

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Новосибирский национальный исследовательский государственный университет»
(Новосибирский государственный университет, НГУ)

**Физический факультет
Кафедра квантовой электроники**



**Рабочая программа дисциплины
Оптоэлектроника**

Направление подготовки **03.04.02 Физика**

Направленность (профиль): **Общая и фундаментальная физика**

Форма обучения **Очная**

Семестр	Общий объем	Виды учебных занятий (в часах)				Промежуточная аттестация (в часах)				
		Контактная работа обучающихся с преподавателем			Самостоятельная работа, не включая период сессии	Самостоятельная подготовка к промежуточной аттестации	Контактная работа обучающихся с преподавателем			
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия			Консультации	Зачет	Дифференциро- ванный зачет	Экзамен
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
2	72	16	12		22	18	2			2
Всего 72 часа / 2 зачётные единицы, из них: - контактная работа 32 часа										
Компетенции ПК-1										

Руководитель программы
д.ф.-м.н.

И.Б. Логашенко

Новосибирск, 2026

Содержание

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы.	3
2. Место дисциплины в структуре образовательной программы	5
3. Трудоемкость дисциплины в зачётных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающегося с преподавателем	5
4. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведённого на них количества академических часов и видов учебных занятий.	5
5. Перечень учебной литературы.	7
6. Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся. ..	7
7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.....	7
8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине.	8
9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине.....	8
10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.	8

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы.

Дисциплина «Оптоэлектроника» является дисциплиной специализации в образовательной магистерской программе по квантовой электронике (лазерной физике), содержит одну часть годового цикла и необходима для овладения основными представлениями о методах получения и систематике атомных и молекулярных спектров.

Дисциплина относится к циклу фундаментальных общефизических дисциплин. В результате прохождения курса у студентов физического факультета должно сформироваться представление о распространении излучения в диэлектрических и волокнистых средах. Определяется взаимосвязь данного курса с другими курсами, изучаемыми магистрантами кафедры квантовой электроники.

Цели курса

- овладение физическими основами распространения и преобразования световых волн в многослойных диэлектрических средах планарного типа;
- овладение методами расчета амплитудных и энергетических коэффициентов отражения и пропускания многослойных структур;
- овладение методами формирования, расчета и взаимодействия волновых мод;
- изучение свойств запрещенных зон в периодических слоистых структурах;
- изучение характера затухания поверхностных блоховских волн;
- изучение методов ввода излучения в планарные диэлектрические волноводы.

Дисциплина нацелена на формирование у обучающегося профессиональной компетенции.

Результаты освоения образовательной программы (компетенции)	Индикаторы	Результаты обучения по дисциплине
ПК-1 Способен использовать специализированные знания в области физики при решении поставленных задач в научно-исследовательской деятельности в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования.	ПК 1.1 Применяет специализированные знания в области физики при решении конкретных задач в области научных исследований в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования. ПК 1.2 Выбирает наиболее эффективные методы решения конкретных задач в области научных исследований в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования.	Знать методы и способы постановки и решения задач физических исследований, принципы действия, функциональные и метрологические возможности современной аппаратуры для физических исследований в области оптоэлектроники, возможности, методы и системы компьютерных технологий для физических теоретических и экспериментальных исследований в области оптоэлектроники, основы электромагнитной теории диэлектрических пленочных структур; граничные условия пленок и характеристические матрицы; условия возникновения волноводных мод, их дисперсионные уравнения,

Результаты освоения образовательной программы (компетенции)	Индикаторы	Результаты обучения по дисциплине
		свойства и переносимый поток мощности; явление оптического туннелирования и механизм взаимодействия мод; условия формирования затухающих поверхностных световых волн, блоховские волны, зонные структуры, матрицы трансляции и их собственные значения, запрещенные зоны; типовые показатели преломления материалов диэлектрических пленок; современные методы изготовления пленок путем напыления, диффузии, ионной имплантации и эпитаксиального роста. Уметь самостоятельно ставить и решать конкретные физические задачи научных исследований в области оптоэлектроники с использованием современной аппаратуры и компьютерных технологий, применять полученные знания при изучении процессов преобразования ТЕ- и ТМ-поляризованных волновых фронтов в таких многослойных (в том числе периодических) диэлектрических пленочных структурах, как отражающие и просветляющие покрытия, поляризаторы света, светофильтры Шольца, планарные волноводы, брэгговские решетки, фотонные кристаллы. Владеть навыками постановки и решения задач научных исследований в области оптоэлектроники с помощью современных методов и средств теоретических и экспериментальных исследований в области оптоэлектроники, методами расчета характеристик многослойных диэлектрических сред – амплитудных и энергетических коэффициентов отражения и преломления света, распространяющихся потоков световой мощности, коэффициентов затухания и скачков фазы волн в условиях полного внутреннего отражения, дискретного набора волноводных мод, послойного распределения напряженностей

Результаты освоения образовательной программы (компетенции)	Индикаторы	Результаты обучения по дисциплине
		электрических и магнитных полей, запрещенных зон в периодических структурах.

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина реализуется в осеннем семестре 1-го курса магистратуры для магистрантов, обучающихся по направлению подготовки **03.04.02 Физика**. Курс «Оптоэлектроника» является логическим продолжением курсов «Прикладная оптика» и «Теоретические основы квантовой электроники», изложение материала которых опирается на знание общей теории электромагнитного поля, физической оптики, законов Френеля отражения и преломления плоских волн на границе раздела двух диэлектриков, явления полного внутреннего отражения, волноводной оптики и свойств диэлектрических пленок. Курс предшествует выполнению квалификационной работы студента по данной специализации, так как дает ему необходимые знания, навыки и предоставляет инструменты для выполнения научных исследований в рамках подготовки его квалификационной работы

3. Трудоёмкость дисциплины в зачётных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающегося с преподавателем

Трудоёмкость дисциплины составляет: 2 зачётные единицы, 72 часа.

Форма промежуточной аттестации: 2 семестр – экзамен.

№		Вид деятельности	Семестр
			2
1		Лекции, ч	16
2		Практические занятия, ч	12
3		Лабораторные занятия, ч	-
4		Занятия в контактной форме, ч из них	32
5		аудиторных занятий, ч	28
6		в электронной форме, ч	-
7		консультаций, час.	2
8		промежуточная аттестация, ч	2
9		Самостоятельная работа, час.	40
10		Всего, ч	72

4. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведённого на них количества академических часов и видов учебных занятий.

Программа и основное содержание лекций (16 часов)

1. **Электромагнитная теория однородных пленочных диэлектрических структур. (6 часов)**
Проверка и повторение знаний по данной теме. Компоненты электромагнитного поля и их связь в условиях ТЕ- и ТМ- поляризации. Волновые уравнения, общие решения волновых уравнений, граничные условия и характеристические матрицы пленок
2. **Многослойные диэлектрические среды. (2 часа)**
Определение, характеристические унимодулярные матрицы, свойства матриц, коэффициенты отражения и пропускания света, отражательная и пропускательная способности.
3. **Однородная диэлектрическая пленка. (1 час)**
Структура и комплексный характер коэффициентов отражения и преломления света, нахождение их модулей и фаз в диапазоне углов падения плоских волн. Зависимости отражательной и пропускательной способности пленок от их оптической толщины.
4. **Однородная диэлектрическая пленка (случай полного внутреннего отражения на нижней грани). (1 час)**
Особенности коэффициентов отражения и преломления света. Спектральные свойства пленки.
5. **Периодические слоистые диэлектрические среды. (2 часа)**
Определение, характеристическая матрица, методы вычисления общей характеристической матрицы, полиномы Чебышева 2-го порядка для вещественного и комплексного аргументов, зависимость отражательной и пропускательной способности многослойных сред от количества пар слоев.
6. **Распространение световых волн в периодических слоистых средах: (2 часа)**
Запрещенные зоны, блоховские волны и зонная структура, матрица трансляции и её собственные значения, блоховское волновое число, нормальная мода в условиях резонансной связи, характер затухания и границы существования блоховских мод.
7. **Дисперсионные уравнения (2 часа)**
Многослойных плоских волноводов. Назначение, способ получения и физический смысл. Графический и численный методы решения дисперсионных уравнений.

Программа практических занятий (16 часов)

1. **Однородная диэлектрическая пленка. (1 час)**
Пленки четверть волновой и полуволновой толщины
2. **Однородная диэлектрическая пленка (случай полного внутреннего отражения на нижней грани). (1 час)**
Зависимость отражательной и пропускательной способностей пленки от длины волны.
3. **Периодические слоистые диэлектрические среды. (2 часа)**
Случаи нарушения (введения «дефектов») периодичности.
4. **Распространение световых волн в периодических слоистых средах: (2 часа)**
Брэгговское отражение. Коэффициенты отражения внутри запрещенной зоны.
5. **Трех-, четырех- и пятислойные плоские волноводы (2 часа)**
Дисперсионные уравнения, аналитические описания волноводных мод, их ортогональность, граничные условия, свойства, характер распределения напряженностей поля при ТЕ- и ТМ- поляризованных волнах. Поляризующие свойства планарных волноводов. Условия фазового синхронизма на границах раздела диэлектрических сред.
6. **Планарный волновод с многослойным брэгговским зеркалом. (2 часа)**
Условия возникновения и аналитическое описание волноводных мод. Их согласование на границах раздела сред. Нормировка и результаты моделирования волноводных мод. Элементы теории связанных мод
7. **Поверхностные затухающие брэгговские волны (2 часа)**

Волны в многослойных диэлектрических средах. Теория и результаты компьютерного моделирования.

8. **Методы ввода лазерного излучения в пленочные волноводы. (2 часа)**

Призмённые и решетчатые элементы связи. Явление оптического туннелирования. Роль воздушных зазоров.

Самостоятельная работа студентов (40 часов)

Перечень занятий на СРС	Объем, час
Изучение материала лекций	12
Изучение теоретического материала, не освещаемого на лекциях	4
Выполнение расчетно-графических работ	6
Подготовка к экзамену	18

5. Перечень учебной литературы.

1. Трёхмерная лазерная модификация объемных светочувствительных материалов // Под ред. П.Е. Твердохлеба. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2012., ISBN 978-5-7692-0669-6 ISBN 978-5-7692-1245-1. (3 экз.)
2. Салех Б., Тейх М. Оптика и фотоника. Принципы и применение // Перев. с англ. Подред. В.Л. Деброва. Т. 1, 2. М: Издательский дом «Интеллект», 2012., Т.1 2012759 с. : ил., [4] л. ил. ISBN 978-5-91559-038-9 (3 экз.), Т.2 2012780 с. : ил., [8] л. ил. ISBN 978-5-91559-135-5 (3 экз.)
3. Основы оптоэлектроники // Перев. с японского под ред. К.М. Голанта. М: «Мир», 1988., ISBN 5030012079 (4 экз.)
4. Козанне А., Флере Ж., Мэтр Г., Руссо М. Оптика и связь. Оптическая передача и обработка информации // Перев. с франц. под ред. В.К. Соколова. М: «Мир», 1984. (2 экз.)
5. Евтихийев Н.Н., Евтихьева О.А., Компанец И.Н. и др. Информационная оптика // Под ред. Н.Н. Евтихьева. М: изд-во МЭИ, 2000., ISBN 5704605842 (20 экз.)

6. Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся.

Самостоятельная работа студентов поддерживается следующими учебными пособиями:

1. Трёхмерная лазерная модификация объемных светочувствительных материалов. Сборник под ред. П.Е. Твердохлеба ФГУП «Издательство СО РАН» 2012
2. Твердохлеб П.Е., Коронкевич В.П., Косцов Э.Г., Дубнищев Ю.Н., Чугуй Ю.В. и др. 3D лазерные информационные технологии // Под ред. П.Е. Твердохлеба. Новосибирск: ЗАО ИПП «Офсет», 2003
3. J. Opt. Soc. Am., Vol. 67, No. 4, April 1977. P. 423-438.

7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.

Для освоения дисциплины используются следующие ресурсы:

- электронная информационно-образовательная среда НГУ (ЭИОС);
- образовательные интернет-порталы;
- информационно-телекоммуникационная сеть Интернет.

7.1 Современные профессиональные базы данных

Не используются

7.2. Информационные справочные системы

Не используются.

8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине.

Для обеспечения реализации дисциплины используется стандартный комплект программного обеспечения (ПО), включающий регулярно обновляемое лицензионное ПО Windows и MSOffice,

Использование специализированного программного обеспечения для изучения дисциплины не требуется.

9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине.

Для реализации дисциплины используются специальные помещения:

1. Учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа, практических занятий, курсового проектирования (выполнения курсовых работ), групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля, промежуточной и итоговой аттестации.

2. Помещения для самостоятельной работы обучающихся.

Учебные аудитории укомплектованы специализированной мебелью и техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду НГУ.

Материально-техническое обеспечение образовательного процесса по дисциплине для обучающихся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья осуществляется согласно «Порядку организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья в Новосибирском государственном университете».

10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.

10.1 Порядок проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине

Текущий контроль

Текущий контроль осуществляется в ходе семестра путем контроля посещения лекционных и практических занятий, опросом в начале каждой лекции и практического занятия по пройденному материалу, студентам необходимо выполнить 2 расчетно-графические работы.

Промежуточная аттестация

Освоение компетенций оценивается согласно шкале оценки уровня сформированности компетенции. Положительная оценка по дисциплине выставляется в том случае, если заявленная компетенция ПК-1 сформирована не ниже порогового уровня в части, относящейся к формированию способности использовать специализированные знания в области отоэлектроники в профессиональной деятельности.

Окончательная оценка работы студента в течение семестра происходит на экзамене. Экзамен проводится в конце семестра в экзаменационную сессию в устной форме.

Вывод об уровне сформированности компетенций принимается преподавателем. Каждый вопрос билета оценивается от 0 до 5 баллов. Положительная оценка ставится, когда все компетенции освоены не ниже порогового уровня. Оценки «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» означают успешное прохождение промежуточной аттестации.

Соответствие индикаторов и результатов освоения дисциплины

Таблица 10.1

Индикатор	Результат обучения по дисциплине	Оценочные средства
ПК 1.1 Применяет специализированные знания в области физики при решении конкретных задач в области научных исследований в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования.	Знать методы и способы постановки и решения задач физических исследований, принципы действия, функциональные и метрологические возможности современной аппаратуры для физических исследований в области оптоэлектроники, возможности, методы и системы компьютерных технологий для физических теоретических и экспериментальных исследований в области оптоэлектроники, основы электромагнитной теории диэлектрических пленочных структур; граничные условия пленок и характеристические матрицы; условия возникновения волноводных мод, их дисперсионные уравнения, свойства и переносимый поток мощности; явление оптического туннелирования и механизм взаимодействия мод; условия формирования затухающих поверхностных световых волн, блоховские волны, зонные структуры, матрицы трансляции и их собственные значения, запрещенные зоны; типовые показатели преломления материалов диэлектрических пленок; современные методы изготовления пленок путем напыления, диффузии, ионной имплантации и эпитаксиального роста.	Опрос в начале каждой лекции, выполнение расчетно-графических работ, экзамен.
ПК 1.2 Выбирает наиболее эффективные методы решения конкретных задач в области научных исследований в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта	Уметь самостоятельно ставить и решать конкретные физические задачи научных исследований в области оптоэлектроники с использованием современной аппаратуры и компьютерных технологий, применять полученные знания при изучении процессов преобразования ТЕ- и ТМ-поляризованных волновых фронтов в таких многослойных (в том числе периодических) диэлектрических пленочных структурах, как отражающие	Опрос в начале каждой лекции, выполнение расчетно-графических работ, экзамен.

исследования.	и просветляющие покрытия, поляризаторы света, светофильтры Шольца, планарные волноводы, брэгговские решетки, фотонные кристаллы. Владеть навыками постановки и решения задач научных исследований в области оптоэлектроники с помощью современных методов и средств теоретических и экспериментальных исследований в области оптоэлектроники, методами расчета характеристик многослойных диэлектрических сред – амплитудных и энергетических коэффициентов отражения и преломления света, распространяющихся потоков световой мощности, коэффициентов затухания и скачков фазы волн в условиях полного внутреннего отражения, дискретного набора волноводных мод, послойного распределения напряженностей электрических и магнитных полей, запрещенных зон в периодических структурах.	
---------------	---	--

10.2 Описание критериев и шкал оценивания индикаторов достижения результатов обучения по дисциплине «Оптоэлектроника».

Таблица 10.2

Критерии оценивания результатов обучения	Шкала оценивания
<u>Сдача заданий:</u> выполнено и сдано не менее 90% задач в течение семестра <u>Экзамен:</u> - дан развернутый ответ на вопросы билета и оценка на письменной части экзамена (или средняя оценка за две потоковые контрольные работы) не ниже «хорошо», – точность и корректность применения терминов и понятий; - умение делать выводы и обобщения, – наличие исчерпывающих ответов на дополнительные вопросы, имеющие принципиальное значение для данной дисциплины. В ответах на вопросы обучающийся мог допустить не принципиальные неточности.	Отлично
<u>Сдача заданий:</u> выполнено и сдано не менее 80% задач в течение семестра	Хорошо

<u>Экзамен:</u> - дан правильный ответ на вопросы билета и оценка на письменной части экзамена (или средняя оценка за две потоковые контрольные работы) не ниже «удовлетворительно», – наличие правильных ответов на дополнительные вопросы, имеющие принципиальное значение для данной дисциплины. В ответах на вопросы обучающийся мог допустить незначительные ошибки.	
<u>Сдача заданий:</u> выполнено и сдано не менее 70% задач в течение семестра <u>Экзамен:</u> - дан правильный ответ на один вопрос билета и оценка на письменной части экзамена (или хотя бы одна из двух оценок за потоковые контрольные работы) не ниже «удовлетворительно», – наличие правильных ответов на дополнительные вопросы, имеющие принципиальное значение для данной дисциплины.	<i>Удовлетворительно</i>
<u>Сдача заданий:</u> сдано менее 60% задач в течение семестра <u>Экзамен:</u> - не даны правильные ответы на вопросы билета и оценка на письменной части экзамена «неудовлетворительно», – не отвечает на дополнительные вопросы, имеющие принципиальное значение для данной дисциплины.	<i>Неудовлетворительно</i>

10.3 Типовые контрольные задания и материалы, необходимые для оценки результатов обучения

Перечень вопросов к экзамену.

- 1) Что такое распространяющаяся плоская световая волна? Определение и ее параметры.
- 2) Чем определяется состояние поляризации плоской волны, и почему так?
- 3) Назовите «первичные» и «вторичные» параметры материальных сред. Их размерность в международной системе СИ.
- 4) Условия эллиптической поляризации плоских волн.
- 5) Условия круговой поляризации плоских волн.
- 6) Условия линейной поляризации плоских волн.
- 7) Получите формулы для коэффициентов отражения и преломления плоских ТЕ-поляризованных волн на границе раздела диэлектриков.
- 8) Получите формулы для коэффициентов отражения и преломления плоских ТМ-поляризованных волн на границы раздела двух диэлектриков.
- 9) Условия возникновения полного внутреннего отражения плоских световых волн на границе раздела двух диэлектриков.
- 10) Характер распределения напряженности электрического (магнитного) поля в условиях полного внутреннего отражения: при $x \geq 0$ (выше границы раздела диэлектриков) и при $x \leq 0$ (ниже границы раздела диэлектриков).
- 11) Поясните суть явления оптического туннелирования световых волн. Роль полного внутреннего отражения и промежуточного воздушного зазора.
- 12) Найдите формулы для вычисления значений угла Брюстера и критического угла при отражении ТМ-поляризованных плоских волн. Поясните их физический смысл.
- 13) Найдите формулу для вычисления коэффициента отражения плоской ТМ-поляризованной волны в условиях полного внутреннего отражения. Чем она отличается от известной формулы Френеля?

- 14) Найдите формулу для вычисления коэффициента отражения плоской ТЕ-поляризованной волны в условиях полного внутреннего отражения. Чем она отличается от известной формулы Френеля?
- 15) Фазовые сдвиги (скачки) ТЕ- и ТМ-поляризованных волн в условиях полного внутреннего отражения. Получите основные формулы для их вычисления. Приведите графики зависимости скачков фазы от угла падения световых волн. Чем и почему они отличаются друг от друга?
- 16) Получите формулы для вычисления коэффициентов отражения и преломления плоских световых волн при их нормальном падении.
- 17) Планарные волноводы. Определение и назначение. Уравнение фазового синхронизма, его суть, основные компоненты, их зависимость от угла падения плоской световой волны.
- 18) Волноводные моды. Общее описание аналитической волноводной моды ν -го порядка.
- 19) Характер распределения напряженностей электрического поля в нулевой и первой волноводных модах. Чем они отличаются? Эффективный размер планарного волновода.
- 20) Получите формулы для нахождения коэффициента затухания и глубины проникновения света на границах планарного волновода. Характер связи и смысл этих параметров.
- 21) Условия возникновения волноводных мод в планарных волноводах. Характер изменения скачков фазы на границах волновода в зависимости от угла падения световой волны.
- 22) Характер распределения напряженностей электрического поля в волноводных модах второго и третьего порядков. Чем они отличаются? Эффективный размер планарного волновода.
- 23) Дисперсионное уравнение планарного волновода. Основные компоненты дисперсионного уравнения и их физический смысл. Характер зависимости таких компонент от угла падения плоской волны.
- 24) Назовите виды известных Вам условий фазового синхронизма на границе раздела диэлектрических слоев. Поясните их физический смысл.
- 25) С помощью какой подстановки результаты (формулы, матрицы), полученные для ТЕ-мод можно применять к ТМ-модам.

Расчетно-графические работы

Путем компьютерного расчета и моделирования выполнить 2 домашних расчетно-графических работы.

Расчетно-графическая работа № 1

Цель работы: проверка и закрепление у студентов знаний по разделам 2 и 3 лекционного курса. Путем компьютерного моделирования провести изучение отражающих и преломляющих свойств однородной диэлектрической пленки в составе трехслойной структуры типа «подложка – пленка – защитный слой» с заранее заданными численными параметрами. В отличие от классической («френелевской») структуры, характеризующейся одной границей раздела, однородная пленка имеет две границы – «подложка – пленка» и «пленка – защитный слой». В этом случае её коэффициенты отражения и преломления света являются комплексными. Поэтому основная задача, стоящая перед студентом, заключается в нахождении значений модулей и фаз упомянутых коэффициентов в широком диапазоне углов падения света (освещение осуществляется со стороны подложки), совмещении на едином рисунке графиков поведения модулей и фаз и в объяснении с их помощью алгебраической «фазовой» природы сложения волн, отраженных от обеих границ раздела, разнесенных на приведенную оптическую толщину пленки. Важно также получить представление о непрерывном характере распределения напряженностей электрического и магнитного полей не только в пленке, но и в подложке и в защитном слое.

Пусть дана диэлектрическая пленка толщиной h и показателем преломления n_f на подложке с показателем преломления n_s . Пленка покрыта защитным слоем с показателем преломления n_c (см. рис. 1).

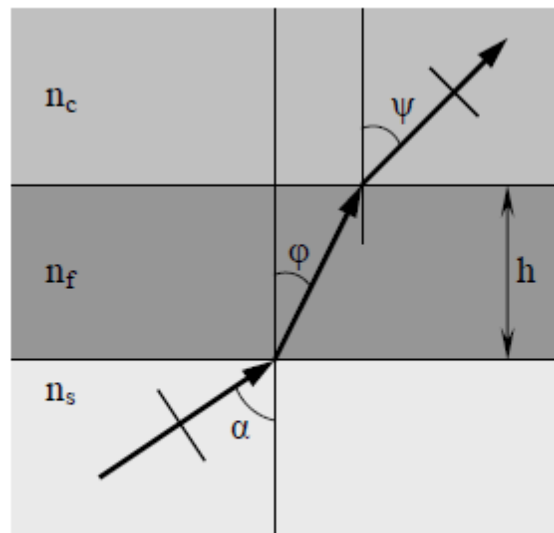


Рис.1

Плоский фронт с длиной волны света λ попадает на пленку со стороны подложки под углом α . Углы распространения этой волны в пленке и в защитном слое равны ϕ и ψ соответственно. Численные значения указанных на рисунке параметров: $n_s = 1.5$, $n_f = 1.8$, $n_c = 1.6$, $h = 2$ мкм. Длина волны $\lambda = 0.5$ мкм.

Найдите и постройте для случаев ТЕ- и ТМ- поляризованных падающих волн света:

1. Значение модулей (M) и фаз (Φ) комплексных коэффициентов отражения пленки $r = M \cdot \exp(i\Phi)$ для углов падения плоской волны $\lambda = 0^\circ, 15^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 75^\circ$.
2. Значение модулей (M_1) и фаз (Φ_1) комплексных коэффициентов пропускания пленки $t = M_1 \cdot \exp(i\Phi_1)$ для тех же углов падения плоской волны.
3. Совмещенные на одном рисунке графики зависимости модулей и фаз коэффициентов r и t от угла падения волны света. Прокомментируйте закономерности, которые вы при этом наблюдаете на графиках.
4. Графики распределения напряженностей электрического (случай ТЕ- поляризованной волны) и магнитного (случай ТМ- поляризованной волны) полей в подложке, пленке толщиной h_1 и защитном слое. 5. Графики зависимости отражательной и пропускательной способности пленки от оптического пути $N = h_1 \cdot n_f \cdot \cos \phi$, измеряя этот путь в длинах волн (например, в кратных значениях $\lambda/4$ и $\lambda/2$). Прокомментируйте общие закономерности, которые вы наблюдаете на соответствующих графиках. При каких значениях оптического пути N имеют место максимумы и минимумы отражательной (пропускательной) способности пленок?

Расчетно-графическая работа № 2

Цель работы: проверка и закрепление у студентов знаний по разделам 8 и 9 лекционного курса. Объектом исследования в этом случае является четырехслойная планарная волноводная диэлектрическая структура (см. рис. 2) с заранее заданными значениями параметров. Необходимо теоретическим путем получить дисперсионное уравнение такой структуры, численным методом найти значения углов распространения волн, при которых возникают ТЕ- и ТМ-волноводные моды (включая и их общее количество), построить графики распределения амплитуды поля в плоских фронтах распространяющихся ТЕ- и ТМ-

поляризованных мод, указать наблюдаемые при этом общие и отличающиеся свойства волн, дать их полное аналитическое описание. При условии дополнительного анализа пятислойной симметричной структуры (схема и её параметры должны быть согласованы с преподавателем) и выяснения на этом примере смысла симметричных и несимметричных волноводных мод студент получает дополнительный поощрительный балл.

Пусть дана четырехслойная волноводная диэлектрическая структура, схема которой показана на рис. 2. Здесь $n_s = 1.5$, $n_1 = 2$, $n_2 = 2.2$, $n_c = 1.8$, $h_1 = 0.6$ мкм, $h_2 = 0.4$ мкм. Угол падения плоской монохроматической волны света ($\lambda = 0.405$ мкм) в слое с показателем преломления n_1 равен θ_1 .

1. Путем вывода получите дисперсионное уравнение четырехслойной волноводной структуры для случаев, когда плоская волна света в слое n_1 имеет, а) ТЕ- и б) ТМ-поляризацию.
2. Для случаев, а) и б) найдите значение углов θ_{1v} , $v = 0, 1, 2, \dots, m$, при которых в заданной структуре возникают волноводные моды.
3. Постройте графики распределения напряженности электрического поля (случай, а) и напряженности магнитного поля (случай б) вдоль оси x для всех волноводных мод. Укажите общие свойства таких мод и их отличия. Приведите аналитическое описание волноводных мод и укажите их параметры. На какой границе раздела четырехслойного волновода выполняется условие синхронизации фаз?

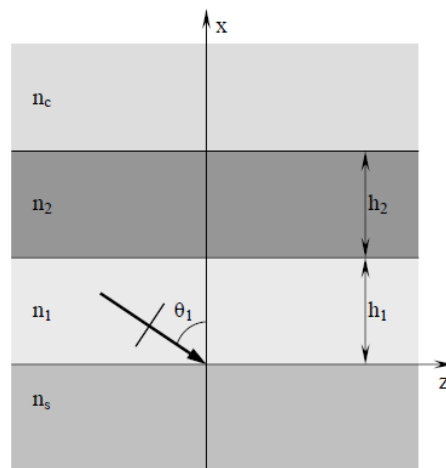


Рис. 2

Пример экзаменационного билета

1. Многослойные диэлектрические среды: определение, характеристические унимодулярные матрицы, свойства матриц, коэффициенты отражения и пропускания света, отражательная и пропускательная способности.
2. Поверхностные затухающие брэгговские волны в многослойных диэлектрических средах. Теория и результаты компьютерного моделирования.

Оценочные материалы по промежуточной аттестации, предназначенные для проверки соответствия уровня подготовки по дисциплине требованиям СУОС, хранятся на кафедре-разработчике РПД в печатном и электронном виде.