

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ  
Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

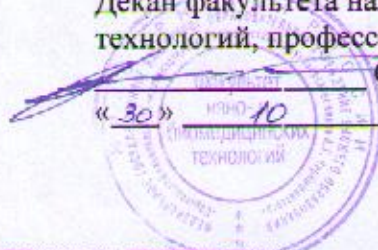
Факультет нано- и биомедицинских технологий

УТВЕРЖДАЮ

Декан факультета нано- и биомедицинских  
технологий, профессор

С.Б. Вениг

«30» нояб 2019 г.



**Рабочая программа дисциплины**  
**Физика и химия поверхности и коллоидов**

Направление подготовки магистратуры  
**22.04.01 «Материаловедение и технологии материалов»**

Профиль подготовки магистратуры  
**«Функциональные и интеллектуальные материалы и структуры  
для электроники и биомедицины»**

Квалификация (степень) выпускника  
Магистр

Форма обучения  
очная

Саратов,  
2019

Статус	ФИО	Подпись	Дата
Преподаватель-разработчик	Ломова М.В.		25.09.19г.
Председатель НМК	Михайлов А.И.		21.10.19г.
Заведующий кафедрой	Михайлов А.И.		21.10.19г.
Специалист Учебно-го управления	Юшинова И.В.		30.10.19г.

## 1. Цели освоения дисциплины

Целью освоения дисциплины «Физика и химия поверхности и коллоидов» является формирование у студентов комплекса профессиональных знаний умений и владений и усвоение материала о физических и химических свойствах границ раздела фаз и коллоидных систем, которые необходимы для выполнения работ по технологической подготовке производства материалов и изделий электронной техники.

Задачами освоения дисциплины являются:

- формирование и углубление знаний о физике и химии границ раздела фаз и коллоидных систем и тех ее важнейших аспектах, которые непосредственно касаются технологии производства полупроводниковых структур, применяемых в приборах и устройствах твердотельной электроники и микроэлектроники;
- формирование умений теоретически исследовать физико-химические процессы, протекающие на границе раздела фаз и коллоидных системах;
- формирование владений методами и навыками модификации поверхности, исследования и управления свойствами границы раздела фаз и коллоидными системами и теоретического расчета параметров и характеристик данных систем;
- формирование знаний практического использования управления свойствами границы раздела фаз и коллоидными системами для технологии производства полупроводниковых полупроводниковых систем.

## 2. Место дисциплины в структуре ООП магистратуры

Дисциплина «Физика и химия поверхности и коллоидов» относится к обязательной части блока 1 «Дисциплины (модули)» ООП магистратуры и изучается магистрантами дневного отделения факультета нано- и биомедицинских технологий СГУ, обучающимися по направлению подготовки магистров 22.04.01 «Материаловедение и технологии материалов» и профилю «Функциональные и интеллектуальные материалы и структуры для электроники и биомедицины» в течение 3 учебного семестра. Материал дисциплины опирается на ранее приобретенные студентами знания по физике, математике, химии, инженерной и компьютерной графике, методам математической физики, теоретическим основам электротехники, квантовой механике, кристаллографии и кристаллофизике, термодинамике, электродинамике, физике конденсированного состояния: электронным свойствам кристаллов, физике полупроводников, подготавливает студентов к изучению в том же семестре таких дисциплин как «Материалы и технологии молекулярной электроники», «Материаловедение и технологии современных и перспективных материалов».

## 3. Результаты обучения по дисциплине

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора (индикаторов) достижения компетенции	Результаты обучения
ПК-14. Способен анализировать физические и химические процессы, протекающие в материалах при их получении, обработке и модификации; использовать знания о методах исследования, анализа, диагностики и моделирования свойств веществ (материалов), проводить комплексные исследования, при-	<b>1.1_М. ПК-14.</b> Принимает участие в организации работы по стандартизации и по подготовке к проведению сертификации продукции. <b>2.1_М. ПК-14.</b> Подготавливает аналитические обзоры на основе обобщения результатов законченных исследований. <b>3.1_М. ПК-14.</b> Эффективно	<b>Знать:</b> физические и химические процессы, протекающие на границе раздела фаз и в коллоидных системах, которые используются в технологии создания и методах диагностики полупроводниковых структур, используемых в приборах твердотельной электроники и наноэлектро-

меня стандартные и сертификационные испытания	организовывает выбор средств и методов измерений.	ники. <b>Уметь:</b> теоретически анализировать, рассчитывать и экспериментально исследовать параметры и характеристики границы раздела фаз и коллоидных систем и управлять ими. <b>Владеть:</b> методиками экспериментального исследования границ раздела фаз и коллоидных систем, методами и основными подходами к их теоретическому описанию и анализу.
---	---	---

#### 4. Структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетных единиц, 108 часов.

№ п/п	Раздел дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)				Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра) Формы промежуточной аттестации (по семестрам)
				5	6	7	8	
1	2	3	4	Лек	Лаб	Пр	СРС	9
1.	Роль физики и химии границы раздела фаз и коллоидных систем в технологии электроники и нанoeлектроники.	3	1-3	-	-	2	13	Выборочный опрос, доклад
2.	Уравнение Кельвина (вывод, применение).		4-6	-	-	2	13	Выборочный опрос, доклад
3.	Теория гомогенной нуклеации.		7-9	-	-	2	13	Выборочный опрос, доклад
4.	Термодинамическое описание границы раздела фаз.		10-12	-	-	2	13	Выборочный опрос, доклад
5.	Двойной заряженный слой.		13-15	-	-	2	14	Выборочный опрос, доклад
6.	Электрокинетические явления.		16	-	-	2	14	Выборочный опрос, доклад
7.	Виды микрокапсул: эмульсия, липосома, мицеллярные системы, полиэлектролитные комплексы.		17 1/6	-	-	2	14	Выборочный опрос, доклад <i>Контрольная работа</i>
<b>Промежуточная аттестация</b>		<b>3</b>						<b>Зачет</b>
<b>Всего:</b>		<b>3</b>	<b>17 1/6</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>14</b>	<b>94</b>	
<b>Итого:</b>		<b>3</b>	<b>17 1/6</b>			<b>14</b>	<b>94</b>	
<b>Общая трудоемкость дисциплины</b>				<b>108</b>				

#### Содержание дисциплины

Роль физики и химии границы раздела фаз и коллоидных систем в технологии электроники и нанoeлектроники. Граница раздела жидкость-газ. Поверхностное натяжение. Уравне-

ние Юнга-Лапласа (вывод, следствия, применение). Методы измерения поверхностного натяжения.

Уравнение Кельвина (вывод, применение). Капиллярная конденсация (конденсация в конической поре, конденсация между двумя сферами). Созревание Оствальда.

Теория гомогенной нуклеации. Критический радиус нуклеации. Скорость нуклеации. Иллюстрации применения. Виды нуклеации. Нуклеационный барьер.

Термодинамическое описание границы раздела фаз. Модель Гиббса. Модель Гюгенхайма. Понятие адсорбции или поверхностного избытка. Термодинамические параметры, характеризующие границу раздела фаз. Адсорбция Гиббса. Уравнение адсорбции Гиббса для одно- и двухкомпонентных систем. Поверхностноактивные, поверхностноинактивные и поверхностнонеактивные вещества. Эффект Марангони.

Двойной заряженный слой. Теория Пуассона-Больцмана. Уравнение Грэхема. Емкость двойного электрического слоя. Ограничения теории Пуассона-Больцмана. Реальные поверхности. Заряженные поверхности (ионные кристаллы, оксиды, слюда, полупроводники).

Электрокинетические явления. Уравнение Навье-Стокса. Электроосмос. Потенциал течения. Электрофорез и электрокинетический потенциал. Метод Кельвина.

Виды микрокапсул: эмульсия, липосома, мицеллярные системы, полиэлектролитные комплексы. Эмульгирование. Виды эмульсий. Мицеллярные и липосомальные системы, методы формирования, исследования, возможности применений. Разветвленные или браш-полимеры. Преимущества использования полиэлектролитных комплексов, как систем микрокапсулирования лекарственных средств.

## **5. Образовательные технологии, применяемые при освоении дисциплины**

При реализации различных видов учебной работы (практические занятия (семинары), самостоятельная работа) используются следующие современные образовательные технологии:

- информационно-коммуникационные технологии;
- проблемное обучение;
- исследовательские методы в обучении;
- дискуссии.

При проведении практических занятий (семинаров) в активной форме проводится детальный анализ вопросов физики, технологии, конструирования и применения конкретных типов материалов в соответствии с приведенным ниже списком тем (по выбору преподавателя).

### **Тематика практических занятий (семинаров)**

1. Уравнение Юнга-Лапласа. Методы измерения поверхностного натяжения.
2. Уравнение Кельвина. Капиллярная конденсация. Созревание Оствальда.
3. Теория гомогенной нуклеации. Критический радиус нуклеации. Нуклеационный барьер. Скорость нуклеации. Виды нуклеации.
4. Термодинамические параметры, характеризующие границу раздела фаз. Уравнение адсорбции Гиббса для двухкомпонентных систем.
5. Двойной заряженный слой. Теория Пуассона-Больцмана. Уравнение Грэхема. Емкость двойного электрического слоя.
6. Заряженные поверхности (электролиты, оксиды, слюда, полупроводники).
7. Электрокинетические явления. Уравнение Навье-Стокса. Электроосмос. Потенциал течения. Электрофорез и электрокинетический потенциал.
8. Метод Кельвина.

Самостоятельная внеаудиторная работа студентов по дисциплине проводится в течение всего учебного семестра и заключается в чтении и изучении литературы, подготовке к практическим занятиям, в выполнении заданий преподавателя, работе в компьютерном классе или библиотеке.



При проведении более 80 % практических (семинарских) занятий используется ПК и мультимедийный проектор.

Удельный вес занятий, проводимых в интерактивных формах, определяется главной целью (миссией) программы, особенностью контингента обучающихся и содержанием дисциплины, и в целом в учебном процессе они должны составлять не менее 50 % аудиторных занятий. Занятия лекционного типа для соответствующих групп студентов не могут составлять более 50 % аудиторных занятий.

**Условия обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья:**

- предоставление инвалидам по зрению или слабовидящим возможностей использовать крупноформатные наглядные материалы;
- проведение индивидуальных коррекционных консультаций для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья;
- использование индивидуальных графиков обучения и индивидуальных консультаций;
- использование дистанционных образовательных технологий.

**6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов.**

**Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины.**

Самостоятельная работа студентов по дисциплине проводится в течение всего срока изучения и заключается в чтении и изучении литературы, подготовке к практическим занятиям (семинарам), к контрольной работе, **выполнении курсовой работы.**

Рекомендуется:

- для качественного усвоения материала практических занятий (семинаров) разбирать вопросы, изложенные на каждом очередном занятии, до следующего, по непонятым деталям консультироваться у преподавателя, читать соответствующую литературу;
- при подготовке к выполнению практических заданий задавать уточняющие вопросы преподавателю, аккуратно и грамотно оформлять отчеты по каждому занятию;
- при подготовке к контрольной работе пользоваться материалами практических занятий и рекомендованной литературой;
- при выполнении курсовой работы необходимо постоянно взаимодействовать с руководителем, выполнять его задания и рекомендации.

Студентами в течение семестра должны быть изучены самостоятельно следующие темы:

1. Записать уравнения Лапласа для капли, полученной между двух торцевых частей цилиндра.
2. Привести примеры практического применения правила созревания Оствальда.
3. Сравнить модели двойного заряженного слоя.
4. Рассказать о необходимости учета капиллярной конденсации при измерениях методом сканирующей зондовой микроскопии.

Устный опрос по этим темам проводится в рамках практических занятий. Критериями оценки являются: полнота самостоятельно изученного материала, способность аргументировать свои ответы, приводить примеры и т.д.

После завершения лекционного курса студенты должны выполнить контрольную работу, в которой необходимо дать письменный ответ на 3 вопроса. Критериями оценки являются: полнота информации, последовательность изложения материала, наличие примеров и т.д.

Примерные варианты контрольных работ:

Вариант 1

1. Как зависит температура плавления наночастиц от размера. Дайте объяснение данной экспериментальной зависимости.

2. Оценить поверхностное натяжение циклогексана, если известна энергия испарения при  $t_0=25^\circ\text{C}$ ,  $\rho=773$ ,  $N=84.16$

3. Пластиковая коробка высотой  $h=1\text{ м}$  наполнена водой. В дне сделано отверстие диаметром  $d=0.1\text{ мм}$ . Пластик считать гидрофобным  $\theta=72^\circ$

4. Дано поверхностное натяжение

10 $^\circ\text{C}$  20 $^\circ\text{C}$  50 $^\circ\text{C}$

метанол 23.23 22.07 20.14

Октан 22.57 21.14 18.77

Вычислить поверхностную энтропию и внутреннюю энергию при  $T=25^\circ\text{C}$ .

Вариант 2

1. Рассчитать отношение поверхностных атомов к атомам находящимся в объеме для радиуса золотых наночастиц, температура плавления которых на 300 градусов меньше температуры плавления объемного золота.

2. Оценить давление в сферическом пузырьке, который находится в воде, если его диаметр а)  $d_1=2\text{ мм}$ ; б)  $d_2=20\text{ нм}$  и сравнить его с атмосферным давлением.  $\theta=72^\circ$

3. Пластина Вильгельми. Краевой угол смачивания  $\theta=45^\circ$ .  $\theta=72^\circ$ . Найти силу поверхностного натяжения.

4. Поверхностное натяжение воды с мольной фракцией пропанола при  $T=25^\circ\text{C}$ :

$X_1=0.001$  67.4 мН/м

$X_2=0.002$  64.4 мН/м

$X_3=0.003$  61.9 мН/м

$X_4=0.004$  59.7 мН/м

$X_5=0.005$  57.7 мН/м

$X_6=0.006$  55.8 мН/м

$X_7=0.007$  54.1 мН/м

Определить  $\Gamma$  для  $X_2$ ,  $X_4$ ,  $X_6$ . Будет ли  $\Gamma$  линейно зависеть от мольной фракции пропанола?

Вариант 3

1. При каких размерах золотые наночастицы начинают проявлять каталитические свойства?

2. Имеем пористое твердое тело, по всем трем направлениям поры одинаковы.  $T=20^\circ\text{C}$ , влажность  $\phi=90\%$ . Найти радиус капилляра, который заполнится водой.

3. Гидрофильная сфера  $r=5\text{ мкм}$  лежит на гидрофильной поверхности. Вода конденсируется в порах. Чему равна длина окружности мениска? В равновесии влажность

4. В мыльные пузыри для стабилизации добавляют ПАВ,  $c=2\text{ мМ}=2\cdot 10^{-3}\text{ моль/л}$ . В среднем 1 молекула ПАВ занимает площадь  $A=0.7\text{ нм}^2$ . Узнать изменение давления внутри пузыря  $r=1\text{ см}$  по сравнению с гипотетическим пузырем того же диаметра без ПАВ.

Вариант 4

Как зависит поверхностное натяжение жидкости от температуры?

Какое значение принимает поверхностное натяжение жидкости при критической температуре?

2. Кварцевая сфера висит на второй подобной сфере, причем частица держится за счет капиллярных сил. Найти, при каком радиусе сфер силы тяжести будет достаточно, чтобы разорвать частицы. Жидкость-вода,  $\rho_{\text{кварца}}=3000\text{ кг/м}^3$ ,  $\theta=72^\circ$ .

3. Поверхностное натяжение измеряется цилиндром, у которого  $l=1\text{ см}$ ,  $r=1\text{ мм}$ . Равнодействующая силы поверхностного натяжения равна  $F=0.49\text{ мН}$ . Найти  $\sigma$ . Чему равно поверхностное натяжение, если контактный угол  $>90^\circ$ ? При абсолютно гидрофильной (гидрофобной) поверхности?

4. Микрофлюидная система имеет стеклянный капилляр

( $r=10$  мкм,  $l=5$  см. В водном растворе хлорида калия концентрация  $[KCl]=0.01$ М. К капилляру прикладывают  $U=5$ В. Найти  $v$ .

Промежуточная аттестация проводится в форме *зачета* (3-й семестр).

**Контрольные вопросы для проведения промежуточной аттестации  
по итогам освоения дисциплины**

1. Граница раздела жидкость-газ. Поверхностное натяжение. Методы измерения поверхностного натяжения.
2. Вывести уравнение Юнга-Лапласа. Перечислить следствия из уравнения Юнга-Лапласа. Записать уравнения Лапласа для случая сферической капли воды, и для пузырька воздуха.
3. Вывести уравнение Кельвина. Провести анализ с применением уравнения Кельвина для случая сферической капли воды, и для пузырька воздуха.
4. Рассказать о капиллярной конденсации (конденсация в конической поре, конденсация между двумя сферами)
5. Рассказать о теории гомогенной нуклеации. Вывести уравнение для определения критического радиуса нуклеации.
6. Дать понятие нуклеационного барьера и провести сравнительный анализ данного параметра анализируя различные виды нуклеации.
7. Рассказать о термодинамических параметрах, характеризующие границу раздела фаз.
8. Записать уравнение адсорбции Гиббса для двухкомпонентных систем и ввести понятие поверхностноактивные, поверхностноинактивные и поверхностнонеактивные веществ.
9. Объяснить эффект Марангони.
10. Рассказать о модели двойного заряженного слоя
11. Записать уравнение Пуассона-Больцмана в общем и линеаризованном виде. Записать решение уравнения Пуассона-Больцмана для линеаризованного вида.
12. Записать уравнение Грэхема. Вывести соотношение для емкости двойного электрического слоя.
13. Рассмотреть заряженные поверхности ионных кристаллов.
14. Рассмотреть заряженные поверхности оксидов и полупроводников.
15. Перечислить электрокинетические явления
16. Записать уравнение Навье-Стокса.
17. Вывести выражение для вычисления электрокинетического потенциала и проанализировать зависимость данного от параметров среды диспергирования.
18. Рассказать об измерении поверхностного потенциала методом Кельвина.

## 7. Данные для учета успеваемости студентов в БАРС

Таблица 1.1. Таблица максимальных баллов по видам учебной деятельности.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Семестр	Лекции	Лабораторные занятия	Практические занятия	Самостоятельная работа	Автоматизированное тестирование	Другие виды учебной деятельности	Промежуточная аттестация	Итого
3	-	-	40	20	-	-	40	<b>100</b>

### Программа оценивания учебной деятельности магистранта

#### **3 семестр**

##### **Лекции**

Не предусмотрены.

##### **Лабораторные занятия**

Не предусмотрены.

##### **Практические занятия**

Практические занятия посвящены освоению 8 тем, в рамках которых студентам предлагаются различные задания. Освоение каждой темы оценивается в диапазоне 0-4 балла. Критерии оценки: самостоятельность при выполнении работы, активность работы в аудитории, правильность выполнения заданий, уровень подготовки к занятиям и т.д.

Посещаемость, активность работы в аудитории, правильность ответов при опросах и выполнении заданий, уровень подготовки к занятиям и др. – от 0 до 40 баллов.

##### **Самостоятельная работа**

Качество подготовки к практическим занятиям (семинарам), активность на занятиях, качество выполнения контрольной работы – от 0 до 20 баллов.

##### **Автоматизированное тестирование**

Не предусмотрены.

##### **Другие виды учебной деятельности**

Не предусмотрены.

**Промежуточная аттестация** по дисциплине «Физика и химия поверхности и коллоидов» в 3 семестре оценивается от 0 до 40 баллов и проводится в форме *зачета*.

При проведении промежуточной аттестации в форме зачета:

ответ на «зачтено» оценивается от 24 до 40 баллов;

ответ на «не зачтено» оценивается от 0 до 23 баллов.

Таким образом, максимально возможная сумма баллов за все виды учебной деятельности студента по дисциплине «Физика и химия поверхности и коллоидов» при проведении промежуточной аттестации в форме зачёта в 3 семестре составляет **100** баллов.

Таблица 2.1 Таблица пересчета полученной студентом суммы баллов по дисциплине в оценку (зачет):

60 баллов и более	«зачтено»
меньше 60 баллов	«не зачтено»



## 8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

### а) литература:

1. В. В. Еремин., Основы общей и физической химии [Текст] : учеб. пособие / Долгопрудный : Изд. дом "Интеллект", 2012. - 847, [1] с. : ил. - Предм. указ.: с. 839-847. - ISBN 978-5-91559-092-1 (в пер.)
2. В. И. Горшков, И. А. Кузнецов., Основы физической химии [Текст] : учебник / 4-е изд. - Москва : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2014. - 407, [1] с. : ил. - (Химия). - Предм. указ.: с. 395-402. - ISBN 978-5-9963-0546-9 (в пер.)
3. А. А. Барыбин. Электроника и микроэлектроника. Физико-технологические основы [Текст] : учеб. пособие / - Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2008. - 423, [1] с. - Библиогр.: с. 415-416 (30 назв.). - Предм. указ.: с. 417-423. - ISBN 978-5-9221-0679-5
4. И. П. Суздалев. Нанотехнология. Физико-химия нанокластеров, наноструктур и наноматериалов [Текст] / - Москва : КомКнига, 2006. - 589, [3] с. : рис., табл. - (Синергетика: от прошлого к будущему). - ISBN 5-484-00243-5 (в пер.)
5. В. И. Ролдугин., Физикохимия поверхности [Текст] : учеб.-моногр. / Долгопрудный : Интеллект, 2008. - 565, [3] с. - Библиогр. в конце глав. - ISBN 978-5-91559-008-2 (в пер.)

### б) программное обеспечение и Интернет-ресурсы

1. Windows XP Prof
2. Антивирус Касперского 6.0 для Windows Workstations
3. Microsoft Office профессиональный 2010
4. MathCad 14.0
5. Каталог образовательных Интернет-ресурсов. - Режим доступа: <http://window.edu.ru/window/>
6. Зональная научная библиотека им. В.А. Артисевич Саратовского государственного университета им. Н.Г. Чернышевского. - Режим доступа: <http://library.sgu.ru/>





### 9. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Занятия по дисциплине «Физика и химия поверхности и коллоидов» проводятся в аудиториях, оснащенных компьютерной техникой, проекторами, измерительными приборами, лабораторным оборудованием, наглядными демонстрационными материалами, плакатами, соответствующих действующим санитарным и противопожарным нормам, а также требованиям техники безопасности при проведении учебных и научно-производственных работ.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению 22.04.01 «Материаловедение и технологии материалов» и профилю «Функциональные и интеллектуальные материалы и структуры для электроники и биомедицины».

Автор: Ломова М.В.



Программа одобрена на заседании кафедры физики полупроводников 30 октября 2019 г., протокол № 3.