Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Новосибирский государственный технический университет»
Кафедра полупроводниковых приборов и микроэлектроники

Паспорт экзамена

по дисциплине «Физические основы микро- и наносистемной техники», 6 семестр

1. Методика оценки

Экзамен проводится в устной форме, по билетам. Билет состоит из 48 вопросов и задачи и формируется по следующему правилу:

- первый вопрос выбирается из диапазона вопросов 1-24;
- второй вопрос из диапазона вопросов 25-48;
- третий вопрос – задача.

Таким образом, проверяются результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с установленными в программе индикаторами достижения компетенций.

На экзамене преподаватель вправе задавать студенту уточняющие и дополнительные вопросы из общего перечня (п. 4).

Форма экзаменационного билета

НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
Факультет РЭФ

Билет № _____
к экзамену по дисциплине «Физические основы микро- и наносистемной техники»

1. Общая терминология микросистем. Элементы и компоненты. Классификация изделий микросистемной техники.
2. Эффект Зеебека. Термопары. Ячейки Голея, их принципы работы и конструктивные особенности.
3. Задача.

Утверждаю: зав. кафедрой ____ _____ Д.И. Остертак
(подпись)
14.10.2026

2. Критерии оценки результатов обучения, соотнесенных с уровнями освоения индикаторов достижения компетенций

Ответ на экзаменационный билет засчитывается на **продвинутом** уровне, если студент проводит сравнительный комплексный анализ материала, выявляет проблемы, предлагает механизмы их решения, представляет количественные характеристики определенных процессов, приводит конкретные примеры, не допускает ошибок и способен

обосновать выбор метода решения задачи. Совокупность результатов обучения по дисциплине и соотнесенных с ними индикаторов достижения компетенций не содержит пробелов. Установленные в программе компетенции сформированы в полном объеме. Оценка составляет *от* 35 *до* 40 *баллов.*

Ответ на экзаменационный билет засчитывается на **базовом** уровне, если студент при ответе на вопросы формулирует основные понятия, дает характеристику процессов, явлений, проводит анализ причин, условий, способен представить количественные и качественные характеристики процессов, не допускает существенных ошибок при решении задачи. Совокупность результатов обучения по дисциплине и соотнесенных с ними индикаторов достижения компетенций содержит несущественные пробелы. Установленные в программе компетенции сформированы на базовом уровне. Оценка составляет *от* 27 *до* 34 *баллов.*

Ответ на экзаменационный билет засчитывается на **пороговом** уровне, если студент при ответе на вопросы дает определение основных понятий, может показать причинно-следственные связи явлений, при решении задачи допускает непринципиальные ошибки, например, вычислительные. Совокупность результатов обучения по дисциплине и соотнесенных с ними индикаторов достижения компетенций содержит пробелы. Установленные в программе компетенции сформированы на пороговом уровне. Оценка составляет *от* 20 *до* 26 *баллов.*

Ответ на экзаменационный билет считается **неудовлетворительным** (ниже порогового уровня), если студент при ответе на вопросы не дает определений основных понятий, не способен показать причинно-следственные связи явлений, при решении задачи допускает принципиальные ошибки. Совокупность результатов обучения по дисциплине и соотнесенных с ними индикаторов достижения компетенций содержит существенные пробелы. Установленные в программе компетенции не сформированы. Оценка составляет *менее* 20 *баллов.*

3. Шкала оценки

Экзамен считается сданным, если сумма баллов по всем заданиям билета составляет от 20 до 40 баллов включительно. Сумма менее 20 баллов признается неудовлетворительным результатом промежуточной аттестации по дисциплине.

В общей оценке по дисциплине экзаменационные баллы учитываются в соответствии с правилами балльно-рейтинговой системы, установленными в НГТУ.

4. Вопросы к экзамену по дисциплине «Физические основы микро- и наносистемной техники»

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 построить 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 $2 \cdot 10^{-3}$ 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 $2 \cdot 10^{-3}$ 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 $2 \cdot 10^{-3}$ 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.