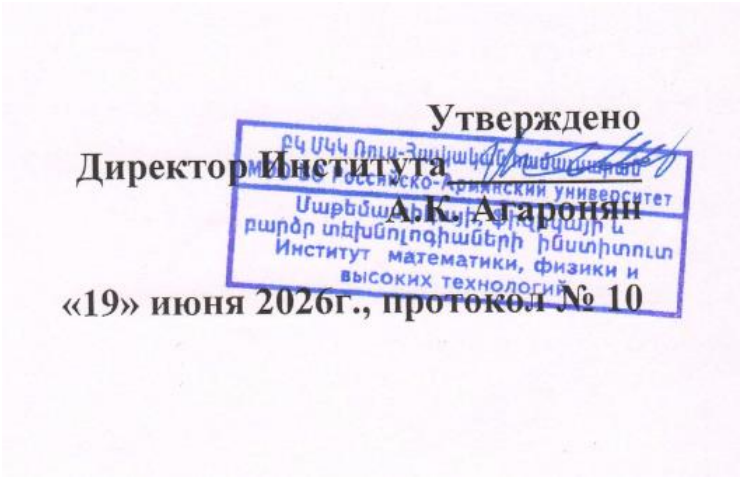
Межгосударственная образовательная организация высшего образования
«Российско-Армянский университет»



Утверждено
Директор Института _____
А.К. Агаронян
«19» июня 2026г., протокол № 10

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-2	Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений	УК-2.1 УК-2.2	Знает виды ресурсов и ограничений для решения профессиональных задач и основные методы оценки разных способов решения задач; действующее законодательство и правовые нормы, регулирующие профессиональную деятельность Умеет проводить анализ поставленной цели и формулировать задачи,

		УК-2.3	которые необходимо решить для ее достижения и анализировать альтернативные варианты для достижения намеченных результатов; использовать нормативно-правовую документацию в сфере профессиональной деятельности Владеет методиками разработки цели и задач проекта, методами оценки потребности в ресурсах, продолжительности и стоимости проекта; навыками работы с нормативно-правовой документацией

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

- Компютерная 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**
Вид учебной работы/контроля	**M1**[1]	**M2**	**M1**	**M2**	**M1**	**M2**		
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								

[1] Учебный Модуль

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
	∑ = 1	**∑ = 1**	**∑ = 1**	**∑ = 1**	**∑ = 1**	**∑ = 1**	**∑ = 1**	**∑ = 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

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. кафедройОФКН _____Д.Б. Айрапетян
20__г.