

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Ястребов Олег Александрович  
Должность: Декан  
Дата подписания: 26.05.2023 12:48:39  
Уникальный программный ключ:  
ca953a0120d891083f939673078ef1a989dae18a

**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования**

**«Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы»**

**Институт биохимической технологии и нанотехнологии (ИБХТН)**

(наименование основного учебного подразделения (ОУП)-разработчика ОП ВО)

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

Микро- и наносистемы в технике и технологии

(наименование дисциплины/модуля)

**Рекомендована МССН для направления подготовки/специальности:**

28.04.01 «Нанотехнологии и микросистемная техника»

(код и наименование направления подготовки/специальности)

**Освоение дисциплины ведется в рамках реализации основной профессиональной образовательной программы высшего образования (ОП ВО):**

«Инновационные технологии и нанотехнологии в медицине, фармацевтике и биотехнологии»

(наименование (профиль/специализация) ОП ВО)

**2023 г.**

## 1. ЦЕЛЬ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью освоения дисциплины «Микро- и наносистемы в технике и технологии» является получение знаний по физике полупроводниковых приборов, проектированию микросхем, специальных сведений по конструктивным особенностям и тенденциям развития наноэлектроники.

## 2. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Освоение дисциплины «Микро- и наносистемы в технике и технологии» направлено на формирование у обучающихся следующих компетенций (части компетенций):

*Таблица 2.1. Перечень компетенций, формируемых у обучающихся при освоении дисциплины (результаты освоения дисциплины)*

Шифр	Компетенция	Индикаторы достижения компетенции (в рамках данной дисциплины)
ОПК-1.	Способен ставить и решать инженерные и научно-технические задачи в области нанотехнологий и микросистемной техники и новых междисциплинарных направлениях на основе естественнонаучных и математических моделей	ОПК-1.2. Использует научный инструментарий естественнонаучных дисциплин для описания, анализа, теоретического и экспериментального исследования и моделирования процессов синтеза, диагностики и функционирования материалов и компонентов нано- и микросистемной техники;
ОПК-7.	Способен разрабатывать и актуализировать научно-техническую документацию в области нанотехнологий и микросистемной техники	ОПК-7.1. Знает актуальные проблемы, тенденции развития, современные вызовы нанотехнологии и микросистемной техники

## 3. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОП ВО

Дисциплина «Микро- и наносистемы в технике и технологии» относится к вариативной компоненте учебного плана профиля «Инновационные технологии и нанотехнологии в медицине, фармацевтике и биотехнологии».

В рамках ОП ВО обучающиеся также осваивают другие дисциплины и/или практики, способствующие достижению запланированных результатов освоения дисциплины «Микро- и наносистемы в технике и технологии».

*Таблица 3.1. Перечень компонентов ОП ВО, способствующих достижению запланированных результатов освоения дисциплины*

Шифр	Наименование компетенции	Предшествующие дисциплины/модули, практики*	Последующие дисциплины/модули, практики*
------	--------------------------	---------------------------------------------	------------------------------------------

<b>ОПК-1.</b>	Способен ставить и решать инженерные и научно-технические задачи в области нанотехнологий и микросистемной техники и новых междисциплинарных направлениях на основе естественнонаучных и математических моделей		Методы математического моделирования, Введение в биоинформатику, Актуальные проблемы современной нанотехнологии, Учебная практика, НИРМ Преддипломная практика
<b>ОПК 7.</b>	Способен разрабатывать и актуализировать научно-техническую документацию в области нанотехнологий и микросистемной техники		Учебная практика, Физико-химические методы анализа

\* - заполняется в соответствии с матрицей компетенций и СУП ОП ВО

#### 4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ И ВИДЫ УЧЕБНОЙ РАБОТЫ

Общая трудоемкость дисциплины «Микро- и наносистемы в технике и технологии» составляет 3 зачетных единиц.

Таблица 4.1. Виды учебной работы по периодам освоения ОП ВО для **ОЧНОЙ** формы обучения

Вид учебной работы	ВСЕГО, ак.ч.	Семестр(-ы)			
		1	2	3	4
Контактная работа, ак.ч.	36	36			
в том числе:					
Лекции (ЛК)	18	18			
Лабораторные работы (ЛР)					
Практические/семинарские занятия (СЗ)	18	18			
Самостоятельная работа обучающихся, ак.ч.	54	54			
Контроль (экзамен/зачет с оценкой), ак.ч.	18	18			
Общая трудоемкость дисциплины	ак.ч.	<b>108</b>	<b>108</b>		
	зач.ед.	<b>3</b>	<b>3</b>		

#### 5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Таблица 5.1. Содержание дисциплины (модуля) по видам учебной работы

Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела (темы)	Вид учебной работы*
Раздел 1. Методы эпитаксии	Тема 1.1. Виды эпитаксии. Легирование кремния. Эпитаксия из газовой фазы. Создание р-п переходов. Локальная эпитаксия. Молекулярно-лучевая эпитаксия	ЛК, ПР
Раздел 2. Литография	Тема 2.1. Виды литографии. Создание р-п переходов. Рентгеновская литография. Электронолитография. Ионно-лучевая литография. Оптическая литография. Другие виды литографии: ионная, электронная	ЛК, ПР
Раздел 3. Способы получения SiO <sub>2</sub> .	Тема 3.1. Термическое окисление кремния. Термолитический способ. Анодное окисление. Пиролитическое осаждение SiO <sub>2</sub> . Технология пленок нитрида кремния и ее применение. Плазменное окисление. Плазмохимическое осаждение оксидной пленки. Вакуумное термическое распыление SiO <sub>2</sub> .	ЛК, ПР

Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела (темы)	Вид учебной работы*
Раздел 4. История развития интегральных микросхем. $\Lambda$ -система.	Тема 4.1. История развития интегральных микросхем. Закон Мура. Материалы на разных уровнях микро- и наноэлектроники. Рабочие слои полупроводниковых приборов. Развитие $\Lambda$ -системы. Правила проектирования фрагментов интегральных микросхем. Металлизация и контакты. Межсоединения в интегральных микросхемах.	ЛК, ПР
Раздел 5. МОП транзистор.	Тема 5.1. Конструкция и принцип работы МОП транзистора. Основы технологии изготовления в объемном кремнии и на изолирующих подложках. Наноразмерные МОП транзисторы.	ЛК, ПР
Раздел 6. МОП интегральные микросхемы	Тема 6.1. Комплементарные МОП интегральные схемы (ИМС). Их развитие. Технология изготовления. МОП ИМС. МОП ИМС на транзисторах с $n$ -каналом. Сравнение основных параметров МОП ИМС. Масштабирование МОП ИМС.	ЛК, ПР
Раздел 7. Новые конструкции наноразмерных элементов	Тема 7.1. Элементы на квантовых проводках. Наножидкостной полевой транзистор. Углеродные нанотрубки. Щелевые структуры, работающие на эффекте туннелирования.	ЛК, ПР

\* - заполняется только по **ОЧНОЙ** форме обучения: ЛК – лекции; ЛР – лабораторные работы; СЗ – семинарские занятия.

## 6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Таблица 6.1. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Тип аудитории	Оснащение аудитории	Специализированное учебное/лабораторное оборудование, ПО и материалы для освоения дисциплины (при необходимости)
Лекционная	Аудитория № 636 для проведения занятий лекционного типа, оснащенная комплектом специализированной мебели; доской (экраном) и техническими средствами мультимедиа презентаций.	Комплект специализированной мебели; технические средства: Мультимедийный проектор Everysom Ноутбук Lenovo Thinkpad L530 Intel Core i3-2370M_2.4GHz/DDR3 4 GB, 1шт Обеспечен выход в интернет. Комплект презентаций.

Тип аудитории	Оснащение аудитории	Специализированное учебное/лабораторное оборудование, ПО и материалы для освоения дисциплины (при необходимости)
		Windows XP, Microsoft Office 2007, Microsoft Security Essentials
Семинарская	Аудитория № 636 для проведения занятий семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, оснащенная комплектом специализированной мебели и техническими средствами мультимедиа презентаций.	Комплект специализированной мебели; технические средства: Мультимедийный проектор Everysom Ноутбук Lenovo Thinkpad L530 Intel Core i3-2370M_2.4GHz/DDR3 4 GB, 1шт Обеспечен выход в интернет. Комплект презентаций. Windows XP, Microsoft Office 2007, Microsoft Security Essentials
Практические занятия	Учебная лаборатория для проведения лабораторных и практических занятий, лаб. П-36.	Оснащенность: комплект специализированной мебели; Аналитический просвечивающий электронный микроскоп JEOL JEM 2100 система ионной резки образцов образцов для проведения анализа JEOL ION SLICER EM-09100 IS.
Практические занятия	Учебная лаборатория для проведения лабораторных и практических занятий, лаб. П-6.	Оснащенность: комплект специализированной мебели; аналитико-технологический комплекс NTI; сканирующий нанотвердомер НаноСкан-3D; лазерный интерференционный микроскоп МИМ-310; система оптического анализа образцов для наноисследований на базе микроскопа Nikon Eclipse MA200; профилометр Stylus Profiler Dektak 15.
Аудитория для самостоятельной работы	Аудитория № 636 для самостоятельной работы обучающихся, оснащенная комплектом специализированной мебели и компьютером с доступом в ЭИОС.	Комплект специализированной мебели; технические средства: Мультимедийный проектор Everysom Ноутбук Lenovo Thinkpad L530 Intel Core i3-

Тип аудитории	Оснащение аудитории	Специализированное учебное/лабораторное оборудование, ПО и материалы для освоения дисциплины (при необходимости)
		2370M_2.4GHz/DDR3 4 GB, 1шт Обеспечен выход в интернет. Комплект презентаций. Windows XP, Microsoft Office 2007, Microsoft Security Essentials

## 7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### *Основная литература:*

1. Микросхемотехника и наноэлектроника : учебное пособие / А.Н. Игнатов. - Электронные текстовые данные. - СПб. : Лань, 2011. - 528 с. : ил. - (Учебники для вузов. Специальная литература). - ISBN 978-5-8114-1161-0. <https://lib.rudn.ru/ProtectedView/Book/ViewBook/5634>
2. Справочник по микроскопии для нанотехнологии : пер. с англ. / Под ред. Нан Яо, Чжун Лин Ван. - М. : Научный мир, 2011. - 712 с. - ISBN 978-5-91522-232-7 : 0.00.

### *Дополнительная литература:*

1. 1. Физика твердого тела [Текст/электронный ресурс] : Учебное пособие / Г.И. Епифанов. - 3-е изд., испр. ; Электронные текстовые данные. - СПб. : Лань, 2010. - 288 с. : ил. - (Учебники для вузов. Специальная литература). - ISBN 978-5-8114-1001-9 : 375.10. <https://lib.rudn.ru/MegaPro/Download/MObject/5614>
2. Химия новых материалов и нанотехнологий / Б.Д. Фахльман ; Под ред. Ю.Д.Третьякова, Е.А.Гудилина; Пер. с англ. Д.О.Чаркина, В.В.Уточникова. - Долгопрудный : Издательский Дом "Интеллект", 2011. - 464 с. - ISBN 978-5-91559-029-7 : 0.00.
3. Основы физики полупроводников. Нанопизика и технические приложения : пер. с англ. / М. Грундман ; Под ред. В.А.Гергеля. - 2-е. изд. - М. : Физматлит, 2012. - 772 с. - ISBN 978-5-9221-1394-6 : 0.00.

### *Ресурсы информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»:*

1. ЭБС РУДН и сторонние ЭБС, к которым студенты университета имеют доступ на основании заключенных договоров:
  - Электронно-библиотечная система РУДН – ЭБС РУДН <http://lib.rudn.ru/MegaPro/Web>
  - ЭБС «Университетская библиотека онлайн» <http://www.biblioclub.ru>
  - ЭБС Юрайт <http://www.biblio-online.ru>

- ЭБС «Консультант студента» [www.studentlibrary.ru](http://www.studentlibrary.ru)
- ЭБС «Лань» <http://e.lanbook.com/>
- ЭБС «Троицкий мост»

## 2. Базы данных и поисковые системы:

- электронный фонд правовой и нормативно-технической документации  
<http://docs.cntd.ru/>

- поисковая система Яндекс <https://www.yandex.ru/>

- поисковая система Google <https://www.google.ru/>

- реферативная база данных SCOPUS  
<http://www.elsevierscience.ru/products/scopus/>

- Федеральный институт промышленной собственности (ФИПС)  
<https://new.fips.ru>

*Учебно-методические материалы для самостоятельной работы обучающихся при освоении дисциплины/модуля\*:*

\* - все учебно-методические материалы для самостоятельной работы обучающихся размещаются в соответствии с действующим порядком на странице дисциплины **в ТУИС!**

При проведении занятий и организации самостоятельной работы студентов используются традиционные технологии сообщающего обучения, предполагающие передачу информации в готовом виде, формирование учебных умений по образцу.

### *Методические рекомендации по подготовке рефератов*

Реферат является результатом индивидуальной работы студентов и отражает способности исполнителей к самостоятельной работе с литературой и навыки анализа конкретной проблемы.

Для написания реферата рекомендуется использовать учебную, научную и специальную научно-практическую литературу, интернет-ресурсы.

Реферат состоит из следующих частей:

1. Введение
2. Основные разделы (главы, параграфы)
3. Заключение
4. Список использованной литературы
5. Приложение

Во введении характеризуется актуальность проблемы, цель и задачи работы, дается краткая характеристика используемых материалов.

Основные разделы работы содержат как теоретический, так и аналитический материал.

Для написания теоретической части реферата необходимо изучить литературу по данной теме (учебники, учебные пособия, монографии, статьи в периодических изданиях и т.д.). Теоретический раздел должен показать, что студент знаком с публикациями по рассматриваемой проблеме. Важно выразить собственное мнение в отношении позиций того или иного автора или содержания используемого документа. При использовании прямого цитирования обязательно делать ссылки на источник с указанием страниц.

Аналитический раздел основывается на фактическом материале. Для написания этого раздела могут быть использованы различные источники информации: научные статьи, монографии, нормативно-технические документы, результаты специальных обследований, материалы научно-практических семинаров, конференций и др.

Работа будет более интересной, если фактический материал рассматривается в динамике. Для наглядности и удобства анализа цифровые данные могут быть сведены в



таблицы. Если цифровой материал занимает большой объем, его следует поместить в приложении.

Заключительная часть реферата должна содержать выводы и предложения по каждому разделу и по работе в целом. Они должны логически вытекать из ранее написанного материала.

После заключения в работе помещается список использованной литературы.

Общий объем реферата: 15-20 страниц машинописного текста формата А-4, кегль 12-14, интервал 1,5. По реферату может быть проведена защита в устной форме на усмотрение преподавателя.

В рамках практических занятий реализуется взаимообучение слушателей курса - интерактивное обучение, в форме взаимоконтроля самостоятельной работы, совместного решение ситуационных задач, совместной разработка схем сложных процессов, обсуждения проблемных вопросов.

Самостоятельная работа студентов включает изучение основной и дополнительной литературы по данной дисциплине, подготовка выступлений на семинарах, подготовка творческих работ по вопросам иммунобиологических препаратов, их оформление в виде презентаций, а также подготовка и защита доклада по одной из предлагаемых тем.

## **8. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СИСТЕМА ОЦЕНИВАНИЯ УРОВНЯ СФОРМИРОВАННОСТИ КОМПЕТЕНЦИЙ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

Оценочные материалы и балльно-рейтинговая система оценивания уровня сформированности компетенций (части компетенций) по итогам освоения дисциплины «Микро- и наносистемы в технике и технологии» представлены в Приложении к настоящей Рабочей программе дисциплины.

### **РАЗРАБОТЧИКИ:**

**Профессор ИБХТН, д.х.н. Станишевский Я.М.**

### **РУКОВОДИТЕЛЬ ОУП:**

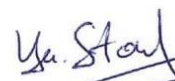
**Директор ИБХТН, профессор д.х.н.**



**Я.М. Станишевский**

### **РУКОВОДИТЕЛЬ ОП ВО:**

**Директор ИБХТН, профессор д.х.н.**



**Я.М. Станишевский**

**ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов»  
Институт биохимической технологии и нанотехнологии (ИБХТН)**

# **ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ**

«Микро- и наносистемы в технике и технологии»  
(наименование дисциплины)

28.04.01 – «Нанотехнологии и микросистемная техника»  
(код и наименование направления подготовки)

«Инновационные технологии и нанотехнологии в медицине, фармацевтике и  
биотехнологии»  
(наименование профиля подготовки)

Магистр  
Квалификация (степень) выпускника

### **Описание балльно-рейтинговой системы**

Текущий контроль, промежуточная и итоговая аттестации осуществляются на основе балльно-рейтинговой системы (БРС) оценки знаний.

Система оценок основана на шкале 100 баллов и является накопительной. Баллы за освоение учебной дисциплины накапливаются обучающимися в процессе учебных занятий, текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации в течение учебного семестра. Максимальная оценка за дисциплину составляет 100 баллов.

### **Таблица соответствия баллов и оценок**

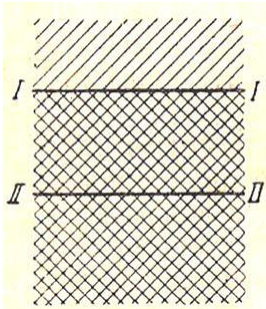
<b>Баллы БРС</b>	<b>Традиционные оценки РФ</b>	<b>Оценки ECTS</b>
95-100	5	A
86-94		B
69-85	4	C
61-68	3	D
51-60		E
31-50	2	FX
0-30		X
50-100	Зачет	Passed



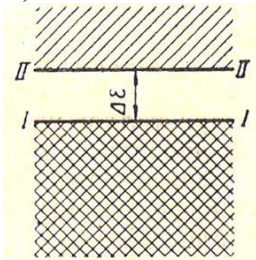
Тест по дисциплине «Микро- и нанотехнологии в технологии и технике»

1. Какой вариант зонной диаграммы твердого тела характерен для полупроводника?

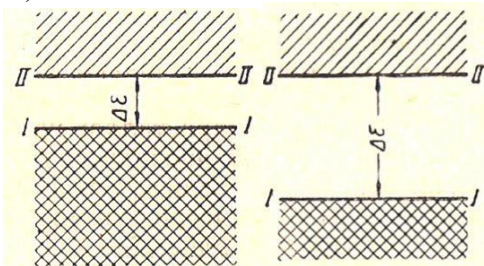
А)



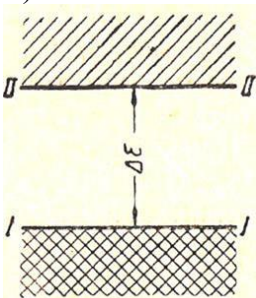
Б)



В)



Г)



2. Каким уравнением определяется число квантовых состояний, приходящихся на единицу объема полупроводника и единицу энергетического интервала, в случае, когда значения энергии превышают энергию дна зоны проводимости?

А) 
$$N(E) = \frac{4\pi}{h^3} (2m_n)^{3/2} (E - E_c)^{1/2}$$

Б) 
$$f(E, T) = C \exp\left(-\frac{E}{kT}\right)$$

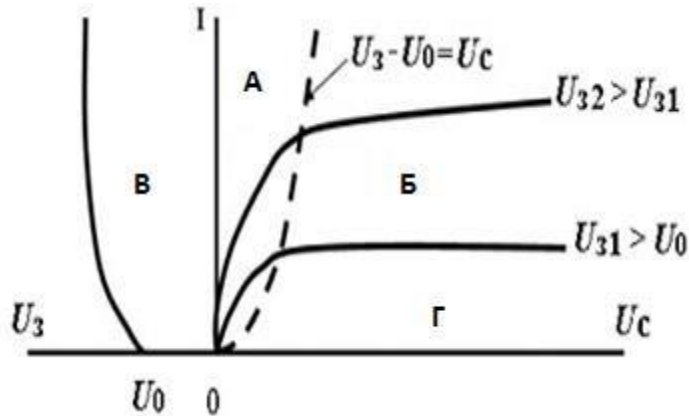
В) 
$$f(E, T) = \frac{1}{1 + \exp\left(\frac{E - E_F}{kT}\right)}$$

Г) 
$$d = x_n - x_p = \left( \frac{2\epsilon\epsilon_0 U_k}{q} \frac{N_a + N_d}{N_a N_d} \right)^{1/2}$$

3. В зависимости от приложенного к затвору напряжения, какие существуют режимы работы МОП транзистора?

- А) Режим обогащения, режим обеднения;
- Б) Режим обогащения, режим обеднения, режим инверсии
- В) Режим инверсии, режим конверсии
- Г) Режим обогащения, режим обеднения, режим инверсии, режим конверсии.

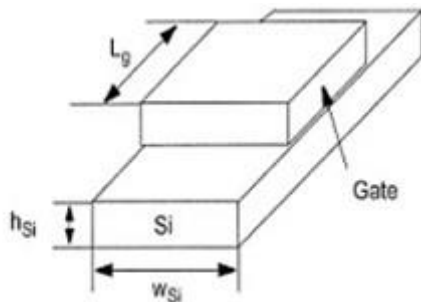
4. На рисунке изображена схема характеристик МОП транзистора. Какая зона на диаграмме соответствует стоко-затворной характеристике?



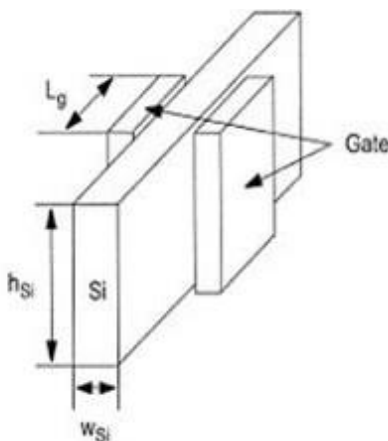
- А) Зона А;
- Б) Зона Б;
- В) Зона В;
- Г) Зона Г;

5. Какой вариант изображения конструкции наноразмерных МОП транзисторов соответствует типу «DG FET – double-gate MOS FETs» (два затвора с разных сторон полупроводника)?

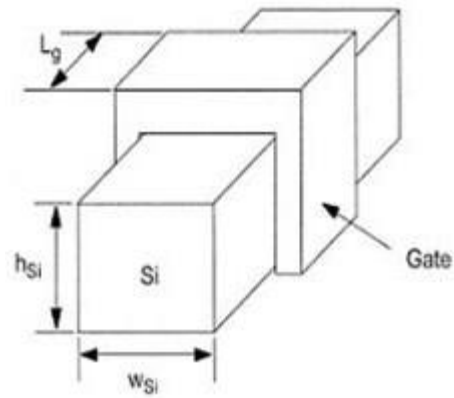
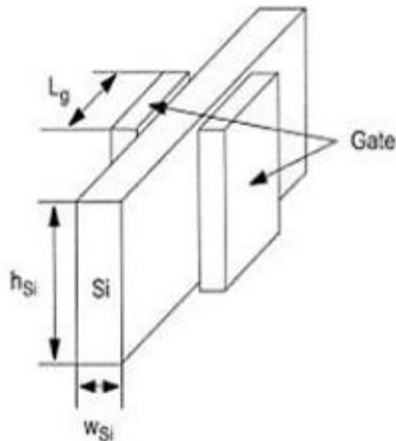
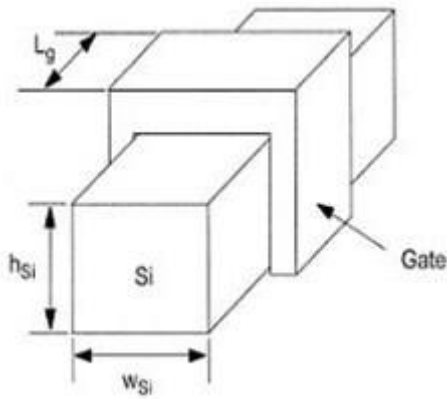
А)



Б)



В)



Г)

и

6. Какое определение относится к определению гибридных интегральных микросхем?

А) Это микросхемы, изготовленные на изолирующей подложке, на поверхности которой создаются плёночные резисторы, конденсаторы и металлические дорожки межсоединений, а транзисторы и диоды приклеиваются к подложке без корпуса.

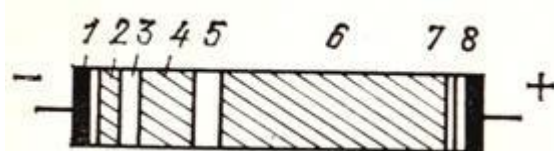
Б) Это микросхемы, изготовленные на изолирующей подложке, на поверхности которой создаются плёночные резисторы, конденсаторы и металлические дорожки межсоединений, в которых вместо отдельных транзисторов и диодов используются твёрдотельные микросхемы без корпуса.

В) Это микросхемы, изготовленные в объёме и на поверхности полупроводника.

Г) микросхемы, изготовленные в объёме и на поверхности полупроводника, а транзисторы и диоды крепятся к изолирующей подложке и защищены корпусом.

7. На рисунке для двухэлектродной системы изображена структура тлеющего заряда.

Укажите в какой области показано фарадеево темное пространство?



А) 4

Б) 3

В) 6

Г) 5

8. Какое определение соответствует понятию «кулоновская блокада»?

А) Это явление отсутствия тока при приложении напряжения к туннельному переходу из-за проведения туннелирования электронов.

Б) Это явление, при котором начальный заряд на туннельном переходе может быть отличен от нуля или может принимать значения не кратные целому числу электронов.

В) Это явление отсутствия тока при приложении напряжения к туннельному переходу из-за невозможности туннелирования электронов вследствие их кулоновского отталкивания.

Г) Это явление, при котором начальный заряд на туннельном переходе может быть равен только нулю.

9. Что представляют собой квантовые точки?

А) Структуры, у которых во всех трёх направлениях размеры составляют несколько межатомных расстояний (в зависимости от масштаба рассмотрения структура считается нуль- или трёхмерной);

Б) Структуры, у которых в двух направлениях размеры равны нескольким межатомным расстояниям, а в третьем – макроскопической величине;

В) Структуры, у которых в одном направлении размер составляет несколько межатомных расстояний, а в двух других – макроскопическую величину.

Г) Структуры, у всех трёх направлениях размеры составляют макроскопическую величину.

10. Какое определение соответствует IP-блокам?

А) Это АЛУ, ОЗУ, ВИП и т.п., реализованные в виде отдельной микросхемы ИМС большой степени интеграции (БИС) и являются блоками ИМС более высокой степени интеграции;

Б) Это микропроцессоры, микроконтроллеры и т.д., которые реализованы в виде отдельных схем СБИС (сверх больших интегральных схем) и являются устройствами ИМС более высокой степени интеграции;

В) Это устройство (система на кристалле, микро ЭВМ на кристалле), реализованное в виде ультра большой интегральной схемы

Г) Это триггеры, счетчики, регистры, операционные усилители и т.п., которые реализованы в виде ИМС средней степени интеграции и являются основой более сложных ИМС.



## Темы для реферата

1. Виды литографии. Создание p-переходов.
2. Рентгеновская литография.
3. Электролитография.
4. Ионно-лучевая литография.
5. Оптическая литография
6. Другие виды литографии: ионная, электронная
7. Термическое окисление кремния.
8. Термолитический способ.
9. Анодное окисление.
10. Пиролитическое осаждение  $\text{SiO}_2$ .
11. Технология пленок нитрида кремния и ее применение.
12. Плазменное окисление.
13. Плазмохимическое осаждение оксидной пленки.
14. Вакуумное термическое распыление  $\text{SiO}_2$ .

Программа составлена в соответствии с требованиями ОС ВО РУДН.