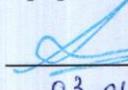


БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе

 А. Л. Толстик

03.01.2017
Регистрационный № УД-12 / уч.



**РЕНТГЕНОВСКИЕ МЕТОДЫ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
ПРОЦЕССАХ ЭЛЕКТРОНИКИ**

Учебная программа учреждения высшего образования по учебной дисциплине
для специальности:

1-31 04 03 « Физическая электроника ».

Специализация

1-31 04 03 01 «Твердотельная электроника»

2016 г.

**РЕНТГЕНОВСКИЕ МЕТОДЫ В
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ
ЭЛЕКТРОНИКИ**

Учебная программа учреждения высшего образования по
учебной дисциплине для специальности:

1-31 04 03 « Физическая электроника ».

Специализация

1-31 04 03 01 «Твердотельная электроника»

Учебная программа разработана на основе образовательного стандарта ОСВО 1-31 04 03-2013 и учебных планов G 31-165/уч. и G 31и-188/уч.

СОСТАВИТЕЛЬ:

Кольчевский Николай Николаевич – доцент кафедры физической электроники и нанотехнологий Белорусского государственного университета, кандидат физико-математических наук.

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ

Кафедрой физической электроники и нанотехнологий Белорусского государственного университета
(протокол № 4 от 22 ноября 2016 г.)

Методической комиссией факультета радиофизики и компьютерных технологий
(протокол № 3 от 22 ноября 2016 г.)

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Учебная программа дисциплины специализации «Рентгеновские методы в технологических процессах электроники» (РМВТПЭ) разработана в соответствии с требованиями образовательного стандарта для специальности 1-31 04 03 «Физическая электроника» специализации 1-31 04 03 01 «Твердотельная электроника».

Целью дисциплины является выработка у студентов физического и инженерного подхода для применения рентгеновских методов исследования вещества.

Задача дисциплины обеспечить глубокую подготовку студентов в области рентгеновских методов исследования вещества, включая классификацию и особенности применения рентгеновских источников, особенности применения различных рентгеновских методов контроля, используемых в электронной промышленности, а также выработать у студентов навыки решения практических задач в данной области.

Дисциплина взаимосвязана с дисциплинами «Общая физика» и «Взаимодействие частиц и излучений с веществом», «Физика твердого тела».

В результате изучения учебной дисциплины студент должен:

знать:

- классификацию рентгеновских источников, рентгенооптических материалов и устройств,
- область применения основных рентгеновских методов исследования материалов;

уметь:

- на базе физического и инженерного подходов оценивать возможность использования рентгеновских методов исследования материалов в различных условиях и
- расшифровывать экспериментальные данные для различных рентгеновских методов;

владеть:

- базовым аппаратом теории современных рентгенооптических устройств и систем;
- методами численного моделирования взаимодействия рентгеновского излучения с веществом.

Освоение учебной программы должно обеспечить формирование следующих **компетенций**:

АК-1. Уметь применять базовые научно-теоретические знания для решения теоретических и практических задач.

АК-2. Владеть системным и сравнительным анализом.

АК-3. Владеть исследовательскими навыками.

АК-4. Уметь работать самостоятельно.

АК-5. Быть способным порождать новые идеи (обладать креативностью).

АК-6. Владеть междисциплинарным подходом при решении проблем.

АК-7. Иметь навыки, связанные с использованием технических устройств, управлением информацией и работой с компьютером.

ПК-16. В составе группы специалистов или самостоятельно разрабатывать приборы, интегральные схемы, микро- и наноэлектронные устройства и системы с требуемыми характеристиками.

ПК-18. Разрабатывать математические модели электронных устройств и систем и проводить вычислительные эксперименты при решении задач их проектирования и оптимизации.

ПК-19. Организовывать работу коллективов исполнителей для достижения поставленных целей.

В соответствии с учебным планом на изучение дисциплины на 4-м курсе в 8-ом семестре отведено всего 124 часа, в том числе 62 аудиторных часа, из них лекции – 34 часа, лабораторные занятия – 24 часа, УСР – 4 часа.

Программа предназначена для студентов очной дневной формы получения образования. Аттестация по дисциплине проводится в форме экзамена в 8-ом семестре.

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

1. Особенности рентгеновского диапазона длин волн

Открытие рентгеновских лучей. Получение рентгеновского излучения при помощи рентгеновских трубок. Систематика рентгеновских спектров. Уровни энергии атома. Распределение электронов в атоме. Взаимодействие рентгеновского излучения с веществом. Рентгенооптические элементы.

2. Современные рентгеновские методы исследования объектов

Рентгеновская техника и техника безопасности при работе в рентгеновской лаборатории. Основные методы рентгеноструктурного анализа. Фазовый анализ. Анализ несовершенств кристаллической структуры. Рентгенографический анализ текстур. Рентгенографический анализ тонких поликристаллических пленок и эпитаксиальных композиций из тонких поверхностных слоев. Рентгеноспектральный анализ.

3. Определение кристаллических структур с помощью рентгеновских лучей

Формулировка Брэгга для дифракции рентгеновских лучей на кристалле. Формулировка Лауэ для дифракции рентгеновских лучей на кристалле. Эквивалентность формулировок Брэгга и Лауэ. Экспериментальные методы, основанные на условии Лауэ. Дифракция на моноатомной решетке с базисом. Геометрический структурный фактор. Дифракция на полиатомном кристалле. Атомный форм-фактор.

4. Синхротронное излучение в технологических процессах микроэлектроники

Основные свойства синхротронного излучения. Контраст в системах экспонирования с применением синхротронного излучения. Генерация синхротронного излучения в периодических магнитных структурах. Вигглеры и ондуляторы. Сравнение источников синхротронного излучения с другими источниками рентгеновского излучения. Рентгеновское излучение в литографии.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов			Количество часов УСР	Формы контроля знаний
		Лекции	Лабораторные занятия	Иное		
1	2	3	4	5	6	7
1.	ОСОБЕННОСТИ РЕНТГЕНОВСКОГО ДИАПАЗОНА ДЛИН ВОЛН	8	8		2	
1.1.	Открытие рентгеновских лучей. Получение рентгеновского излучения при помощи рентгеновских трубок.	2	2			Выборочный опрос на лекции, отчет по лабораторной работе (ЛР) и ее защита.
1.2.	Систематика рентгеновских спектров. Уровни энергии атома. Распределение электронов в атоме.	2				Выборочный опрос на лекции.
1.3.	Взаимодействие рентгеновского излучения с веществом.	2	2			Выборочный опрос на лекции, отчет по лабораторной работе (ЛР) и ее защита.
1.4.	Рентгенооптические элементы.	2	4			Выборочный опрос на лекции, отчет по лабораторной работе (ЛР) и ее защита.
1.5.	Контроль самостоятельной работы студентов по темам 1.1-1.4	–	–		2	Коллоквиум. Реферат, презентация

1	2	3	4	5	6	7
2.	СОВРЕМЕННЫЕ РЕНТГЕНОВСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ	8	6			
2.1.	Рентгеновская техника и техника безопасности при работе в рентгеновской лаборатории.	2	2			Выборочный опрос на лекции, отчет по лабораторной работе (ЛР) и ее защита.
2.2.	Основные методы рентгеноструктурного анализа. Фазовый анализ.	2	2			Выборочный опрос на лекции, отчет по лабораторной работе (ЛР) и ее защита.
2.3.	Анализ несовершенств кристаллической структуры. Рентгенографический анализ текстур.	2	2			Выборочный опрос на лекции, отчет по лабораторной работе (ЛР) и ее защита.
2.4.	Рентгенографический анализ тонких поликристаллических пленок и эпитаксиальных композиций из тонких поверхностных слоев. Рентгеноспектральный анализ.	2				Выборочный опрос на лекции.
3.	ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ СТРУКТУР С ПОМОЩЬЮ РЕНТГЕНОВСКИХ ЛУЧЕЙ	6	6			
3.1.	Формулировка Брэгга для дифракции рентгеновских лучей на кристалле. Формулировка Лауэ для дифракции рентгеновских лучей на кристалле.	2	2			Выборочный опрос на лекции, отчет по лабораторной работе (ЛР) и ее защита.
3.2.	Эквивалентность формулировок Брэгга и Лауэ. Экспериментальные методы, основанные на условии Лауэ.	2	2			Выборочный опрос на лекции, отчет по лабораторной работе (ЛР) и ее защита.
3.3.	Дифракция на моноатомной решетке с базисом. Геометрический структурный фактор. Дифракция на полиатомном кристалле. Атомный форм-фактор.	2	2			Выборочный опрос на лекции, отчет по лабораторной работе (ЛР) и ее защита.

1	2	3	4	5	6	7
4.	СИНХРОТРОННОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ	8			2	
4.1.	Основные свойства синхротронного излучения.	2				Выборочный опрос на лекции.
4.2.	Генерация синхротронного излучения в периодических магнитных структурах. Вигглеры и ондуляторы.	2				Выборочный опрос на лекции.
4.3.	Сравнение источников синхротронного излучения с другими источниками рентгеновского излучения.	2				Выборочный опрос на лекции.
4.4.	Контраст в системах экспонирования с применением синхротронного излучения. Рентгеновское излучение в литографии.	2				Выборочный опрос на лекции. Итоговый тест.
4.5.	Контроль самостоятельной работы студентов по темам 2-4	–	–		2	Коллоквиум. Реферат, презентация

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Перечень основной литературы

1. *Виноградов, А.В.* Оптика мягкого рентгеновского диапазона / А.В. Виноградов. М. 1989.
2. *Мишетт.* Оптика мягких рентгеновских лучей / Мишетт. М. 1989.
3. *Блохин, А.В.* Физика рентгеновских лучей / А.В. Блохин. М. 1970.

Перечень дополнительной литературы

1. *Attwood, D.* Soft X-rays and extreme ultraviolet radiation / D. Attwood. Cambridge. 1999.
2. *Ашкрофт, Н.* Физика твердого тела / Н. Ашкрофт, Н. Мермин. М. 1982.
3. *Горелик, С.С.* Рентгенографический анализ / С.С. Горелик. М. 1994.

Примерный перечень заданий управляемой самостоятельной работы

1. Исследование актуального патента, описывающего новейшие достижения в области РМВТПЭ.
2. Определение структуры, параметров и свойств реальных кристаллов рентгеновскими методами.
3. Проектирование волноводных систем для транспортировки, сжатия и фокусировки рентгеновского излучения.

Перечень используемых средств диагностики результатов учебной деятельности

Для диагностики компетенций используются следующие формы:

- устная (опросы на лекциях, коллоквиум, устный экзамен);
- устно-письменная (письменные отчеты по лабораторным работам с их устной защитой);
- письменная (реферат);
- техническая (презентация в электронном виде).

Оценивание результатов изучения дисциплины проводится в соответствии с критериями оценки знаний и компетенций студентов, изложенными в письме Министерства образования Республики Беларусь № 21-04-1/105 от 22.12.2003 г. и в соответствии с «Положением о рейтинговой системе оценки знаний по дисциплине в Белорусском государственном университете» (приказ ректора БГУ № 382-ОД от 18.08.2015 г.).

Перечень лабораторных работ

1. Определение коротковолновой границы в спектре рентгеновской трубки.
2. Расчет уровней энергии атомов вещества.
3. Определение коэффициента поглощения рентгеновского излучения вещества сложного химического состава.
4. Определение коэффициентов отражения и преломления вещества в рентгеновском диапазоне.
5. Расчет параметров рентгеновской трубки.
6. Определение фокусного расстояния рентгеновской линзы и размера фокусного пятна.
7. Определение коэффициента пропускания микрокапиллярных волноводов.
8. Расчет параметров синхротронного источника.
9. Определение параметров адиабатической рентгеновской линзы и размера фокусного пятна.
10. Расчет формы микрокапиллярных волноводов.
11. Исследование структуры реальных кристаллов.
12. Теоретический расчет рентгенограмм кристаллов.
13. Определение структуры и параметров кристаллической решетки дифракционными методами.

**ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ
ПО ИЗУЧАЕМОЙ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ
С ДРУГИМИ ДИСЦИПЛИНАМИ СПЕЦИАЛЬНОСТИ**

Название учебной дисциплины, с которой требуется согласование	Название кафедры	Предложения об изменениях в содержании учебной программы по изучаемой учебной дисциплине	Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола)
Общая физика	Кафедра физики и аэрокосмических технологий	Без изменений	Изменений не требуется
Взаимодействие частиц и излучений с веществом	Кафедра физической электроники и нанотехнологий	Без изменений	Изменений не требуется
Физика твердого тела	Кафедра физической электроники и нанотехнологий	Без изменений	Изменений не требуется

