

КАЗАХСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ им. аль-Фараби
Факультет физико-технический
Образовательная программа по специальности 5В071000 - Материаловедение и
технология новых материалов

Утверждено

на заседании Ученого совета

Физико-технического факультета

Протокол № 6 от 27 июня 2014 г.

Декан факультета

А. Е. Давлетов

СИЛЛАБУС

Оптоэлектронные приборы

4 курс, р/о, семестр осенний, 3 кредита (2+1+0)

Лектор (лекции, семинары, СРС): старший преподаватель КФТТиНФ

Мигунова Анастасия Анатольевна

Телефон: 3773412 (КФТТиНФ), моб. 87054433515

e-mail: anastasiya.migunova@gmail.com

каб. 528, 349

Цель и задачи дисциплины

Цель: Изучить физические процессы в оптоэлектронных приборах, их принципы функционирования и характеристики.

Задачи: Приобретение базовых знаний по основным типам оптоэлектронных приборов, использующих в работе различные поверхностные и контактные явления в полупроводниках, излучающие и поглощающие световые волны видимого, УФ- и ИК-диапазонов электромагнитного спектра.

Компетенции (результаты обучения): Ознакомление с работой приемников и источников излучения, умение рассчитывать параметры солнечных элементов, фотодетекторов, ПЗС-матриц, ФЭУ, светоизлучающих диодов, лазеров, оптопар, световодов, некоторых комбинаций приборов, использующих генерацию, преобразование и передачу оптических сигналов.

Пререквизиты: дисциплины по специальности 5В071000: «Математический анализ научных исследований» (1 курс), «Электричество и магнетизм» (2 курс), «Оптика» (2 курс), «Лабораторный практикум по оптическим устройствам» (3 курс), «Физика конденсированного состояния» (3 курс), «Основы нанотехнологий» (3 курс), «Нанотехнологии в материаловедении» (3 курс), «Физические свойства материалов» (3 курс), «Физическое материаловедение» (3 курс), «Технологическое оборудование производств материалов» (3 курс).

Постреквизиты: Знания и навыки проведения расчетов, полученные в предлагаемой дисциплине, необходимы при подготовке дипломных работ.

СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

| Не-де-ля | Название темы | Кол-во часов | Максимальный балл |
|-------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|-------------------|
| Модуль 1 Приемники оптического излучения | | | |
| 1 | Лекции 1-2. Принцип работы солнечных элементов. Вольт-амперная характеристика. Спектральная характеристика. Атмосферная масса | 2 | 0 |
| | Семинар 1. Расчет последовательного, шунтирующего сопротивления, обратного тока и КПД СЭ. Расчет коэффициента собирания СЭ | 1 | 11 |
| | СРСП 1. Встроенные тянущие поля в солнечных элементах. Солнечные элементы на аморфном кремнии. Солнечные элементы на монокристаллическом кремнии. Солнечные элементы на мульткристаллическом кремнии | 1 | 3 |
| 2 | Лекции 3-4. Имитаторы солнечного излучения. Концентраторы солнечного излучения. Пути повышения КПД солнечных элементов | 2 | 0 |
| | Семинар 2. Расчет солнечных элементов в концентраторных установках | 1 | 10 |
| | СРСП 2. Пассивация солнечных элементов. Фиолетовые солнечные элементы | 1 | 3 |
| 3 | Лекции 5-6. Гетеропереходные солнечные элементы и их характеристики. Каскадные СЭ | 2 | 0 |
| | Семинар 3. Расчет и построение зонных диаграмм гетеропереходных СЭ | 1 | 12 |
| | СРСП 3. Варизонные структуры на основе $Al_xGa_{1-x}As$. Солнечные элементы с ПТО-антиотражающими покрытиями. Тонкопленочные солнечные элементы на основе сульфидов | 1 | 3 |
| 4 | Лекции 7-8. Выбор материала для солнечных элементов. Характеристики материала, влияющие на КПД. Потери эффективности в солнечных элементах и способы борьбы с ними. Эталонные солнечные элементы | 2 | 0 |
| | Семинар 4. Расчет внешнего и внутреннего квантового выхода СЭ | 1 | 11 |
| | СРСП 4. Рекордные солнечные элементы на монокристаллическом кремнии. Рекордные солнечные элементы на арсениде галлия | 1 | 3 |
| 5 | Лекции 9-10. Анализ оптических характеристик полупроводника по соотношениям Крамерса-Кронига | 2 | 0 |
| | Практическое занятие (семинар) 5. Расчет оптических функций по спектрам отражения: фазы отраженной волны θ , показателя преломления n и поглощения k , комплексной диэлектрической проницаемости ϵ , коэффициента поглощения α | 1 | 13 |
| | СРСП 5. Солнечные элементы с рельефными поверхностями. Прямая и инвертированная текстуры. Солнечные элементы с двумя фотоприемными поверхностями | 1 | 3 |
| 6 | Лекции 11-12. Фотоприемники и их параметры. Фоторезисторы. Фотодиоды. Лавинные фотодиоды. | 2 | 0 |
| | Семинар 6. Расчет лавинных фотодиодов | 1 | 11 |
| | СРСП 6. Фотодиоды с $p-i-n$ структурой. Фотодиоды Шоттки. Фототранзисторы. Фотоприемники с зарядовой связью – ПЗС-матрицы | 1 | 3 |

| | | | |
|---------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|------------|
| 7 | Лекции 13-14. Формирование $p-n$ переходов в СЭ методом диффузии | 2 | 0 |
| | Семинар 7. Расчет прямой и обратной задач проведения двухстадийной диффузии (загонка и разгонка примеси), определение глубины залегания перехода и концентрационных профилей $C(x,t)$ для каждой стадии диффузии | 1 | 11 |
| | СРСП 7. Эпитаксиальный метод получения гетероструктур. Ионная имплантация в создании барьерных структур. Формирование омических контактов к СЭ методом трафаретной печати. Формирование контактов резистивным испарением металлов. Электрохимический и химический способы создания контактов | | 3 |
| | 1 Рубежный контроль | | 100 |
| 8 | Лекции 13-14. Принципы работы ФЭУ и болометров. Принцип работы ПЗС-матриц | 2 | 0 |
| | Семинар 8. Расчет ПЗС-матрицы | 1 | 11 |
| | MidTermExam | 2 | 100 |
| Модуль 2 - Источники оптического излучения | | | |
| 9 | Лекции 15-16. Виды генерации оптического излучения. Люминесценция. Прямозонные и непрямозонные полупроводники | 2 | 0 |
| | Семинар 9. Определение ширины запрещенной зоны полупроводников по спектрам люминесценции | 1 | 11 |
| | СРСП 9. | 1 | 3 |
| 10 | Лекции 17-18. Принцип работы и электрические характеристики светоизлучающих диодов (зонная диаграмма, ВАХ). Оптические характеристики СИД (мощность, внутренний и внешний квантовый выход, КПД, спектр излучения, угловое распределение излучения, индикатрисы рассеяния) | 2 | 0 |
| | Семинар 10. Расчет электрических и оптических параметров СИД | 1 | 12 |
| | СРСП 10. Особенности СИД с высоким внутренним квантовым выходом излучения. СИД на гетеропереходах. | 1 | 3 |
| 11 | Лекции 19-20. Расчет цветовых характеристик СИД с использованием цветового локуса и RGB-координат | 2 | 0 |
| | Семинар 11. Расчет цветовых характеристик СИД | 1 | 12 |
| | СРСП 11. Технология OLED. Жидкокристаллические индикаторы | 1 | 3 |
| 12 | Лекции 21-22. Принцип работы лазеров (спонтанное и вынужденное излучение, система накачки, активная среда, оптический резонатор и его собственные частоты) | 2 | 0 |
| | Семинар 12. Решение задач на определение параметров резонаторов, длительности импульсов, цвета излучения | 1 | 12 |
| | СРСП 12. УФ-лазеры. Схема энергетических уровней аргонового лазера | 1 | 3 |
| 13 | Лекции 23-24. Основные характеристики лазеров (длина волны, длительность импульсов, расходимость пучка, поляризация, мощность излучения, добротность, КПД). Лазерное усиление и генерация (инжекция носителей заряда, порог инверсии, понятие положительной обратной связи, образование «фотонной лавины») | 2 | 0 |
| | Семинар 13. Решение задач на определение мощности, плотности мощности, яркости, энергии импульса лазеров | 1 | 12 |
| | СРСП 13. Принцип записи и считывания информации на CD-дисках. Особенности рубинового, Nd:YAG, Ti:Sa лазеров. Иразеры. Энергетические уровни CO ₂ -лазера. | 1 | 3 |
| 14 | Лекции 25-26. Физические основы модуляции лазерного | 2 | 0 |

| | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|------------|
| излучения. Продольные и поперечные лазерные моды | | |
| Семинар 14. Расчет лазера на родамине-6Ж | 1 | 12 |
| СРСП 14. Конструкция, энергетическая зонная диаграмма и характеристики лазеров на парах металлов, на красителях. | 1 | 3 |
| 2 Рубежный контроль | 1 | 100 |
| Экзамен | 2 | 100 |
| <p>Итоговая оценка по дисциплине = $\frac{PK1 + PK2}{2} \cdot 0,6 + 0,1MT + 0,3ИК$</p> <p>Здесь PK1, PK2 – оценки рубежного контроля (сумма оценок текущего контроля), MT – оценка за Midterm Exam; ИК – оценка итогового контроля (экзамен во время сессии). Итоговая оценка по дисциплине рассчитывается и округляется в системе «Универ» автоматически.</p> <p>На одной неделе допускается выставление не более 50 баллов по одной дисциплине.</p> | | |

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная:

- 1 Шуберт Ф. Е. Светодиоды. – М.: Физматлит. -2008. – 496 с.
- 2 Вигдорович Е. Н. Физические основы, конструкция и технология оптоэлектронных устройств. – М.: МГУПИ. – 2011. – 205 с.
- 3 Айхлер Ю., Айхлер Г. И. Лазеры: исполнение, управление, применение. М.: Техносфера. – 2008. – 440 с.
- 4 Звелто О. Принципы лазеров. – 2008. – 720 с.
- 5 Бугров В. Е., Виноградова К. А. Оптоэлектроника светодиодов. Учебное пособие. – СПб: НИУ ИТМО. – 2013. – 174 с.
- 6 Semiconductor lasers. Fundamentals and applications. – Edited by Alexei Baranov and Eric Tournie. – Woodhead Publishing Ltd. – 2013. – 662 p.
- 7 Игнатов А. Н. Оптоэлектронные приборы и устройства. Учебное пособие. – М.: Эко-Трендз. – 2006. – 272 с.
- 8 Крылов К. И., Прокопенко В. Т., Тарлыков В. А. Основы лазерной техники: Учебное пособие для студентов приборостроительных специальностей ВУЗов. – Л.: Машиностроение. – 1990. – 316 с.
- 9 Суэмацу Я., Катаока С., Кисино К., Кокубун Я., Судзуки Т., Исии О., Ёнэдзава С. Основы оптоэлектроники. Перевод с японского. – М.: Мир. – 1988. – 288 с.
- 10 Васильев А. М., Ландсман А. П. Полупроводниковые фотопреобразователи. - М.- 1971, 248 с.
- 11 Фаренбрух А., Бьюб Р. Солнечные элементы: теория и эксперимент. - 1987. - 280 с.
- 12 Колтун М. М. Оптика и метрология солнечных элементов. - 1985. - 280 с.
- 13 Колтун М. М. Солнечные элементы. - 1987. - 190 с.
- 14 Амброзьяк А. Конструкция и технология полупроводниковых фотоэлектрических приборов. - 1970. - 392 с.
- 15 Гуртов В.А. Твердотельная электроника. – М.: Техносфера. – 2005. – 408 с.
- 16 Шалимова К. В. Физика полупроводников. – М.: Энергоатомиздат. – 1985. – 392 с.
- 17 Пасынков В.В., Чиркин Л.К. Полупроводниковые приборы. – СПб: Лань. – 2002. – 480 с.
- 18 Зи С. Физика полупроводниковых приборов. – М.: Мир. – 1984. – 912 с.
- 19 Шарупич Л. С., Тугов Н. М. Оптоэлектроника. – М.: Энергоатомиздат. – 1984. – 256 с.
- 20 Носов Ю. Р. Оптоэлектроника. – М.: Радио и связь. – 1989. – 360 с.
- 21 Чопра К., Дас С. Тонкопленочные солнечные элементы. – М.: Мир. – 1986. – 435 с.
- 22 Мартынов В. Н., Кольцов Г. И. Полупроводниковая оптоэлектроника. – М.: МИСИС. – 1999. – 400 с.

Дополнительная:

- 23 Раушенбах Г. Справочник по проектированию солнечных батарей. – М.: Энергоатомиздат. – 1983. – 360 с.
- 24 Иванов В. И., Аксенов А. И., Юшин А. М. Полупроводниковые оптоэлектронные приборы. Справочник. – М.: Энергоатомиздат. – 1988. – 448 с.
- 25 Розеншер Э., Винтер Б. Оптоэлектроника. – М.: Техносфера. – 2004. – 590 с.
- 26 Панченко В. Я. Глубокое каналирование и филаментация мощного лазерного излучения в веществе. – 2009. – 266 с.

АКАДЕМИЧЕСКАЯ ПОЛИТИКА КУРСА

Все виды работ необходимо выполнять и защищать в указанные сроки. Студенты, не сдавшие очередное задание или получившие за его выполнение менее 50% баллов, имеют возможность отработать указанное задание по дополнительному графику. Студенты, пропустившие лабораторные занятия по уважительной причине, отрабатывают их в дополнительное время в присутствии лаборанта, после допуска преподавателя. Студенты, не выполнившие все виды работ, к экзамену не допускаются. Кроме того, при оценке учитывается активность и посещаемость студентов во время занятий.

Будьте толерантны, уважайте чужое мнение. Возражения формулируйте в корректной форме. Плагиат и другие формы нечестной работы недопустимы. Недопустимы подсказывание и списывание во время сдачи СРС, промежуточного контроля и финального экзамена, копирование решенных задач другими лицами, сдача экзамена за другого студента. Студент, уличенный в фальсификации любой информации курса, несанкционированном доступе в Интранет, пользовании шпаргалками, получит итоговую оценку «F».

За консультациями по выполнению самостоятельных работ (СРС), их сдачей и защитой, а также за дополнительной информацией по пройденному материалу и всеми другими возникающими вопросами по читаемому курсу обращайтесь к преподавателю в период его офис-часов.

| Оценка по буквенной системе | Цифровой эквивалент баллов | %-ное содержание | Оценка по традиционной системе |
|-----------------------------|----------------------------|------------------|------------------------------------------------------------------|
| A | 4,0 | 95-100 | Отлично |
| A- | 3,67 | 90-94 | |
| B+ | 3,33 | 85-89 | Хорошо |
| B | 3,0 | 80-84 | |
| B- | 2,67 | 75-79 | Удовлетворительно |
| C+ | 2,33 | 70-74 | |
| C | 2,0 | 65-69 | |
| C- | 1,67 | 60-64 | |
| D+ | 1,33 | 55-59 | |
| D- | 1,0 | 50-54 | Неудовлетворительно |
| F | 0 | 0-49 | |
| I (Incomplete) | - | - | «Дисциплина не завершена» (не учитывается при вычислении GPA) |
| P (Pass) | - | - | «Зачтено» (не учитывается при вычислении GPA) |
| NP (No Pass) | - | - | «Не зачтено» (не учитывается при вычислении GPA) |
| W (Withdrawal) | - | - | «Отказ от дисциплины» (не учитывается при вычислении GPA) |
| AW | | | Снятие с дисциплины по академическим |

| | | | |
|-----------------------|---|-----------------|----------------------------------------------------------------|
| (Academic Withdrawal) | | | причинам (не учитывается при вычислении GPA) |
| AU (Audit) | - | - | «Дисциплина прослушана» (не учитывается при вычислении GPA) |
| Атт. | | 30-60 50-100 | Аттестован |
| Не атт. | | 0-29 0-49 | Не аттестован |
| R (Retake) | - | - | Повторное изучение дисциплины |

*Рассмотрено на заседании кафедры
протокол № 36 от 10.06.14*

Зав. кафедрой, профессор

О. Ю. Приходько

Лектор

А. А. Мигунова