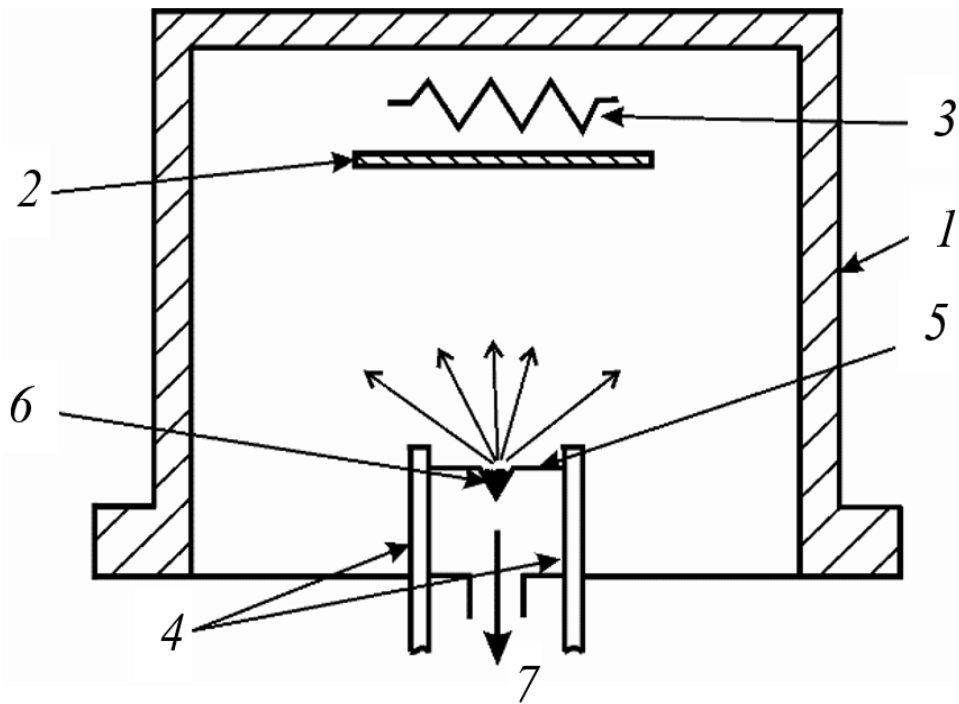


Рис. 3.1. Схема установки нанесения пленок методом термического испарения:

1 – вакуумная камера; 2 – подложка; 3 – подогреватель подложки; 4 – тоководы; 5 – испаритель; 6 – испаряемое вещество; 7 – путь к высоковакуумному насосу

Испарение вещества из точечного источника. Вещество из точечного испарителя (рис. 3.2) испаряется во все стороны, т. е. в пределах телесного угла 4π . Поток массы вещества в единице телесного угла при неизменной скорости испарения определяется выражением

$$\frac{dq}{dt} = \frac{Q}{4\pi t},$$

где Q – масса испаренного за время t вещества.

На площадку dS_2 пар поступает в пределах телесного угла $d\omega$; масса вещества, поступившего за время t на площадку dS_2 , равна

$$\Delta m_2 = dq \cdot d\omega = \frac{Q}{4\pi} d\omega.$$

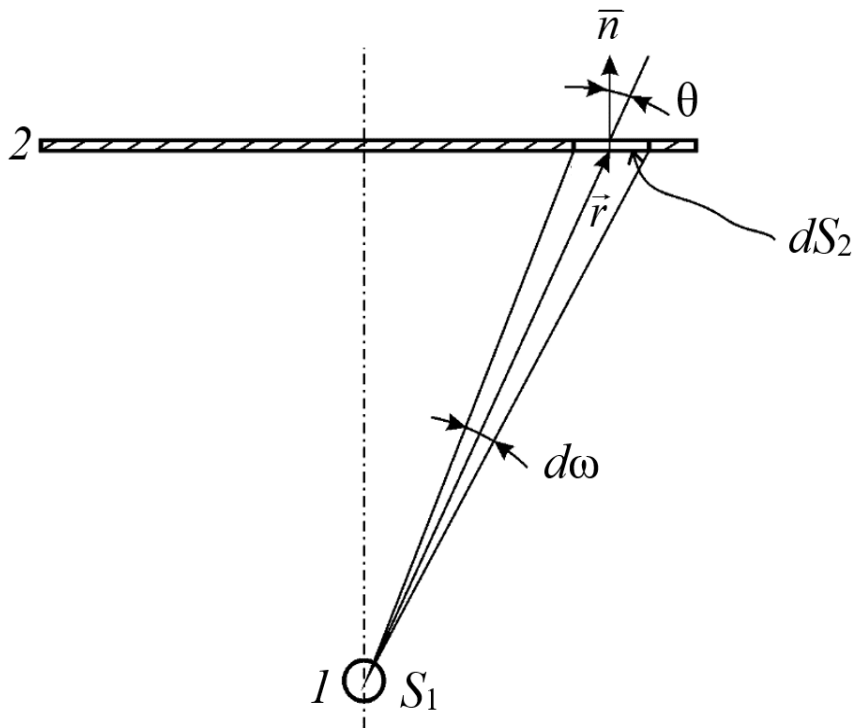


Рис. 3.2. Испарение из точечного источника:

1 – точечный испаритель; 2 – подложка; \vec{r} – радиус-вектор площадки dS_2 на подложке; \vec{n} – нормаль к подложке; $d\omega$ – телесный угол, под которым из испарителя видна площадка dS_2 ; S_1 – поверхность испарителя

Величина телесного угла $d\omega$ связана с размером dS_2 и положением площадки формулой

$$d\omega = \frac{dS_2}{r^2} \cos \theta.$$

Найдем результирующее выражение для массы количества вещества, поступавшего на площадку dS_2 за все время t испарения:

$$dm_2 = \frac{Q}{4\pi} \cdot \frac{dS_2 \cos \theta}{r^2}.$$

На подложке на участке dS_2 образуется пленка толщиной d . Масса этого участка пленки равна

$$dm_2 = \rho \cdot dS_2 \cdot d,$$

где ρ – плотность пленки.

Приравниваем правые части двух последних уравнений и получаем толщину образовавшейся в области dS_2 пленки:

$$d = \frac{Q \cos \theta}{4\pi r^2}.$$

Испарение из поверхностного испарителя. Для поверхностного испарителя (рис. 3.3) величина потока пара зависит от направления испарения

$$dm = \frac{Q}{\pi} \cdot \cos \varphi d\omega,$$

где φ – угол между нормалью к поверхности испарителя и направлением на рассматриваемый участок подложки.

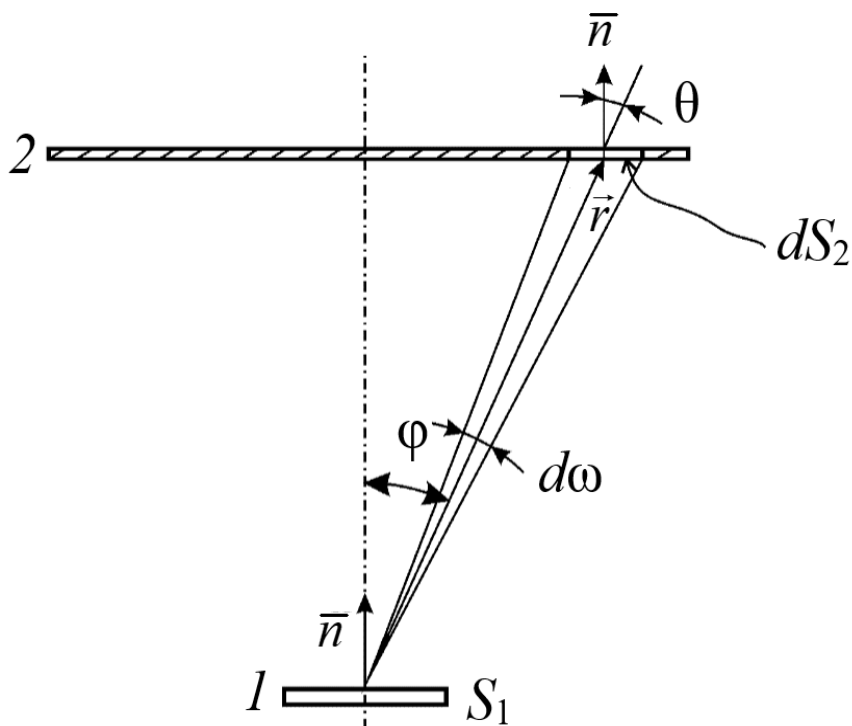


Рис. 3.3. Испарение из поверхностного испарителя:

1 – испаритель; 2 – подложка; S_1 – поверхность испарителя; dS_2 – элементарная площадка на подложке

Учтем, что элементарный телесный угол равен

$$d\omega = \frac{dS_2}{r^2} \cos \theta.$$

Можно получить выражение для массы $dm_{2\Pi}$ осажденного на участке dS_2 вещества в случае поверхностного испарителя, если считать поперечник испарителя малым в сравнении с расстоянием до подложки

$$dm_{2\Pi} = \frac{Q}{\pi} \cdot \frac{dS_2}{r^2} \cdot \cos \varphi \cdot \cos \theta.$$

Для случая параллельных испарителя и подложки

$$dm_{2\Pi} = \frac{Q}{\pi} \cdot \frac{dS_2}{r^2} \cdot \cos^2 \varphi.$$

Толщина образующейся на участке dS_2 пленки в случае поверхностного испарителя равна

$$d_{\Pi} = \frac{Q}{\pi \rho} \cdot \frac{\cos^2 \varphi}{r^2}.$$

Технология выполнения работы

1. Получить у преподавателя номер варианта из табл. 3.1.
2. Плотность вещества найти в справочнике [8, 9].
3. Найти массу испаренного вещества для получения требуемой толщины напыляемых тонких пленок методом термического испарения.
4. Исходные данные размеров подложки, расстояние от испарителя до подложки и требуемую толщину пленки преподаватель вправе изменять по своему усмотрению.
5. Сформулировать вывод.

Таблица 3.1

Данные для выполнения практической работы

Номер варианта	Вещество	Размер подложки, мм	Расстояние от испарителя до подложки, см	Вид испарителя	Требуемая толщина пленки, нм
1	Бериллий	10	10	Точечный/ поверхностный	500
2	Родий	15	12	Точечный/ поверхностный	630
3	Кадмий	20	14	Точечный/ поверхностный	120
4	Медь	25	16	Точечный/ поверхностный	100
5	Серебро	30	18	Точечный/ поверхностный	50
6	Цинк	35	20	Точечный/ поверхностный	1 000
7	Железо	40	25	Точечный/ поверхностный	2 000
8	Никель	45	30	Точечный/ поверхностный	1 500
9	Хром	50	70	Точечный/ поверхностный	330
10	Олово	55	65	Точечный/ поверхностный	940
11	Индий	60	60	Точечный/ поверхностный	200

Окончание табл. 3.1

Номер варианта	Вещество	Размер подложки, мм	Расстояние от испарителя до подложки, см	Вид испарителя	Требуемая толщина пленки, нм
12	Золото	65	55	Точечный/поверхностный	250
13	Таллий	45	20	Точечный/поверхностный	80
14	Кобальт	40	35	Точечный/поверхностный	150
15	Молибден	35	40	Точечный/поверхностный	450
16	Свинец	30	45	Точечный/поверхностный	790
17	Висмут	25	50	Точечный/поверхностный	840

Контрольные вопросы

1. В чем заключается метод термического испарения в вакууме?
2. От чего зависит количество вещества, достигающее поверхности подложки?
3. В чем заключается отличие точечного испарителя от поверхностного испарителя?
4. От чего зависит толщина получившейся на подложке тонкой пленки?
5. Одинаковая ли по толщине при термическом испарении получается на подложке тонкая пленка? Почему?

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 4 ИЗМЕРЕНИЕ ТОЛЩИНЫ ТОНКИХ ПЛЕНОК С ПОМОЩЬЮ МИКРОИНТЕРФЕРОМЕТРА МИИ-4

Цель и задачи работы: изучить устройство и методику измерения толщины тонких пленок на микроинтерферометре МИИ-4. Научиться измерять толщину тонких пленок на микроинтерферометре МИИ-4.

Перечень приборов и принадлежностей

1. Микроинтерферометр МИИ-4.
2. Образцы с тонкими пленками.

Подготовка к работе

Изучить по теме лекционного материала «Измерение параметров тонких пленок с помощью микроинтерферометра МИИ-4»:

- конструкцию микроинтерферометра МИИ-4;
- методику измерения толщины тонких пленок с помощью микроинтерферометра МИИ-4.

Общие теоретические сведения

Конструкция микроинтерферометра МИИ-4. Микроинтерферометр МИИ-4 (рис. 4.1) предназначен для визуальной оценки и измерения высоты неровностей обработанной поверхности. Принцип работы и его схема были разработаны В. П. Линником. Прибор широко применяется для измерения параметров шероховатости на поверхностях с высокой чистотой обработки.



Рис. 4.1. Внешний вид МИИ-4

Оптическая схема интерферометра представлена на рис. 4.2.

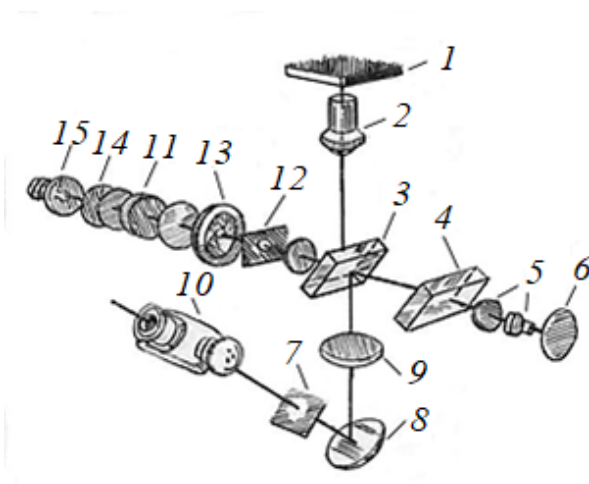


Рис. 4.2. Оптическая схема МИИ-4

Нить лампы накаливания *15* проектируется коллектором *14* в плоскость апертурной диафрагмы *13*. В фокальной плоскости объектива осветительного коллиматора *11* помещена полевая диафрагма *12*, которая изображается им в бесконечности. Вышедший из проекционного объектива параллельный пучок делится разделительной пластиной *3* на две части: одна часть идет в ветвь интерферометра, содержащую микрообъектив *2* и исследуемую поверхность *1*, а другая – в ветвь сравнения, состоящую из компенсатора *4*, объектива *5* и референтной поверхности (эталонного зеркала) *6*. Поверхность *1* и эталонное зеркало *6* находятся в фокальных плоскостях объективов *2* и *5*. После отражения от исследуемой поверхности и от референтного зеркала оба параллельных пучка проходят вновь разделительную пластинку *3*, интерферируют, образуя резкое изображение интерференционных полос в бесконечности, которое объективом *9* передается в фокальную плоскость окуляра *10* через диафрагму *7*. При вынутом окуляре *10* можно наблюдать два изображения апертурной диафрагмы *13*, которые являются зрачками выхода двух ветвей интерферометра. От взаимного расположения этих ветвей зависят форма интерференционных полос и расстояние между ними.

Измерение толщины тонких пленок. Измерение толщины тонких пленок на микроинтерферометре МИИ-4 производят с помощью винтового

окулярного микрометра. В поле зрения микрообъектива помещается исследуемый образец с тонкой пленкой, в которой имеется уступ, являющийся мерой толщины пленки. Уступом является царапина на пленке, предварительно нанесенная стальной иглой. При правильной настройке и фокусировке микрообъектива на образец в поле зрения видны одновременно измеряемая поверхность с царапиной и интерференционные полосы (рис. 4.3).

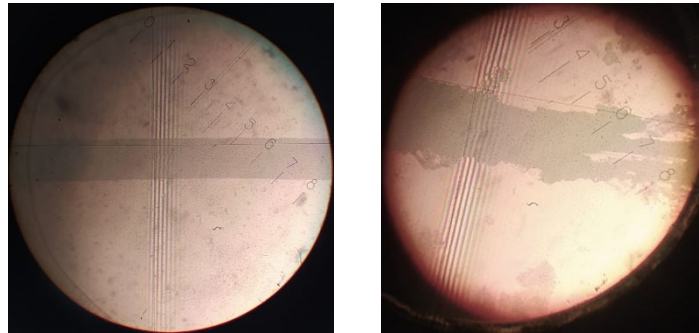


Рис. 4.3. Поле зрения измеряемой поверхности

Для измерения толщины тонкой пленки необходимо произвести три операции:

- измерить величину интервала между соседними интерференционными полосами;
- измерить величину изгиба интерференционной полосы на уступе царапины;
- вычислить толщину тонкой пленки.

Измерение величины интервала между соседними интерференционными полосами производится по шкалам винтового окулярного микрометра при совмещении одной из нитей перекрестия подвижной сетки с серединой; затем совмещают эту же нить перекрестия с серединой соседней полосы, определяя количество делений барабана винтового окулярного микрометра h_1 (мкм).

Величину изгиба интерференционной полосы определяют так же, как и величину интервала между соседними интерференционными полосами, определяя количество делений барабана винтового окулярного микрометра h_2 (мкм).

При работе в белом свете искривление изгиба интерференционной полосы равно величине интервала между соседними интерференционными полосами соответствует толщине уступа царапины, равной 0,27 мкм. Тогда толщина измеряемой тонкой пленки (d , мкм) вычисляется по формуле

$$d = 0,27 \frac{h_1}{h_2}.$$

Технология выполнения работы

1. Получить у преподавателя образец тонкой пленки с царапинами (рис. 4.4).



Рис. 4.4. Образцы тонких пленок различной толщины на стеклянных подложках, полученные методом термического испарения в вакууме

2. Измерить по описанной методике толщину тонкой пленки в месте, указанном преподавателем.

3. Измерение произвести не менее трех раз и занести результаты в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Измерение толщины тонкой пленки

h_1 , МКМ	h_2 , МКМ	d , МКМ	d_{cp} , МКМ

4. Сформулировать вывод.

Контрольные вопросы

1. Для чего предназначен микроинтерферометр МИИ-4?
2. Для чего на образце с тонкой пленкой нужна царапина?
3. От чего зависит форма интерференционных полос и расстояние между ними?
4. Что означает в рабочей формуле значение 0,27? Почему именно такое значение?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Готра З. Ю. Технология микроэлектронных устройств : справ. – М. : Радио и связь, 1991. – 528 с.
2. «МИНАТЕХ» (микро- и нанотехнологии) [Электронный ресурс]. – URL: <https://minateh.ru/stati/nanesenie-proyavlenie-i-sushka-fotorezista> (дата обращения: 10.05.2023).
3. Sahu N., Parija B., Panigrahi S. Fundamental understanding and modeling of spin coating process: A review // Indian J. Phys. – 2009. – V. 83. – № 4. – P. 493–502.
4. Schubert D.W., Dunkel T. Spin coating from a molecular point of view: its concentration regimes, influence of molar mass and distribution // Materials Research Innovations. – 2003. – V. 7. – P. 314.
5. Дунюшкина Л. А. Введение в методы получения пленочных электролитов для твердооксидных топливных элементов : монография. – Екатеринбург : УРО РАН, 2015. – 126 с.
6. Тонкопленочные неорганические наносистемы / под ред. д-ра техн. наук, проф. В. В. Козика. – Томск : ТГУ, 2012. – 134 с.
7. Никулин Д. М., Чесноков В. В. Физические процессы в вакууме : учеб. пособие. – Новосибирск : СГГА, 2016. – 96 с.
8. Moriaki Wakaki, Keiei Kudo, Takehisa Thibuya. Physical Properties and Data of Optical Materials. – New York : CRC Press, 2007. – 576 p.
9. Ефремов В. С., Шлишевский В. Б. Оптические материалы и ахроматическая коррекция типовых компонентов оптических систем : учеб. пособие. – Новосибирск : СГГА, 2013. – 284 с.

Учебное издание

Никулин Дмитрий Михайлович
Егоренко Марина Петровна

ТЕХНОЛОГИЯ ТОНКИХ ПЛЕНОК

Редактор *О. В. Георгиевская*

Компьютерная верстка *Ю. С. Мерзликиной*

Изд. лиц. ЛР № 020461 от 04.03.1997.

Подписано в печать 05.10.2023. Формат 60 × 84 1/16.

Усл. печ. л. 1,80. Тираж 105 экз. Заказ 132.

Гигиеническое заключение

№ 54.НК.05.953.П.000147.12.02. от 10.12.2002.

Редакционно-издательский отдел СГУГиТ
630108, Новосибирск, ул. Плахотного, 10.

Отпечатано в картопечатной лаборатории СГУГиТ
630108, Новосибирск, ул. Плахотного, 8.