

Белорусский государственный университет



Регистрационный № УД- 9310/уч.

**ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ
СТРУКТУР**

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

1-31 04 07 Физика наноматериалов и нанотехнологий

Минск, 2020

Учебная программа составлена на основе Образовательного стандарта ОСВО 1-31 04 07-2013, учебного плана G31-218/уч., G31и-219/уч. от 20.02.2018

СОСТАВИТЕЛИ:

В.А. Пилипенко — профессор кафедры физики полупроводников и наноэлектроники, заместитель директора по научному развитию Государственного центра «Белмикроанализ» ОАО «ИНТЕГРАЛ», доктор технических наук, профессор, член-корреспондент НАН Беларуси

РЕЦЕНЗЕНТ:

Ф.Ф. КОМАРОВ — заведующий лабораторией элионики Научно-исследовательского учреждения «Институт прикладных физических проблем им. А.Н. Севченко», член-корреспондент НАН Беларуси, доктор физико-математических наук, профессор

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой физики полупроводников и наноэлектроники
физического факультета Белорусского государственного университета
(протокол № 11 от 30 июня 2020 г.)

Научно-методическим Советом БГУ
(протокол № 1 от 28 сентября 2020 г.)

Заведующий кафедрой 

Оджаев В.Б.

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Программа учебной дисциплины «Измерение параметров полупроводниковых структур» разработана для специальности 1-31 04 07 Физика наноматериалов и нанотехнологий, специализации 1-31 04 01 07-02 «Наноэлектроника».

Цели и задачи учебной дисциплины

Цель учебной дисциплины «Измерение параметров полупроводниковых структур» — ознакомление студентов с основами теории и практики контроля материалов и полупроводниковых структур при создании интегральных микросхем (ИМС).

Задачи учебной дисциплины:

- дать широкий обзор методов контроля материалов и структур, используемых в производстве, и методические руководства по выбору и практической реализации различных методов измерений.
- показать физические причины происхождения различных составляющих погрешности при измерении полупроводниковых структур, осветить вопрос о взаимосвязи погрешности с объектом измерения.
- дать необходимые количественные и качественные оценки результатов, получаемых при использовании оптических и электрофизических методов контроля полупроводниковых структур, методов анализа атомной структуры, химического состава и электронных свойств различных материалов, применяемых в производстве изделий электронной техники
- показать перспективы создания новых видов материалов полупроводниковой электроники с использованием технологии наноструктурирования и контроля их параметров.

Содержание учебной дисциплины «Измерение параметров полупроводниковых структур» охватывает круг вопросов, которые будут рассмотрены в процессе чтения лекций и на занятиях, предусматривающих управляемую самостоятельную работу. Курс призван максимально широко представить аппаратуру современных методов контроля материалов электронной техники, показать конструктивные особенности и принципы проведения различных видов измерений и способы подготовки образцов для измерений. В курсе рассматриваются основные факторы, влияющие на качество изготавливаемых ИМС. Приводится классификация современных методов контроля, используемых в микроэлектронике. Отражены этапы в развитии материалов, используемых в электронике, характеризуемые целенаправленными усилиями по изучению свойств широкого спектра новых материалов и структур, получивших общее наименование наноматериалы.

Управляемая самостоятельная работа проводится за счет части аудиторных часов по дисциплине, целью которой является создание условий

для реализации творческих способностей студентов. Эти занятия позволяют студентам приобретать навыки самостоятельного анализа свойств традиционных материалов в электронике и методов контроля их качества, в том числе и совершенно новых возможностей в использовании наноматериалов и методов измерения их параметров.

Место учебной дисциплины в системе подготовки специалиста с высшим образованием.

Учебная дисциплина «Измерение параметров полупроводниковых структур» дает представление о современных и традиционных средствах измерения параметров полупроводниковых структур и материалов, используемых в микроэлектронике и наноэлектронике, их электрофизических, оптических и магнитных свойствах, о возможных механизмах управления этими свойствами, о гармоничном сочетании материалов с полупроводниковыми, диэлектрическими и проводящими свойствами в электронике.

Учебная дисциплина «Измерение параметров полупроводниковых структур» относится к циклу дисциплин специализации компонента учреждения высшего образования, *основана* на знаниях и представлениях, заложенных в общих курсах атомной физики, оптики, теоретической механики, и является базовой для дисциплин «Физика полупроводниковых приборов: неравновесные процессы», «Технологии производства ИМС».

Требования к компетенциям

Освоение учебной дисциплины «Измерение параметров полупроводниковых структур» должно обеспечить формирование следующих академических, социально-личностных и профессиональных компетенций.

Требования к академическим компетенциям специалиста

Специалист должен:

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

АК-8. Иметь лингвистические навыки (устная и письменная коммуникация).

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

Требования к социально-личностным компетенциям специалиста

Специалист должен:

СЛК-1. Обладать качествами гражданственности.

СЛК-2. Быть способным к социальному взаимодействию.

СЛК-3. Обладать способностью к межличностным коммуникациям.

СЛК-4. Владеть навыками здорового образа жизни.

СЛК-5. Быть способным к критике и самокритике (критическое мышление).

СЛК-6. Уметь работать в команде.

Требования к профессиональным компетенциям специалиста

Специалист должен быть способен:

ПК-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.

ПК-2. Осуществлять на основе методов математического моделирования оценку эксплуатационных параметров функциональных наноматериалов и технологических процессов их получения.

ПК-3. Пользоваться компьютерными методами сбора, хранения и обработки информации, системами автоматизированного программирования, научно-технической и патентной литературой.

ПК-4. Взаимодействовать со специалистами смежных профилей.

ПК-5. Применять полученные знания фундаментальных положений физики, экспериментальных, теоретических и компьютерных методов исследования, планирования, организации и ведения научно-технической и научно-педагогической работы.

ПК-6. Использовать новейшие открытия в естествознании, методы научного анализа, информационные образовательные технологии, физические основы современных технологических процессов, включая нанотехнологии.

ПК-7. Вести переговоры, разрабатывать планы сотрудничества с другими организациями.

ПК-8. Пользоваться государственными языками Республики Беларусь и иными иностранными языками как средством делового общения.

ПК-9. Пользоваться глобальными информационными ресурсами.

ПК-10. 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.

ПК-11. Осуществлять поиск, систематизацию и анализ информации по перспективным направлениям развития отрасли, инновационным технологиям, проектам и решениям.

ПК-12. Определять цели инноваций и способы их достижения.

ПК-13. Применять методы анализа и организации внедрения инноваций в научно-производственной, научно-педагогической и научно-технической деятельности.

В результате освоения учебной дисциплины студент должен:

знать:

- основы физики твердого тела;
- явления переноса заряда в материалах с различным удельным сопротивлением;
- методы контроля качества материалов электронной техники;
- конструктивные особенности измерительного оборудования;
- принципы проведения различных видов измерений;

уметь:

- прогнозировать электрические, оптические и магнитные свойства новых материалов, исходя из данных об их составе и структуре;
- проводить различные виды измерений;
- правильно подготовить образцы для измерений,

владеть:

- базовыми принципами расчета электрофизических параметров новых материалов;
- методами оценки и расчета погрешностей, вносимых при измерениях;
- теоретическими основами переноса заряда в полупроводниковых структурах.

Структура учебной дисциплины

Дисциплина изучается в 6 семестре. Всего на изучение учебной дисциплины «Измерение параметров полупроводниковых структур» отведено:

– для очной формы получения высшего образования – 94 часа, в том числе 38 аудиторных часа, из них: лекции – 32 часа, аудиторный контроль управляемой самостоятельной работы – 6 часов.

Трудоемкость учебной дисциплины составляет 2,5 зачетные единицы.

Форма текущей аттестации – экзамен.

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

Раздел 1. Спектрометрические методы контроля

Тема 1.1. Анализ и классификация методов контроля создания ИМС. Влияние качества материалов, используемых в микроэлектронике, на параметры создаваемых полупроводниковых приборов и ИМС.

Тема 1.2. Эллипсометрические измерения и аппаратура для их проведения. Принципы эллипсометрических измерений. Эллипсометрия диэлектрических покрытий.

Тема 1.3. Спектрофотометры для инфракрасной области спектра. Применение методов спектрофотометрии МНПВО. Интерференционный метод измерения толщин эпитаксиальных слоев.

Раздел 2. Электрофизические методы контроля

Тема 2.1. Зондовые методы контроля. Основы С-В-метода. С-В-характеристики идеализированной МОП-структуры.

Тема 2.2. Измерение профиля распределения концентрации свободных носителей по толщине монокристаллов и полупроводниковых слоев вольт-фарадным методом. Измерение поверхностной концентрации примесей в диффузионных слоях

Тема 2.3. Измерение неоднородностей удельного сопротивления методом сопротивления растекания точечного контакта. Измерение удельного сопротивления тонких эпитаксиальных слоев.

Тема 2.4. Методы измерения поверхностного заряда МДП-структур. Неоднородность распределения поверхностного заряда в МДП-структурах. Определение генерационно-рекомбинационных характеристик МДП-структур.

Раздел 3. Электронная микроскопия

Тема 3.1. Электронная микроскопия. Принцип работы электронного микроскопа. Дифракция электронов. Микродифракция.

Тема 3.2. Фигуры (линии) Кикучи. Темнопольная микроскопия. Изготовление реплик поверхности. Утонение образца.

Тема 3.3 Применение электронной микроскопии для изучения структурного совершенства полупроводников. Применение рентгеновских топографических методов для изучения дефектов в полупроводниках.

Раздел 4. Растворная электронная микроскопия

Тема 4.1. Растворная электронная микроскопия. Метод сканирования и качество изображения. Принцип работы растрового электронного микроскопа Растворная электронная микроскопия. Метод сканирования и качество изображения. Принцип работы растрового электронного микроскопа.

Тема 4.2 Растворная электронная микроскопия в микроэлектронике.
Метод химического и ионного выявления микроструктуры полупроводникового материала.

Раздел 5. Контроль состава, содержания примесей и загрязнений в полупроводниковых материалах и структурах

Тема 5.1. Вторичная ионная масс-спектроскопия. Электронная спектроскопия для химического анализа.

Тема 5.2. Электронная оже-спектроскопия. Электронно-зондовый рентгеновский микроанализ.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Дневная форма получения образования

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов						Формы контроля Знаний
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	Количество часов УСР	Иное	
1	2	3	4	5	6	7		9
1	Раздел 1. Спектрометрические методы контроля	6						
1.1.	Анализ и классификация методов контроля создания ИМС. Влияние качества материалов, используемых в микроэлектронике, на параметры создаваемых полупроводниковых приборов и ИМС.	2						
1.2	Эллипсометрические измерения и аппаратура для их проведения. Принципы эллипсометрических измерений. Эллипсометрия диэлектрических покрытий.	2						
1.3	Спектрофотометры для инфракрасной области спектра. Применение методов спектрофотометрии МНПВО. Интерференционный метод измерения толщин эпитаксиальных слоев.	2						
2	Раздел 2. Электрофизические методы контроля	6				2		
2.1	Зондовые методы контроля. Основы С-В-метода. С-В-характеристики идеализированной МОП-структуры.	2						
2.2	Измерение профиля распределения концентрации свободных носителей по толщине монокристаллов и полупроводниковых слоев вольт-фарадным методом. Измерение поверхностной концентрации примесей в диффузионных слоях.	2						

2.3	Измерение неоднородностей удельного сопротивления методом сопротивления растекания точечного контакта. Измерение удельного сопротивления тонких эпитаксиальных слоев.				2		Письменная контрольная работа
2.4	Методы измерения поверхностного заряда МДП-структур. Неоднородность распределения поверхностного заряда в МДП-структурах. Определение генерационно-рекомбинационных характеристик МДП-структур.	2					
3	Раздел 3. Электронная микроскопия	4			2		
3.1	Электронная микроскопия. Принцип работы электронного микроскопа. Дифракция электронов. Микродифракция	2					
3.2	Фигуры (линии) Кикучи. Темнопольная микроскопия. Изготовление реплик поверхности. Утонение образца.				2		Защита рефератов
3.3	Применение электронной микроскопии для изучения структурного совершенства полупроводников. Применение рентгеновских топографических методов для изучения дефектов в полупроводниках	2					
4	Раздел 4. Растворная электронная микроскопия	8			2		
4.1	Растворная электронная микроскопия. Метод сканирования и качество изображения. Принцип работы растрового электронного микроскопа Растворная электронная микроскопия. Метод сканирования и качество изображения. Принцип работы растрового электронного микроскопа.	4			2		Устный контрольный опрос
4.2.	Растворная электронная микроскопия в микроэлектронике. Метод химического и ионного выявления микроструктуры полупроводникового материала	4					

5	Раздел 5. Контроль состава, содержания примесей и загрязнений в полупроводниковых материалах и структурах	8						
5.1	Вторичная ионная масс-спектроскопия. Электронная спектроскопия для химического анализа.	4						
5.2	Электронная оже-спектроскопия. Электронно-зондовый рентгеновский микроанализ.	4						
	Итого	32				6		
	Текущая аттестация							Зачет

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Перечень основной литературы

1. Батавин В. В. и др. Измерение параметров полупроводниковых материалов и структур. В. В. Батавин, Ю. А. Концевой, Ю. В. Федорович. Москва: Радио и связь, 1985.
2. Зеегер К. Физика полупроводников. М., 1977.
3. Крегер Ф. Химия несовершенных кристаллов. М., 1969.
4. Орлов А.Н. Введение в теорию дефектов в кристаллах. М., 1983.
5. Шик А.Я., Бакуева Л.Г., Мусихин С.Ф., Рыков С.А. Физика низкоразмерных систем.-СПб.: Наука, 2001.—160 с.
6. Пул Ч., Оуенс Ф. Нанотехнологии.– М.: Техносфера, 2004.-328 с.
7. Нанотехнология в полупроводниковой электронике /Отв. ред. А.Л. Асеев.– Новосибирск: Изд. СО РАН, 2004.–368 с.
8. Оджаев, В.Б. Современные методы исследования конденсированных состояний / В.Б. Оджаев, И.А. Карпович, Д.В. Свиридов, В.В. Понарядов. – Минск : БГУ, 2003. – 84 с.
9. Технология СБИС: в 2 т./ под ред. С. Зи. - М.: Мир, 1986. – Т.1. – 404 с.; Т.2. – 454 с.
10. Нанотехнологии в электронике/ Под. ред Ю.А.Чаплыгина. -М.: Техносфера, 2005. – 348 с.
11. Щука А.А. Наноэлектроника. –М.: Физматкнига, 2007, – 464 с.
12. Пилипенко, В. А. Инновационные технологии и оборудование микроэлектронного производства / В.А. Пилипенко, А.П. Достанко, С.М. Аваков, В.И. Плебанович, С.Н. Мельников, Д.А. Голосов, С.М. Завадский, Е.В. Телеш, В.А. Солодуха, И.Б. Петухов, И.Б. Ковалчук, С.Б. Школык, В.Л. Ланин, А.И. Лаппо, А.Н. Петлицкий— Минск: Беларуская наука, 2020. –368 с..
13. Основы эллипсометрии / под ред. чл.-корр. АН СССР А.В.Ржанова. — Новосибирск, изд. «Наука», 1979.
14. Pliskin, W.A. Structural evaluation of silicon oxide films / W.A.Pliskin, H.S.Lehman. // J.Electrochem. Soc. — V.112, '10. — 1965. — P.1013.
15. Электронная микроскопия / под редакцией А.А.Лебедева. — М., ГИТТ, 1954.
16. Микроанализ и растровая электронная микроскопия / под редакцией Ф.Морис, Л.Мени, Р.Тиксье. — М., 1985.
17. Современные физические методы в геохимии / под редакцией В.Ф.Барбанова. — Л., ЛГУ, 1990.

Перечень дополнительной литературы

1. Блатт Ф. Физика электронной проводимости в твердых телах. М., 1971.
2. Вендиk, О.Г. Корпускулярно-фотонная технология / О.Г.Вендиk, Ю.Н.Горин, В.Ф.Попов. — М.: Высшая школа, 1984.
3. Агаханян, Т.М. Интегральные микросхемы / Т.М.Агаханян. — М.: Энерго-атом издат., 1983.
4. Березин, А.С. Технология и конструирование интегральных микросхем / А.С.Березин, О.Р.Мочалкина.— М.: Радио и связь, 1983.
5. Тилл, У. Интегральные схемы: материалы, приборы, изготовление / У.Тилл, Дж.Лаксон. — М.:Мир, 1985.
6. Броудай, И. Физические основы микротехнологии / И. Броудай, Дж. Мерей. — М.:Мир, 1985.
7. Зи, С. Физика Полупроводников / С.Зи. — Т.1. — М.:Мир, 1984.
8. Мейер, Дж. Ионное легирование полупроводников / Дж.Мейер, Л.Эриксон, Дж.Дэвис. — М.:Мир, 1973.
9. Анищик, В.М. Физические основы быстрой термообработки. Температурные поля и конструктивные особенности оборудования / В.М. Анищик, В.А. Горушко, В.А. Пилипенко и др. —Минск, БГУ, 2000.
- 10.Н.Н. Леденцов, В.М. Устинов, В.А. Щукин, П.С. Копьев, Ж.И. Алферов, Д. Бимберг. Гетероструктуры с квантовыми точками: получение, свойства, лазеры //ФТП, т.32, №4, с.385 (1998).
- 11.В.К. Неволин. Основы туннельно-зондовой нанотехнологии. М.: МИЭТ,1996 –90 с. (Переработанное и дополненное пособие размещено на сайте: www.nanotube.ru).

Перечень средств диагностики и методика формирования итоговой оценки

Для текущего контроля качества усвоения знаний по дисциплине «Измерение параметров полупроводниковых структур» рекомендуется использовать письменные контрольные работы по разделам дисциплины, устные контрольные опросы, защиту реферативных работ.

Формой текущей аттестации по дисциплине «Измерение параметров полупроводниковых структур» учебным планом предусмотрен **экзамен**. 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. Оценка каждой из контрольных работ должна быть не ниже 4 баллов (по 10-ти бальной шкале), оценка ниже 4 баллов считается неудовлетворительной. 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. Темы рефератов предлагаются максимально приближенными к теме курсовой работы. Реферат оформляется подобно обзору литературных данных в курсовой работе и должен включать не менее 10 страниц (включая титульный лист, оглавление, иллюстрации и список литературы). Защита реферативных работ проводится индивидуально, в устной форме. Оценка рефератов проводится по десятибалльной шкале.

Текущий контроль по дисциплине «Измерение параметров полупроводниковых структур» проводится только после выполнения студентом всех контрольных мероприятий, предусмотренных учебной программой и защиты реферата. Текущая аттестация по учебной дисциплине проводится в форме экзамена. Экзаменационная оценка и оценка текущей успеваемости служат для определения рейтинговой оценки по дисциплине, которая рассчитывается как средневзвешенная оценка текущей успеваемости и экзаменационной оценки. Рекомендуемые весовые коэффициенты для оценки текущей успеваемости — 0,4; для экзаменационной оценки — 0,6.

Примерный перечень заданий для управляемой самостоятельной работы студентов

(Темы заданий размещаются на сайте образовательного портала БГУ
<https://eduphys.bsu.by/course/view.php?id=755>)

Тема 2.3. Измерение неоднородностей удельного сопротивления методом сопротивления растекания точечного контакта. Измерение удельного сопротивления тонких эпитаксиальных слоев. (2 часа)

(Форма контроля – письменная контрольная работа.)

Тема 3.2. Фигуры (линии) Кикучи. Темнопольная микроскопия.
Изготовление реплик поверхности. Утонение образца. (2 часа)
(Форма контроля – защита рефератов)

Тема 4.1. Растворная электронная микроскопия. Метод сканирования и
качество изображения. Принцип работы растрового электронного
микроскопа Растворная электронная микроскопия. Метод сканирования и
качество изображения. Принцип работы растрового электронного
микроскопа. (2 часа)

(Форма контроля – устный контрольный опрос)

Описание инновационных подходов и методов к преподаванию учебной дисциплины

При организации образовательного процесса используются *проблемно-аналитический метод и приемы развития критического мышления*, которые представляют собой систему, формирующую навыки работы с информацией в процессе изучения и представления материала, включающую понимание поставленной проблемы, анализ особенностей рассматриваемого явления, построение физической модели, получение выражений для количественного описания и рассмотрение путей практического применения.

Методические рекомендации по организации самостоятельной работы обучающихся

При изучении учебной дисциплины рекомендуется использовать следующие формы самостоятельной работы:

- изучение электронных материалов по дисциплине, представленных в разделе info сайта физического факультета (www/physics.bsu.by/info);
- использование информационного ресурса vk.com/kafedrafizikipp и <https://eduphys.bsu.by/course/view.php?id=755> : где осуществляется размещение учебно-методических материалов, включая, вопросы для подготовки к зачету, темы письменных контрольных работ по разделам дисциплины, темы устных контрольных опросов, темы реферативных работ и список рекомендуемой литературы;
- поиск и ознакомление с литературой и электронными источниками по изучаемой проблеме курса.

Примерная тематика реферативных работ

1. Высокочастотные (ВЧ, СВЧ) бесконтактные методы измерения удельного сопротивления полупроводников и низкоразмерных структур.
2. Измерение распределения концентрации и подвижности носителей заряда в диффузионных, эпитаксиальных и ионно-легированных слоях.
3. Методы измерения дрейфовой подвижности неосновных носителей заряда.

4. Метод двойного лучепреломления для контроля напряжений в кремниевых пластинах. Оптическая схема установки двойного лучепреломления..
5. Контроль стрелы изгиба полупроводниковых пластин. Контроль профиля изгиба полупроводниковых пластин. Установка контроля изгиба.

Примерный перечень вопросов к экзамену

1. Объясните формы вольт-амперных характеристик контакта металл-полупроводник (М-П), соответствующих р-и п-типу проводимости?
2. Какие показатели эффекта Холла говорят о типе проводимости?
3. Каковы преимущества и недостатки четырёхзондового метода измерения удельного электрического сопротивления?
4. Каким образом учитывать контактные сопротивления М-П при измерении удельного электрического сопротивления?
5. Как проводятся и что дают бесконтактные измерения электропроводности?
6. Какими способами устранить влияние ловушек захвата при измерении времени жизни ННЗ?
7. Как определить диффузионную длину ННЗ в полупроводнике?
8. Как узнать скорость поверхностной рекомбинации и время жизни ННЗ в объёме полупроводника?
9. Чем определяется требование к источнику фотовозбуждения?
10. Как определяется концентрация носителей заряда по спектрам поглощения и отражения?
11. Как осуществляется измерение профиля распределения концентрации свободных носителей по толщине монокристаллов и полупроводниковых слоев вольтфарадным методом?
12. Как измерить поверхностную концентрацию примесей в диффузионных слоях?
13. Измерение удельного сопротивления методом Ван дер Пау.
14. Измерение неоднородностей удельного сопротивления методом сопротивления растекания точечного контакта.
15. Измерение удельного сопротивления тонких эпитаксиальных слоев.
16. Исходные уравнения и физические основы методов контроля параметров неосновных носителей заряда.
17. Стационарные методы измерения диффузионной длины, времени жизни и скорости поверхностной рекомбинации носителей заряда.
18. Измерение времени жизни неравновесных носителей заряда нестационарными методами.
19. Анализ и классификация методов контроля создания ИМС.
20. Влияние качества материалов, используемых в микроэлектронике, на параметры создаваемых полупроводниковых приборов и ИМС.
21. Принципы эллипсометрических измерений. Эллипсометрия диэлектрических покрытий.
22. Спектрометры для инфракрасной области спектра.
23. Применение методов спектрофотометрии МНПВО.
24. Интерференционный метод измерения толщин эпитаксиальных слоев.
25. Метод вольтфарадных характеристик. С-В-характеристики идеализированной МОП-структуры.

26. Применение электронной микроскопии для изучения структурного совершенства полупроводников.
27. Применение рентгеновских топографических методов для изучения дефектов в полупроводниках.
28. Растровая электронная микроскопия. Метод сканирования и качество изображения.
29. Принцип работы растрового электронного микроскопа.
30. Метод химического и ионного выявления микроструктуры полупроводникового материала.
31. Контроль состава, содержания примесей и загрязнений в полупроводниковых материалах и структурах.
32. Вторичная ионная масс-спектроскопия. Электронная спектроскопия для химического анализа.
33. Электронная оже-спектроскопия.
34. Электронно-зондовый рентгеновский микроанализ.

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)
Технологии производства ИМС	Кафедра физики полупроводников и наноэлектронники	Нет	Оставить содержание учебной дисциплины без изменения (протокол № 11 от 30.06.2020)
Физика полупроводниковых приборов: неравновесные процессы	Кафедра физики полупроводников и наноэлектронники	Нет	Оставить содержание учебной дисциплины без изменения (протокол № 11 от 30.06.2020 г.)

ДОПОЛНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ К УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЕ ПО ИЗУЧАЕМОЙ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ

на ____ / ____ учебный год

№ № пп	Дополнения и изменения	Основание

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

Заведующий кафедрой
физики полупроводников и наноэлектроники
д.ф.-м.н., профессор _____ В.Б. Оджаев

УТВЕРЖДАЮ
Декан физического факультета
к.ф.-м.н., доцент

М.С. Тиванов