

*Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования «Российский университет дружбы народов»*

*Институт биохимической технологии и нанотехнологии (ИБХТН)*

Рекомендовано МССН

## **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**Наименование дисциплины:** Микро- и наносистемы в технике и технологии

---

**Рекомендуется для направления подготовки/специальности**

28.04.01 Нанотехнологии и микросистемная техника

---

*(указываются код и наименование направления подготовки/специальности)*

**Направленность программы (профиль)**

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

*(наименование образовательной программы в соответствии с направленностью (профилем))*

Москва, 2021

**1. Цели и задачи дисциплины:** Получение знаний по физике полупроводниковых приборов, проектированию микросхем, специальных сведений по конструктивным особенностям и тенденциям развития наноэлектроники.

## 2. Место дисциплины в структуре ОП ВО:

Дисциплина «Микро- и наносистемы в технике и технологиях» относится к вариативной части и является обязательной дисциплиной.

В таблице № 1 приведены предшествующие и последующие дисциплины, направленные на формирование компетенций дисциплины в соответствии с матрицей компетенций ОП ВО.

Таблица № 1

### Предшествующие и последующие дисциплины, направленные на формирование компетенций

№ п/п	Шифр и наименование компетенции	Предшествующие дисциплины	Последующие дисциплины (группы дисциплин)
Общепрофессиональные компетенции			
1	<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	Актуальные проблемы современной нанотехнологии	

## 3. Требования к результатам освоения дисциплины:

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

№ п/п	Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
1	<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	<b>ОПК-1.1.</b> Способен ставить и решать инженерные и научно-технические задачи в профессиональной области <b>ОПК-1.2.</b> 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;

В результате изучения дисциплины студент должен:

**знать**

- основы принципов функционирования микро- и наноэлектронных приборов,
- тенденции развития полупроводниковых приборов в области наноразмеров,
- принципы расчета параметров полупроводниковых приборов и основы проектирования их топологии.

### уметь

- производить расчет характеристик микро- и нанoeлектронных приборов,
- проектировать топологию этих полупроводниковых приборов.

### владеть

- методами расчета характеристик микро- и нанoeлектронных приборов и
- компьютерной программой проектирования топологии элементов интегральных микросхем.

## 4. Объем дисциплины и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетные единицы.

Вид учебной работы	Всего часов	2 курс			
		Семестры			
		5	6	7	8
<b>Аудиторные занятия (всего)</b>	32		32		
Лекции	16		16		
Практические занятия (ПЗ)	16		16		
Лабораторные работы (ЛР)					
<b>Самостоятельная работа (всего)</b>	112		112		
<b>Итоговая аттестация</b>	Диф.зачет				
Общая трудоемкость, час зач. ед.	144		144		
	4		4		

## 5. Содержание дисциплины

### 5.1. Содержание разделов дисциплины

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела (темы)
1.	Методы эпитаксии	Виды эпитаксии. Легирование кремния. Эпитаксия из газовой фазы. Создание р-переходов. Локальная эпитаксия. Молекулярно-лучевая эпитаксия
2.	Литография	Виды литографии. Создание р-переходов. Рентгеновская литография. Электронолитография. Ионно-лучевая литография. Оптическая литография. Другие виды литографии: ионная, электронная
3.	Способы получения SiO <sub>2</sub> .	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> .
4.	История развития интегральных микросхем. Λ-система.	История развития интегральных микросхем. Закон Мура. Материалы на разных уровнях микро- и нанoeлектроники. Рабочие слои полупроводниковых приборов. Развитие Λ-системы. Правила проектирования фрагментов интегральных микросхем. Металлизация и контакты. Межсоединения в интегральных микросхемах.
5.	МОП транзистор.	Конструкция и принцип работы МОП транзистора. Основы технологии изготовления в объемном кремнии и на изолирующих подложках. Наноразмерные МОП транзисторы.

6.	МОП интегральные микросхемы	Комплементарные МОП интегральные схемы (ИМС). Их развитие. Технология изготовления. МОП ИМС. МОП ИМС на транзисторах с <i>n</i> -каналом. Сравнение основных параметров МОП ИМС. Масштабирование МОП ИМС.
7.	Новые конструкции наноразмерных элементов	Элементы на квантовых проводах. Наножидкостной полевой транзистор. Углеродные нанотрубки. Щелевые структуры, работающие на эффекте туннелирования.

## 5.2. Разделы дисциплин и виды занятий

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Лекц.	Практ. зан.	Лаб. зан.	Семина	СРС	Всего час.
1.	Методы эпитаксии	2			2	13	17
2.	Литография	3			2	13	18
3.	Способы получения SiO <sub>2</sub> .	2			3	13	18
4.	История развития интегральных микросхем. Λ-система.	2			2	13	17
5.	МОП транзистор.	2			2	14	18
6.	МОП интегральные микросхемы	2			2	14	18
7.	Новые конструкции наноразмерных элементов	3			3	14	20
	Итоговая аттестация					18	18
	Итого	16			16	112	144

## 6. Лабораторный практикум - нет

## 7. Практические занятия (семинары)

№ п/п	№ раздела дисциплины	Наименование лабораторных работ	Трудоемкость (час.)
1.	1.	Виды эпитаксии. Легирование кремния. Эпитаксия из газовой фазы. Создание <i>p</i> -переходов. Локальная эпитаксия. Молекулярно-лучевая эпитаксия	2
2.	2.	Виды литографии. Создание <i>p</i> -переходов. Рентгеновская литография. Электронолитография. Ионно-лучевая литография. Оптическая литография. Другие виды литографии: ионная, электронная	2
3.	3.	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> .	3
4.	4.	История развития интегральных микросхем. Закон Мура. Материалы на разных уровнях микро- и нанoeлектроники. Рабочие слои полупроводниковых приборов. Развитие Λ-системы. Правила проектирования фрагментов	2

		интегральных микросхем. Металлизация и контакты. Межсоединения в интегральных микросхемах.	
5.	5.	Конструкция и принцип работы МОП транзистора. Основы технологии изготовления в объемном кремнии и на изолирующих подложках. Наноразмерные МОП транзисторы.	2
6.	6.	Комплементарные МОП интегральные схемы (ИМС). Их развитие. Технология изготовления. МОП ИМС. МОП ИМС на транзисторах с <i>n</i> -каналом. Сравнение основных параметров МОП ИМС. Масштабирование МОП ИМС.	2
7.	7.	Элементы на квантовых проводах. Наножидкостной полевой транзистор. Углеродные нанотрубки. Щелевые структуры, работающие на эффекте туннелирования.	3

### 8. Материально-техническое обеспечение дисциплины:

Москва, ул. Миклухо-Маклая, д.10, корп.2, учебная аудитория для проведения занятий лекционного и семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, а также для самостоятельной работы, ауд. 636.  
Комплект специализированной мебели; технические средства: Мультимедийный проектор Everycom. Ноутбук Lenovo Thinkpad L530 Intel Core i3-2370M\_2.4GHz/DDR3 4 GB, 1шт  
Обеспечен выход в интернет.

Москва, ул. Орджоникидзе, д. 3., «Лаборатория электротехники», Ауд.18. учебная аудитория для проведения занятий лекционного и семинарского типа. групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации. Комплект специализированной мебели;  
Технические средства: Системный блок ASP-5089 (5 шт.), Системный блок AMD 3000/512/128/40/DVD-RW, Стенд ЭМ1-С-К "Электрические машины (стендовое исполнение, компьютеризированная (6 шт.), Сетевой фильтр (6 шт.), Проектор Epson EB-X02, свитч

### 9. Информационное обеспечение дисциплины

а) программное обеспечение • Microsoft Windows XP Professional Russian Upgrade Academic Open No Level, Лицензия № 15988873, дата выдачи 15.01.2003 г.  
• Microsoft Office 2007 Russian Academic Open No Level  
Лицензия № 43178981, дата выдачи 12.12.2007 г.  
(Windows 7, Microsoft Office 2007, Microsoft Security Essentials)

б) базы данных, информационно-справочные и поисковые системы Ссылки на Web-страницы некоторых отечественных журналов, посвященных проблемам радиоэлектроники, проектированию и применению интегральных микросхем:

Электроника: НТБ <http://www.electronics.ru/>  
Современная электроника <http://www.soel.ru/>  
Компоненты и технологии <http://www.kit-e.ru/>  
Chip News <http://www.chip-news.ru/>

3. Ссылки на Интернет-порталы, содержащие различную информацию по технологии, а также справочные данные по микросхемам:

<http://www.rlocman.ru/index.html> , <http://www.gaw.ru/>

4. Википедия (Wikipedia) – сетевая энциклопедия, русскоязычный и англоязычный порталы: <http://ru.wikipedia.org> , <http://en.wikipedia.org>

### 10. Учебно-методическое обеспечение дисциплины:

а) основная литература

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.  
[http://lib.rudn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=Rudn\\_FindDoc&id=353437&idb=0](http://lib.rudn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=Rudn_FindDoc&id=353437&idb=0)

б) литература для самостоятельного изучения

1. Киреев В.Ю. Введение в технологии микроэлектроники и наноэлектроники.- М.: ФГУП «ЦНИИХМ», 2008. 428 с.
2. Попов В.Д., Белова Г.Ф. Физические основы проектирования кремниевых цифровых интегральных микросхем в монолитном и гибридном исполнении.- СПб.: Издательство «Лань», 2013. – 208с.
3. Щука А.А. Наноэлектроника.- М.: Бином. Лаборатория знаний. 2012. – 342 с.
4. Cary S. May, Simon M. Sze. Fundamentals of Semiconductor Fabrication. Willey, 2004.
5. Lieberman M.A., Lichtenberg A.J. Principles of plasma discharges and materials processing. – New York, Willey, 1994.

## **11. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)**

### *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 приложение.

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.

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

### **Вопросы для самостоятельной работы и обсуждения на семинарах.**

1. История возникновения планарной технологии
2. Общие представления об электронных свойствах полупроводников
3. Кристаллическая структура полупроводников. Индексы Миллера
4. Интегральная схема (ИС). Обобщенные (интегральные) характеристики уровня развития технологии ИС
5. Основные операции планарной технологии
6. Методы очистки полупроводниковых пластин. Назначение очистки.
7. Роль пленки  $\text{SiO}_2$  в планарной технологии. Метод получения окисных пленок.
8. Фотолитография. Определение, назначение, проекционная, контактная; фотошаблоны
9. Последовательность операций фотолитографии
10. Внедрение примесей методом диффузии, образование p-n переходов
11. Ионное внедрение примесей в кремний. Радиационные эффекты
12. Восстановление кристаллической структуры после ионного внедрения
13. Назначение процесса эпитаксии, виды эпитаксии
14. Газофазная и молекулярно-лучевая эпитаксия
15. Назначение металлизации в планарной технологии, способы нанесения металлов
16. Металлы, используемые для электрической разводки в ИС
17. Обоснование необходимости медной металлизации. Дамасский процесс
18. Обоснование структуры планарно-эпитаксиального транзистора
19. Последовательность технологических операций планарно-эпитаксиального транзистора
20. Виды транзисторов в интегральных схемах
21. Элементы Булевой алгебры. Совместимость операций Булевой алгебры с ИС
22. Цифровые ИС; инвертор
23. КМОП- ключ; логические элементы
24. Последовательностные цифровые ИС, триггер
25. ИС памяти
26. Микропроцессоры
27. Операционные усилители, компараторы
28. Надежность ИС

Разработчик:

Доцент департамента  
механики и мехатроники

Ю.А. Воронов

Руководитель программы/  
Директор ИБХТН

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Yu. Stanishchevskiy', with a long horizontal stroke extending to the left.

**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

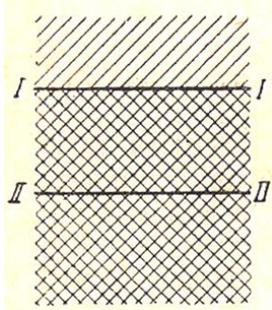
**Сводная оценочная таблица дисциплины  
«Микро- и наносистемы в технике и технологии»**

Р а з д е л	Тема	Формы контроля уровня освоения ООП										Экзамен	Прочие формы контр.	Баллы темы	Баллы раздела		
		Семинары	Тест	Коллоквиум	Реферат	Выполнение ЛР	Выполнение ДЗ	Выполнение РГР	Выполнение КР	Выполнение КП	Работа на занятии					Работа на инт. занят.	
1.	Методы эпитаксии	5			25								30				
2.	Литография	5															
3.	Способы получения SiO <sub>2</sub> .	5															
4.	История развития интегральных микросхем. Λ-система.	5	10														
5.	МОП транзистор.	5															
6.	МОП интегральные микросхемы	5															
7.	Новые конструкции наноразмерных элементов	5															
<b>Итого</b>																<b>100</b>	

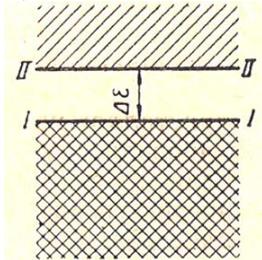
Тест по дисциплине «Микро- и нанотехнологии в технологии и технике»

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

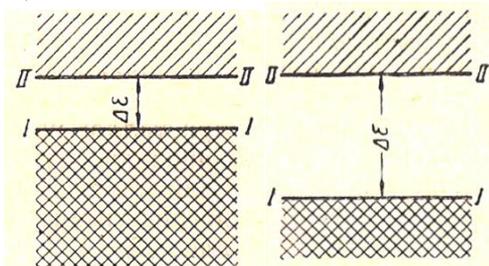
А)



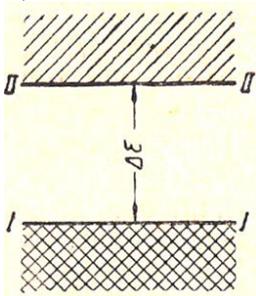
Б)



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

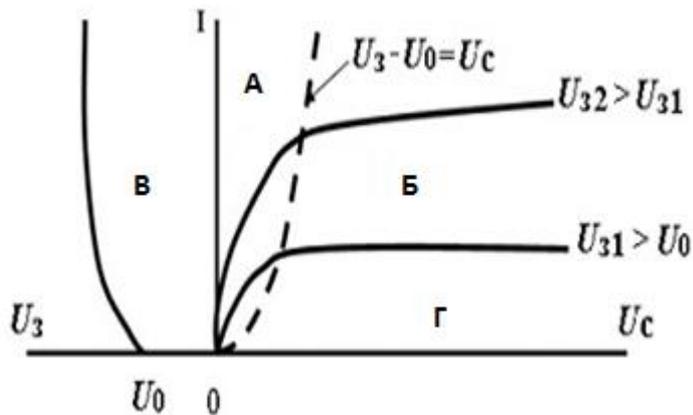
$$d = x_n - x_p = \left( \frac{2\epsilon\epsilon_0 U_k}{q} \frac{N_a + N_d}{N_a N_d} \right)^{1/2}$$

Г)

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.

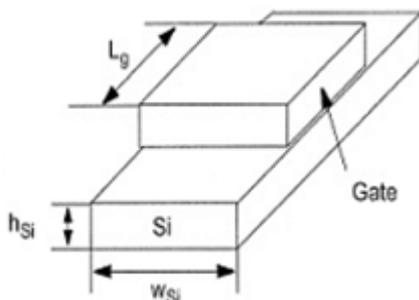
4. На рисунке изображена схема характеристик МОП транзистора. Какая зона на диаграмме соответствует стоко-затворной характеристике?



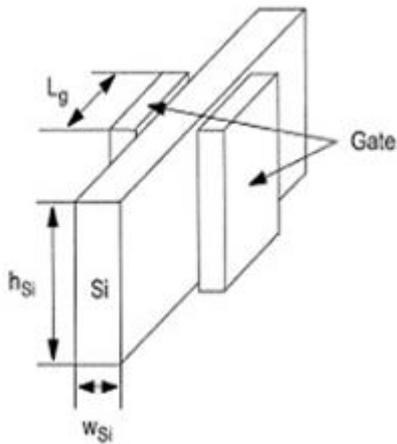
- А) Зона А;
- Б) Зона Б;
- В) Зона В;
- Г) Зона Г;

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

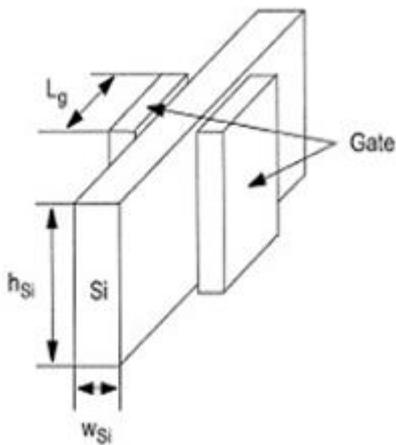
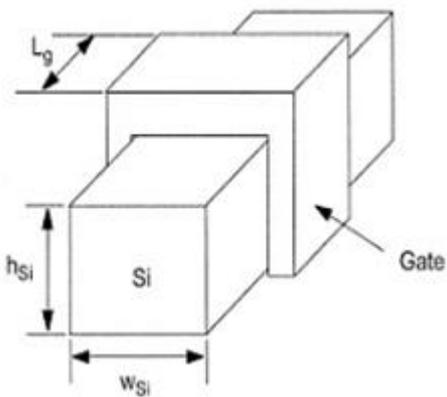
А)



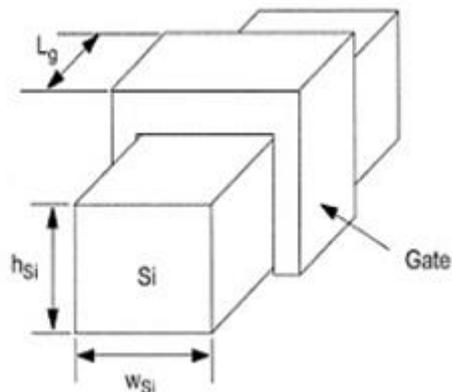
Б)



В)



Г)



и

6. Какое определение относится к определению гибридных интегральных микросхем?

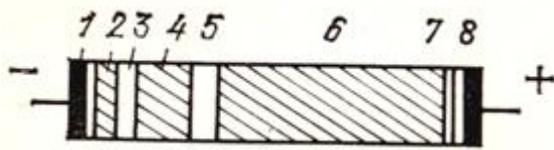
А) Это микросхемы, изготовленные на изолирующей подложке, на поверхности которой создаются плёночные резисторы, конденсаторы и металлические дорожки межсоединений, а транзисторы и диоды приклеиваются к подложке без корпуса.

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. Электронолитография.
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  $\text{SiO}_2$ .