

**БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

**УТВЕРЖДАЮ**

Проректор по учебной работе и  
образованию

*А. С. Сурово*

Регистрационный № УД-7553/уч.

**МИКРО- И НАНОСИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ**

**Учебная программа учреждения высшего образования  
по учебной дисциплине для специальности:**

1-31 80 07 Радиопизика

профилизация: Радиопизика и электроника

2019 г.

# БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

**УТВЕРЖДАЮ**

Проректор по учебной работе и  
образовательным инновациям

\_\_\_\_\_ О.И.Чуприс

\_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

Регистрационный № УД- \_\_\_\_\_ /уч.

## **МИКРО- И НАНОСИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ**

**Учебная программа учреждения высшего образования  
по учебной дисциплине для специальности:**

1-31 80 07 Радиофизика

профилизация: Радиофизика и электроника

2019 г.

Учебная программа составлена на основе ОСВО 1-31 80 07 -2019 и учебного плана № G-31-043/уч. от 11.04.2019 г.

**СОСТАВИТЕЛИ:**

**С.В. Константинов**, доцент кафедры физической электроники и нанотехнологий Белорусского государственного университета, кандидат физико-математических наук

**О.Р. Людчик**, доцент кафедры физической электроники и нанотехнологий Белорусского государственного университета, кандидат физико-математических наук, доцент

**РЕЦЕНЗЕНТ**

**С.И. Чубаров**, доцент кафедры информационных технологий в образовании Белорусского государственного педагогического университета имени Максима Танка, кандидат физико-математических наук, доцент

**РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:**

Кафедрой физической электроники и нанотехнологий Белорусского государственного университета (протокол № 4 от 27.11. 2019 г.);

Научно-методическим Советом Белорусского государственного университета (протокол № 2 от 03.12.2019 г).

Заведующий кафедрой физической электроники и нанотехнологий

В.М. Борздов

## ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

**Целью** изучения дисциплины является обеспечение глубокой подготовки студентов специальности Радиофизика в новых областях электроники и материаловедения, включая поиск, анализ свойств, технологии получения и применения материалов для субмикронной электроники, наноэлектроники, современной оптики, а также выработать у студентов II ступени высшего образования навыки решения практических задач в данной области.

### **Задачи дисциплины:**

- формирование представлений об основных направлениях развития современного материаловедения микро- и наноструктурированных материалов;
- изучение физических особенностей наноструктурированных материалов по сравнению с микроструктурированными, технологий их получения, перспектив и возможностей применения;
- освоение методов формирования наноструктурированных материалов и методов изучения их свойств.

**Место учебной дисциплины** в системе подготовки специалиста с высшим образованием (магистра).

Учебная дисциплина относится к модулю «Материалы радиоэлектронных систем» компонента учреждения высшего образования.

**Связи** с другими учебными дисциплинами, включая учебные дисциплины компонента учреждения высшего образования, дисциплины специализации и др.:

Материал курса опирается на сведения, полученные ранее при освоении учебных дисциплин компонента учреждения высшего образования: «Общая физика», «Математический анализ», «Физика полупроводников и полупроводниковых приборов», «Материалы электронной техники», «Квантовая радиофизика», «Материалы опто-, микро- и наноэлектроники».

Освоение программы по учебной дисциплине «Микро- и наносистемы и технологии» должно обеспечить формирование следующих **компетенций**:

### **Специализированные:**

СК-8. Быть способным оценивать возможность использования микроструктурированных и наноструктурированных материалов в различных элементах, приборах и устройствах.

В результате изучения дисциплины магистрант должен:

#### **знать:**

– физические свойства, методы и технологии получения, область и перспективы применения новых микроструктурированных и наноструктурированных материалов и систем, используемых в оптике, электронной технике нового поколения;

#### **уметь:**

– на базе физического и инженерного подходов оценивать возможность использования микроструктурированных и наноструктурированных материалов в различных элементах, приборах и устройствах.

#### **владеть:**

- навыками работы на современных приборах по исследованию свойств микро- и наноструктурированных материалов и структур на их основе;
- навыками планирования экспериментальных исследований и интерпретации результатов экспериментов.

### **Структура учебной дисциплины**

Дисциплина «Микро- и наносистемы и технологии» изучается студентами дневной формы получения высшего образования второй ступени (магистратуры) во 2-ом семестре. Всего на изучение учебной дисциплины отведено:

- для очной формы получения высшего образования – 108 часов, в том числе 54 аудиторных часа, из них: лекции – 18 часов, лабораторные занятия – 36 часа.

Трудоемкость учебной дисциплины составляет 3 зачетные единицы.

Форма текущей аттестации по учебной дисциплине – зачет.

## **СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА**

### **Тема 1. Введение. Классификация и методы получения нанокластеров и наноструктур.**

Цель и задачи курса. Твердотельные нанокластеры и наноструктуры. Кластерные кристаллы и фуллериты. Тонкие микро- и наноструктурированные пленки. Углеродные нанотрубки. Основные сведения о методах получения и областях применения.

### **Тема 2. Методы исследования поверхности и вещества нанокластеров.**

Спектроскопия резерфордского обратного рассеяния легких ионов. Просвечивающая электронная микроскопия. Дифракция электронов. Рентгеновская спектроскопия и дифракция. Электронная спектроскопия. Оптическая и колебательная спектроскопия. Сканирующая зондовая микроскопия.

### **Тема 3. Базовые технологии изготовления элементов микро- и нанoeлектроники.**

Технологии эпитаксии. Диффузионное легирование и ионная имплантация. Формирование и травление микро- и нанослоев поликремния, металлов, их оксидов и нитридов. Оптическая и электронно-лучевая литография в интегральной технологии. Методы PVD-осаждения пленок. Магнетронное осаждение оксидных и нитридных пленок.

### **Тема 4. Технологии изготовления наносистем и наноматериалов.**

Методы получения монокристаллических микро- и нанотрубок и сложных оболочек. Изготовление нановолокон и спиралей с помощью литографических методов. Изготовление нанооболочек с использованием напряженных гетероструктур. Создание наноразмерных структур с использованием атомно-силовой микроскопии. Ионно- и лазерно-плазменные методы формирования структур. Прецизионная ионная и импульсная лазерная обработка оптически прозрачных материалов.

### **Тема 5. Механические и тепловые свойства нанокластеров и наноструктур.**

Механические свойства нанокластерных и наноструктурных материалов. Плавление, теплоемкость, тепловое расширение нанокластеров и наноструктур. Радиационная стойкость наноструктур.

### **Тема 6. Оптические и электронные свойства наносистем и наноматериалов.**

Оптические свойства наносистем на основе металлических и полупроводниковых кластеров. Фотонные нанокристаллы и пористый кремний. Электропроводность трехмерных, двумерных и одномерных наноструктур. Интеграция наноструктур в электронные устройства.

### **Тема 7. Магнитные свойства наноструктур.**

Суперпарамагнетизм. Гигантское магнетосопротивление. Квантовое магнитное туннелирование. Магнитные фазовые переходы.

### **Тема 8. Углеродные кластеры и углеродные нанотрубки.**

Структурные свойства углеродных нанотрубок (УНТ). Электронные свойства УНТ. Наноустройства на основе УНТ.

### **Тема 9. Области применения микроструктурированных и нанокластерных материалов и систем.**

Сенсоры. Интеллектуальные материалы. Элементы памяти. Светодиоды. Оптические коммутаторы. Логические элементы. Компьютеры. Нанoeлектроника. Машиностроение. Ядерная энергетика. Космическая техника.

## УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

### Дневная форма получения образования

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов						Форма контроля знаний
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	Иное	Количество Часов УСР	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Введение. Классификация и методы получения нанокластеров и наноструктур	2						Аудиторный опрос
2	Методы исследования поверхности и вещества нанокластеров	2			12			Отчет по лабораторной работе. Презентации по рефератам.
3	Базовые технологии изготовления элементов микро- и нанoeлектроники	2			6			Отчет по лабораторной работе. Презентации по рефератам
4	Технологии изготовления наносистем и наноматериалов	2			6			Отчет по лабораторной работе. Презентации по рефератам.
5	Механические и тепловые свойства нанокластеров и наноструктур	2			6			Отчет по лабораторной работе. Презентации по рефератам.
6	Оптические и электронные свойства наносистем и наноматериалов	2			6			Отчет по лабораторной работе. Презентации по рефератам.
7	Магнитные свойства наноструктур	2						Аудиторный опрос Презентации по рефератам.
8	Углеродные кластеры и углеродные нанотрубки	2						Аудиторный опрос Презентации по рефератам.
9	Области применения микроструктурированных и нанокластерных материалов и систем	2						Аудиторный опрос Презентации по рефератам.



## ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

### Перечень основной литературы

1. *Бурмаков, А.П.* Физические основы технологии микроэлектроники. Учеб. пособие. / А.П. Бурмаков, П.И. Гайдук, Ф.Ф. Комаров, А.В. Леонтьев. Мн.: БГУ, 2002.
2. *Витязь, П.А.* Основы нанотехнологий и наноматериалов: учеб.пособие / П.А.Витязь, Н.А. Свидунувич. Минск: Выш. шк.,2010.
3. *Гайдук, П.И.* Материалы микро и наноэлектроники / П.И.Гайдук, Ф.Ф.Комаров, О.Р.Людчик, А.В.Леонтьев. Минск: БГУ, 2009.
4. *Ратнер, М.* Нанотехнология: простое объяснение очередной гениальной идеи.: Пер. с англ./ М.Ратнер, Д.Ратнер. М.: Издательский дом «Вильямс», 2004.
5. *Суздалев, И.П.* Нанотехнология: Физико-химия нанокластеров, наноструктур и наноматериалов/ И.П.Суздалев. М.:Книжный дом «Либроком», 2009.
6. *Броудай, И.* Физические основы микротехнологии. / И. Броудай, Д. Мерей. М.: Мир, 1985.
7. *Cavaleiro, A.* Nanostructured Coatings / A. Cavaleiro, J. T. M .De Hosson (ред.) – Berlin: Springer-Verlag, 2006.

### Перечень дополнительной литературы

1. *Хокинг, М.* Металлические и керамические покрытия: получение, свойства, применение / М. Хокинг, В. Васантасри, П. Сидки. М.: Мир, 2000.
2. *Дьячков, П.Н.* Углеродные нанотрубки (строение, свойства, применение) / П.Н.Дьячков. М.: Бином, 2006.
3. *Пул, Ч.* Нанотехнологии / Ч.Пул, Ф.Оуенс.М.:Техносфера, 2005.
4. *Асеев, А.Л.* Нанотехнологии в полупроводниковой электронике. 2-е изд. / Под ред. А.Л. Асеева. Новосибирск: СОРАН, 2007.
5. *Новиков, Л.С.* Космическое материаловедение. М., МаксПресс, 2014, 448 с.

### Перечень рекомендуемых средств диагностики и методика формирования итоговой оценки

Итоговая оценка формируется в соответствии со следующими документами:

1. «Об утверждении правил проведения аттестации студентов, курсантов, слушателей при освоении содержания образовательных программ высшего образования». Постановление Министерства образования Республики Беларусь от 29 мая 2012 г. № 53.
2. «Положение о рейтинговой системе оценки знаний по дисциплине в Белорусском государственном университете». Приказ ректора БГУ от 18.08.2015 № 382-ОД.

3. «Критерии оценки знаний и компетенций студентов по десятибалльной шкале». Письмо Министерства образования Республики Беларусь №09-10/53-ПО от 28.05.2013г.

Формой текущей аттестации по дисциплине учебным планом предусмотрен зачет.

При формировании итоговой оценки используется рейтинговая оценка знаний студента, дающая возможность проследить и оценить динамику процесса достижения целей обучения. Рейтинговая оценка предусматривает использование весовых коэффициентов для текущего контроля знаний и текущей аттестации студентов по дисциплине.

Для текущего контроля качества усвоения знаний по дисциплине рекомендуется опрос по материалам лекций, защита лабораторных работ, защита реферативных работ, устные вопросы и обмен мнениями, идеями по отдельным темам (метод учебной дискуссии).

Оценка за ответы на лекциях (опрос) включает в себя полноту ответа, наличие аргументов, примеров из практики, участие в дискуссии и т.д.

Контроль выполнения лабораторных работ осуществляется путем рассмотрения отчета по каждой выполненной лабораторной работе.

Защита реферативных работ проводится в форме индивидуальных выступлений-презентаций с последующей дискуссией.

Формирование оценки за текущую успеваемость:

- ответы на лекциях (опрос) – 20 %;
- выполнение лабораторных работ – 40 %;
- презентация по реферату – 40 %.

Рейтинговая оценка по дисциплине рассчитывается на основе оценки текущей успеваемости и зачетной оценки с учетом их весовых коэффициентов. Вес оценки по текущей успеваемости составляет 60 %, зачетной оценки – 40 %.

### **Примерный перечень лабораторных занятий**

1. Исследование элементного состава наноструктурированных нитридных покрытий методом резерфордского обратного рассеяния легких ионов.
2. Исследование фазового состава и структуры микро- и наноструктурированных материалов методом просвечивающей электронной микроскопии.
3. Формирование наноструктурированных нитридных покрытий методом реактивного магнетронного напыления.
4. Исследование особенностей рассеяния света лазера на микроструктурных дефектах твердых тел.
5. Изучение трибомеханических характеристик микро- и наноструктурированных твердых тел и покрытий.
6. Изучение фазового состава и структуры микро- и наноструктурированных материалов методом комбинационного рассеяния света.

## **Описание инновационных подходов и методов к преподаванию учебной дисциплины (эвристический, проективный, практико-ориентированный)**

При организации образовательного процесса используется метод учебной дискуссии, который предполагает участие студентов в целенаправленном обмене мнениями, идеями для предъявления и/или согласования существующих позиций по определенной проблеме.

Использование метода обеспечивает появление нового уровня понимания изучаемой темы, применение знаний (теорий, концепций) при решении проблем, определение способов их решения.

### **Методические рекомендации по организации самостоятельной работы обучающихся, кроме подготовки к экзамену, подготовка к зачету**

При изучении учебной дисциплины рекомендуется использовать следующие формы самостоятельной работы: – поиск (подбор) и обзор литературы и электронных источников по индивидуально заданной проблеме курса.

Реферат должен содержать следующие обязательные разделы:

- постановка задачи или проблемы и пути ее решения;
- историю исследования со ссылками на литературные источники;
- современное состояние проблемы;
- выводы.

По содержанию реферата должна быть

- подготовлена презентация для публичной защиты;
- подготовлены вопросы к аудитории по представленному материалу для выяснения усвоения основных положений доклада.

### **Примерные темы реферативных работ**

1. Методы PVD-осаждения наноструктурированных пленок.
2. Методы исследования структурно-фазового состояния нанокластеров.
3. Ионно- и лазерно-плазменные методы формирования микро- и наноструктур.
4. Радиационно-стойкие материалы на основе наноструктур.
5. Оптические свойства наносистем на основе кластеров.
6. Магнитные свойства наноструктурированных материалов.
7. Наноустройства на основе углеродных нанотрубок.
8. Применение микро- и наносистем в ядерной энергетике и космической технике.

### **Список компьютерных программ**

1. RUMP
2. SIMNRA 6.0
3. HEAD 6

4. SRIM – 2013
5. ICECREAM
6. ORIGIN
7. Crystallographica

### **Выполнение лабораторных работ**

В лабораторном практикуме по дисциплине «Микро- и наносистемы и технологии» запланировано проведение натуральных экспериментов по изучению физических свойств наноматериалов и характеристик структур на их основе с различными по сложности стендовыми измерениями. Кроме того, необходимым условием глубокого понимания и усвоения изучаемого материала является проведение студентами компьютерного моделирования, самостоятельного анализа полученных результатов с использованием современных программных комплексов интерактивного исследования и изучения характеристик как микро- и наноструктурированных материалов, так и изделий на их основе.

Задание по лабораторным работам для студентов заключается в подготовке отчета в письменном виде по выполненной работе. Контроль выполнения лабораторных работ будет осуществляться путем рассмотрения отчета по каждой выполненной лабораторной работе. Отчет по лабораторной работе должен содержать:

1. Фамилию, имя, отчество студента, номер группы.
2. Название работы.
3. Цель исследования.
4. Исходные данные и методику проведения лабораторной работы.
5. Название выполняемого пункта задания.
6. Блок-схему исследования (где это применимо) с необходимыми пояснениями.
7. Таблицы рассчитанных и экспериментальных зависимостей в виде удобном для анализа.
8. Графические зависимости рассчитанных и экспериментальных данных с нанесенными точками и выполненные на одном рисунке для каждого случая.
9. Обсуждение полученных результатов, оценки величин и зависимостей, выводы по работе.

Защита отчетов по лабораторной работе студентам будет проводиться в форме индивидуального собеседования и тестирования.

## ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ УВО

Название учебной 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)*
Сенсорика и микросистемная техника	Кафедра физической электроники и нанотехнологий	нет	Изменений не требуется (Прот. № 4 от 27.11.2019 г.)

\* При наличии предложений об изменениях в содержании учебной программы УВО.

**ДОПОЛНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ К УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЕ УВО**  
на \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ учебный год

№ п/п	Дополнения и изменения	Основание

Учебная программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры  
физической электроники и нанотехнологий  
(протокол № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ 201\_\_ г.)

Заведующий кафедрой

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
(ученая степень, ученое звание)  
(И.О.Фамилия)

\_\_\_\_\_  
(подпись)

УТВЕРЖДАЮ  
Декан факультета

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
(ученая степень, ученое звание)  
(И.О.Фамилия)

\_\_\_\_\_  
(подпись)