Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Новосибирский государственный технический университет»

Кафедра полупроводниковых приборов и микроэлектроники

“УТВЕРЖДАЮ”
ДЕКАН РЭФ
к.т.н., доцент С.А. Стрельцов

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ПРОСТОЙ НЕКВАЛИФИЦИРОВАННОЙ ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
31.08.2026
Владелец: С.А. Стрельцов
Срок действия: не ограничен
Адрес хранения электронного документа:
https://www.nstu.ru/university/info/sveden/education

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

ДИСЦИПЛИНЫ

Физические основы микро- и наносистемной техники

Образовательная программа: 28.03.01 Нанотехнологии и микросистемная техника, профиль: Полупроводниковые микро- и наносистемы

Новосибирск 2026

1. Обобщенная структура фонда оценочных средств дисциплины

Обобщенная структура фонда оценочных средств по **дисциплине** Физические основы микро- и наносистемной техники представлена в Таблице. Совокупность результатов обучения по дисциплине соотнесена с уровнями сформированности компетенций и соотнесенными с ними индикаторами. Индикаторы достижения компетенций измеряемы с помощью средств текущей и промежуточной аттестации по **дисциплине** Физические основы микро- и наносистемной техники.

Таблица

Формируемые компетенции	**Индикаторы компетенций**	**Темы**	**Этапы оценки результатов обучения и соотнесенных с ними индикаторов достижения компетенций**	
			Мероприятия текущего контроля (контрольная работа, курсовой проект, РГЗ(Р), реферат и др.)	**Промежуточная аттестация (экзамен, зачет)**
ОПК-1 Способен решать задачи профессиональной деятельности на основе применения естественнонаучных и общеинженерных знаний, методов математического анализа и моделирования	2. Использует физические законы и принципы в своей профессиональной деятельности.	Биологические сенсоры и микросистемы. Введение в наносистемную технику. Детекторы ионизирующего излучения. Другие виды оптических микросистем. Другие виды сенсоров механических величин. Другие виды термических сенсоров и микросистем. Другие виды химических сенсоров, преобразователей и микросистем. Исследование модели тензорезистивного сенсора давления. Исследовательская работа по моделированию узлов и элементов микросистем Магнитометры. Моделирование механических свойств упругих элементов микросистем. Общая концепция микросистемы. Общие вопросы микросистемной техники. Программный комплекс ANSYS, как среда моделирования микросистем. Пьезоэлектрические сенсоры и введене в микрофлюидику. Создание геометрии микросистем с помощью Mechanical APDL. Тензорезистивные сенсоры механических величин. Технологические основы микросистемной техники. Физические основы работы магнитных сенсоров и микросистем. Физические основы работы оптических сенсоров. Физические основы работы термических сенсоров. Физические основы работы химических сенсоров и микросистем.	Отчет по лабораторной работе, РГЗ, все разделы	Экзамен, все вопросы
ПК-4/ПК Готов рассчитывать и проектировать основные параметры техники	1. Знает принципы проектирования основных параметров наноструктурных	Введение в наносистемную технику. Другие виды сенсоров механических величин. Исследо-	Отчет по лабораторной работе, РГЗ, все разделы	Экзамен, все вопросы

наноструктурных материалов различного функционального назначения	материалов	вание модели тензорезистивного сенсора давления. Исследовательская работа по моделированию узлов и элементов микросистем Моделирование механических свойств упругих элементов микросистем. Общая концепция микросистемы. Общие вопросы микросистемной техники. Программный комплекс ANSYS, как среда моделирования микросистем. Пьезоэлектрические сенсоры и введене в микрофлюидику. Создание геометрии микросистем с помощью Mechanical APDL. Тензорезистивные сенсоры механических величин. Технологические основы микросистемной техники.		

2. Методика оценки этапов формирования компетенций по дисциплине

Результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с установленными в программе индикаторами достижения компетенций проверяются при проведении мероприятий текущего контроля в процессе изучения дисциплины, указанных в таблице раздела 1.

В 6 семестре обязательным этапом текущей аттестации является расчетно-графическое задание (РГЗ). Требования к выполнению РГЗ, состав и правила оценки сформулированы в паспорте РГЗ.

Промежуточная аттестация по **дисциплине** проводится в 6 семестре - в форме экзамена, который направлен на оценку сформированности результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с установленными в программе индикаторами достижения компетенций ОПК-1, ПК-4/ПК и соотнесенных с ними индикаторов (см. таблицу раздела 1).

Экзамен проводится в устной форме по билетам, содержащим два вопроса, каждый из которых требует развернутого ответа с пояснениями и обоснованием излагаемого материала. Билет формируется из приведенного в Паспорте экзамена списка вопросов, позволяющих оценить результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с установленными в программе индикаторами достижения компетенций.

Общие правила выставления оценок текущей и промежуточной аттестации по дисциплине определяются балльно-рейтинговой системой, приведенной в рабочей программе дисциплины.

На основании критериев, приведенных в п. 3, осуществляется оценка уровней достигнутых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с установленными в программе индикаторами достижения компетенций ОПК-1, ПК-4/ПК, закрепленных за дисциплиной.

3. Общая характеристика уровней результатов обучения, соотнесенных с индикаторами достижения компетенций

Продвинутый. Теоретическое содержание курса освоено полностью. Студент демонстрирует систематическое и глубокое понимание учебного материала и способность к самостоятельному пополнению и обновлению знаний в ходе дальнейшей учебной работы и профессиональной деятельности. Сформированы необходимые навыки практической работы. Все учебные задания, предусмотренные программой обучения, выполнены качественно, без замечаний. Результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с установленными в программе индикаторами достижения компетенций, оценены числом баллов, входящим в диапазон продвинутого уровня (36-40).

Базовый. Теоретическое содержание курса освоено в объеме, необходимом для дальнейшей учебы и профессиональной деятельности. Навыки практической работы сформированы на базовом уровне. Все предусмотренные программой обучения учебные задания выполнены с небольшими погрешностями. Результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с установленными в программе индикаторами достижения компетенций, оценены числом баллов в пределах базового уровня (29-35).

Пороговый. Теоретическое содержание курса освоено в объеме, необходимом для дальнейшей учебы и профессиональной деятельности. Некоторые практические навыки работы с сформированы с пробелами. Учебные задания, предусмотренные программой обучения, выполнялись с ошибками, исправленными под руководством преподавателя. Результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с установленными в программе индикаторами достижения компетенций, оценены числом баллов в пределах порогового уровня (20-28).

Ниже порогового. Теоретическое содержание курса освоено фрагментарно. Необходимые навыки практической работы сформированы минимально. Большинство учебных заданий, предусмотренных программой обучения, не выполнены. Результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с установленными в программе индикаторами достижения компетенций, оценены числом баллов, входящих в диапазон ниже порогового уровня (0-20).

Перечень вопросов к экзамену:

1. Общая терминология микросистем. Элементы и компоненты. Классификация изделий микросистемной техники.
2. Основные классы микросистем. Сенсоры и контроллеры. Актюаторы и конвертеры. Интерфейсы.
3. Тензорные физические величины. Ковариантные и контравариантные координаты. Правило суммирования Эйнштейна. Матрица перехода.
4. Метрологические основы микросистемной техники. Измерительные схемы, их принцип работы.
5. Трёхмерное профилирование кремния. SCREAM- и Bosch-процессы. LIGA-процесс. Жертвенные технологии. HEXSIL- и HARPSS-технологии.
6. Наносистемная техника, её цели и задачи. Нанотрубки, нанопроволоки, наноплёнки, квантовые точки. Механизм VLS. Ориентация выращенных наноструктур.
7. Виды нанотрубок и нанопроволок. Методы их создания. Методы разделения и управления ими.
8. Тензоры деформаций и механических напряжений. Матричные обозначения. Правила преобразования компонент. Закон Гука в тензорной и матричной форме.
9. Виды упругих элементов и их поведение под нагрузкой. Принцип Сен-Венана. Характер механических напряжений в упругих элементах.
10. Феноменологическое описание тензорезистивного эффекта в кремнии.
11. Топология и особенности тензорезистивных элементов, имеющих формы: «собачья кость», меандр, Греческий крест.
12. Оптимизация размещения тензорезистивных элементов на чипе. Влияние температуры и степени легирования. Влияние качества электрической изоляции.
13. Свойства поликристаллического кремния. Тензорезистивный эффект в поликристаллическом кремнии.
14. Ёмкостный принцип построения сенсоров. Способы изменения ёмкости элементарной ячейки. Математическая модель ёмкостного сенсора давления.
15. Конструкция и математическое описание работы акселерометра.
16. Пьезоэлектрические материалы и пьезоэлектрический эффект. Выходной сигнал пьезоэлектрического сенсора.
17. Расходомеры. Сенсоры плотности и вязкости. Активные и пассивные клапаны, их конструктивные особенности.
18. Принципы измерения температуры. Теплопроводность, закон Фурье. Электротепловая аналогия.

19. Конвективный теплообмен. Закон Ньютона и теория пограничного слоя. Критерии подобия.
20. Термоанемометры и датчики теплового потока, их принципы действия и конструктивная реализация.
21. Терморезисторы, их метрологические характеристики. Металлические и полупроводниковые терморезисторы.
22. Диоды и транзисторы, как термочувствительные элементы. Термисторы.
23. Эффекты Пельтье и Джоуля-Томсона, термодатчики на их основе.
24. Термические конвертеры среднеквадратичного значения напряжения: принцип работы и конструктивная реализация.
25. Оптические эффекты и принципы измерений на их основе. Метрологические характеристики оптических сенсоров.
26. Энергетические и фотометрические характеристики оптического излучения.
27. Виды и принципы работы оптических сенсоров прямого действия. Фоторезистивный эффект и приборы на его основе.
28. Фотовольтаический эффект. Фотодиоды и солнечные ячейки.
29. Пирометрический и болометрический эффекты. Пирометры, болометры, тепловизоры.
30. Эффект Зеебека. Термопары. Ячейки Голея, их принципы работы и конструктивные особенности.
31. Светоизлучающие диоды (LED, OLED). Газовые и твердотельные лазеры. Лампы накаливания.
32. Торсионные микрозеркала. Электростатические модуляторы мембранного типа. Другие оптические модуляторы.
33. Эффект Холла в металлах и полупроводниках.
34. Магниторезистивный эффект и конструкции на его основе.
35. Физические основы работы магнитодиодов и классических магнитотранзисторов.
36. Двухколлекторные магнитотранзисторы латерального и горизонтального типа. Полевые магнитотранзисторы.
37. Магнитометры, их назначение. Шкала магнитных полей. Феррозондовые и туннельные магнитометры.
38. Физические основы эффекта сверхпроводимости. Эффект Джозефсона. Сверхпроводящие квантовые магнитометры (СКВИДы).
39. Классификация химических сенсоров. Хеморезисторы, металлооксидные сенсоры, микрокалориметры.
40. Электрохимические преобразователи. Конструкция и принцип действия электрохимической ячейки.
41. Химические транзисторы (ADFET, ISFET, CHEMFET и другие), их конструктивные особенности и принцип действия.
42. Многомерные химические тензорезистивные pH/rH-метры, их конструкция и принцип действия.
43. Эффекты электрофореза и ПЦР. Химические микроаналитические системы, построенные на их основе.
44. БиоМЭМС-датчики: виды и принципы биологических измерений.
45. Основные принципы работы биологических актюаторов. Биоэлектрические интерфейсы. Биомеханические микросистемы.
46. Виды и характеристики радиоактивного излучения.
47. Сцинтилляционные счетчики на основе ФЭУ и КФУ. Счетчики Гейгера – Мюллера. Ионизационная камера.
48. Полупроводниковые и другие детекторы ядерных частиц.

Задачи к экзамену:

1. Дана кремниевая мембрана прямоугольной формы, жёстко защемлённая с двух коротких торцевых сторон, размерами 250×150×25 мкм. К наибольшей поверхности мембраны, перпендикулярно к ней, приложено давление 100 кПа. При помощи пакета программ ANSYS постро-

ить распределение прогибов и механических напряжений и указать места наибольших механических напряжений.

2. Дана кремниевая мембрана прямоугольной формы, жёстко защемлённая с двух длинных торцевых сторон, размерами 500×150×40 мкм. К наибольшей поверхности мембраны, перпендикулярно к ней, приложено давление 120 кПа. При помощи пакета программ ANSYS построить распределение прогибов и механических напряжений и указать места наибольших механических напряжений.

3. Дана кремниевая мембрана прямоугольной формы, жёстко защемлённая с двух прилежащих друг к другу сторон, размерами 300×125×30 мкм. К наибольшей поверхности мембраны, перпендикулярно к ней, приложено давление 110 кПа. При помощи пакета программ ANSYS построить распределение прогибов и механических напряжений и указать места наибольших механических напряжений.

4. Дана кремниевая мембрана прямоугольной формы, жёстко защемлённая с двух прилежащих друг к другу сторон, размерами 600×220×40 мкм. К наибольшей поверхности мембраны, перпендикулярно к ней, приложено давление 120 кПа. При помощи пакета программ построить распределение прогибов и механических напряжений и указать места наибольших механических напряжений.

5. Дана кремниевая мембрана прямоугольной формы, размерами 250×150×25 мкм. На одной из её коротких торцевых сторон поддерживается температура 0ºС, на одну из наибольших поверхностей падает тепловой поток плотностью 0.1 Вт/см^2. На всех прочих гранях задан коэффициент конвекции 25 Вт/м^2·К. При помощи пакета программ ANSYS построить распределение температур и тепловых потоков в мембране.

6. Дана кремниевая мембрана прямоугольной формы, размерами 300×100×25 мкм. На её коротких торцевых сторонах поддерживается температура 0ºС, на одну из наибольших поверхностей падает тепловой поток плотностью 0.1 Вт/см^2. На всех прочих гранях задан коэффициент конвекции 25 Вт/м^2·К. При помощи пакета программ ANSYS построить распределение температур и тепловых потоков в мембране.

7. Дана кремниевая квадратная мембрана, жёстко защемлённая со всех сторон, с шириной 200 мкм, толщиной 20 мкм. Давление приложено по перпендикуляру к наибольшей поверхности мембраны. При помощи пакета программ ANSYS оценить максимальное давление, при котором максимальная деформация не превышает $2\cdot10^{-3}$ относительных единиц.

8. Дана кремниевая мембрана прямоугольной формы, жёстко защемлённая с двух длинных торцевых сторон, размерами 450×120×35 мкм. К наибольшей поверхности мембраны, перпендикулярно к ней, приложено давление. При помощи пакета программ ANSYS оценить максимальное давление, при котором максимальная деформация не превышает $2\cdot10^{-3}$ относительных единиц.

9. Дана кремниевая мембрана прямоугольной формы, жёстко защемлённая с двух прилежащих друг к другу сторон, размерами 320×125×30 мкм. К наибольшей поверхности мембраны, перпендикулярно к ней, приложено давление. При помощи пакета программ ANSYS оценить максимальное давление, при котором максимальная деформация не превышает $2\cdot10^{-3}$ относительных единиц.

10. Дана кремниевая мембрана прямоугольной формы, жёстко защемлённая с двух прилежащих друг к другу сторон, размерами 450×120×25 мкм. К наибольшей поверхности мембраны, перпендикулярно к ней, приложено давление. При помощи пакета программ ANSYS оценить

максимальное давление, при котором максимальная деформация не превышает $2 \cdot 10^{-3}$ относительных единиц.

11. Дана кремниевая мембрана прямоугольной формы, размерами 250×150×25 мкм. На одной из её коротких торцевых сторон поддерживается температура 0ºС, на одну из наибольших поверхностей падает тепловой поток, выраженный в Ваттах. На всех прочих гранях задан коэффициент конвекции 25 Вт/м^2·К. При помощи пакета программ ANSYS оценить максимальное значение теплового потока, чтобы максимальная температура мембраны не превысила 50 ºС.

12. Дана кремниевая мембрана прямоугольной формы, размерами 300×100×25 мкм. На её коротких торцевых сторонах поддерживается температура 0ºС, на одну из наибольших поверхностей падает тепловой поток с плотностью, выраженной в Вт/м^2. На всех прочих гранях задан коэффициент конвекции 25 Вт/м^2·К. При помощи пакета программ ANSYS оценить максимальную плотность теплового потока, чтобы максимальная температура мембраны не превысила 50ºС.

13. Дана кремниевая мембрана прямоугольной формы, размерами 250×150×25 мкм. На одной из её коротких торцевых сторон поддерживается температура 0ºС, на прилежащую к ней торцевую поверхность падает тепловой поток, выраженный в Ваттах. На всех прочих гранях задан коэффициент конвекции 25 Вт/м^2·К. При помощи пакета программ ANSYS оценить максимальное значение теплового потока, чтобы максимальная температура мембраны не превысила 50 ºС.

14. Дана кремниевая мембрана прямоугольной формы, размерами 300×100×25 мкм. На её коротких торцевых сторонах поддерживается температура 0ºС, на противоположную к ней торцевую поверхность падает тепловой поток с плотностью, выраженной в Вт/м^2. На всех прочих гранях задан коэффициент конвекции 25 Вт/м^2·К. При помощи пакета программ ANSYS оценить максимальную плотность теплового потока, чтобы максимальная температура мембраны не превысила 50ºС.