

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе
Российской академии наук



УТВЕРЖДАЮ
Зам. директора Института по научной работе

С. В. Лебедев

« _____ » _____ 2015

Рабочая программа обязательной дисциплины

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ТВЕРДЫХ ТЕЛ

основной образовательной программы подготовки научно-педагогических кадров в
аспирантуре по направлению 03.06.01 Физика и астрономия

профиль подготовки:

01.04.10 Физика полупроводников

Квалификация: Исследователь. Преподаватель-исследователь.

Принято Ученым советом

Протокол № 1 от « 20 » февраля 2015 г.

Санкт-Петербург

Рабочая программа составлена на основании федеральных государственных образовательных стандартов основных образовательных программ высшего образования подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре по направлению 03.06.01 Физика и астрономия, профиль 01.04.10 Физика полупроводников.

1. ЦЕЛЬ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Рассматриваемая дисциплина входит в перечень дисциплин по выбору в подготовке аспирантов, обучающихся по профилю 01.04.10 Физика полупроводников.

Целью курса является обеспечение понимания основ физических основ и принципов функционирования современных методов исследования твердых тел, таких как рентгеновская дифракция, просвечивающая электронная микроскопия, растровая электронная микроскопия, сканирующая туннельная микроскопия и атомно-силовая микроскопия. Будут получены знания в различных областях физики твердого тела. Кроме того, будут рассмотрены взаимодействия поверхности твердых тел с рентгеновским излучением, высокоэнергетичными электронами и ионами, также со сверхострыми твердотельными зондами. Будут приведены примеры о том, как использовать описанные выше методы для определения размера, формы, кристаллической и элементной структуры наноматериалов и наноструктур.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП

Обучение ведется в форме аудиторных занятий, лабораторных работ и самостоятельной подготовки.

Изучение дисциплины является основой для самостоятельной научно-исследовательской работы в области исследования свойств конденсированных систем.

В результате прохождения курса обучения по данной дисциплины аспирант должен освоить базовые принципы физики твердого тела в русле проблематики лаборатории (группы), где работает его научный руководитель, и где будет проходить самостоятельная научная работа аспиранта. Изучение данной дисциплины и специфика подачи отдельных вопросов может варьироваться в зависимости от индивидуального плана работы аспиранта, согласованного с его научным руководителем в целях оптимального соответствия решаемым задачам.

3. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Процесс изучения дисциплины «Современные методы исследования твердых тел» направлен на формирование следующих компетенций в соответствии с ООП:

3.1. Универсальные компетенции:

- 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).

3.2. Общепрофессиональные компетенции:

- способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий (ОПК-1).

3.3. Профессиональные компетенции:

- способность планировать, организовывать работу по проектам, направленным на разработку новых физических принципов работы и создание приборов на базе полупроводниковых материалов и композиционных полупроводниковых структур, разработку методов исследования полупроводников и композитных полупроводниковых структур (ПК-1);
- способность осуществлять моделирование свойств и физических явлений в

полупроводниках и структурах, технологических процессов и полупроводниковых приборов (ПК-2);

- способность применять технологические методы получения полупроводниковых материалов, композитных структур, структур пониженной размерности и полупроводниковых приборов и интегральных устройств на их основе (ПК-3);

- способность получать, обрабатывать, анализировать и систематизировать научно-техническую информацию по теме исследования, выбирать и обосновывать методики и средства решения поставленных задач (ПК-4).

В результате освоения дисциплины аспирант должен демонстрировать и применять углубленные знания в профессиональной деятельности.

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетные единицы (144 часа).

4.1. Объем дисциплины и количество учебных часов:

Вид учебной работы	Трудоемкость (в часах)
Аудиторные занятия	54
Лекции	54
Семинары	-
Лабораторные занятия	
Другие виды учебной работы (зачет по темам курса)	
Внеаудиторные занятия	90
Самостоятельная работа аспиранта	90
ИТОГО	144
Вид итогового контроля	зачет

4.2. Структура дисциплины

№ п/п	Тема	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу, и трудоемкость (в часах)			
		Лек	СЕМ	Лаб	СР
1	Введение	6			10
2	Методы диагностики твердых тел и параметры, определяемые с их помощью	6			10
3.	Дифракционные методы исследования кристаллической структуры	6			10
4	Высокоразрешающая рентгеновская дифракция	6			10
5	Растровая электронная микроскопия.	6			10
6	Просвечивающая электронная микроскопия	6			10
7	Вторичная ионная масс-спектрометрия	6			10
8	Атомно-силовая микроскопия	6			10
9	Сканирующая туннельная микроскопия.	6			10
10	зачет				

	ИТОГО	54		90
--	-------	----	--	----

5. Содержание разделов (тем) дисциплины

5.1. Содержание аудиторных занятий

Тема 1 – Введение.

(лекции - 6 часа)

Физика твердого тела. Основные параметры и характеристики твердых тел.

(СР - 10 часов)

Тема 2 – Методы диагностики твердых тел и параметры, определяемые с их помощью

(лекции - 6 часа)

Физические основы и принципы функционирования современных методов исследования твердых тел, таких как рентгеновская дифракция, просвечивающая электронная микроскопия, растровая электронная микроскопия, сканирующая туннельная микроскопия и атомно-силовая микроскопия.

(СР – 10 часов)

Тема 3 – Дифракционные методы исследования кристаллической структуры.

(лекции - 6 часа)

Источники рентгеновского излучения. Опыты Лауэ и Брэгга. Дифракция рентгеновских лучей на атомных плоскостях. Схемы установок рентгеновской дифракции. Рентгеновская топография.

(СР – 10 часов)

Тема 4 – Высокора разрешающая рентгеновская дифракция.

(лекции - 6 часа)

Высокора разрешающая рентгеновская дифракция. Влияние наличия и видов дефектов в структуре на положение и форму максимума отражения, их идентификация..

(СР – 10 часов)

Тема 5 – Растровая электронная микроскопия.

(лекции - 6 часа)

Устройство растрового электронного микроскопа, принцип действия, основные характеристики. Взаимодействие высокоэнергетичных электронов с поверхностью твердого тела. Получение изображений с помощью сигналов: обратно-рассеянных электронов, вторичных электронов, Оже-электронов, катодолюменесценция и тока, индуцированный электронным зондом. Рентгеновский микроанализ.

(СР – 10 часов)

Тема 6 - Просвечивающая электронная микроскопия.

(лекции - 6 часа)

Устройство просвечивающего электронного микроскопа, принцип действия, основные характеристики, параметры, определяемые при его помощи. Методы получения изображений в дифракционном и фазовом контрасте. Подготовка образцов для исследования в просвечивающем электронном микроскопе.

(СР – 10 часов)

Тема 7 - Вторичная ионная масс-спектрометрия.

(лекции - 6 часа)

Взаимодействие высокоэнергетичных ионов с поверхностью твердого тела. Конструкция масс-спектрометра и принцип его действия. Виды исследований, производимых с помощью вторичного ионного масс-спектрометра, измеряемые величины.

(СР – 10 часов)

Тема 8 - Атомно-силовая микроскопия.

(лекции - 6 часа)

Устройство атомно-силового микроскопа и принцип его действия. Механизмы взаимодействия зонда и поверхности твердого тела. Виды исследований, производимых с его помощью, измеряемые величины, достижимая точность.

(СР – 10 часов)

Тема 9 - Сканирующая туннельная микроскопия.

(лекции - 6 часа)

Устройство туннельного зондового микроскопа и принцип его действия. Туннельный ток через тонкий барьер. Виды исследований, производимых с помощью сканирующей туннельной микроскопии, измеряемые величины, достижимая точность. Манипуляция атомами.

(СР – 10 часов)

5.2. Самостоятельная работа аспиранта

Самостоятельная работа аспиранта включает повторение лекционного материала по темам, чтение рекомендованной литературы и научной периодики, а также изучение методических рекомендаций для самостоятельной работы.

6. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

Цель контроля - получение информации о результатах обучения и степени их соответствия результатам обучения.

6.1. Текущий контроль

Текущий контроль проводится еженедельно. Критерии формирования оценки – посещаемость занятий, активность студентов на лекциях, уровень подготовки.

Текущая самостоятельная работа аспиранта направлена на углубление и закрепление знаний, и развитие практических умений.

6.2. Аттестация

Аттестация проводится в форме зачета. Критерии формирования оценки – уровень знаний пройденной части курса.

Контрольные вопросы для аттестации:

№	Контрольные вопросы
1.	Дифракция рентгеновских лучей на атомных плоскостях.
2.	Взаимодействие высокоэнергетичных электронов с поверхностью твердого тела.
3.	Рентгеновский микроанализ.
4.	Методы получения изображений в дифракционном и фазовом контрасте в просвечивающем электронном микроскопе.
5.	Взаимодействие высокоэнергетичных ионов с поверхностью твердого тела.
6.	Туннельный ток через тонкий барьер.
7.	Механизмы взаимодействия зонда атомно-силового микроскопа и поверхности твердого тела.
8.	Физические основы и принципы функционирования метода рентгеновской дифракции
9.	Физические основы и принципы функционирования метода просвечивающей электронной микроскопии
10.	Физические основы и принципы функционирования метода растровой электронной микроскопии, сканирующая туннельная микроскопия и атомно-силовая микроскопия.
11.	Физические основы и принципы функционирования метода сканирующей туннельной микроскопии
12.	Физические основы и принципы функционирования метода атомно-силовой микроскопии.

7. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

В процессе обучения применяются следующие образовательные технологии:

1. Сопровождение лекций показом визуального материала;
2. Использование компьютерных моделей физических процессов в полупроводниках и диэлектриках;
3. Выполнение лабораторных работ с использованием современного научного оборудования.

8. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Учебные, учебно-методические и иные библиотечно-информационные ресурсы обеспечивают учебный процесс и гарантируют возможность качественного освоения аспирантом образовательной программы. ФТИ им. А.Ф.Иоффе располагает обширной библиотекой, включающей общенаучную и специальную литературу.

Основная литература:

1. Шуберт Ф.Е. Светодиоды. М.: Физматлит, 2008. – 495 с.
2. Фульц Б., Хау Д. М. Просвечивающая электронная микроскопия и дифрактометрия материалов. М: Техносфера, 2011. - 904 с.
3. Синдо Д., Оикава Т. Аналитическая просвечивающая электронная микроскопия для материаловедения. М.: Техносфера, 2007. - 255 с.
4. Наногетероструктуры в сверхвысокочастотной полупроводниковой электронике. Сборник, под ред. О. Кулешова. М.: Техносфера, 2010. - 432 с.
5. Васильев А.Г., Колковский Ю.В., Концевой Ю.А. СВЧ транзисторы на широкозонных полупроводниках. М.: Техносфера, 2011. - 256 с.
6. Брандон Д., Каплан В. Микроструктура материалов. Методы исследования и контроля. М.: Техносфера, 2006. – 377 с.
7. Оура К., Лифшиц В. Г., Саранин А. А., Зотов А. В. Введение в физику поверхности. М.: Наука, 2006. - 490 с.
8. Кларк Э.Р., Эберхард К.Н. Микроскопические методы исследования материалов. М.: Техносфера, 2007. - 376 с.
9. Миронов В.Л. Основы сканирующей зондовой микроскопии. М.: Техносфера, 2005. - 140 с.

Дополнительная литература

1. Уманский Я.С., Скаков Ю.А., Иванов А.Н., Расторгуев Л.Н. Кристаллография, рентгенография и электронная микроскопия. М.: Металлургия, 1982. – 632 с.
2. Основы аналитической электронной микроскопии / под ред. Дж. Гренг, Дж. И. Гольштейна, Д.К. Джоя, А.Д. Ромига. М.: Металлургия, 1990. – 584 с.
3. Спенс Дж. Экспериментальная электронная микроскопия высокого разрешения. М.: Наука, 1986. – 320 с.
4. Растровая электронная микроскопия и рентгеновский микроанализ. Кн. 1. пер. с англ. под ред. В.И. Петрова. М.: Мир, 1984. – 303 с.
5. Растровая электронная микроскопия и рентгеновский микроанализ. Кн. 2. пер. с англ. под ред. В.И. Петрова. М.: Мир, 1984. – 348 с.
6. Дифракционные и микроскопические методы в материаловедении. под ред. С. Амелинкаса, Р. Геверса, Дж. Ван Ланде / пер. с англ. под ред. М.П. Усикова. М.: Металлургия, 1984. – 504 с.

Программное обеспечение

1. Новые полупроводниковые материалы. Наноструктуры. Характеристики и свойства. База данных разработана и поддерживается сектором теоретических основ микроэлектроники: <http://www.matprop.ru/>

Интернет-ресурсы

Отечественные журналы:

- Физика твердого тела электронная версия; доступ с 1992 по текущий год
 Физика и техника полупроводников электронная версия; доступ с 1992 по текущий год
- ЖЭТФ; электронная версия; доступ с 2001 по текущий год
 Письма в ЖЭТФ электронная версия; доступ с 2008 по текущий год
 Успехи физических наук электронная версия; доступ с 1988 по текущий год

Иностранные журналы:

1. Physical Review B (American Physical Society) электронная версия; доступ с 1970 по текущий год;
2. Physical Review Letters (American Physical Society) электронная версия; доступ с 1958 по текущий год;
3. Applied Physics A: Materials Science & Processing (Springer) подписка с 2013 года
4. Central European Journal of Physics доступ с 2003 по текущий год
5. The European Physical Journal B Condensed Matter and Complex Systems (Springer) подписка с 2013 года
6. International Journal of Modern Physics B (World Scientific Publishing Company) электронная версия; доступ с 2003 по текущий год
7. Journal of Physics and Chemistry of Solids (Elsevier (Science Direct) электронная версия; доступ с 1958 по 2009
8. Journal of Physics : Condensed Matter (UK Institute of Physics) электронная версия; доступ с 1989 по текущий год
9. Nanotechnology (UK Institute of Physics) электронная версия; доступ с 1990 по текущий год
10. Nature (Nature Publishing Group) электронная версия; доступ с 1997 по текущий год
11. Nature Materials (Nature Publishing Group) электронная версия; доступ с 2002 по текущий год
 New Journal of Physics" (UK Institute of Physics) электронная версия; доступ с 1999 по текущий год
12. Philosophical Magazine (Taylor & Francis Group) электронная версия; доступ с 1798 по текущий год
13. Philosophical Magazine Letters (Taylor & Francis Group)) электронная версия; доступ с 1987 по текущий год
14. Physica B (Condensed Matter) Elsevier (Science Direct) электронная версия; доступ с 1999 по текущий год
15. Physica E (Nanostructures) Elsevier (Science Direct) электронная версия; доступ с 2003 по текущий год
16. Physica Status Solidi A (Wiley) электронная версия; доступ с 1996 по текущий год
17. Physica Status Solidi B (Wiley) электронная версия; доступ с 1996 по текущий год
18. Physica Status Solidi C (Wiley) электронная версия; доступ с 2003 по текущий год
19. Physica Status Solidi RRL (Wiley) электронная версия; доступ с 2007 по текущий год
20. Solid State Communications Elsevier (Science Direct) электронная версия; доступ с 1972 по 2010

9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе РАН располагает материально-технической базой, соответствующей санитарно-техническим нормам и обеспечивающей проведение всех видов теоретической подготовки, предусмотренной учебным планом. Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-

образовательную среду организации.

Центр коллективного пользования "Материаловедение и диагностика в передовых технологиях" при ФТИ им. А.Ф. Иоффе (г. Санкт-Петербург), оснащен следующим оборудованием:

- Высокоразрешающая рентгеновская станция Discover D8, Bruker
- Просвечивающий электронный микроскоп JEM-2100F, Jeol
- Сканирующий электронный микроскоп JEM-7001F, Jeol
- Сканирующий зондовый микроскоп Dimension 3100, Veeco
- Универсальный вторично-ионный микроанализатор Ion Microanalyzer IMS-7F

Наименование оборудования для проведения занятий по дисциплине:

1. Лекционная аудитория
2. Мультимедийный проектор
3. Персональный компьютер
4. Экспериментальные установки по исследованию параметров твердых тел.

Программа разработана вед.н.с., д.ф.-м.н. Брунковым П.Н.