

Белорусский государственный университет

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе и
образовательным инновациям



О.И. Чуприс

(подпись)

25.07.2018 г.

(дата утверждения)

Регистрационный № УД- 53 75уч.

ЛАБОРАТОРНЫЙ СПЕЦПРАКТИКУМ «ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ»

**Учебная программа учреждения высшего образования
по учебной дисциплине для специальности
1-31 81 02 Фотоника**

Минск 2018 г.

Учебная программа составлена на основе Образовательного стандарта ОСВО 1-31 81 02-2012, утвержденного и введенного в действие постановлением Министерства образования Республики Беларусь от 24.08.2012 г. № 108 и учебного плана специальности 1-31 81 02 Фотоника, утвержденного 26 мая 2017 г., регистрационный номер № G31-240/уч.

СОСТАВИТЕЛЬ:

А.В. Гиро – старший преподаватель кафедры энергофизики Белорусского государственного университета.

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой энергофизики Белорусского государственного университета
(протокол № 11 от 17 мая 2018 г.);

Советом физического факультета Белорусского государственного университета
(протокол № 12 от 28 июня 2018 г.).

Заведующий кафедрой, к.ф.-м.н. доцент



М.С. Тиванов

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Программа лабораторного спецпрактикума «Фотоэлектрические преобразователи» разработана для второй ступени высшего образования (магистратуры) с углубленной подготовкой специалиста по направлению «Фотоника».

Учебная дисциплина по выбору «Оптоэлектроника» относится к циклу дисциплин специальной подготовки (компонент учреждения высшего образования).

Цель лабораторного спецпрактикума – сформировать у студентов практические навыки реализации современных методов анализа оптических и электрофизических характеристик материалов, структур и устройств, используемых в солнечной энергетике в настоящее время.

Основные задачи учебной дисциплины – ознакомление студентов с основами различных методов измерений характеристик полупроводниковых материалов и структур, такими как вольт-амперные и вольт-фарадные характеристики, методы определения времени жизни неосновных носителей заряда, пропускание и отражение света, спектральные методы, комбинационное рассеяние света, сканирующая зондовая микроскопия, а также с качественным и количественным анализом полученных данных и расчётом искомых параметров на основе полученных ранее теоретических знаний.

Развитие промышленного производства и освоение космического пространства вызывают необходимость поиска новых способов энергообеспечения, в первую очередь не требующих большого количества топлива. Как никогда актуально использование возобновляемых источников энергии, среди которых большим потенциалом обладает гелиоэнергетика. Но до сих пор не решена одна из главных проблем гелиоэнергетики – создание достаточно недорогих солнечных батарей с достаточно высоким КПД. Кроме этого материалы для гелиоэнергетики должны обладать и рядом других качеств, например, устойчивостью к условиям окружающей среды, низкой скоростью деградации в процессе работы, возможностью масштабного промышленного производства. Всё это создаёт потребность в большом количестве специалистов, способных как осуществлять создание материалов и структур, так и проводить их всесторонний анализ.

Материал учебной дисциплины основан на знаниях и представлениях, заложенных как в курсе общей физики, так и в курсах физики твердого тела, физики полупроводников, твердотельной электроники, спектроскопии и других.

В результате изучения учебной дисциплины студент должен:

знать:

- основные физические идеи различных методов исследования оптических и электрофизических характеристик материалов и структур;

- возможности, а также ограничения и область применимости данных методов;

уметь:

- самостоятельно организовывать эксперимент и проводить измерения;
- извлекать информацию об исследованных объектах из данных, полученных с помощью применяемых методик анализа;
- интерпретировать результаты исследований электрических и оптических свойства материалов и структур;
- анализировать и сравнивать результаты, полученные разными методами;

владеть:

- теоретическими основами применяемых методов исследования;
- навыками планирования и организации научного эксперимента;
- методами качественного и количественного анализа исследуемых материалов и структур.

Освоение учебной дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

академические компетенции:

- уметь применять базовые научно-теоретические знания для решения теоретических и практических задач;
- владеть системным и сравнительным анализом;
- владеть исследовательскими навыками;
- уметь работать самостоятельно;
- иметь навыки, связанные с использованием технических устройств, управлением информацией и работой с компьютером;
- иметь лингвистические навыки (устная и письменная коммуникация).

социально-личностные компетенции:

- обладать качествами гражданственности;
- быть способным к социальному взаимодействию;
- обладать способностью к межличностным коммуникациям;
- владеть навыками здорового образа жизни.

профессиональные компетенции:

- 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;
- применять полученные знания фундаментальных положений физики, экспериментальных, теоретических и компьютерных методов исследования,

планирования, организации и ведения научно-технической и научно-педагогической работы;

- пользоваться государственными языками Республики Беларусь и иными иностранными языками как средством делового общения;
- пользоваться глобальными информационными ресурсами;
- 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.

инновационная деятельность:

- осуществлять поиск, систематизацию и анализ информации по перспективным направлениям развития отрасли, инновационным технологиям, проектам и решениям;
- определять цели инноваций и способы их достижения;
- применять методы анализа и организации внедрения инноваций в научно-производственной, научно-педагогической и научно-технической деятельности.

Общее количество часов, отводимое на изучение учебной дисциплины – 118, из них количество аудиторных часов – 54.

Форма получения высшего образования – очная, дневная.

Аудиторные занятия проводятся в виде лабораторных работ и управляемой самостоятельной работы. На проведение лабораторных работ отводится 50 часов, на управляемую самостоятельную работу – 4 часа.

Занятия проводятся на 2-м курсе магистратуры в 4-м семестре.

Формы текущей аттестации по учебной дисциплине – зачет (3 зачетных единицы).

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

1. Изучение фотоэлектрических полупроводниковых приемников.
2. Изучение полупроводниковых диодов методом вольт-амперных и вольт-фарадных характеристик.
3. Световые вольт-амперные характеристики солнечных элементов.
4. Определение времени жизни носителей заряда в полупроводниках методом кинетики спада фотопроводимости.
5. Исследование полупроводниковых материалов методом спектральной зависимости фотоЭДС.
6. Исследование полупроводниковых материалов методами спектроскопии пропускания и отражения света.
7. Спектроскопия комбинационного рассеяния света как метод исследования фоточувствительных материалах.
8. Исследование поверхности материалов методом сканирующей зондовой микроскопии.
 - 8.1. Атомно-силовая микроскопия.
 - 8.2. Сканирующая туннельная микроскопия.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА ДИСЦИПЛИНЫ

Номер раздела, темы, занятия	Название раздела, темы, занятия	Количество аудиторных часов					Литература	Формы контроля знаний
		Лекции	Практические (семинарские) занятия	Лабораторные занятия	Иное	Количество часов УСП		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Изучение фотоэлектрических приемников			6			[1], [2]	Устный опрос
2	Изучение полупроводниковых диодов методом вольт-амперных и вольт-фарадных характеристик.			6			[3], [4]	Устный опрос
3	Световые вольт-амперные характеристики солнечных элементов			6			[5], [6]	Устный опрос
4	Определение времени жизни носителей заряда в полупроводниках методом кинетики спада фотопроводимости			6			[4], [7]	Устный опрос
5	Исследование полупроводниковых материалов методом спектральной зависимости фотоЭДС			6			[4], [7], [8], [9]	Устный опрос
6	Исследование полупроводниковых материалов методами спектроскопии пропускания и отражения света			6			[10], [11]	Устный опрос
7	Спектроскопия комбинационного рассеяния света как метод исследования фоточувствительных материалов			6			[12]	Устный опрос
8	Исследование поверхности материалов методом сканирующей зондовой микроскопии						[13]	Устный опрос
8.1	Атомно-силовая микроскопия			4				

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Рекомендуемая литература

Основная

1. И.В. Васильченко, В.А. Борисов, Л.С. Кременчугский, Г.Э. Левин. Измерение параметров приемников оптического излучения. – М.: Радио и связь, 1983. – 320 с.
2. И.М. Викулин, В.И. Стафеев. Полупроводниковые датчики. – М.: Советское радио, 1975. – 104 с.
3. С.М. Зи. Физика полупроводниковых приборов. – М.: Мир, 1984. – 912 с.
4. Л. Росадо. Физическая электроника и микроэлектроника. – М.: Высшая школа, 1991. – 352 с.
5. В. Ф. Гременок, М. С. Тиванов, В. Б. Залесский. Солнечные элементы на основе полупроводниковых материалов (обзор) // Альтернативная энергетика и экология. – 2009. – № 1(69). – с. 59-124.
6. В.В. Бессель, В.Г. Кучеров, Р.Д. Мингалеева. Изучение солнечных фотоэлектрических элементов: учебно-методическое пособие. – М.: Издательский центр РГУ нефти и газа (НИУ) имени И. М. Губкина, 2016. – 90 с.
7. К.В. Шалимова. Физика полупроводников. – М.: Энергия, 1976. – 416 с.
8. В.Ф. Киселев, С.Н. Козлов, А.В. Зотеев. Основы физики поверхности твердого тела. – М: МГУ, 1999. – 284 с.
9. С.М. Зи. Физика полупроводниковых приборов – М.: Мир, 1984. – 912 с.
10. Е.А. Стрельцов. Электрохимия полупроводников: учебное пособие для студентов учреждений высшего образования по химическим специальностям. – Мн.: БГУ, 2012. – 159 с.
11. Н.А. Поклонский, С.А. Вырко, С.Л. Поденок. Статистическая физика полупроводников. – М.: КомКнига, 2005. – 264 с.
12. П. Ю, М. Кардона. Основы физики полупроводников. – М.: Физматлит. – 2002. – 506 с.
13. В.Л. Миронов. Основы сканирующей зондовой микроскопии. Учебное пособие для студентов старших курсов высших учебных заведений. – Н. Новгород: ИФМ РАН, 2004 – 110 с.

Дополнительная

1. Р.Дж. Киес, П.В. Краузе, Э.Г. Патли. Фотоприемники видимого и ИК диапазонов / пер. с англ. под ред. В.И. Стафиева – М.: Радио и связь, 1985. – 328 с.
2. М.М. Колтун. Оптика и метрология солнечных элементов. – М.: Наука, 1984. – 280 с.

Перечень используемых средств диагностики результатов учебной деятельности

1. Устные опросы студентов.

Примерный перечень вопросов для проведения устных опросов

1. Фотоэлектрические явления, лежащие в основе работы ФЭП.
2. Возникновение фотогальванического эффекта при освещении р-п-перехода.
3. Фотодиодный режим работы р-п-перехода и основные характеристики фотодиода. Преимущество фотодиодного режима по сравнению с вентильным режимом при регистрации световых потоков.
4. Физические причины и типы шумов, и их влияние на порог чувствительности и обнаружительную способность ФЭП.
5. Высота барьера р-п-перехода.
6. Устройство и принцип действия солнечного элемента.
7. Вольт-амперная характеристика солнечного элемента
8. Конструкция солнечного модуля и солнечной батареи.
9. Влияние освещенности на характеристики солнечного элемента и солнечной батареи.
10. Время жизни носителей заряда в полупроводниках.
11. Влияние времени жизни носителей заряда на характеристики приборов.
12. Методы измерения времени жизни, их достоинства и недостатки.
13. Информация, получаемая при изменении длины волны падающего на кристалл излучения.
14. Причины появления поверхностной фотоЭДС.
15. Механизм перезарядки поверхностных электронных состояний.
16. Определение диффузионной длины носителей заряда в полупроводниках.
17. Спектральная зависимость барьерной фотоЭДС.
18. Основные механизмы поглощения света в полупроводниках.
19. Разница в поглощении света между прямозонными и непрямозонными полупроводниками.
20. Энергия Урбаха.
21. Механизм формирования области пространственного заряда на границе металл-полупроводник.
22. Диффузионная длина неосновных носителей заряда.
23. Одно- и двухфононная полоса в спектре комбинационного рассеяния кремния.
24. Зависимость рамановского сдвига от материала при одинаковом типе кристаллической решетки.
25. Влияние рассеяния на акустических фононах на спектры КРС.
26. Основные компоненты сканирующего зондового микроскопа и их назначение.

27. Виды датчиков для сканирующей зондовой микроскопии и принципы их действия.
28. Пьезоэлектрический эффект. Пьезосканеры.
29. Принципы сканирования и работы системы обратной связи в сканирующем зондовом микроскопе.
30. Влияние формы и размеров зонда на искажение изображения поверхности.

Методические рекомендации по организации и выполнению самостоятельной работы студентов

Основой методики организации самостоятельной работы студентов по учебной дисциплине является предоставление студентам необходимой для работы информации, а также обеспечение регулярных консультаций преподавателя и периодичной отчетности по различным видам учебной и самостоятельной деятельности.

В открытом доступе для студентов размещается следующая информация:

- программа курса с указанием основной и дополнительной литературы;
- учебно-методические материалы;
- график консультаций преподавателя;
- вопросы для проведения зачета.

Рекомендации по контролю качества усвоения знаний и проведению аттестации

Для текущего контроля качества усвоения знаний по лабораторному спецпрактикуму рекомендуется использовать устные опросы. Устные опросы проводятся в соответствии с учебно-методической картой учебной дисциплины. В случае неявки на устный опрос по уважительной причине студент вправе по согласованию с преподавателем выполнить его в дополнительное время. Для студентов, получивших неудовлетворительные оценки за устные опросы, либо не явившихся по неуважительной причине, по согласованию с преподавателем и с разрешения заведующего кафедрой мероприятие может быть проведено повторно.

Оценка каждого из устных ответов проводится по десятибалльной шкале. Оценка текущей успеваемости рассчитывается как среднеарифметическая оценок за устные ответы. Текущая аттестация по учебной дисциплине проводится в форме зачета. К зачету допускаются студенты, получившие только удовлетворительные оценки по каждому из устных опросов.

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)
Знания, умения, навыки, полученные при изучении учебной дисциплины, будут использованы при прохождении производственной практики и подготовке магистерских диссертаций	Кафедра энергофизики	Оставить содержание учебной дисциплины без изменения	Протокол № 11 от 17 мая 2018 г.

ДОПОЛНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ К УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЕ УВО

на / учебный год[illegible]

Учебная программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры
(протокол № _____ от _____ 20__ г.)

Заведующий кафедрой энегофизики
к.ф.-м.н., доцент

М.С. ТИВАНОВ

УТВЕРЖДАЮ

Декан физического факультета
д.ф.-м.н., профессор

В.М. АНИЩИК