

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

«СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ТЕХНОЛОГИИ НАНОЭЛЕКТРОНИКИ»

Цель: изучение основных принципов формирования современных конструкций кремниевых УБИС и особенностей конструктивного - технологического исполнения КМОП и БиКМОП ИС с нанометровыми минимальными размерами.

Категория слушателей: преподаватели и научные работники высшей школы

Срок обучения: 16 часа

Форма обучения: с частичным отрывом от работы

Режим занятий: 8 часов в день

Целью данного курса является ознакомление с основными принципами формирования современных конструкций кремниевых УБИС и особенностями конструктивного - технологического исполнения КМОП и БиКМОП ИС с нанометровыми минимальными размерами.

Программа обучения рассчитана на специалистов в области технологии и проектирования перспективной элементной базы, маршрутов изготовления ИС и систем на кристалле, а также для специализирующихся по направлениям микро- и нанoeлектроники.

Требования к уровню освоения учебного курса

Преподаватели и научные работники должны:

- Знать:
 - фундаментальные ограничения при уменьшении размеров короткоканальных КМОП структур;
 - короткоканальные эффекты, возникающие в КМОП структурах с нанометровыми минимальными размерами;
 - конструктивно – технологические методы, обеспечивающие минимизацию короткоканальных эффектов;
 - конструктивно- технологические варианты реализации короткоканальных КМОП структур;
 - особенности функционирования биполярных структур с нанометровыми минимальными размерами;
 - конструктивно- технологические варианты реализации биполярных структур с нанометровыми минимальными размерами;
 - конструктивно- технологические варианты реализации БиКМОП структур
- Иметь навыки:
 - сбора, систематизации и анализа научно-технической и другой профессиональной информации в области конструирования и создания КМОП и БиКМОП транзисторных структур с нанометровыми минимальными размерами;

- включать приобретенные знания о технологии нанoeлектроники в уже имеющуюся систему знаний и применять эти знания в самостоятельных методических разработках;
- переносить полученные знания о технологии нанoeлектроники на смежные предметные области и к использованию этих знаний для построения междисциплинарных методических разработок.
- Иметь представление:
 - о физических особенностях функционирования КМОП и БиКМОП транисторных структур с нанометровыми минимальными размерами;
 - о методах борьбы с короткоканальными эффектами;
 - о физических ограничениях в масштабном уменьшении размеров КМОП и БиКМОП структур.

Краткая аннотация учебного курса «СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ТЕХНОЛОГИИ НАНОЭЛЕКТРОНИКИ».

Предметом курса является современная технология интегральной нанoeлектроники, позволяющая создавать интегральные схемы и системы на кристалле с нанометровыми проектными нормами. Программа курса включает обзор современных конструкций кремниевых УБИС и технологических маршрутов их изготовления, а также наиболее критичных процессов в технологии кремниевой нанoeлектроники. В их числе будут рассмотрены:

- формирование подзатворных диэлектриков в технологии наноразмерных КМОП интегральных микросхем, анализ процесса подзатворного окисления и свойств оксида кремния, улучшение характеристик подзатворных окислов методом нитрирования.
- формирование поликремниевых затворов для наноразмерных МОП- транзисторов, легирование поликремния, формирование затворов n+- и p+-типов осаждением легированных слоев поликремния, салицидная технология формирования затворов наноразмерных МОПТ, затворы на основе силицида титана, силицидные затворы на основе CoSi_2 .
- особенности формирования металлизированной разводки в наноразмерных КМОП интегральных схемах, особенности медной разводки, технологии создания медной разводки на кремниевом кристалле интегральной микросхемы, двойной дамасский процесс, материалы для диффузионно-барьерного слоя, электрохимическое осаждение меди, химико-механическая и электрохимическая полировка слоя меди.

Учебный курс «СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ТЕХНОЛОГИИ НАНОЭЛЕКТРОНИКИ» 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 "Московский государственный институт электронной техники (технический университет)".

В дистанционной (теоретической) части учебного курса изложены физические и технологические основы формирования подзатворных диэлектриков, поликремниевых

затворов в технологии наноразмерных КМОП интегральных микросхем, силицидная технология формирования затворов, особенности формирования металлизированной разводки в наноразмерных КМОП. Теоретическая часть учебного курса состоит из четырех лекций:

Лекция 1: Методы улучшения характеристик МОП-транзисторов.

Перспективные структуры для дальнейшего повышения быстродействия МОП-транзисторов. КНИ-структуры. Структуры с периодически меняющейся концентрацией. МОП-транзисторы с динамически изменяющимся пороговым напряжением. Основные проблемы при разработке нано-МОП-транзисторов.

Лекция 2: Формирование подзатворных диэлектриков в технологии нано-КМОП интегральных микросхем.

Анализ процесса подзатворного окисления и свойств оксида кремния. Улучшение характеристик подзатворных окислов методом нитрирования. Термическое нитрирование слоев SiO_2 в NH_3 . Нитрирование подзатворного оксида в среде закиси азота N_2O .

Лекция 3: Формирование поликремниевых затворов для нано-МОП-транзисторов.

Влияние обеднения носителями поликремниевого затвора на характеристики МОПТ. Снижение степени проникновения бора из затвора в область канала ионной имплантацией азота. Легирование поликремния. Формирование затворов n^+ - и p^+ -типов осаждением легированных слоев поликремния. Силицидная технология формирования затворов. Силицидная технология формирования затворов наноразмерных МОПТ. Формирование затворов по самосовмещенной технологии. Затворы на основе силицида титана. Силицидные затворы на основе CoSi_2 .

Лекция 4: Особенности формирования металлизированной разводки в нано-КМОП интегральных схемах.

Особенности медной разводки. Технологии создания медной разводки на кремниевом кристалле интегральной микросхемы. Двойной дамасский процесс. Технологический маршрут. Материалы для диффузионно-барьерного слоя. Электрохимическое осаждение меди. Окончательная полировка слоя меди. Химико-механическая и электрохимическая полировка слоя меди

Очная (экспериментальная) часть учебного курса заключается в изучении методов анализа технологических слоев в наноразмерных ИС с использованием сканирующей зондовой микроскопии. В ходе работы слушатель знакомится:

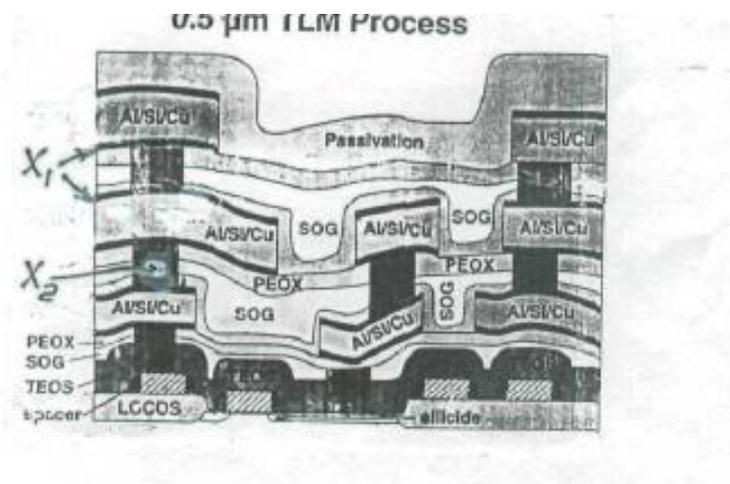
- 1) с принципами сканирующей зондовой микроскопии
- 2) с основными узлами и управляющей программой сканирующего зондового микроскопа и обучается:
- 3) получению изображений рельефа в контактном, полуконтактном и электропроводящем режимах
- 4) получению топографии поверхности слоев, картины растекания тока, фазового изображения

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 вопросы к курсу Современные проблемы технологии нанoeлектроники

1. Часть проводников 1-го уровня разводки многоуровневой системы металлизации КМОП ИС выполнена из полицидного материала. Оцените удельное сопротивление полицидного слоя, если:
 - толщина высоколегированного слоя поликремния равна 0,5 мкм; его поверхностное сопротивление равно 40 Ом/□;
 - толщина слоя силицида равна 0,05 мкм; его поверхностное сопротивление равно 4 Ом/□.
2. Что такое удельное переходное сопротивление омического контакта?
3. Расшифруйте обозначения X1-X2 на приведенном поперечном сечении структуры многоуровневой системы металлизации (см. рис.1)



Контрольные вопросы для проверки материала в количестве 20 вопросов

1. Обоснуйте, почему в нанотехнологии КМОП структур необходимо использование в качестве затворов двух типов поликремния (p⁺- и p⁺- типа).
2. Что такое удельное переходное сопротивление омического контакта?
3. Каково оптимальное соотношение между длиной канала nano- МОП транзистора и толщиной его подзатворного диэлектрика (на основе эмпирических данных)?
4. Какие проблемы решает введение ретроградного распределения примеси в области канала nano- МОП транзистора?
5. Подложки с какой ориентацией используют в МОП схемах, в связи с чем?
6. Какие характеристики материала являются основными при выборе альтернативных диэлектриков для их использования в качестве подзатворного диэлектрика nano-МОП-транзистора?
7. Какие функции выполняют скрытые слои p⁺ и p⁺ - типа в КМОП транзисторных структурах?
8. В чем суть метода Шеннона при создании контактов к кремнию. Какие ограничения должны соблюдаться в конструкции таких контактов.
9. Чем предпочтительнее использование p- кармана в nano- КМОП транзисторной структуре?

10. В чем заключаются основные достоинства поликремния в качестве материала затвора МОП транзистора?
11. Обозначьте фундаментальные ограничения при миниатюризации КМОП ИС. Чем они вызваны?
12. Что необходимо предпринять для уменьшения значения переходного сопротивления омического контакта металла к кремнию.
13. Что представляет собой технология "SIMOX".
14. В чем заключаются основные преимущества диода на основе выпрямляющего контакта металл-кремний перед диодом на основе р-п перехода.
15. Что обеспечивает в МОП транзисторе уменьшение толщины подзатворного диэлектрика (а- для случая длинноканального транзистора; б- для случая короткоканального транзистора)?
16. Напишите соотношение между поверхностным, выражаемым в $[Ом/□]$, и удельным, выражаемым в $[Ом*см]$, сопротивлением полупроводникового материала.
17. Какие виды омических контактов встречаются в конструкции БИС.
18. Какой тип изоляции в нано-КМОП ИС является наиболее перспективным?
19. Что необходимо предпринять, чтобы повысить пробивное напряжение в планарных структурах выпрямляющих диодов на основе контакта металл-полупроводник?
20. Почему в МОП структурах алюминиевый контакт к поликремниевому затвору формируют не над областью канала.

Учебно-тематический план

№	Название учебного курса и лекций	Всего, час.	в том числе (указать часы)			Форма контроля
			Дистанционные лекции (самостоятельное изучение, дистанционное общение с преподавателем, вопросы-ответы через email, форум, чат и др.)	Самостоятельная работа. Подготовка ответов на контрольные вопросы	Очный практикум или другое практическое задание	
	«Современные проблемы технологии нанoeлектроники»	16 ч.	8 ч.	4 ч.	4 ч.	Контрольные вопросы (электронная зачётка)
1.	Лекция 1: Методы улучшения характеристик МОП-транзисторов.		2 ч.	1 ч.		Отчет по лабораторной работе
2.	Лекция 2: Формирование подзатворных диэлектриков в технологии нано- КМОП интегральных микросхем.		2 ч.	1 ч.		
3.	Лекция 3: Формирование поликремниевых затворов для нано- МОП-транзисторов		2 ч.	1 ч.		
4.	Лекция 4: Особенности формирования металлизированной разводки в нано- КМОП интегральных схемах.		2 ч.	1 ч.		

Итоговый контроль			Контрольные вопросы (электронная зачётка)	Отчет по лабораторной работе	
-------------------	--	--	---	------------------------------	--

Список литературы (основной и дополнительной), а также других видов учебно-методологических материалов и пособий, необходимых для изучения (конспектов лекций, видеолекций, лазерных дисков и др.).

Список литературы и др. дополнительных источников информации в кол-ве – 4.

1. Королев М.А., Крупкина Т.Ю., Ревелева М.А. Технология, конструкции и методы моделирования кремниевых интегральных микросхем. Под общ. ред. Чаплыгина Ю.А. Ч.1 Технологические процессы изготовления интегральных схем и их моделирование // М., БИНОМ. Лаборатория знаний. - 2007. - 397 с.
2. Королев М.А., Крупкина Т.Ю., Путря М.Г., Шевяков В.И. Технология, конструкции и методы моделирования кремниевых интегральных микросхем. Под общ. ред. Чаплыгина Ю.А. Ч.2 Элементы и маршруты изготовления кремниевых ИС и методы их математического моделирования // М., БИНОМ. Лаборатория знаний. - 2009. - 422 с.
3. Д.Г. Громов, А.И. Мочалов, А.Д. Сулимин, В.И. Шевяков. Металлизация ультрабольших интегральных схем, М.: Изд «БИНОМ. Лаборатория знаний». 2009. 277с.
4. Старосельский В.И. под. ред. Парменова Ю.А. Физика полупроводниковых приборов микроэлектроники. – М.: Высшее образование; Юрайт-Издат, 2009. – 463 с.

www.nanoobr.ru

Курс разработан: проф. Королев М.А., проф. Шевяков В.И., каф. ИЭМС, МИЭТ