

Министерство образования и науки РФ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ  
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ (ТУСУР)

Кафедра физической электроники

П.Е. Троян

**АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ И  
НАНОЭЛЕКТРОНИКИ**

Учебно-методическое пособие по аудиторным практическим и семинарским  
занятиям и самостоятельной работе студентов

Томск, 2013

УДК 621.382

**Рецензент:** С.В. Смирнов, доктор технических наук, профессор

**Троян П.Е.**

Актуальные проблемы современной электроники и наноэлектроники: Учебно-методическое пособие. - Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2013. - 32 с.

Учебно-методическое пособие предназначено для подготовки магистров по техническим направлениям подготовки специальностей.

Учебно-методическое пособие содержит содержание практических и семинарских занятий по темам, предусмотренным рабочей программой, перечень контрольных вопросов для промежуточной аттестации в семестре, вопросы для экзамена. В учебно-методическом пособии представлен список рекомендуемой литературы по каждой теме практического или семинарского занятия.

## СОДЕРЖАНИЕ

1. Введение .....	5
2. Рабочая программа .....	6
3. Перечень тем и содержание практических и семинарских занятий.....	11
4. Методические указания по проведению практических занятий.....	22
5. Методические указания по проведению семинарских занятий.....	24
6. Перечень вопросов по текущей (в семестре) аттестации .....	26
7. Перечень вопросов для подготовки к экзамену .....	28
8. Пример экзаменационных билетов.....	30
9. Организация и методические указания по самостоятельной работе .....	31

## **1. ВВЕДЕНИЕ**

Изучение дисциплины «Актуальные проблемы современной электроники и наноэлектроники» магистрантами направления «Электроника и наноэлектроника» в ТУСУР предусматривает два вида аудиторных занятий: лекции в объеме 18 часов и практические занятия в объеме 26 часов. При малом объеме лекционных занятий основным видом занятий, формирующим компетенции на основе освоения предусмотренных дидактических единиц, являются практические занятия. Специфика дисциплины такова, что значительная часть занятий не предусматривает выполнение расчетно-графических работ и проводится в виде семинаров. Для проведения семинаров преподаватель обеспечивает подготовку к семинару 2-3 студентов по темам практических занятий. Эти студенты делают доклады продолжительностью 25-30 минут. Оставшееся время используется для обсуждения проблемы, основное содержание которой изложено в докладе. По каждой теме всем студентам выдается перечень основных вопросов, которые необходимо знать.

Совершенно очевидно, что при такой технологии освоения дисциплины главную роль играет самостоятельная работа студентов. Она проводится студентом под руководством преподавателя. Преподаватель формирует темы занятий, составляет перечень основных проблем, которые должны быть отражены в докладе, рекомендует минимальный список литературы. На подготовку к семинару отводится не менее 2 недель.

Методическое пособие призвано обеспечить качественное проведение практических и семинарских занятий, а также самостоятельной работы при освоении дисциплины «Актуальные проблемы современной электроники и наноэлектроники» при подготовке в ТУСУР магистров по направлению «Электроника и наноэлектроника».

## **2. РАБОЧАЯ ПРОГРАММА**

### **2.1. Цели и задачи дисциплины**

Изучение передовых достижений, основных направлений, тенденций, перспектив и проблем развития современной наноэлектроники с целью выработки навыков оценки новизны исследований и разработок, освоения новых методологических подходов к решению профессиональных задач в области наноэлектроники.

### **2.2. Место дисциплины в структуре ООП**

Дисциплина относится к базовым дисциплинам профессионального цикла (М2.Б.1).

Изучение дисциплины базируется на следующих ранее изучаемых дисциплинах: физика, математика, материалы и элементы электронной техники, твердотельная электроника, микроэлектроника, микросхемотехника.

На материалах, изучаемых в данной дисциплине, базируются следующие дисциплины учебного плана, изучаемые позднее: проектирование и технология электронной компонентной базы, технология арсенид-галлиевой гетероструктурной электроники, проектирование микропроцессорных и компьютерных систем, полупроводниковая оптоэлектроника

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

**Изучение дисциплины направлено на формирование у магистрантов следующих профессиональных (ПК) и общекультурных компетенций (ОК):**

- способность совершенствовать и развивать свой интеллектуальный и общекультурный уровень (ОК-1);
- способность использовать на практике умения и навыки в организации исследовательских и проектных работ, в управлении коллективом (ОК-4);
- готовность к активному общению с коллегами в научной, производственной и социально-общественной сферах деятельности (ОК-6);
- способность использовать результаты освоения фундаментальных и прикладных дисциплин ООП магистратуры (ПК-1);
- способность демонстрировать навыки работы в научном коллективе, порождать новые идеи (креативность) (ПК-2);

– способность понимать основные проблемы в своей предметной области, выбирать методы и средства их решения (ПК-3);

– способность самостоятельно приобретать и использовать в практической деятельности новые знания и умения, в том числе в новых областях знаний, непосредственно не связанных со сферой деятельности (ПК-4);

– готовность формулировать цели и задачи научных исследований в соответствии с тенденциями и перспективами развития электроники и нанoeлектроники, а также смежных областей науки и техники, способностью обоснованно выбирать теоретические и экспериментальные методы и средства решения сформулированных задач (ПК-16);

– способность аргументировано идентифицировать новые области исследований, новые проблемы в сфере физики, проектирования, технологии изготовления и применения электронных приборов и устройств (ПСК-3).

**В результате изучения дисциплины магистрант должен:**

**знать:** основные задачи, направления, тенденции и перспективы развития электроники и нанoeлектроники, а также смежных областей науки и техники; передовой отечественный и зарубежный научный опыт и достижения в области электроники, микро- и нанoeлектроники;

**уметь:** оценивать научную значимость и перспективы прикладного использования результатов исследований; предлагать новые области научных исследований и разработок, новые методологические подходы к решению задач в области электроники и нанoeлектроники;

**владеть:** современной научной терминологией и основными теоретическими и экспериментальными подходами в передовых направлениях электроники, микро- и нанoeлектроники.

## 2.4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### Разделы дисциплин и виды занятий

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Л	ПЗ	СРС	Всего час	Формируемые компетенции (ОК, ПК, ПСК)
1.	Современное состояние и тенденции развития электроники и нанoeлектроники.	2	0	2	4	ОК-1, ОК-4, ОК-6, ПК-1, ПК-2, ПК-3, ПК-4, ПК-16, ПСК-3
2.	Современная литография. Ионно-плазменные технологии и молекулярно-лучевая эпитаксия.	0	4	10	14	ОК-4, ОК-6, ПК-1, ПК-2, ПК-3, ПК-4, ПК-16, ПСК-3
3.	Термоэлектрические и фотоэлектрические преобразователи энергии сегодня и завтра.	0	2	5	7	ОК-4, ОК-6, ПК-1, ПК-2, ПК-3, ПК-4, ПК-16, ПСК-3
4.	Детекторы ионизирующих излучений в науке и технике.	0	2	5	7	ОК-4, ОК-6, ПК-1, ПК-2, ПК-3, ПК-4, ПК-16, ПСК-3
5.	Физические основы криoeлектроники, приборы на эффекте Джозефсона.	2	2	5	9	ОК-1, ОК-4, ОК-6, ПК-1, ПК-2, ПК-3, ПК-4, ПК-16, ПСК-3
6.	Магнитная и сегнетоэлектрическая память.	0	2	5	7	ОК-4, ОК-6, ПК-1, ПК-2, ПК-3, ПК-4, ПК-16, ПСК-3
7.	Широкозонные полупроводники: прорыв в будущее. Высокотемпературная полупроводниковая электроника.	2	4	5	11	ОК-1, ОК-4, ОК-6, ПК-1, ПК-2, ПК-3, ПК-4, ПК-16, ПСК-3
8.	Пористый кремний и его применение в кремниевой микрофотонике.	0	2	5	7	ОК-4, ОК-6, ПК-1, ПК-2, ПК-3, ПК-4, ПК-16, ПСК-3
9.	Технология аморфного и поликремния для электроники.	0	0	5	5	ОК-4, ОК-6, ПК-1, ПК-2, ПК-3, ПК-4, ПК-16, ПСК-3
10.	Углеродные кластеры и их применение в нанoeлектронике.	0	2	5	7	ОК-4, ОК-6, ПК-1, ПК-2, ПК-3, ПК-4, ПК-16, ПСК-3
11.	Методы анализа наноструктур и материалов.	0	2	5	7	ОК-4, ОК-6, ПК-1, ПК-2, ПК-3, ПК-4, ПК-16, ПСК-3
12.	Гетеро- и нанoeлектроника.	2	4	5	11	ОК-1, ОК-4, ОК-6, ПК-1, ПК-2, ПК-3, ПК-4, ПК-16, ПСК-3
13.	Интеллектуальная силовая электроника.	0	2	5	7	ОК-4, ОК-6, ПК-1, ПК-2, ПК-3, ПК-4, ПК-16, ПСК-3
14.	Спутниковая, сотовая, мобильная и оптоволоконная связи.	0	0	5	5	ОК-4, ПК-1, ПК-2, ПК-3, ПК-4, ПК-16, ПСК-3

## Содержание разделов дисциплины (по лекциям)

№ п/п	Наименование разделов	Содержание разделов	Формируемые компетенции (ОК, ПК, ПСК)
1.	Современное состояние и тенденции развития электроники и наноэлектроники.	Мировой рынок электроники. Рынок отечественной электроники. Закон Мура и тенденции развития электроники. Современное состояние отечественной и зарубежной электроники. Наиболее крупные электронные компании, работающие по технологии 22 нм.	ОК-1, ПК-1, ПК-3
2.	Физические основы криоэлектроники, приборы на эффекте Джозефсона.	Физические основы сверхпроводимости. Куперовские пары. Приборы криоэлектроники. ВТСП.	ОК-1, ПК-1, ПК-3
3.	Широкозонные полупроводники: прорыв в будущее. Высокотемпературная полупроводниковая электроника.	Материалы высокотемпературной полупроводниковой электроники: карбид кремния, карбид титана, карбид бора и родственные материалы. Технологии получения. Электрофизические свойства. Структура карбида кремния. Радиационная, механическая, химическая стойкость, теплопроводность, верхний предел рабочих температур для приборов на основе карбида кремния. Измерители температуры на основе облученного алмаза и карбида кремния. Приборы на основе карбида кремния.	ОК-1, ПК-1, ПК-3
4.	Гетеро- и наноэлектроника.	Нанонаука как совокупность знаний о свойствах вещества в нанометровом масштабе. Нанотехнологии, наноинженерия. Полупроводниковые гетеропереходы; общая характеристика и особенности полупроводниковых лазеров.	ОК-1, ПК-1, ПК-3

### 2.5. Рейтинговая система для оценки успеваемости студентов

**Таблица 1. Пересчет баллов в оценки за контрольные точки**

Баллы на дату контрольной точки	Оценка
≥ 90 % от максимальной суммы баллов на дату КТ	5
От 70% до 89% от максимальной суммы баллов на дату КТ	4
От 60% до 69% от максимальной суммы баллов на дату КТ	3
< 60 % от максимальной суммы баллов на дату КТ	2



**Таблица 2. Балльные оценки для элементов контроля**

Элементы учебной деятельности	Максимальный балл на 1-ую КТ с начала семестра	Максимальный балл за период между 1КТ и 2КТ	Максимальный балл за период между 2КТ и на конец семестра	Всего за семестр
Посещение занятий	3	3	3	<b>9</b>
Практические занятия	6	6	10	<b>22</b>
Доклад-презентация	10	10	10	<b>30</b>
Компонент своевременности	3	3	3	<b>9</b>
<b>Итого максимум за период:</b>	<b>22</b>	<b>22</b>	<b>26</b>	<b>70</b>
Сдача экзамена (максимум)				<b>30</b>
<b>Нарастающим итогом</b>	<b>22</b>	<b>44</b>	<b>70</b>	<b>100</b>

**Таблица 3. Пересчет суммы баллов в традиционную и международную оценку**

Оценка (ГОС)	Итоговая сумма баллов, учитывает успешно сданный экзамен	Оценка (ECTS)
5 (отлично) (зачтено)	<b>90 – 100</b>	A (отлично)
4 (хорошо) (зачтено)	<b>85 – 89</b>	B (очень хорошо)
	<b>75 – 84</b>	C (хорошо)
	<b>70 – 74</b>	D (удовлетворительно)
<b>65 – 69</b>		
3 (удовлетворительно) (зачтено)	<b>60 – 64</b>	E (посредственно)
2 (неудовлетворительно), (не зачтено)	<b>Ниже 60 баллов</b>	F (неудовлетворительно)

### 3. ПЕРЕЧЕНЬ ТЕМ И СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИЧЕСКИХ И СЕМИНАРСКИХ ЗАНЯТИЙ

На практические занятия отводится в соответствии с рабочей программой 28 ч. аудиторных занятий. При этом по трем темам предусмотрены решения задач, а остальные занятия проводятся в виде семинаров.

Практические занятия с решением задач проводятся по следующим разделам: литография – 2 ч.; ионно-плазменные технологии – 2 ч.; эпитаксия – 2ч.

Задания на занятия по литографии, ионно-плазменным технологиям и эпитаксии представлены ниже.

#### **Литография**

##### Задание №1 – Субмикронная фотолитография.

Выбрать способ экспонирования для получения субмикронных размеров элементов. Варианты заданий приведены в таблице 3.1.

В расчетах использовать следующие данные для проекционной фотолитографии:  $\lambda=436, 365, 250, 193$  нм;  $k_1=0,6-0,4$ ;  $N_A=0,35 \div 0,8$ .

Для иммерсионной литографии принять показатель преломления для деионизованной воды  $n=1,436$ ; для литографии ЭУФ-диапазона  $\lambda=13$  нм.

Таблица 3.1 – Варианты заданий

Варианты	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Размер элемента, мкм	0,13	0,18	0,25	0,4	0,5	0,6	0,7	0,9	0,8	0,9

##### Задание №2 – Электронно-лучевая литография (ЭЛЛ).

Рассчитать зависимости диаметра электронного луча на подложке с учетом тепловых скоростей  $d_Q$ , сферической  $d_s$ , хроматической  $d_c$  aberrаций, дифракции  $d_d$  от угла схождения  $\alpha$  в диапазоне  $10^{-4} - 10^{-1}$  рад.

Определить оптимальный угол схождения  $\alpha_{\text{opt}}$  и минимальный диаметр электронного луча. Проанализировать возможность уменьшения диаметра электронного луча, т.е. увеличения разрешающей способности ЭЛЛ с учетом исходных данных для расчетов.

Варианты заданий приведены в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Варианты заданий

Номер варианта	$B, \text{A/cm}^2 \cdot \text{ср}$	$U_0, \text{кВ}$	$I_0, \text{А}$	$C_s, \text{см}$	$C_c, \text{см}$	$\Delta U, \text{В}$
1	$1 \cdot 10^4$	20	$10^{-8}$	20-	10	5
2	$5 \cdot 10^4$	20	$10^{-8}$	10	20	2
3	$1 \cdot 10^6$	30	$10^{-7}$	20	20	3
4	$5 \cdot 10^6$	30	$10^{-7}$	30	10	5
5	$1 \cdot 10^4$	30	$10^{-9}$	20	10	3
6	$1 \cdot 10^4$	20	$10^{-7}$	20	10	5
7	$5 \cdot 10^4$	20	$10^{-8}$	20	10	6
8	$1 \cdot 10^6$	30	$10^{-7}$	30	20	7
9	$5 \cdot 10^6$	40	$10^{-7}$	20	10	2
10	$1 \cdot 10^4$	30	$10^{-8}$	30	30	3

Рекомендуемый минимум источников информации по теме:

1. Данилина Т.И., Кагадей В.А., Анищенко Е.В. Технология кремниевой нанoeлектроники: Учебное пособие. – Томск: В-Спектр, 2011. – 263 с.
2. Елисеев А.А., Лукашин А.В. Функциональные материалы. Учебное пособие под ред. Ю.Д. Третьякова. – М.: Физматлит, 2010. – 456 с. (раздел 4.6.).

### Ионно-плазменные технологии (ионная имплантация) в технологии СБИС

Задание №3 – Ионная имплантация в технологии сверхбольших интегральных схем.

3.1. Получение сверхмелких р-п переходов в МОП-транзисторах.

Оценить влияние энергии ионов бора, массы ионов на  $x_{p-n}$ . Расчеты произвести для следующих ионов:  $B_{11}$ ,  $BF_2$ ,  $B_{10}H_{14}$ ,  $B_{18}H_{22}$ .

Варианты заданий приведены в таблице 3.

Таблица 3.3 – Варианты заданий

Варианты параметры	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$N_{исх}, \text{см}^{-3}$	$10^{15}$	$10^{15}$	$10^{15}$	$10^{15}$	$10^{15}$	$10^{16}$	$10^{16}$	$10^{17}$	$10^{16}$	$10^{16}$
$Q, \text{см}^{-2}$	$2 \cdot 10^{12}$	$3,5 \cdot 10^{12}$	$5,5 \cdot 10^{12}$	$1 \cdot 10^{13}$	$5 \cdot 10^{13}$	$1 \cdot 10^{14}$	$3 \cdot 10^{14}$	$5 \cdot 10^{14}$	$8 \cdot 10^{17}$	$6 \cdot 10^{13}$
Энергия ионов бора, кэВ	20	30	40	50	60	70	80	90	100	120
Проецированный пробег, мкм	0,076	0,116	0,156	0,197	0,239	0,276	0,308	0,344	0,38	0,45
Среднеквадратичное отклонение, мкм	0,034	0,046	0,058	0,066	0,075	0,082	0,089	0,094	0,1	0,11

3.2. Рассчитать толщину отсеченного слоя кремния и толщину слоя диэлектрика  $\text{SiO}_2$  при формировании структур «кремний на изоляторе» методом SIMOX. Для решения задачи необходимо построить распределение ионов кислорода по глубине, воспользовавшись данными из таблицы 3.4.

Варианты заданий приведены в таблице 4.

Таблица 3.4 – Варианты заданий

Варианты	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Доза легирования, $\text{см}^{-2}$	$10^{17}$	$10^{16}$	$4 \cdot 10^{17}$	$10^{17}$	$10^{16}$	$8 \cdot 10^{17}$	$10^{17}$	$5 \cdot 10^{16}$	$5 \cdot 10^{17}$	$3 \cdot 10^{17}$
Энергия ионов, КэВ	40	60	80	100	120	75	50	70	90	110
Проецированный пробег, мкм	0,05	0,07	0,1	0,13	0,15	0,09	0,06	0,08	0,12	0,14
Среднеквадратичное отклонение, мкм	0,02	0,028	0,04	0,045	0,051	0,035	0,025	0,03	0,04	0,017

Рекомендуемый минимум источников информации по теме:

1. Т.И.Данилина, К.И.Смирнова, В.А., В.А.Илюшин, А.А.Величко// Процессы микро- и нанотехнологий. Учебное пособие. ТУСУР.- Томск: ТУСУР, 2005.-316 с. (раздел 11).
2. Т.И.Данилина, К.И.Смирнова //Ионно-плазменные технологии в производстве СБИС. Учебное пособие.- Томск: ТУСУР, 2000.- 160 с.
3. Т.И.Данилина, В.А.Кагадей, Е.В.Анищенко //Технологии кремниевой наноэлектроники: Учеб.пособие.-Томск: В-Спектр,2011.-262 с.

## Эпитаксия

### Газофазная эпитаксия.

#### №4. Задание и пример решения.

На подложке типа 200 КДБ – 0,5 выращена эпитаксиальная пленка 5 КЭФ – 1,0 со скоростью 0,8 мкм/мин при температуре подложки  $1250^\circ\text{C}$ . Определить концентрацию бора в эпитаксиальной пленке на глубине 4,5 мкм в результате автолегирования. Эффект автолегирования имеет место, когда концентрация примеси в подложке больше концентрации в эпитаксиальной пленке. По маркировке пленки и

подложки, используя график 4.7, можно определить:  $N_{ЭП} = 5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$ ,  $N_{подл} = 6 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$ ,  $N_{подл} > N_{ЭП}$ .

Профиль автолегирования описывается уравнением (3.1), если удовлетворяется неравенство (3.2). Проверим справедливость неравенства

$$D = D_0 \exp\left(-\frac{Ea}{KT}\right) = 11,5 \cdot \exp\left(-\frac{3,7 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}}{1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 1523}\right) = 6,73 \cdot 10^{-12} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}.$$

$$t = -\frac{5}{0,8} = 6,25 \text{ мин} = 375 \text{ с}.$$

$$V_p > 2 \left( \frac{6,73 \cdot 10^{-12}}{375} \right)^{\frac{1}{2}} = 2,6 \cdot 10^{-7} \text{ см} / \text{с} = 0,156 \frac{\text{мкм}}{\text{мин}}.$$

$$0,8 > 0,156.$$

Используя выражение (3.3), определим концентрацию примеси на глубине 4,5 мкм, т.е. на расстоянии 0,5 мкм от границы раздела пленка – подложка.

$$N(x) = 6 \cdot 10^{16} \operatorname{erfc} \frac{0,5 \cdot 10^{-4}}{2(6,73 \cdot 10^{-12} \cdot 375)^{\frac{1}{2}}} = 6 \cdot 10^{16} \operatorname{erfc} 0,49 = 6 \cdot 10^{16} \cdot 0,48 = 2,88 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}.$$

Для подготовки к практическим занятиям и решения задач необходимо пользоваться следующими учебно-методическими материалами:

1. Процессы микро- и нанотехнологии: Учеб. пособие /Т.И.Данилина, К.И.Смирнова, В.А.Илюшин, А.А.Величко; Федер.агентство по образованию, Томск. гос.ун-т систем управления и радиоэлектроники.-Томск: Томск.госун-т систем упр. и радиоэлектроники, 2005.- 316 с. ISBN 5-86889-244-5.
2. Смирнова К.И. Процессы микро- и нанотехнологии: Учебно-методическое пособие.-Томск:ТУСУР, 2007.-53 с.

Таблица 3.5 – Варианты заданий

Вариант	Подложка	Эпитаксиальная пленка	$W_0$ , см/с	$T_{эп}$ , К
1	КДБ-1,5	5КЭФ5	1; 5; 10	1500
2	КДБ-1,5	3КЭФ5	0,1; 0,5; 0,7	1500
3	КДБ-1,5	5КЭФ5	20; 40; 60	1500
4	КДБ-1,5	5КЭФ5	5	1200 1400 1600
5	КДБ-1,5	3КЭФ5	20	1200 1400 1600
6	КДБ-0,5	5КЭФ1	1; 5; 10	1600
7	КДБ-0,5	7КЭФ-1	0,1; 0,5; 0,7	1600
8	КДБ-0,5	5КЭФ1	20; 40; 60	1600
9	КДБ-0,5	3КЭФ1	5	1200 1400 1000
10	КДБ-0,5	5КЭФ1	20	1200 1400 1600
11	КЭС-0,1	5КДБ-10	5	1200 1400 1000
12	КЭФ-0,1	5КДБ-10	10	1000 1200 1400
13	КЭС-0,5	5КДБ-10	1; 5; 10	1400
14	КЭФ-0,5	5КДБ-10	20	1000 1200 1400
15	КЭФ-1	3КДБ15	20; 40; 60	1400
16	КЭС-1	5КДБ-15	10	1200 1400 1600
17	КЭС-0,1	3КДБ15	10	1200 1400 1600
18	КЭФ-0,1	5КДБ-10	0,1; 0,5; 0,7	1400
19	КЭС-0,1	5КДБ-10	20; 40; 60	1300
20	КЭФ-1	5КДБ-15	3; 5; 10	1300

### Темы семинарских занятий

1. Термоэлектрические преобразователи энергии.
2. Детекторы ионизирующих излучений.
3. Основы криоэлектроники.

4. Магнитная и сегнетоэлектрическая память.
5. Высокотемпературная электроника.
6. Пористый кремний и его применение в электронике.
7. Технология углеродных кластеров и их применение в нанoeлектронике.
8. Дифракционный анализ и ЗСМ.
9. Квантово-размерные эффекты – основа нанoeлектроники.
10. Приборы нанoeлектроники. Гетероструктурная электроника.
11. Интеллектуальная силовая электроника.

### **Краткое содержание семинарских занятий**

Термоэлектрические преобразователи энергии: физические основы термоэлектричества, история вопроса, современное состояние.

Рекомендуемый минимум источников информации по теме:

1. В.В.Пасынков, Л.К.Чиркин //Полупроводниковые приборы: Учебник для вузов.- СПб.: Изд-во Лань, 2011.- 480 с.
2. Термоэлектрические свойства полупроводников. Сборник трудов I и II совещаний по термоэлектричеству: Изд-во Академии наук СССР, 1963.- 146 с.
3. МГД-генераторы и термоэлектрическая энергетика. Киев: «Наукова думка», 1983.
4. Поздняков Б.С., Коптелов Е.А. Термоэлектрическая энергетика. М.: Атомиздат, 1974 г., 264 с.
5. Охотин А.С., Ефремов А.А., Охотин В.С., Пушкарский А.С. Термоэлектрические генераторы.- М.: Атомиздат, 1976.

Детекторы ионизирующих излучений: виды ионизирующих излучений, их характеристика, детекторы ионизирующих излучений, включая полупроводниковые, применение ионизирующих излучений в науке и технике.

Рекомендуемый минимум источников информации по теме:

1. Устюжанинов В.Н., Чепиженко А.З. Радиационные эффекты в биполярных интегральных микросхемах.-М.: Радио и связь, 1989.- 144 с.
2. Действие проникающей радиации на изделия электронной техники/В.М.Кулаков, Е.А.Ладыгин, В.И.Шаховцов и др.; под ред. Е.А.Ладыгина.-М.:Сов.радио, 1980.-224 с.

Основы криоэлектроники: история вопроса, куперовские пары и их характеристика, эффект Мейснера, теория БКШ, эффекты Джо-

зефсона - стационарный, нестационарный: прямой и обратный; приборы криоэлектроники, ВТСП.

Рекомендуемый минимум источников информации по теме:

1. А.Я.Шик//Введение в сверхпроводимость. Учебное пособие.- М.:Мир, 2001.- 102 с.
2. Е.Г.Максимов//Проблемы высокотемпературной сверхпроводимости. Современное состояние. Учебное пособие.-М.: 2010.- 533 с.
3. <http://www.superconductors.org/>
4. В.Л.Гинзбург//Сверхпроводимость: позавчера, сегодня, завтра. УФН, 2000.-т.170, №6.- с.619-629.
5. Журнал «Электронная промышленность», 2004.-№3.
6. В.Н.Губанов//Криогенная электроника. Журнал Итоги науки и техники. Радиотехника, 1987.- Т.38.- с.3-107.

Магнитная и сегнетоэлектрическая память: спектроника – новое научно-техническое направление, физическая основа магнитной памяти – эффект гигантского магнетосопротивления (GMR), магнитная оперативная память (MRAM) на основе эффекта магнитного туннельного периода (MTJ).

Рекомендуемый минимум источников информации по теме:

1. В.Е.Борисенко, А.И.Воробьева, Е.А.Уткин//Наноэлектроника. Учебное пособие.-М.:Бином. Лаборатория знаний, 2009.-223 с.
2. В.Лозовский, Г.Константинова, С.Лозовский //Нанотехнология в электронике. Введение в специальность. Учебное пособие.- СПб.: Лань, 2008.-336 с. (раздел 7.7.).

Высокотемпературная электроника: проблемы, решаемые высокотемпературной электроникой, материалы высокотемпературной электроники – GaN, SiC. Приборы на основе GaN, SiC.

Рекомендуемый минимум источников информации по теме:

1. В.А.Гуртов //Твердотельная электроника. Учебное пособие.- М.: Техносфера, 2005.- 350 с.
2. А.А.Барыбин //Электроника и микроэлектроника. Физико-технологические основы.- М.: Физматлит, 2006.- 293 с.
3. А.А.Асеев //Перспективы применения структур «кремний на изоляторе» в микро-, наноэлектронике и микросистемной технике. Микросистемная техника.-2002.-№9.- с.25-29.
4. В.В.Лучинин, Ю.М.Таиров //Карбид кремния – перспективный материал электронной техники. Изв.вузов. Электроника.- 1997.-№1.- с.10-37.



5. Р.Б.Кэмпбелл, Х.С.Берман //Электрические свойства приборов на основе карбида кремния. В книге Карбид кремния под ред.Г.Хежиша и Р.Роя.-М.: Мир, 1972.-253 с.
6. В.Лучинин, Ю.Таиров //Карбид кремния – алмазоподобный материал с управляемыми наноструктурно-зависимыми свойствами. Наноматериалы, 2010.- Вып.1.
7. А.Лебедев, С.Сбруев // SiC-электроника: прошлое, настоящее, будущее.- <http://www.electronics.ru/issue/2006/5/4>

Пористый кремний и диоксид кремния в электронике: пористый кремний как перспективный материал электроники, изменение свойств монокристаллического кремния при изменении пористости, электролюминесценция и фотолюминесценция пористого кремния, удельная поверхность, методы формирования пористого кремния, применение пористого кремния. Пористый диоксид кремния и его применение в электронике.

Рекомендуемый минимум источников информации по теме:

1. В.П.Бондаренко, А.А.Клычко и др. //Потери на распространение света в изогнутых интегральных волноводах на основе окисленного пористого кремния.: ПЖТФ, 2005.- Т.31.- с.17-22.
2. Н.М.Гераисменко, Ю.Н.Пархоменко //Мир материалов и технологий. Кремний – материал наноэлектроники.-М.: Техносфера, 2006.-355 с.
3. Г.А.Шелованова //Современные проблемы электроники: кремниевая электроника. Учебное пособие.- Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2006.-178 с.
4. С.П.Зимин //Пористый кремний – материал с новыми свойствами: Соросовский образовательный журнал, 2004, Т.8 (№1).- с.101-107.
5. С.П.Зимин //Электрические свойства пористого кремния ФТП, 2000, Т.34, Вып.3.- с.359-363.
6. В.Е.Борисенко, А.И.Воробьева, Е.А.Уткина //Наноэлектроника. Уч.пособие.-М.: БИНОМ. Лаборатория базовых знаний, 2009.- 223 с. (раздел 5).

Технология углеродных кластеров и их применение в наноэлектронике: понятие кластера, структура и свойства кластеров; углеродные материалы – графен, графан, углероды нанотрубки, фуллерены: историческая справка, методы получения, свойства; применение углеродных материалов в наноэлектронике и фотонике.

Рекомендуемый минимум источников информации по теме:

1. А.А.Елисеев, А.В.Лукашин //Функциональные наноматериалы. Под ред.акад.Ю.Д.Третьякова.-М.:Тизматлит, 2010.-456 с.
2. И.П.Суздаев //Нанотехнология:физико-химия нанокластеров, наноструктур и наноматериалов.- М.:КомКнига, 2006.-592 с.
3. А.И.Гусев //Наноматериалы, структуры, технологии.-М.: Физматлит, 2005.- 416 с.
4. Нанотехнологии в электронике. Под ред.Ю.А.Чаплыгина.- М.:Техносфера, 2005.-448 с. (разделы 4.2; 4.3).
5. В.Лозовский, Г.Константинова, С.Лозовский //Нанотехнология в электронике. Введение в специальность. Уч.пособие.- СПб.: Лань, 2008.- 336 с. (раздел 8.5).
6. К.Ю.Богданов //Что могут нанотехнологии? М.:Просвещение, 2009.-96 с.
7. И.В.Золотухин, Ю.Е.Калинин, О.В.Стогней //Новые направления физического материаловедения. Уч.пособие.-Воронеж: Изд-во Воронеж.гос.ун-та, 2000.-360 с.

Дифракционный анализ и сканирующая зондовая микроскопия: рассеяние излучения кристаллами уравнения Лоуэ и Брэгга, рефлекссы; рентгеновская дифракция и дифракционный анализ; дифракция электронов.

Сканирующая зондовая микроскопия: история вопроса, сканирующий туннельный микроскоп, атомно-силовой микроскоп, их отличия, применение для анализа наноструктур.

Рекомендуемый минимум источников информации по теме:

1. А.А.Елисеев, А.В.Лукашин //Функциональные наноматериалы. Под ред.акад.Ю.Д.Третьякова.-М.:Тизматлит, 2010.-456 с. (раздел 5).
2. В.К.Неволин //Зондовые нанотехнологии в электронике.- М.:Техносфера, 2005.- 152 с.
3. С.В.Смирнов // Методы исследования надежности наногетероструктурных монокристаллических интегральных схем: Учебное пособие для ВУЗов: Изд-во ТУСУР, 2010.- 99 с.
4. В.Миронов //Основы сканирующей зондовой микроскопии.- М.: Техносфера, 2004.-143 с.
5. Д.Брандон, У.Каплан //Микроструктура материалов. Методы исследования контроля.- М.:Техносфера, 2004.- 384 с.

Квантово-размерные эффекты – основа наноэлектроники: квантовые ограничения, баллистический перенос носителей, туннелиро-

вание, кулоновская блокада, квантовый эффект Холла, эффект Аорона-Бона, эффект Джеферсона.

Рекомендуемый минимум источников информации по теме:

1. В.П.Драгунов, И.Г.Неизвестный, В.А.Гридчин //Основы наноэлектроники. Уч.пособие.-М.:Университетская книга: Логос; Физматкнига, 2006.- 496 с.
2. В.Лозовский, Г.Константинова, С.Лозовский //Нанотехнология в электронике. Введение в специальность. Уч.пособие.- СПб.: Лань, 2008.- 336 с.
3. В.Е.Борисенко, А.И.Воробьева, Е.А.Уткина //Наноэлектроника. Уч.пособие.-М.: БИНОМ. Лаборатория базовых знаний, 2009.- 223 с.
4. А.Н.Игнатов //Микросхемотехника и наноэлектроника. Уч.пособие.-СПб.: Изд-во «Лань», 2011.- 528 с.

Приборы наноэлектроники. Гетероструктурная электроника: приборы на углеродных нанотрубках, одноэлектронный транзистор, туннельно-резонансные диоды и транзисторы, НЕМТ, СИД и лазеры на гетеропереходах.

Рекомендуемый минимум источников информации по теме:

1. В.П.Драгунов, И.Г.Неизвестный, В.А.Гридчин //Основы наноэлектроники. Уч.пособие.-М.:Университетская книга: Логос; Физматкнига, 2006.- 496 с.
2. В.Лозовский, Г.Константинова, С.Лозовский //Нанотехнология в электронике. Введение в специальность. Уч.пособие.- СПб.: Лань, 2008.- 336 с.
3. В.Е.Борисенко, А.И.Воробьева, Е.А.Уткина //Наноэлектроника. Уч.пособие.-М.: БИНОМ. Лаборатория базовых знаний, 2009.- 223 с.
4. А.Н.Игнатов //Микросхемотехника и наноэлектроника. Уч.пособие.-СПб.: Изд-во «Лань», 2011.- 528 с.
5. Г.Н.Шелякова //Физические основы микроэлектроники. Полупроводниковые гетероструктуры в микро- и наноэлектронике. Уч.пособие.-Красноярск: ИЦП КГТУ, 2005.- 181 с.

Интеллектуальная силовая электроника: история развития интеллектуальной силовой электроники, полевые транзисторы MOSFET, биполярные транзисторы с изолированным затвором IGBT: устройство, принцип действия, примеры интеллектуальных модулей.

Рекомендуемый минимум источников информации по теме:

1. П.А.Воронин //Силовые полупроводниковые ключи: семейства, характеристики, применение.-М.:Издательский дом Додэка-XXI, 2001.- 384 с.
2. В.П.Дьячков, А.М.Ремнев, В.Ю.Смердов //Энциклопедия устройств на полевых транзисторах.- М.:Солон-Р, 2002.-512 с.

#### **4. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ПРОВЕДЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ**

Практические занятия с решением задач предусмотрены по двум разделам: литография, наноплазменные технологии и эпитаксия. Для успешного проведения занятий магистранты должны по учебно-методическим пособиям, рекомендованным по данным разделам, освоить теоретический материал и выписать формулы, необходимые для проведения расчетов.

Вначале занятия проводится контрольный опрос студентов по теме практического занятия в интерактивном режиме. Учитывая, что дисциплину «Актуальные проблемы электроники и нанoeлектроники» изучают студенты кафедр «Промышленной электроники» и «Электронных приборов», которые не имеют базовой подготовки по указанным темам, то изучение этих тем фактически необходимо начинать с нулевого уровня. То есть, до решения задач необходимо детально разобраться в таких вопросах: что такое литография, виды литографии, реализация литографических процессов, уяснить понятие - что такое фотошаблон (рентгеношаблон), фоторезист (рентгенорезист), последовательность операций при литографии, разрешающая способность литографического процесса. Поскольку в задаче №1 используется проекционная фотолитография, то необходимо уяснить это понятие.

Для решения задачи №1 необходимо использовать учебное пособие Данилина Т.И., Кагадей В.А., Анищенко Е.В. Технология кремниевой нанoeлектроники: Учебное пособие.-Томск:В-Спектр,2011.-263 с.

На первом же практическом занятии проводится решение задачи по электронно-лучевой литографии (ЭЛЛ). Поэтому на практическом занятии до решения задач в интерактивном режиме должны быть выяснены все аспекты процесса ЭЛЛ.

Для решения задачи №2 необходимо использовать учебное пособие – Данилина Т.И., Кагадей В.А., Анищенко Е.В. Технология кремниевой нанoeлектроники: Учебное пособие.-Томск:В-Спектр,2011.-263 с.

Второе практическое занятие посвящено решению задачи по ионной имплантации. На начальном этапе занятия проводится закрепление теоретического материала в интерактивном режиме. Теоретический материал изучается по списку основной литературы из учеб-

но-методического пособия по разделу «Ионно-плазменные технологии и эпитаксия».

При интерактивном опросе уделить главное внимание на следующие вопросы:

- Для чего используется ионная имплантация в технологии СБИС?

- Как влияет энергия ионов на глубину залегания p-n перехода, как влияет масса ионов на  $X_{p-n}$ .

Решение задачи по ионной имплантации проводится индивидуально каждым студентом для различных значений параметров процесса.

Для решения задач необходимо использовать следующую литературу:

Данилина Т.И., Кагадей В.А., Анищенко Е.В. Технология кремниевой нанoeлектроники: Учебное пособие. – Томск: В-Спектр, 2011. – 263 с.

Третье практическое занятие посвящено проблемам эпитаксии. В начале занятия в интерактивном режиме выясняются вопросы о том, что такое эпитаксия, виды эпитаксиального наращивания, особенности процесса молекулярно-лучевой и газозофазной эпитаксии.

Для решения задачи по газозофазной эпитаксии каждому студенту выдаются индивидуальные исходные данные. Необходимые расчетные формулы на этапе подготовки выписываются из учебных пособий:

1. Процессы микро- и нанотехнологии: Учеб. пособие /Т.И.Данилина, К.И.Смирнова, В.А.Илюшин, А.А.Величко; Федер.агентство по образованию, Томск. гос.ун-т систем управления и радиоэлектроники.-Томск: Томск.госун-т систем упр. и радиоэлектроники, 2005.- 316 с.
2. Смирнова К.И. Процессы микро- и нанотехнологии: Учебно-методическое пособие.-Томск:ТУСУР, 2007.-53 с.

## **5. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ПРОВЕДЕНИЮ СЕМИНАРСКИХ ЗАНЯТИЙ**

Семинарские аудиторные занятия по дисциплине «Актуальные проблемы электроники и наноэлектроники» проводятся по 11 темам рабочей программы. Для успешного проведения семинарских занятий необходимо руководствоваться следующим. Практически по всем темам, за исключением трех, лекционных занятий не предусмотрено. Это означает, что теоретический материал по теме практического занятия студент должен осваивать самостоятельно.

В содержании практического (семинарского) занятия, изложенного в данной методичке, перечислены вопросы, которые необходимо рассмотреть. Начальное знакомство с материалом семинарского занятия студент проводит путем изучения соответствующего раздела учебного пособия по дисциплине. Затем, используя данное учебно-методическое пособие, углубляет свои знания путем проработки рекомендуемой литературы.

Для успешного освоения программного материала на каждое семинарское назначается 2-3 докладчика по теме семинара. Их задача сводится к углубленному изучению проблемы в целом и отдельного вопроса в частности. Выступая с презентацией по одному из вопросов темы семинара, докладчик должен изложить вопрос так, чтобы он был понятен всем слушателям. Для этого проводится предварительная подготовка. Тема доклада на семинаре и сроки проведения семинара оговариваются на первом практическом занятии. Поэтому время для подготовки достаточно. За семестр студент дважды выступает с докладами на семинаре. Общие трудозатраты на это составляют 40 часов самостоятельной работы. За две недели до доклада на семинаре студент-докладчик получает консультацию от преподавателя, на которой обсуждается круг рассматриваемых проблем, список литературы, содержание презентации. Доклад рассчитан не более чем на 25-30 мин.

После доклада идет интерактивный процесс: вопрос со стороны слушателей – ответ докладчика. При этом преподаватель вступает в разговор только в случае грубых ошибок в ответе докладчика.

После вопросов начинается обсуждение доклада. Студенты высказывают свои соображения по теме и спорным вопросам.

В заключении преподаватель подводит итоги семинара, дает резюме по дискуссии на семинаре, ставит оценку студенту-докладчику.

Особое внимание в заключительной части отводится разъяснению неверных позиций докладчика по рассматриваемым физическим, либо технологическим проблемам электроники. Последний этап семинара – напоминание тем, кто делает доклад на следующем семинаре и напоминание о минимальной подготовке к семинару по теме для остальных студентов.



## 6. ПЕРЕЧЕНЬ ВОПРОСОВ ПО ТЕКУЩЕЙ (В СЕМЕСТРЕ) АТТЕСТАЦИИ

### 1. К контрольной точке №1:

- 1.1. Охарактеризуйте современное состояние мировой электроники.
- 1.2. Охарактеризуйте современное состояние отечественной электроники.
- 1.3. Закон Мура и тенденции развития мировой электроники.
- 1.4. Перечислите компании, способные производить ИС с топологической нормой 22мкм.
- 1.5. Направления развития отечественной электроники.
- 1.6. Охарактеризуйте спутниковые системы связи.
- 1.7. Охарактеризуйте мобильные системы связи.
- 1.8. Охарактеризуйте сотовые системы связи.
- 1.9. Оптоволоконные системы связи.
- 1.10. Что такое литография? Виды литографии. Разрешающая способность.
- 1.11. Фотошаблоны. Виды резистов.
- 1.12. Электронно-лучевая литография. Ионная литография.
- 1.13. Рентгеновская литография.
- 1.14. Нанопечатная литография.
- 1.15. Ионное легирование полупроводников.
- 1.16. Плазмохимическое осаждение пленок.
- 1.17. Ионно-плазменное распыление.
- 1.18. Ионно-плазменное травление.
- 1.19. Эпитаксия: МЛЭ, газофазная.
- 1.20. Физические основы термоэлектричества.
- 1.21. Термоэлектрические преобразователи.
- 1.22. Виды и характеристика ионизирующих излучений.
- 1.23. Детекторы ионизирующих излучений.
- 1.24. Применение ИЗ в науке и технике.
- 1.25. Сверхпроводимость: внешнее проявление, куперовские пары и их характеристики.
- 1.26. теория БКШ.
- 1.27. Эффекты Джозефсона.
- 1.28. Приборы на эффекте Джозефсона.
- 1.29. ВТСП.
- 1.30. Содержание статьи В.Л.Гинзбурга по сверхпроводимости (УФН, 2000, Т.170,- №6.- с.619-629).

## 2. К контрольной точке №2:

- 2.1. Эффект гигантского магнетосопротивления – триумф фундаментальной науки.
- 2.2. Магнитная память на основе МТЖ-эффекта.
- 2.3. Сегнетоэлектрическая память.
- 2.4. Задачи, решаемые высокотемпературной электроникой.
- 2.5. Характеристика свойств SiC и GaN.
- 2.6. Технология получения SiC методом «Лэли» (ЛЭТИ).
- 2.7. Модификации SiC.
- 2.8. Приборы на SiC.
- 2.9. Приборы на GaN.
- 2.10. Изменение свойств кремния по мере увеличения пористости.
- 2.11. Электрические и оптические свойства пористого кремния.
- 2.12. Технологии получения пористого кремния.
- 2.13. Области применения пористого кремния.
- 2.14. Понятие кластера. Углеродные кластеры.
- 2.15. Фуллерены.
- 2.16. Графен.
- 2.17. Графан.
- 2.18. Углеродные нанотрубки.
- 2.19. Применение графена, графана, углеродных нанотрубок в электронике.
- 2.20. Дифракционный анализ: дифракция электронов, дифракция рентгеновских лучей. Уравнение Лауэ и Брегга.
- 2.21. Использование дифракции для анализа твердых тел.
- 2.22. Сканирующий туннельный микроскоп.
- 2.23. Сканирующий атомно-силовой микроскоп.
- 2.24. Квантово-размерные эффекты – основа наноэлектроники: квантовые ограничения, 0Д, 1Д, 2Д, 3Д системы.
- 2.25. Баллистический перенос носителей.
- 2.26. Квантово-механическое туннелирование.
- 2.27. Кулоновская блокада, эффект Аронова-Бома.
- 2.28. Дробный и целочисленный эффект Холла.

## 7. ПЕРЕЧЕНЬ ВОПРОСОВ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ К ЭКЗАМЕНУ

1. Охарактеризуйте современное состояние мировой электроники.
2. Охарактеризуйте современное состояние отечественной электроники.
3. Закон Мура и тенденции развития мировой электроники.
4. Перечислите компании, способные производить ИС с топологической нормой 22мкм.
5. Направления развития отечественной электроники.
6. Охарактеризуйте спутниковые системы связи.
7. Охарактеризуйте мобильные системы связи.
8. Охарактеризуйте сотовые системы связи.
9. Оптоволоконные системы связи.
10. Что такое литография? Виды литографии. Разрешающая способность.
11. Фотошаблоны. Виды резистов.
12. Электронно-лучевая литография. Ионная литография.
13. Рентгеновская литография.
14. Нанопечатная литография.
15. Ионное легирование полупроводников.
16. Плазмохимическое осаждение пленок.
17. Ионно-плазменное распыление.
18. Ионно-плазменное травление.
19. Эпитаксия: МЛЭ, газофазная.
20. Физические основы термоэлектричества.
21. Термоэлектрические преобразователи.
22. Виды и характеристика ионизирующих излучений.
23. Детекторы ионизирующих излучений.
24. Применение ИЗ в науке и технике.
25. Сверхпроводимость: внешнее проявление, куперовские пары и их характеристики.
26. теория БКШ.
27. Эффекты Джозефсона.
28. Приборы на эффекте Джозефсона.
29. ВТСП.
30. Содержание статьи В.Л.Гинзбурга по сверхпроводимости (УФН, 2000, Т.170,- №6.- с.619-629.
31. Эффект гигантского магнетосопротивления – триумф фундаментальной науки.

32. Спиновый клапан на GMR.
33. Магнитная память на основе МТJ-эффекта.
34. Сегнетоэлектрическая память.
35. Задачи, решаемые высокотемпературной электроникой.
36. Характеристика свойств SiC и GaN.
37. Технология получения SiC методом «Лэли» (ЛЭТИ).
38. Модификации SiC.
39. Приборы на SiC.
40. Приборы на BaN.
41. Изменение свойств кремния по мере увеличения пористости.
42. Электрические и оптические свойства пористого кремния.
43. Технологии получения пористого кремния.
44. Области применения пористого кремния.
45. Понятие кластера. Углеродные кластеры.
46. Фуллерены. Графен. Графан.
47. Углеродные нанотрубки.
48. Применение графена, графана, углеродных нанотрубок в электронике.
49. Дифракционный анализ: дифракция электронов, дифракция рентгеновских лучей. Уравнение Лауэ и Брегга.
50. Использование дифракции для анализа твердых тел.
51. Сканирующий туннельный микроскоп.
52. Сканирующий атомно-силовой микроскоп.
53. Квантово-размерные эффекты – основа наноэлектроники: квантовые ограничения, 0Д, 1Д, 2Д, 3Д системы.
54. Баллистический перенос носителей.
55. Квантово-механическое туннелирование.
56. Кулоновская блокада, эффект Аронова-Бома.
57. Дробный и целочисленный эффект Холла.
58. Что такое наноэлектроника?
59. Транзистор с высокой подвижностью носителей (HEMT).
60. СИД на основе гетеропереходов.
61. Туннельно-резонансные диоды и транзисторы.
62. Полевой транзистор на углеродных нанотрубках.
63. Одноэлектронный транзистор.
64. Содержание статьи К.И.Алферова по гетероструктурным приборам (Ф.ТП.1998.-Т.32, №1.- с.3-18).
65. Приборы интеллектуальной силовой электроники: MOSFET, IGBT.

## 8. ПРИМЕР ЭКЗАМЕНАЦИОННЫХ БИЛЕТОВ

### Билет №1

1. Охарактеризуйте современное состояние мировой электроники.
2. Ионное легирование полупроводников.
3. Изменение свойств кремния по мере увеличения пористости.
4. Приборы интеллектуальной силовой электроники: MOS-FET, IGBT.

### Билет №2

1. Охарактеризуйте современное состояние отечественной электроники.
2. Физические основы термоэлектричества.
3. Приборы на ВаN.
4. Дробный и целочисленный эффект Холла.

### Билет №3

1. Направления развития отечественной электроники.
2. Ионно-плазменное распыление.
3. Задачи, решаемые высокотемпературной электроникой.
4. Транзистор с высокой подвижностью носителей (HEMT).

## **9. ОРГАНИЗАЦИЯ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЕ**

Магистранты набора 2011 г. и последующих лет проходят обучение в соответствии с федеральным государственным стандартом (ФГОС-3) по направлению 210100 «Электроника и наноэлектроника». Дисциплина «Актуальные проблемы современной электроники и наноэлектроники» относится к базовой части профессионального цикла и ставит задачу изучения передовых достижений и основных направлений развития электроники и наноэлектроники, приобретения навыков оценки новизны и перспективность научно-технических разработок в этой области.

В соответствии с учебным планом на изучение дисциплины отводится 8 ч. лекционных занятий, 28 ч. практических и семинарских занятий. Объем самостоятельной работы составляет 72 ч. Поскольку объем лекционных занятий минимален, а число дидактических единиц по дисциплине велико, то естественно, что основная часть дидактических единиц осваивается студентами самостоятельно. Практические и семинарские занятия при этом служат для освоения этих дидактических единиц и контроля за освоением дидактических единиц и формирования компетенций.

Минимальное число практических занятий (3 занятия) посвящено выполнению расчетных заданий, а остальные (11 занятий) проводятся в виде семинаров. Каждый семинар посвящен освоению не более одной дидактической единицы. Задание на выступление на семинаре студент получает не позднее, чем за месяц до семинара. Общее число часов для подготовки к семинарским занятиям составляет 40 ч. В семестре студент делает два доклада на семинаре. В итоге на подготовку к докладу, оформление презентации студент тратит до 20 ч.

Кроме семинарских занятий 20 ч. самостоятельной работы отведено на написание реферата по одной из тем учебного плана. На этапе подготовки к выступлению на семинарском занятии студент получает консультацию от преподавателя. В ходе консультации оговаривается круг вопросов, подлежащих рассмотрению, примерный список источников информации, необходимых для подготовки доклада. Особое внимание обращается на то, какие компетенции формирует освоение дидактической единицы, рассматриваемой на практическом занятии или семинаре.

Двухлетний опыт работы с магистрантами по изучению дисциплины «Актуальные проблемы современной электроники и наноэлектроники» показал следующее:

1. Магистранты успешно (85-90%) справляются с поставленной задачей при подготовке к семинару: делают подбор литературы, в том числе из научной отечественной и зарубежной литературы, хорошо готовят презентации, понимают суть проблемы, умеют оценивать современное состояние и перспективы новых научно-технических разработок. Учитывая, что освоение дидактических единиц происходит самостоятельно, то этот результат можно считать положительным. При этом успешно формируются компетенции ОК-1 – способность совершенствовать и развивать свой интеллектуальный и общекультурный уровень; ОК-6 – готовность к активному общению с коллегами в научной, производственной и социально-общественной деятельности; ПК-1 – способность использовать результаты освоения фундаментальных дисциплин ООП магистратуры; ПК-3 – способность понимать основные проблемы в своей предметной области, выбирать методы и средства их решения; ПК-7 – способность анализировать состояние научно-технической проблемы путем подбора, изучения и анализа литературных и патентных источников.

2. Магистранты приобретают опыт новых публичных выступлений в своей предметной области, что требует глубокой самостоятельной проработки материала.

К числу проблем при выступлениях на семинаре выступает проблема затруднений дать ясное и четкое понимание физической сущности процессов, лежащих в основе работы новых приборов, что возможно отражает уровень бакалаврской подготовки магистрантов. В любом случае формирования компетенции ПК-1 вызывает определенные затруднения у многих студентов. Для примера можно привести следующие цифры: из 35 студентов магистерских программ, сделавших доклады на семинаре, трудность в различении фундаментального физического явления, лежащего в основе работы нового прибора микро- и наноэлектроники, имели 20 студентов (57%), что недопустимо много.

3. До 15% не в состоянии самостоятельно подготовиться к семинару и сделать 35-40 минутный доклад по заданной тематике. Выяснение причин подобного явления показало, что основная проблема – непонимание сущности многих физических явления в устройствах электроники.