

Белорусский государственный университет

УТВЕРЖДАЮ

проректор по учебной работе
и образовательным инновациям

 Чуприс

Дата утверждения: _____
Регистрационный № УД- 5155 /уч.

**ЛАБОРАТОРИЯ СПЕЦИАЛИЗАЦИИ
«ВВЕДЕНИЕ В ФИЗИКУ ПОЛУПРОВОДНИКОВ»**

**Учебная программа учреждения высшего образования
по учебной дисциплине для специальности
1-31 04 01-02-Физика (производственная деятельность)**

Минск 2018

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. 2013 № 88; учебных планов № G31-162/уч., № G31и-177/уч.

СОСТАВИТЕЛИ:

Н. М. Лапчук — доцент кафедры физики полупроводников и наноэлектроники Белорусского государственного университета, кандидат физико-математических наук, доцент

Т.М. Лапчук – заведующая учебной лабораторией кафедры физики полупроводников и наноэлектроники Белорусского государственного университета

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой физики полупроводников и наноэлектроники физического факультета Белорусского государственного университета (протокол № 10 от 17 мая 2018 г.);

Советом физического факультета Белорусского государственного университета (протокол № 11 от 01 июня 2018 г.).



ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Программа учебной дисциплины «Лаборатория специализации «Введение в физику полупроводников»» разработана для специальности: 1-31 04 01-02 Физика (производственная деятельность)

Цель дисциплины — практическое освоение студентами физических методов исследования структуры и свойств полупроводниковых материалов, используемых в электронике.

Основные задачи — раскрыть физический смысл основных методов, позволяющих изучить основные кристаллографические и электрофизические свойства полупроводниковых материалов, научить студента видеть области применения этих методов, понимать их прикладные возможности при решении конкретных задач, сформировать навыки научно-исследовательской деятельности.

Физика полупроводников в классическом и современном представлении, предъявляет повышенные требования, как к фундаментальной подготовке специалистов, так и к наличию у них практических навыков работы с экспериментальным оборудованием. Поэтому выполнение программы учебной дисциплины предусматривает постановку исследовательских задач по изучению свойств материалов электронной техники, а также использование учебно-научного оборудования, имеющегося в наличии на кафедре. Некоторые вопросы студенты должны изучить самостоятельно при работе с рекомендуемыми учебниками и учебными пособиями.

Учебная дисциплина «Лаборатория специализации «Введение в физику полупроводников»» относится к циклу дисциплин специализации и взаимосвязана с дисциплиной «Введение в специализацию».

В результате изучения дисциплины студент должен:

знать:

– основы кристаллографии, оптических процессов и процессов переноса заряда в конденсированных средах, структурные, электрофизические и оптические свойства полупроводниковых материалов;

уметь:

– использовать основные кристаллофизические, электрофизические и оптические методы в исследовании параметров полупроводниковых материалов;

владеть:

– методами исследования кристаллофизических, электрофизических и оптических свойств полупроводниковых материалов.

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

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

6. Обладать навыками устной и письменной коммуникации.

7. Уметь учиться, повышать свою квалификацию в течение всей жизни.

Социально-личностные компетенции:

1. Быть способным к социальному взаимодействию.

2. Обладать способностью к межличностным коммуникациям.

3. Быть способным к критике и самокритике (критическое мышление).

4. Уметь работать в команде.

Профессиональные компетенции:

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

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

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

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

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

При преподавании дисциплины рекомендуется применять активные методы обучения, основу которых составляют технологии проблемного и контекстного обучения, реализуемые на лабораторных занятиях, а также рейтинговая система оценки знаний. Эффективность работы студента проверяется в ходе текущего контроля знаний. Текущий контроль знаний рекомендуется проводить в форме устных опросов и защиты отчетов по лабораторным работам.

Общее количество часов, отводимое на изучение учебной дисциплины — 64, из них количество аудиторных часов — 42. Аудиторные занятия проводятся в виде лабораторных занятий.

Форма получения высшего образования — очная, дневная.

Занятия проводятся на 3-м курсе в 6-м семестре.

Форма текущей аттестации по учебной дисциплине — зачет.

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

1. Вводное занятие

Оборудование лаборатории специализации. Техника безопасности при работе на учебном оборудовании. Методические рекомендации по организации и выполнению самостоятельной работы студентов. Сроки проведения контролируемых мероприятий в процессе освоения дисциплины. О рейтинговой десятибалльной шкале оценок по текущему контролю знаний. Рекомендации по контролю качества усвоения знаний и проведению промежуточной аттестации.

2. Исследование эффекта Холла в полупроводниках.

Эффект Холла. Поперечная разность потенциалов в образце, поперечное электрическое поле (поле Холла). Сила Лоренца. Напряжённость электрического поля эффекта Холла. Измерение коэффициента Холла и его размерность. Удельная проводимость образца. Определение знака коэффициента Холла, концентрации носителей заряда и их подвижности. Принципиальная схема установки. Сравнение концентраций носителей, их знака и холловской подвижности в полупроводниках и в образце металла. Влияние симметричного расположения холловских контактов и качества контактов на результаты эксперимента.

3. Определение ориентации плоскостей монокристалла

Элементарная ячейка. Постоянная решётки. Кристаллографические оси. Кристаллографические плоскости. Анизотропия кристаллов. Индексы Миллера. Способы ориентации монокристаллических слитков: рентгеновский и оптический (метод световых фигур). Особенности установки для оптической ориентации кристаллов. Подготовка поверхности образцов кремния для получения чётких световых фигур. Световые фигуры, полученные с помощью отражения луча квантового генератора от заданной кристаллографической плоскости: (111), (100), (110) и их объяснение. Определение отклонения грани от заданной кристаллографической плоскости.

5. Изучение структуры поверхности полупроводникового кристалла и определение плотности дислокаций в образцах монокристаллического кремния.

Изучение структуры поверхности полупроводниковых кристаллов с помощью металлографического микроскопа. Определение характера и качества механической или химической обработки поверхности. Определение кристаллографической ориентации поверхности. Структурные дефекты кристаллической решётки: точечные дефекты линейные дефекты, объёмные дефекты и поверхностные дефекты. Определение поверхностной плотности объёмных дефектов структуры – дислокаций в монокристалле. Сущность и назначения различных стадий обработки поверхности полупроводников. Выявление дислокаций с помощью метода избирательного травления. Подсчёт ямок травления (плотность дислокаций).

6. Четырёхзондовый метод измерения удельного сопротивления полупроводников.

Электрическое сопротивление материалов. Четырёхзондовый метод измерения удельного электрического сопротивления монокристаллических слитков.

Электрическое сопротивление плоских образцов произвольной толщины. Метод Ван дер Пау измерения удельного сопротивления и классического эффекта Холла для изотропных плоских полупроводниковых пленок произвольной формы. Алгоритм измерения удельного электрического сопротивления кристаллического кремния четырехзондовым методом.

Изучение технического описания и инструкции по эксплуатации прибора ИУС-3 (цифровой прибор измерения поверхностного электрического сопротивления полупроводниковых материалов). Измерения поверхностного сопротивления полупроводниковых монокристаллов и однородных пленок, расположенных на изолирующей подложке, диаметром не более 150 мм (монокристаллический слиток n -Si:P, монокристаллический слиток n -Ge:P с толщиной $t = 14$ мм и диаметром 33 мм.)

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Номер раздела, темы, занятия	Название раздела, темы, занятия; перечень изучаемых вопросов	Количество аудиторных часов				Количество часов УСР	Литература	Формы контроля знаний
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия			
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1 Вводное занятие								
1	Оборудование лаборатории специализации. Техника безопасности при работе на учебном оборудовании. Методические рекомендации по организации и выполнению самостоятельной работы студентов. Сроки проведения контролирующих мероприятий в процессе освоения дисциплины. О рейтинговой десятибалльной шкале оценок по текущему контролю знаний. Рекомендации по контролю качества усвоения знаний и проведению итоговой аттестации.				2		1-15 25,28	Устный опрос
2 Исследование эффекта Холла в полупроводниках.								
1	Расчёт напряжения эффекта Холла и удельной проводимости образца. Вычисление коэффициента Холла. Определение концентрации носителей заряда. Определение подвижности носителей заряда. Определение побочного напряжения, связанного с несимметричным расположением контактов, и сравнение его величины с величиной напряжения Холла. Сравнение концентраций носителей, их знака и холловской подвижности в полупроводниках и в образце металла.				8		1, 3,6, 7-10	1. Защита отчетов о выполнении лабораторных работ 2. Устный опрос

3 <i>Определение ориентации плоскостей монокристалла</i>								
1	Способы ориентации монокристаллических слитков: рентгеновский и оптический (метод световых фигур). Особенности установки для оптической ориентации кристаллов. Подготовка поверхности образцов кремния для получения чётких световых фигур. Световые фигуры, полученные с помощью отражения луча квантового генератора от заданной кристаллографической плоскости: (111), (100), (110) и их объяснение. Определение отклонения грани от заданной кристаллографической плоскости..				8		1, 4, 6, 12,14, 24,27	1. Защита отчетов о выполнении лабораторных работ 2. Устный опрос
4 <i>Изучение структуры поверхности полупроводникового кристалла и определение плотности дислокаций в образцах монокристаллического кремния.</i>								
1	Изучение структуры поверхности полупроводниковых кристаллов с помощью металлографического микроскопа. Определение монокристалличности и анализ дефектов на поверхности слитков кремния. Определение характера и качества механической или химической обработки поверхности. Определение кристаллографической ориентации поверхности. Структурные дефекты кристаллической решётки: точечные дефекты линейные дефекты, объёмные дефекты и поверхностные дефекты. Определение поверхностной плотности объёмных дефектов структуры – дислокаций в монокристалле. Сущность и назначения различных стадий обработки поверхности полупроводников. Выявление дислокаций с помощью метода избирательного травления. Подсчёт ямок травления (плотность дислокаций).				8		1, 4, 6, 12,14, 24,27	1. Защита отчетов о выполнении лабораторных работ 2. Устный опрос
5 <i>Четырехзондовый метод измерения удельного сопротивления полупроводников.</i>								
1	Электрическое сопротивление материалов. Четырехзондовый метод измерения удельного				8		1- 6, 8, 10-15	1. Защита отчетов о выполнении лабораторных работ

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Перечень основной и дополнительной литературы

Основная

1. Батавин В. В., Концевой Ю. А., Федорович Ю. В. Измерение параметров полупроводниковых материалов и структур. — М.: Радио и связь, 1985. - 264 с.
2. Ван Флек Л. Теоретическое и прикладное материаловедение. — М.: Атомиздат, 1975. -472 с.
3. Воробьев Ю. В., Добровольский В. Н., Стриха В. И. Методы исследования полупроводников. — К.: Выща школа, 1988. -232с.
4. ГОСТ 19658-81 Кремний монокристаллический в слитках.
5. Готра З. Ю. Технология микроэлектронных устройств: Справочник. — М.: Радио и связь, 1991. -528 с.
6. Зеегер К. Физика полупроводников. -М.: Мир, 1977. -616 с.
7. Кембровский Г. С. Приближенные вычисления, методы обработки результатов измерений и оценки погрешностей в физике. — Мн.: ООО “Оракул”, 1997. - 207 с.
8. П.З. Киреев. Физика полупроводников. М. "Высшая школа", 1975.
9. Кунце Х. -И. Методы физических измерений. — М.: Мир, 1989. – 216 с.
10. Кучис Е. В. Гальваномагнитные эффекты и методы их исследования. — М.: Радио и связь, 1990. - 264 с.
11. Липсон Г. Великие эксперименты в физике. — М.: Мир, 1972. - 216с.
12. Лысов В.Ф. Практикум по физике полупроводников. М.: Просвещение, 1976.
13. Мейзда Ф. Электронные измерительные приборы и методы измерений. — М.: Мир, 1990. - 535 с.
14. Павлов Л. П. Методы измерения параметров полупроводниковых материалов. — М.: Высшая школа, 1987. -239 с.
15. Петровский И.И. Электронная теория полупроводников. Мн.: Изд. БГУ, 1975.

Дополнительная

16. Сидоров Ю. В., Федорюк М. В., Шабунин М. И. Лекции по теории функций комплексного переменного. — М.: Наука, 1989. -480 с.
17. Сквайрс Дж. Практическая физика. — М.: Мир, 1971. -248 с.
18. Соклоф С. Аналоговые интегральные схемы. — М.: Мир, 1988. -583 с.
19. Солимар Л., Уолш Д. Лекции по электрическим свойствам материалов. — М.: Мир, 1991. -504 с.
20. Татур Т. А. Основы теории электромагнитного поля. — М.: Высшая школа, 1989. -271 с.
21. Тилл У., Лаксон Дж. Интегральные схемы: Материалы, приборы, изготовление. — М.: Мир, 1985. -501 с.
22. Тригг Дж. Физика XX века: ключевые эксперименты. — М.: Мир, 1978. -376 с.;

23. Решающие эксперименты в современной физике. — М.: Мир, 1974. - 160 с.
24. Фистуль В.И. Введение в физику полупроводников. М.: Высшая школа, 1975.
25. Шабалин С. А. Прикладная метрология в вопросах и ответах. — М.: Изд-во стандартов, 1990. -192 с.
26. Шалимова К.В, Физика полупроводников. М.: Энергия, 1976.
27. Шаскольская М.П. "Кристаллография", стр. 161 - 163, стр. 306 - 340, 349, Москва, "Высшая школа", 1976.
28. Шульц Ю. Электроизмерительная техника: 1000 понятий для практиков. — М.: Энергоатомиздат, 1989. — 288 с.

Перечень используемых средств диагностики результатов учебной деятельности

1. Защита письменных отчетов о выполнении лабораторных работ;
2. Устный опрос.

Рекомендации по организации выполнения работ лаборатории специализации «Введение в физику полупроводников»

Вводное занятие является обязательным. Выбор лабораторных работ осуществляется на вводном занятии индивидуально для каждого обучающегося. Перечень лабораторных работ, выбранных индивидуально для каждого обучающегося, фиксируется в лабораторном журнале.

Перечень выбранных лабораторных работ должен обеспечивать выполнение цели и задач лаборатории специализации. Расчетное время выполнения лабораторных работ представлено в «Учебно-методической карте дисциплины».

При выполнении лабораторных работ рекомендуется использовать оборудование научно-исследовательских лабораторий кафедры.

Примерный перечень мероприятий для контроля качества усвоения знаний

Рекомендуемые разделы для устного опроса

1. Техника безопасности при работе на учебном оборудовании.
2. Определение ориентации плоскостей монокристалла
3. Изучение структуры поверхности полупроводникового кристалла и определение плотности дислокаций в образцах монокристаллического кремния.
4. Исследование эффекта Холла в полупроводниках.
5. Четырехзондовый метод измерения удельного сопротивления полупроводников.

Методика формирования итоговой оценки

Итоговая оценка формируется на основе:

1. Правил проведения аттестации студентов (Постановление Министерства образования Республики Беларусь № 53 от 29 мая 2012 г.);
2. Положения о рейтинговой системе оценки знаний по дисциплине в БГУ (Приказ ректора БГУ от 18.08.2015 № 382-ОД);
3. Критериев оценки знаний студентов (письмо Министерства образования от 22.12.2003)

Для текущего контроля знаний по дисциплине рекомендуется использовать устные опросы и защиту письменных отчетов о выполнении лабораторных работ.

Устные опросы проводятся перед выполнением каждой лабораторной работы и используются для контроля знаний техники безопасности, а также правил эксплуатации оборудования. Оценивание знаний студентов на устных опросах проводится по десятибалльной системе. К выполнению лабораторных работ студенты могут быть допущены только при положительной оценке.

Оценка выполнения лабораторных работ проводится на основе защиты письменных отчетов о выполнении лабораторных работ. Оценивание знаний студентов проводится по десятибалльной системе. Лабораторная работа считается выполненной только при положительной оценке за защиту отчета. Оценка текущего контроля знаний рассчитывается как среднее арифметическое оценок за все выполненные работы.

При неявке на занятия по уважительной причине преподаватель самостоятельно согласовывает со студентом дату и время выполнения пропущенной работы в течение учебного семестра. При неявке на занятия по неуважительной причине заведующий кафедрой на основании письменного заявления студента рассматривает возможность выполнения пропущенной работы. В случае наличия такой возможности заведующий кафедрой по согласованию с преподавателем определяет дату и время выполнения пропущенной работы в течение учебного семестра. При отсутствии возможности проведения занятий в течение учебного семестра решением кафедры оформляется недопуск обучающегося к экзаменационной сессии, и заведующий кафедрой по согласованию с преподавателем определяет дату и время выполнения пропущенной работы после окончания учебного семестра.

Текущая аттестация проводится в форме зачета. К зачету допускаются студенты, выполнившие все, индивидуально определенные для них лабораторные работы. По решению преподавателя (группы преподавателей) при оценке текущей успеваемости 7 (семь) баллов и более определение результатов итоговой аттестации по дисциплине может проводиться на основании результатов текущего контроля знаний без проведения дополнительного опроса на зачете. При этом явка обучающегося на зачет является обязательной.

ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ УВО

Название дисциплины, с которой требуется согласование	Название кафедры	Предложения об изменениях в содержании учебной программы по изучаемой учебной дисциплине	Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола)
Введение в специализацию	Кафедра физики полупроводников и наноэлектроники	Оставить содержание учебной дисциплины без изменения	Рекомендовать к утверждению учебную программу в представленном варианте протокол № 10 от 17.05.2018 г.