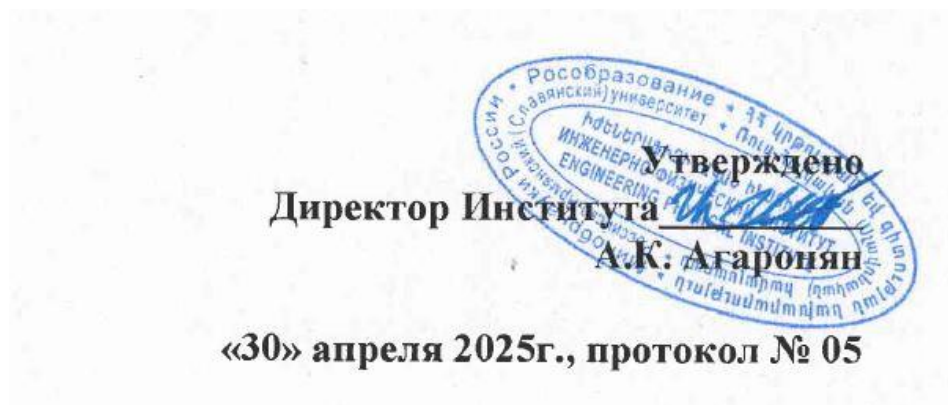


**ГОУ ВПО Российско-Армянский (Славянский)
университет**



УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДИСЦИПЛИНЫ

Наименование дисциплины: Б1.О.20 Фотонные интегральные схемы

Автор (ы) к.ф.-м.н., преподаватель Апатеан Севак Суренович
Ф.И.О, ученое звание (при наличии), ученая степень (при наличии)

Направление подготовки: 11.03.04 Электроника и наноэлектроника

Наименование образовательной программы: Квантовая информатика

Согласовано:

Заведующий Кафедрой общей физики и квантовых наноструктур

Айрапетян Д.Б.



(подпись)

1. АННОТАЦИЯ

1.1. Краткое описание содержания данной дисциплины;

Дисциплина "Фотонные интегральные схемы" охватывает основные принципы проектирования, технологии изготовления, характеристики и применение фотонных интегральных схем (ФИС). Особое внимание уделяется волноводной оптике, элементам фотонных схем, интеграции с электроникой и перспективным направлениям развития ФИС.

1.2. Трудоемкость в академических кредитах и часах, формы итогового контроля (экзамен/зачет);

2 академических кредита / 72 часа. Форма итогового контроля — зачет.

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

"Оптика", "Фотоника", "Нанотехнологии", "Интегральная электроника" и "Световоды и волноводы"

1.4. Результаты освоения программы дисциплины:

Код компетенции (в соответствии рабочим с учебным планом)	Наименование компетенции (в соответствии рабочим с учебным планом)	Код индикатора достижения компетенций (в соответствии рабочим с учебным планом)	Наименование индикатора достижений компетенций (в соответствии рабочим с учебным планом)
УК-1	Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач	УК-1.1 УК-1.2 УК-1.3	Знает системные связи и отношения между явлениями, процессами и объектами. Знает методы поиска информации, ее системного и критического анализа" Умеет применять методы

			поиска информации из разных источников и осуществлять ее критический анализ и синтез; применять системный подход для решения поставленных задач Владеет методами поиска, критического анализа и синтеза информации и методикой системного подхода для решения поставленных задач
ПК-13	Способен разработать и внедрить современные технологические процессы, освоение нового оборудования, технологической оснастки, необходимых режимов производства на выпускаемую организацией продукцию	ПК-13.1 ПК-13.2 ПК-13.3	Знать методы разработки технологических процессов и внедрения их в производство Уметь оптимизировать параметры технологических операций; Осваивать и внедрять технологические процессы и необходимые режимы производства на выпускаемую продукцию Владеть навыками разработки технологической документации; навыками проведения экспериментальных работ по освоению новых технологических процессов, новых видов оборудования и технологической оснастки

2. УЧЕБНАЯ ПРОГРАММА

2.1. Цели и задачи дисциплины

Цель: Формирование у студентов теоретических знаний и практических навыков по проектированию и анализу фотонных интегральных схем, необходимых для работы в области фотоники и оптоэлектроники.

Задачи:

- Изучение принципов волноводной оптики и распространения света;
- Изучение структуры и функций компонентов ФИС;
- Ознакомление с технологиями изготовления и методами интеграции;
- Развитие навыков проектирования и анализа ФИС с использованием специализированного ПО.

2.2. Трудоемкость дисциплины и виды учебной работы (в академических часах и зачетных единицах) *(удалить строки, которые не будут применены в рамках дисциплины)*

Виды учебной работы	Всего, в акад. часах	Распределение по семестрам
		1 сем
1	2	3
1. Общая трудоемкость изучения дисциплины по семестрам, в т. ч.:	72	72
1.1. Аудиторные занятия, в т. ч.:	32	32
1.1.1. Лекции	16	16
1.1.2. Практические занятия, в т. ч.	16	16
1.1.3. Лабораторные работы		
1.2. Самостоятельная работа, в т. ч.:	40	40
1.3. Консультации		
Итоговый контроль (Экзамен, Зачет, диф. зачет - указать)	Зачет	

2.3. Содержание дисциплины

2.3.1. Тематический план и трудоемкость аудиторных занятий (модули, разделы дисциплины и виды занятий) по рабочему учебному плану

Разделы и темы дисциплины	Всего (ак. часов)	Лекции (ак. часов)	Практ. Занятия (ак. часов)
1	2=3+4+5+6 +7	3	4
Тема 1. Основы фотоники и волноводной оптики	8	4	4
Тема 2. Компоненты фотонных интегральных схем	6	3	3
Тема 3. Материалы и технологии изготовления ФИС	6	3	3
Тема 4. Проектирование и моделирование ФИС	6	3	3
Тема 5. Применения и перспективы ФИС	6	3	3
ИТОГО	32	16	16

2.3.2. Краткое содержание разделов дисциплины в виде тематического плана

Тема 1. Основы фотоники и волноводной оптики рассматриваются фундаментальные понятия фотоники, природа и свойства света, механизмы взаимодействия света с веществом, волноводные структуры и их классификация. *Литература: [1], [2]*

Тема 2. Компоненты фотонных интегральных схем Обзор пассивных и активных компонентов ФИС: делители, коммутаторы, модуляторы, лазеры и детекторы. Принципы работы, характеристики и назначение. *Литература: [2], [3], [4]*

Тема 3. Материалы и технологии изготовления ФИС Описание используемых материалов (InP, Si, GaAs), технологий (литография, эпитаксия, травление), методы интеграции с электроникой. *Литература: [3], [5]*

Тема 4. Проектирование и моделирование ФИС Методы проектирования фотонных схем, использование CAD-систем, анализ распространения света, потерь и рассеяния. *Литература: [3], [4]*

Тема 5. Применения и перспективы ФИС Области применения: телекоммуникации, сенсоры, квантовые технологии, биомедицина. Новейшие достижения и перспективы развития. *Литература: [2], [5]*

2.3.3. Краткое содержание семинарских/практических занятий/лабораторного практикума

Практические занятия включают решение задач на проектирование ФИС, моделирование компонентов в специализированных программах (например, Lumerical, COMSOL), анализ экспериментальных данных.

1. Введение в среду Lumerical
Обзор модулей: FDTD, MODE, DEVICE, INTERCONNECT
Интерфейс и основные инструменты моделирования
Импорт геометрий и задание параметров материалов
2. Волноводы: моделирование мод
Построение прямоугольного и ребристого волноводов
Расчёт мод с помощью MODE Solutions
Анализ эффективного показателя преломления и потерь
Зависимость мод от геометрии и длины волны
3. Разветвители и направленные ответвители (Y- и MMI-структуры)
Моделирование Y-ответвителя
Расчёт передачи мощности и симметрии
Введение в MMI (Multi-Mode Interference) устройства
Оптимизация геометрических параметров
4. Кольцевые резонаторы
Проектирование кольцевого резонатора и кольцевого фильтра
Анализ спектра пропускания и добротности
Зависимость характеристик от радиуса и зазора связи
5. Грейтинги и дифракционные структуры
Создание поверхностных решеток (grating couplers)
Настройка подноса света из/в оптоволокно
Спектральные характеристики и оптимизация
6. Интеграция в INTERCONNECT
Импорт элементов из MODE и FDTD
Сборка схемы: источники, детекторы, пассивные компоненты
Анализ временных и частотных откликов
Оценка производительности PIC
7. Проектирование фотонного чипа
Комбинирование нескольких компонентов
Выполнение полного анализа в FDTD и INTERCONNECT
Интерпретация результатов и устранение потерь
Подготовка финального отчета

2.3.4. Материально-техническое обеспечение дисциплины

- Компьютерная аудитория для проведения практических занятий

2.4. Модульная структура дисциплины с распределением весов по формам контролей

Формы контролей	Вес формы (форм) текущего контроля в результирующей оценке текущего контроля (по модулям)		Вес формы промежуточного контроля в итоговой оценке промежуточного контроля		Вес итоговой оценки промежуточного контроля в результирующей оценке промежуточных контролей		Вес итоговой оценки промежуточного контроля в результирующей оценке промежуточных контролей (семестровой оценке)	Веса результирующей оценки промежуточных контролей и оценки итогового контроля в результирующей оценке итогового контроля
	M1 ¹	M2	M1	M2	M1	M2		
Вид учебной работы/контроля								
Контрольная работа (при наличии)			0.5	0.5				
Устный опрос (при наличии)								
Лабораторные работы (при наличии)	0.5	0.5						
Письменные домашние задания (при наличии)								
Решение задач	0.5	0.5						
Веса результирующих оценок текущих контролей в итоговых оценках промежуточных контролей					0.5	0.5		
Веса оценок промежуточных контролей в итоговых оценках промежуточных контролей								
Вес итоговой оценки 1-го промежуточного контроля в результирующей оценке промежуточных контролей							0.5	
Вес итоговой оценки 2-го промежуточного контроля в результирующей оценке промежуточных контролей							0.5	
Вес результирующей оценки промежуточных контролей в результирующей оценке итогового контроля								0.5
Вес итогового контроля (Экзамен/зачет) в результирующей оценке итогового контроля								0.5
	$\Sigma = 1$	$\Sigma = 1$	$\Sigma = 1$	$\Sigma = 1$	$\Sigma = 1$	$\Sigma = 1$	$\Sigma = 1$	$\Sigma = 1$

3. Теоретический блок (указываются материалы, необходимые для освоения учебной программы дисциплины)

3.1. Материалы по теоретической части курса

3.1.1. Учебник(и);

1. Баев А.А. "Фотоника: Учебник для вузов", 2020
2. Saleh B., Teich M. "Fundamentals of Photonics", Wiley, 2019

¹ Учебный Модуль

3.1.2. Учебное(ые) пособие(я);

1. Карпов В.Н. "Фотонные интегральные схемы", 2018

4. Фонды оценочных средств (указываются материалы, необходимые для проверки уровня знаний в соответствии с содержанием учебной программы дисциплины).

4.1. Планы практических занятий

- ✓ **MODE Solutions:**
Постройте прямоугольный кремниевый волновод (ширина 500 нм, высота 220 нм) и рассчитайте фундаментальную моду при длине волны 1.55 мкм.
- ✓ **FDTD:**
Смоделируйте распространение света в прямолинейном волноводе и определите потери.
- ✓ **Разветвитель (Y-соединение):**
Смоделируйте Y-ответвитель. Проанализируйте зависимость равномерности распределения мощности от угла ветвления.
- ✓ **Кольцевой резонатор:**
Постройте кольцевой резонатор, связанный с волноводом. Постройте спектр передачи и определите добротность.
- ✓ **Grating Coupler:**
Смоделируйте поверхностную решетку для ввода света из оптоволокна. Найдите оптимальный угол ввода.
- ✓ **INTERCONNECT:**
Импортируйте волновод, разветвитель и резонатор. Соберите схему и проанализируйте временной отклик.

4.2. Вопросы и задания для самостоятельной работы студентов

- ✓ Дайте определение фотонной интегральной схемы и перечислите основные компоненты PIC.
- ✓ Объясните принцип распространения света в волноводах. Какие моды могут существовать в прямоугольном волноводе?
- ✓ Что такое эффективный показатель преломления и как он зависит от геометрии волновода?
- ✓ В чем состоит отличие направленного ответвителя от MMI-структуры?
- ✓ Объясните принцип работы кольцевого резонатора и его применение в фильтрации сигналов.
- ✓ Что такое добротность (Q-фактор) резонатора и от чего она зависит?
- ✓ Как осуществляется согласование волноводов с оптоволоконными линиями с помощью grating couplers?
- ✓ Какие модули входят в состав пакета Lumerical и для чего каждый из них предназначен?

4.3. Образцы вариантов контрольных работ, тестов и/или других форм текущих и промежуточных контролей

- ✓ Что такое фотонная интегральная схема и её компоненты?
- ✓ Принцип распространения мод в волноводах.
- ✓ Эффективный показатель преломления и его зависимости.
- ✓ Отличие MMI-структуры от Y-разветвителя.
- ✓ Принцип работы кольцевого резонатора.
- ✓ Что такое добротность и как её вычисляют?
- ✓ Работа grating coupler и параметры оптимизации.
- ✓ Назначение модулей Lumerical.
- ✓ Построить волновод и рассчитать моды (MODE).
- ✓ Смоделировать распространение света в волноводе (FDTD).
- ✓ Построить Y-разветвитель и проанализировать передачу мощности.
- ✓ Смоделировать кольцевой резонатор, получить спектр передачи и рассчитать добротность.
- ✓ Спроектировать grating coupler и оптимизировать его для 1.55 мкм.
- ✓ Импортировать компоненты в INTERCONNECT и проанализировать работу PIC.
- ✓ Проектировать собственную PIC для фильтрации сигнала, с отчетом.

4.4. Перечень экзаменационных вопросов

1. Что такое фотонная интегральная схема (PIC)? Области применения.
2. Основные активные и пассивные компоненты PIC.
3. Материалы, используемые для фотонных чипов (Si, InP, GaAs и др.)
4. Преимущества и ограничения кремниевой фотоники.
5. Сравнение электроники и фотоники в контексте интегральных схем.
6. Принцип распространения света в диэлектрических волноводах.
7. Типы мод в прямоугольных и ребристых волноводах.
8. Эффективный показатель преломления и его физический смысл.
9. Зависимость модовых характеристик от геометрии и длины волны.
10. Методы численного расчета мод волноводов (на примере MODE).
11. Принцип работы Y-разветвителя.

12. Устройство направленного ответвителя и параметры связи.
13. MMI (Multi-Mode Interference) устройства и их применение.
14. Кольцевой резонатор: принцип действия, спектр, добротность.
15. Влияние геометрии резонатора на спектральные характеристики.
16. Поверхностные решетки (grating couplers): принцип работы, параметры.
17. Методы согласования волноводов с оптоволокном.
18. Расчет эффективности ввода/вывода света.
19. Назначение и возможности модулей: MODE, FDTD, INTERCONNECT.
20. Построение моделей волноводов и расчет мод в MODE.
21. Моделирование распространения света и отражений в FDTD.
22. Сборка схем и анализ отклика в INTERCONNECT.
23. Импорт и экспорт данных между модулями.
24. Использование PIC в телекоммуникациях, сенсорах и квантовых технологиях.
25. Перспективы интеграции PIC с электроникой на одном кристалле.
26. Примеры промышленных PIC-платформ: IMEC, AIM Photonics, SiPhotonics.

4.5. Образцы экзаменационных билетов

ИНЖЕНЕРНО-ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
Кафедра общей физики и квантовых наноструктур

Направление: Электроника и наноэлектроника
Дисциплина: Фотонные интегральные схемы
(бакалавриат IV-ый курс, II-ый семестр)

Экзаменационный билет № **

1. Преимущества и ограничения кремниевой фотоники.
2. Кольцевой резонатор: принцип действия, спектр, добротность.
3. Построение моделей волноводов и расчет мод в MODE.

Зав. кафедрой ОФКН _____ Д.Б. Айрапетян
20__г.
