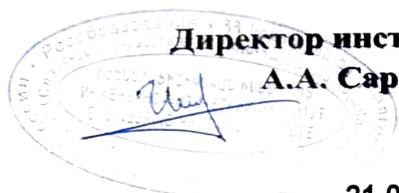


**ГОУ ВПО РОССИЙСКО-АРМЯНСКИЙ (СЛАВЯНСКИЙ)
УНИВЕРСИТЕТ**

Составлен в соответствии с государственными требованиями к минимуму содержания и уровню подготовки выпускников по направлению 11.04.04 Электроника и нанoeлектроника и Положением «Об УМКД РАУ».

УТВЕРЖДАЮ:

Директор института
А.А. Саркисян



21.07.2023

Инженерно-физический институт

Кафедра Технология материалов и структур электронной техники

*Автор:*Доцент, к.т.н., *Геворкян Владимир Арамович*

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС

Дисциплина: Б1.В.ДВ.04.01 Фотoeлектрические полупроводниковые преобразователи солнечной энергии

Направление: 11.04.04 «Электроника и нанoeлектроника»

Магистерская программа: Квантовая и оптическая электроника

ЕРЕВАН 2023

Структура и содержание УМКД

1. Аннотация

1.1. Выписка из ФГОС ВПО РФ по минимальным требованиям к дисциплине

Знать: тенденции и перспективы развития электроники и наноэлектроники, а также смежных областей науки и техники,

Уметь: предлагать новые области научных исследований и разработок, новые методологические подходы к решению задач в профессиональной сфере деятельности.

1.2. Взаимосвязь дисциплины с другими дисциплинами учебного плана специальности (направления)

Проектирование и технология электронной компонентной базы, Полупроводниковые оптоэлектронные приборы, Излучательная рекомбинация в полупроводниках, Оптические и фотоэлектрические явления в полупроводниковых гетероструктурах.

1.3. Требования к исходным уровням знаний, умений и навыков студентов для прохождения дисциплины (что должен знать, уметь и владеть студент для прохождения данной дисциплины)

Студент должен:

знать основы по предметам: основы твердотельной электроники, физики гетеропереходов, основы технологии электронной компонентной базы в объеме стандартных курсов по ФГОС ВПО бакалавриата данного направления,

уметь моделировать исследуемое физическое явление, составлять алгоритм решения математической модели, писать компьютерную программу на каком либо языке программирования высокого уровня, визуализировать результаты теоретических расчетов,

владеть навыками экспериментальных и прикладных исследований.

1.4. Предварительное условие для прохождения (дисциплина(ы), изучение которых является необходимой базой для освоения данной дисциплины)

Основы твердотельной электроники, физика гетеропереходов, основы технологии электронной компонентной базы.

2. Содержание

2.1. Цели и задачи дисциплины

Задачей предмета является подготовка высококвалифицированных кадров в области актуальных проблем современной электроники и наноэлектроники, касающихся фотовольтаических явлений в различных гомо- и гетероструктурах и новых направлений фотоэлектрических преобразователей.

Цель преподавания дисциплины: Изучение основных физических и технологических процессов, имеющих отношение к современным проблемам электроники, в частности, к фотовольтаическим явлениям, происходящими в полупроводниковых приборных структурах на основе различных гомо- и гетеропереходов и современным технологическим методом их создания. Формирование у студентов прикладных навыков применения новых полупроводниковых материалов и структур при решении актуальных задач электронной техники.

Учебная задача: ознакомить студентов с основами теории фотовольтаических явлений в полупроводниковых гомо- и гетеро- р-п переходах, научить студентов применять эти знания для практических расчетов характеристик фоточувствительных структур, ознакомить студентов с современными технологическими методами создания и исследования различных фотовольтаических структур.

2.2. Требования к уровню освоения содержания дисциплины (какие компетенции (знания, умения и навыки) должны быть сформированы у студента ПОСЛЕ прохождения данной дисциплины)

После изучения дисциплины студент должен:

знать принципы действия, конструктивно-технологические особенности, основные характеристики и параметры фотовольтаических приборов;

уметь применять полученные знания для проектирования и расчетов физических характеристик полупроводниковых фоточувствительных современных приборов, использовать стандартную терминологию, определения, обозначения и единицы измерения физических величин;

иметь представление об основных современных направлениях развития полупроводниковых фотопреобразователей и методах их создания;

владеть модельным, математическим и компьютерным инструментарием расчета простейших характеристик и параметров фоточувствительных приборов.

2.3. Трудоемкость дисциплины и виды учебной работы (в академических часах и кредитах)

2.3.1. Объем дисциплины и виды учебной работы

Виды учебной работы	Всего, в акад. часах
1. Общая трудоемкость изучения дисциплины по семестрам, в т. ч.:	144
1.1. Аудиторные занятия, в т. ч.:	34
1.1.1. Лекции	18
1.1.2. Практические занятия	16
1.2. Самостоятельная работа, в т. ч.:	110
1.2.1. Подготовка к лабораторным работам	74
1.2.2. Подготовка к экзамену	36
Итоговый контроль	экзамен

2.3.2. Распределение объема дисциплины по темам и видам учебной работы

Разделы и темы дисциплины	Всего (ак. часов)	Лекции (ак. часов)	Лабор. (ак. часов)
1	2=3+4+5	3	5
Модуль 1.			
Введение	1	1	-
Раздел 1. Взаимодействие излучения с полупроводником	2	2	-
Тема 1.1. Собственное поглощение света в полупроводниках.	1	1	-
Тема 1.2. Прямые разрешенные и непрямые межзонные переходы.	1	1	-
Раздел 2. Фотовольтаические эффекты в полупроводниках	3	3	-
Тема 2.1. Фотовольтаический эффект в р-п переходах.	1	1	-
Тема 2.2. Фотоприемники и преобразователи солнечной энергии.	2	2	-
Раздел 3. Максимальная эффективность солнечных преобразователей.	5	2	3
Тема 3.1. Характеристики и особенности солнечного излучения.	2	1	1
Тема 3.2. Определение идеальной эффективности (к.п.д.) солнечного элемента.	3	1	2
Раздел 4. Теория фотовольтаических элементов на р-п гомопереходах	3	1	2
Тема 4.1. Солнечные элементы на гомо р-п переходах.	1	1	-
Тема 4.2. Расчет спектрального отклика солнечного элемента.	2	0	2
Раздел 5. Характеристики солнечных элементов	12	2	10
Тема 5.1. Реальная вольт-амперная характеристика солнечного	3	1	2
Тема 5.2. Факторы влияющие на эффективность солнечного	2	1	1
Тема 5.3. Определение основных параметров солнечных элементов на основе измерений темновых и световых вольтамперных характеристик	2	-	2
Тема 5.4. Определение влияния температуры на основные параметры солнечного элемента	2	-	2
Тема 5.5. Определение зависимости параметров солнечного элемента от угла освещения	3	-	3
Раздел 6. Типы однапереходных солнечных элементов	4	4	-
Тема 6.1. Некоторые конструкции солнечных элементов.	2	2	-
Тема 6.2. Тонкопленочные солнечные элементы.	2	2	-
Раздел 7. Солнечные элементы на основе гетеропереходов	5	4	1

Тема 7.1. Солнечные элементы на основе гетеропереходов.	1	1	-
Тема 7.2. Каскадные солнечные элементы (КСЭ).	1	1	-
Тема 7.3. Концентраторные солнечные элементы и его особенности. Типы концентраторов солнечной энергии.	3	2	1
Раздел 8. Термофотовольтаические преобразователи солнечного и теплового излучений.	3	3	-
Тема 8.1. Физический принцип действия термофотовольтаических преобразователей, его особенности и конструкции.	3	3	-
ИТОГО	36	18	18

2.3.3. Содержание разделов и тем дисциплины

Модуль 1. Фотовольтаический эффект в полупроводниках

Введение

Предмет дисциплины и ее задачи. Основные этапы развития физики полупроводниковых дискретных приборов на основе диодных структур. Роль материалов и структур при создании современных полупроводниковых фоточувствительных приборов. Современные технологические методы создания классических и наноразмерных фотовольтаических приборов. ([2] гл.1; [3] гл.1)

Раздел 1. Взаимодействие излучения с полупроводником

Тема 1.1. Собственное поглощение света в полупроводниках.

Спектр поглощение. Формула Бугера-Ламберта. Связь между энергией фотона и длиной волны излучения. Собственное поглощение света в полупроводниках. ([3] гл. 1,2)

Тема 1.2. Прямые разрешенные и непрямые межзонные переходы.

Прямые разрешенные и непрямые межзонные переходы. Зависимость коэффициента поглощения от энергии фотонов и его связь с длиной свободного пробега фотона. ([4] гл. 11)

Раздел 2. Фотовольтаические эффекты в полупроводниках

Тема 2.1. Фотовольтаический эффект в p-n переходах.

Фотовольтаический эффект в p-n переходах. Две схемы включения фотоэлемента с p-n переходом. ([2] гл. 2, [3] гл. 2)

Тема 2.2. Фотоприемники и преобразователи солнечной энергии.

Фотоприемники и преобразователи солнечной энергии.

Раздел 3. Максимальная эффективность солнечных преобразователей.

Тема 3.1. Характеристики и особенности солнечного излучения.

Солнечное излучение. Характеристики и особенности солнечного излучения. ([1] гл. 14)

Тема 3.2. Определение идеальной эффективности (к.п.д.) солнечного элемента.

Определение идеальной эффективности (к.п.д.) солнечного элемента. Определение тока короткого замыкания из солнечного элемента из спектра солнечного излучения. Зависимость (к.п.д.) солнечного элемента от ширины запрещенной зоны полупроводника. ([1] гл. 14)

Раздел 4. Теория фотовольтаических элементов на p-n гомопереходах

Тема 4.1. Солнечные элементы на гомо p-n переходах.

Солнечные элементы на гомо p-n переходах. ([1] гл. 14)

Тема 4.2. Расчет спектрального отклика солнечного элемента.

Расчет спектрального отклика солнечного элемента. Зависимость спектрального отклика от параметров p-n перехода. ([1] гл. 14)

Модуль 2. Характеристики и типы однапереходных Солнечных элементов

Раздел 5. Характеристики солнечных элементов

Тема 5.1. Реальная вольт-амперная характеристика солнечного элемента.

Реальная вольт-амперная характеристика солнечного элемента. Определение параметров реального p-n перехода из его вольт-амперной характеристики. ([1] гл. 14, [2] гл. 4)

Тема 5.2. Факторы влияющие на эффективность солнечного элемента.

Влияние контактного сопротивления на (к.п.д.) солнечного элемента. Фактор заполнения. Определение (к.п.д.) солнечного элемента через фактор заполнения. Влияние генерационно-рекомбинационной составляющей тока p-n перехода на (к.п.д.) солнечного элемента. Температурные характеристики солнечных элементов. ([1] гл. 14, [2] гл. 4)

Тема 5.3. Определение основных параметров солнечных элементов на основе измерений темновых и световых вольтамперных характеристик

Тема 5.4. Определение влияния температуры на основные параметры солнечного элемента

Тема 5.5. Определение зависимости параметров солнечного элемента от угла освещения

Раздел 6. Типы однапереходных солнечных элементов

Тема 6.1. Некоторые конструкции солнечных элементов.

Солнечный элемент с барьером вблизи тыловой поверхности. Многопереходные солнечные элементы на V-каналах. Солнечный элемент со спаренными переходами (с точечными тыловыми контактами). Зависимость тока короткого замыкания в таких элементах от толщины базовой области. ([1] гл. 14)

Тема 6.2. Тонкопленочные солнечные элементы.

Тонкопленочные солнечные элементы CdS/Cu₂S. Зонная диаграмма. Солнечные элементы на основе CuInSe₂/CdS, Зонная диаграмма. Солнечные элементы на основе альфа-кремния. ([1] гл. 14, [2] гл. 6)

Модуль 3. Солнечные элементы на основе гетеропереходов

Раздел 7. Солнечные элементы на основе гетеропереходов

Тема 7.1. Солнечные элементы на основе гетеропереходов.

Солнечные элементы на основе гетеропереходов. Преимущества солнечных элементов с гетеропереходами. Расчет фототока в p-n гетеропереходах. Солнечные элементы на основе p-GaAlAs/p-GaAs/n-GaAs. Солнечные элементы на основе прозрачный токопроводящий слой – полупроводник. ([1] гл. 14)

Тема 7.2. Каскадные солнечные элементы (КСЭ).

Каскадные солнечные элементы (КСЭ). Зонная диаграмма КСЭ. Преимущества КСЭ. Технологические методы их создания. ([1] гл. 14, [5])

Тема 7.3. Концентраторные солнечные элементы.

Концентраторные солнечные элементы и его особенности. Типы концентраторов солнечной энергии и их конструктивные и эксплуатационные особенности. ([1] гл. 14, [6])

Раздел 8. Термофотовольтаические преобразователи солнечного и теплового излучений.

Тема 8.1. Физический принцип действия термофотовольтаических преобразователей, его особенности и конструкции.

Термофотозлектрический метод преобразования тепловой энергии в электрическую. Физический принцип действия термофотовольтаических преобразователей, его особенности и конструкции. ([2] гл. 6, [7])

2.3.4. Краткое содержание практических работ

- Определение идеальной эффективности (к.п.д.) солнечного элемента.
- Расчет спектрального отклика солнечного элемента.
- Реальная вольт-амперная характеристика солнечного и факторы влияющие на эффективность солнечных элементов.
- Определение основных параметров солнечных элементов на основе измерений темновых и световых вольтамперных характеристик,
- Определение влияния температуры на основные параметры солнечного элемента,
- Определение зависимости параметров солнечного элемента от угла освещения.

2.4. Материально-техническое обеспечение дисциплины

- Методическое руководство к практическим работам.

3. Теоретический блок

3.1. Материалы по теоретической части курса. Учебники

1. Зи С. Физика полупроводниковых приборов. Т 1,2. – М.: Мир, 1984.
2. А.М. Васильев, А.П. Ландсман. Полупроводниковые фотопреобразователи. – М: «Советское радио» 1971.
3. Под ред. Проф. В.И. Стафеева, Полупроводниковые фотоприемники. – М: «Радио и связь» 1984.
4. Шалимова К.В. Физика полупроводников. – М.: Высшая школа, 1976.
5. Ж.И. Алфёров, В.М. Андреев, В.Д. Румянцев. Тенденции и перспективы развития солнечной фотоэнергетики. ФТП, том 38, вып. 8, с. 937-947, 2004.
6. Masafumi Yamaguchi, Tatsuya Takamoto, Kenji Araki, Mitsuru Imaizumi. Japan programs on novel concepts in PV. ФТП, том 38, вып. 8, с. 994-999, 2004.
7. В.П. Хвостиков, О.А Хвостикова, П.Ю. Газарян, М.З. Шварц, В.Д. Румянцев, В.М. Андреев. Термофотоэлектрические преобразователи теплового и концентрированного солнечного излучения. ФТП, том 38, вып. 8, с. 988-993, 2004.
8. Геворкян В.А. Лабораторные работы по дисциплине: «Актуальные проблемы современной электроники и нанoeлектроники», Методическое руководство.

4. Практический блок

4.1. План практических расчетов

- Определение идеальной эффективности (к.п.д.) солнечного элемента.
- Расчет спектрального отклика солнечного элемента.
- Реальная вольт-амперная характеристика солнечного и факторы влияющие на эффективность солнечных элементов.
- Определение основных параметров солнечных элементов на основе измерений темновых и световых вольтамперных характеристик,
- Определение влияния температуры на основные параметры солнечного элемента,
- Определение зависимости параметров солнечного элемента от угла освещения.

5. Материалы по оценке и контролю знаний

5.1. Перечень экзаменационных вопросов

1. Собственное поглощение света в полупроводниках. Прямые разрешенные переходы. Коэффициент поглощения. Средняя длина свободного пробега фотона.
2. Фотовольтаический эффект в р-п переходах. Две схемы включения фотоэлемента с р-п переходом.
3. Характеристики и особенности солнечного излучения.
4. Определение идеальной эффективности (к.п.д.) солнечного элемента. Определение тока короткого замыкания из солнечного элемента из спектра солнечного излучения. Зависимость (к.п.д.) солнечного элемента от ширины запрещенной зоны полупроводника.

5. Солнечные элементы на гомо р-п переходах. Расчет спектрального отклика солнечного элемента. Зависимость спектрального отклика от параметров р-п перехода.
6. Реальная вольт-амперная характеристика солнечного элемента. Влияние контактного сопротивления на (к.п.д.) солнечного элемента. Фактор заполнения. Определение (к.п.д.) солнечного элемента через фактор заполнения. Влияние генерационно-рекомбинационной составляющей тока р-п перехода на (к.п.д.) солнечного элемента.
7. Определение параметров реального р-п перехода из его вольт-амперной характеристики.
8. Некоторые конструкции солнечных элементов.
 - солнечный элемент с барьером вблизи тыловой поверхности.
 - многопереходные солнечные элементы на V-каналах.
 - солнечный элемент со спаренными переходами (с точечными тыловыми контактами). Зависимость тока короткого замыкания в таких элементах от толщины базовой области.
9. Солнечные элементы на основе гетеропереходов. Преимущества солнечных элементов с гетеропереходами. Расчет фототока в р-п гетеропереходах. Солнечные элементы на основе р-GaAlAs/p-GaAs/n-GaAs. Солнечные элементы на основе прозрачный токопроводящий слой – полупроводник.
10. Каскадные солнечные элементы (КСЭ). Зонная диаграмма КСЭ.
11. Тонкопленочные солнечные элементы.
 - CdS/Cu₂S , Зонная диаграмма
 - Солнечные элементы на основе CuInSe₂/CdS, Зонная диаграмма
 - Солнечные элементы на основе альфа-кремния
12. Концентраторные солнечные элементы и его особенности. Типы концентраторов солнечной энергии.
13. Термофотовольтаические (ТФВ) преобразователи солнечной и тепловой энергии. Отличительные особенности ТФВ преобразователей по сравнению с солнечными преобразователями.
14. Солнечные элементы на основе полимер-фуллерен объемных гетеропереходов. Принцип действия и особенности полимерных солнечных элементов.
15. Солнечные элементы на основе красителей. Конструкция, энергетическая диаграмма, принцип действия и особенности солнечных элементов на основе красителей.

5.2. Образцы экзаменационных билетов

**Кафедра «Технология материалов и структур электронной техники»
«Фотоэлектрические п/п преобразователи солнечной энергии».**

Билет 1

1. Собственное поглощение света в полупроводниках. Прямые разрешенные переходы. Коэффициент поглощения. Средняя длина свободного пробега фотона.
2. Определение параметров реального р-п перехода из его вольт-амперной характеристики.

Зав. кафедрой _____

Геворкян В.А.

**Кафедра «Технология материалов и структур электронной техники»
«Фотоэлектрические п/п преобразователи солнечной энергии».**

Билет 2

1. Фотовольтаический эффект в р-п переходах. Две схемы включения фотоэлемента с р-п переходом.
2. Некоторые конструкции солнечных элементов.
 - солнечный элемент с барьером вблизи тыловой поверхности.
 - многопереходные солнечные элементы на V-каналах.
 - солнечный элемент со спаренными переходами (с точечными тыловыми контактами).
Зависимость тока короткого замыкания в таких элементах от толщины базовой области.

Зав. кафедрой _____ Геворкян В.А.

**Кафедра «Технология материалов и структур электронной техники»
«Фотоэлектрические п/п преобразователи солнечной энергии».**

Билет 3

1. Солнечные элементы на основе гетеропереходов. Преимущества солнечных элементов с гетеропереходами. Расчет фототока в р-п гетеропереходах. Солнечные элементы на основе р-GaAlAs/p-GaAs/n-GaAs. Солнечные элементы на основе прозрачный токопроводящий слой – полупроводник.
2. Характеристики и особенности солнечного излучения.

Зав. кафедрой _____ Геворкян В.А.

6. Методический блок

6.1. Методика преподавания, обоснование выбора данной методики

Преподавание данного курса основывается на :

- Проведение лекционных занятий согласно тематическому плану.
- Контроль усвоенного материала
- Организацию самостоятельной работы студентов.
- Организацию практической работы студентов в лаборатории.

