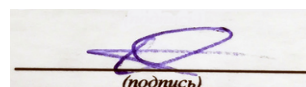


МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова

Базовая кафедра нанотехнологий в электронике
в ЯФ ФГБУН ФТИАН им. К. А. Валиева РАН

УТВЕРЖДАЮ
Декан физического факультета



И.С.Огнев

« 23 » мая 2023 г.

Рабочая программа дисциплины
«Технология тонких пленок и покрытий»

Направление подготовки
11.04.04 Электроника и нанoeлектроника

Направленность (Профиль)
«Интегральная электроника и нанoeлектроника»

Форма обучения
очная

Программа рассмотрена
на заседании базовой кафедры
нанотехнологий в электронике
протокол № 8 от «30» марта 2023 г.

Программа одобрена НМК
физического факультета
протокол № 5 от «25» апреля 2023 г.

Ярославль

1. Цели освоения дисциплины

Целью освоения дисциплины «Технология тонких пленок и покрытий» является изучение теоретических и прикладных основ процессов происходящих на различных этапах напыления и роста пленок; существующих теорий роста тонких пленок, рассмотрению современных методов роста и контроля качества пленок, их возможностях и ограничениях; взаимосвязи физических свойств тонких пленок со структурой и дефектами.

2. Место дисциплины в структуре ОП магистратуры

Дисциплина «Технология тонких пленок и покрытий» относится к вариативной (дисциплины по выбору) части профессионального цикла (БЗ) основной общеобразовательной программы 11.04.04 «Электроника и нанoeлектроника».

Освоение данной дисциплины базируется на знаниях, полученных в результате изучения дисциплин естественно-научного цикла и в том числе базовых курсов общей физики и химии, информатики, а также дисциплин профессионального модуля, таких как «Физика конденсированного состояния», «Физика полупроводников и низкоразмерных систем», «Физические основы электроники», «Физика поверхностных явлений», «Вакуумная и криогенная техника»

Дисциплина «Технология тонких пленок и покрытий» является одной из основных дисциплин профессионального цикла. Она формирует компетенции в области понимания физических основ различных методов нанесения тонкопленочных покрытий, особенностей применения процессов физического и термического распыления и подготовки поверхностей подложек, процессов конденсации, формирования и роста пленок на подложках, методов управления остаточными внутренними напряжениями в тонкопленочных оптических покрытиях.

3. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения ОП магистратуры

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих элементов компетенций в соответствии с ФГОС ВО, ОП ВО и приобретения следующих знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности:

Формируемая компетенция (код и формулировка)	Индикатор достижения компетенции (код и формулировка)	Перечень планируемых результатов обучения
Профессиональные компетенции		
ПК-4 Способен к организации и проведению экспериментальных исследований с применением современных средств и методов	<p>ИД_ПК-4.1. Знает способы организации и проведения экспериментальных исследований.</p> <p>ИД_ПК-4.2. Способен самостоятельно проводить экспериментальные исследования.</p> <p>ИД_ПК-4.3. Демонстрирует навыки проведения исследований с применением современных средств и методов.</p>	<p>Знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> • область применения технологий напыления тонких плёнок; <p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> • ориентироваться в современных методах нанесения тонких пленок и измерения их характеристик, понимать физические принципы, лежащие в основе каждого из методов. <p>Владеть:</p> <p>методами контроля параметров тонких плёнок и выбора технологических режимов.</p>

4. Объем, структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетных единиц, 108 акад. часов.

№ п/п	Темы (разделы) дисциплины, их содержание	Семестр	Виды учебных занятий, включая самостоятельную работу студентов, и их трудоемкость (в академических часах)						Формы текущего контроля успеваемости Форма промежуточной аттестации (по семестрам)
			Контактная работа						
			Лекции	Практические	Лабораторные	Консультации	Аттестационные испытания	Самостоятельная работа	
1	Введение	3	2	2				2	
2	Основы материаловедения в технологии оптических тонкопленочных покрытий	3	2	2				6	Задания для самостоятельной работы
3	Особенности подготовки поверхностей и роста тонких пленок	3	2	2				6	Задания для самостоятельной работы
4	Термическое вакуумное напыление	3	2	4				6	Задания для самостоятельной работы
5	Ионно-плазменное распыление	3	4	4		2		7,7	Задания для самостоятельной работы
6	Аналитическое оборудование и методы исследования и контроля параметров тонких пленок и поверхности	3	4	4		2		8	Задания для самостоятельной работы
	Всего за 3 семестр		16	16		4		35,7	
	Зачет						1		Зачет
	Всего		16	16		4	1	35,7	

Содержание разделов дисциплины:

4.1 Введение.

Терминология, первичные определения и понятия о тонких пленках, а также вакуумных методах и средствах их формирования. Термическое вакуумное напыление, электронно-лучевое и ионное распыление. PVD- и CVD-процессы. Применение вакуумных тонкопленочных покрытий в оптике, электронике и дисплейной технике.

Факторы определяющие свойства тонких пленок. Физические основы функционирования тонкопленочных покрытий в оптических системах.

4.2 Основы материаловедения в технологии оптических тонкопленочных покрытий.

Материалы подложек в изделиях оптики. Стекло и его виды. Подложки из кварца и сапфира. Полупроводниковые материалы и их использование в оптике ИК диапазона. Кремний, германий, сульфиды и селениды. Пленкообразующие материалы для оптики ультрафиолетового, видимого и инфракрасного диапазонов. Материалы для формирования электропроводящих прозрачных покрытий. Металлические материалы для формирования зеркальных покрытий.

4.3 Особенности подготовки поверхностей и роста тонких пленок.

Понятия «пленка» и «тонкая пленка». Общие технологические условия нанесения тонких пленок. Микрогеометрия поверхности подложки. Реальная поверхность. Методы подготовки поверхности подложек до помещения их в вакуумную камеру (внешняя подготовка). Методы консервирования очищенной поверхности на этапе хранения и транспортировки в вакуумную камеру. Оборудование, технологические приемы и материалы для процессов внешней подготовки поверхности подложек. Механическая, химическая, плазмохимическая и ионная обработка поверхности. Вакуум-термическая и химико-термическая подготовка поверхности. Формирование специальных подслоев на поверхности полимерных подложек. Методы нагрева и охлаждения подложек, измерения температуры. Плазмостойкие нагреватели.

Примеры свойств и возможностей применения тонких пленок. Этапы процесса осаждения пленок и их физико-химические особенности. Конденсация и образование зародышей, рост тонких пленок. Капиллярная модель зародышеобразования. Четыре стадии роста пленки. Влияние характера зарождения пленок на их структуру.

4.4 Термическое вакуумное напыление.

Технология термического испарения в вакууме. Характеристики этапов испарения, переноса и конденсации. Влияние технологических факторов на свойства пленок. Конструкции испарителей Проволочные и ленточные испарители резистивного нагрева. Индукционный и электроннолучевой нагрев. Специфика технологии проводящих и диэлектрических пленок, защитных покрытий. Таблица режимов, материалов и скорости осаждения.

Вакуумно-термическое испарение, оценка степени загрязнения пленок и требования к вакууму. Испарение соединений и сплавов, распределение осажденных пленок по толщине. Способы нагрева загрузки и конструкции испарителей. Энергетические и пространственные распределения потока испаренного вещества. Скорость испарения. Расчет скорости осаждения при баллистическом и диффузионном транспорте вещества от источника к подложке. Испарение сплавов и соединений. Испарение многокомпонентных материалов и сплавов. Соиспарение из нескольких источников. Взрывное испарение. Испарение с ионным ассистированием. Реактивное испарение.

Лазерное испарение. Взаимодействие лазерных пучков с поверхностью материалов. Глубины проникновения, коэффициенты отражения, механизмы передачи энергии. Испарение материалов под действием лазеров. Импульсное лазерное испарение. Влияние мощности и длительности импульса.

Влияние температуры подложки, скорости нанесения, давления и состава остаточных газов на свойства покрытий. Методы контроля скорости нанесения и толщины пленок. Кварцевый контроль. Оптический фотометрический, интерференционный и спектральный контроль.

4.5 Ионно-плазменное распыление

Физические процессы при ионном распылении поверхности твердого тела. Распыляемая мишень как источник наносимого материала. Энергетические и пространственные распределения потока распыленного материала. Закономерности распыления поликристаллических и монокристаллических материалов. Закономерности распыления соединений и сплавов. Реактивное распыление.

Технологические газоразрядные устройства для реализации методов ионного распыления. Основные разновидности газовых разрядов в устройствах ионного распыления.

Катодное распыление. Влияние рабочих характеристик на параметры технологических процессов. Область применения катодного распыления. Магнетронная система распыления. Принципы работы. Технологические параметры магнетронных систем распыления. Оценка эффективности магнетронных систем нанесения тонких пленок магнитных и немагнитных материалов.

Ионно-лучевые системы распыления. Разновидности компоновок. Основные разновидности ионных источников. Коэффициент распыления, скорость распыления, оценка степени загрязнения при ионном распылении, диодная система распыления на постоянном токе, высокочастотное распыление, триодная система ионного распыления; автоэмиссионное и ионно-кластерное распыление; реактивное распыление. Контроль процесса осаждения тонких пленок.

Ионно-лучевые системы очистки и ассистирования. Системы ионно-лучевого распыления с одновременной обработкой поверхности подложек вторым ионным пучком. Системы с фокусировкой ионного пучка для обработки поверхности.

4.6 Аналитическое оборудование и методы исследования и контроля параметров тонких пленок и поверхности.

Общая характеристика методов исследования и измерения параметров тонких пленок. Физические свойства тонких пленок: толщина, внутренние напряжения, адгезионная прочность, электрическое сопротивление. Дефекты в тонких пленках оптического назначения. Причины возникновения и методы решения проблем. Ультрадисперсные частицы в оптических пленках и их влияние на уровень рассеяния. Причины возникновения в процессах термического испарения и ионного распыления.

Оптическая микроскопия. Электронная растровая микроскопия. Профилометрия, как метод контроля шероховатости поверхности. Сканирующая туннельная и атомно-силовая микроскопия. Просвечивающая электронная микроскопия

Исследование состава пленок и концентрационных профилей компонентов в них. Рентгеновские дифракционные методы анализа кристаллической структуры. Метод масспектро스코пии вторичных ионов. Рентгеновская фотоэлектронная спектрометрия. Оже-спектроскопия. Фотометрия. Интерферометрия. Оптическая спектроскопия. Адсорбционная, ультрафиолетовая, видимая и ИК-спектроскопия. Эллипсометрия как метод определения оптических параметров пленок.

Методы измерения электрофизических параметров тонких пленок. Методы измерения адгезии и стойкости к истиранию.

5. Образовательные технологии, используемые при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

В процессе обучения используются следующие образовательные технологии:

Вводная лекция – дает первое целостное представление о дисциплине и ориентирует студента в системе изучения данной дисциплины. Студенты знакомятся с назначением и задачами курса, его ролью и местом в системе учебных дисциплин и в системе подготовки

в целом. Дается краткий обзор курса, история развития науки и практики, достижения в этой сфере, имена известных ученых, излагаются перспективные направления исследований. На этой лекции высказываются методические и организационные особенности работы в рамках данной дисциплины, а также дается анализ рекомендуемой учебно-методической литературы.

Академическая лекция (или лекция общего курса) – последовательное изложение материала, осуществляемое преимущественно в виде монолога преподавателя. Требования к академической лекции: современный научный уровень и насыщенная информативность, убедительная аргументация, доступная и понятная речь, четкая структура и логика, наличие ярких примеров, научных доказательств, обоснований, фактов.

Практическое занятие – занятие, посвященное освоению конкретных умений и навыков и закреплению полученных на лекции знаний.

Лабораторные работы - организация учебной работы с реальными материальными и информационными объектами, экспериментальная работа с аналоговыми моделями реальных объектов и физических явлений.

Примерный перечень заданий для выполнения в лабораторном практикуме

- Методы очистки подложек;
- Получение пленок методом термического вакуумного напыления;
- Получение пленок методом ионно-плазменного распыления;
- Получение пленок методом магнетронного распыления;
- Получение люминесцентного покрытия методом электрофореза и исследование его свойств.
- Исследование свойств тонких пленок различными методами (оптическая микроскопия, туннельная микроскопия, электронная микроскопия, рентгеновская дифрактометрия, электрофизические измерения, спектральные характеристики);

6. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень лицензионного программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

В процессе осуществления образовательного процесса используются:

- для формирования текстовых и графических материалов промежуточной и текущей аттестации – программы Microsoft Office, графический редактор Inkscape;
- для поиска учебной литературы библиотеки ЯрГУ – Автоматизированная библиотечная информационная система "БУКИ-NEXT" (АБИС "Буки-Next").

7. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины

а) основная литература

1. Берлин Е.В., Двинин С.А., Сейдман Л.А. Вакуумная технология и оборудование для нанесения и травления тонких пленок. М.: Техносфера, 2007, 176 с.
2. Берлин Е.В., Сейдман Л.А. Ионно-плазменные процессы в тонкопленочной технологии. М.: Техносфера, 2010. – 528с.
3. Технология тонких пленок. Том 1, 2. Справочник. Под редакцией Л. Майссела, Р. Глэнга. М.: Советское радио, 1977, 664 с (Том 1), 768 с (Том 2).
4. Минайчев В.Е. Нанесение пленок в вакууме. – М.: Высшая школа, 1989.

б) дополнительная литература

1. Кукушкин С.А., Осипов А.В. Процессы конденсации тонких пленок. Успехи физических наук, 1998, Т. 168, № 10, с.1083-1116.
2. Палатник Л.С., Папилов Л.И. Эпитаксиальные пленки. М.: Наука, 1970.
3. Бубнов Ю.З., Лурье М.С., Старое Ф.Г., Филаретов Г.А. Вакуумное напыление плёнок в квазизамкнутом объёме. - М.: Сов. Радио, 1975, - 160 с.
4. Данилин Б.С. Вакуумное нанесение тонких пленок. М.: Энергия, 1967, 312 с.
5. Физика тонких пленок: современное состояние исследований и технические применения. Том 2. Под редакцией Г. Хасса, Р.Э. Туна. М.: Мир, 1967, 396 с.
6. Фелдман Л., Майер Д. Основы анализа поверхности и тонких пленок. М.: Мир, 1989, 344 с.

в) ресурсы сети «Интернет»

1. Электронная библиотека учебных материалов ЯрГУ
(http://www.lib.uni Yar.ac.ru/opac/bk_cat_find.php).
 2. Информационная система "Единое окно доступа к образовательным ресурсам"
(<http://www.edu.ru> (раздел Учебно-методическая библиотека) или по прямой ссылке <http://window.edu.ru/library>).
8. **Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине**
Аудитории, оборудованные для проведения лекций, лабораторных работ, практических, занятий и консультаций, фонд библиотеки, компьютерная техника.

Автор:

Доцент базовой кафедры
нанотехнологий в электронике, д.ф.-м.н.

(подпись) О.С. Трушин

**Приложение №1 к рабочей программе дисциплины
«Технология тонких пленок и покрытий»**

**Фонд оценочных средств
для проведения текущей и промежуточной аттестации студентов
по дисциплине**

**1. Типовые контрольные задания или иные материалы,
необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности,
характеризующих этапы формирования компетенций**

**1.1 Список тестовых вопросов и (или) заданий для проведения промежуточной
аттестации**

Чтобы увеличить размер «зародышей» следует:

- 1) Улучшить вакуум в камере
- 2) Понизить температуру подложки
- 3) Повысить температуру подложки
- 4) Понизить скорость напыления

Каким способом нельзя снизить неравномерность напыляемой пленки?

- 1) Увеличение расстояния от источника
- 2) Вращение подложки частиц до подложки
- 3) Увеличение скорости напыления
- 4) Придание подложке сферической формы

Из какого материала рекомендуют изготавливать маски-трафареты?

- 1) Нержавеющая сталь
- 2) Олово
- 3) Свинец
- 4) Пластик

Какой из металлов имеет наибольшую скорость распыления при электронно-лучевом методе напыления?

- 1) Титан
- 2) Вольфрам
- 3) Молибден
- 4) Алюминий

При каком давлении производится ионное распыление в диодной системе?

- 1) 760 Торр
- 2) порядка 10^{-3} Торр
- 3) менее 10^{-6} Торр
- 4) порядка 10^{-5} Торр

Что не относится к преимуществам напыления пленок методом ионного распыления?

- 1) Большая площадь распыляемой мишени
- 2) Мишень представляет собой источник длительного действия частиц наносимого материала
- 3) Поток осаждаемых на поверхность подложки частиц является хаотическим
- 4) Большая энергия конденсирующихся атомов

Какой способ применяется для распыления диэлектрических материалов?

- 1) Радиочастотный магнетрон
- 2) Диодная конструкция

3) Магнетрон

Какой способ применяется для реактивного распыления?

- 1) Термический
- 2) Диодная конструкция
- 3) Магнетрон
- 4) Радиочастотный магнетрон

Недостаток реактивного распыления?

- 1) Неравномерность наносимой пленки
- 2) Внутренние дефекты пленки
- 3) Низкая скорость распыления
- 4) Шероховатость полученной пленки

В какой области магнетронного распылителя концентрация плазмы наибольшая?

- 1) По всей поверхности катода
- 2) Возле анода
- 3) Во всем промежутке между подложкой и катодом
- 4) В области максимальной концентрации электрического и магнитного поля

При каком свете измерение толщины пленки методом многолучевой интерферометрии будет точнее?

- 1) Красный
- 2) Зеленый
- 3) Синий

Для чего охлаждают кварцевый датчик?

- 1) Для увеличения адгезии пленки
- 2) Для исключения погрешности связанной с резонансной частотой кварцевого элемента
- 3) Для повышения равномерности пленки

Какой из факторов не влияет на величину адгезии пленки к подложке?

- 1) Толщина полученной пленки
- 2) Материал пленки
- 3) Скорость напыления
- Температура подложки

Список вопросов к зачету:

1. Приведите физические методы нанесения тонких пленок.
2. В чем заключается методика нанесения тонких пленок с помощью вакуумного испарения? Какие разновидности Вы знаете?
3. В чем заключается методика нанесения тонких пленок с помощью импульсного лазерного воздействия?
4. В чем заключается методика нанесения тонких пленок с помощью вакуумного распыления?
5. В чем особенность и реализация метода магнетронного распыления?
6. В чем суть метода химического нанесения тонких пленок из газовой фазы?
7. Что обозначает термин «тонкая пленка»
8. Приведите примеры 10 применений тонких пленок
9. Нарисуйте схематическое устройство вакуумной камеры для нанесения методом термического испарения
10. Как должны двигаться атомы (молекулы) испаряемого вещества при нанесении тонких пленок методом вакуумного испарения (тип потока)
11. Что такое давление насыщенных паров над поверхностью вещества? Как зависит от температуры?
12. Преимущества и недостатки метода вакуумного испарения

13. Характерные температуры нагрева напыляемого вещества в методе вакуумного испарения?
14. От чего зависит скорость испарения напыляемого вещества в методе вакуумного испарения?
15. Как происходит испарение сплавов и изменение состава образующейся пленки по сравнению с составом исходного сплава?
16. Как происходит испарение соединений в методе вакуумного испарения? Может ли при испарении соединения происходить нанесение практически без изменения состава?
17. Отличия и особенности электронно-лучевого испарения
18. Поясните на простейшем примере механизм физического распыления в плазме. Что такое автосмещение?
19. Что такое плазма?
20. Какова характерная энергия атомов или молекул напыляемого вещества, вылетающих с поверхности в методе вакуумного испарения?
21. Какова характерная энергия атомов напыляемого вещества, вылетающих с поверхности мишени при реализации метода вакуумного распыления?
22. Поясните как реализуется метод ВЧ катодного распыления.
23. Зачем при нанесении тонких пленок во многих методах применяется вакуум?
24. «Главное» свойство тонких пленок
25. Природа сил адгезии тонких пленок к поверхности подложки.
26. Методы измерения адгезии тонких пленок.
27. Типы механических напряжений в тонких пленках.
28. Методы измерения механических напряжений в пленках
29. Какие механические напряжения характерны для термического испарения, а какие для распыления?
30. Что такое эпитаксия? Виды эпитаксии.
31. Принцип метода жидкостной эпитаксии.
32. Принцип формирования тонких пленок золь-гель методом.
33. Принцип метода Ленгмюра-Блоджетт
34. Основные виды модификации поверхности, которые можно использовать в фотолитографии
35. Профиль распределения примеси при ионной имплантации.
36. Принцип метода молекулярно-лучевой эпитаксии. Конструкция эффузионной ячейки Кнудсена.
37. Методы измерения сопротивления тонких пленок
38. Зависимость сопротивления тонкой пленки от толщины
39. Модели проводимости пленки на ранних стадиях роста
40. Классификация методов нанесения тонких пленок с примерами
41. Два режима образования паров при нанесении тонких пленок методом вакуумного испарения. Чем они отличаются? Каков численный критерий? Примеры веществ.
42. Закон косинусов в распределении толщины пленки для точечного и небольшого плоского источника (испарителя). Проиллюстрируйте рисунком.
43. Как можно улучшить однородность толщины пленок, полученных методом вакуумного испарения (два варианта размещения подложки относительно источника)?
44. Как вероятность «прилипания» атома к поверхности зависит от его кинетической энергии? Какие режимы можно выделить на этой зависимости?
45. Методы измерения толщины тонких пленок (классификация)
46. Оптические методы измерения толщины тонких пленок.
47. Кварцевые микровесы – принцип работы, применение для измерения толщины напыляемых пленок.
48. Модели образования напряжений в пленках (несколько примеров)

49. Профиль распределения примеси при диффузии с ограниченным и неограниченным источником.
50. Модели зародышеобразования тонких пленок
51. Рост пленки на начальных этапах нанесения. Зависимость от температуры.

Правила выставления зачета.

При сдаче зачета студент отвечает на один теоретический вопрос. На подготовку к ответу дается не менее 1 часа. Оценка «Зачтено» выставляется студенту, который дает полные и последовательные ответы на вопросы по темам, при этом демонстрирует умение выделить существенные и несущественные признаки и установить причинно-следственные связи. При этом допускаются ошибки в определении и раскрытии некоторых основных понятий, формулировке положений, которые студент затрудняется исправить самостоятельно. При аргументации ответа студент не обосновывает свои суждения. На часть дополнительных вопросов студент затрудняется дать ответ или дает неверные ответы.

Оценка «Незачтено» выставляется студенту, который демонстрирует разрозненные, бессистемные знания; беспорядочно и неуверенно излагает материал; не умеет выделять главное и второстепенное, не умеет соединять теоретические положения с практикой, не устанавливает межпредметные связи; допускает грубые ошибки при определении сущности раскрываемых понятий, явлений, вследствие непонимания их существенных и несущественных признаков и связей; дает неполные ответы, логика и последовательность изложения которых имеют существенные и принципиальные нарушения, в ответах отсутствуют выводы. Дополнительные и уточняющие вопросы экзаменатора не приводят к коррекции ответов студента. На основную часть дополнительных вопросов студент затрудняется дать ответ или дает неверные ответы.

Приложение №2 к рабочей программе дисциплины
« Технология тонких пленок и покрытий »
(наименование дисциплины)

Методические указания для студентов по освоению дисциплины

Основной формой изложения материала по дисциплине «Технология тонких пленок и покрытий» являются лекции в объеме 16 часов. Это связано с необходимостью описания основных методов получения и исследования тонких пленок и покрытий.

На лабораторных занятиях студенты (под руководством преподавателя) проводят экспериментальные исследования технологии получения пленок различными методами и образцов одно- и многослойных пленочных структур. При этом особое внимание уделяется анализу получаемых данных и их физической интерпретации.

Для успешного освоения дисциплины важно активное участие студентов на лабораторных занятиях, а также их самостоятельная работа дома. Рекомендуется регулярное повторение пройденного материала и чтение рекомендованной литературы.

В конце семестра студенты сдают зачет, который проводится в форме устного опроса по списку вопросов.

Освоить вопросы, излагаемые в данном курсе самостоятельно студенту достаточно сложно. Поэтому посещение аудиторных занятий является необходимым.

**Учебно-методическое обеспечение
самостоятельной работы студентов по дисциплине**

а) основная литература

1. Берлин Е.В., Двинин С.А., Сейдман Л.А. Вакуумная технология и оборудование для нанесения и травления тонких пленок. М.: Техносфера, 2007, 176 с.
2. Берлин Е.В., Сейдман Л.А. Ионно-плазменные процессы в тонкопленочной технологии. М.: Техносфера, 2010. – 528с.
3. Технология тонких пленок. Том 1, 2. Справочник. Под редакцией Л. Майссела, Р. Глэнга. М.: Советское радио, 1977, 664 с (Том 1), 768 с (Том 2).
4. Минайчев В.Е. Нанесение пленок в вакууме. – М.: Высшая школа, 1989.

б) дополнительная литература

5. Кукушкин С.А., Осипов А.В. Процессы конденсации тонких пленок. Успехи физических наук, 1998, Т. 168, № 10, с.1083-1116.
6. Палатник Л.С., Папилов Л.И. Эпитаксиальные пленки. М.: Наука, 1970.
7. Бубнов Ю.З., Лурье М.С., Старое Ф.Г., Филаретов Г.А. Вакуумное напыление плёнок в квазизамкнутом объёме. - М.: Сов. Радио, 1975, - 160 с.
8. Данилин Б.С. Вакуумное нанесение тонких пленок. М.: Энергия, 1967, 312 с.
9. Физика тонких пленок: современное состояние исследований и технические применения. Том 2. Под редакцией Г. Хасса, Р.Э. Туна. М.: Мир, 1967, 396 с.
10. Фелдман Л., Майер Д. Основы анализа поверхности и тонких пленок. М.: Мир, 1989, 344 с.

в) ресурсы сети «Интернет»

1. Электронная библиотека учебных материалов ЯрГУ
(http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk_cat_find.php).
2. Информационная система "Единое окно доступа к образовательным ресурсам"
(<http://www.edu.ru> (раздел Учебно-методическая библиотека) или по прямой ссылке <http://window.edu.ru/library>).