

Белорусский государственный университет

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе и
образовательным инновациям

О.И. Чуприс

«04» декабря 2019 г.

Регистрационный № УД- 74-16 /уч.

ЖИДКИЕ КРИСТАЛЛЫ И ПОЛИМЕРЫ В ФОТОНИКЕ

**Учебная программа учреждения высшего образования
по учебной дисциплине для специальности:**

1-31 80 05 Физика

2019 г.

Учебная программа составлена на основе ОСВО 1-31 80 05-2019; учебного плана № G31-062/уч. от 11.04.2019 г.

СОСТАВИТЕЛИ:

Е.А. Мельникова – доцент кафедры лазерной физики и спектроскопии физического факультета Белорусского государственного университета, кандидат химических наук, доцент

В.В. Могильный - профессор кафедры физической оптики и прикладной информатики физического факультета Белорусского государственного университета, доктор физико-математических наук, профессор.

РЕЦЕНЗЕНТ:

Самцов М.П. – заведующий лабораторией спектроскопии НИИПФП им. А.Н. Севченко, доктор физико-математических наук.

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой лазерной физики и спектроскопии физического факультета Белорусского государственного университета
(протокол № 7 от 15 ноября 2019 г.);

Научно-методическим Советом БГУ
(протокол № 2 от 03 декабря 2019 г.)

Зав.кафедрой _____ Толстик А.Л.

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Цели и задачи учебной дисциплины

Цель учебной дисциплины – дать магистрантам углубление и расширение знаний в области физики жидких кристаллов и их практического использования как активных компонент в современных системах фотоники.

Задачи учебной дисциплины:

1. Ознакомить студентов магистратуры с важнейшими теоретическими вопросами электрооптики жидких кристаллов, включая вопросы классификации ЖК и их основных физических свойств.
2. Ознакомить студентов с классическими и новыми схемными решениями ЖК-устройств, используемых для решения фундаментальных и прикладных задач оптики и фотоники.

Место учебной дисциплины в системе подготовки специалиста с высшим образованием (магистра): дисциплина «Жидкие кристаллы и полимеры в фотонике» нацелена на подготовку магистров к проведению самостоятельной научно-исследовательской в сфере освоения основных принципов создания активных ЖК элементов для оптических и фотонных приложений.

Учебная дисциплина относится к модулю по выбору «Лазеры и прикладная спектроскопия» компонента учреждения высшего образования.

Связи с другими учебными дисциплинами, включая учебные дисциплины компонента учреждения высшего образования, дисциплины специализации и др. Программа дисциплины основывается на знаниях и представлениях, полученных при изучении дисциплин «Оптика» и «Оптика анизотропных сред».

Требования к компетенциям

Освоение учебной дисциплины «Жидкие кристаллы и полимеры в фотонике» должно обеспечить формирование следующей компетенции:

Специализированные компетенции:

СК-9 - Быть способным разрабатывать элементную базу фотоники с использованием функциональных материалов, полимеров и жидких кристаллов.

В результате изучения дисциплины магистрант должен

знать:

- типы ЖК, связанные с особенностями ориентации молекул;
- особенности оптической анизотропии жидких кристаллов;
- особенности магнитной и диэлектрической анизотропии жидких кристаллов;
- упругие свойства нематических жидких кристаллов;
- методы ориентации нематических жидких кристаллов;
- проявление электрооптических эффектов в нематических жидких кристаллах;
- ориентационные эффекты в нематических жидких кристаллах;

– применение нематических жидких кристаллов, как функциональных сред в оптических и фотонных приложениях.

уметь:

- рассчитать угол ориентации директора нематического жидкого кристалла при заданном напряжении на жидкокристаллическом слое;
- рассчитать эффективный показатель преломления нематического жидкого кристалла в зависимости от геометрии взаимодействия слоя ЖК с линейно поляризованной световой волной;
- рассчитать величину фазового набегу линейно поляризованной световой волны в зависимости от угла ориентации директора в деформированном слое нематического ЖК.

владеть:

- методами определения типа мезофазы;
- методами расчета эффективного показателя преломления нематического жидкого кристалла;
- методами определения оптических свойств нематического жидкого кристалла в деформированном состоянии.

Структура учебной дисциплины

Дисциплина изучается во втором семестре. Форма получения высшего образования — очная, дневная. Всего на изучение учебной дисциплины «Жидкие кристаллы и полимеры в фотонике» отведено: 90 часов, в том числе 48 аудиторных часов, из них: лекции — 34 часов, семинарские занятия — 10 часов, управляемая самостоятельная работа — 4 часа.

Трудоемкость учебной дисциплины составляет 3 зачетные единицы.

Форма текущей аттестации — экзамен.

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

Тема 1. Введение в оптику полимерных сред. Традиционные оптические (неорганические) материалы и органические полимеры в качестве оптических сред

Тема 2. Оптические свойства полимеров. Поглощение и преломление света полимерами. Светорассеяние в полимерных средах. Оптическая анизотропия полимерных материалов. Люминесцентные, генерационные и нелинейно-оптические свойства полимерных материалов. Фоточувствительность полимеров. Элементарные сведения о молекулярных фотопревращениях в полимерных средах: образование электронно-возбужденных ансамблей, безызлучательный перенос энергии электронного возбуждения, фотохимические реакции.

Тема 3. Амплитудные и рельефообразующие фоточувствительные полимеры. Фотохромогенные материалы для необратимой амплитудной записи. Фотохромные материалы и обратимая амплитудная запись. Рельефы проявления. Позитивные фоторезисты. Негативные фоторезисты. Деформационные (поверхностные) фоторельефы.

Тема 4. Фоторефрактивные полимерные материалы для голографии и других оптических технологий. Полимерные среды для записи объемных фазовых голограмм. Материалы с фотонаведенным двулучепреломлением. Полимерные нанослои для фотоориентации жидких кристаллов. Рельефы проявления. Позитивные фоторезисты. Негативные фоторезисты. Деформационные (поверхностные) фоторельефы.

Тема 5. Классификация и общие свойства жидких кристаллов. Понятие о жидкокристаллическом состоянии. Термотропные и лиотропные жидкие кристаллы. Молекулярная структура и классификация жидких кристаллов. Нематики, холестерики, смектики. Нематическая, холестерическая и смектическая мезофазы. Директор. Степень ориентационного порядка.

Тема 6. Дефекты и текстуры в ЖК. Наблюдение. Черные нити. Текстура с «ядрами». Типы дефектов. Линейные дисклинации. Определение «силы». Поле искажений вокруг линии. «Плоские» искажения для линии произвольной формы. Концепция линейного натяжения. Точечные дисклинации. Теорема о неустойчивости для линии с целой силой. Интерпретация «ядер». Другие наблюдения точечных дефектов (точки на поверхности; точки в объеме).

Тема 7. Анизотропия жидкокристаллической среды. Магнитная анизотропия. Оптическая анизотропия. Диэлектрическая проницаемость. Диэлектрические постоянные. Частотные характеристики диэлектрических постоянных.

Тема 8. Упругие свойства жидких кристаллов. Теория упругости. Формула Франка для объемной упругой энергии. Модули упругости. S-, V-, T-деформации в ориентированном слое НЖК.

Тема 9. Конструкция и типы жидкокристаллических электрически управляемых ячеек. Начальная ориентация (планарная, гомеотропная, твист структура и т.д.) и электрооптические ЖК элементов.

Тема 10. Методы ориентации ЖК. Методы планарной ориентации. Фотоориентация и метод натерания. Энергия сцепления. Азимутальная и полярная энергия сцепления ЖК с поверхностью подложки. Методы гомеотропной ориентации. Наклонная ориентация.

Тема 11. Экспериментальное исследование перехода Фредерикса S-, В-эффекты. Твист-эффект. Оптика твист –ячейки. Эффект гость-хозяин. Исследование явлений светоиндуцированной переориентации директора в жидких кристаллах. Исследование ориентационной нелинейности в мезофазе нематических жидких кристаллов. Беспороговая переориентация.

Тема 12. Применение жидких кристаллов. Устройства отображения и обработки оптической информации, модуляторы и дефлекторы, управляемые транспаранты, оптические затворы, запоминающие устройства, интегральные фотонные активные ЖК устройства, Q-пластинки, ЖК элементы для формирования оптических вихревых пучков с заданной топологией поляризации, электрически управляемые дифракционные ЖК элементы.

Тема 13. Основные типы оптических ЖК переключателей. ЖК переключатели, работающие на принципе вращения плоскости поляризации, ЖК переключатели, работающие на эффекте рассеяния света, ЖК дефлекторы, планарные ЖК переключатели

Тема 14. Фотонные устройства на основе ЖК- волноводов. Оптические волноводы: краткая классификация. ЖК-волноводы как новая технологическая платформа. Линейные приложения ЖК-волноводов.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Дневная форма получения образования

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов					Количество часов УСР	Форма контроля знаний
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	Иное		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Введение в оптику полимерных сред	2						Устный опрос
2	Оптические свойства полимеров	2						Устный опрос
3	Амплитудные и рельефообразующие фоточувствительные полимеры	4						Устный опрос
4	Фоторефрактивные полимерные материалы для голографии и других оптических технологий	2					2	Устный опрос, Рефераты
5	Классификация и общие свойства жидких кристаллов	2						Устный опрос
6	Дефекты и текстуры в ЖК	4						Устный опрос
7	Анизотропия жидкокристаллической среды	2		2				Устный опрос, Учебная дискуссия
8	Упругие свойства жидких кристаллов	2						Устный опрос

9	Конструкция и типы жидкокристаллических электрически управляемых ячеек	2		2				Устный опрос
10	Методы ориентации ЖК	2						Устный опрос
11	Экспериментальное исследование перехода Фредерикса S-, В-эффекты	2		2				Устный опрос, Учебная дискуссия
12	Применение жидких кристаллов	2		2			2	Устный опрос Тематические презентации
13	Основные типы оптических ЖК переключателей	4						Устный опрос
14	Фотонные устройства на основе ЖК- волноводов	2		2				Устный опрос
Итого		34		10			4	

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Перечень основной литературы

1. В.Н.Серова. Полимерные оптические материалы. СПб, 2011.
2. В.В. Могильный. Полимерные фоторегистрирующие материалы и их применение, Мн., 2003.
3. Андреева О.В. Прикладная голография. Учебное пособие. –СПб, 2008.
4. Чандрасекар С. Жидкие кристаллы / Под редакцией Веденева А.А., Чистякова И.Г. –М: Мир, 2015. –344с.
5. Блинов Л.М. Электрооптика и магнитооптика жидких кристаллов. - М.: Наука. Гл. ред. Физ.-мат.лит,2014. –384с.
6. Капустин А.П. Электрооптические и акустические свойства жидких кристаллов. –М.: Наука. Гл. ред. Физ.-мат.лит,2017. –358с.
7. Сонин А.С. Введение в физику жидких кристаллов. -М.: Наука, Гл. ред. Физ.-мат.лит,2016. – 297с.

Перечень дополнительной литературы

1. Жидкие кристаллы / Под редакцией Жданова И.С. -М: Химия, 1979. – 261с.
2. Де Жен П. Физика жидких кристаллов. –М: Мир,1977. –С.315.
3. Exploration of elastomeric and polymeric liquid crystals with photothermal actuation: A review / Prasansha Rastogi, James Njuguna, Balasubramanian Kandasubramanian // European Polymer Journal. – 2019. – Vol. 121.
4. Carbon nanotube dispersion in nematic liquid crystals: An overview //Progress in Materials / Satya Prakash Yadav, Shri Singh //Science. – 2016. – Vol. 80. – P. 38-76.
5. A review of the fabrication of photonic band gap materials based on cholesteric liquid crystals / Rathinam Balamurugan, Jui-Hsiang Liu // Reactive and Functional Polymers – 2016. – Vol. 105. – P. 9-34.

Перечень рекомендуемых средств диагностики и методика формирования итоговой оценки

1. Устные опросы.
2. Проверка рефератов.
3. Учебная дискуссия.
4. Тематическая презентация.

Формой текущей аттестации по дисциплине «Жидкие кристаллы и полимеры в фотонике» учебным планом предусмотрен экзамен

Итоговая оценка формируется на основе:

1. Правил проведения аттестации студентов, курсантов, слушателей при освоении содержания образовательных программ высшего образования

(постановление Министерства Образования Республики Беларусь № 53 от 29 мая 2012 г.);

2. Положения о рейтинговой системе оценки знаний студентов по дисциплине в Белорусском государственном университете (№ 382-ОД от 18.08.2015 г.);

3. Критерии оценки знаний и компетенций студентов по 10-бальной шкале.

При формировании итоговой оценки используется рейтинговая оценка знаний студента, дающая возможность проследить и оценить динамику процесса достижения целей обучения. Рейтинговая оценка предусматривает использование весовых коэффициентов для текущего контроля знаний и текущей аттестации студентов по дисциплине.

Весовые коэффициенты, определяющие вклад текущего контроля знаний и текущей аттестации в рейтинговую оценку:

- Устные опросы – 20 %;
- Проверка рефератов – 30 %;
- Учебная дискуссия – 20 %;
- Тематическая презентация – 30 %.

Рейтинговая оценка по дисциплине рассчитывается на основе оценки текущей успеваемости и экзаменационной оценки с учетом их весовых коэффициентов. Вес оценки по текущей успеваемости составляет 30 %, экзаменационная оценка – 70 %.

Примерный перечень заданий для управляемой самостоятельной работы студентов

Тема 4. Фоторефрактивные полимерные материалы для голографии и других оптических технологий. Полимерные среды для записи объемных фазовых голограмм. Материалы с фотонаведенным двулучепреломлением. Полимерные нанослои для фотоориентации жидких кристаллов. Рельефы проявления. Позитивные фоторезисты. Негативные фоторезисты. Деформационные (поверхностные) фоторельефы. **(2 часа).**

Форма контроля – проверка рефератов.

Тема 12. Применение жидких кристаллов. Устройства отображения и обработки оптической информации, модуляторы и дефлекторы, управляемые транспаранты, оптические затворы, запоминающие устройства, интегральные фотонные активные ЖК устройства, Q-пластинки, ЖК элементы для формирования оптических вихревых пучков с заданной топологией поляризации, электрически управляемые дифракционные ЖК элементы. **(2 часа).**

Форма контроля – тематические презентации.

Примерная тематика семинарских занятий

Тема 7. Анизотропия жидкокристаллической среды. Магнитная анизотропия. Оптическая анизотропия. Диэлектрическая проницаемость. Диэлектрические постоянные. Частотные характеристики диэлектрических постоянных. (2 часа).

Тема 9. Конструкция и типы жидкокристаллических электрически управляемых ячеек. Начальная ориентация (планарная, гомеотропная, твист структура и т.д.) и электрооптические ЖК элементов. (2 часа).

Тема 11. Экспериментальное исследование перехода Фредерикса S-, В-эффекты. Твист-эффект. Оптика твист –ячейки. Эффект гость-хозяин. Исследование явлений светоиндуцированной переориентации директора в жидких кристаллах. Исследование ориентационной нелинейности в мезофазе нематических жидких кристаллов. Беспороговая переориентация. (2 часа).

Тема 12. Применение жидких кристаллов. Устройства отображения и обработки оптической информации, модуляторы и дефлекторы, управляемые транспаранты, оптические затворы, запоминающие устройства, интегральные фотонные активные ЖК устройства, Q-пластинки, ЖК элементы для формирования оптических вихревых пучков с заданной топологией поляризации, электрически управляемые дифракционные ЖК элементы. (2 часа).

Тема 14. Фотонные устройства на основе ЖК- волноводов. Оптические волноводы: краткая классификация. ЖК-волноводы как новая технологическая платформа. Линейные приложения ЖК-волноводов. (2 часа).

Примерный перечень тем тематических презентаций

1. Макромолекулы: степень полимеризации и молекулярная масса.
2. Синтетические и природные полимеры.
3. Искусственные полимеры.
4. Сополимеры.
5. Высокоэластическое состояние полимеров.
6. Типы жидких кристаллов.
7. Оптические свойства жидких кристаллов.
8. Жидкокристаллическое состояние в биосистемах.

Примерный перечень тем реферативных работ

1. Применения фоторезистов в микроэлектронике и оптике.
2. Объемные фазовые голограммы в полимерных средах.
3. Полимерные фотоориентанты для жидких кристаллов.
4. Жидкокристаллические модуляторы света. ЖК системы отображения информации.
5. Оптические ЖК переключатели.
6. Датчики на ЖК.

7. ЖК телевизионные панели.
8. Активные интегральные ЖК компоненты.

Примерный перечень тем учебной дискуссии

1. Чем отличаются термотропные и лиотропные жидкие кристаллы?
2. Что такое нематики, холестерики, смектики?
3. Какие смектические фазы Вы знаете?
4. Что такое двухосные нематики?
5. Что такое каламитики и дискотики?
6. Что такое ламеллярная и гексагональная фазы?
7. Может ли существовать фазовый переход между нематической и холестерической фазами?
8. Существуют ли сегнетоэлектрические жидкие кристаллы?
9. Что такое линейные и гребнеобразные жидкокристаллические полимеры?
10. Сформулируйте основные признаки фазовых переходов первого и второго рода.
11. Качественно нарисуйте графики температурной зависимости параметра порядка η для фазовых переходов первого и второго рода.
12. От чего и как зависят времена включения и выключения электрооптического эффекта, возникающего за счет перехода Фредерикса?
13. Каковы причины возникновения магнитогидродинамических доменов в НЖК?

Описание инновационных подходов и методов к преподаванию учебной дисциплины (эвристический, проективный, практико-ориентированный)

При организации образовательного процесса по дисциплине «Жидкие кристаллы и полимеры в фотонике» используется **практико-ориентированный подход**, который предполагает:

- освоение содержание образования через решения практических задач;
- приобретение навыков эффективного выполнения разных видов профессиональной деятельности;
- ориентацию на генерирование идей, реализацию групповых студенческих проектов, развитие предпринимательской культуры;
- использованию процедур, способов оценивания, фиксирующих сформированность профессиональных компетенций.

При организации образовательного процесса по дисциплине «Жидкие кристаллы и полимеры в фотонике» используется **метод учебной дискуссии**, который предполагает участие студентов в целенаправленном обмене мнениями, идеями для предъявления и/или согласования существующих позиций по определенной проблеме.

Использование метода обеспечивает появление нового уровня понимания изучаемой темы, применение знаний (теорий, концепций) при решении проблем, определение способов их решения.

Примерный перечень вопросов к экзамену

1. Традиционные оптические (неорганические) материалы и органические полимеры в качестве оптических сред
2. Оптические свойства полимеров. Поглощение и преломление света полимерами.
3. Светорассеяние в полимерных средах. Оптическая анизотропия полимерных материалов. Люминесцентные, генерационные и нелинейно-оптические свойства полимерных материалов.
4. Фоточувствительность полимеров.
5. Амплитудные и рельефообразующие фоточувствительные полимеры.
6. Фотохромогенные материалы для необратимой амплитудной записи. Фотохромные материалы и обратимая амплитудная запись. Рельефы проявления.
7. Позитивные фоторезисты. Негативные фоторезисты. Деформационные (поверхностные) фоторельефы.
8. Фоторефрактивные полимерные материалы для голографии и других оптических технологий. Полимерные среды для записи объемных фазовых голограмм. Материалы с фотонаведенным двулучепреломлением.
9. Полимерные нанослои для фотоориентации жидких кристаллов. Рельефы проявления.
10. Позитивные фоторезисты. Негативные фоторезисты. Деформационные (поверхностные) фоторельефы.
11. Классификация и общие свойства жидких кристаллов. Нематическая, холестерическая и смектическая мезофазы.
12. Директор. Степень ориентационного порядка ЖК.
13. Дефекты и текстуры в ЖК.
14. Анизотропия жидкокристаллической среды. Магнитная анизотропия. Оптическая анизотропия. Диэлектрическая проницаемость. Диэлектрические постоянные. Частотные характеристики диэлектрических постоянных.
15. Упругие свойства жидких кристаллов. Теория упругости. Формула Франка для объемной упругой энергии. Модули упругости. S-, B-, T-деформации в ориентированном слое НЖК.
16. Конструкция и типы жидкокристаллических электрически управляемых ячеек. Начальная ориентация (планарная, гомеотропная, твист структура и т.д.) и электрооптические ЖК элементов.
17. Методы ориентации ЖК. Методы планарной ориентации. Фотоориентация и метод натерания. Энергия сцепления. Азимутальная и

полярная энергия сцепления ЖК с поверхностью подложки. Методы гомеотропной ориентации. Наклонная ориентация.

18. Экспериментальное исследование перехода Фредерикса S-, В-эффекты. Твист-эффект. Оптика твист – ячейки. Эффект гость-хозяин.

19. Применение жидких кристаллов. Устройства отображения и обработки оптической информации, модуляторы и дефлекторы, управляемые транспаранты, оптические затворы, запоминающие устройства, интегральные фотонные активные ЖК устройства, Q-пластинки, ЖК элементы для формирования оптических вихревых пучков с заданной топологией поляризации, электрически управляемые дифракционные ЖК элементы.

20. Основные типы оптических ЖК переключателей. ЖК переключатели, работающие на принципе вращения плоскости поляризации, ЖК переключатели, работающие на эффекте рассеяния света, ЖК дефлекторы, планарные ЖК переключатели

21. Фотонные устройства на основе ЖК- волноводов. Оптические волноводы: краткая классификация. ЖК-волноводы как новая технологическая платформа. Линейные приложения ЖК-волноводов.

ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ УВО

Название учебной дисциплины, с которой требуется согласование	Название кафедры	Предложения об изменениях в содержании учебной программы учреждения высшего образования по учебной дисциплине	Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола)
Спектроскопия и диагностика нано- и микрообъектов	Кафедра лазерной физики и спектроскопии	Нет	Оставить без изменений Протокол № 7 от 15 ноября 2019 г.
Лабораторный спецпрактикум «Фотоника микро- и нанообъектов»	Кафедра лазерной физики и спектроскопии	Нет	Оставить без изменений Протокол № 7 от 15 ноября 2019 г.

**ДОПОЛНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ К УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЕ ПО
ИЗУЧАЕМОЙ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ**

на ____ / ____ учебный год

№ п/п	Дополнения и изменения	Основание

Учебная программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры
_____ (протокол № ____ от _____ 202_ г.)

Заведующий кафедрой

УТВЕРЖДАЮ

Декан факультета
