

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.»

Кафедра «Электронные приборы и устройства»

## **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА**

по дисциплине

*Б.1.3.10.2 «Чувствительные элементы на базе наноэлектронных структур»*

направления подготовки

*11.03.04 «Электроника и наноэлектроника»*

Профиль «Электронные приборы и устройства»

форма обучения – очная

курс –3

семестр – 6

зачетные единицы - 4

всего часов – 144,

в том числе:

лекции – 28

колл. - 8

лабораторные работы –36

всего аудиторн. - 72

самостоятельная работа – 72

зачет с оценкой – 6 семестр

## **1. Цель и задачи изучения дисциплины**

*1.1 Целью дисциплины является* освоение студентами физических принципов и основ нанoeлектроники, изучение технологий изготовления наноструктур и их дальнейшее применение.

*1.2 Задачи изучения дисциплины:*

- выработать у студентов глубокое понимание роли и значения нанoeлектроники в современном развитии общества, ее особенностей и места среди других наук;
- овладеть теорией и основами физических принципов нанoeлектроники, технологии изготовления наноструктур;
- овладеть теорией и основами принципов работы нанoeлектронных приборов и устройств, разрабатываемых на основе обнаруженных явлений и эффектов;
- выработать навыками и умением к анализируванию и систематизированию результатов исследований, представлению материалов в виде научных отчетов, публикаций, презентаций.

## **2. Место дисциплины в структуре ООП ВО**

Для успешного усвоения данной дисциплины необходимо, чтобы студент владел знаниями, умениями и навыками, сформированными в процессе изучения дисциплин:

- Физические основы электроники Б.1.1.16 (ПК 1,2).
- Нанoeлектроника Б.1.1.17 (ОПК 7).
- Компоненты электронной техники Б.1.2.8 (ПК 5).

## **3. Требования к результатам освоения дисциплины**

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

- способностью строить простейшие физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и нанoeлектроники различного функционального назначения, а также использовать стандартные программные средства их компьютерного моделирования (ПК 1).

Студент должен знать:

- этапы развития электроники,
- микроэлектроники и нанoeлектроники,
- научные и технологические основы нанoeлектроники,
- элементы и приборы нанoeлектроники, принципы их построения,
- основы проектирования элементов нанoeлектроники,
- чувствительные элементы на базе нанoeлектронных структур,
- технические средства нанотехнологий.

Студент должен уметь:

- самостоятельно изучать физические основы нанoeлектроники,
- анализировать результаты практических и самостоятельных исследований,

- оценивать перспективы нанoeлектроники, в том числе нанoeлектронной элементной базы.

Студент должен владеть:

- способностью построения физических и математических моделей на основе проведенных научных исследований в рамках функционирования схем, устройств и приборов электроники и нанoeлектроники.

#### 4. Распределение трудоемкости (час.) дисциплины по темам и видам занятий

№ м о д у л я	№ не де ли	№ т е м ы	Наименование темы	Часы / Из них в интерактивной форме					
				Всего	Лек- ции	Колло- квиумы	Лабора- торные	Прак- тичес- кие	СРС
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>6 семестр</b>									
1	1	1	Введение. Этапы развития нанoeлектроники. От микро- к нано-	10	2		2		6
1	2	2	Физические принципы нанoeлектроники.	14	2	4	2		6
1	3	3	Теория магнитных свойств наноструктур	8	2		2		4
1	4	4	Теория магнитных свойств наноструктур	8	2		2		4
1	5	5	Динамическое моделирование процессов формирования трехмерных кластеров	10	2	2	2		4
1	6	6	Усиление магнитооптического экваториального эффекта Керра в наноразмерных структурах	8	2		2		4
1	7	7	Модификация свойств физических систем наноструктурированием	8	2		2		4
1	8	8	Моделирование процессов эпитаксиального роста	8	2		2		4
1	9,10	9	Квантовые процессоры на основе спинового	10	2		2		6

			магнитного резонанса						
2	11	10	Высокотемпературные сверхпроводники в наноэлектронике	10	2		2		6
2	12, 13	11	Датчики магнитного поля	14	2	2	4		6
2	14, 15	12	Изготовление чувствительного элемента датчика вакуума	12	2		4		6
2	16, 17	13	Датчик абсолютного давления	12	2		4		6
2	18	14	Бесконтактные датчики Фотоника волноводных наноразмерных структур Оптические волокна с фотонно-кристаллической структурой	12	2		4		6
Всего				144	28	8	36	-	72

## 5. Содержание лекционного курса

№ темы	Всего, часов	№ лекции	Тема лекции. Вопросы, отрабатываемые на лекции	Учебно – методическое обеспечение
1	2	3	4	5
1	2	1	<u>Введение. Этапы развития наноэлектроники. От микро- к нано-</u>	1,2
2	2	2	<u>Физические принципы наноэлектроники.</u>	1,2,3
3	2	3	<u>Теория магнитных свойств наноструктур</u>  Фазовые переходы в молекулярных ферримагнетиках с двумя точками компенсации. Индукцированные магнитным полем переходы в магнитных мультислоях.	2,3,4
4	2	4	<u>Теория магнитных свойств наноструктур</u>  Расчет спиновой структуры и энергии основного состояния магнитных молекулярных нанокластеров.	1,2,4,5
5	2	5	<u>Динамическое моделирование процессов формирования трехмерных кластеров</u>	1,3,5
6	2	6	<u>Усиление магнитооптического экваториального эффекта Керра в наноразмерных структурах</u>	1,2,6
7	2	7	<u>Модификация свойств физических систем наноструктурированием</u>	1,2,4,5

			Фотостимулированное травление низколегированных подложек n-типа кремния в растворах плавиковой кислоты с приложением внешнего электрического поля при разных параметрах системы электролит/полупроводник.	
8	2	8	<u>Моделирование процессов эпитаксиального роста</u>  Атомные механизмы релаксации внутренних напряжений в гетероэпитаксиальных структурах. Кинетика диффузионных процессов на поверхности металлов. Спин-вентильный датчик слабых магнитных полей.	1,2,4,6
9	2	9	<u>Квантовые процессоры на основе спинового магнитного резонанса</u>	1,3,4
10	2	10	<u>Высокотемпературные сверхпроводники в наноэлектронике</u>  Основа для создания электронных элементов с использованием высокотемпературного сверхпроводника (ВТСП), технологии формирования тонких и совершенных слоев этого материала.	5,6,7
11	2	11	<u>Датчики магнитного поля</u>  Использование слоев сверхпроводника толщиной до 100 нм для изготовления датчика магнитного поля основан на использовании магнитных барьеров.	6,7
12	2	12	<u>Изготовление чувствительного элемента датчика вакуума</u>  Конструкция, технические данные, применение.	4,5,6
13	2	13	<u>Датчик абсолютного давления</u>  Структура, техническая сущность, применение	6,7
14	2	14	<u>Бесконтактные датчики</u>  Датчик давления повышенной чувствительности на основе нано- и микроэлектромеханической системы с тонкопленочными тензорезисторами (структура, технические данные, применение). <u>Фотоника волноводных наноразмерных структур</u>  Нанопотоника Направления исследований и применений. <u>Оптические волокна с фотонно-кристаллической структурой.</u> <u>Создание фотонных кристаллов и так называемых фотонно-кристаллических или «дырчатых» волоконных световодов</u> Типы фотонно-кристаллических волокон. <u>Технология изготовления оптических волокон с</u>	3,4,5

			фотонно-кристаллической структурой.	
--	--	--	-------------------------------------	--

## 6. Содержание коллоквиумов

№ темы	Всего часов	№ коллоквиума	Тема коллоквиума. Вопросы, отрабатываемые на коллоквиуме	Учебно – методическое обеспечение
1	2	3	4	5
2	4	1	Физические принципы нанoeлектроники.	1,2,3
5	2	2	Процессы формирования наноразмерных структур	1,3,5
11	2	3	Датчики магнитного поля	5,6,7

## 7. Перечень практических работ

Не предусмотрены учебной программой.

## 8. Перечень лабораторных занятий

№ темы	Всего час.	Наименование практической работы. Вопросы, отрабатываемые на практическом занятии.	Учебно – методическое обеспечение
1	2	3	4
1 - 6	12	Физические принципы нанoeлектроники.	1,2,3,7
7 - 10	8	Свойства физических систем наноструктурирования.	1,3,5,7
11 - 14	16	Чувствительные элементы на базе наноструктур	5,6,7

Методические указания приведены в соответствующем разделе ИОС [7].

## 9. Задания для самостоятельной работы студентов

№ темы	Всего Час.	Вопросы для самостоятельного изучения (задания)	Учебно – методическое обеспечение
1	2	3	4
1.	6	<u>Введение. Этапы развития нанoeлектроники. От микро- к нано-</u>	1,2
2.	6	<u>Физические принципы нанoeлектроники.</u>	1,2,3
3.	4	<u>Теория магнитных свойств наноструктур</u>  Фазовые переходы в молекулярных ферромагнетиках с двумя точками компенсации Индукцированные магнитным полем переходы в магнитных мультислоях	2,3,4
4.	4	<u>Теория магнитных свойств наноструктур</u>	1,2,4,5

		Расчет спиновой структуры и энергии основного состояния магнитных молекулярных нанокластеров	
5.	4	<u>Динамическое моделирование процессов формирования трехмерных кластеров</u>	1,3,5
6.	4	<u>Усиление магнитооптического экваториального эффекта керра в наноразмерных структурах</u>	1,2,6
7.	4	<u>Модификация свойств физических систем наноструктурированием</u>  Фотостимулированное травление низколегированных подложек n-типа кремния в растворах плавиковой кислоты с приложением внешнего электрического поля при разных параметрах системы электролит/полупроводник	1,2,4,5
8.	4	<u>Моделирование процессов эпитаксиального роста</u>  Атомные механизмы релаксации внутренних напряжений в гетероэпитаксиальных структурах Кинетика диффузионных процессов на поверхности металлов Спин-вентильный датчик слабых магнитных полей	1,2,4,6
9.	6	<u>Квантовые процессоры на основе спинового магнитного резонанса</u>	1,3,4
10.	6	<u>Высокотемпературные сверхпроводники в нанoeлектронике</u>  Основа для создания электронных элементов с использованием высокотемпературного сверхпроводника (ВТСП), технологии формирования тонких и совершенных слоев этого материала.	5,6,7
11.	6	<u>Датчики магнитного поля</u>  Использование слоев сверхпроводника толщиной до 100 нм для изготовления датчика магнитного поля основан на использовании магнитных барьеров.	6,7
12.	6	<u>Изготовление чувствительного элемента датчика вакуума</u>  Конструкция, технические данные, применение	4,5,6
13.	6	<u>Датчик абсолютного давления</u>  Структура, техническая сущность, применение	6,7
14.	6	<u>Бесконтактные датчики</u>  Датчик давления повышенной чувствительности на основе нано- и микроэлектромеханической системы с	3,4,5

	<p>тонкопленочными тензорезисторами (структура, технические данные, применение)  <u>Фотоника волноводных наноразмерных структур</u></p> <p>Нанопотоника  Направления исследований и применений.</p> <p><u>Оптические волокна с фотонно-кристаллической структурой</u></p> <p>Создание фотонных кристаллов и так называемых фотонно-кристаллических или «дырчатых» волоконных световодов  Типы фотонно-кристаллических волокон  Технология изготовления оптических волокон с фотонно-кристаллической структурой</p>	
--	--	--

Методические указания по самостоятельному изучению отдельных разделов дисциплины приведены в соответствующем разделе ИОС [7].

### **10. Расчетно-графическая работа**

Не предусмотрен учебной программой.

### **11. Курсовая работа**

Не предусмотрен учебной программой.

### **12. Курсовой проект**

Не предусмотрен учебной программой.

### **13. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине (модулю)**

В процессе освоения образовательной программы формируются отдельные элементы компетенций:

- способностью строить простейшие физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения, а также использовать стандартные программные средства их компьютерного моделирования (ПК 1).

Содержание лекционного курса и лабораторных занятий формируют на рассматриваемом этапе элементы компетенций в части, касающейся знаний основы наноэлектроники, умений оценивать пределы применимости и применять знания нанопластики, владений навыками применения методов описания квантовых систем, анализа и синтеза изучаемых явлений и процессов, способностью самостоятельно изучать физические основы электроники, наноэлектроники, способностью анализировать результаты практических и самостоятельных исследований, способностью оценивать перспективы наноэлектроники и чувствительных элементов на базе наноэлектронных структурах.



Процедура оценивания знаний, умений и навыков проводится в соответствии со следующими методическими материалами и заключается:

- в проведении устного зачетного опроса с оценкой в виде диалога преподавателя со студентом, цель которого – систематизация и уточнение имеющихся у студента знаний, проверка его индивидуальных возможностей усвоения материала;

- отчетов по лабораторным работам, самостоятельной работе и коллоквиумам для оценки способности студента применить полученные ранее знания для проведения анализа, опыта, а также составления выводов.

Показателем оценивания степени усвоения знаний элемента компетенций, является оценка, полученная на зачете с оценкой при ответе на вопросы для зачета с оценкой. Оценка выставляется по четырехбалльной шкале, соответствующей оценкам «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» (зачтено) и «неудовлетворительно» (не зачтено) и осуществляется путем анализа ответа на вопросы для зачета с оценкой. При этом руководствуются следующими критериями.

Оценка	Критерии оценивания результатов обучения
Отлично	Заслуживает обучающийся, обнаруживший всестороннее, систематическое и глубокое знание учебного материала, предусмотренного программой, усвоивший основную литературу и знакомый с дополнительной литературой, рекомендованной программой.
Хорошо	Заслуживает обучающийся, обнаруживший полное знание учебного материала, усвоивший основную литературу, рекомендованную в программе. Оценка "хорошо" выставляется обучающимся, показавшим систематический характер знаний по дисциплине и способным к их самостоятельному пополнению и обновлению в ходе дальнейшей учебной работы и профессиональной деятельности.
Удовлетворительно	Заслуживает обучающийся, обнаруживший знания основного учебного материала в объеме, необходимом для дальнейшей учебы и предстоящей работы по профессии, знакомых с основной литературой, рекомендованной программой. Оценка выставляется обучающимся, допустившим погрешности при ответе и выполнении заданий, но обладающим необходимыми знаниями для их устранения под руководством преподавателя.
Неудовлетворительно	Выставляется обучающемуся, обнаружившему пробелы в знаниях основного учебного материала. Оценка ставится обучающимся, которые не могут продолжить обучение или приступить к профессиональной деятельности по окончании образовательного учреждения без дополнительных занятий по рассматриваемой дисциплине

Умения и навыки, приобретенные студентом на этапе освоения указанной части компетенций при преподавании (изучении) рассматриваемой дисциплины, оцениваются по результатам выполнения:

- лабораторных работ,
- самостоятельной работы,
- коллоквиумов.

Показателем оценивания степени усвоения знаний элемента компетенций, является оценка, полученная при отчете по лабораторным работам, самостоятельной работе, коллоквиумам. Оценка выставляется по четырехбальной шкале, соответствующей оценкам «зачтено» («отлично», «хорошо», «удовлетворительно») и «не зачтено» («неудовлетворительно») и осуществляется путем анализа знаний теоретического материала, проведенного эксперимента, оформленного отчета, выступления и ответов на вопросы.

При этом руководствуются следующими критериями при оценивании знаний теоретического материала, проведенного эксперимента и оформленного отчета:

Оценка	Критерии оценивания результатов обучения
Зачтено (отлично)	Выставляется студенту, если задание выполнено в полном объеме с соблюдением необходимой последовательности и правил оформления отчета. Студенты работают полностью самостоятельно: подбирают необходимые для выполнения предлагаемых работ в задании источники знаний, показывают необходимые для проведения лабораторной, самостоятельной работы, коллоквиумов теоретические знания, практические умения и навыки.
Зачтено (хорошо)	Выставляется студенту, если задание выполнено в полном объеме и самостоятельно. Допускаются отклонения от необходимой последовательности выполнения и правил оформления отчета, не влияющие на правильность конечного результата. Студенты используют указанные преподавателем источники знаний, таблицы из приложения к учебнику, страницы из справочной литературы по предмету. Задание показывает знание учащихся основного теоретического материала и овладение умениями, необходимыми для самостоятельного выполнения работы. Могут быть неточности и небрежность в оформлении результатов работы.
Зачтено (удовлетворительно)	Выставляется студенту, если задание на практическую работа выполняется и оформляется студентами при помощи преподавателя или хорошо подготовленных и уже выполненных на «отлично» данную работу

	студентов. На выполнение задания затрачивается много времени (можно дать возможность доделать работу дома). Студенты показывают знания теоретического материала, но испытывают затруднение при самостоятельной работе с физическими приборами, графиками, таблицами справочной литературы.
Не зачтено (неудовлетворительно)	Выставляется, если студенты показывают плохое знание теоретического материала и отсутствие умения применить знания к решению практической задачи, неумение оформить отчет. Руководство и помощь со стороны преподавателя и хорошо подготовленных студентов неэффективны по причине плохой подготовки студента.

Процедура оценивания знаний, умений, навыков по дисциплине «Чувствительные элементы на базе наноэлектронных структур» включает учет успешности выполнения лабораторных работ, самостоятельной работы, коллоквиумов и сдачу зачета с оценкой.

### **Вопросы для зачета с оценкой**

1. Этапы развития наноэлектроники. От микро- к нано-.
2. Физические принципы наноэлектроники.
3. Теория магнитных свойств наноструктур.
4. Фазовые переходы в молекулярных ферримагнетиках с двумя точками компенсации.
5. Индуцированные магнитным полем переходы в магнитных мультислоях
6. Теория магнитных свойств наноструктур.
7. Расчет спиновой структуры и энергии основного состояния магнитных молекулярных нанокластеров.
8. Динамическое моделирование процессов формирования трехмерных кластеров.
9. Усиление магнитооптического экваториального эффекта керра в наноразмерных структурах.
10. Модификация свойств физических систем наноструктурированием.
11. Фотостимулированное травление низколегированных подложек n-типа кремния в растворах плавиковой кислоты с приложением внешнего электрического поля при разных параметрах системы электролит/полупроводник.
12. Моделирование процессов эпитаксиального роста.
13. Атомные механизмы релаксации внутренних напряжений в гетероэпитаксиальных структурах.
14. Кинетика диффузионных процессов на поверхности металлов.
15. Спин-вентильный датчик слабых магнитных полей.

16. Квантовые процессоры на основе спинового магнитного резонанса.
17. Высокотемпературные сверхпроводники в нанoeлектронике.
18. Основа для создания электронных элементов с использованием высокотемпературного сверхпроводника (ВТСП), технологии формирования тонких и совершенных слоев этого материала.
19. Датчики магнитного поля.
20. Использование слоев сверхпроводника толщиной до 100 нм для изготовления датчика магнитного поля основан на использовании магнитных барьеров.
21. Изготовление чувствительного элемента датчика вакуума. Конструкция, технические данные, применение.
22. Датчик абсолютного давления. Структура, техническая сущность, применение.
23. Бесконтактные датчики.
24. Датчик давления повышенной чувствительности на основе нано- и микроэлектромеханической системы с тонкопленочными тензорезисторами (структура, технические данные, применение).
25. Фотоника волноводных наноразмерных структур.
26. Нанofотоника. Направления исследований и применений.
27. Оптические волокна с фотонно-кристаллической структурой.
28. Создание фотонных кристаллов и так называемых фотонно-кристаллических или «дырчатых» волоконных световодов.
29. Типы фотонно-кристаллических волокон.
30. Технология изготовления оптических волокон с фотонно-кристаллической структурой.

### **Тестовые задания по дисциплине**

#### **14. Образовательные технологии**

Лекционный курс читается с применением информационно-коммуникационных образовательных технологий (организация образовательного процесса, основанная на применении специализированных программных сред и технических средств работы с информацией). Изложение всего материала (лекции-визуализации) сопровождается презентациями (демонстрацией учебных материалов, представленных в различных знаковых системах, в т.ч. иллюстративных, графических).

Коллоквиумы проводятся с применением интерактивных технологий и технологий проблемного обучения (лекция – дискуссия, в ходе которой решается комплексная учебная задача).

При проведении лабораторных работ наряду с традиционными образовательными технологиями (лабораторная работа – организация учебной работы с реальными материальными и информационными объектами) применяются технологии проблемного обучения (проведение лабораторных работ - организация учебной работы, направленная на решение комплексной учебно-познавательной задачи, требующей от студента применения как научно-

теоретических знаний, так и практических навыков) и технологии проектного обучения (выполнение творческих и информационных проектов).

Дисциплина «Чувствительные элементы на базе нанoeлектронных структур» состоит: из лекционной части в мультимедийном исполнении; лабораторных занятий в виде компьютерного практикума в дисплейном классе на персональных компьютерах, соединенных в локальную сеть и имеющих доступ в Internet для закрепления полученных знаний; самостоятельных занятий для подготовки к занятиям, поискового назначения, овладения учебным материалом и освоения дополнительной литературы.

Блок «самостоятельная работа» представляет консультации по электронной почте и в on-line режиме.

## **15. Перечень учебно-методического обеспечения для обучающихся по дисциплине**

### **ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:**

1. Шишкин Г.Г. Нанoeлектроника. Элементы, приборы, устройства [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Шишкин Г.Г., Агеев И.М.— Электрон. текстовые данные.— М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015.— 409 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/6462>.— ЭБС «IPRbooks».
2. Раскин А.А. Технология материалов микро-, опто- и нанoeлектроники. Часть 1 [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Раскин А.А., Прокофьева В.К.— Электрон. текстовые данные.— М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015.— 165 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/12273>.— ЭБС «IPRbooks».

### **ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:**

3. Нанотехнологии в электронике. Выпуск 2 [Электронный ресурс]/ Е.А. Артамонова [и др.].— Электрон. текстовые данные.— М.: Техносфера, 2013.— 688 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/32025>.— ЭБС «IPRbooks».
4. Трубочкина Н.К. Моделирование 3D наносхемотехники [Электронный ресурс]/ Трубочкина Н.К.— Электрон. текстовые данные.— М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015.— 524 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/12234>.— ЭБС «IPRbooks».
5. Зебрев Г.И. Физические основы кремниевой нанoeлектроники [Электронный ресурс]: учебное пособие для вузов/ Зебрев Г.И.— Электрон. текстовые данные.— М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015.— 241 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/4585>.— ЭБС «IPRbooks».
6. Неволин В.К. Зондовые нанотехнологии в электронике [Электронный ресурс]/ Неволин В.К.— Электрон. текстовые данные.— М.: Техносфера, 2014.— 174 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/26894>.— ЭБС «IPRbooks».

## ИСТОЧНИКИ ИОС:

7. «Чувствительные элементы на базе наноэлектронных структур». Учебно-методические материалы  
<https://portal3.sstu.ru/Facult/INETM/EPU/ELNE/B.1.3.10.2/default.aspx> доступ по паролю

### ***16. Материально-техническое обеспечение дисциплины.***

База проведения занятий – СГТУ имени Гагарина Ю.А. кафедра ЭПУ

Для проведения лекционных занятий требуется комплект технических средств обучения. Изложение лекционного материала сопровождается демонстрационным материалом, оформленным в виде презентации в программе Microsoft PowerPoint.

Помещения для самостоятельной работы студентов: аудитории, оборудованные компьютерами с выходом в Интернет.

Информационное и учебно-методическое обеспечение: ЭБС «IPRbooks», электронная библиотека СГТУ им. Гагарина Ю.А., электронная информационно-образовательная среда СГТУ им. Гагарина Ю.А.