

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования**

«Воронежский государственный технический университет»

кафедра физики твердого тела

«ФИЗИКА ТОНКИХ ПЛЕНОК»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к практическим занятиям

**для студентов направления 16.03.01 «Техническая физика» (профиль под-
готовки «Физическая электроника») очной формы обучения**

Воронеж 2021

УДК 539.67

Составители:

Стогней О.В.

Физика тонких пленок: методические указания к практическим занятиям для студентов направления 16.03.01 «Техническая физика» (профиль подготовки «Физическая электроника») очной формы обучения / ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет»; сост.: О.В.Стогней. - Воронеж, 2021. 12 с.

В методических указаниях приводятся примерные вопросы для подготовки к практическим занятиям и список литературных источников по рассматриваемым темам.

Издание предназначено для студентов очной формы обучения.

Методические указания подготовлены в электронном виде и содержатся в файле «МУ ПР ФизикаТонкихПленок.pdf».

Библиогр.: 7 назв.

Рецензент – В.А. Макагонов, канд. физ-мат. наук, доц. кафедры физики ВГТУ

Рекомендовано методическим семинаром кафедры ФТТ и методической комиссией ФРТЭ Воронежского государственного технического университета в качестве методических материалов

Введение

Практическое занятие – одна из основных форм организации учебного процесса, заключающаяся в выполнении студентами под руководством преподавателя комплекса учебных заданий с целью усвоения научно-теоретических основ учебной дисциплины, приобретения умений и навыков, опыта творческой деятельности

Целью практического занятия является привитие умений и навыков практической деятельности по изучаемой дисциплине.

Задачами практических занятий являются:

- закрепление, углубление, расширение и детализация знаний студентов при решении конкретных задач;
- развитие познавательных способностей, самостоятельности мышления, творческой активности;
- овладение новыми методами и методиками изучения конкретной учебной дисциплины;
- выработка способности логического осмысления полученных знаний для выполнения заданий;
- обеспечение рационального сочетания коллективной и индивидуальной форм обучения.

Подготовку к каждому практическому занятию необходимо начинать с ознакомления с планом практического занятия, который отражает содержание предложенной темы. Тщательное продумывание и изучение вопросов плана основывается на проработке текущего материала лекции, а затем изучения обязательной и дополнительной литературы, рекомендованной к данной теме. Все новые понятия по изучаемой теме необходимо выучить наизусть и внести в глоссарий, который целесообразно вести с самого начала изучения дисциплины.

Результат такой работы должен проявиться в способности свободно ответить на теоретические вопросы практикума, выступать и участвовать в коллективном обсуждении вопросов

изучаемой темы, правильно выполнять практические задания и контрольные работы.

В процессе подготовки к практическим занятиям, необходимо обратить особое внимание на самостоятельное изучение рекомендованной литературы. При всей полноте конспектирования лекции в ней невозможно изложить весь материал из-за лимита аудиторных часов. Поэтому самостоятельная работа с учебниками, учебными пособиями, научной, справочной литературой, материалами периодических изданий и Интернета является наиболее эффективным методом получения дополнительных знаний, позволяет значительно активизировать процесс овладения информацией, способствует более глубокому усвоению изучаемого материала.

ВОПРОСЫ ДЛЯ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

Методы получения тонких пленок.

1. Какое условие должно выполняться, для того, чтобы пленку можно было считать «тонкой»? (Критерий того, что пленка действительно является тонкой)
2. В чем основное отличие физических методов получения тонкой пленки от химических?
3. Перечислить основные стадии процесса напыления пленки физическими методами.
4. Чем «прямой нагрев» отличается от «косвенного» в методах вакуумного напыления?
5. В чем основное отличие термовакuumного метода напыления пленок от метода катодного напыления?
6. Перечислить способы с помощью которых испаряется твердое вещество в методах термо-вакуумного напыления?
7. Дать определение понятия «давление насыщенного пара».
8. Дать определение понятия «условная температура испарения».
9. Что конденсируется на поверхности подложки в методах термо-вакуумного напыления – ионы или атомы?
10. Что является рабочей атмосферой внутри камеры в методах термовакuumного напыления?
11. Что такое коэффициент распыления?
12. Для чего в методах ионно-плазменного напыления используется аргон?
13. Каким образом происходит ионизация атомов аргона?
14. Что конденсируется на поверхности подложки в методах ионно-плазменного напыления – ионы или атомы?
15. Что является источником электронов в методе катодного (двухэлектродного) распыления?

Зародышеобразование и рост тонких пленок

1. Что такое «критический зародыш»?
2. Что такое «поверхность раздела»?
3. Чем гомогенное зародышеобразование отличается от гетерогенного?
4. При гомогенном зародышеобразовании появление новой фазы (появление зародышей) приводит к изменению энергии Гиббса системы (ΔG). Какие слагаемые, дающие вклад в ΔG , при этом рассматриваются? Изменение энергии за счет какого фактора рассматривает каждое слагаемое?
5. Почему при образовании новой фазы (при появлении зародышей) в объеме исходной фазы система вынуждена преодолевать потенциальный барьер? Почему существует потенциальный барьер для формирования зародышей новой фазы?
6. От чего зависит размер критического зародыша? Как можно уменьшить размер критического зародыша?
7. μ - это химический потенциал, $\Delta\mu$ - изменение химического потенциала системы или разность между химическим потенциалом системы в начальном состоянии (до появления зародышей новой фазы) и химическим потенциалом новой фазы. Можно ли воздействуя на систему менять величину $\Delta\mu$? Если да – привести примеры.
8. Какой, примерно, размер имеют критические зародыши металла при конденсации из пара? Какой размер при кристаллизации из расплава?
9. При образовании зародыша какой формы высота потенциального барьера меньше: изотропного (сферического) или

анизотропного (то есть имеющего определенную кристаллографическую огранку)?

10. При рассмотрении гетерогенного зародышеобразования, какое слагаемое добавляется в выражение для ΔG ?

11. В каком случае высота потенциального барьера меньше: в случае гомогенного или гетерогенного зародышеобразования? От чего зависит изменение высоты барьера?

12. Появление зародыша новой фазы в системе приводит к росту энергии Гиббса, это термодинамически не выгодно. Объяснить, каким образом зародыш «умудряется» достигнуть критического размера, после чего его рост ведёт уже к уменьшению энергии.

13. Какие два механизма определяют рост зародыша новой фазы?

14. При каком механизме роста размер зародыша будет линейно пропорционален времени?

15. Что является основным фактором, влияющим на то какой механизм формирования пленки на поверхности подложки (островковый, послойный или комбинированный) будет реализован?

Кинетические явления в тонких пленках

1. Как влияет температура подложки на размер зерен в формирующейся пленке?

2. Как влияет термический отжиг поликристаллической пленки на размер зёрен? Почему так? Какие процессы могут при этом происходить?

3. Какие материалы могут использоваться в качестве подложек?
4. Методы очистки подложки (просто названия)?
5. Суть метода очистки подложки ионной бомбардировкой, плюсы, минусы.
6. Суть метода очистки подложки прогревом в вакууме, плюсы, минусы.
7. Какие методы очистки подложек дают наилучшие результаты и почему?
8. Классификация микронапряжений в пленках, формируемых на подложках.
9. Чем определяется электрическое сопротивление металлов? С чем связан положительный знак температурного коэффициента электросопротивления у металлов?
10. Чем обусловлено остаточное сопротивление металлов при низких (гелиевых) температурах (если, конечно, металл не является сверхпроводником)?
11. В чем суть классического размерного эффекта?
12. Как влияет толщина металлической пленки на величину её удельного электросопротивления ?
13. При каких условиях в сплошной металлической пленке начинает проявляться размерный эффект?
14. Основные экспериментально наблюдаемые особенности электрических свойств островковых пленок?
15. Какой знак имеет температурный коэффициент сопротивления у островковых пленок?

КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ

Критерии оценки учебных действий студентов по решению учебно-профессиональных задач на практических занятиях:

Оценка «отлично» выставляется, если студент активно работает в течение всего практического занятия, дает полные ответы на вопросы преподавателя в соответствии с планом практического занятия и показывает при этом глубокое овладение лекционным материалом, способен выразить собственное отношение по данной проблеме, проявляет умение самостоятельно и аргументированно излагать материал, анализировать явления и факты со ссылками на соответствующие нормативные документы, делать самостоятельные обобщения и выводы, заключения, рекомендации, правильно выполняет все этапы практического задания.

Оценка «хорошо» выставляется при условии соблюдения следующих требований: студент активно работает в течение практического занятия, вопросы освещены полно, изложения материала логическое, обоснованное фактами, со ссылками на соответствующие нормативные документы и литературные источники, освещение вопросов завершено выводами, студент обнаружил умение анализировать факты и события, а также выполнять учебные задания. Но в ответах допущены неточности, некоторые незначительные ошибки, имеет место недостаточная аргументированность при изложении материала, недостаточно четко сделаны обобщение и выводы.

Оценка «удовлетворительно» выставляется в том случае, когда студент в целом овладел сути вопросов по данной теме, обнаруживает знание лекционного материала и учебной литературы, пытается анализировать факты и события, делать выводы и решать задачи. Но на занятии ведет себя пассивно, отвечает только по вызову преподавателя, дает неполные ответы на вопросы, допускает грубые ошибки при освещении

теоретического материала, не может обобщить и сделать четкие логические выводы.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется в случае, когда студент обнаружил несостоятельность осветить вопросы или вопросы освещены неправильно, бессистемно, с грубыми ошибками, отсутствуют понимания основной сути вопросов, выводы, обобщения, обнаружено неумение решать учебные задачи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Васильев В. Ю. Технология тонких пленок для микро- и наноэлектроники : учебное пособие / В. Ю. Васильев. — Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2019. — 107 с. — [Текст: электронный] // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART:

[сайт] URL: <https://www.iprbookshop.ru/98748.html>

2. Твердохлеб П. Е. Оптические свойства тонких диэлектрических пленок : учебное пособие / П. Е. Твердохлеб, М. А. Пономарева. — Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2019. — 87 с. [Текст : электронный] // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART: [сайт] URL: <https://www.iprbookshop.ru/98799.html>

3. Иевлев В.М. Рост и субструктура конденсированных пленок : учеб. пособие. - Воронеж : Изд-во ВГТУ, 2000. - 386 с.

4. Пасынков В.В. Материалы электронной техники : Учебник. - 6-е изд., стереотип. - СПб. : Лань, 2004. - 368 с. - (Учебники для вузов. Специальная литература). - ISBN 5-8114-0409-3

5. Липатов Г.И. Технология материалов и изделий электронной техники : учеб. пособие. Ч.2. - Воронеж : ГОУВПО "Воронежский государственный технический университет", 2006. - 172 с.

6. Трофимов В.И. Рост и морфология тонких пленок. - М. : Энергоатомиздат, 1993. - 272 с. : ил. - ISBN 5-283-03861-0

7. Иевлев В.М. Ориентированная кристаллизация пленок : учеб. пособие. - Воронеж : Изд-во ВГТУ, 1998. - 216 с. :

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
Вопросы для практических занятий	5
Критерии оценки	9
Список литературы	11

ФИЗИКА ТОНКИХ ПЛЕНОК

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

**к выполнению самостоятельных работ
для обучающихся по направлению 16.03.01 «Техническая
физика» (профиль подготовки «Физическая электроника»)
очной формы обучения**

Составитель:
Стогней Олег Владимирович

В авторской редакции

Уч.-изд. л. 0,5.

ФГБОУ ВПО "Воронежский государственный технический университет"
394026 Воронеж, Московский просп., 14