

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Гаврилов Сергей Александрович
Должность: И.О. Ректора
Дата подписания: 28.07.2025 14:42:59
Уникальный программный ключ:
f17218015d82e3c1457d1df9e244def505047355

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский университет
«Московский институт электронной техники»



УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе

А.Г.Балашов

28.07.2025 г.

МИЭТ

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

«Материалы и процессы формирования металлизации интегральных схем»

Направление подготовки - 11.04.04 «Электроника и наноэлектроника»

Направленность (профиль) – «Материалы и технологии микро- и наноэлектроники»

Москва 2025

1. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ

Дисциплина участвует в формировании следующих компетенций образовательных программ:

Компетенция ПК-3 «Способен к организации и проведению экспериментальных исследований с применением современных средств и методов, в т.ч. при разработке технологических маршрутов» **сформулирована на основе профессиональных стандартов**

40.058 «Инженер-технолог по производству изделий микроэлектроники»

Обобщенная трудовая функция D[7] Разработка групповых технологических процессов и модернизация производства изделий микроэлектроники

Трудовая функция D/02.7 Организация и проведение экспериментальных работ по отработке и внедрению новых материалов, технологических процессов и оборудования производства изделий микроэлектроники

40.005 «Специалист в области материаловедческого обеспечения технологического цикла производства объемных нанометаллов, сплавов, композитов на их основе и изделий из них»

Обобщенная трудовая функция 40.005 В [7] Менеджмент ресурсов

Трудовая функция 40.005В/02.7 Рациональное расходование основных, вспомогательных и расходных материалов, используемых при их разработке и выборе

Подкомпетенции, формируемые в дисциплине	Задачи профессиональной деятельности	Индикаторы достижения подкомпетенций
ПК-3. МПФМИС Способен аргументированно выбирать методы экспериментальных исследований и современные технологические маршруты и процессы при формировании металлизации ИС	– сбор, обработка, анализ и систематизация научно-технической информации по теме исследования, выбор методик и средств решения задачи; – разработка методики и проведение исследований и измерений параметров и характеристик изделий электронной техники, анализ их результатов; – использование физических эффектов при разработке новых методов исследований и изготовлении макетов измерительных систем	Знание основных видов металлизации и материалов, используемых для ее реализации Умение оценивать риски использования различных видов материалов, а также предлагать способы их минимизации Опыт выбора метода экспериментальных исследований и современных технологических маршрутов и процессов при формировании металлизации ИС

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Дисциплина входит в часть, формируемую участниками образовательных отношений, Блока 1 «Дисциплины (модули)» образовательной программы.

Входные требования к дисциплине: успешное освоение дисциплин «Технология электронной компонентной базы», «Актуальные проблемы современной электроники и нанoeлектроники».

3. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ И ВИДЫ УЧЕБНОЙ РАБОТЫ

Курс	Семестр	Общая трудоёмкость (ЗЕ)	Общая трудоёмкость (часы)	Контактная работа			Самостоятельная работа (часы)	Промежуточная аттестация
				Лекции (часы)	Лабораторные работы (часы)	Практические занятия (часы)		
1	2	2	72	-	-	32	40	ЗаО

4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

№ и наименование модуля	Контактная работа			Самостоятельная работа	Формы текущего контроля
	Лекции (часы)	Лабораторные работы (часы)	Практические занятия (часы)		
1. Системы металлизации	-	-	8	10	Тестирование
					Контрольная работа
					Сдача доклада
2. Контактные слои	-	-	6	8	Сдача доклада
3. Диффузионно-барьерные слои	-	-	8	10	Сдача доклада
					Контрольная работа
4. Медные межсоединения	-	-	8	10	Сдача доклада
5. Изоляционные	-	-	2	2	Сдача доклада

№ и наименование модуля	Контактная работа			Самостоятельная работа	Формы текущего контроля
	Лекции (часы)	Лабораторные работы (часы)	Практические занятия (часы)		
слои					Контрольная работа

4.1. Лекционные занятия

[Не предусмотрены]

4.2. Практические занятия

№ модуля дисциплины	№ практического занятия	Объем занятий (часы)	Наименование занятия
1	1	2	Пути развития технологии микроэлектроники. Однослойная металлизация кремниевых ИС. Выбор материала металлизации.
	2	2	Многослойная металлизация кремниевых ИС. Классификация слоев металлизации.
	3	2	Многоуровневая металлизация кремниевых ИС на основе алюминия.
	4	2	Многоуровневая металлизация кремниевых ИС на основе меди. Технология «damascene».
2	5	2	Требования при выборе силицида как материала контактного слоя. Технология формирования контактных силицидных слоев. Контактные силицидные слои. Закономерности образования и стабильности силицидных фаз.
	6	2	Расчет и прогнозирование последовательности формирования силицидных соединений в системе металл-кремний.
	7	2	Проблемы формирования силицидных слоев в условиях снижения размеров элементов ИС в нанометровой области.
3	8	2	Принципы создания диффузионно-барьерных слоев. Классификация материалов диффузионно-барьерных слоев по механизму действия.
	9	2	Анализ процесса деградации тонкого слоя в составе многослойной системы. Критерии выбора материала диффузионно-барьерного слоя.
	10	2	Принципы создания стабильного аморфного материала.
4	11	2	Примеры выбора компонентов и разработка диффузионно-барьерного материала.
	12	2	Процессы для формирования медных многоуровневых межсоединений. Формирование медных межсоединений путем прямой фотолитографии и сухого травления слоя меди.
	13	2	Электрохимическое заполнение медью узких траншей и контактных колодцев как элемент технологии «damascene».
	14	2	Химическое заполнение медью узких траншей и контактных колодцев как элемент технологии «damascene».

	15	2	Заполнение траншей медью с использованием процесса низкотемпературного плавления.
5	16	2	Диэлектрические слои многоуровневой системы металлизации. Методы формирования диэлектрических слоев системы металлизации субмикронных СБИС.

4.3. Лабораторные работы

[Не предусмотрены]

4.4. Самостоятельная работа студентов

№ модуля дисциплины	Объем занятий (часы)	Вид СРС
1	4	Подготовка к практическому занятию и контрольной работе
	3	Подготовка к тесту
	3	Подготовка к докладу
2	4	Подготовка к практическому занятию и контрольной работе
	4	Подготовка к докладу
3	6	Подготовка к практическому занятию и контрольной работе
	4	Подготовка к докладу
4	6	Подготовка к практическому занятию и контрольной работе
	4	Подготовка к докладу
5	2	Подготовка к практическому занятию и контрольной работе

4.5. Примерная тематика курсовых работ (проектов)

[Не предусмотрены]

5. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

Учебно-методическое обеспечение для самостоятельной работы студентов в составе УМК дисциплины (ОРИОКС, <http://orioks.miet.ru/>):

Сценарий обучения по дисциплине

Модуль 1 «Системы металлизации»

- ✓ Учебно-методические материалы для изучения теории в рамках подготовки к практическим, лабораторным занятиям;
- ✓ Учебно-методические материалы для подготовки к контрольным работам, тестам.

Модуль 2 «Контактные слои»

- ✓ Учебно-методические материалы для изучения теории в рамках подготовки к практическим, лабораторным занятиям;
- ✓ Учебно-методические материалы для подготовки к контрольным работам, тестам.

Модуль 3 «Диффузионно-барьерные слои»

✓ Учебно-методические материалы для изучения теории в рамках подготовки к практическим, лабораторным занятиям;

✓ Учебно-методические материалы для подготовки к контрольным работам, тестам.

Модуль 4 «Медные межсоединения»

✓ Учебно-методические материалы для изучения теории в рамках подготовки к практическим, лабораторным занятиям;

✓ Учебно-методические материалы для подготовки к контрольным работам, тестам.

Модуль 5 «Изоляционные слои»

✓ Учебно-методические материалы для изучения теории в рамках подготовки к практическим, лабораторным занятиям.

6. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Литература

1. Металлизация ультрабольших интегральных схем : Учеб. пособие / Д.Г. Громов, А.И. Мочалов, А.Д. Сулимин, В.И. Шевяков; Под ред. Ю.А. Чаплыгина. - М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009. - 277 с

2. Advanced Nanoscale ULSI Interconnects: Fundamentals and Applications / T. Ohba; Yosi Shacham-Diamand, Tetsuya Osaka, Madhav Datta, Takayuki Ohba, Editors. - :Springer, 2009. - URL :<http://link.springer.com/book/10.1007/978-0-387-95868-2> –(датаобращения 27.01.2025). – Режим доступа: для авториз. пользователей.

3. Материалы и процессы формирования систем металлизации кремниевых интегральных схем : Учеб. пособие / Д.Г. Громов, А.И. Мочалов. - М. : МИЭТ, 2006. - 180 с.

4. Учебно-методическое пособие для самостоятельной работы студентов по дисциплине "Металлизация в системах с наноразмерными элементами" / Д.Г. Громов; Министерство образования и науки РФ, Национальный исследовательский университет "МИЭТ". - М. : МИЭТ, 2011. - 60 с

7. ПЕРЕЧЕНЬ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХБАЗ ДАННЫХ, ИНФОРМАЦИОННЫХ СПРАВОЧНЫХ СИСТЕМ

1. **Лань: электронно-библиотечная система.** – Санкт-Петербург, 2011. – URL: <https://e.lanbook.com/>(дата обращения: 21.01.2025). – Режим доступа: для авториз. пользователей МИЭТ.

2. **eLIBRARY.RU: научная электронная библиотека:** сайт. – Москва, 2000. – URL: <https://elibrary.ru>(дата обращения: 11.02.2025). – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей.

3. **Юрайт: Электронно-библиотечная система: образовательная платформа.** - Москва, 2013. - URL: <https://urait.ru/> (дата обращения: 05.02.2025).- Режим доступа: для авторизированных пользователей МИЭТ.

4. **ibooks.ru: Электронно-библиотечная система** = ЭБС Айбукс: сайт. - Санкт-Петербург, 2010. - URL: <https://ibooks.ru/home.php?routine=news> (дата обращения: 20.01.2025). - Режим доступа: для авториз. пользователей МИЭТ.

5. **ASC Publications** : сайт. - URL: <http://pubs.acs.org> (дата обращения: 11.02.2025). - Режим доступа: для авторизованных пользователей МИЭТ.

6. **ElectrochemicalSociety**: [сайт]. - URL:<http://ecsd.org/> (дата обращения: 20.01.2025). - Режим доступа: для авториз. пользователей МИЭТ.

7. **Springer**: сайт. - URL:<http://link.springer.com> (дата обращения: 29.01.2025). - Режим доступа: для авторизованных пользователей МИЭТ.

8. **SCOPUS**: Библиографическая и реферативная база данных научной периодики: сайт. - URL: www.scopus.com/ (дата обращения: 20.01.2025). - Режим доступа: для авторизованных пользователей МИЭТ.

9. **Web of Science**: сайт. - Компания Clarivate, 2021. - URL: <http://apps.webofknowledge.com> (дата обращения: 29.01.2025). - Режим доступа: для авторизованных пользователей МИЭТ.

8. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

В ходе реализации обучения используется **смешанное обучение** (реализовывается с применением электронного обучения и дистанционных образовательных технологий).

Освоение образовательной программы обеспечивается ресурсами электронной информационно-образовательной среды ОРИОКС(<http://orioks.miet.ru>).

Контроль освоения образовательной программы обеспечивается электронным тестированием в ОРИОКС.

Для взаимодействия студентов с преподавателем используются сервисы обратной связи: раздел ОРИОКС «Домашние задания», электронная почта.

9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Наименование учебных аудиторий и помещений для самостоятельной работы	Оснащенность учебных аудиторий и помещений для самостоятельной работы	Перечень программного обеспечения
Учебная аудитория	Мультимедийное оборудование	Microsoft Windows Microsoft Office
Помещение для самостоятельной работы	Компьютерная техника с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду МИЭТ	Microsoft Windows, Microsoft Office. браузер

10. ФОНДЫ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕРКИ СФОРМИРОВАННОСТИ КОМПЕТЕНЦИЙ/ПОДКОМПЕТЕНЦИЙ

ФОС по подкомпетенции ПК-3. МПФМИС «Способен аргументированно выбирать методы экспериментальных исследований и современные технологические маршруты и процессы при формировании металлизации интегральных схем».

Фонд оценочных средств представлен отдельным документом и размещен в составе УМК дисциплины электронной информационной образовательной среды ОРИОКС// URL: <http://orioks.miet.ru/>.

11. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

11.1. Особенности организации процесса обучения

В соответствии с программой учебная дисциплина включает 5 модулей. 1 модуль является базовым, объединяющим весь курс. Каждый следующий из модулей рассматривает отдельный важный элемент системы металлизации интегральной схемы, поэтому порядок освоения модулей может быть произвольным. Однако рекомендуется следующая последовательность освоения материала: вначале процессы формирования контактных слоев (модуль 2), далее процессы формирования диффузионно-барьерных слоев (модуль 3) и в завершение процессы формирования медных межсоединений, изолированных друг от друга диэлектриком (модули 4-5).

Студенты должны осуществить поиск дополнительной информации по темам семинаров в научных источниках (рекомендованных ПБД и ИСС) с последующим обсуждением результатов поиска с преподавателем и одногруппниками (подготовка и публичное представление доклада)

Наиболее сложные и проблемные вопросы курса могут быть разъяснены обучающимся во время очных консультаций и дистанционных консультаций с использованием современных коммуникационных платформ и электронной почты.

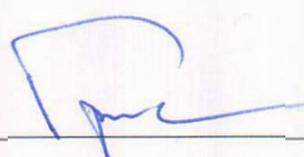
11.2. Система контроля и оценивания

По завершению изучения дисциплины предусмотрен *зачет с оценкой*, при этом оценка итогов учебной деятельности студента основана на накопительно – балльной системе. Для сдачи зачета по дисциплине разработан ФОС, включающий тестовые задания и практическое задание по проверке сформированности подкомпетенции с методическими указаниями по их выполнению и критериями оценки.

При выставлении итоговой оценки используется шкала, приведенная в таблице:

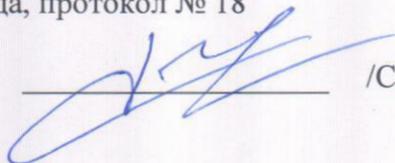
Сумма баллов	Оценка
Менее 50	2
50 – 70	3
71 – 85	4
86 – 100	5

РАЗРАБОТЧИК:

Профессор Института ПМТ, д.т.н , профессор  /Д.Г.Громов/

Рабочая программа дисциплины «Материалы и процессы формирования металлизации интегральных схем» по направлению подготовки 11.04.04 «Электроника и нанoeлектроника», направленности (профилю) «Материалы и технологии микро- и нанoeлектроники» разработана в Институте ПМТ и утверждена на заседании Ученого совета Института 28 февраля 2025 года, протокол № 18

Директор Института ПМТ


/С.В.Дубков/

Лист согласования

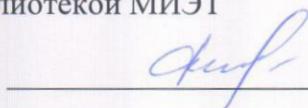
Рабочая программа согласована с Центром подготовки к аккредитации и независимой оценки качества

Начальник АНОК


/И.М.Никулина /

Рабочая программа согласована с библиотекой МИЭТ

Директор библиотеки


/Т.П.Филиппова/