

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ
Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»
Институт физики

УТВЕРЖДАЮ

Директор Института физики,
профессор

С.Б. Вениг

2023 г.



Рабочая программа дисциплины
Электронные свойства кристаллов

Направление подготовки бакалавриата
11.03.04 «Электроника и наноэлектроника»

Профиль подготовки бакалавриата
«Микро- и наноэлектроника, диагностика
нано- и биомедицинских систем»

Квалификация (степень) выпускника
Бакалавр

Форма обучения
Очная

Саратов,
2023 г.

Статус	ФИО	Подпись	Дата
Преподаватель-разработчик	Скрипаль Ал.В.		08.06.23
Председатель НМК	Скрипаль Ан.В.		08.06.23
Заведующий кафедрой	Скрипаль Ал.В.		08.06.23
Специалист Учебного управления			

1. Цели освоения дисциплины

Целью освоения дисциплины «Электронные свойства кристаллов» является формирование у студентов комплекса профессиональных знаний и умений (владений) и усвоение материала в области физики конденсированного состояния, основных свойств, присущих полупроводниковым материалам и физических электронных явлений в кристаллах, лежащих в основе работы приборов полупроводниковой электроники, приобретение студентами знаний и выработка навыков в исследованиях электронных свойств кристаллов, приобретение студентами знаний в области создания современной элементной базы микро- и наноэлектроники.

Задачами освоения дисциплины являются:

- формирование и углубление знаний в теории физики конденсированных состояний, о физических явлениях в электронных кристаллах и основных свойствах, присущих как этим материалам в целом, так и отдельным наиболее широко применяемым на практике материалам;
- формирование умений проводить теоретическое описание основных электронных свойств кристаллов;
- формирование владений сведениями об основных тенденциях развития электронной компонентной базы.

2. Место дисциплины в структуре ООП бакалавриата

Дисциплина «Электронные свойства кристаллов» относится к обязательной части блока Б1 «Дисциплины (модули)» и изучается студентами очной формы обучения Института физики СГУ, проходящими подготовку по направлению 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника» по профилю «Микро- и наноэлектроника, диагностика нано- и биомедицинских систем», в течение 5 учебного семестра. Материал дисциплины опирается на ранее приобретенные студентами знания по механике и молекулярной физике, электричеству и магнетизму, оптике, термодинамике, математике, химии, теоретическим основам радиоэлектроники, квантовой механике, кристаллографии и кристаллофизике и подготавливает студентов к изучению в том же или в последующих семестрах таких дисциплин как «Физика полупроводников», «Квантовая теория твёрдого тела», «Физика квантово-размерных структур», «Физические основы твердотельной электроники», «Материалы электронной техники и наноэлектроники», «Микроэлектроника и наноэлектроника», «Квантовая и оптическая электроника», «Технология материалов и структур электроники», «Основы сенсорики».

3. Результаты обучения по дисциплине

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора (индикаторов) достижения компетенции	Результаты обучения
<p>ОПК-1. Способен использовать положения, законы и методы естественных наук и математики для решения задач инженерной деятельности</p>	<p>1.1_Б.ОПК-1. Понимает важность применения фундаментальных законов природы и основных физических и математических законов.</p> <p>2.1_Б.ОПК-1. Аргументированно применяет физические законы и математические методы для решения задач теоретического и прикладного характера.</p> <p>3.1_Б.ОПК-1. Использует знания физики и математики при решении конкретных задач инженерной деятельности.</p>	<p>Знать основные положения, законы и методы естественных наук и математики, используемые в области физики твёрдого тела; классификацию твердых тел на металлы, полупроводники и диэлектрики с точки зрения зонной теории, основные электрические, магнитные и оптические свойства твердых тел, особенности электронных свойств неупорядоченных и аморфных материалов;</p> <p>Уметь оценивать пределы применимости классического подхода, роль и важность квантовых эффектов при описании физических процессов в элементах нанoeлектроники; проводить теоретическое описание основных электронных свойств кристаллов; применять физические законы и математические методы для решения задач теоретического и прикладного характера в области физики твёрдого тела;</p> <p>Владеть знаниями физики твёрдого тела, необходимыми при решении конкретных задач инженерной деятельности; методами квантово-механического описания простейших квантовых систем, входящих в состав элементов электроники и нанoeлектроники; сведениями об основных тенденциях развития электронной компонентной базы.</p>

4. Структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетные единицы, 144 часа.

№ п/п	Раздел дисциплины	Се- мес- тр	Не- деля семе- стра	Виды учебной работы, включая само- стоятельную работу студентов и трудо- емкость (в часах)				Формы текуще- го контроля ус- певаемости (<i>по неделям семест- ра</i>) Формы проме- жуточной атте- стации (<i>по семе- страм</i>)	
				Лек	Лабораторные		Пр	СРС	
					Общая трудо- емкость	Из них – практич- еская подго- товка			
1.	Введение	5	1	2			2	6	Опрос
2.	Основные положения зонной теории.	5	2-4	6			4	10	Опрос
3.	Влияние нарушения периодичности на энергетический спектр электронов в кристалле.	5	5-7	6			2	8	Опрос
4.	Колебания кристаллической решетки.	5	8-10	6			2	8	Опрос
5.	Статистика равновесных электронов и дырок в твердых телах.	5	11-13	6			4	8	Опрос.
6.	Кинетическое уравнение Больцмана и рассеяние электронов.	5	14-15	4			2	8	Опрос
7.	Электропроводность полупроводников.	5	16-17	4			2	8	Опрос. Контрольная работа. Реферат
	Итого:	5		34	0	0	18	56	56
	Контроль	5		36					
	Промежуточная аттестация	5							Экзамен
	Общая трудоемкость дисциплины			144					

Содержание дисциплины

1. Введение.

1.1. Предмет и задачи курса. Основные задачи развития физики и электроники полупроводников. Значение полупроводников в современной физике, технике и различных отраслях народного хозяйства.

- 1.2. Краткий исторический очерк развития науки о полупроводниках.
- 1.3. Роль отечественных ученых в развитии современной физики твердого тела.
- 1.4. Классификация твердых тел по электрическим свойствам: диэлектрики, полупроводники, металлы.
- 1.5. Зависимость электропроводности от температуры в металлах и полупроводниках.
- 1.6. Виды полупроводниковых материалов: элементарные полупроводники, бинарные соединения, тройные и сложные соединения, твердые растворы, органические полупроводники, стеклообразные и аморфные полупроводники.

2. Основные положения зонной теории.

- 2.1. Уравнение Шредингера для электронов в периодическом поле кристалла.
 - 2.2. Волновые функции и энергетический спектр электронов.
 - 2.3. Волновой вектор, квазиимпульс. Закон дисперсии. Зоны Бриллюэна.
 - 2.4. Скорость и ускорение электронов в кристалле, эффективная масса носителей тока и ее анизотропия.
 - 2.5. Дырочная проводимость кристалла. Электрон и дырка в кристалле как квазичастицы. Разделение веществ на металлы, диэлектрики и полупроводники.
- Контрольная работа.

3. Влияние нарушения периодичности на энергетический спектр электронов в кристалле.

- 3.1. Элементарная теория примесных состояний.
- 3.2. Мелкие и глубокие уровни. Амфотерные примеси. Многовалентные примесные центры.

4. Колебания кристаллической решетки.

- 4.1. Колебания одноатомной линейной цепочки. Закон дисперсии. Пределы изменения и дискретность волнового вектора колебаний.
- 4.2. Колебания двухатомной линейной цепочки. Акустические и оптические колебания.
- 4.3. Случай трехмерного кристалла.
- 4.4. Волновой и корпускулярные аспекты рассмотрения колебаний. Понятие о фононах.
- 4.5. Статистика фононов.

5. Статистика равновесных электронов и дырок в твердых телах.

- 5.1. Плотность состояний и функции распределения электронов и дырок в кристалле. Уровень Ферми.
- 5.2. Уравнение нейтральности. Температурная зависимость положения уровня Ферми и концентрации носителей в полупроводниках (собственном, некомпенсированном и компенсированном примесных полупроводниках).
- 5.3. Вырождение электронного газа в полупроводниках. Свойства электронных невырожденного и вырожденного газов.

6. Кинетическое уравнение Больцмана и рассеяние электронов.

6.1. Кинетическое уравнение Больцмана. Интеграл столкновений.

6.2. Время релаксации. Зависимость времени релаксации от энергии и температуры для различных механизмов рассеяния (рассеяния на акустических и оптических колебаниях решетки, ионизированной и нейтральной примесях и др.)

6.3. Решение кинетического уравнения для полупроводника, помещенного в скрещенное электрическое, магнитное и температурное поля. Плотность тока и плотность потока энергии. Кинетические коэффициенты.

7. Электропроводность полупроводников.

7.1. Дрейфовая подвижность и ее температурная зависимость при различных механизмах рассеяния. Экспериментальные данные для некоторых полупроводников.

7.2. Температурная зависимость электропроводности.

7.3. Электропроводность в сильных полях. Зависимость подвижности от поля.

7.4. Механизмы увеличения концентрации носителей в сильных полях.

7.5. Акустоэлектрические эффекты.

7.6. Эффект Ганна.

Примерная тематика практических занятий (семинаров)

1. Зависимость электропроводности от температуры в металлах и полупроводниках.
2. Уравнение Шредингера для электронов в периодическом поле кристалла.
3. Скорость и ускорение электронов в кристалле, эффективная масса носителей тока и ее анизотропия.
4. Элементарная теория примесных состояний.
5. Колебания одноатомной линейной цепочки. Закон дисперсии. Пределы изменения и дискретность волнового вектора колебаний.
6. Колебания двухатомной линейной цепочки. Акустические и оптические колебания.
7. Плотность состояний и функции распределения электронов и дырок в кристалле. Уровень Ферми.
8. Уравнение нейтральности. Температурная зависимость положения уровня Ферми и концентрации носителей в полупроводниках.
9. Кинетическое уравнение Больцмана. Интеграл столкновений.
10. Время релаксации. Зависимость времени релаксации от энергии и температуры для различных механизмов рассеяния.
11. Дрейфовая подвижность и ее температурная зависимость.
12. Температурная зависимость электропроводности.
13. Электропроводность в сильных полях. Зависимость подвижности от поля.
14. Эффект Ганна.

5. Образовательные технологии, применяемые при освоении дисциплины

При реализации различных видов учебной работы (лекции, практические занятия, самостоятельная работа) используются следующие современные образовательные технологии:

- Исследовательские методы в обучении
- Проблемное обучение

В соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 11.03.04 «Электроника и нанoeлектроника», реализация компетентностного подхода предусматривает широкое использование в учебном процессе активных и интерактивных форм проведения занятий (компьютерные симуляции, разбор конкретных ситуаций, работа над проектами) в сочетании с внеаудиторной работой с целью формирования и развития профессиональных навыков обучающихся.

Использование интерактивных форм и методов обучения направлено на достижение ряда важнейших образовательных целей:

- стимулирование мотивации и интереса в осваиваемой предметной области;
- повышение уровня активности и самостоятельности обучаемых;
- развитие навыков анализа, критичности мышления, взаимодействия, коммуникации;
- саморазвитие и развитие обучаемых благодаря активизации мыслительной деятельности и диалогическому взаимодействию с преподавателем и другими участниками образовательного процесса.

При реализации программы дисциплины предусмотрены также встречи с представителями российских компаний.

При проведении практических (семинарских) занятий в активной форме проводится детальное рассмотрение основ теории физики конденсированных состояний, основных физических явлений в электронных кристаллах, основных электрических свойств твердых тел, основных тенденций развития электронной компонентной базы в соответствии с приведенным в разделе 4 списком тем (по выбору преподавателя).

Условия обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья:

- предоставление инвалидам по зрению или слабовидящим возможностей использовать крупноформатные наглядные материалы;

- организация коллективных занятий в студенческих группах с целью оказания помощи в получении информации инвалидам и лицам с ограниченными возможностями по здоровью;

- проведение индивидуальных коррекционных консультаций для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья.

- использование индивидуальных графиков обучения

- использование дистанционных образовательных технологий

6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины.

В преподавании дисциплины «Электронные свойства кристаллов» используются учебная и научно-исследовательская литература, Интернет сайты, сайт библиотеки Саратовского государственного университета имени Н.Г. Чернышевского.

Предлагаются темы рефератов, вопросы для текущего контроля, промежуточной аттестации.

Самостоятельная работа студентов по дисциплине проводится в течение всего периода освоения и заключается в чтении и изучении литературы, подготовке к лекциям и практическим (семинарским) занятиям, в выполнении заданий лектора, работе в компьютерном классе или библиотеке, использовании интернет-технологий.

Рекомендуется:

- для качественного усвоения материала лекций разбирать вопросы, изложенные в каждой очередной лекции, до следующей, по непонятым деталям консультироваться у лектора, читать соответствующую литературу;

- при подготовке к семинарским занятиям пользоваться рекомендациями преподавателя, ведущего семинары, готовить краткий конспект по вопросам темы, изучать литературу по теме занятия;

- задания, которые даются лектором во время лекции по отдельным вопросам, обязательны для выполнения, и качество их выполнения будет проверяться во время экзамена.

Перечень заданий самостоятельной работы, предлагаемых студентам в ходе чтения лекций:

1. Уравнение Шредингера для электронов в периодическом поле кристалла, адиабатическое и одноэлектронное приближение при решении уравнения Шредингера для электронов в периодическом поле кристалла.

2. Основные положения модели Кронига-Пенни, уравнение Кронига-Пенни. Решение уравнения Кронига-Пенни в приближении сильной связи. Графическое решение уравнения Кронига-Пенни в случае произвольной связи.

3. Эффективная масса электрона в кристалле, свойства эффективной массы. Метод эффективной массы.

4. Зонная диаграмма собственного и примесного полупроводников. Разделение веществ на металлы, диэлектрики и полупроводники с точки зрения зонной модели твердых тел. Трехмерный периодический потенциал, заполненность энергетических зон в кристаллах.
5. Концентрация электронов в зоне проводимости и дырок в валентной зоне невырожденного полупроводника. Вывод выражения для уровня Ферми ζ в собственном полупроводнике, его температурная зависимость.
6. Температурная зависимость уровня Ферми и концентрации электронов в зоне проводимости примесного полупроводника.
7. Фазовая и групповая скорости распространения волны в дискретной одномерной решетке из одинаковых атомов, минимальная длина волны.
8. Акустическая и оптические ветви колебаний кристалла, состоящего из атомов разных сортов. Фонон, энергия фонона, рождение и уничтожение фононов.
9. Кинетическое уравнение Больцмана, слагаемые, описывающего процессы диффузии носителей заряда при наличии градиента концентрации или температуры и процессы вызванные действием внешней силы. Столкновительный член в приближении времени релаксации.

При реализации программы дисциплины «Электронные свойства кристаллов» студентам предлагается выполнить (подготовить) реферат.

Примерный перечень предлагаемых тем рефератов:

1. Скорость и ускорение электронов в кристалле, эффективная масса носителей тока и ее анизотропия.
2. Колебания одноатомной линейной цепочки. Закон дисперсии. Пределы изменения и дискретность волнового вектора колебаний.
3. Колебания двухатомной линейной цепочки. Акустические и оптические колебания.
4. Плотность состояний и функции распределения электронов и дырок в кристалле. Уровень Ферми.
5. Уравнение нейтральности. Температурная зависимость положения уровня Ферми и концентрации носителей в полупроводниках.
6. Кинетическое уравнение Больцмана. Интеграл столкновений.
7. Дрейфовая подвижность и ее температурная зависимость. Температурная зависимость электропроводности.
8. Электропроводность в сильных полях. Эффект Ганна.

Рефераты выполняются под руководством преподавателя и должны содержать элементы литературного обзора по теме, анализа в соответствии с конкретной спецификой выбранной темы. Рефераты следует выполнять в течение всего семестра с периодическим обсуждением результатов с преподавателем.

Промежуточная аттестация проводится в форме экзамена (5-й семестр).

Контрольные вопросы для проведения промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины

1. Классическая электронная теория металлов и её ограниченность (Теория Друде – Лоренца).
2. Уравнение Шредингера для свободного электронного газа и его решение.
3. Уравнение Шредингера для свободного электронного газа в кристалле и его решение.
4. Плотность состояний свободных электронов.
5. Функция распределения свободных электронов по энергиям, положение уровня Ферми в металле.
6. Уравнение Шредингера для электронов в периодическом поле кристалла, адиабатическое приближение при решении уравнения Шредингера для электронов в периодическом поле кристалла.
7. Уравнение Шредингера для электронов в периодическом поле кристалла, сведение задачи к одноэлектронной при решении уравнения Шредингера для электронов в периодическом поле кристалла.
8. Основные положения модели Кронига-Пенни, уравнение Кронига-Пенни.
9. Решение уравнения Кронига-Пенни в приближении сильной связи.
10. Графическое решение уравнения Кронига-Пенни в случае произвольной связи.
11. Соотношение Блоха для волновой функции электрона периодическом потенциале и выражение для Блоховской функции.
12. Зона Бриллюэна.
13. Эффективная масса электрона в кристалле, свойства эффективной массы.
14. Дырка как квазичастица, масса, заряд.
15. Метод эффективной массы.
16. Энергетический спектр примеси типа замещения, водородоподобная модель.
17. Зонная диаграмма собственного и примесного полупроводников.
18. Разделение веществ на металлы, диэлектрики и полупроводники с точки зрения зонной модели твердых тел.
19. Трёхмерный периодический потенциал, заполненность энергетических зон в кристаллах.
20. Вывод выражения для концентрации электронов в зоне проводимости и дырок в валентной зоне невырожденного полупроводника.
21. Вывод выражения для уровня Ферми ζ в собственном полупроводнике, его температурная зависимость.
22. Вывод выражения для концентрации носителей заряда в собственном полупроводнике.
23. Температурная зависимость уровня Ферми и концентрации электронов в зоне проводимости собственного полупроводника.
24. Вывод выражения для уровня Ферми ζ в примесном полупроводнике, его температурная зависимость.

25. Вывод выражения для концентрации носителей заряда в примесном полупроводнике.
26. Температурная зависимость уровня Ферми и концентрации электронов в зоне проводимости примесного полупроводника.
27. Вывод закона дисперсии для колебаний в одномерной решетке из одинаковых атомов.
28. Фазовая и групповая скорости распространения волны в дискретной одномерной решетке из одинаковых атомов, минимальная длина волны.
29. Вывод закона дисперсии для колебаний в одномерной решетке из атомов разных сортов
30. Акустическая ветвь колебаний кристалла, состоящего из атомов разных сортов.
31. Оптическая ветвь колебаний кристалла, состоящего из атомов разных сортов.
32. Фонон, энергия фонона, рождение и уничтожение фононов.
33. Вывод выражения для слагаемого в кинетическом уравнении Больцмана, описывающего процессы диффузии носителей заряда при наличии градиента концентрации или температуры.
34. Вывод выражения для слагаемого в кинетическом уравнении Больцмана, описывающего процессы вызванные действием внешней силы.
35. Запись кинетического уравнения Больцмана со столкновительным членом в виде интеграла столкновений.
36. Запись кинетического уравнения Больцмана со столкновительным членом в приближении времени релаксации.

7. Данные для учета успеваемости студентов в БАРС

Таблица 1.1 Таблица максимальных баллов по видам учебной деятельности

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Семестр	Лекции	Лабораторные занятия	Практические занятия	Самостоятельная работа	Автоматизированное тестирование	Другие виды учебной деятельности	Промежуточная аттестация	Итого
5	20	0	20	20	0	10	30	100

Программа оценивания учебной деятельности студента

5 семестр

Лекции

Посещаемость, опрос, активность и др. за один семестр – от 0 до 20 баллов.

Лабораторные занятия

Не предусмотрены.

Практические занятия:

Посещаемость, опрос, активность и др. за один семестр – от 0 до 20 баллов.

Самостоятельная работа

Выполнение заданий на самостоятельную работу – от 0 до 20 баллов.

Автоматизированное тестирование

Не предусмотрено.

Другие виды учебной деятельности:

Реферат, научно-исследовательская и методическая деятельность по дисциплине, блиц-опрос, контрольный опрос - от 0 до 10 баллов

Промежуточная аттестация (экзамен)

Экзамен проводится в устной форме и предполагает ответ на 2 вопроса билета.

При проведении промежуточной аттестации
ответ на «отлично» оценивается от – **21 до 30 баллов**;
ответ на «хорошо» оценивается от – **11 до 20 баллов**;
ответ на «удовлетворительно» оценивается от – **6 до 10 баллов**;
ответ на «неудовлетворительно» оценивается от **0 до 5 баллов**.

Таким образом, максимально возможная сумма баллов за все виды учебной деятельности студента за 5 семестр по дисциплине «Электронные свойства кристаллов» составляет 100 баллов.

Таблица 2.2 Таблица пересчета полученной студентом суммы баллов по дисциплине «Электронные свойства кристаллов» в оценку (экзамен):

86 - 100 баллов	«отлично»
70 - 85 баллов	«хорошо»
50 - 69 баллов	«удовлетворительно»
меньше 50 баллов	«неудовлетворительно»

Оценка студентам, успешно прошедшим обучение по дисциплине, может быть проставлена без сдачи ими экзамена на основании рейтинговой оценки по решению преподавателя.

Текущие индивидуально набранные студентами баллы доводятся до их сведения 2 раза за семестр: в конце 8 и 17 недель обучения.

8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) литература:

1. Шалимова К. В. Физика полупроводников: учебник. - 4-е изд., стер. - Санкт-Петербург ; Москва ; Краснодар : Лань, 2010. – 400 с. (В ЗНБ СГУ 43 экз.)
2. Шалимова К. В. Физика полупроводников [**Электронный ресурс**]: учебник. - 4-е изд., стер. - СПб. ; М. ; Краснодар : Лань, 2021. – 384 с. – ЭБС "ЛАНЬ"
3. Основы физики полупроводников/ Зегря Г.Г., Перель В.И. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009. – 335 с. (В ЗНБ СГУ 30 экз.)
4. Ансельм А.И. Введение в теорию полупроводников. – СПб.; М.; Краснодар: Изд-во Лань, 2008. – 624 с. (В ЗНБ СГУ 41 экз.)
5. Ансельм А. И. Введение в теорию полупроводников [**Электронный ресурс**] : учеб. пособие. – М. : Лань, 2021. - 624 с. **Гриф НМС МО РФ.** — ЭБС «ЛАНЬ»
6. Гуревич А. Г. Физика твёрдого тела: учеб. пособие для студентов физ. специальностей ун-тов и техн. ун-тов; Физ.-техн. ин-т им. А. Ф. Иоффе РАН. – СПб.: Нев. Диалект: БХВ-Петербург, 2004. – 318 с. (В ЗНБ СГУ 15 экз.)
7. Физика твёрдого тела: учеб. для вузов / П. В. Павлов, А. Ф. Хохлов. – Н. Новгород: Изд-во Нижегород. ун-та, 1993. – 490 с. (В ЗНБ СГУ 12 экз.), 2000 г. (1 экз.)
8. Основы физики твердого тела: учеб. пособ. по физике твердого тела для студентов вузов / В. И. Зиненко, Б. П. Сорокин, П. П. Турчин. – М.: Физматлит, 2001. – 336 с. (В ЗНБ СГУ 5 экз.)

б) программное обеспечение и Интернет-ресурсы:

1. Windows XP Prof
2. Антивирус Касперского 6.0 для Windows Workstations
3. Microsoft Office профессиональный 2010
4. Единое окно доступа к образовательным ресурсам. – Режим доступа: <http://window.edu.ru>
5. Зональная научная библиотека им. В.А.Артисевич Саратовского государственного университета им.Н.Г.Чернышевского. – Режим доступа: <http://library.sgu.ru/>

9. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Занятия по дисциплине «Электронные свойства кристаллов» проводятся в аудиториях, оснащенных компьютерной техникой, проекторами, наглядными демонстрационными материалами, мультимедийными установками и пр.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника» с учётом профиля подготовки «Микро- и наноэлектроника, диагностика нано- и биомедицинских систем».

Автор,
профессор, д.ф.-м.н. Скрипаль Ал.В.

Программа разработана в 2019 году и одобрена на заседании кафедры физики твёрдого тела от 24 апреля 2019 года, протокол № 6.

Программа актуализирована в 2023г. и одобрена на заседании кафедры физики твёрдого тела от 8 июня 2023 года, протокол № 10.