

Белорусский государственный университет



Лаборатория специализации
«Материалы и устройства современной энергетики»

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

1-31 04 01 Физика (по направлениям)

Направление специальности:

1-31 04 01-01 Физика (научно-исследовательская деятельность)

2020г.

Учебная программа составлена на основе Образовательного стандарта ОСВО 1-31 04 01-2013, утвержденного и введенного в действие постановлением Министерства образования Республики Беларусь от 30.08.2013г. № 88 и учебных планов № G31-163/уч., № G31и-177/уч. от 30 мая 2013г.

СОСТАВИТЕЛЬ:

Свито И.А. – доцент кафедры энергофизики Белорусского государственного университета, кандидат физико-математических наук

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

Шепелевич В.Г. – профессор кафедры физики твердого тела Белорусского государственного университета, доктор физико-математических наук, профессор;

В.В. Хорошко В.В. – заведующий кафедрой проектирования информационно-компьютерных систем Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники, кандидат технических наук, доцент.

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой энергофизики
(протокол № 10 от 25.06.2020);

Советом физического факультета
(протокол № 12 от 25.06.2020)

Заведующий кафедрой энергофизики



А.В.Мазаник

Программа учебной дисциплины Лаборатория специализации «Материалы и устройства современной энергетики» разработана для специальности 1-31 04 01 Физика (по направлениям), направление специальности 1-31 04 01-01 Физика (научно-исследовательская деятельность).

На сегодняшний день объективно отсутствует возможность выполнения студентами ряда лабораторных работ с использованием дорогостоящего оборудования (например, просвечивающего электронного микроскопа или рентгеновского фотоэлектронного спектрометра). Вместе с тем, знание основ этих методов, которые являются традиционными в современном материаловедении, умение анализировать получаемые данные является необходимым условием подготовки высококвалифицированного специалиста. Поэтому практикум содержит работы двух типов: наряду с лабораторными работами, предполагающими выполнение студентами эксперимента «вживую», существуют лабораторные работы, в которых студенту предлагается проанализировать результаты, полученные на реальных материалах с помощью дорогостоящего оборудования, использование которого в рамках практикума не представляется возможным.

Цели и задачи учебной дисциплины

Цель учебной дисциплины: развитие практических навыков реализации современных методов анализа структуры, фазового состава, оптических и электрофизических свойств современных материалов и структур.

Задачи учебной дисциплины:

1. Изучить физические основы и принципы существующих в современном материаловедении методов исследования различного рода материалов и структур.
2. Сформировать у обучающихся навыки анализа экспериментальных данных с целью получения максимальной информации об исследованных объектах.
3. Сформировать навыки планирования и организации научного исследования, а также получить соответствующий практический опыт.
4. Развить у студентов навыки представления полученных результатов и отчетов в удобной и наглядной форме.

Место учебной дисциплины в системе подготовки специалиста с высшим образованием: учебная дисциплина относится к **циклу** дисциплин специализации компонента учреждения высшего образования.

Связи с другими учебными дисциплинами: для выполнения цикла лабораторных работ необходимо знание студентами курсов общей физики (физики конденсированных сред и оптики), основ квантовой механики, а также дисциплин «Современные методы исследования материалов», «Основы твердотельной электроники». Материал настоящей учебной дисциплины основан также на знаниях и представлениях, заложенных при изучении учебной дисциплины «Основы физики твердого тела и полупроводников».

Требования к компетенциям

Освоение учебной дисциплины Лаборатория специализации «Материалы и устройства современной энергетики» должно обеспечить формирование следующих академических, социально-личностных и профессиональных компетенций:

академические компетенции:

АК-1. Уметь применять базовые научно-теоретические знания для решения теоретических и практических задач.

АК-2. Владеть системным и сравнительным анализом.

АК-3. Владеть исследовательскими навыками.

АК-4. Уметь работать самостоятельно.

АК-5. Быть способным порождать новые идеи (обладать креативностью).

АК-6. Владеть междисциплинарным подходом при решении проблем.

АК-7. Иметь навыки, связанные с использованием технических устройств, управлением информацией и работой с компьютером.

АК-8. Обладать навыками устной и письменной коммуникации.

АК-9. Уметь учиться, повышать свою квалификацию в течение всей жизни.

социально-личностные компетенции:

СЛК-2. Быть способным к социальному взаимодействию.

СЛК-3. Обладать способностью к межличностным коммуникациям.

СЛК-5. Быть способным к критике и самокритике.

СЛК-6. Уметь работать в команде.

профессиональные компетенции:

ПК-1. Применять знания теоретических и экспериментальных основ физики, современных технологий и материалов, методы исследования физических объектов, методы измерения физических величин, методы автоматизации эксперимента.

ПК-2. Использовать новейшие открытия в естествознании, методы научного анализа, информационные образовательные технологии, физические основы современных технологических процессов, научное оборудование и аппаратуру.

ПК-3. Проводить планирование и реализацию физического эксперимента, оценивать функциональные возможности сложного физического оборудования.

ПК-4. Пользоваться глобальными информационными ресурсами, компьютерными методами сбора, хранения и обработки информации, системами автоматизированного программирования, научно-технической и патентной литературой.

ПК-5. Осуществлять поиск, систематизацию и анализ информации по перспективным направлениям развития отрасли, инновационным технологиям, проектам и решениям.

В результате освоения учебной дисциплины студент должен:

знать:

- основные физические идеи различных методов исследования материалов и структур;

- возможности, преимущества и ограничения данных методов.

уметь:

- извлекать информацию об исследованных объектах из данных, полученных с помощью изученных методов;

владеть:

- навыками планирования научного исследования с использованием изученных аналитических методов;

- навыками наглядного представления экспериментальных и расчетных результатов.

- программными средствами обработки и анализа данных (Origin, Mathcad и др.).

Структура учебной дисциплины

Дисциплина изучается в 9 семестре дневной формы получения высшего образования. Всего на изучение учебной дисциплины Лаборатория специализации «Материалы и устройства современной энергетики» отведено:

– для очной формы получения высшего образования – 124 часа, в том числе 74 аудиторных часов, из них: лабораторные занятия – 74 часа.

Трудоемкость учебной дисциплины составляет 3 зачетных единиц.

Форма текущей аттестации – зачет.

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

Тема 1. Изучение структуры материалов методами рентгенофазового анализа и просвечивающей электронной микроскопии.

Теоретические основы рентгенодифракционного анализа, достоинства и недостатки метода. Параметры кристаллической решетки. Уравнение Вульфа-Брэггов. Уширение дифракционных пиков. Микронапряжения в кристаллах.

Тема 2. Изучение морфологии поверхности и магнитного взаимодействия методами атомно-силовой и магнито-силовой микроскопии.

Физический принцип метода атомно-силовой микроскопии. Методы сканирующей зондовой микроскопии. Погрешность метода. Магнито-силовая микроскопия.

Тема 3. Качественный и количественный анализ спектров Резерфордского обратного рассеяния.

Физический принцип метода Резерфордского обратного рассеяния, достоинства и недостатки. Кинематический фактор, выход обратнорассеянных ионов, сечение рассеяния, энергетические потери. Режим каналирования.

Тема 4. Спектроскопия комбинационного рассеяния света как метод исследования фононов и дефектов в твердых телах.

Взаимодействие излучения с веществом. Физические основы спектроскопии комбинационного рассеяния света. Рамановский сдвиг. Анализ положения линий, их уширения, симметрии и интенсивности.

Тема 5. Качественный и количественный анализ рентгеновских фотоэлектронных спектров.

Взаимодействие излучения с веществом. Физический принцип метода рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (РФЭС), достоинства и недостатки. Экспериментальная техника для реализации метода РФЭС. Валентные уровни, химический сдвиг, степень окисления, количественный анализ концентрации элементов.

Тема 6. Исследование полупроводниковых материалов методами спектроскопии пропускания и отражения света.

Поглощение света в полупроводниках. Коэффициент поглощения. Энергетическая плотность электронных состояний. Энергия Урбаха и ее физический смысл.

Тема 7. Изучение полупроводниковых диодов методом вольт-амперных и вольт-фарадных характеристик.

Р-п переход в условиях термодинамического равновесия. Дрейфовая и диффузионная составляющие тока. Область пространственного заряда, высота потенциального барьера р-п перехода. Барьерная и диффузионная емкость р-п-перехода. Уравнение Шокли.

Тема 8. Изучение температурной зависимости вольт-амперной характеристики полупроводникового диода.

Работа p-n перехода при электрическом смещении. Температурная зависимость обратного тока диода. Термическая генерация электронно-дырочных пар. Измерение температуры с помощью диода.

Тема 9. Вольт-амперные характеристики солнечных элементов. Физический принцип работы кремниевого солнечного элемента.

Дрейфовая и диффузионная составляющие тока. Напряжение холостого хода, ток короткого замыкания. Эквивалентная схема солнечного элемента. Уравнение ВАХ солнечного элемента. Фактор заполнения и КПД солнечного элемента. Спектральная зависимость фоточувствительности.

Тема 10. Исследование термоэлектрических материалов методом Хармана.

Термоэлектрический преобразователь на основе эффекта Зеебека. Термоэлектрическая добротность. Методы повышения термоэлектрической добротности термоэлектрических материалов. Методы исследования термоэлектрических материалов.

Тема 11. Определение удельного сопротивления и типа проводимости твердых тел.

Методы измерения удельного сопротивления твердых тел различной формы. Источники погрешностей при измерениях четырехзондовым методом. Поправочные функции. Термоэлектрический эффект.

Тема 12. Подготовка полупроводниковых образцов для электрофизических измерений.

Контакты металл-полупроводник. Измерения сопротивления и ЭДС Холла. Физико-химические основы пайки. Виды пайки. Структура паяных контактных соединений. Физические основы и практические аспекты ультразвуковой технологии пайки.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Дневная форма получения образования

Номер раздела, темы, занятия	Название раздела, темы, занятия; перечень изучаемых вопросов	Количество аудиторных часов				Материальное обеспечение занятия (наглядные, методические пособия и др.)	Литература	Формы контроля знаний
		лекции	практические (семинарские) занятия	лабораторные занятия	управляемая самостоятельная работа студента			
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1.	Изучение структуры материалов методами рентгенофазового анализа и просвечивающей электронной микроскопии.			6			[1]	Устный опрос, отчет
2.	Изучение морфологии поверхности и магнитного взаимодействия методами атомно-силовой и магнито-силовой микроскопии.			8			[2,3]	Устный опрос, отчет
3.	Качественный и количественный анализ спектров Резерфордского обратного рассеяния.			6			[2]	Устный опрос, отчет
4.	Спектроскопия комбинационного рассеяния света как метод исследования фононов и дефектов в твердых телах.			6		Экскурсия на оборудование	[4,5]	Устный опрос, отчет
5.	Качественный и количественный анализ рентгеновских фотоэлектронных спектров.			6			[2]	Устный опрос, отчет
6.	Исследование полупроводниковых материалов методами спектроскопии пропускания и отражения света.			6			[6]	Устный опрос, отчет
7.	Изучение полупроводниковых диодов методом вольт-амперных и вольт-фарадных характеристик.			6		Видеоматериалы	[7,8]	Устный опрос, отчет

8.	Изучение температурной зависимости вольт-амперной характеристики полупроводникового диода.			6		Видеоматериалы	[7]	Устный опрос, отчет
9.	Вольт-амперные характеристики солнечных элементов.			6			[7,9]	Устный опрос, отчет
10.	Исследование термоэлектрических материалов методом Хармана.			6			[10]	Устный опрос, отчет
11.	Определение удельного сопротивления и типа проводимости твердых тел.			6		Экскурсия на оборудование	[11]	Устный опрос, отчет
12.	Подготовка полупроводниковых образцов для электрофизических измерений.			6		Видеоматериалы	[11-13]	Устный опрос, отчет
	ВСЕГО			74				Зачет

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Перечень основной литературы

1. В.М. Анищик, В.В. Понарядов, В.В. Углов. Дифракционный анализ. – Мн.: Вышэйшая школа, 2011. – 215 с.
2. Л. Фелдман, Д. Майер. Основы анализа поверхности и тонких пленок. / Пер. с англ. - М.: Мир, 1989. - 342 с.
3. Миронов, В. Л. Основы сканирующей зондовой микроскопии. Российская академия наук, Институт физики микроструктур г. Нижний Новгород, 2004 г. – 110 с.
4. Петер, Ю. Основы физики полупроводников / Ю. Петер, М. Кардона – М.: Физматлит, 2002. – 560 с.
5. Аникьев, А.А. Квазиупругое рассеяние света в конгруэнтных кристаллах ниобата лития / А.А. Аникьев, М.Ф. Умаров // Оптика и спектроскопия. 2018. Т. 125. № 1. С. 19–24.
6. Л.П. Павлов. Методы измерения параметров полупроводниковых материалов. – М. Радио и связь, 1987 г. – 240 с.
7. Росадо Л. Физическая электроника и микроэлектроника. – М.: Высшая школа, 1991. – 352 с.
8. Н.А. Поклонский, Н.И. Горбачук, Т.М. Лапчук, Емкость и электропроводность полупроводниковых структур на переменном токе. – Мн. Изд.-во БГУ, 1997.
9. В.Ф. Гременок, М.С. Тиванов, В.Б. Залесский. Солнечные элементы на основе полупроводниковых материалов / Минск, ОИФТТиП НАНБ, 2007. – 222 с.
10. Дмитриев, А.В. Современные тенденции развития физики термоэлектрических материалов / А.В. Дмитриев, И.П. Звягин // УФН. – 2010. – Т. 180, №8. – С. 821-838.
11. Поклонский, Н.А. Четырехзондовый метод измерения электрического сопротивления полупроводниковых материалов: Учебно-методическое пособие по спецпрактикуму “Физика полупроводниковых материалов и приборов” для студентов физического факультета / Под редакцией Н.А. Поклонского. – Мн: Изд.-во БГУ, 1998. – 46 с.
12. В. В. Батавин, Ю. А. Концевой, Ю. В. Федорович. Измерение параметров полупроводниковых материалов и структур. – М. Радио и связь, 1985. – 264 с.
13. С.П. Кундас, В.Л. Ланин, М.Д. Тявловский, А.П. Достанко. Ультразвуковые процессы в производстве изделий электронной техники. Минск: Бестпринт, 2002.

Перечень дополнительной литературы

1. Ташлыкова-Бушкевич, И.И. Метод резерфордовского обратного рассеяния при анализе состава твердых тел: Учебно-метод. пособие к выполнению лабораторной работы по курсу «Физика» для студ. всех спец. и

форм обучения БГУИР / И.И. Ташлыкова-Бушкевич. – Мн: БГУИР, 2003. – 52 с.

2. Киттель, Ч. Введение в физику твердого тела / Ч. Киттель. – М.: Физматгиз, 1963.

3. Драко, В.М. Фононные и электронные процессы в кристаллах: учеб. пособие / В. М. Драко, В. И. Прокошин, В. Г. Шепелевич. – Минск: БГУ, 2011. – 215 с.

4. S.V. Gaponenko. Introduction to Nanophotonics. – Cambridge University Press, 2010.

5. Марголин В.И., Жабрев В.А., Тупик В.А. Физические основы микроэлектроники. – М.: Издательский центр "Академия", 2008. – 400 с.

Перечень рекомендуемых средств диагностики и методика формирования итоговой оценки

Формой текущей аттестации по дисциплине Лаборатория специализации «Материалы и устройства современной энергетики» учебным планом предусмотрен зачет.

Для текущего контроля качества усвоения знаний по дисциплине рекомендуется использовать устные опросы, обсуждение результатов, выполнение работы над ошибками. 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.

По итогам выполнения лабораторной работы учащиеся оформляют отчет, содержащий название работы, фамилии выполнивших, краткое изложение теории, поясняющей физическую сущность изучаемого эффекта, методику эксперимента, экспериментальные результаты и их обсуждение. На основании экспериментальных данных, графических зависимостей, а также численных значений рассчитанных величин, указанных в задании, отмечаются основные закономерности, анализируются физические явления, лежащие в их основе, и делаются выводы.

Итоговая оценка состоит из оценки предоставленного отчета и устного опроса по теории изучаемого эффекта и метода исследования.

Описание инновационных подходов и методов к преподаванию учебной дисциплины

При организации образовательного процесса используются:

– **практико-ориентированный подход**, который предполагает освоение содержания образования через решения практических задач, приобретение навыков эффективного выполнения разных видов профессиональной деятельности.

– **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

Для организации самостоятельной работы учащимся рекомендуется использовать методические указания к лабораторным занятиям, вопросы для подготовки к зачету, список рекомендуемой литературы. Также для успешного выполнения лабораторных работ рекомендуется получение информации с использованием информационных ресурсов: учебно-методических материалов, размещенных на образовательном портале eduphys.bsu.by, а также в сети интернет.

Примерный перечень вопросов к зачету

1. В чем состоит исследование структуры методами рентгенофазового анализа и просвечивающей электронной микроскопии? Какие достоинства и недостатки метода РФА? С чем связано уширение дифракционных пиков?

2. Каков физический принцип метода атомно-силовой микроскопии? Чем определяется погрешность метода? В чем физический принцип магнито-силовой микроскопии?

3. В чем состоит физический принцип метода Резерфордского обратного рассеяния, какие его достоинства и недостатки? Что такое режим каналирования?

4. В чем суть метода спектроскопии комбинационного рассеяния света? Чем обусловлены положение рамановских линий, их смещение, уширение и интенсивность?

5. Физический принцип метода рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии, достоинства и недостатки. Что представляет собой экспериментальная техника для реализации метода РФЭС? Какую информацию об исследуемом веществе можно получить с помощью метода РФЭС?

6. В чем суть метода спектроскопии пропускания и отражения света? Чем обусловлено поглощение света в полупроводниках? Что определяет коэффициент поглощения? Что такое энергия Урбаха, каков ее физический смысл?

7. Что представляет собой р-п переход в условиях термодинамического равновесия? Чем обусловлены дрейфовая и диффузионная составляющие тока? Что такое область пространственного заряда? Как определяются высота потенциального барьера р-п перехода, барьерная и диффузионная емкость р-п-перехода?

8. Что представляет собой р-п переход при электрическом смещении? Чем обусловлена температурная зависимость обратного тока диода? Каковы особенности измерения температуры с помощью диода?

9. Каков физический принцип работы солнечного элемента? Что такое напряжение холостого хода и ток короткого замыкания. Какова эквивалентная схема солнечного элемента? Что учитывает уравнение ВАХ реального солнечного элемента? Чем обусловлена спектральная чувствительность солнечного элемента?

10. Каков принцип работы термоэлектрического преобразователя на основе эффекта Зеебека? Что такое термоэлектрическая добротность? Каковы методы повышения термоэлектрической добротности термоэлектрических материалов? Какова особенность исследования термоэлектрических материалов методом Хармана?

11. Какие существуют методы измерения удельного сопротивления твердых тел в зависимости от формы? Что является основными источниками погрешностей при измерениях сопротивления четырехзондовым методом? В чем заключается термоэлектрический эффект?

12. Что представляет собой контакт металл-полупроводник? Какую роль выполняет флюс в процессе пайки? Каков физический принцип ультразвуковой пайки? Что такое кавитация?

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)
«Современные методы исследования материалов»	Кафедра энергофизики	нет	Оставить содержание учебной дисциплины без изменений (протокол № 10 от 25.06.2020)
«Основы твердотельной электроники»	Кафедра энергофизики	нет	Оставить содержание учебной дисциплины без изменений (протокол № 10 от 25.06.2020)

**ДОПОЛНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ К УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЕ ПО
ИЗУЧАЕМОЙ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ**

на ____ / ____ учебный год

№ п/п	Дополнения и изменения	Основание

Учебная программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры
_____ (протокол № ____ от _____ 202 г.)

Заведующий кафедрой

УТВЕРЖДАЮ
Декан факультета
