



МИНОБРНАУКИ РОССИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«ИРКУТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ФГБОУ ВО «ИГУ»

Кафедра общей и космической физики



УТВЕРЖДАЮ

Декан физического факультета

/ Н.М. Буднев

17 апреля 2024 г.

Рабочая программа дисциплины (модуля)

Наименование дисциплины (модуля): Б1.О.19 Практикум по твердотельной электронике

Направление подготовки: 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника

Направленность (профиль) подготовки: Электроника и нанoeлектроника

Квалификация выпускника: бакалавр

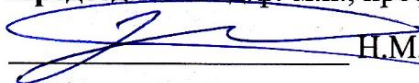
Форма обучения: очная

Согласовано с УМК:

физического факультета

Протокол № 42 от «15» апреля 2024 г.

Председатель: д.ф.-м.н., профессор

 Н.М. Буднев


Рекомендовано кафедрой:

общей и космической физики

Протокол № 8

от «22» марта 2024 г.

Зав.кафедрой д.ф.-м.н., профессор

 Паперный В.Л.

Иркутск 2024 г.

Содержание

I. Цели и задачи дисциплины (модуля)	3
II. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОПВО	3
III. Требования к результатам освоения дисциплины	3
IV. Содержание и структура дисциплины (модуля)	4
4.1. Содержание дисциплины, структурированное по темам, с указанием видов учебных занятий и отведенного на них количества академических часов	5
4.2. План внеаудиторной самостоятельной работы обучающихся студентов по дисциплине ...	5
4.3. Содержание учебного материала	7
4.3.1. Перечень лабораторных работ	7
4.3.2. Перечень тем (вопросов), выносимых на самостоятельное изучение студентами в рамках самостоятельной работы (СРС)	8
4.5. Примерная тематика курсовых работ (проектов) (при наличии)	9
V. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)	10
<i>б) периодические издания</i>	10
<i>в) список авторских методических разработок</i>	10
<i>г) базы данных, информационно-справочные и поисковые системы</i>	10
VI. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)	10
6.1. Учебно-лабораторное оборудование:	10
6.2. Программное обеспечение:	11
VII. Образовательные технологии	11
VIII. Оценочные материалы для текущего контроля и промежуточной аттестации	12

I. Цели и задачи дисциплины (модуля)

1. Цели и задачи дисциплины : Целью практикума является создание фундаментальной базы знаний о процессах, протекающих в элементах твердотельной электроники. Предусматривается осуществить последовательное изложение основных физических процессов, протекающих в материалах, используемых в твердотельной электронике.

Задачи практикума. Первая из них заключается в мировоззренческой и методологической направленности курса. Необходимо сформировать у студентов единую, стройную, логически непротиворечивую физическую картину природы исследуемых процессов. Создание такой картины происходит поэтапно, путем обобщения экспериментальных данных и на их основе производится построение моделей наблюдаемых явлений.

Во-вторых, в рамках единого подхода необходимо рассмотреть основные явления, вывести основные законы и получить их выражение в виде математических уравнений. Необходимо научить студентов количественно решать конкретные задачи.

В-третьих, необходимо научить студентов основам постановки и проведения физического эксперимента с последующим анализом и оценкой полученных результатов.

Специальный физический практикум по дисциплине «Твердотельная электроника» решает следующие главные задачи: 1). Научить применять теоретический материал к анализу конкретных физических ситуаций, экспериментально изучить основные закономерности, оценить порядки изучаемых величин, определить точность экспериментальных результатов.

2). Ознакомиться с измерительной аппаратурой и принципом ее действия, с основными элементами техники безопасности при проведении экспериментальных исследований. Общее число задач спецпрактикума определяется кафедрой в соответствии с учебным планом и содержанием настоящей программы.

II. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОПВО

Потребность в курсе, посвященном твердотельной электронике, является весьма острой, как для специалистов в области физик твердого тела, так и для инженеров-электронщиков.

Дисциплина «Специальный практикум» относится к дисциплине обязательной части блока Б1 образовательной программы по направлению 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника. При изучении этой дисциплины используются знания, приобретенные при изучении «Атомной физики» и «Оптики».

III. Требования к результатам освоения дисциплины

Процесс изучения дисциплины (модуля) направлен на формирование следующих компетенций:

- Способен самостоятельно проводить экспериментальные исследования и использовать основные приемы обработки и представления полученных данных (ОПК-2).

Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с индикаторами достижения компетенций

Компетенция	Индикаторы компетенций	Результаты обучения
ОПК-2	ИДК опк.2.2 способен самостоятельно проводить экспериментальные исследования и использовать основные	Знает: <ul style="list-style-type: none"> • -Теоретические основы, понятия, законы и модели. • правила проведения экспериментальных исследований по изучению свойств

	приемы обработки и представления экспериментальных данных	материалов электроники и нанoeлектроники • приемы обработки и представления экспериментальных результатов в удобном для их анализа и интерпретации виде. Умеет: Самостоятельно проводить экспериментальные исследования по изучению свойств материалов электроники и нанoeлектроники; • обрабатывать и представлять экспериментальные результаты в удобном для их анализа и интерпретации. Владеет: • Навыками проведения экспериментальные исследования по изучению свойств материалов электроники и нанoeлектроники; • методами обработки и оценки погрешности измерений параметров

IV. Содержание и структура дисциплины (модуля)

Объем дисциплины составляет 2 зачетных единицы, 72 часа.

Занятия проводятся только в очной форме обучения с применением дистанционного контроля самостоятельной работы студентов через ЭЛИОС факультета. Электронной и дистанционной форм обучения не предусматривается.

Из них 18 часов – практическая подготовка

Форма промежуточной аттестации: зачёт

4.1. Содержание дисциплины, структурированное по темам, с указанием видов учебных занятий и отведенного на них количества академических часов

№ п/н	Раздел дисциплины/тема	Семестр	Всего часов	Из них практическая подготовка обучающихся	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу обучающихся, практическую подготовку и трудоемкость (в часах)			Самостоятельная работа	Формы текущего контроля успеваемости; Форма промежуточной аттестации (по семестрам)
					Контактная работа преподавателя с обучающимися				
					Лекции	Семинарские/практические/лабораторные занятия	Консультации		
1	2	3	4	5	7	8	9	10	
1	Поглощение света в полупроводниках	6	10,1	3		6	0,1	4	Опрос, собеседование при защите результатов лабораторной работы
2	Эффекта Холла	6	10,2	3		6	0,2	4	
3	Времени жизни неравновесных носителей в полупроводниках	6	10,1	3		6	0,1	4	
4	К.п.д. солнечного фотопреобразователя	6	10,2	3		6	0,2	4	
5	Температурная зависимость проводимости полупроводников	6	11,2	3		6	0,2	5	
6	Эффект Пельтье		12,2	3		8	0,2	4	
	Контроль		8						
	КСР								
	зачет								
Итого часов			72	18		38	1	25	

4.2. План внеаудиторной самостоятельной работы обучающихся студентов по дисциплине

Семестр	Название раздела, темы	Самостоятельная работа обучающихся			Оценочное средство	Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы
		Вид самостоятельной работы	Сроки выполнения	Трудоемкость (час.)		
7	Оформление отчётов по лабораторным работам	Обработка полученных экспериментальных данных, анализ результатов	В течение семестра	20	Отчёт	[1-2]
7	Подготовка к защите отчётов	Формулирование выводов по результатам работы. Работа с методическим материалом к каждой работе	В течение семестра	5	Собеседование	[1-2]
Общий объем самостоятельной работы по дисциплине (час)				25		

4.3. Содержание учебного материала

Раздел 1. Поглощение света в полупроводниках.

- 1.1. Основы зонной теории
- 1.2. Виды поглощения в полупроводниках.
- 1.3. Закон Бугера - Ламперта.
- 1.4. Оценка ширины запрещенной зоны.

Раздел 2. Эффекта Холла

- 2.1. Элементарная теория эффекта Холла.
- 2.2. Определение удельной проводимости полупроводника.
- 2.3. Определение подвижности и концентрацией носителей тока в полупроводнике.

Раздел 3. Времени жизни неравновесных носителей в полупроводниках.

- 3.1. Фоторезистивный эффект.
- 3.2. Понятие времени жизни, подвижности и диффузионной длины носителей в полупроводнике

Раздел 4. К.п.д. солнечного фотопреобразователя.

- 4.1. Фотогальванический эффект в р-п переходе и его применения.
- 4.2. Оценка параметров светового потока с помощью законов Вина и Стефана-Больцмана.

Раздел 5. Температурная зависимость проводимости полупроводников.

- 3.1. Распределением электронов по уровням. Функция Ферми
- 3.2. Определение ширины запрещенной зоны полупроводника по температурной зависимости проводимости.

Раздел 6. Эффект Пельтье.

- 3.1. Причины возникновения явления Пельтье.
- 3.2. Количество выделяемой теплоты. Коэффициент Пельтье

4.3.1. Перечень лабораторных работ

№ п/п	№ раздела и темы дисциплины (модуля)	Наименование лабораторных работ	Трудоемкость (часы)	Оценочные средства	Формируемые компетенции
1	2	3	4	5	6
1	Раздел 1	Исследование спектральной зависимости фотопроводимости и определение ширины запрещенной зоны полупроводников	6	Отчёт, контрольные вопросы	ОПК-2
2	Раздел 2	Определение параметров полупроводников из измерений эффекта Холла	6	Отчёт, контрольные вопросы	ОПК-2
3	Раздел 3	Определение времени жизни неравновесных носителей в полупроводниках по измерению	6	Отчёт, контрольные вопросы	ОПК-2

		фотопроводимости			
4	Раздел 4	Определение КПД солнечного фотопреобразователя	6	Отчёт, контрольные вопросы	ОПК-2
5	Раздел 5	Определение ширины запрещенной зоны полупроводника по температурной зависимости проводимости	6	Отчёт, контрольные вопросы	ОПК-2
6	Раздел 6	Изучение характеристик элемента Пельтье	8	Отчёт, контрольные вопросы	ОПК-2

4.3.2. Перечень тем (вопросов), выносимых на самостоятельное изучение студентами в рамках самостоятельной работы (СРС)

№ нед.	Тема	Вид самостоятельной работы	Задание	Рекомендуемая литература	Количество часов
1.	Разделы 1-6	Аудиторная	Изучить теоретическую часть лабораторной работы	Методическое описание	2
2.	Разделы 1-6	Аудиторная	Изучить описание стенда, ход выполнения работы. Подключить приборы собрать схему (при необходимости). Подготовить к началу эксперимента	Методическое описание	4
3.	Разделы 1-6	Аудиторная	Провести эксперимент. Обработать экспериментальные данные.	Методическое описание	16
4.	Разделы 1-6	Внеаудиторная	Оформление отчета; подготовка к защите	Вся рекомендуемая литература	3

К современному специалисту общество предъявляет достаточно широкий перечень требований, среди которых немаловажное значение имеет наличие у выпускников определенных способностей и умения самостоятельно добывать знания из различных источников, систематизировать полученную информацию, давать оценку конкретной финансовой ситуации. Формирование такого умения происходит в течение всего периода обучения через участие студентов в практических занятиях, выполнение контрольных заданий, написание курсовых и выпускных квалификационных работ. При этом

самостоятельная работа студентов играет решающую роль в ходе всего учебного процесса.

Самостоятельная работа реализуется:

- 1) Непосредственно в процессе аудиторных занятий, при выполнении лабораторных работ.
- 2) В контакте с преподавателем вне рамок расписания - на консультациях по учебным вопросам, в ходе творческих контактов, при ликвидации задолженностей, при выполнении индивидуальных заданий и т.д.
- 3) В библиотеке, дома, в общежитии, на кафедре при оформлении отчетов лабораторных работ и подготовке к их защите.

Самостоятельная работа студентов может быть как в аудитории, так и вне ее.

Внеаудиторная самостоятельная работа студентов также включает в себя подготовку к устным опросам по каждому из изучаемых разделов. Также самостоятельная работа подразумевает систематический подход к обучению, в соответствии с предложенным в разделе 6.1 графиком, что, в свою очередь, способствует получению зачета по данной дисциплине.

4.5. Примерная тематика курсовых работ (проектов) (при наличии)

Курсовые работы не планируются.

V. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

- 1) Лебедев, Александр Иванович. Физика полупроводниковых приборов / А. И. Лебедев. - Москва : Физматлит, 2008. - 487 с. : ил. - URL: http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=2244. - ЭБС "Лань". - неогранич. доступ. - Библиогр.: с.463-477. - Предм. указ.: с.478-487. - ISBN 978-5-9221-0995-6

дополнительная литература

- 1) Гуртов, Валерий Алексеевич. Твердотельная электроника : учеб. пособие для студ. вузов / В. А. Гуртов. - 2-е изд., доп. - М. : Техносфера, 2005. - 407 с. : ил. ; 25 см. - (Мир электроники). - Библиогр.: с.401-404 . - Предм. указ.: с.405-406 . - ISBN 5-94836-060-1 – (5 экз)

б) периодические издания

в) список авторских методических разработок

- 1) В системе образовательного портала ИГУ (<http://educa.isu.ru/>) размещены методические материалы и задания по данному курсу

г) базы данных, информационно-справочные и поисковые системы

- • Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU, более 10 полнотекстовых версий научных журналов по тематике курса
- • Информационная система доступа к российским физическим журналам и обзорам ВИНТИ (<http://www.viniti.ru>)
- • НБ ИГУ <http://library.isu.ru/ru>
- • Архив научных журналов JSTOR (<http://www.jstor.org/>)
- • ЭЧЗ «Библиотех» <https://isu.bibliotech.ru/>
- • ЭБС «Лань» <http://e.lanbook.com/>
- • ЭБС «Рукопт» <http://rucont.ru>
- • ЭБС «Айбукс» <http://ibooks.ru>

VI. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

6.1. Учебно-лабораторное оборудование:

Лабораторный практикум включает в себя следующее оборудование: стенды для исследования фотопроводимости полупроводников, эффекта Холла, измерения времени жизни неравновесных носителей, ширины запрещённой зоны, эффекта Пельтье Кроме того, имеются соответствующие контрольно-измерительные приборы (от мультиметра до обычной линейки).

Для обработки полученных в ходе эксперимента данных на практических занятиях в лаборатории кафедры имеются компьютеры с соответствующим программным обеспечением.

6.2. Программное обеспечение:

- стандартные сервисы MS Windows для работы в глобальной сети Интернет;
- Microsoft Word и Microsoft Excel в составе пакета MS Office. Лицензия на новые версии периодически обновляется Центром новых информационных технологий ИГУ по всему университету

Специализированное программное обеспечение:

- авторская программа для измерения импульса тока со звуковой карты лабораторного стенда по измерению времени жизни и подвижности неосновных носителей

6.3. Технические и электронные средства:

Для обработки полученных в ходе эксперимента данных на практических занятиях в лаборатории кафедры имеются компьютеры с соответствующим программным обеспечением.

Материалы: научные статьи и монографии из рецензируемых журналов, набор щелочно-галоидных кристаллов, резиновый перчатки (одноразовые), дистиллированная вода, стекла в качестве подложек, образцы меди высокой чистоты, бязь для предварительной очистки образцов, оптические и покровные стекла.

VII. Образовательные технологии

Курс основан на оригинальных разработках авторов. Проводятся следующие виды занятий: лабораторные работы.

Формы организация внеаудиторной самостоятельной работы по данной дисциплине:

- работа с учебным пособием авторов программы
- изучение научной и специальной учебной литературы;
- подготовка и написание отчетов (в электронном виде) по лабораторным работам;

Каждая лабораторная работа в пособии предваряется подробным теоретическим введением, которое может играть роль краткого конспекта лекций по данной теме. После теоретического введения даны описания физических принципов измерения исследуемых параметров, принципиальных схем и конкретных методик измерений, а также рекомендации по обработке результатов измерений.

В ходе лабораторных работ студент готовит отчет, включающий в себе следующие элементы: описание эксперимента, схема, таблицы экспериментальных данных, осциллограммы (в виде скриншотов), ответы на контрольные вопросы.

Студенты выполняют работы небольшими группами, обсуждая последовательность

действий, и вместе анализируют полученные результаты. Последовательность выполнения работы задается следующим образом:

- 1) Проводится инструктаж по технике безопасности (ТБ) в лаборатории. После ознакомления с ТБ и ответа на несколько соответствующих вопросов преподавателя (или инженера), студенты ставят подпись в журнале по технике безопасности.
- 2) Студенты знакомятся с теоретическим материалом.
- 3) Знакомство с перечнем приборов и принадлежностей. Знакомство с порядком включения и выключения стенда. Собираение электрической схемы (если нужно), подключение приборов. Подготовка материалов для эксперимента (вырезания подложки, скалывание кристалла, предварительная очистка и др.)
- 4) Выполнение эксперимента согласно ходу работы, указанному в методичке.
- 5) Обработка экспериментальных данных. Внесение соответствующих таблиц, графиков, диаграмм в заготовку будущего электронного отчета.
- 6) Подготовка и оформление отчета по лабораторной работе. Ответы на контрольные вопросы в методичке. Четкое формулирование выводов по работе.
- 7) Подготовка к защите отчета (с учетом изучения теоретического материала).
- 8) Защита отчета.

VIII. Оценочные материалы для текущего контроля и промежуточной аттестации

Фонд оценочных средств представлен в приложении.

8.1.1. Оценочные средства для входного контроля

Входной контроль знаний не проводится.

8.1.2. Оценочные средства текущего контроля

*Текущий контроль осуществляется в устной и письменной форме при выполнении студентами учебных заданий.

Примеры контрольных вопросов и упражнений

1. Виды поглощения света в полупроводнике.
2. Какие переходы называют прямыми (непрямыми)?
3. Дать определение оптической и термической ширины запрещенной зоны.
4. Как зависит коэффициент поглощения от частоты в случае прямых разрешенных переходов?
5. Как определить ширину запрещенной зоны полупроводника по измерению спектра фотопроводимости?
6. В чем заключаются явления термоэлектричества?
7. Что такое коэффициент теплопроводности, от чего он зависит и в каких единицах измеряется?
8. Почему происходит нагревание (охлаждение) спаев термопары при пропускании

- через них тока?
9. Что такое коэффициент Пельтье и в каких единицах он измеряется?
 10. Где используется явление Пельтье?
 11. Что такое энергия Ферми?
 12. Как величина коэффициента Пельтье зависит от температуры?
 13. Почему в полупроводниках эффект Пельтье имеет значительно большую величину, чем в проводниках? Наблюдается ли эффект Пельтье в диэлектриках?
 15. В чём суть законов Вина и Стефана-Больцмана?
 16. Описать физические процессы определяющие эффект Холла.
 17. Как определить концентрацию свободных носителей по измерению эффекта Холла?
 18. Как определить подвижность свободных носителей по измерению эффекта Холла?
 19. Описать процесс определения типа полупроводника (n-тип, p-тип) по измерению эффекта Холла.
 20. Описать порядок проведения измерений и расчетов для определения постоянной Холла.
 21. Как создается p-n переход?
 22. Какова валентность донорных и акцепторных примесей?
 23. Объяснить возникновение в контактной разности потенциалов в p-n переходе?
 24. От каких величин зависит контактная разность потенциалов?

8.1.3. Оценочные средства для промежуточной аттестации

Промежуточный контроль – зачет

Материалы для проведения текущего и промежуточного контроля знаний студентов:

№ п\п	Вид контроля	Контролируемые темы (разделы)	Компетенции, компоненты которых контролируются
1.	Собеседование при защите отчета	Все темы	ОПК-2

Примерный список вопросов и упражнений к зачёту:

Указан выше в п.8.1.2

Разработчики:



(подпись)

профессор, зав.кафедрой, д.ф.-м.н.
(занимаемая должность)

В.Л., Паперный
(инициалы, фамилия)

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника.

Программа рассмотрена на заседании кафедры общей и космической физики ИГУ
« 22 » марта 2024 г.

Протокол № 8, зав. кафедрой  В.Л. Паперный

Настоящая программа не может быть воспроизведена ни в какой форме без предварительного письменного разрешения кафедры-разработчика программы.