

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования**  
**«ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ**  
**УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ»**  
**(ТУСУР)**



УТВЕРЖДАЮ  
 Директор департамента образования

Документ подписан электронной подписью  
 Сертификат: 1с6сfa0a-52a6-4f49-aef0-5584d3fd4820  
 Владелец: Троян Павел Ефимович  
 Действителен: с 19.01.2016 по 16.09.2019

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**Технология кремниевой наноэлектроники**

Уровень образования: **высшее образование - магистратура**  
 Направление подготовки / специальность: **11.04.04 Электроника и наноэлектроника**  
 Направленность (профиль) / специализация: **Твердотельная электроника**  
 Форма обучения: **очная**  
 Факультет: **ФЭТ, Факультет электронной техники**  
 Кафедра: **ФЭ, Кафедра физической электроники**  
 Курс: **1**  
 Семестр: **1, 2**  
 Учебный план набора 2017 года

Распределение рабочего времени

№	Виды учебной деятельности	1 семестр	2 семестр	Всего	Единицы
1	Лекции	26		26	часов
2	Практические занятия	18		18	часов
3	Курсовая работа (проект)		16	16	часов
4	Всего аудиторных занятий	44	16	60	часов
5	Из них в интерактивной форме	14		14	часов
6	Самостоятельная работа	64	92	156	часов
7	Всего (без экзамена)	108	108	216	часов
8	Подготовка и сдача экзамена	36		36	часов
9	Общая трудоемкость	144	108	252	часов
		4.0	3.0	7.0	З.Е.

Экзамен: 1 семестр

Курсовая работа (проект): 2 семестр

Томск 2018

## ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

Рабочая программа дисциплины составлена с учетом требований федерального государственного образовательного стандарта высшего образования (ФГОС ВО) по направлению подготовки (специальности) 11.04.04 Электроника и наноэлектроника, утвержденного 30.10.2014 года, рассмотрена и одобрена на заседании кафедры ФЭ «\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ года, протокол № \_\_\_\_\_.

Разработчик:

профессор кафедра ФЭ \_\_\_\_\_ Т. И. Данилина

Заведующий обеспечивающей каф.  
ФЭ

\_\_\_\_\_ П. Е. Троян

Рабочая программа дисциплины согласована с факультетом и выпускающей кафедрой:

Декан ФЭТ \_\_\_\_\_ А. И. Воронин

Заведующий выпускающей каф.  
ФЭ

\_\_\_\_\_ П. Е. Троян

Эксперты:

Доцент кафедры физической электроники (ФЭ)

\_\_\_\_\_ И. А. Чистоедова

Профессор кафедры физической электроники (ФЭ)

\_\_\_\_\_ С. В. Смирнов

## 1. Цели и задачи дисциплины

### 1.1. Цели дисциплины

сформировать представление о явлениях и процессах, на которых основаны технологии микро и нанoeлектроники.

### 1.2. Задачи дисциплины

- Изучение технологии создания структур кремниевой нанoeлектроники с учетом технологичности и экономической эффективности технологических процессов;
- Формирование способности к организации и проведению экспериментальных исследований изделий кремниевой нанoeлектроники с применением современных средств и методов.

## 2. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина «Технология кремниевой нанoeлектроники» (Б1.В.ОД.1) относится к блоку 1 (вариативная часть).

Предшествующими дисциплинами, формирующими начальные знания, являются: Технология кремниевой нанoeлектроники, Актуальные проблемы современной электроники и нанoeлектроники, Гетероструктурные полупроводниковые приборы, Методы математического моделирования, Технология арсенид-галлиевой гетероструктурной электроники.

Последующими дисциплинами являются: Технология кремниевой нанoeлектроники, Интегральные схемы СВЧ-диапазона, Испытание и контроль изделий электронной техники, Научно-исследовательская работа (рассред.), Проектирование и технология электронной компонентной базы, Физические основы надежности изделий твердотельной электроники.

## 3. Требования к результатам освоения дисциплины

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

- ПК-4 способностью к организации и проведению экспериментальных исследований с применением современных средств и методов;
  - ПК-13 готовностью обеспечивать технологичность изделий электронной техники и процессов их изготовления, оценивать экономическую эффективность технологических процессов;
- В результате изучения дисциплины обучающийся должен:
- **знать** - физические и химические принципы, лежащие в основе технических процессов кремниевой нанoeлектроники; - базовые маршруты создания приборов кремниевой нанoeлектроники; - принципы разработки технологических маршрутов наноразмерных интегральных схем;
  - **уметь** разрабатывать наноразмерные кремниевые интегральные схемы и технологические маршруты их изготовления
  - **владеть** - навыками разработки базовых технологических процессов; - умением разрабатывать технологическую документацию на процессы и маршруты

## 4. Объем дисциплины и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 7.0 зачетных единицы и представлена в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Трудоемкость дисциплины

Виды учебной деятельности	Всего часов	Семестры	
		1 семестр	2 семестр
Аудиторные занятия (всего)	60	44	16
Лекции	26	26	
Практические занятия	18	18	
Курсовая работа (проект)	16		16
Из них в интерактивной форме	14	14	
Самостоятельная работа (всего)	156	64	92
Подготовка к контрольным работам	26	26	

Выполнение курсового проекта (работы)	92		92
Проработка лекционного материала	6	6	
Подготовка к практическим занятиям, семинарам	32	32	
Всего (без экзамена)	216	108	108
Подготовка и сдача экзамена	36	36	
Общая трудоемкость, ч	252	144	108
Зачетные Единицы	7.0	4.0	3.0

## 5. Содержание дисциплины

### 5.1. Разделы дисциплины и виды занятий

Разделы дисциплины и виды занятий приведены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Разделы дисциплины и виды занятий

Названия разделов дисциплины	Лек., ч	Прак. зан., ч	Сам. раб., ч	Курс. раб., ч	Всего часов (без экзамена)	Формируемые компетенции
1 семестр						
1 Особенности масштабирования МОП-транзисторов	2	0	8	0	10	ПК-13, ПК-4
2 Методы улучшения характеристик МОП- транзисторов	4	6	8	0	18	ПК-13, ПК-4
3 Субмикронная литография	4	4	8	0	16	ПК-13, ПК-4
4 Методы травления и осаждения в технологии кремниевой наноэлектроники	4	0	8	0	12	ПК-13, ПК-4
5 Формирование подзатворных диэлектриков в технологии наноразмерных КМОП интегральных микросхем	2	2	8	0	12	ПК-13, ПК-4
6 Формирование затворов для наноразмерных МОП-транзисторов	2	2	8	0	12	ПК-13, ПК-4
7 Особенности формирования наноразмерных КМОП интегральных схем	4	4	16	0	24	ПК-13, ПК-4
8 Технологические маршруты изготовления СБИС	4	0	0	0	4	ПК-13, ПК-4
Итого за семестр	26	18	64	0	108	
2 семестр						
9 Получение заданий на курсовой проект	0	0	4	16	4	ПК-13, ПК-4
10 Анализ литературы по теме курсового проекта	0	0	16		16	ПК-13, ПК-4
11 Анализ актуальности, научной и практической значимости	0	0	10		10	ПК-13, ПК-4
12 Выполнение необходимых расчетов	0	0	20		20	ПК-13, ПК-4

по проекту						
13 Анализ полученных результатов	0	0	15		15	ПК-13, ПК-4
14 Выполнение графических материалов	0	0	12		12	ПК-13, ПК-4
15 Оформление курсового проекта	0	0	15		15	ПК-13, ПК-4
Итого за семестр	0	0	92	16	108	
Итого	26	18	156	16	216	

### 5.2. Содержание разделов дисциплины (по лекциям)

Содержание разделов дисциплин (по лекциям) приведено в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Содержание разделов дисциплин (по лекциям)

Названия разделов	Содержание разделов дисциплины по лекциям	Трудоемкость, ч	Формируемые компетенции
1 семестр			
1 Особенности масштабирования МОП-транзисторов	Особенности масштабирования МОП-транзисторов. Физические ограничения микроминиатюризации	2	ПК-13, ПК-4
	Итого	2	
2 Методы улучшения характеристик МОП-транзисторов	Методы улучшения характеристик МОП-транзисторов. Перспективные структуры для дальнейшего повышения быстродействия МОП-транзисторов. КНИ-структуры. SIMOX, Smart Cut технологии. Основные проблемы при разработке наноразмерных МОП-транзисторов. Формирование супермелкозалегающих p-n-переходов	4	ПК-13, ПК-4
	Итого	4	
3 Субмикронная литография	Проекционная литография, электронно-лучевая и ионная литография	4	ПК-13, ПК-4
	Итого	4	
4 Методы травления и осаждения в технологии кремниевой наноэлектроники	Вакуумно-плазменные методы травления и осаждения	4	ПК-13, ПК-4
	Итого	4	
5 Формирование подзатворных диэлектриков в технологии наноразмерных КМОП интегральных микросхем	Формирование подзатворных диэлектриков в технологии наноразмерных КМОП интегральных микросхем. Анализ процесса подзатворного окисления и свойств оксида кремния. Улучшение характеристик подзатворных окислов методом нитрирования. High-k диэлектрики	2	ПК-13, ПК-4
	Итого	2	
6 Формирование затворов для наноразмерных МОП-транзисторов	Формирование поликремниевых затворов для наноразмерных МОП-транзисторов. Легирование поликремния. Формирование затворов p+- и r+-типов осаждением легированных слоев поликрем-	2	ПК-13, ПК-4

	ния. Силицидная технология формирования затворов наноразмерных МОП- транзисторов. Формирование затворов по самосовмещенной технологии		
	Итого	2	
7 Особенности формирования наноразмерных КМОП интегральных схем	Особенности формирования наноразмерных КМОП интегральных схем. Особенности медной разводки. Двойной дамасский процесс. Технологический маршрут. Электрохимическое осаждение меди	4	ПК-13, ПК-4
	Итого	4	
8 Технологические маршруты изготовления СБИС	FEOL-процессы. BEOL-процессы. Планаризация микрорельефа. Внутриуровневая и межуровневая разводка	4	ПК-13, ПК-4
	Итого	4	
Итого за семестр		26	
Итого		26	

### 5.3. Разделы дисциплины и междисциплинарные связи с обеспечивающими (предыдущими) и обеспечиваемыми (последующими) дисциплинами

Разделы дисциплины и междисциплинарные связи с обеспечивающими (предыдущими) и обеспечиваемыми (последующими) дисциплинами представлены в таблице 5.3.

Таблица 5.3 – Разделы дисциплины и междисциплинарные связи

Наименование дисциплин	№ разделов данной дисциплины, для которых необходимо изучение обеспечивающих и обеспечиваемых дисциплин														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
<b>Предшествующие дисциплины</b>															
1 Технология кремниевой наноэлектроники	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
2 Актуальные проблемы современной электроники и наноэлектроники	+	+	+							+	+	+			
3 Гетероструктурные полупроводниковые приборы		+		+	+	+	+	+	+	+	+		+		
4 Методы математического моделирования		+	+	+		+	+	+				+	+		
5 Технология арсенид-галлиевой гетероструктурной электроники			+	+				+							
<b>Последующие дисциплины</b>															
1 Технология кремниевой наноэлектроники										+	+	+	+	+	+

электроники															
2 Интегральные схемы СВЧ-диапазона	+	+	+	+		+	+	+		+	+	+	+		
3 Испытание и контроль изделий электронной техники			+	+	+			+	+						
4 Научно-исследовательская работа (рассред.)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
5 Проектирование и технология электронной компонентной базы	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
6 Физические основы надежности изделий твердотельной электроники			+	+	+	+		+							

#### 5.4. Соответствие компетенций, формируемых при изучении дисциплины, и видов занятий

Соответствие компетенций, формируемых при изучении дисциплины, и видов занятий представлено в таблице 5.4.

Таблица 5.4 – Соответствие компетенций, формируемых при изучении дисциплины, и видов занятий

Компетенции	Виды занятий				Формы контроля
	Лек.	Прак. зан.	Курс. раб. (пр.)	Сам. раб.	
ПК-4	+	+	+	+	Контрольная работа, Экзамен, Защита отчета, Собеседование, Защита курсовых проектов (работ), Тест, Отчет по курсовой работе, Отчет по практическому занятию
ПК-13	+	+	+	+	Контрольная работа, Экзамен, Защита отчета, Собеседование, Защита курсовых проектов (работ), Тест, Отчет по курсовой работе, Отчет по практическому занятию

#### 6. Интерактивные методы и формы организации обучения

Технологии интерактивного обучения при разных формах занятий приведены в таблице 6.1.

Таблица 6.1 – Технологии интерактивного обучения при разных формах занятий

Методы	Интерактивные практические занятия, ч	Интерактивные лекции, ч	Всего, ч
1 семестр			
Презентации с использованием видеофильмов с обсуждением		1	1
Мозговой штурм	2	2	4
Исследовательский метод	4		4
Презентации с использованием слайдов с обсуждением		5	5
Итого за семестр:	6	8	14
2 семестр			
Итого за семестр:	0	0	0
Итого	6	8	14

### 7. Лабораторные работы

Не предусмотрено РУП.

### 8. Практические занятия (семинары)

Наименование практических занятий (семинаров) приведено в таблице 8.1.

Таблица 8.1 – Наименование практических занятий (семинаров)

Названия разделов	Наименование практических занятий (семинаров)	Трудоемкость, ч	Формируемые компетенции
1 семестр			
2 Методы улучшения характеристик МОП-транзисторов	Методы улучшения характеристик МОП-транзисторов. КНИ - структуры. SIMAX технологии. Получение супермелкозалагающих p-n-переходов.	6	ПК-13, ПК-4
	Итого	6	
3 Субмикронная литография	Разрешающая способность проекционной, электронно-лучевой и ионной литографии	4	ПК-13, ПК-4
	Итого	4	
5 Формирование подзатворных диэлектриков в технологии наноразмерных КМОП интегральных микросхем	Атомно-слоевое осаждение high-k диэлектриков	2	ПК-13, ПК-4
	Итого	2	
6 Формирование затворов для наноразмерных МОП-транзисторов	Силицидная технология формирования затворов наноразмерных МОП-транзисторов	2	ПК-13, ПК-4
	Итого	2	
7 Особенности формирования	Разработка технологических маршрутов наноразмерных КМОП ИС	4	ПК-13, ПК-4

наноразмерных КМОП интегральных схем	Итого	4	
Итого за семестр		18	
Итого		18	

### 9. Самостоятельная работа

Виды самостоятельной работы, трудоемкость и формируемые компетенции представлены в таблице 9.1.

Таблица 9.1 – Виды самостоятельной работы, трудоемкость и формируемые компетенции

Названия разделов	Виды самостоятельной работы	Трудоемкость, ч	Формируемые компетенции	Формы контроля
1 семестр				
1 Особенности масштабирования МОП-транзисторов	Подготовка к практическим занятиям, семинарам	2	ПК-13, ПК-4	Контрольная работа, Отчет по практическому занятию, Тест, Экзамен
	Подготовка к контрольным работам	6		
	Итого	8		
2 Методы улучшения характеристик МОП-транзисторов	Подготовка к практическим занятиям, семинарам	4	ПК-13, ПК-4	Контрольная работа, Отчет по практическому занятию, Тест, Экзамен
	Подготовка к контрольным работам	4		
	Итого	8		
3 Субмикронная литография	Подготовка к практическим занятиям, семинарам	4	ПК-13, ПК-4	Контрольная работа, Отчет по практическому занятию, Тест, Экзамен
	Подготовка к контрольным работам	4		
	Итого	8		
4 Методы травления и осаждения в технологии кремниевой наноэлектроники	Подготовка к практическим занятиям, семинарам	2	ПК-13, ПК-4	Контрольная работа, Отчет по практическому занятию, Тест, Экзамен
	Подготовка к контрольным работам	6		
	Итого	8		
5 Формирование подзатворных диэлектриков в технологии наноразмерных КМОП интегральных микросхем	Подготовка к практическим занятиям, семинарам	6	ПК-13, ПК-4	Контрольная работа, Отчет по практическому занятию, Тест, Экзамен
	Подготовка к контрольным работам	2		
	Итого	8		
6 Формирование	Подготовка к практическим занятиям, семинарам	4	ПК-13,	Контрольная работа, От-

затворов для наноразмерных МОП-транзисторов	ским занятиям, семинарам		ПК-4	чет по практическому занятию, Тест, Экзамен
	Подготовка к контрольным работам	4		
	Итого	8		
7 Особенности формирования наноразмерных КМОП интегральных схем	Подготовка к практическим занятиям, семинарам	10	ПК-13, ПК-4	Отчет по практическому занятию, Тест, Экзамен
	Проработка лекционного материала	6		
	Итого	16		
Итого за семестр		64		
	Подготовка и сдача экзамена	36		Экзамен
<b>2 семестр</b>				
9 Получение заданий на курсовой проект	Выполнение курсового проекта (работы)	4	ПК-13, ПК-4	Отчет по курсовой работе, Тест
	Итого	4		
10 Анализ литературы по теме курсового проекта	Выполнение курсового проекта (работы)	16	ПК-13, ПК-4	Отчет по курсовой работе, Тест
	Итого	16		
11 Анализ актуальности, научной и практической значимости	Выполнение курсового проекта (работы)	10	ПК-13, ПК-4	Отчет по курсовой работе, Тест
	Итого	10		
12 Выполнение необходимых расчетов по проекту	Выполнение курсового проекта (работы)	20	ПК-13, ПК-4	Отчет по курсовой работе, Тест
	Итого	20		
13 Анализ полученных результатов	Выполнение курсового проекта (работы)	15	ПК-13, ПК-4	Отчет по курсовой работе, Тест
	Итого	15		
14 Выполнение графических материалов	Выполнение курсового проекта (работы)	12	ПК-13, ПК-4	Отчет по курсовой работе, Тест
	Итого	12		
15 Оформление курсового проекта	Выполнение курсового проекта (работы)	15	ПК-13, ПК-4	Защита курсовых проектов (работ), Тест
	Итого	15		
Итого за семестр		92		
Итого		192		

### **10. Курсовая работа (проект)**

Трудоемкость аудиторных занятий и формируемые компетенции в рамках выполнения курсовой работы (проекта) представлены таблице 10.1.

Таблица 10.1 – Трудоемкость аудиторных занятий и формируемые компетенции в рамках выполнения курсовой работы (проекта)

Наименование аудиторных занятий	Трудоемкость, ч	Формируемые компетенции
2 семестр		
Методы улучшения характеристик МОП- транзисторов;	4	ПК-13, ПК-4
Субмикронная литография	2	
Формирование подзатворных диэлектриков в технологии наноразмерных КМОП интегральных микросхем	4	
Формирование затворов для наноразмерных МОП-транзисторов	2	
Особенности формирования наноразмерных КМОП интегральных схем	4	
Итого за семестр	16	

### 10.1. Темы курсовых работ (проектов)

Примерная тематика курсовых работ (проектов):

- 1. Ионное легирование стенок и дна тренчей для создания конденсаторов в ИС
- 2. Получение мелкозалегающих p-n переходов с помощью ионов бора различных масс
- 3. Синтез структур кремний на изоляторе: SIMOX
- 4. Технология КМОП-схемы с легированными областями
- 5. Синтез структур кремний на изоляторе: Smart Cut
- 6. Сканирующая ионная литография
- 7. Анизотропное глубокое травление кремния с большим аспектным числом
- 8. Формирование силицидных пленок путем ионной имплантации
- 9. Инженерия затворов в технологии МОП-СБИС с субмикронными размерами
- 10. Разработка технологии изготовления КМОП-СБИС с ретроградным распределением примеси в канале
- 11. Формирование СБИС на основе гетероструктур SiGe с помощью ионной имплантации
- 12. Формирование супермелкозалегающих p-n переходов с помощью наклонной ионной имплантации в технологии МОП-СБИС
- 13. Применение ионной имплантации в технологии МОП-СБИС для управления пороговым напряжением
- 14. Проблемы металлизации в технологии СБИС
- 15. Инженерия затвора в технологии МОП-СБИС с субмикронными размерами
- 16. Разработка технологии МОП-СБИС с LDD областями и самосовмещением
- 17. Формирование гетеробиполярного транзистора с базой p-SiGe с помощью ионной имплантации
- 18. Формирование элементов наноэлектроники с субмикронными размерами с помощью пучковых технологий

### 11. Рейтинговая система для оценки успеваемости обучающихся

#### 11.1. Балльные оценки для элементов контроля

Таблица 11.1 – Балльные оценки для элементов контроля

Элементы учебной	Максимальный	Максимальный	Максимальный	Всего за
------------------	--------------	--------------	--------------	----------

деятельности	балл на 1-ую КТ с начала семестра	балл за период между 1КТ и 2КТ	балл за период между 2КТ и на конец семестра	семестр
<b>1 семестр</b>				
Контрольная работа	6	6		12
Отчет по практическому занятию	20	10	10	40
Тест	6	6	6	18
Итого максимум за период	32	22	16	70
Экзамен				30
Нарастающим итогом	32	54	70	100
<b>2 семестр</b>				
Защита курсовых проектов (работ)			40	40
Отчет по курсовой работе	20	20	20	60
Итого максимум за период	20	20	60	100
Нарастающим итогом	20	40	100	100

### 11.2. Пересчет баллов в оценки за контрольные точки

Пересчет баллов в оценки за контрольные точки представлен в таблице 11.2.

Таблица 11.2 – 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

### 11.3. Пересчет суммы баллов в традиционную и международную оценку

Пересчет суммы баллов в традиционную и международную оценку представлен в таблице 11.3.

Таблица 11.3 – Пересчет суммы баллов в традиционную и международную оценку

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

## **12. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

### **12.1. Основная литература**

1. Технология кремниевой наноэлектроники: Учебное пособие / Анищенко Е. В., Данилина Т. И., Кагадей В. А. - 2011. 263 с. [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://edu.tusur.ru/publications/552>, дата обращения: 09.06.2018.

### **12.2. Дополнительная литература**

1. Процессы микро- и нанотехнологии : учебное пособие для вузов / Т. И. Данилина [и др.]; Федеральное агентство по образованию, Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники. - Томск: ТУСУР, 2005. - 316 с. (103.) (наличие в библиотеке ТУСУР - 103 экз.)

2. Курносоев А.И., Юдин В.В. Технология производства полупроводниковых приборов и интегральных микросхем. - М.: Высшая школа, 1986. - 367 с. (20) (наличие в библиотеке ТУСУР - 20 экз.)

3. Данилина Т.И., Смирнов С.В. Ионно-плазменные технологии в производстве СБИС. Учебное пособие. - Томск: ТУСУР, 2000. - 140 с. (52) (наличие в библиотеке ТУСУР - 52 экз.)

4. Технология кремниевой наноэлектроники : учеб. пособие / Т.И. Данилина, В.А. Кагадей, Е.В. Анищенко. - 2-е изд. - Томск : Томск. гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники, 2015. - 319 с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 37 экз.)

### **12.3. Учебно-методические пособия**

#### **12.3.1. Обязательные учебно-методические пособия**

1. Технология кремниевой наноэлектроники: Методические указания по выполнению курсового проекта / Данилина Т. И. - 2017. 45 с. [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://edu.tusur.ru/publications/6844>, дата обращения: 09.06.2018.

2. Технология кремниевой наноэлектроники: Практико-ориентированное учебно-методическое пособие по аудиторным практическим занятиям и самостоятельной работе / Данилина Т. И. - 2017. 61 с. [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://edu.tusur.ru/publications/6845>, дата обращения: 09.06.2018.

#### **12.3.2. Учебно-методические пособия для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов**

Учебно-методические материалы для самостоятельной и аудиторной работы обучающихся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов предоставляются в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации.

##### **Для лиц с нарушениями зрения:**

- в форме электронного документа;
- в печатной форме увеличенным шрифтом.

##### **Для лиц с нарушениями слуха:**

- в форме электронного документа;
- в печатной форме.

##### **Для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:**

- в форме электронного документа;
- в печатной форме.

### **12.4. Профессиональные базы данных и информационные справочные системы**

1. eLIBRARY.RU - [www.elibrary.ru](http://www.elibrary.ru)

## **13. Материально-техническое обеспечение дисциплины и требуемое программное обеспечение**

### **13.1. Общие требования к материально-техническому и программному обеспечению дисциплины**

#### **13.1.1. Материально-техническое и программное обеспечение для лекционных занятий**

Для проведения занятий лекционного типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации используется учебная аудитория с количеством по-

садочных мест не менее 22-24, оборудованная доской и стандартной учебной мебелью. Имеются демонстрационное оборудование и учебно-наглядные пособия, обеспечивающие тематические иллюстрации по лекционным разделам дисциплины.

### **13.1.2. Материально-техническое и программное обеспечение для практических занятий**

Учебная аудитория

учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа, учебная аудитория для проведения занятий практического типа, учебная аудитория для проведения занятий семинарского типа, помещение для проведения групповых и индивидуальных консультаций, помещение для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации

634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 74, 117 ауд.

Описание имеющегося оборудования:

- Установка совмещения и экспонирования ЩА-310;
- Установка для нанесения фоторезиста;
- Электронный микроскоп УЭМВ-100К;
- Дистиллятор воды;
- Лабораторное оборудование и приборы: микроскоп МБС-9, микроскоп стерео МС-1, микроинтерферометр МИИ-4, химическая посуда, реактивы;
- Учебная доска;
- Проектор;
- Ноутбук;
- Экран для проектора;
- Комплект специализированной учебной мебели;
- Рабочее место преподавателя.

Программное обеспечение:

- Windows XP

### **13.1.3. Материально-техническое и программное обеспечение для самостоятельной работы**

Для самостоятельной работы используются учебные аудитории (компьютерные классы), расположенные по адресам:

- 634050, Томская область, г. Томск, Ленина проспект, д. 40, 233 ауд.;
- 634045, Томская область, г. Томск, ул. Красноармейская, д. 146, 201 ауд.;
- 634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 47, 126 ауд.;
- 634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 74, 207 ауд.

Состав оборудования:

- учебная мебель;
- компьютеры класса не ниже ПЭВМ INTEL Celeron D336 2.8ГГц. - 5 шт.;
- компьютеры подключены к сети «Интернет» и обеспечивают доступ в электронную информационно-образовательную среду университета.

Перечень программного обеспечения:

- Microsoft Windows;
- OpenOffice;
- Kaspersky Endpoint Security 10 для Windows;
- 7-Zip;
- Google Chrome.

### **13.2. Материально-техническое обеспечение дисциплины для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов**

Освоение дисциплины лицами с ограниченными возможностями здоровья и инвалидами осуществляется с использованием средств обучения общего и специального назначения.

При занятиях с обучающимися с нарушениями слуха предусмотрено использование звуко-

усиливающей аппаратуры, мультимедийных средств и других технических средств приема/передачи учебной информации в доступных формах, мобильной системы преподавания для обучающихся с инвалидностью, портативной индукционной системы. Учебная аудитория, в которой занимаются обучающиеся с нарушением слуха, оборудована компьютерной техникой, аудиотехникой, видеотехникой, электронной доской, мультимедийной системой.

При занятиях с обучающимися с нарушениями зрения предусмотрено использование в лекционных и учебных аудиториях возможности просмотра удаленных объектов (например, текста на доске или слайда на экране) при помощи видеоувеличителей для комфортного просмотра.

При занятиях с обучающимися с нарушениями опорно-двигательного аппарата используются альтернативные устройства ввода информации и другие технические средства приема/передачи учебной информации в доступных формах, мобильной системы обучения для людей с инвалидностью.

#### **14. Оценочные материалы и методические рекомендации по организации изучения дисциплины**

##### **14.1. Содержание оценочных материалов и методические рекомендации**

Для оценки степени сформированности и уровня освоения закрепленных за дисциплиной компетенций используются оценочные материалы в составе:

###### **14.1.1. Тестовые задания**

1. Почему разрешающая способность электронно-лучевой литографии выше, чем оптической фотолитографии?

- а) энергия электронов меньше, чем энергия фотонов;
- б) длина волны излучения для ускоренных электронов меньше, чем длина волны УФ-излучения;
- в) длина волны для ускоренных электронов больше, чем длина волны УФ-излучения.
- г) энергия электронов больше, чем энергия фотонов.

2. Чем обусловлен размерный эффект близости в ЭЛЛ?

- а) уширением электронного пучка за счет рассеяния электронов;
- б) уменьшением диаметра электронного луча;
- в) увеличением расстояния между линиями.
- г) увеличением диаметра электронного пучка

3. Выбрать расстояние между линиями шириной  $b_{\min}$  при экспонировании резиста электронным лучом диаметром  $d_{\min}$ : а – расстояние между линиями.

- а)  $a = (b_{\min} - d_{\min})$ ;
- б)  $a > (b_{\min} - d_{\min})$ ;
- в)  $a = 1/2 (b_{\min} - d_{\min})$ .
- г)  $a = 2 (b_{\min} - d_{\min})$

4. Выбрать рекомендуемый диапазон толщины резиста в ЭЛЛ, исходя из технико-экономических соображений...

- а) (5 – 20) нм;
- б) (50 – 100) нм;
- в) более 100 нм.
- г) менее 5 нм.

5. Указать причину, по которой для ионной имплантации бора используют тяжелые молекулы, содержащие бор...

- а) увеличение энергии ионов бора;
- б) увеличение  $x_{p-n}$ ;
- в) уменьшение  $x_{p-n}$ .
- г) уменьшение энергии ионов бора.

6. Как надо изменить параметры ионной имплантации при получении заданного  $x_{p-n}$ , если заменить моноион бора на кластерный ион, состоящий из 50 атомов бора?

- а) дозу уменьшить в 50 раз, а энергию кластера увеличить в 50 раз;
- б) дозу увеличить в 50 раз, а энергию кластера уменьшить в 50 раз;
- в) энергию и дозу уменьшить в 50 раз.

г) энергию и дозу увеличить в 50 раз.

7. Определить дозу ионов кислорода при формировании захороненного слоя SiO<sub>2</sub> по SIMOX-технологии при атомной плотности кремния N<sub>0</sub> и при проецированном пробеге ионов кислорода R<sub>p</sub>.

а)  $Q=2 \cdot N_0 \cdot R_p$ ;

б)  $Q=N_0 \cdot R_p$ ;

в)  $Q=1/2 \cdot N_0 \cdot R_p$ .

г)  $Q=4 \cdot N_0 R_p$

8. Толщина отсеченного слоя кремния в КНИ структурах, сформированных по SIMOX-технологии, определяется концентрацией кислорода в Si, которая должна быть...

а) равна или больше N<sub>0</sub>;

б) равна или меньше N<sub>0</sub>;

в) равна N<sub>0</sub>.

г) равна 2N<sub>0</sub>

9. Какую концентрацию германия надо обеспечить при формировании слоя Si<sub>0,7</sub>Ge<sub>0,3</sub> в МОП-транзисторах с целью создания напряженного кремния для канала? Подложка – кремний с атомной плотностью N<sub>0</sub>.

а) равную  $0,7 \cdot N_0$ ;

б) равную  $0,3 \cdot N_0$ ;

в) равную  $0,3/0,7 \cdot N_0$ .

г) равную  $0,7/0,3$

10. Время экспонирования одного элемента разложения в ЭЛЛ будет меньше, если...

а) выбрать резист с более высокой чувствительностью S<sub>0</sub>;

б) сфокусировать луч до меньшего размера d<sub>min</sub>;

в) уменьшить яркость источника электронов В.

г) выбрать резист с более низкой чувствительностью

11. Как связана минимальная ширина экспонируемой линии b<sub>min</sub> с диаметром сфокусированного электронного луча d<sub>min</sub> с учетом бокового рассеяния электронов Δy?

а)  $b_{min}=d_{min}+\Delta y$ ;

б)  $b_{min}=d_{min}+2\Delta y$ ;

в)  $b_{min}=d_{min}+1/2 \Delta y$ .

г)  $b_{min}=d_{min}+4\Delta y$ .

12. Как следует выбирать параметры для установки ЭЛЛ I<sub>0</sub>, U<sub>0</sub>, если требуется обеспечить высокую разрешающую способность?

а) уменьшать I<sub>0</sub>, увеличивать U<sub>0</sub>.

б) увеличивать I<sub>0</sub>, уменьшать U<sub>0</sub>.

в) увеличивать I<sub>0</sub>, увеличивать U<sub>0</sub>.

г) увеличить I<sub>0</sub>, не меняя U<sub>0</sub>.

13. Чему будет равна глубина x<sub>p-n</sub> для перехода база-коллектор, если база сформирована ионной имплантацией бора с проецированным пробегом 37,5 нм и максимальной концентрацией в базе  $3 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$ ? Коллектор сформирован эпитаксией с концентрацией  $N_k=2 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$

а) 35 нм;

б) 50 нм;

в) 95 нм.

г) 115 нм.

14. Ионно-лучевое травление является результатом...

а) физического распыления ионами инертных газов в высоком вакууме;

б) физического распыления и химической реакции;

в) травлением за счет радикалов.

г) физического распыления ионами инертных газов в плазме.

15. ПХТ является результатом...

а) физического распыления в условиях газового разряда ионами инертных газов;

б) травления ХАЧ в условиях воздействия плазмы;

в) физического распыления ионами инертных газов в условиях высокого вакуума.

г) физического распыления ионами инертного газа в плазме.

16. Степень анизотропии травления рабочего слоя определяется следующим образом...

а)  $V_B/V_\Gamma$  ;

б)  $V_\Gamma/V_B$  ;

в)  $V_{пл}/V_{подл}$  .

где  $V_B$ ,  $V_\Gamma$  – соответственно скорости травления рабочего слоя в вертикальном и горизонтальном направлениях;  $V_{пл}$ ,  $V_{подл}$  – соответственно скорости травления пленки и подложки.

г)  $V_{подл}/V_{пл}$ .

17. Чему равна селективность травления, если скорость травления маски в два раза больше скорости травления подложки?

а) 0,5;

б) 1;

в) 1,5.

г) 2

18. Какой получится размер линии в пленке толщиной 0,5 мкм в результате анизотропного травления с  $A=10$ , если размер маски 0,5 мкм?

а) 0,5;

б) 0,4;

в) 0,6.

г) 0,7

19. Для обеспечения высокой разрешающей способности ионно-лучевого травления необходима маска:

а) с высоким коэффициентом распыления материала маски;

б) с низким коэффициентом распыления материала маски;

в) коэффициент распыления не влияет

г) с переменным коэффициентом распыления

20. Для обеспечения высокой разрешающей способности боковые стенки маски должны быть ...

а) вертикальными;

б) горизонтальными;

в) под углом  $45^\circ$ .

г) под углом 60 градусов.

#### 14.1.2. Экзаменационные вопросы

Вариант 1

1. Рассмотреть возможность уменьшения глубины залегания p-n перехода за счет аморфизации приповерхностных слоев кремния.

2. Сравнение электронной и ионной литографии.

Вариант 2

1. Объяснить появление эффекта близости. Исследовать влияние толщины резиста на получение малых экспонируемых областей при их близком взаимном расположении.

2. Оценить глубину залегания p-n перехода при легировании моноионами бора и кластерными ионами

Вариант 3

1. Применение ионного легирования для самосовмещения затвора с областями стока-истока в МДП-транзисторах.

2. Формирование подзатворных диэлектриков в технологии наноразмерных КМОП-интегральных схем.

Вариант 4

1. Субмикронная фотолитография.

2. Формирование силицидных пленок с помощью ионной имплантации.

Вариант 5

1. Технология электронно-лучевой литографии. Время экспонирования.

2. Транзисторы с каналом на основе напряженного кремния и SiGe

#### Вариант 6

1. Рассмотреть возможность управления профилем распределения примеси и глубиной залегания хр-п при ионном легировании.
2. Технология анизотропного травления для формирования «тренчей».

#### Вариант 7

1. Рассмотреть боковое рассеяние ионов и его влияние на распределение примеси при ионной имплантации через окно заданного размера. Сформулировать условие, когда боковое рассеяние следует учитывать.
2. Оценить требуемую анизотропию травления пленки для реактивного ионно-лучевого травления с точностью 20 % при  $vm=1$  мкм.

#### Вариант 8

1. Рассмотреть возможность формирования структуры с однородным распределением примеси для элементов памяти на основе аморфного кремния.
2. Анизотропия и селективность травления при ионно-лучевом травлении глубоких профилей.

#### Вариант 9

1. Атомно-слоевое осаждение пленок.
2. Проблемы межуровневой изоляции в технологии СБИС.

#### Вариант 10

1. Рассмотреть формирование LDD областей в технологии МОП СБИС и предусмотреть одновременное самосовмещение областей истока - стока с затвором.
2. Объяснить влияние энергии электронов на разрешающую способность ЭЛЛ.

#### Вариант 11

1. Объяснить влияние толщины резиста на разрешающую способность ЭЛЛ и ионно-лучевой литографии.
2. Плазмохимическое травление (ПХТ). Достоинства и недостатки по сравнению с ионно-лучевым травлением.

#### Вариант 12

1. Как следует выбирать параметры установки ЭЛЛ ( $I_0$ ,  $U_0$ ) для обеспечения высокой разрешающей способности.
2. Рассмотреть возможность применения ионной имплантации для формирования каналов МОП-транзисторов с ретроградным распределением примеси

#### Вариант 13

1. Обосновать выбор параметров ионной имплантации для формирования областей истока-стока с концентрацией более  $10^{20}$  см<sup>-3</sup> и глубиной хр-п менее 10 нм.
2. Как следует выбирать ток пучка электронов  $I_0$  при ЭЛЛ?

#### Вариант 14

1. Сравнить методы экспонирования резиста (проекционная ФЛ и электронно-лучевая литография) и рекомендовать наиболее подходящий метод для получения размеров менее 65 нм с учетом технико-экономических соображений.
2. Обосновать выбор параметров ионной имплантации в SIMOX-технологии для получения заданной толщины отсеченного слоя Si и SiO<sub>2</sub>.

#### Вариант 15

1. Представить технологию изготовления биполярного транзистора с помощью ионной имплантации для формирования базы и эмиттера. Коллектор - эпитаксиальный слой. Представить распределение примеси для n-p-n транзистора.
2. На какую глубину dП можно протравить подложку через маску толщиной dМ при ионном травлении.

### 14.1.3. Темы контрольных работ

#### Вариант 1

1. Почему разрешающая способность электронной литографии выше, чем оптической?
2. Объяснить, зачем при ионной имплантации ионов бора используют тяжелые молекулы, содержащие бор.

#### Вариант 2

1. Как получается рисунок при последовательной ЭЛЛ?

2. Представить распределение бора по глубине при ионной имплантации моноионов бора и кластерных ионов при одинаковом ускоряющем напряжении и дозе облучения на установке. Кластер состоит из 50 атомов.

Вариант 3

1. Рассмотреть взаимосвязь между минимальной шириной экспонируемой линии и диаметром сфокусированного луча.

2. Рассчитать параметры ионной имплантации для молекулы  $B_{10}H_{14}$ , если энергия моноионов бора составляет 0,1 кэВ, а доза облучения –  $5 \cdot 10^{13}$  ион/см<sup>2</sup>.

Вариант 4

1. Объяснить влияние энергии электронов на разрешающую способность ЭЛЛ.

2. Как изменится хр-п, если для легирования бором вместо моноиона бора взять молекулярный ион  $B_{18}H_{22}$ , при прочих равных условиях.

Вариант 5

1. Как следует выбирать параметры установки ЭЛЛ ( $I_0$ ,  $U_0$ ), если требуется обеспечить требуемую разрешающую способность?

2. Как надо изменить параметры ионной имплантации при получении заданного хр-п,  $N_{max}$ ,  $N_{исх}$ , если заменить моноионы бора на молекулярный ион  $B_{18}H_{22}$ .

Вариант 6

1. Объяснить влияние толщины резиста на разрешающую способность проекционной и ЭЛЛ.

2. Объяснить, зачем делается предварительная аморфизация приповерхностного слоя кремния при формировании супермелкозалегающих р-п переходов.

Вариант 7

1. Объяснить, к чему приведет увеличение тока в пучке  $I_0$  при ЭЛЛ?

2. Объяснить, какое необходимо получить распределение кислорода при формировании захороненного слоя  $SiO_2$  по SIMOX-технологии.

Вариант 8

1. Объяснить, из каких соображений следует выбирать материал и конструкцию катода для установки ЭЛЛ?

2. Объяснить, как рассчитать дозу кислорода, которая потребуется для формирования стехиометрического слоя  $SiO_2$  по SIMOX-технологии.

Вариант 9

1. Сравнить методы экспонирования резиста (проекционная ФЛ и электронно-лучевая литография) и рекомендовать наиболее подходящий метод для получения размеров менее 20 нм с учетом технико-экономических соображений.

2. Представить распределение примеси кислорода по глубине в SIMOX-технологии для получения заданной толщины отсеченного слоя Si и  $SiO_2$

Вариант 10

1. Из каких соображений следует выбирать ток пучка  $I_0$  при ЭЛЛ?

2. Объяснить, при решении каких задач используется ионная имплантация в кремний через слой  $SiO_2$  и представить распределение примеси для двух толщин  $SiO_2$ .

Вариант 11

1. Каким образом выбрать установку ЭЛЛ для получения заданного размера  $b_{min}$ ?

2. Обосновать выбор параметров ионной имплантации для формирования низколегированных областей истока-стока МОП-транзисторов (LDD-области).

Вариант 12

1. Объяснить влияние толщины резиста на разрешающую способность электронно-лучевой и ионно-лучевой литографии.

2. Обосновать выбор технологии ионной имплантации для формирования каналов с ретроградным распределением примеси. Представить требуемое распределение примеси в канале.

Вариант 13

1. Как следует выбирать параметры установки ЭЛЛ ( $I_0$ ,  $U_0$ ) для обеспечения высокой разрешающей способности?

2. Обосновать выбор параметров ионной имплантации для формирования областей истока-стока с концентрацией более  $10^{20}$  см<sup>-3</sup> и глубиной хр-n менее 10 нм. Предложить практическую реализацию.

Вариант 14

1. Как изменится диаметр электронного пучка на подложке, если необходимо увеличить ток с 10-8 до 10-5 А?

2. Обосновать выбор параметров ионной имплантации для формирования металлического затвора из силицида металла CoSi<sub>2</sub>.

Вариант 15

1. Объяснить, при каких условиях необходимо в ЭЛЛ учитывать явления дифракции.

2. Обосновать выбор параметров ионной имплантации для формирования в канале МОП-транзистора слоя Si<sub>0,7</sub> Ge<sub>0,3</sub> с целью создания напряженного кремния для канала.

Вариант 16

1. Объяснить, какую выбрать энергию электронов 100 кэВ или 10 кэВ с целью уменьшения эффекта рассеяния электронов в слое резиста.

2. Объяснить необходимость формирования низколегированных LDD-областей в МОП-транзисторах с помощью ионной имплантации.

#### 14.1.4. Вопросы на собеседование

По темам курсовых проектов

#### 14.1.5. Вопросы для подготовки к практическим занятиям, семинарам

Методы улучшения характеристик МОП-транзисторов. КНИ - структуры. SIMAX технологии. Получение супермелкозалагающих p-n-переходов.

Разрешающая способность проекционной, электронно-лучевой и ионной литографии

Атомно-слоевое осаждение high-k диэлектриков

Силицидная технология формирования затворов наноразмерных МОП-транзисторов

Разработка технологических маршрутов наноразмерных КМОП ИС

#### 14.1.6. Темы курсовых проектов (работ)

1. Ионное легирование стенок и дна тренчей для создания конденсаторов в ИС

2. Получение мелкозалагающих p-n переходов с помощью ионов бора различных масс

3. Синтез структур кремний на изоляторе: SIMOX

4. Технология КМОП-схемы с легированными областями

5. Синтез структур кремний на изоляторе: Smart Cut

6. Сканирующая ионная литография

7. Анизотропное глубокое травление кремния с большим аспектным числом

8. Формирование силицидных пленок путем ионной имплантации

9. Инженерия затворов в технологии МОП-СБИС с субмикронными размерами

10. Разработка технологии изготовления КМОП-СБИС с ретроградным распределением примеси в канале

#### 14.2. Требования к оценочным материалам для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

Для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов предусмотрены дополнительные оценочные материалы, перечень которых указан в таблице 14.

Таблица 14 – Дополнительные материалы оценивания для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

Категории обучающихся	Виды дополнительных оценочных материалов	Формы контроля и оценки результатов обучения
С нарушениями слуха	Тесты, письменные самостоятельные работы, вопросы к зачету, контрольные работы	Преимущественно письменная проверка
С нарушениями зрения	Собеседование по вопросам к зачету, опрос по терминам	Преимущественно устная проверка (индивидуально)

С нарушениями опорно-двигательного аппарата	Решение дистанционных тестов, контрольные работы, письменные самостоятельные работы, вопросы к зачету	Преимущественно дистанционными методами
С ограничениями по общемедицинским показаниям	Тесты, письменные самостоятельные работы, вопросы к зачету, контрольные работы, устные ответы	Преимущественно проверка методами исходя из состояния обучающегося на момент проверки

### **14.3. Методические рекомендации по оценочным материалам для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов**

Для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов предусматривается доступная форма предоставления заданий оценочных средств, а именно:

- в печатной форме;
- в печатной форме с увеличенным шрифтом;
- в форме электронного документа;
- методом чтения ассистентом задания вслух;
- предоставление задания с использованием сурдоперевода.

Лицам с ограниченными возможностями здоровья и инвалидам увеличивается время на подготовку ответов на контрольные вопросы. Для таких обучающихся предусматривается доступная форма предоставления ответов на задания, а именно:

- письменно на бумаге;
- набор ответов на компьютере;
- набор ответов с использованием услуг ассистента;
- представление ответов устно.

Процедура оценивания результатов обучения лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов по дисциплине предусматривает предоставление информации в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации:

#### **Для лиц с нарушениями зрения:**

- в форме электронного документа;
- в печатной форме увеличенным шрифтом.

#### **Для лиц с нарушениями слуха:**

- в форме электронного документа;
- в печатной форме.

#### **Для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:**

- в форме электронного документа;
- в печатной форме.

При необходимости для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов процедура оценивания результатов обучения может проводиться в несколько этапов.