

**Белорусский государственный университет**

**УТВЕРЖДАЮ**

Проректор по учебной работе

Белорусского государственного университета

А.Л. Толстик



Регистрационный № 340 /уч.

## **ФИЗИКА ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩИХ ПОЛИМЕРОВ**

**Учебная программа учреждения высшего образования  
по учебной дисциплине для специальности  
1-31 04 07 Физика наноматериалов и нанотехнологий**

Минск 2017

Учебная программа составлена на основе Образовательного стандарта ОСВО 1-31 04 07-2013, утвержденного и введенного в действие постановлением Министерства образования Республики Беларусь от 30.08. 2013 № 88; учебных планов №G31-143/уч. и №G31и-179/уч.

### **СОСТАВИТЕЛЬ:**

**В.Б. Оджаев**, заведующий кафедрой физики полупроводников и нанoeлектроники Белорусского государственного университета, доктор физико-математических наук, профессор.

### **РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:**

Кафедрой физики полупроводников и нанoeлектроники физического факультета Белорусского государственного университета (протокол № 12 от 24 мая 2017 г.);

Советом физического факультета Белорусского государственного университета (протокол № 9 от 25 05 2017 г.).

## ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Программа учебной дисциплины "Физика электропроводящих полимеров" разработана для специальности 1-31 04 07 Физика наноматериалов и нанотехнологий и специализации 1-31 04 07 02 «Нанозлектроника».

*Цель учебной дисциплины* — формирование у студентов целостных представлений о физике электропроводящих полимеров и в дальнейшем необходимо студентам для развития полученных знаний и навыков для последующей учебно-научно-производственной работы.

*Основные задачи учебной дисциплины* — дать представление об основных методах получения, свойствах и практическом применении электропроводящих полимеров.

В курсе рассматриваются вопросы физики электропроводящих полимеров. Представлены основы технологии получения электропроводящих полимеров, а также их основные физико-химические свойства, включая механизмы проводимости, контактные явления. Специальные методы синтеза или последующей модификации позволяют варьировать проводимостью полимеров в широком диапазоне: от величин, характерных для диэлектриков (ниже  $10^{-10}$  Ом/см), до значений металлической проводимости (свыше 1 Ом/см). Такие возможности позволяют все более широко использовать полимеры в электронике, не только в качестве изоляторов, но и для формирования функциональных элементов, таких как резисторы, светодиоды, транзисторы, солнечные элементы, аккумуляторные батареи, мини-дисплеи и т.п. Курс обобщает, систематизирует и развивает имеющиеся представления о физике электропроводящих полимерных материалов.

В курсе применяются активные методы обучения. Основу составляют технологии проблемного и контекстного обучения, предполагающие наряду с приобщением студентов к объективным противоречиям научного знания и способам их решения также последовательное моделирование условий профессиональной деятельности специалистов.

*Материал курса основан* на знаниях и представлениях, заложенных в общих курсах по электричеству, оптике, атомной физике и квантовой механике. Он является важным для выполнения дипломных проектов, научно-исследовательской работы студентов.

*В результате изучения дисциплины студент должен:*

***знать:***

- свойства, методы получения и применение электропроводящих полимеров;
- новейшие достижения в области полимеров;

***уметь:***

- применять полученные знания для обоснованного выбора метода получения электропроводящих полимеров;
- анализировать изменение свойств полимеров после внешнего воздействия;
- прогнозировать физико-химические свойства полимеров за счет радиационно-термического воздействия;

***владеть:***

– основами теории физики электропроводящих полимеров.

***Академические компетенции:***

1. Уметь применять базовые научно-теоретические знания для решения теоретических и практических задач.
2. Владеть системным и сравнительным анализом.
3. Владеть исследовательскими навыками.
4. Уметь работать самостоятельно.
5. Быть способным вырабатывать новые идеи (креативность).
6. Владеть междисциплинарным подходом при решении проблем.
7. Иметь навыки, связанные с использованием технических устройств, управлением информацией и работой с компьютером.
8. Иметь лингвистические навыки (устная и письменная коммуникация).
9. Уметь учиться, повышать свою квалификацию в течение всей жизни.

***Социально-личностные компетенции:***

1. Обладать способностью к межличностным коммуникациям.
2. Уметь работать в команде.

***Профессиональные компетенции:***

1. Применять знания теоретических и экспериментальных основ физики наноматериалов и нанотехнологий, методов исследования физических объектов, методов измерения физических величин, методов автоматизации эксперимента, методов планирования, организации и ведения научно-производственной, научно-педагогической, производственно-технической, опытно-конструкторской работы.
2. Осуществлять на основе методов математического моделирования оценку эксплуатационных параметров функциональных наноматериалов и технологических процессов их получения.
3. Пользоваться компьютерными методами сбора, хранения и обработки информации, системами автоматизированного программирования, научно-технической и патентной литературой.
4. Применять полученные знания фундаментальных положений физики, экспериментальных, теоретических и компьютерных методов исследования, планирования, организации и ведения научно-технической и научно-педагогической работы.
5. Использовать новейшие открытия в естествознании, методы научного анализа, информационные образовательные технологии, физические основы современных технологических процессов, включая нанотехнологии.
6. Пользоваться государственными языками Республики Беларусь и иными иностранными языками как средством делового общения.
7. Пользоваться глобальными информационными ресурсами.
8. Реализовывать методы защиты производственного персонала и населения в условиях возникновения аварий, катастроф, стихийных бедствий и обеспечения радиационной безопасности при осуществлении научной, производственной и педагогической деятельности.

9. Осуществлять поиск, систематизацию и анализ информации по перспективным направлениям развития отрасли, инновационным технологиям, проектам и решениям.

10. Определять цели инноваций и способы их достижения.

11. Применять методы анализа и организации внедрения инноваций в научно-производственной, научно-педагогической и научно-технической деятельности.

Общее количество часов, отводимое на изучение учебной дисциплины – 48, из них количество аудиторных часов – 26.

Форма получения высшего образования – очная, дневная.

Аудиторные занятия проводятся в виде лекций и управляемой самостоятельной работы. На проведение лекционных занятий отводится 22 часа, управляемую самостоятельную работу – 4 часа.

Занятия проводятся на 5-м курсе в 9-м семестре.

Формы текущей аттестации по учебной дисциплине – зачет.

## СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

**1. Строение, свойства и классификация полимеров.** Введение в физику полимеров. Строение и химические связи полимеров. Особенности физических свойств полимеров. Формы углерода. Графит и цельно-углеродные полимеры. Алмаз и алмазоподобные пленки. Углеродные наноматериалы. Нанотехнологии и полимеры. Полупроводниковые и электропроводящие полимеры. Основы электрофизики полимеров. Заряды в диэлектрике. Диполи и поляризация. Механизмы поляризации. Функция Ланжевена. Ориентационная поляризация полярных молекул. Поляризация электронного смещения. Диэлектрические потери.

**2. Статическая электризация полимеров.** Механизмы возникновения статического электричества. Трибоэлектрический ряд полимеров. Закономерности возникновения и рассеяния зарядов. Релаксация поверхностного электростатического заряда.

**3. Электропроводность полимеров.** Внутримолекулярный и межмолекулярный перенос заряда. Солитоны. Поляроны. Биполяроны. Особенности проводимости диэлектриков. Ионная проводимость. Электронная проводимость. Модели переноса носителей заряда. Контактные явления.

**4. Получение электропроводящих полимеров.** Наполненные полимеры. Композиты и нанокомпозиты на основе полимеров. Магнитные и немагнитные кластеры в композиционном материале. Полимеры с системой сопряженных связей. Длина сопряжения в полимерах. Молекулярные комплексы с переносом заряда. Молекулярные сверхпроводники. Пиролизированные полимеры. Ионно-имплантированные полимеры. Взаимодействие ионов с полимерной мишенью. Физико-химические свойства имплантированных полимеров. Формирование проводящих и магнитоупорядоченных слоев при ионной модификации полимеров.

## УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов					Количество часов УСР	Литература	Формы контроля знаний
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	Количество часов УСР			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	
<b>1.</b>	<b>Строение, свойства и классификация полимеров</b>	<b>6</b>							
1.1	Введение в физику полимеров. Строение и химические связи полимеров. Особенности физических свойств полимеров. Формы углерода. Графит и цельно-углеродные полимеры. Алмаз и алмазоподобные пленки. Углеродные наноматериалы. Нанотехнологии и полимеры.	2					[1], [2], [4], [6]		
1.2	Полупроводниковые и электропроводящие полимеры. Основы электрофизики полимеров. Заряды в диэлектрике. Диполи и поляризация	2					[1], [3]		
1.3	Механизмы поляризации. Функция Ланжевена. Ориентационная поляризация полярных молекул. Поляризация электронного смещения. Диэлектрические потери.	2					[1], [8]		
<b>2</b>	<b>Статическая электризация полимеров</b>	<b>4</b>				<b>2</b>			
2.1	Механизмы возникновения статического электричества. Трибоэлектрический ряд полимеров.	2					[1], [5], [8]		
2.2	Закономерности возникновения и рассеяния зарядов. Релаксация поверхностного электростатического заряда.	2					[1], [5]		
<b>3</b>	<b>Электропроводность полимеров</b>	<b>4</b>				<b>1</b>			
3.1	Внутримолекулярный и межмолекулярный перенос заряда. Солитоны. Поляроны. Биполяроны.	2					[1], [8]		
3.2	Особенности проводимости диэлектриков. Ионная проводимость. Электронная проводимость. Модели переноса носителей заряда. Контактные явления.	2					[1], [5], [8]		
3.3	Текущий контроль знаний студентов по разделам 1, 2					1		Письменное тестирование	





## ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

### Рекомендуемая литература

#### *Основная*

1. Оджаев, В.Б. Физика электропроводящих полимеров / В.Б. Оджаев, В.Н. Попок, И.И. Азарко. – Мн.: Белгосуниверситет, 2000. – 82 с.
2. Оджаев, В.Б. Ионная имплантация полимеров / В.Б. Оджаев, И.П. Козлов, В.Н. Попок, Д.В. Свиридов. – Мн.: Белгосуниверситет, 1998. – 197 с.
3. Зуев В.В., Успенская М.В., Олехнович А.О. Физика и химия полимеров. Учеб. пособие. – СПб.: СПбГУ ИТМО, 2010. – 45 с.

#### *Дополнительная*

4. Лапчук, Н.М. Структурированные углеродные материалы: кластеры, нанотрубки, ионно-имплантированные полимеры и алмазы / Н.М. Лапчук, В.Б. Оджаев, Н.А. Поклонский, Д.В. Свиридов. // Вестник БГУ. Сер. 1., 2009.– №1.– С.4–14.
5. Крикоров, В.С. Электропроводящие полимерные материалы / В.С. Крикоров, Л.А. Колмакова. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 174 с.
6. Дьячков, П.Н. Углеродные нанотрубки. Материалы для компьютеров XXI века / П.Н. Дьячков // Природа. – 2000. – №11. – С. 23–30.
7. Lukashevich, M.G. Modification of magnetic properties of polyethyleneterephthalate by iron implantation / M.G. Lukashevich, X. Batlle, A. Labarta, V.N. Popok, V.A. Zhikharev, R.I. Khaibullin, V.B. Odzaev. // Nucl. Instr. Meth. B. – 2007. Vol. 257, №1–2. P. 589–592.
8. Электрические свойства полимеров / Под ред. Б.И. Сажина. Л.: Химия, 1986.–224 с.
9. Kharchenko A.A., Brinkevich D.I., Brinkevich S.D., Lukashevich M.G., Odzhaev V.B. Radiation-induced modification of polymer surfaces // Journal of Surface Investigation. X-ray, synchrotron and neutron techniques. – 2015, №2, P. 371–376.

### **Перечень используемых средств диагностики результатов учебной деятельности**

1. Тестовые задания по разделам дисциплины;
2. Защита реферативных работ.
3. Устные опросы.

### **Примерный перечень мероприятий по УСР для контроля качества усвоения знаний по учебной дисциплине**

УСР проводится в форме тестирования и защиты рефератов.

*Рекомендуемые разделы для составления тестовых заданий*

1. Основные способы получения электропроводящих полимеров.
2. Мера диэлектрических потерь в полимерах.
3. Статическая электризация.

4. Стадии процесса пиролиза полимеров.
5. Ионно-имплантированные полимеры. Молекулярный комплекс с переносом заряда.

*Примерная тематика реферативных работ*

1. Структура различных форм углерода.
2. Карбонизация полимерной матрицы при пиролизе.
3. Фуллерены.
4. Нанотрубки.
5. Молекулярные сверхпроводники.
6. Длина сопряжения в полимерах.
7. Поляроны. Биполяроны.
8. Солитоны.
9. Полимерные фотодиоды.
10. Полимерные транзисторы.
11. Полимерные дисплеи с активной и пассивной матрицей.
12. Парамагнитные свойства ионно-имплантированных полимеров.
13. Прыжковая модель переноса носителей заряда и ее реализация в модифицированных полимерах.
14. Наполненные полимеры и нелинейная оптика.
15. Термолиз при ионной имплантации полимеров.

**Рекомендации по контролю качества усвоения знаний  
и проведению аттестации**

Для текущего контроля качества усвоения знаний по дисциплине рекомендуется использовать тестовые задания по разделам дисциплины, защиту реферативных работ, устные опросы. Контрольные мероприятия проводятся в соответствии с учебно-методической картой дисциплины. В случае неявки на контрольное мероприятие по уважительной причине студент вправе по согласованию с преподавателем выполнить его в дополнительное время. Для студентов, получивших неудовлетворительные оценки за контрольные мероприятия, либо не явившихся по неуважительной причине, по согласованию с преподавателем и с разрешения заведующего кафедрой мероприятие может быть проведено повторно.

Тестирование проводится в письменной форме. Каждый из письменных тестов включает в себя 10–40 заданий в открытой форме. На выполнение теста отводится 90 мин. По согласованию с преподавателем при подготовке ответа разрешается использовать справочные и учебные издания. Оценка каждого из тестов проводится по десятибалльной шкале.

Защита реферативных работ проводится в форме индивидуальных выступлений-презентаций с последующей дискуссией. Оценка рефератов проводится по десятибалльной шкале.

Оценка текущей успеваемости рассчитывается как среднее оценок за каждое из письменных тестирований и оценки за защиту реферата.

Текущая аттестация по учебной дисциплине проводится в форме зачета.

## ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ УВО

Название дисциплины, с которой требуется согласование	Название кафедры	Предложения об изменениях в содержании учебной программы учреждения высшего образования по учебной дисциплине	Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола)
Электронная теория полупроводников	Кафедра физики полупроводников и наноэлектроники	Оставить содержание учебной дисциплины без изменения	24.05.2017 протокол № 12