

Программа
краткосрочного повышения квалификации преподавателей и научных
работников высшей школы по направлению
«Нанoeлектроника, компонентная база и устройства. Физические принципы.
Применяемые технологии при разработке и создании»
на базе учебного курса
«Физические основы кремниевой нанoeлектроники»

Цель: изучение основных физических принципов, структур и методов моделирования, а также тенденций развития современной и перспективной кремниевой нанoeлектроники с технологическими нормами < 100 нм.

Категория слушателей: преподаватели и научные работники высшей школы

Срок обучения: 14 часа

Форма обучения: с частичным отрывом от работы

Режим занятий: 8 часов в день

Цель: Слушатель ознакомится с описанием основных физических принципов, структур и методов моделирования, а также тенденций развития современной и перспективной кремниевой нанoeлектроники с технологическими нормами < 100 нм.

Программа обучения рассчитана на специалистов в области проектирования перспективной элементной базы (в т.ч. и радиационно-стойкой), а также для специализирующихся по направлениям микро- и нанoeлектроники, электроники, электронных измерительных систем

Содержание: Предметом курса является кремниевая нанoeлектроника, которая понимается как цифровая электроника на основе современных КМОП технологий с проектными нормами менее 100 нм. Кратко излагаются некоторые положения элементарные результаты физической кинетики и квантовой механики. Описываются основные физические проблемы и принципы развития КМОП технологии, физика МОП структур и модели МОП транзисторов, физические и технологические эффекты в них: подвижность в канале, эффекты сильных электрических поля и горячих носителей, эффекты короткого и узкого канала, подпороговые и туннельные токи утечки, high-K диэлектрики и разброс параметров, баллистический перенос. Программа подготовлена на основе курса лекций «Физические основы нанoeлектроники», читаемого автором на протяжении ряда лет на кафедре микро- и нанoeлектроники Московского инженерно-физического института (государственного университета) (МИФИ).

Учебный курс «Физические основы кремниевой нанoeлектроники» состоит из дистанционной и очной частей.

Дистанционная часть учебного образовательного курса обеспечивает слушателя необходимым объёмом знаний по выбранной тематике, включая подготовку слушателя к проведению лабораторного практикума. Задача дистанционной составляющей учебного курса – подготовить слушателя к очному посещению лаборатории в государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования "Национальный исследовательский ядерный университет (НИЯУ МИФИ)".

Дистанционная (теоретическая) часть учебного курса состоит из пяти лекций:

Реферативное содержание лекций.

ЛЕКЦИЯ №1

Цифровая техника и логические вентили. Интегральные схемы и планарная технология. МОП транзистор и КМОП технология. Закон Мура.

ЛЕКЦИЯ №2

Технологическая (проектная) норма. Тактовая частота. Основные проблемы миниатюризации. Анализ проблемы тепловыделения

ЛЕКЦИЯ №3

Проблема отвода тепла. Проблема диссипации тепла и обратимости вычисления. Адиабатическая логика. Оценка максимального быстродействия

ЛЕКЦИЯ №4

Проблемы при миниатюризации межсоединений. Принципы скейлинга. Компромиссы миниатюризации. Ограничения скейлинга.

ЛЕКЦИЯ №5

Контактная разность потенциалов в МОП структуре. Электростатика плоских слоев заряда. Электростатика МОП структуры с однородно - легированной подложкой.

Методические рекомендации по реализации учебной программы

На дистанционную и очную части учебного курса отводится (16 час.) включает 4 лекционных занятия (8 час.), 1 лабораторное занятие на оборудовании кафедры (4 час.), зачет (4 час.). Полное содержание лекций в электронной дистанционной части учебного курса находится на сайте www.nanoobr.ru. Для контроля степени освоения теоретической части учебного курса (лекций) используются **тестовые вопросы** для самопроверки и **контрольные вопросы**.

Тестовые и контрольные вопросы к курсу

Тест к Лекции №1

1.1. К разряду современных (2009) наноэлектронных (наноразмерных) объектов относят транзисторы с размерами:

- а) 45-90 нм
- б) 32-90 нм
- в) 60-90 нм

1.2. Идеальная передаточная характеристика инвертора должна иметь вид:

- а) гиперболы
- б) ступеньки
- в) экспоненты

1.3. Полевой транзистор был изготовлен в:

- а) 1930 г
- б) 1947 г
- в) 1960 г

1.4 Повышение степени интеграции достигается:

- а) за счет уменьшения т.н. технологической нормы
- б) за счет роста площади чипа
- в) за счет уменьшения т.н. технологической нормы, и, в некоторой степени, за счет роста площади чипа

Контрольные вопросы к Лекции №1

- На чём основана современная цифровая схемотехника?
- Что является принципиальным для передаточной характеристики вентиля?
- Какой электронный прибор называют транзистором?
- На чём основан принцип действия МОП транзистора?
- Можно ли управлять проводимостью канала?
- Как звучала первоначальная формулировка закона Мура?

Тест к Лекции №2

2.1. Говоря о проектной норме, обычно имеют в виду:

- а) максимальный для данной технологии характеристический размер
- б) средний для данной технологии характеристический размер
- в) минимальный для данной технологии характеристический размер

2.2. От чего зависит геометрический размер, и какой характер носит зависимость?

- а) от нормы, зависимость - «ступенька»
- б) от длины затвора, носит экспоненциальный характер
- в) от нормы, носит пропорциональный характер

2.3. Тактовая частота определяется:

- а) скоростью переключения отдельных цифровых элементов
- б) технологической нормой
- в) скоростью переключения и технологической нормой

2.4. Проблемой при увеличении степени интеграции и уменьшении размеров активных областей приборов является:

- а) проблема увеличения токов утечек

- б) проблема тепловыделения
- в) увеличение токов утечек и проблема тепловыделения

Контрольные вопросы к Лекции №2

- Основной параметр технологии- это?
- С каким масштабным множителем идет по поколениям изменение технологической нормы?
- Чем определяется максимальное быстродействие интегральных схем?
- Основными параметрами микропроцессоров являются?
- Фундаментальной проблемой при увеличении степени интеграции является?

Тест к Лекции №3

3.1. Величина $C_{tot}V^2_{DD}$ является фундаментальным параметром технологии, определяющая:

- а) производительность
- б) энергопотребление
- в) температуру нагрева

3.2. Адиабатической логикой называется такая организация процесса вычисления, при которой

- а) диссипация энергии минимизирована
- б) система получает, но не отдает тепло
- в) система получает и отдает тепло

3.3. Меры, для увеличения частоты:

- а) уменьшение канала
- б) уменьшение порогового напряжения и уменьшение паразитных емкостей
- в) все вместе (а,б,в)

Контрольные вопросы к Лекции №3

- Фундаментальный параметр технологии, определяющий энергопотребление- это?
- К чему приводит уменьшение размеров элементов?
- Логическая необратимость – это?
- Адиабатической логикой называется?
- Чем определяется максимальная тактовая частота и быстродействие?
- Перечислите меры для увеличения частоты

Тест к Лекции №4

4.1. Типичная площадь сечения межсоединений:

- а) 0,7 мкм² и меньше
- б) 1 мкм² и меньше
- в) 0,5 мкм² и меньше

4.2. Нарушение планарности и проявление трех мерности уравнения Пуассона приводит к:

- а) уменьшению эффективной затворной емкости
- б) появлению паразитных короткоканальных эффектов
- в) уменьшение подвижности

4.3. Основная идея скейлинга:

- а) увеличение геометрических размеров приборов
- б) уменьшение геометрических размеров приборов
- в) уменьшение геометрических размеров приборов с сохранением некоторых функциональных и параметрических инвариантов

4.4. Чтобы уменьшить время переключения необходимо:

- а) увеличить максимальные токи
- б) уменьшить энергопотребление
- в) увеличить частоту

Контрольные вопросы к Лекции №4

- При миниатюризации каких областей возрастает роль межсоединений?
- К чему приводит миниатюризация линии межсоединения?
- Способ уменьшения RC задержки
- Основная идея скейлинга
- В чём выражаются компромиссы миниатюризации?
- Чем диктуются пределы скейлинга?

Тест к Лекции №5

5.1. Что больше, работа выхода или сродство к электрону?

- а) работа выхода
- б) сродство к электрону
- в) это одно и то же

5.2. Как изменяется емкость обедненного слоя в подложке с ростом концентрации легирующей примеси

- а) уменьшается
- б) растет
- в) не изменяется

5.3. Чем главным образом определяется поверхностный потенциал на границе раздела Si-SiO₂

- а) плотностью заряда в инверсионном слое
- б) поверхностной концентрацией обедненного слоя
- в) профилем объемной концентрации легирующей примеси

5.4. Чем определяется поверхностный заряд на затворе

- а) зарядом инверсионного слоя
- б) зарядом обедненного слоя
- в) их суммой

Контрольные вопросы к Лекции №5

- Роль и происхождение контактной разности потенциалов в МОП структуре.
- Чем определяется возможность использование одномерного приближения для описания электростатики МОП структур?
- Распределения полей, потенциалов и концентраций в подложке однородно-легированной кремния.
- Вывод общей формулы для распределения потенциалов для случая одномерной электростатики с неоднородным распределением плотности объемного заряда?
- Электрические поля вблизи границы раздела кремния и окисла?

Полное содержание лекций в электронной дистанционной части учебного курса на сайте www.nanoobr.ru