

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:

ФИО: Исаев Игорь Магомедович

Должность: Проректор по учебной и научной работе

Дата подписания: 31.08.2023 11:06:06

Уникальный идентификатор документа:

d7a26b9e8ca85e98ec3de2eb454b4659d061f249

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования

«Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС»

Рабочая программа дисциплины (модуля)

Кристаллические компоненты акустоэлектроники

Закреплена за подразделением

Кафедра материаловедения полупроводников и диэлектриков

Направление подготовки

22.04.01 МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ МАТЕРИАЛОВ

Профиль

Квалификация

Магистр

Форма обучения

очная

Общая трудоемкость

3 ЗЕТ

Часов по учебному плану

108

Формы контроля в семестрах:

в том числе:

зачет с оценкой 3

аудиторные занятия

34

самостоятельная работа

74

Распределение часов дисциплины по семестрам

Семестр (<Курс>.<Семестр на курсе>)	3 (2.1)		Итого	
	19			
Неделя	19			
Вид занятий	УП	РП	УП	РП
Практические	34	34	34	34
Итого ауд.	34	34	34	34
Контактная работа	34	34	34	34
Сам. работа	74	74	74	74
Итого	108	108	108	108

Программу составил(и):

кфмн, доцент, Забелин Алексей Николаевич

Рабочая программа

Кристаллические компоненты акустоэлектроники

Разработана в соответствии с ОС ВО:

Самостоятельно устанавливаемый образовательный стандарт высшего образования - магистратура Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС» по направлению подготовки 22.04.01 МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ МАТЕРИАЛОВ (приказ от 02.04.2021 г. № 119 о.в.)

Составлена на основании учебного плана:

22.04.01 МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВ И ДИЭЛЕКТРИКОВ, 22.04.01-ММТМ-23-4.plx , утвержденного Ученым советом НИТУ МИСИС в составе соответствующей ОПОП ВО 22.06.2023, протокол № 5-23

Утверждена в составе ОПОП ВО:

22.04.01 МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВ И ДИЭЛЕКТРИКОВ, , утвержденной Ученым советом НИТУ МИСИС 22.06.2023, протокол № 5-23

Рабочая программа одобрена на заседании

Кафедра материаловедения полупроводников и диэлектриков

Протокол от 14.06.2022 г., №13-21/22

Руководитель подразделения Оганов А.Р.

1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ

1.1	Цель освоения дисциплины – формирование компетенций в соответствии с учебным планом, а также получение студентами базовых знаний о физических свойствах современных материалов акустоэлектроники, закономерностях распространения акустических волн в кристаллах, принципах функционирования и способах построения устройств акустоэлектроники.
1.2	Задачи дисциплины - научить:
1.3	- устанавливать связи между физическими свойствами современных материалов акустоэлектроники и параметрами акустоэлектронных устройств на их основе;
1.4	- использовать методы кристаллоакустики для расчета основных характеристик распространения акустических волн в кристаллах;
1.5	- объяснять принципы функционирования и способы построения устройств акустоэлектроники.

2. МЕСТО В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Блок ОП:		Б1.В.ДВ.04
2.1	Требования к предварительной подготовке обучающегося:	
2.1.1	Дифракционные методы исследования неупорядоченных структур	
2.1.2	Кристаллы в квантовой электронике	
2.1.3	Математическое и компьютерное моделирование материалов и процессов	
2.1.4	Оптические элементы лазерных систем	
2.1.5	Оптические явления в кристаллах. Часть 1	
2.1.6	Производственная практика по получению профессиональных умений и опыта профессиональной деятельности	
2.1.7	Спектроскопические методы анализа поверхности	
2.1.8	Аттестация и сертификация изделий электронной техники	
2.1.9	Материаловедение и технологии перспективных материалов	
2.1.10	Методы электронной микроскопии для материалов твердотельной электроники	
2.1.11	Рост кристаллов	
2.1.12	Технология получения кристаллов	
2.1.13	Физические свойства приповерхностных слоев и методы их исследований	
2.2	Дисциплины (модули) и практики, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее:	
2.2.1	Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы	
2.2.2	Преддипломная практика для выполнения выпускной квалификационной работы	
2.2.3	Технологии получения материалов	

3. РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫЕ С ФОРМИРУЕМЫМИ КОМПЕТЕНЦИЯМИ

ПК-3: Способен осуществлять и обосновывать рациональный выбор материалов, устройств и технологических процессов для создания функциональных материалов, структур и устройств микро- и нанoeлектроники, квантовой фотоники с заданными свойствами и характеристиками	
Знать:	
ПК-3-32	объяснять принципы функционирования и способы построения устройств акустоэлектроники
ПК-3-33	объяснять методы расчета характеристик распространения акустических волн в кристаллах
ПК-3-31	перечислять основные параметры устройств акустоэлектроники
ОПК-5: Способен оценивать результаты научно-технических разработок, научных исследований и обосновывать собственный выбор, систематизировать и обобщать достижения в области материаловедения и технологии материалов, смежных областях	
Знать:	
ОПК-5-31	характеризовать свойства современных материалов акустоэлектроники
ПК-1: Способен обоснованно использовать знания о типовых технологических процессах, участвовать в разработке технологических процессов производства и обработки материалов и изделий из них	
Знать:	
ПК-1-31	характеризовать технологические процессы производства устройств акустоэлектроники и отдельных элементов акустического тракта

ПК-3: Способен осуществлять и обосновывать рациональный выбор материалов, устройств и технологических процессов для создания функциональных материалов, структур и устройств микро- и нанoeлектроники, квантовой фотоники с заданными свойствами и характеристиками
Уметь:
ПК-3-У3 применять методы кристаллоакустики для расчета характеристик распространения акустических волн в кристаллах
ПК-3-У2 осуществлять расчет основных параметров устройств акустоэлектроники
ПК-3-У1 обосновывать выбор материалов для акустоэлектронных устройств различного назначения
Владеть:
ПК-3-В2 иметь навыки использования стандартных методов расчета характеристик распространения акустических волн в твердых телах
ПК-3-В1 иметь навыки расчета параметров устройств акустоэлектроники на объемных и поверхностных акустических волнах

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ

Код занятия	Наименование разделов и тем /вид занятия/	Семестр / Курс	Часов	Формируемые индикаторы компетенций	Литература и эл. ресурсы	Примечание	КМ	Выполняемые работы
	Раздел 1. Упругие волны в твердых телах							
1.1	Уравнение Кристоффеля и распространение упругих волн в неограниченном твердом теле. /Пр/	3	4	ПК-3-33 ПК-3-У3 ПК-3-В2 ОПК-5-31	Л1.1Л3.1 Э1	Ссылку на электронный курс в LMS Canvas студенты получают на первом занятии.		Р1
1.2	Уравнения движения и граничные условия для поверхностных акустических волн. Волны Рэлея. Волны Гуляева-Блюштейна. Приповерхностные акустические волны. /Пр/	3	4	ПК-3-33 ПК-3-У1 ПК-3-У3 ПК-3-В2	Л1.1Л2.1Л3.1 Э1			Р2
1.3	Упругие волны в акустических волноводах и слоистых средах. Отражение и преломление упругих волн на границе раздела сред. /Пр/	3	4	ПК-3-33 ПК-3-У1 ПК-3-У3 ПК-3-В2	Л1.1Л2.1Л3.1 Э1			Р3
1.4	Определение упругих и пьезоэлектрических постоянных кристаллов по результатам акустических измерений. /Пр/	3	4	ПК-3-33 ПК-3-У3 ПК-3-В2 ОПК-5-31	Л1.1Л2.1Л3.1 Э1			Р4
1.5	Выполнение домашнего задания 1. Выполнение теста 1. Самостоятельное изучение литературы. /Ср/	3	25	ПК-3-33 ПК-3-У1 ПК-3-У3 ПК-3-В2 ОПК-5-31	Л1.1Л2.1Л3.1 Л3.2 Э1		КМ1	Р5
	Раздел 2. Направления применений пьезоэлектрических кристаллов							

2.1	Применения кристаллов в пьезотехнике. Кварцевые пьезоэлектрические резонаторы на объемных акустических волнах. Резонаторы на объемных акустических волнах на основе сильных пьезоэлектриков. /Пр/	3	4	ПК-3-31 ПК-3-32 ПК-3-У1 ПК-3-У2 ПК-3-В1 ОПК-5-31	Л1.1Л2.1Л3.1 Э1			Р6
2.2	Устройства акустоэлектроники. Встречно-штыревые преобразователи. Многополосковые ответвители. Отражательные решетки. /Пр/	3	4	ПК-3-31 ПК-3-32 ПК-3-У1 ПК-3-У2 ПК-3-В1 ОПК-5-31	Л3.1Л3.2 Э1			Р7
2.3	Устройства акустоэлектроники. Акустические линии задержки, резонаторы на поверхностных акустических волнах. Применение непьезоэлектрических подложек для устройств на поверхностных акустических волнах. Критерии эффективности пьезоэлектрических кристаллов. /Пр/	3	4	ПК-1-31 ПК-3-31 ПК-3-У1 ПК-3-У2 ПК-3-В1 ОПК-5-31	Л1.1Л3.1 Э1			Р8
2.4	Выполнение домашнего задания 2. Выполнение теста 2. Самостоятельное изучение литературы. /Ср/	3	25	ПК-1-31 ПК-3-31 ПК-3-32 ПК-3-У2 ПК-3-В1 ОПК-5-31	Л1.1Л3.1 Л3.2 Э1		КМ2	Р9
Раздел 3. Тонкопленочные пьезоэлектрические и пьезополупроводниковые материалы в композитных устройствах акустоэлектроники								
3.1	Пьезоэлектрические материалы для пленочных электромеханических преобразователей. Слоистые структуры на основе ниобата и танталата лития. /Пр/	3	6	ПК-3-31 ПК-3-32 ПК-3-У1 ПК-3-У2 ПК-3-В1 ОПК-5-31	Л1.1Л3.1 Э1			Р10
3.2	Выполнение домашнего задания 3. Выполнение теста 3. Самостоятельное изучение литературы. /Ср/	3	24	ПК-1-31 ПК-3-32 ПК-3-33 ПК-3-У1 ПК-3-У3 ПК-3-В2 ОПК-5-31	Л1.1Л2.1Л3.1 Л3.2 Э1		КМ3	Р11

5. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

5.1. Контрольные мероприятия (контрольная работа, тест, коллоквиум, экзамен и т.п), вопросы для самостоятельной подготовки

Код КМ	Контрольное мероприятие	Проверяемые индикаторы компетенций	Вопросы для подготовки
КМ1	Тест 1 Упругие волны в твердых телах	ОПК-5-31;ПК-3-33	Вопросы для подготовки к тесту 1. 1. Охарактеризовать типы объемных акустических волн, распространяющихся в изотропной упругой среде. 2. Охарактеризовать типы объемных акустических волн,

		<p>распространяющихся в кристаллах.</p> <p>3. Как ориентированы векторы смещения трех изонормальных объемных акустических волн, распространяющихся в кристаллах?</p> <p>4. Какие направления распространения объемных акустических волн называются особыми?</p> <p>5. Как связаны особые направления распространения объемных акустических волн с симметрией среды распространения?</p> <p>6. Как связаны фазовая и групповая скорость объемной акустической волны?</p> <p>7. Какие объемные акустические волны называются обыкновенными?</p> <p>8. Как строится а) поверхность фазовых скоростей; б) поверхность рефракции?</p> <p>9. Из скольких полостей состоит поверхность фазовых скоростей и поверхность рефракции?</p> <p>10. Вдоль каких направлений полости поверхности фазовых скоростей касаются или пересекаются между собой?</p> <p>11. Какая особенность присуща поперечным объемным акустическим волнам, распространяющимся в плоскостях симметрии, перпендикулярных осям симметрии четвертого и шестого порядка?</p> <p>12. Возможно ли определить направление вектора групповой скорости объемной акустической волны, используя поверхность рефракции?</p> <p>13. Как изменяются значения фазовых скоростей объемных акустических волн при учете пьезоэлектрических свойств среды?</p> <p>14. Какая объемная акустическая волна называется пьезоактивной?</p> <p>15. Как определяется коэффициент электромеханической связи для объемных акустических волн?</p> <p>16. Привести схему расчета характеристик распространения объемных акустических волн в кристаллах.</p> <p>17. Сформулировать задачу об отражении и преломлении объемных акустических волн на границе раздела твердых тел.</p> <p>18. Сформулировать граничные условия задачи об отражении и преломлении объемных акустических волн для случая жесткого акустического контакта твердых тел.</p> <p>19. Меняется ли частота объемных акустических волн при их отражении и преломлении?</p> <p>20. Как расположены волновые векторы всех волн, участвующих в процессе отражения и преломления?</p> <p>21. Сформулировать закон Снеллиуса для объемных акустических волн.</p> <p>22. Привести схему расчета характеристик распространения объемных акустических волн при решении задачи об отражении и преломлении объемных акустических волн.</p> <p>23. Привести схему расчета характеристик распространения объемных акустических волн при решении задачи об отражении объемных акустических волн от свободной границы твердого тела.</p> <p>24. Что такое критические углы падения?</p> <p>25. Что такое углы Брюстера?</p> <p>26. Проанализировать отражение и преломление объемных акустических волн с горизонтальной поляризацией на границе раздела двух изотропных сред.</p> <p>27. Проанализировать отражение и трансформацию объемных акустических волн на свободной границе твердого изотропного полупространства.</p> <p>28. Дать графическую интерпретацию задачи об отражении и преломлении объемных акустических волн.</p> <p>29. Какие типы поверхностных акустических волн реализуются в твердых телах?</p> <p>30. Каковы граничные условия для существования волны Рэлея?</p> <p>31. Какова глубина локализации волны Рэлея?</p> <p>32. Что такое сагиттальная плоскость?</p> <p>33. Описать траекторию движения частиц в волне Рэлея.</p> <p>34. Каково значение скорости волны Рэлея по отношению к скорости сдвиговых волн в изотропной среде?</p> <p>35. Привести распределение амплитуд смещений и напряжений в волне Рэлея по глубине как характеристику поверхностного типа</p>
--	--	---

			<p>волны.</p> <p>36. Назвать отличительные свойства поверхностных акустических волн в кристаллах.</p> <p>37. Привести схему расчета характеристик распространения поверхностных акустических волн в пьезоэлектрических кристаллах.</p> <p>38. Проанализировать условия распространения поверхностных акустических волн в пьезоэлектрических кристаллах для случаев электрически свободной поверхности и поверхности, покрытой бесконечно тонким металлическим слоем.</p> <p>39. Как определяется коэффициент электромеханической связи для поверхностных акустических волн?</p> <p>40. Что такое оттекающая волна?</p> <p>41. К какому типу волн относятся поверхностные волны Гуляева-Блюштейна?</p> <p>42. Какова глубина локализации волны Гуляева-Блюштейна?</p> <p>43. Как глубина локализации волны Гуляева-Блюштейна зависит от пьезоэлектрических свойств среды распространения?</p> <p>44. Какие упругие волны относятся к поверхностным волнам?</p> <p>45. Указать особенности распространения поверхностных акустических волн в пьезоэлектрических кристаллах.</p>
--	--	--	---

КМ2	Тест 2 Направления применений пьезоэлектрически х кристаллов	ОПК-5-31;ПК-1-31;ПК-3-31;ПК-3-32	<p>Вопросы для подготовки к тесту 2.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Как обозначаются ориентации кристаллических срезов в пьезотехнике? 2. Какое устройство называется пьезоэлектрическим резонатором? 3. Описать принцип действия пьезоэлектрического резонатора. 4. На каких типах колебаний реализуются пьезоэлектрические резонаторы на объемных акустических волнах? 5. Можно ли перекрыть весь диапазон частот с помощью пьезорезонатора, построенного на каком-либо одном типе колебаний? 6. Перечислить частотные и электрические параметры пьезоэлектрических резонаторов на объемных акустических волнах. 7. Как связаны емкостное отношение и частоты последовательного и параллельного резонансов пьезоэлектрического резонатора. 8. Какие пьезоэлектрические резонаторы используются для обеспечения моночастотности спектра колебаний? 9. Для каких целей используются пьезоэлектрические резонаторы мембранного типа (с обратной меза-структурой)? 10. Перечислить требования к кристаллическим материалам, предназначенным для производства пьезоэлектрических резонаторов на объемных акустических волнах. 11. Охарактеризовать область применений кристаллов кварца в пьезотехнике. 12. Какой вид имеет температурно-частотная характеристика а) ВТ-среза; б) АТ-среза кристалла кварца? 13. Охарактеризовать кристаллические материалы, используемые для производства пьезоэлектрических резонаторов на объемных акустических волнах. 14. Охарактеризовать технологический процесс производства пьезоэлектрических резонаторов на объемных акустических волнах. 15. Каким образом осуществляется настройка резонансной частоты пьезоэлектрических резонаторов на объемных акустических волнах? 16. Перечислить технологические аспекты, влияющие на параметры пьезоэлектрических резонаторов на объемных акустических волнах. 17. Какими методами возбуждаются поверхностные и объемные акустические волны? 18. Как связана центральная частота пьезоэлектрического преобразователя объемных акустических волн с его конструктивными размерами? 19. Привести эквивалентную схему преобразователя электрического сигнала в акустический (для объемных волн) и проанализировать оптимальные значения добротности и полосы пропускания. 20. Каковы критерии выбора кристаллического материала для пьезоэлектрического преобразователя объемных акустических волн? 21. Каковы ограничения применения однофазной системы решетки металлических электродов по сравнению с двухфазной системой для генерации поверхностных акустических волн? 22. Каким образом топология встречно-штыревого преобразователя определяет его частотные свойства? 23. Физический смысл акустической и электрической добротности встречно-штыревого преобразователя. 24. Что такое частота акустического синхронизма? 25. Объяснить суть простейших моделей расчета амплитудно-частотной характеристики преобразователей. 26. Сформулировать факторы, влияющие на собственную полосу преобразования однородного встречно-штыревого преобразователя, объяснить, как добиться максимально широкой полосы преобразования. 27. Сформулировать суть физической модели расчета емкости и проводимости встречно-штыревого преобразователя, определить границы ее применимости. 28. Чем определяется оптимальное число штырей встречно-
-----	--	----------------------------------	--

		<p>штыревого преобразователя?</p> <p>29. Как влияют внешние согласующие цепи на полосу преобразования встречно-штыревого преобразователя?</p> <p>30. Привести эквивалентную схему встречно-штыревого преобразователя и охарактеризовать его акустическую добротность и полосу пропускания.</p> <p>31. Как с помощью встречно-штыревого преобразователя осуществляется возбуждение поверхностной акустической волны на пьезоэлектрических подложках?</p> <p>32. Как влияет коэффициент металлизации на собственную полосу преобразования встречно-штыревого преобразователя?</p> <p>33. Охарактеризовать основные типы линий задержки на объемных акустических волнах.</p> <p>34. В чем преимущество линий задержки на объемных акустических волнах по сравнению с линиями задержки на поверхностных акустических волнах?</p> <p>35. Перечислить требования к материалу звукопровода линии задержки на объемных акустических волнах.</p> <p>36. Каковы преимущества поверхностных акустических волн для создания акустоэлектронных устройств и их использования?</p> <p>37. Какими механизмами определяются потери на распространение поверхностной акустической волны?</p> <p>38. Каково условие отсутствия дифракционных потерь?</p> <p>39. Что такое трехпролетный сигнал?</p> <p>40. В каких случаях для поверхностных акустических волн имеет место а) топографическое отражение; б) отражение вследствие массовой нагрузки; в) отражение типа dv/v?</p> <p>41. Каковы преимущества применения оттекающих поверхностных волн в акустоэлектронных устройствах?</p> <p>42. Каким образом можно получить поперечную поверхностную акустическую волну?</p> <p>43. Какие устройства для управления распространением поверхностных акустических волн реализуются на многополосковых ответвителях?</p> <p>44. В каких устройствах акустоэлектроники применяется отражательная решетка?</p> <p>45. В чем принципиальное отличие функционирования устройств на многополосковых ответвителях и отражательных решетках? Каковы их рабочие частоты?</p> <p>46. Охарактеризовать основные типы линий задержки на поверхностных акустических волнах.</p> <p>47. Назвать факторы, ограничивающие верхний предел центральной частоты акустоэлектронного устройства на поверхностных акустических волнах.</p> <p>48. Каким образом задают ориентацию срезов для устройств на поверхностных акустических волнах?</p> <p>49. Каковы критерии выбора кристаллического материала для акустоэлектронных устройств на поверхностных акустических волнах?</p> <p>50. Охарактеризовать кристаллические материалы, используемые для производства акустоэлектронных устройств на поверхностных акустических волнах.</p> <p>51. Охарактеризовать технологический процесс производства акустоэлектронных устройств на поверхностных акустических волнах.</p> <p>52. Охарактеризовать технологический процесс формирования на подложке структуры электродов.</p> <p>53. Перечислить технологические аспекты, влияющие на параметры акустоэлектронных устройств на поверхностных акустических волнах.</p> <p>54. Перечислить наиболее важные параметры функционирования и применения сенсоров.</p> <p>55. Описать принцип действия пьезорезонансного масс-чувствительного сенсора.</p> <p>56. Описать принцип действия химического сенсора на основе а) объемных акустических волн; б) поверхностных акустических волн.</p> <p>57. Описать принцип действия сенсора на поверхностных</p>
--	--	--

			<p>акустических волнах в беспроводных системах считывания информации.</p> <p>58. Перечислить требования к пьезоэлектрическим материалам для высокотемпературных сенсоров физических величин.</p> <p>59. Охарактеризовать материаловедческую проблему устойчивой работы устройств акустоэлектроники и пьезотехники в течение длительного времени при высоких температурах.</p> <p>60. Перечислить критерии эффективности применения пьезоэлектрических кристаллов в устройствах акустоэлектроники и пьезотехники.</p>
--	--	--	--

КМЗ	Тест 3 . Тонкопленочные пьезоэлектрические и пьезополупроводниковые материалы в композитных устройствах акустоэлектроники	ОПК-5-31;ПК-1-31;ПК-3-32;ПК-3-33	<p>Вопросы для подготовки к тесту 3.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Какими важными для практического применения физическими свойствами обладает оксид цинка (цинкит)? 2. Какова преимущественная ориентация кристаллитов в поликристаллической пленке цинкита? 3. Какую микроструктуру должна иметь поликристаллическая пьезоэлектрическая пленка цинкита для ее применения в устройствах на поверхностных акустических волнах? 4. Охарактеризовать возможные микроструктурные условия, которые могут понизить электромеханическую связь пленки цинкита. 5. Перечислить технологические процессы, с помощью которых получают тонкие поликристаллические пленки ZnO. 6. Каким образом получают монокристаллические пленки цинкита на сапфире? 7. Какие характеристики распространения поверхностных акустических волн изменяются в пьезоэлектрических пленках $Mg_xZn_{1-x}O$ при увеличении содержания магния? 8. Какими методами получают тонкие пленки нитрида алюминия? 9. Какой метод обеспечивает лучшую воспроизводимость параметров тонких пленок нитрида алюминия? 10. Какой должна быть толщина алмазной пленки в слоистой структуре AlN/алмаз/Si, чтобы можно было пренебречь влиянием кремниевой подложки на распространение поверхностной акустической волны? 11. В каких устройствах акустоэлектроники используются тонкие поликристаллические пленки ZnO и AlN с нормальным к подложке расположением кристаллографических осей с кристаллитов? 12. Какую микроструктуру должны иметь поликристаллические пьезоэлектрические пленки ZnO и AlN для возбуждения в них сдвиговых волн? 13. Каковы технологические особенности изготовления поликристаллических пленок ZnO и AlN с наклонным к подложке расположением кристаллитов? 14. Описать процесс прямого связывания разнородных материалов на примере контакта LiNbO₃/Si. 15. Чем обусловлены большие потенциальные возможности слоистых структур SiO₂/LiNbO₃ и SiO₂/LiTaO₃ с точки зрения их применения в акустоэлектронике. 16. Какие технологические методы используют для изготовления пьезоэлектрических резонаторов с обратной меза-структурой? 17. Охарактеризовать конструкции пьезоэлектрических резонаторов, использующие тонкие пленки. 18. За счет чего достигается высокое качество резонансных характеристик многослойных резонаторов? 19. Если подложка многослойного резонатора имеет высокий импеданс, тогда какие импедансы должны иметь первый и последующий слои? 20. Каким образом добротность многослойного резонатора связана с числом пар слоев в отражателе Брэгга? 21. Как можно использовать то обстоятельство, что отражатель Брэгга в многослойном резонаторе состоит из слоев различных материалов? 22. Использование каких пленок при их одинаковой толщине - пленок ZnO или AlN - позволит создавать резонаторы на более высокие частоты? 23. Охарактеризовать преимущества и недостатки композитных устройств, создаваемых на базе тонких пьезоэлектрических пленок. 24. Чем обусловлены перспективы композитных устройств в качестве сенсоров? 25. Какие волны называются волнами Лява? 26. Обладают ли дисперсией волны Лява? 27. Каковы условия существования волны Лява в структуре изотропный слой/изотропная подложка? 28. Каким образом при заданной частоте глубина проникновения волны Лява в подложку связана с номером ее моды? 29. Каким образом при увеличении частоты меняется доля энергии,
-----	--	----------------------------------	---

			<p>переносимой волной Лява в слое и в подложке?</p> <p>30. К какому значению стремится фазовая скорость волны Лява а) при низких частотах; б) при высоких частотах?</p> <p>31. Как глубина проникновения волны Лява в подложку зависит от номера ее моды?</p> <p>32. К какому значению стремятся фазовые и групповые скорости волн Лява а) при малых толщинах слоя; б) при больших толщинах слоя?</p> <p>33. Каковы условия существования волны Лява при учете пьезоэффекта?</p> <p>34. Привести схему расчета характеристик распространения волны Лява в структуре, образованной пьезоэлектрическим слоем на пьезоэлектрической подложке.</p> <p>35. При каких условиях возможно существование чистых мод, характеризующихся смещениями того же типа, что и в изотропных слоистых средах - волны Рэлея со смещениями только в сагиттальной плоскости и волны Лява со смещениями в направлении, перпендикулярном сагиттальной плоскости?</p> <p>36. Охарактеризовать волну рэлеевского типа и волну Лява в структуре, образованной слоем пьезоэлектрика на пьезоэлектрической подложке, для случая, когда нормаль к сагиттальной плоскости является осью симметрии второго порядка для обеих сред.</p> <p>37. Охарактеризовать волну рэлеевского типа и волну Лява в структуре, образованной слоем пьезоэлектрика на пьезоэлектрической подложке, для случая, когда сагиттальная плоскость является плоскостью симметрии для обеих сред.</p> <p>38. При каких условиях реализуются волны Лява в пьезоэлектрической подложке?</p>
5.2. Перечень работ, выполняемых по дисциплине (Курсовая работа, Курсовой проект, РГР, Реферат, ЛР, ПР и т.п.)			
Код работы	Название работы	Проверяемые индикаторы компетенций	Содержание работы
P1	Практическое занятие 1 Уравнение Кристоффеля и распространение упругих волн в неограниченном твердом теле	ОПК-5-31;ПК-3-33;ПК-3-У3;ПК-3-В2	Расчет характеристик распространения объемных акустических волн в неограниченном кристалле
P2	Практическое занятие 2 Уравнения движения и граничные условия для поверхностных акустических волн. Волны Рэлея. Волны Гуляева-Блюштейна. Приповерхностные акустические волны	ПК-3-33;ПК-3-У1;ПК-3-У3;ПК-3-В2	Расчет характеристик распространения поверхностных акустических волн в кристаллах
P3	Практическое занятие 3 Упругие волны в акустических волноводах и слоистых средах. Отражение и преломление упругих волн на границе раздела сред	ПК-3-33;ПК-3-У1;ПК-3-У3;ПК-3-В2	Расчет коэффициентов отражения и трансформации упругих волн на свободной границе кристалла

P4	Практическое занятие 4 Определение упругих и пьезоэлектрических постоянных кристаллов по результатам акустических измерений	ОПК-5-31;ПК-3-33;ПК-3-У3;ПК-3-В2	Расчет упругих и пьезоэлектрических постоянных кристаллов по результатам акустических измерений
P5	РГР. Домашнее задание 1 Расчет характеристик распространения поверхностных акустических волн в пьезоэлектрических кристаллах	ОПК-5-31;ПК-3-33;ПК-3-У1;ПК-3-У3;ПК-3-В2	Расчет характеристик распространения поверхностных акустических волн в пьезоэлектрических кристаллах. Пример варианта домашнего задания размещен в приложении к РПД.
P6	Практическое занятие 5 Применения кристаллов в пьезотехнике. Кварцевые пьезоэлектрические резонаторы на объемных акустических волнах. Резонаторы на объемных акустических волнах на основе сильных пьезоэлектриков	ОПК-5-31;ПК-3-31;ПК-3-32;ПК-3-У1;ПК-3-У2;ПК-3-В1	Расчет частотных параметров пьезоэлектрического резонатора на объемных акустических волнах. Определение термостабильных срезов
P7	Практическое занятие 6 Устройства акустоэлектроники. Встречно-штыревые преобразователи. Многополосковые ответвители. Отражательные решетки	ОПК-5-31;ПК-3-31;ПК-3-32;ПК-3-У1;ПК-3-У2;ПК-3-В1	Расчет топологии и полосы пропускания однородного встречно-штыревого преобразователя для различных пьезоэлектрических материалов
P8	Практическое занятие 7 Устройства акустоэлектроники. Акустические линии задержки, резонаторы на поверхностных акустических волнах. Применение непьезоэлектрических подложек для устройств на поверхностных акустических волнах. Критерии эффективности пьезоэлектрических кристаллов	ОПК-5-31;ПК-3-31;ПК-3-32;ПК-3-У1;ПК-3-У2;ПК-3-В1	Расчет времени задержки, потерь распространения и потерь преобразования линии задержки на поверхностных акустических волнах. Определение уровня трехпролетного сигнала. Оценка влияния дифракционной расходимости

P9	РГР. Домашнее задание 2 Линия задержки на поверхностных акустических волнах	ОПК-5-31;ПК-1-31;ПК-3-31;ПК-3-32;ПК-3-У2;ПК-3-В1	Расчет параметров линии задержки на поверхностных акустических волн в пьезоэлектрических кристаллах. Пример варианта домашнего задания размещен в приложении к РПД.
P10	Практическое занятие 8 Пьезоэлектрические материалы для пленочных электромеханических преобразователей. Слоистые структуры на основе ниобата и танталата лития	ОПК-5-31;ПК-3-31;ПК-3-32;ПК-3-У1;ПК-3-У2;ПК-3-В1	Расчет характеристик распространения поверхностной акустической волны в многослойной диэлектрической структуре
P11	РГР. Домашнее задание 3 Расчет скорости поверхностной акустической волны в структуре слой/подложка	ОПК-5-31;ПК-1-31;ПК-3-32;ПК-3-33;ПК-3-У1;ПК-3-У3;ПК-3-В2	Расчет скорости поверхностной акустической волны в структуре слой/подложка. Пример варианта домашнего задания размещен в приложении к РПД.

5.3. Оценочные материалы, используемые для экзамена (описание билетов, тестов и т.п.)

По дисциплине экзамен не предусмотрен.

5.4. Методика оценки освоения дисциплины (модуля, практики. НИР)

Студент получает оценку за зачет, которая является средней оценкой по 3 домашним заданиям и 3 тестам по следующей методике:

"отлично" - более 85 %;

"хорошо" - от 70% до 85 %;

"удовлетворительно" - от 50 % до 70 %;

"неудовлетворительно" - менее 50 % либо при невыполнении хотя бы одной работы из перечня работ по дисциплине.

6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

6.1. Рекомендуемая литература

6.1.1. Основная литература

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
Л1.1	Лепендин Л. Ф.	Акустика: учеб. пособие для вузов	Библиотека МИСиС	М.: Высш. шк., 1978

6.1.2. Дополнительная литература

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
Л2.1	Мэзон У., Розенберг Л. Д.	Физическая акустика Часть А: монография	Электронная библиотека	Москва: Мир, 1966

6.1.3. Методические разработки

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
Л3.1	Переломова Н. В., Забелин А. Н.	Акустоэлектроника: Объемные акустические волны в кристаллах: сб. задач	Электронная библиотека	М.: Изд-во МИСиС, 2010
Л3.2	Забелин А. Н., Переломова Н. В.	Акустоэлектроника: Расчет характеристик объемных акустических волн в кристаллах: учеб. пособие	Электронная библиотека	М.: Изд-во МИСиС, 2010

6.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

Э1	Кристаллические компоненты акустоэлектроники	https://lms.misis.ru/
----	--	---

6.3 Перечень программного обеспечения

П.1	LMS Canvas
П.2	Microsoft Office

П.3	MS Teams
6.4. Перечень информационных справочных систем и профессиональных баз данных	
И.1	Бесплатная электронная библиотека "Единое окно доступа к образовательным ресурсам" http://window.edu.ru/
И.2	Акустика. Информационная система http://akdata.ru/

7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Ауд.	Назначение	Оснащение
Любой корпус Мультимедийная	Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа и/или для проведения практических занятий:	комплект учебной мебели до 36 мест для обучающихся, мультимедийное оборудование, магнитно-маркерная доска, рабочее место преподавателя, ПК с доступом к ИТС «Интернет», ЭИОС университета через личный кабинет на платформе LMS Canvas, лицензионные программы MS Office, MS Teams, ESET Antivirus
Читальный зал №3 (Б)		комплект учебной мебели на 44 места для обучающихся, МФУ Xerox VersaLink B7025 с функцией масштабирования текстов и изображений, 8 ПК с доступом к ИТС «Интернет», ЭИОС университета через личный кабинет на платформе LMS Canvas, лицензионные программы MS Office, MS Teams, ESET Antivirus.

8. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ

Проведение практических занятий осуществляется исключительно в аудиториях, обеспеченных мультимедийным оборудованием, с возможностью показа презентаций.

Практические занятия нацелены на практическое изучение характеристик распространения акустических волн в кристаллах и связи между физическими свойствами материалов акустоэлектроники и параметрами акустоэлектронных устройств на их основе.

Предусматриваются домашние задания, включающие задачи по расчету характеристик распространения акустических волн в твердых телах и параметров линии задержки на поверхностных акустических волнах.

Проведение практических занятий предусматривает использование в учебном курсе активных и интерактивных технологий (презентации в формате MS PowerPoint, математические пакеты Maxima и Scilab).

Дисциплина относится к точным наукам и требует значительного объема самостоятельной работы. Отдельные учебные вопросы выносятся на самостоятельную проработку и контролируются посредством текущей аттестации. При этом организуются групповые и индивидуальные консультации. Качественное освоение дисциплины возможно только при систематической самостоятельной работе, что поддерживается системой текущей и рубежной аттестации.

Материалы курса (презентации, рекомендуемая литература, тесты и др.) выложены в системе LMS Canvas.