

**Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Национальный исследовательский университет «МЭИ»**

Направление подготовки/специальность: 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника

Наименование образовательной программы: Микроэлектроника и твердотельная электроника

Уровень образования: высшее образование - бакалавриат

Форма обучения: Очная

**Оценочные материалы
по дисциплине
Физическая химия полупроводников**

**Москва
2024**

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ РАЗРАБОТАЛ:

Разработчик

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Сарач О.Б.
	Идентификатор	R2562e7bf-SarachOB-f26c228a

О.Б. Сарач

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель
образовательной
программы

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Баринов А.Д.
	Идентификатор	Ra98e1318-BarinovAD-f138ec4f

А.Д.
Баринов

Заведующий
выпускающей кафедрой

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Зезин Д.А.
	Идентификатор	Re7522a00-ZezinDA-ba8dbd73

Д.А. Зезин

ОБЩАЯ ЧАСТЬ

Оценочные материалы по дисциплине предназначены для оценки достижения обучающимися запланированных результатов обучения по дисциплине, этапа формирования запланированных компетенций и уровня освоения дисциплины.

Оценочные материалы по дисциплине включают оценочные средства для проведения мероприятий текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации.

Формируемые у обучающегося компетенции:

1. ПК-1 Способен участвовать в проектировании интегральных схем
ИД-2 Демонстрирует знание соответствия технологии производства и процесса проектирования интегральных схем
2. ПК-2 Способен осуществлять расчет и проектирование полупроводниковых приборов и устройств, проводить моделирование и анализ с использованием средств автоматизации проектирования
ИД-2 Демонстрирует знание соответствия технологии производства и процесса проектирования полупроводниковых приборов и структур

и включает:

для текущего контроля успеваемости:

Форма реализации: Письменная работа

1. Дефекты в полупроводниках. Введение примесей. (Тестирование)
2. Использование полупроводниковых материалов. Последовательность изготовления ИС. (Контрольная работа)
3. Растворимость в бинарных системах (Контрольная работа)

Форма реализации: Проверка задания

1. Расчетное задание. Физико-химические процессы изготовления ИС (Расчетно-графическая работа)

БРС дисциплины

6 семестр

Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:

- КМ-1 Дефекты в полупроводниках. Введение примесей. (Тестирование)
- КМ-2 Растворимость в бинарных системах (Контрольная работа)
- КМ-3 Использование полупроводниковых материалов. Последовательность изготовления ИС. (Контрольная работа)
- КМ-4 Расчетное задание. Физико-химические процессы изготовления ИС (Расчетно-графическая работа)

Вид промежуточной аттестации – Экзамен.

Раздел дисциплины	Веса контрольных мероприятий, %				
	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4

	Срок КМ:	4	8	12	14
Введение. Материаловедение полупроводников. Высокочистые вещества					
Материаловедение полупроводников		+			
Высокочистые вещества				+	
Основы теории кристаллизации					
Основы теории кристаллизации				+	
Растворимость в бинарных системах					
Растворимость в бинарных системах			+		
Дефектообразование в кристаллах полупроводников. Взаимодействие дефектов. Протяжённые неоднородности					
Дефектообразование в кристаллах полупроводников					+
Взаимодействие дефектов					+
Протяжённые неоднородности					+
	Вес КМ:	15	25	25	35

СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ

I. Оценочные средства для оценки запланированных результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с индикаторами достижения компетенций

Индекс компетенции	Индикатор	Запланированные результаты обучения по дисциплине	Контрольная точка
ПК-1	ИД-2 _{ПК-1} Демонстрирует знание соответствия технологии производства и процесса проектирования интегральных схем	Знать: физико-химические процессы изготовления интегральных схем Уметь: разрабатывать технологический маршрут изготовления интегральных схем	КМ-3 Растворимость в бинарных системах (Контрольная работа) КМ-4 Расчетное задание. Физико-химические процессы изготовления ИС (Расчетно-графическая работа)
ПК-2	ИД-2 _{ПК-2} Демонстрирует знание соответствия технологии производства и процесса проектирования полупроводниковых приборов и структур	Знать: классификацию дефектов в полупроводниковых кристаллах и фазах переменного состава Уметь: оценивать целесообразность использования различных полупроводниковых материалов в конкретных устройствах	КМ-1 Дефекты в полупроводниках. Введение примесей. (Тестирование) КМ-2 Использование полупроводниковых материалов. Последовательность изготовления ИС. (Контрольная работа)

II. Содержание оценочных средств. Шкала и критерии оценивания

КМ-1. Дефекты в полупроводниках. Введение примесей.

Формы реализации: Письменная работа

Тип контрольного мероприятия: Тестирование

Вес контрольного мероприятия в БРС: 15

Процедура проведения контрольного мероприятия: Выполняется по вариантам.

Краткое содержание задания:

Выбрать верные ответы на вопросы из предложенных

Контрольные вопросы/задания:

Запланированные результаты обучения по дисциплине	Вопросы/задания для проверки
Знать: классификацию дефектов в полупроводниковых кристаллах и фазах переменного состава	1.Вакансия аниона при $T=300$ К (а.заряжена положительно;b.заряжена отрицательно;c.нейтральна;d. может заряжаться как положительно, так и отрицательно) 2.Вакансия катиона при $T=300$ К (а.заряжена положительно;b.заряжена отрицательно;c.нейтральна;d. может заряжаться как положительно, так и отрицательно) 3.Не возникают под действием механической нагрузки: (а. Френкелевы пары; b.примесные атомы с.краевые дислокации; d. винтовые дислокации) 4.Не притягиваются между собой: (а. вакансия и атом в междоузлии; b.два собственных атома в междоузлии; c. положительная и отрицательная краевые дислокации; d. правая и левая винтовые дислокации) 5.Не может быть заряжен положительно дефект: (а. атом в междоузлии; b. примесь замещения; c. вакансия катиона в ионной решетке; d. вакансия аниона в ионной решетке)

Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5 («отлично»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 70

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно

Оценка: 4 («хорошо»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 60

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто. выбрано верное направление для решения задач

Оценка: 3 («удовлетворительно»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 50

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено

Оценка: 2 («неудовлетворительно»)

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "неудовлетворительно" выставляется если задание выполнено неверно или преимущественно не выполнено

КМ-2. Растворимость в бинарных системах

Формы реализации: Письменная работа

Тип контрольного мероприятия: Контрольная работа

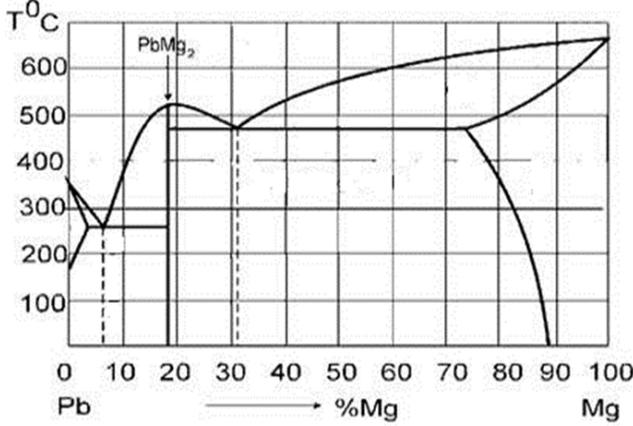
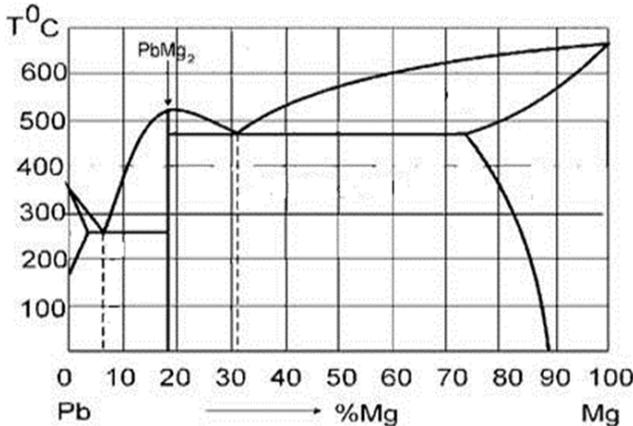
Вес контрольного мероприятия в БРС: 25

Процедура проведения контрольного мероприятия: Выполняется по вариантам.

Краткое содержание задания:

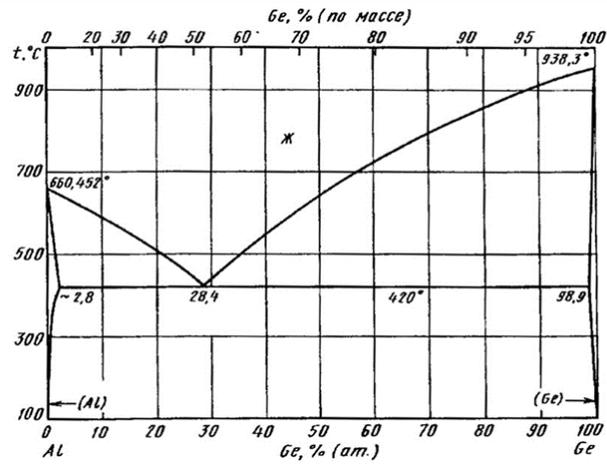
Ответить на вопросы

Контрольные вопросы/задания:

Запланированные результаты обучения по дисциплине	Вопросы/задания для проверки
Знать: физико-химические процессы изготовления интегральных схем	<p>1. Показать на диаграмме состояния (рис.1) линии ликвидус и солидус. На всех участках диаграммы подписать компоненты, присутствующие в системе.</p>  <p>Figure 1 Рис.1</p> <p>2. По диаграмме состояния (рис.1) указать температуры плавления чистых веществ и эвтектических сплавов, температуры плавления (диссоциации) соединений.</p>  <p>Figure 2 Рис. 1</p>

Запланированные
результаты обучения
по дисциплине

Вопросы/задания для проверки



3.

Figure 3 Расплав, содержащий 80 % Ge и 20 % Al (рис.2), медленно охлаждают.

Расплав, содержащий 80 % Ge и 20 % Al (рис.2), медленно охлаждают. При какой температуре начнется затвердевание сплава? Каков будет состав выпадающей твердой фазы?

4. Расплав, содержащий 80 % Ge и 20 % Al (рис.2), медленно охлаждают. Каково будет соотношение жидкой и твердой фаз при температуре 700 0С? Каким будет состав фаз?

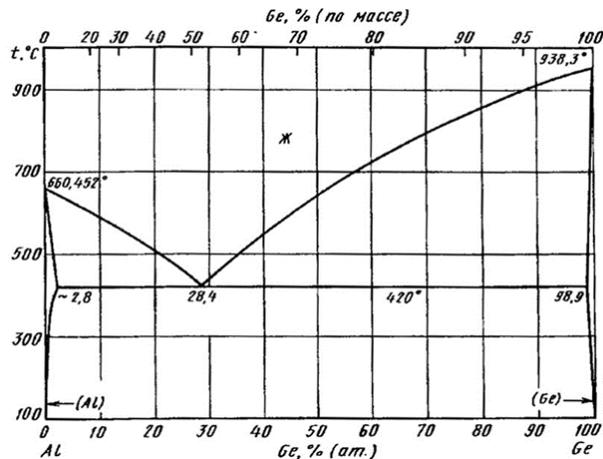
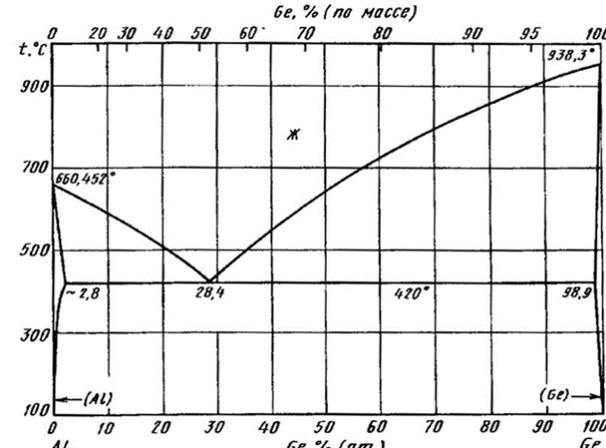


Figure 4 Рис. 2

5. Расплав, содержащий 80 % Ge и 20 % Al (рис.2), медленно охлаждают. При какой температуре закончится затвердевание сплава? Каков будет состав жидкой фазы перед полным затвердеванием?

Запланированные результаты обучения по дисциплине	Вопросы/задания для проверки
	 <p>Figure 5 Рис. 2</p>

Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5 («отлично»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 70

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно

Оценка: 4 («хорошо»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 60

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто. выбрано верное направление для решения задач

Оценка: 3 («удовлетворительно»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 50

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено

Оценка: 2 («неудовлетворительно»)

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "неудовлетворительно" выставляется если задание выполнено неверно или преимущественно не выполнено

КМ-3. Использование полупроводниковых материалов. Последовательность изготовления ИС.

Формы реализации: Письменная работа

Тип контрольного мероприятия: Контрольная работа

Вес контрольного мероприятия в БРС: 25

Процедура проведения контрольного мероприятия: Выполняется по вариантам.

Краткое содержание задания:

Ответить на вопросы

Контрольные вопросы/задания:

Запланированные результаты обучения по дисциплине	Вопросы/задания для проверки
Уметь: оценивать целесообразность	1.Объясните, каковы достоинства и

Запланированные результаты обучения по дисциплине	Вопросы/задания для проверки
использования различных полупроводниковых материалов в конкретных устройствах	<p>недостатки кремния, полученного методом зонной плавки</p> <p>2.Объясните, каковы достоинства и недостатки кремния, полученного методом Чохральского</p> <p>3.Объясните, на каких подложках можно получить гетероэпитаксиальную пленку кремния</p> <p>4.Объясните, какие примеси можно использовать при изготовлении ИС на <i>n-p-n</i>-транзисторах для создания скрытого коллекторного слоя, почему</p> <p>5.Объясните, почему при изготовлении ИС на <i>n-p-n</i>-транзисторах для создания области база не используется легирование алюминием</p>

Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5 («отлично»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 70

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно

Оценка: 4 («хорошо»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 60

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто. выбрано верное направление для решения задач

Оценка: 3 («удовлетворительно»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 50

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено

Оценка: 2 («неудовлетворительно»)

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "неудовлетворительно" выставляется если задание выполнено неверно или преимущественно не выполнено

КМ-4. Расчетное задание. Физико-химические процессы изготовления ИС

Формы реализации: Проверка задания

Тип контрольного мероприятия: Расчетно-графическая работа

Вес контрольного мероприятия в БРС: 35

Процедура проведения контрольного мероприятия: Выполняется дома самостоятельно.

Краткое содержание задания:

Выполнить расчет по заданному конструктивно-технологическому варианту

Контрольные вопросы/задания:

Запланированные результаты обучения по дисциплине	Вопросы/задания для проверки
Уметь: разрабатывать технологический маршрут изготовления интегральных схем	1.Разработать конструктивно-технологические ограничения на размеры биполярного транзистора (технологическая норма 1 мкм)

Запланированные результаты обучения по дисциплине	Вопросы/задания для проверки
	2. Разработать конструктивно-технологические ограничения на размеры КМОП пары (технологическая норма 0,5 мкм) 3. Рассчитать режимы высокотемпературных технологических операций изготовления ИС на основе биполярных транзисторов 4. Разработать технологический маршрут изготовления ИС на основе биполярных транзисторов 5. Разработать технологический маршрут изготовления ИС на основе КМОП транзисторов

Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5 («отлично»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 70

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно

Оценка: 4 («хорошо»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 60

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто. выбрано верное направление для решения задач

Оценка: 3 («удовлетворительно»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 50

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено

Оценка: 2 («неудовлетворительно»)

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "неудовлетворительно" выставляется если задание выполнено неверно или преимущественно не выполнено

СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

6 семестр

Форма промежуточной аттестации: Экзамен

Пример билета

1. Точечные дефекты в сложных полупроводниках, область гомогенности.
2. Механизмы и кинетика роста кристаллов, закономерности кристаллизации.
3. По диаграмме состояния (рис.3) определить температурный диапазон существования соединений и твердых растворов, предельные растворимости, показать точки эвтектики и перитектики.

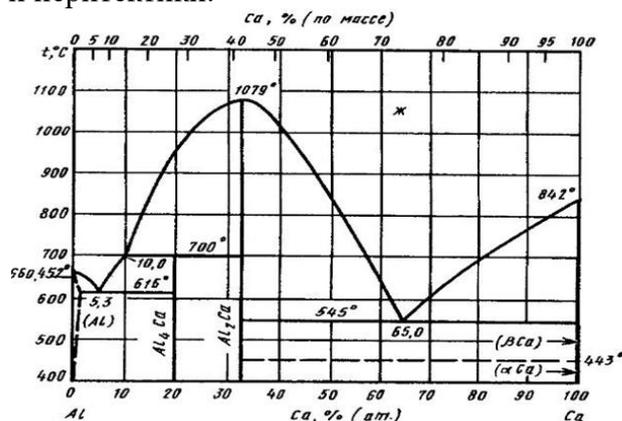


Figure 6 Рис. 3

Процедура проведения

Проводится в устной форме по билетам в виде подготовки и изложения развернутого ответа.

1. Перечень компетенций/индикаторов и контрольных вопросов проверки результатов освоения дисциплины

1. Компетенция/Индикатор: ИД-2ПК-1 Демонстрирует знание соответствия технологии производства и процесса проектирования интегральных схем

Вопросы, задания

1. Термическое переохлаждение и его роль в процессе кристаллизации чистых веществ
2. Зарождение и рост кристаллов
3. Роль собственных точечных дефектов в процессах легирования кристаллов

Материалы для проверки остаточных знаний

1. Какую примесь можно использовать для формирования слоя активной базы ИС на основе биполярных п-р-п транзисторов?

Ответы:

- бор
- фосфор
- мышьяк
- сурьму

Верный ответ: бор

2. Какую примесь можно использовать для формирования глубокого коллектора ИС на основе биполярных п-р-п транзисторов?

Ответы:

бор
фосфор
мышьяк
сурьму

Верный ответ: фосфор

3. Какие примеси можно использовать для формирования скрытого коллекторного слоя ИС на основе биполярных n-p-n транзисторов?

Ответы:

бор
фосфор
мышьяк
сурьму
алюминий

Верный ответ: мышьяк сурьму

4. Какие примеси можно использовать для формирования эмиттерного слоя ИС на основе биполярных n-p-n транзисторов?

Ответы:

бор
фосфор
мышьяк
алюминий

Верный ответ: фосфор мышьяк

2. Компетенция/Индикатор: ИД-2_{ПК-2} Демонстрирует знание соответствия технологии производства и процесса проектирования полупроводниковых приборов и структур

Вопросы, задания

1. Равновесные дефекты и устойчивое состояние кристалла
2. Кластеры, взаимодействие примесей с собственными дефектами
3. Неограниченная и ограниченная растворимость в бинарных системах

Материалы для проверки остаточных знаний

1. Чем является вакансия?

Ответы:

точечным дефектом
линейным дефектом
примесным дефектом
электронным дефектом

Верный ответ: точечным дефектом

2. Чем является краевая дислокация?

Ответы:

точечным дефектом
линейным дефектом
электронным дефектом
разупорядоченностью по Френкелю

Верный ответ: линейным дефектом

3. Как называют дефекты на границе между подложкой и гетероэпитаксиальным слоем?

Ответы:

точечными
дислокациями несоответствия
разупорядоченностью по Шоттки
разупорядоченностью по Френкелю

Верный ответ: дислокациями несоответствия

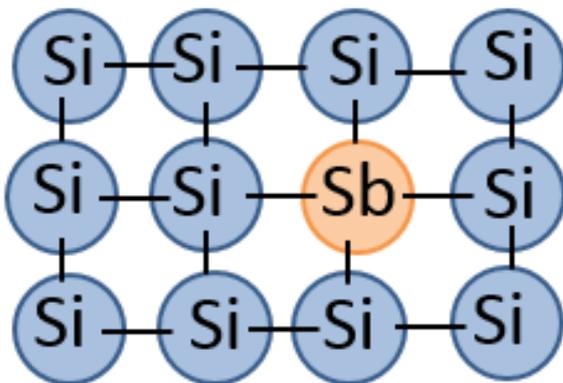
4. Как называют энергетический уровень в середине запрещенной зоны?

Ответы:

- донорным
- акцепторным
- ловушечным
- поверхностным

Верный ответ: ловушечным

5. Схема какого твердого раствора показана на рисунке?



Ответы:

- раствор замещения
- раствор внедрения
- раствор вычитания

Верный ответ: раствор замещения

II. Описание шкалы оценивания

Оценка: 5 («отлично»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 70

Описание характеристики выполнения знания: Работа выполнена в рамках "продвинутого" уровня. Ответы даны верно, четко сформулированные особенности практических решений

Оценка: 4 («хорошо»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 60

Описание характеристики выполнения знания: Работа выполнена в рамках "базового" уровня. Большинство ответов даны верно. В части материала есть незначительные недостатки

Оценка: 3 («удовлетворительно»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 50

Описание характеристики выполнения знания: Работа выполнена в рамках "порогового" уровня. Основная часть задания выполнена верно. на вопросы углубленного уровня

Оценка: 2 («неудовлетворительно»)

Описание характеристики выполнения знания: Работа не выполнена или выполнена преимущественно неправильно

III. Правила выставления итоговой оценки по курсу

Оценка определяется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов НИУ «МЭИ» на основании семестровой и аттестационной составляющих.