

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 физики полупроводников

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Оптические явления в полупроводниках для аспирантов

направление подготовки: 03.06.01 Физика и астрономия

Курс 2, семестр 3

профиль

Физика полупроводников

Форма обучения: **очная**

Разработчик:

д.ф.-м.н., проф. В.Л. Альперович



Заведующий кафедрой физики полупроводников ФФ
академик РАН, д.ф.-м.н., А.В. Латышев



Новосибирск 2020

Содержание

Аннотация	3
1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы.....	5
2. Место дисциплины в структуре образовательной программы	6
3. Трудоемкость дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающегося с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающегося	6
4. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий.....	7
5. Перечень учебной литературы	11
6. Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся	12
7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины	12
8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине	13
9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине	13
10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.....	14

Аннотация
к рабочей программе дисциплины
«Оптические явления в полупроводниках для аспирантов»»
Направление: **03.06.01 Физика и астрономия**
Направленность (профиль): **Оптика**

Дисциплина «Оптические явления в полупроводниках для аспирантов» реализуется в рамках образовательной программы высшего образования – программы подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре 03.06.01 «Физика и астрономия» профили подготовки «Физика полупроводников» и «Оптика» по очной форме обучения на русском языке. Дисциплина «Оптические явления в полупроводниках для аспирантов» развивает знания, умения и навыки, сформированные у обучающихся по результатам общей базовой подготовки в рамках программ бакалавриата и магистратуры, и не требует знаний по другим дисциплинам подготовки для аспирантов. Курс входит в набор вариативных дисциплин, направленных на подготовку к сдаче экзаменов кандидатского минимума и подготовки научно-квалификационной работы (диссертации), для аспирантов, обучающихся по профилям подготовки «Физика полупроводников» и «Оптика».

Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Знания:

УК-1.1. Знать актуальные исследования и критически анализировать результаты предшественников и современные достижения в области физики в применении к профессиональной области деятельности.

УК-5.1. Знать возможные направления профессиональной самореализации, владеть приемами планирования и оценки собственной деятельности по решению профессионально-значимых задач.

ОПК-1.1. Знать современные научные методы исследования и информационно-коммуникационные технологии в применении к профессиональной области деятельности.

ПК-1.1. Знать теоретические основы, базовые понятия и модели построения теоретических моделей физических явлений и процессов в зависимости от специфики профиля подготовки и объекта исследования.

ПК-2.1. Знать физические основы базовых экспериментов в зависимости от специфики профиля подготовки и объекта исследования.

Умения:

УК-1.2. Уметь ставить задачи научно-исследовательской деятельности на основе сопоставительного анализа современных достижений физики, в части постановки актуальных задач научных исследований в применении к профессиональной области деятельности и в зависимости от специфики объекта исследования.

УК-5.2. Уметь выявлять и формулировать проблемы собственного профессионального развития, владеть приемами осознания собственных достижений с целью их совершенствования.

ОПК-1.2. Уметь определять и применять современные научные методы исследования и информационно-коммуникационные технологии в зависимости от специфики объекта исследования.

ПК-1.2. Уметь ставить задачи научно-исследовательской деятельности на основе сопоставительного анализа современных достижений в зависимости от специфики профиля подготовки и объекта исследования.

ПК-2.2. Уметь определять и применять современные научные методы в зависимости от специфики профиля подготовки и объекта исследования.

Навыки:

УК-5.3. Обладать знаниями, достаточными для выполнения научных исследований на современном мировом уровне в применении к профессиональной области деятельности в зависимости от специфики объекта исследования.

ОПК-1.3. Владеть способностью составлять и оформлять научно-технической документацию, научные отчеты, обзоры, доклады и статьи.

Основные задачи преподавания данной дисциплины состоят в углубленном изучении теоретических вопросов физики взаимодействия электромагнитного излучения с твердыми телами, оптических методов исследования полупроводников и полупроводниковых структур, а также принципов работы современных полупроводниковых фотоприемников, солнечных элементов, светоизлучающих и фотоэмиссионных приборов. В ходе изучения дисциплины у аспирантов формируются представления о способах феноменологического и микроскопического описания оптических явлений в кристаллах, о современном состоянии исследований оптических процессов в полупроводниках, об основных идеях и достижениях в этой области, о спектроскопических методах исследования полупроводников.

Текущий контроль успеваемости:

Текущий контроль успеваемости включает контроль посещаемости обучающимися занятий, сдачу заданий, оценку их активности в ходе дискуссий и заключается в презентации аспирантом доклада по одному из разделов программы курса.

Промежуточная аттестация:

Промежуточная аттестация по дисциплине «Оптические явления в полупроводниках для аспирантов» проводится по итогам завершения программы дисциплины в виде зачета, по результатам которого выставляется оценка «зачтено» или «не зачтено». Оценка «зачтено» может быть выставлена по результатам текущего контроля, если в ходе представления самостоятельно подготовленного доклада и ответов на вопросы обучающийся продемонстрировал уровень сформированности компетенций не ниже порогового. Оценка «зачтено» является положительным результатом прохождения промежуточной аттестации. На зачете для дополнительной проверки сформированности отдельных компетенций обучающемуся могут быть заданы вопросы по пройденному материалу.

Преподавание дисциплины предусматривает следующие формы организации учебного процесса: практические занятия, доклады обучающихся по тематике, связанной с выполнением их научной работы, индивидуальная работа с преподавателем/консультации в период занятий, самостоятельная подготовка обучающихся, зачет.

Общий объем дисциплины – 3 зачетных единицы (108 часов).

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

Код	Компетенции, формируемые в рамках дисциплины
УК-1. Способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях	
УК-1.1	Знать актуальные исследования и критически анализировать результаты предшественников и современные достижения в области физики в применении к профессиональной области деятельности.
УК-1.2	Уметь ставить задачи научно-исследовательской деятельности на основе сопоставительного анализа современных достижений физики, в части постановки актуальных задач научных исследований в применении к профессиональной области деятельности и в зависимости от специфики объекта исследования.
УК-5 Способность планировать и решать задачи собственного профессионального и личностного развития	
УК-5.1	Знать возможные направления профессиональной самореализации, владеть приемами планирования и оценки собственной деятельности по решению профессионально-значимых задач.
УК-5.2	Уметь выявлять и формулировать проблемы собственного профессионального развития, владеть приемами осознания собственных достижений с целью их совершенствования.
УК-5.3	Обладать знаниями, достаточными для выполнения научных исследований на современном мировом уровне в применении к профессиональной области деятельности в зависимости от специфики объекта исследования.
ОПК-1. Способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий	
ОПК-1.1	Знать современные научные методы исследования и информационно-коммуникационные технологии в применении к профессиональной области деятельности.
ОПК-1.2	Уметь определять и применять современные научные методы исследования и информационно-коммуникационные технологии в зависимости от специфики объекта исследования.
ОПК-1.3	Владеть способностью составлять и оформлять научно-технической документацию, научные отчеты, обзоры, доклады и статьи.
ПК-1. Способность построения теоретических моделей физических явлений и процессов в области физики в зависимости от специфики профиля подготовки.	
ПК-1.1	Знать теоретические основы, базовые понятия и модели построения теоретических моделей физических явлений и процессов в зависимости от специфики профиля подготовки и объекта исследования.
ПК-1.2	Уметь ставить задачи научно-исследовательской деятельности на основе сопоставительного анализа современных достижений в зависимости от специфики профиля подготовки и объекта исследования.
ПК-2. Способность к решению научных и практических задач в области физики в зависимости от специфики профиля подготовки.	
ПК-2.1	Знать физические основы базовых экспериментов в зависимости от специфики профиля подготовки и объекта исследования.

ПК-2.2	Уметь определять и применять современные научные методы в зависимости от специфики профиля подготовки и объекта исследования.
--------	---

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина «Оптические явления в полупроводниках для аспирантов» реализуется в рамках образовательной программы высшего образования – программы подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре 03.06.01 «Физика и астрономия» профили подготовки «Физика полупроводников» и «Оптика» по очной форме обучения на русском языке. Дисциплина «Оптические явления в полупроводниках для аспирантов» развивает знания, умения и навыки, сформированные у обучающихся по результатам общей базовой подготовки в рамках программ бакалавриата и магистратуры, и не требует знаний по другим дисциплинам подготовки для аспирантов. Курс входит в набор вариативных дисциплин, направленных на подготовку к сдаче экзаменов кандидатского минимума и подготовки научно-квалификационной работы (диссертации), для аспирантов, обучающихся по профилям подготовки «Физика полупроводников» и «Оптика».

Основные задачи преподавания данной дисциплины состоят в углубленном изучении теоретических вопросов физики взаимодействия электромагнитного излучения с твердыми телами, оптических методов исследования полупроводников и полупроводниковых структур, а также принципов работы современных полупроводниковых фотоприемников, солнечных элементов, светоизлучающих и фотоэмиссионных приборов. В ходе изучения дисциплины у аспирантов формируются представления о способах феноменологического и микроскопического описания оптических явлений в кристаллах, о современном состоянии исследований оптических процессов в полупроводниках, об основных идеях и достижениях в этой области, о спектроскопических методах исследования полупроводников.

Преподавание дисциплины предусматривает следующие формы организации учебного процесса: практические занятия, доклады обучающихся по тематике, связанной с выполнением их научной работы, индивидуальная работа с преподавателем/консультации в период занятий. самостоятельная подготовка обучающихся, зачет.

Общий объем дисциплины – 3 зачетных единицы (108 часов).

Дисциплины (практики), для изучения которых необходимо освоение дисциплины Оптические стандарты частоты:

Кандидатский экзамен по модулям Оптика и Физика полупроводников.

3. Трудоемкость дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающегося с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающегося

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	Индивидуальная работа с преподавателем/консультации в период занятий			Консультации	Зачет	Дифференцированный зачет	Кандидатский экзамен
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
3	108	32			22	52			2		

Всего 108 часов /3 зачетных единицы из них: - контактная работа 56 часов - в интерактивных формах 22 часа
Компетенции: УК-1, УК-5, ОПК-1, ПК-1, ПК-2

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

№ п/п	Раздел дисциплины	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)						Индивидуальная работа с преподавателем/Консультации перед экзаменом	Промежуточная аттестация (в часах)
			Всего	Аудиторные часы			Сам. работа во время занятий (не включая период сессии)	Сам. работа во время промежуточной аттестации		
				Лекции	Практические занятия	Индивидуальная работа с преподавателем/ Консультации в период занятий				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1.	Оптические характеристики вещества. Модель Лоренца. Нелинейные оптические явления.	1-2	4		2		2			
2.	Определение оптических характеристик полупроводников из экспериментов по отражению и поглощению света	3-4	4		2		2			
3.	Межзонные оптические переходы в полупроводниках Экситонные эффекты.	5-6	4		2		2			
4.	Поглощение света, обусловленное фононами и примесями.	7-8	4		2		2			
5.	Фотоэлектрические и фотоэмиссионные явления в полупроводниках.	9-10	4		2		2			
6.	Излучательная рекомбинация в полупроводниках	11-12	4		2		2			
7.	Оптические явления в полупроводниковых микроструктурах	13-14	4		2		2			
8.	Оптические методы исследования полупроводников	15-16	4		2		2			

9.	Научные доклады обучающихся по тематикам их научных исследований	1-16	74		16	22	36			
10.	Зачет	17	2							2
Всего			108		32	22	52			2

Программа курса по разделам и темам

Раздел 1. Феноменологическое описание оптических свойств кристаллов

Цель: сформировать представления о возможностях и ограничениях феноменологического описания оптических свойств кристаллов и о классической теории дисперсии оптических характеристик.

Тема 1. Оптические характеристики вещества.

Уравнения Максвелла для распространения электромагнитных волн в среде.

Тензор диэлектрической проницаемости, его связь с симметрией кристалла.

Комплексный показатель преломления.

Дисперсионные соотношения Крамерса-Кронига.

Классическая теория дисперсии оптических характеристик. Модель Лоренца.

Нелинейно-оптические явления в кристаллах.

Тема 2. Связь измеряемых величин с оптическими характеристиками.

Отражение, преломление, поглощение и интерференция света в полупроводниках.

Изменение состояния поляризации света при отражении и преломлении. Эллипсометрия.

Пределы применимости феноменологического описания оптических свойств.

Раздел 2. Механизмы поглощения света в полупроводниках.

Цель: Изучить микроскопические механизмы поглощения света в полупроводниках.

Тема 3. Межзонные оптические переходы.

Межзонные оптические переходы в прямозонных и в непрямозонных полупроводниках.

Влияние кулоновского взаимодействия электронов и дырок (экситонных эффектов) на край собственного поглощения. Поляритоны.

Тема 4. Поглощение света, обусловленное фононами и примесями.

Поглощение света на фононах.

Поглощение света на свободных носителях заряда.

Оптические переходы примесь-зона.

Тема 5. Влияние внешних воздействий на поглощение света.

Пьезооптические явления. Влияние гидростатического и одноосного давления на межзонное поглощение света.

Влияние температуры на край собственного поглощения. Правило Урбаха.

Электрооптические явления. Линейный и квадратичный электрооптические эффекты. Влияние электрического поля на край собственного поглощения. Эффект Франца-Келдыша.

Магнитооптические явления. Эффект Фарадея. Циклотронный резонанс. Межзонное поглощение света в квантующем магнитном поле. Диамагнитные экситоны.

Тема 6. Поглощение света в сильнолегированных и неупорядоченных полупроводниках.

Электронный спектр и плотность состояний в сильнолегированных полупроводниках. Критерий сильного легирования. Формирование примесной зоны и хвостов плотности состояний в запрещенной зоне. Сильнолегированные компенсированные полупроводники.

Межзонные оптические переходы в сильнолегированных полупроводниках. Эффект Мосса-Бурштейна. Правило Урбаха.

Энергетический спектр неупорядоченных (аморфных) полупроводников. Плотность состояний. Роль ближнего порядка в формировании электронного спектра некристаллических полупроводников. Спектры оптического поглощения неупорядоченных полупроводников.

Раздел 3. Явления с участием неравновесных носителей заряда.

Цель: сформировать представления об основных явлениях в полупроводниках с участием неравновесных носителей заряда и приборах, разработанных на основе таких явлений.

Тема 7. Фотоэлектрические явления в полупроводниках.

Фотоэлектрические явления на баллистических, горячих и термализованных неравновесных носителях заряда. Релаксация импульса и энергии.

Время жизни. Диффузия и дрейф. Фотопроводимость. Фото-ЭДС в контакте металл-полупроводник и в *p-n* переходе.

Полупроводниковые фотоприемники. Фотосопротивления и фотодиоды. Основные параметры фотоприемников. Шумы фотоприемников. Матричные фотоприемники.

Солнечные элементы.

Тема 8. Излучательная рекомбинация в полупроводниках.

Излучательная рекомбинация неравновесных носителей заряда. Переходы зона-зона и примесь-зона.

Горячая фотолюминесценция. Исследование механизмов рассеяния импульса, энергии и спина электронов по спектрам горячей поляризованной фотолюминесценции.

Полупроводниковые излучатели: светодиоды и лазеры. Инжекционные лазеры на двойных гетероструктурах.

Тема 9. Фотоэмиссия электронов из полупроводников.

Внешний фотоэффект. Определение работы выхода электронов из полупроводника.

Активирование поверхности полупроводника до состояния с эффективным отрицательным электронным средством (ОЭС).

Полупроводниковые фотокатоды с ОЭС. Фотоэмиссия электронов, поляризованных по спине. Использование ОЭС-фотокатодов в научных исследованиях и в электронно-оптических приборах.

Раздел 4. Оптические явления в полупроводниковых микроструктурах.

Цель: сформировать представления об оптических явлениях в полупроводниковых низкоразмерных структурах и о приборах, разработанных на их основе.

Тема 10. Оптические явления в квантовых ямах.

Поглощение и излучение света в полупроводниковых квантовых ямах. Правила отбора.

Инфракрасные фотоприемники и электрооптические модуляторы на структурах с квантовыми ямами.

Тема 11. Оптические явления в полупроводниковых сверхрешетках.

Поглощение света и транспорт электронов в композиционных полупроводниковых сверхрешетках. Локализация Ванье-Штарка.

Легированные сверхрешетки: зонные диаграммы, оптические и фотоэлектрические свойства.

Раздел 5. Оптические методы исследования полупроводников.

Цель: сформировать представления о возможностях современных оптических, фотоэлектрических и фотоэмиссионных методах исследования объема и поверхности полупроводников и полупроводниковых структур.

Тема 12. Фотолюминесценция и комбинационное рассеяние света.

Идентификация типов оптических переходов и химической природы примесей по спектрам фотолюминесценции. Измерение времени жизни.

Комбинационное рассеяние света. Рассеяние на оптических и акустических фонах. Электронное комбинационное рассеяние.

Тема 13. Фотоэлектрическая и модуляционная спектроскопия.

Фотоэлектрическая спектроскопия полупроводниковых структур. Определение порогов оптических переходов и рекомбинационных параметров неравновесных носителей заряда.

Методы модуляционной спектроскопии полупроводников. Электропоглощение, электроотражение и фотоотражение.

Тема 14. Оптические методы исследования поверхности.

Проблема обеспечения поверхностной чувствительности оптических методов.

Анизотропное отражение поляризованного света.

Фотоэмиссионная спектроскопия. Химические сдвиги фотоэмиссионных линий. Определение состава и электронных свойств поверхности. Использование синхротронного излучения для фотоэмиссионных исследований поверхности полупроводников.

В ходе реализации учебного процесса по дисциплине «Оптические явления в полупроводниках для аспирантов» проводятся практические занятия. Материал курса увязывается с передовыми исследованиями всюду, где это допускается уровнем знаний и подготовки аспирантов. Специально указываются темы, активно обсуждающиеся в текущей профессиональной научной литературе.

Методическая новизна базовой части курса состоит в изложении с единых позиций оптических свойств различных твердых тел – полупроводников, диэлектриков и металлов. Это позволяет студентам глубже осознать, с одной стороны, фундаментальные различия между откликом металлов и диэлектриков на электромагнитное излучение и, с другой стороны, понять случаи «металлического» поведения оптических спектров полупроводников и влияния межзонных переходов в металлах на их оптические свойства. По сравнению с известными учебниками, при изложении материала более широко используются графики и диаграммы, иллюстрирующие микроскопические механизмы поглощения света, релаксацию импульса, энергии и спина фотоэлектронов, возникновение фототоков и фото-ЭДС, а также фотоэмиссию электронов из кристалла в вакуум. В курсе детально рассмотрены физические основы и экспериментальные реализации методов модуляционной спектроскопии полупроводников, в том числе электропоглощение, электро- и фотоотражение.

Еще одно отличие данного курса от традиционных курсов по оптике полупроводников состоит в детальном рассмотрении современных методов исследования поверхности твердых тел, основанных на использовании видимого, ультрафиолетового и рентгеновского

излучения. В числе таких методов рассмотрены фотоэмиссионная спектроскопия и спектроскопия анизотропного отражения света.

Практические занятия проводятся в "интерактивной" форме, с возможностью для аспирантов задавать вопросы преподавателю (и наоборот) непосредственно по ходу изложения. По вопросам, вызывающим затруднения, проводятся консультации.

Индивидуальная работа с преподавателем

Перечень работ	Объем, час
Обсуждение плана доклада по избранной теме, рекомендации преподавателя относительно литературных источников, которые можно использовать при подготовке доклада, индивидуальные консультации по ходу подготовки доклада. Обсуждение задач, стоящих перед аспирантом в рамках его научно-исследовательской работы, и возможных способов их решения с привлечением различных методов.	22

Самостоятельная работа обучающихся

Перечень занятий на СРС	Объем, час
Изучение проблемы в историческом аспекте с использованием лекций и обязательной литературы. Анализ периодической литературы за последние 5 лет, относящейся к теме доклада. Периодическая литература, имеющаяся в доступных полнотекстовых базах данных.	16
Подготовка доклада по одной тем семинаров, вынесенных на самостоятельную подготовку	36

5. Перечень учебной литературы

5.1 Основная литература

1. Ненашев А.В., Альперович В.Л. Колебания кристаллической решетки [Текст: электронный ресурс]: учебное пособие: [для студентов и аспирантов физических специальностей вузов] / А.В. Ненашев, В.Л. Альперович; М-во образования и науки РФ, Новосиб. гос. ун-т, Физ. фак. Электрон. дан. (1 файл) (Новосибирск: РИЦ НГУ, 2016)

5.2 Дополнительная литература для самостоятельного изучения

2. Ансельм А.И. Введение в теорию полупроводников : учеб. пособие. СПб. : Лань, 2008. 624 с.
3. Фотоприемники видимого и ИК диапазонов / Под ред. Р.Д. Киеса. М. : Радио и связь, 1985. 328 с.
4. Рывкин С.М. Фотоэлектрические явления в полупроводниках. М., 1963. 496 с.
5. Херман М. Полупроводниковые сверхрешетки. М. : Мир, 1989. 240 с.
6. Пихтин А.Н. Оптическая и квантовая электроника. М. :Высш. шк., 2001. 573 с.
7. Ю П., Кардона М. Основы физики полупроводников. М. :Физматлит, 2002. 560 с.
8. Грундман М. Основы физики полупроводников. Нанопизика и технические приложения. М. :Физматлит, 2012. 772 с.
9. Гантмахер В.Ф., Левинсон И.Б. Рассеяние носителей тока в металлах и полупроводниках. М.: Наука, 1984. 352 с.

10. Кейси Х., Паниш М. Лазеры на гетероструктурах. В 2-х томах. Т.1. М.: Мир, 1981. 304 с.
11. Кейси Х., Паниш М. Лазеры на гетероструктурах. В 2-х томах. Т.2. М.: Мир, 1981. 268 с.
12. Войцеховский А.В., Петров А.С., Потахова Г.И. Оптика полупроводников : учеб. пособие. Томск: Изд. Томского гос. ун-та, 1987. 221 с.
13. Оптическая ориентация / Под ред. Ф. Майера и Б.П. Захарчени. Л. : Наука, 1989. 408 с.

6. Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся

Размещение учебных материалов:

Адрес в интернете, по которому размещены учебные материалы дисциплины:

http://www.isp.nsc.ru/index.php?ACTION=part&id_part=4&sub_part=79&sub_sub_part=4227.

<http://www.isp.nsc.ru/obrazovanie/aspirantura/obshchaya-informatsiya>

1. В.Л.Альперович. Оптические процессы в полупроводниках. Программа курса, вопросы к коллоквиуму, задание, рекомендованная литература. (Интернет-ресурс: http://www.isp.nsc.ru/index.php?ACTION=part&id_part=4&sub_part=79&sub_sub_part=422).
2. В.Л. Альперович. Дополнительные вопросы и комментарии к программе кандидатского экзамена по физике полупроводников. Методические указания, схема ответов по наиболее сложным разделам, контрольные вопросы, задачи, рекомендованная литература. (Интернет-ресурс: <http://www.isp.nsc.ru/obrazovanie/aspirantura/obshchaya-informatsiya>).
3. А. В. Ненашев, В. Л. Альперович. Колебания кристаллической решётки. Учебное пособие. РИЦ НГУ, Новосибирск, 2015.
4. Бонч-Бруевич В.Л., Калашников С.Г. Физика полупроводников. М.: Наука, 1977. 672 с.
5. МоссТ., БареллГ., ЭллисБ.. Полупроводниковая оптоэлектроника. М. : Мир, 1976. 431 с.

Обучающиеся полностью обеспечены необходимой научной литературой за счет фондов библиотеки НГУ (<http://libra.nsu.ru/>). Обучающимся, проходящим практику в Институтах СО РАН, предоставляется доступ к информационным ресурсам на тех же основаниях, что и научным сотрудникам этих институтов на основании договоров о прохождении практической подготовки.

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

Освоение дисциплины используются следующие ресурсы:

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

Взаимодействие обучающегося с преподавателем (синхронное и (или) асинхронное) осуществляется через личный кабинет студента в ЭИОС. Электронный адрес преподавателя: alper_isp@mail.ru

5.3 Современные профессиональные базы данных:

1. Полнотекстовые журналы SpringerJournals за 1997-2020 г., электронные книги (2005-2020 гг.), коллекция научных биомедицинских и биологических протоколов SpringerProtocols, коллекция научных материалов в области физических наук и инжиниринга SpringerMaterials, реферативная БД по чистой и прикладной математике

zbMATH.

2. Электронная библиотека диссертаций Российской государственной библиотеки (ЭБД РГБ).
3. Полнотекстовые электронные ресурсы FreedomCollection издательства Elsevier (Нидерланды) (23 предметные коллекции).
4. Электронные ресурсы Web of Science Core Collection (Thomson Reuters Scientific LLC.), Journal Citation Reports + ESI.
5. Электронные БД JSTOR (США). 15 предметных коллекций: Arts & Sciences I, II, III, IV, V, VI, VII, VIII, Life Sciences, Health & General Science, Mathematics & Statistics, Ecology & Botany, Language & Literature, Business I, II).
6. БД Scopus (Elsevier).

7.2. Информационные справочные системы

- Электронный архив: «Новые полупроводниковые материалы: Характеристики и свойства» - URL: <http://www.ioffe.ru/SVA/NSM/r/introduction.html>
-Раздел "Образование" сайта ИФП СО РАН - URL: http://www.isp.nsc.ru/index.php?ACTION=part&id_part=4&sub_part=81
-Поисковая платформа "Web of Knowledge" http://apps.webofknowledge.com/WOS_GeneralSearch_input.do?product=WOS&search_mode=GeneralSearch&SID=S2kBCc@@@5IIfkFB7B9a&preferencesSaved=&highlighted_tab=WOS; <http://wokinfo.com/russian>

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 MS Office.

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 практических занятий, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной 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

Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине и индикаторов их достижения, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы по дисциплине представлен в разделе 1.

10.1 Порядок проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине

Текущий контроль успеваемости:

Текущий контроль включает контроль посещаемости обучающимися еженедельных занятий, оценку их активности в ходе дискуссий и проверки заданий для самостоятельного решения.

Для организации и контроля самостоятельной работы аспирантов, а также проведения консультаций применяются информационно-коммуникационные технологии. Накануне каждого занятия аспирантам по электронной почте высылаются файлы с детальным планом занятия, контрольными вопросами и заданиями по теме, точным указанием страниц учебников и пособий, которые рекомендуется прочесть для активного усвоения материала на занятии.

Текущий контроль успеваемости учитывается в рамках промежуточной аттестации.

Промежуточная аттестация:

Промежуточная аттестация по дисциплине «Оптические явления в полупроводниках для аспирантов» проводится по итогам завершения программы дисциплины в виде зачета, по результатам которого выставляется оценка «зачтено» или «не зачтено». Оценка «зачтено» может быть выставлена по результатам текущего контроля, если в ходе представления самостоятельно подготовленного доклада и ответов на вопросы обучающийся продемонстрировал уровень сформированности компетенций не ниже порогового. Оценка «зачтено» является положительным результатом прохождения промежуточной аттестации. На зачете для дополнительной проверки сформированности отдельных компетенций обучающемуся могут быть заданы вопросы по пройденному материалу.

Описание критериев и шкал оценивания индикаторов достижения результатов обучения по дисциплине Оптические явления в полупроводниках для аспирантов

Таблица 10.1

Код компетенции	Результат обучения по дисциплине	Оценочное средство
УК-1. Способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях		Работа на практических занятиях Представление доклада Зачет
УК-1.1	Знать актуальные исследования и критически анализировать результаты предшественников и современные достижения в области физики в применении к профессиональной области деятельности.	
УК-1.2	Уметь ставить задачи научно-исследовательской деятельности на основе сопоставительного анализа современных достижений физики, в части постановки актуальных задач научных исследований в применении к профессиональной	

	области деятельности и в зависимости от специфики объекта исследования.	
УК-5 Способность планировать и решать задачи собственного профессионального и личностного развития		Работа на практических занятиях Представлен ие доклада Зачет
УК-5.1	Знать возможные направления профессиональной самореализации, владеть приемами планирования и оценки собственной деятельности по решению профессионально-значимых задач.	
УК-5.2	Уметь выявлять и формулировать проблемы собственного профессионального развития, владеть приемами осознания собственных достижений с целью их совершенствования.	
УК-5.3	Обладать знаниями, достаточными для выполнения научных исследований на современном мировом уровне в применении к профессиональной области деятельности в зависимости от специфики объекта исследования.	
ОПК-1. Способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий		Работа на практических занятиях Представлен ие доклада Зачет
ОПК-1.1	Знать современные научные методы исследования и информационно-коммуникационные технологии в применении к профессиональной области деятельности.	
ОПК-1.2	Уметь определять и применять современные научные методы исследования и информационно-коммуникационные технологии в зависимости от специфики объекта исследования.	
ОПК-1.3	Владеть способностью составлять и оформлять научно-технической документацию, научные отчеты, обзоры, доклады и статьи.	
ПК-1. Способность построения теоретических моделей физических явлений и процессов в области физики в зависимости от специфики профиля подготовки.		Работа на практических занятиях Представлен ие доклада Зачет
ПК-1.1	Знать теоретические основы, базовые понятия и модели построения теоретических моделей физических явлений и процессов в зависимости от специфики профиля подготовки и объекта исследования.	
ПК-1.2	Уметь ставить задачи научно-исследовательской деятельности на основе сопоставительного анализа современных достижений в зависимости от специфики профиля подготовки и объекта исследования.	
ПК-2. Способность к решению научных и практических задач в области физики в зависимости от специфики профиля подготовки.		Работа на практических занятиях Представлен ие доклада Зачет
ПК-2.1	Знать физические основы базовых экспериментов в зависимости от специфики профиля подготовки и объекта исследования.	
ПК-2.2	Уметь определять и применять современные научные методы в зависимости от специфики профиля подготовки и объекта исследования.	

Таблица 10.2

Критерии оценивания результатов обучения	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Уровень освоения компетенции			
		Не сформирован (не зачтено)	Пороговый уровень (зачтено)	Базовый уровень (зачтено)	Продвинутый уровень (зачтено)
1	2	3	4	5	6
Полнота знаний	УК 1.1 УК 5.1 ОПК 1.1 ПК 1.1 ПК 2.1	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имеют место грубые ошибки.	Минимально допустимый уровень знаний. Допускается значительное количество негрубых ошибок.	Уровень знаний соответствует программе подготовки по темам/разделам дисциплины. Допускается несколько негрубых/несущественных ошибок. Не отвечает на дополнительные вопросы.	Уровень знаний соответствует программе подготовки по темам/разделам дисциплины. Свободно и аргументированно отвечает на дополнительные вопросы.
Наличие умений	УК 1.2 УК 5.2 ОПК 1.2 ПК 1.2 ПК 2.2	Отсутствие минимальных умений. Не умеет решать стандартные задачи. Имеют место грубые ошибки.	Продемонстрированы частично основные умения. Решены типовые задачи. Допущены негрубые ошибки.	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задания с негрубыми ошибками или с недочетами.	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задания в полном объеме без недочетов и ошибок.
Наличие навыков (владение опытом)	УК 5.3 ОПК 1.3	Отсутствие владения материалом по темам/разделам дисциплины. Нет навыков в решении стандартных задач. Наличие	Имеется минимальный набор навыков при решении стандартных задач с некоторыми недочетами.	Имеется базовый набор навыков при решении стандартных задач с некоторыми недочетами.	Имеется базовый набор навыков при решении стандартных задач без ошибок и недочетов. Продемонстрированы знания по решению

		грубых ошибок.			нестандартных задач.
--	--	----------------	--	--	----------------------

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

Тематика докладов дисциплины

«Оптические явления в полупроводниках для аспирантов».

Ниже приведена примерная тематика докладов дисциплины (конкретная тема доклада определяется преподавателем совместно с обучающимся с учетом специфики научных исследования аспиранта).

1. Механизмы поглощения света в полупроводниках: межзонные оптические переходы в прямозонных и непрямозонных полупроводниках, *экситонное* поглощение, поглощение света на фононах, на свободных носителях заряда и на примесях.
2. Оптические явления во внешних электрическом и магнитном полях.
3. Оптические явления в структурах с квантовыми ямами: межзонное поглощение, экситонные эффекты. Квантовый эффект Штарка.
4. Полупроводниковые излучатели: светодиоды и полупроводниковые лазеры. Инжекционные лазеры на основе двойной гетероструктуры. Белые светодиоды на основе соединений AlGaIn-InGaIn.
5. Внешний фотоэффект. Полупроводниковые фотоэммитеры с отрицательным электронным средством.

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.