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

Паспорт экзамена

по дисциплине «Специальные главы наноэлектроники», 1 семестр

1. Методика оценки

Экзамен проводится в устной форме, по билетам. Билет состоит из 1 вопроса и задачи.

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 № 1
к экзамену по дисциплине «Специальные главы наноэлектроники»

---

1. Вопрос: Предпосылки возникновения наноэлектроники

2. Задача: Из анализа работы КМОП-инвертора, нагруженного на такой же инвертор с входной ѐмкостью С, покажите, что максимальная производительность ИС, отнесѐнная к единице площади поверхности кристалла, определяется теплопроводностью материала микросхемы, допустимым градиентом температуры и фактором качества.

Утверждаю: зав. кафедрой ____ _____ должность, ФИО
(подпись)
(дата)

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 «**Специальные главы наноэлектроники**»**

1.Предпосылки возникновения наноэлектроники.
2.Классификация гетеропереходов и сверхрешеток.
3.Рассеяние частиц на потенциальной ступеньке.
4.Потенциальный барьер конечной ширины. Прохождение частиц под барьером.
5.Потенциальный барьер конечной ширины. Прохождение частиц над барьером.
6.Частица в прямоугольной потенциальной яме.
7.Особенности прохождения частиц над потенциальной ямой.
8.Энергетический спектр и волновые функции линейного, плоского и сферического осцилляторов.
9.Особенности энергетического спектра частиц в прямоугольной КЯ сложной формы.
10. Условия наблюдения квантовых размерных эффектов.
11. Прохождение частиц через многобарьерные структуры.
12. Прохождение частиц «над» двухбарьерной структурой.
13. Энергетический спектр сверхрешеток.

5. Задачи к экзамену **по дисциплине «**Специальные главы наноэлектроники**»**

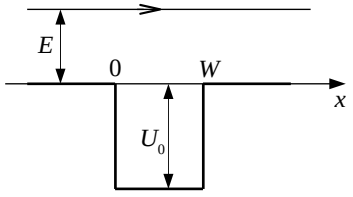
1. Предположим, что кристалл микропроцессора площадью 1 см^2 содержит 10 млн. транзисторов, которые можно рассматривать как конденсаторы с емкостью $C_n = 10$ фФ. При работе процессора эти конденсаторы перезаряжаются с тактовой частотой f, причём вся энергия конденсаторов переходит при этом в тепло. Найти при какой тактовой частоте f плотность потока тепла в кристалле еще не превысит допустимой для кремния, если напряжение питания микропроцессора составляет $V = 1$ В, а допустимый градиент температуры составляет $3.3 \cdot 10^{-3}$ К/мкм.
2. Из анализа работы КМОП-инвертора, нагруженного на такой же инвертор с входной ёмкостью C, покажите, что максимальная производительность ИС, отнесённая к единице площади поверхности кристалла, определяется теплопроводностью материала микросхемы, допустимым градиентом температуры и фактором качества.
3. Определите на сколько необходимо изменить заряд на затворах КМОП-инвертора и какое количество электронов потребуется, чтобы передать бит информации, если длина каналов транзисторов $L = 0.2$ мкм, ширина – $b = 0.5$ мкм, а толщина окисла (SiO_2) $d = 0.1$ мкм? Принять, что для переключения инвертора необходимо изменить входное напряжение на 4 В.
4. Оцените равновесную ширину ступенчатых *p-n* переходов в Si и GaAs при 300 К, если концентрации акцепторов и доноров в области переходов равны соответственно $N_A = 10^{21}$ см$^{-3}$ и $N_D = 10^{18}$ см$^{-3}$.
5. Определите сколько доноров в среднем будет находиться в одном монослое под затвором МОПТ, а также абсолютную среднюю квадратичную и относительную флуктуации этого числа доноров, если длина канала транзистора $L = 0.1$ мкм, ширина $b = 0.5$ мкм, а концентрация доноров в подложке 10^{15} см$^{-3}$?
6. Определите какой заряд надо создать на входе КМОП-инвертора, чтобы передать бит информации, если входная емкость инвертора равна 0.2 фФ, напряжение логического нуля равно 0.5 В, а напряжение единицы 4.5 В? Оцените какое количество электронов для этого потребуется и относительную среднюю квадратичную флуктуации этого числа электронов.
7. Частица массы m падает слева на прямоугольную потенциальную ступеньку высотой U_0. Энергия частицы равна E, причём $E < U_0$. Найти глубину $x_{эфф}$ проникновения частицы под ступеньку, т.е. расстояние от границы ступеньки до точки, в которой плотность вероятности нахождения частицы уменьшается в e раз. Вычислить $x_{эфф}$ для электрона, если $U_0 - E = 1$ эВ.
8. Выразите амплитуды отражённой и прошедшей волны через амплитуду падающей волны при рассеянии частицы на потенциальной ступеньке для случая, когда полная энергия частицы превышает высоту потенциальной ступеньки.
9. Используя результаты предыдущей задачи, получите выражения для коэффициентов прохождения и отражения при рассеянии частиц на потенциальной ступеньке для случая, когда полная энергия частицы превышает высоту потенциальной ступеньки.
10. Получите выражение для фазового сдвига между падающей и отражённой волнами для случая рассеяния частиц на потенциальной ступеньке, если полная энергия частицы меньше высоты ступеньки.
11. Для случая прохождения частиц над потенциальным барьером конечной ширины выразите плотность потока вероятности прошедших частиц через амплитуду

падающей волны.

12. Частица массы m падает на прямоугольный симметричный потенциальный барьер, причём её энергия $E<U_0$. Найти коэффициент прохождения для электрона с $E=5$ эВ сквозь этот барьер, если $U_0=10$ эВ и $l=0.1$ нм.

13. Частица массы m падает на прямоугольный симметричный потенциальный барьер шириной l, причём её энергия $E>U_0$. Найти: а) выражение для D при $E\to U_0$; б) первые два значения E, при которых электрон будет беспрепятственно проходить через такой барьер, если $U_0=10$ эВ и $l=0.5$ нм.

14. Используя выражение для коэффициента прохождения D, найти ширину ямы W, при которой для заданных E и U_0 коэффициент отражения R будет максимален.



$$D=\left[1+\frac{U_0\sin^2 k_0W}{4E(E+U_0)}\right]^{-1},\quad k_0=\sqrt{2m(E+U_0)}/\hbar\,.$$

15. Частица с энергией $E=5$ эВ, двигаясь в положительном направлении оси x, встречает на своём пути бесконечно широкий прямоугольный потенциальный барьер высотой $U=2$ эВ. Определите коэффициент отражения частицы от этого барьера.

16. Моноэнергетический поток электронов ($E=1$ эВ) падает на прямоугольный потенциальный барьер бесконечной ширины. Определить высоту потенциального барьера U, если известно, что 4% падающих на барьер электронов отражается.

17. При каком отношении высоты потенциальной ступеньки U и энергии электрона E, падающего на неё, коэффициент отражения равен 0.5?

18. Электрон с длиной волны де Бройля λ, равной 1.2 нм, движется в положительном направлении оси x и встречает на своём пути бесконечно широкий прямоугольный потенциальный барьер высотой $U=2$ эВ. Определите коэффициент отражения R на границе потенциального барьера.

19. Получите выражение для нормирующего коэффициента N волновой функции чётных и нечётных состояний в бесконечно глубокой потенциальной яме (БПЯ) шириной W, если $\Psi_n=N\sin(\pi nx/W)$, $\Psi_n=N\cos(\pi nx/W)$.

20. Частица находится в основном состоянии в одномерной БПЯ шириной W. Используя результаты предыдущей задачи найти вероятность пребывания частицы в области $W/3<x<W/2$. Принять, что начало отсчёта координаты x находится в середине ямы.

21. Вычислить отношение вероятностей P_1/P_2 нахождения электрона на первом и втором энергетических уровнях в интервале 1/4, равноудалённом от стенок одномерной БПЯ шириной W.

22. Частица в одномерной БПЯ шириной W находится в во втором возбуждённом состоянии. Определите, в каких точках «ямы» $0\le x\le W$ плотность вероятности обнаружения частицы: 1) максимальна; 2) минимальна. Поясните полученный результат графически.

23. Оцените отношение концентрации частиц в окрестности точки, соответствующей центру барьера, к концентрации частиц в падающей волне при прохождении частиц над потенциальным барьером, если высота барьера $U_0=1$ эВ, а полная энергия

частицы в падающей волне равна $2.4\cdot10^{-19}$ Дж. Принять, что эта энергия соответствует первому резонансному состоянию.

24. Оцените энергетический зазор между соседними антирезонансными состояниями с $n=1$ и 2 для потенциального барьера шириной 10 нм, если масса частицы $m=9.1\cdot10^{-28}$ г.
25. Оцените отношение концентрации частиц накопленных в окрестности точки, соответствующей центру барьера, в первом и во втором (втором и третьем) резонансных состояниях при прохождении частиц над симметричным потенциальным барьером, если высота барьера $U_0=1$ эВ, ширина $l=10$ нм, а масса частиц $m=9.1\cdot10^{-31}$ кг.
26. Оцените количество разрешенных состояний в симметричной КЯ шириной 10.2 нм и глубиной 1 эВ для частицы с $m=9.1\cdot10^{-28}$ г.
27. Оцените область локализации частицы с массой $m=9.1\cdot10^{-28}$ г в основном и первом возбуждённым состояниях, если ширина КЯ $W=5$ нм, высота левой стенки $U_1=5$ эВ, а правой $U_2=0.25$ эВ. Принять, что энергия основного состояния $E_1=1.163\cdot10^{-2}$ эВ, а первого возбуждённого – $E_2=4.63\cdot10^{-2}$ эВ.