

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НИ ТГУ)

Факультет инновационных технологий

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ОПОП

 О.В. Вусович

«16» мая 2023 г.

Оценочные материалы  
текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине

**Полупроводниковая электроника**

по направлению подготовки

**27.03.05 Инноватика**

Направленность (профиль) подготовки:

**Управление инновациями в наукоемких технологиях**

Форма обучения

**Очная**

Квалификация

**Бакалавр**

## 1. Планируемые результаты освоения дисциплины

Результаты освоения дисциплины (индикатор достижения компетенции)	Планируемые образовательные результаты (ОР) обучения по дисциплине
ИПК-5.1. Знает и умеет анализировать технико-технологическое решение («лучшие практики»).	ОР 5.1.1 качественно объяснить физические процессы, лежащие в основе действия полупроводниковых приборов различного назначения ОР5.1.2 Вычисление концентрации носителей заряда в полупроводниках. ОР5.1.3 Уметь оценивать качество полупроводниковых материалов создаваемых в результате различных технологий.
ИПК-5.2. Составляет план экспериментальных работ, проводит эксперименты и обрабатывает результаты.	ОР5.2.1 Планировать комплекс экспериментальных работ для оценки качества работы полупроводниковых приборов. ОР5.2.2 Анализировать работу основных типов полупроводниковых приборов, их функциональные возможности и области применения
ИПК-5.3. Проектирует и обосновывает, доказывает технико-технологические решения по тематике исследований.	ОР5.3.1 Умеет проводить измерение электрофизических параметров полупроводников и обосновывает технологию их получения.

## 2. Этапы достижения образовательных результатов в процессе освоения дисциплины

№	Разделы и(или) темы дисциплин	Образовательные результаты	Формы текущего контроля и промежуточной аттестации
1.	Тема 1. Основные сведения по физике полупроводников	ОР 5.1.1	<i>Текущий контроль: Тесты Контрольная работа Промежуточная аттестация Зачет</i>
2.	Тема 2. Статистика электронов и дырок в полупроводниках.	ОР 5.1.2 ОР 5.1.3	<i>Тесты Контрольная работа Промежуточная аттестация Зачет</i>

3.	Тема 3. Контактные явления в полупроводниках. Электронно-дырочные и гетеропереходы.	OP5.2.1 OP5.2.2	<i>Тесты Контрольная работа Промежуточная аттестация Зачет</i>
4.	Тема 4. Биполярные и полевые транзисторы	OP 5.1.1	<i>Реферат Промежуточная аттестация Зачет с оценкой</i>
5.	Тема 5. Оптоэлектронные полупроводниковые приборы	OP 5.1.1	<i>Реферат Отчет по лабораторной работе Промежуточная аттестация Зачет с оценкой</i>

### **3. Оценочные средства для проведения текущего контроля и методические материалы, определяющие процедуру их оценивания**

Текущий контроль проводится в течение семестра с целью определения уровня усвоения обучающимися знаний, формирования умений и навыков, своевременного выявления преподавателем недостатков в подготовке обучающихся и принятия необходимых мер по ее корректировке, а также для совершенствования методики обучения, организации учебной работы, и фиксируется в форме контрольной точки не менее одного раза в семестр.

### **4. Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации**

3 семестр.

#### **4.1. Опрос №1**

##### **ВАРИАНТ №1**

1. Сколько орбиталей и каково максимальное количество электронов в К- оболочке?
2. Назовите какие носители являются основными в собственном полупроводнике.
3. Поясните суть адиабатического приближения, используемого при решении уравнения Шредингера для кристалла.
4. Заполните пробел в фразе:  
«Энергетический спектр электронов в твердом теле представляет собой чередование ..... и ..... зон».
5. Закончите фразу:  
«Наивысшая энергетическая зона в твердом теле, которая целиком заполнена электронами в основном состоянии называется .....».

##### **ВАРИАНТ №2**

1. Сколько орбиталей и каково максимальное количество электронов в L – оболочке?
2. Назовите какие носители являются основными в примесном полупроводнике.
3. Поясните суть валентной аппроксимации, используемой при решении уравнения Шредингера для кристалла.

4. Заполните пробел в фразе:

«Энергетический спектр электронов внутри разрешенной зоны .....

(подсказка: дискретен или непрерывен или квазинепрерывен).

5. Закончите фразу:

«Самая нижняя энергетическая зона в твердом теле, которая содержит свободные от электронов уровни в основном состоянии называется .....

### ВАРИАНТ № 3

1. Сколько орбиталей и каково максимальное количество электронов в M- оболочке?
2. Назовите какие носители являются основными в донорном полупроводнике.
3. Поясните суть одноэлектронного приближения, используемого при решении уравнения Шредингера для кристалла.

4. Заполните пробел в фразе:

«Если P (величина, обратная прозрачности потенциального барьера) равна  $\infty$ , то это случай ..... (подсказка: абсолютно свободных электронов или абсолютно связанных электронов или сильно связанных электронов)».

5. Закончите фразу:

«Принципиальная разница между диэлектриками и полупроводниками с одной стороны и проводниками с другой стороны заключается в том, что в основном состоянии у проводников в зоне проводимости .....

### ВАРИАНТ № 4

1. Сколько орбиталей и каково максимальное количество электронов в N – оболочке?
2. Назовите какие носители являются основными в акцепторном полупроводнике.
3. Поясните суть введения самосогласованного потенциала, используемого при решении уравнения Шредингера для кристалла.

4. Заполните пробел в фразе:

«График зависимости энергии электрона от волнового вектора представляет собой .....» (подсказка: параболу или гиперболу или экспоненту).

5. Закончите фразу:

«С точки зрения зонной теории твердого тела разница между диэлектриками и полупроводниками заключается в величине их .....

## 4.2. Опрос №2

### ВАРИАНТ №1.

1. Назовите какие носители являются основными в собственном полупроводнике.
2. При возрастании температуры удельное сопротивление металлов ..... (возрастает? убывает? не изменяется?), а собственных полупроводников - ..... (возрастает? убывает? не изменяется?).
3. В чем, согласно зонной теории, заключается разница между проводниками и диэлектриками?
4. Заполните пробел в фразе:  
«Внутри разрешенной зоны в результате теплового возбуждения электроны могут переходить на более высокие энергетические уровни, если на этих уровнях .....
5. Заполните пробел в фразе:  
«Энергетический спектр электронов в твердом теле представляет собой чередование ..... и ..... зон».
6. Электропроводность при более низких температурах появляется быстрее у полупроводника ..... (собственного, донорного, акцепторного).

### ВАРИАНТ №2 .

1. Назовите, какие носители являются основными в примесном полупроводнике.
2. При возрастании температуры удельное сопротивление металлов ..... (возрастает? убывает? не изменяется?), а примесных полупроводников ..... (возрастает? убывает? не изменяется?).
3. В чем, согласно зонной теории, заключается разница между проводниками и полупроводниками?
4. Заполните пробел в фразе:  
«Если в зоне нет ни одного электрона, то при наложении электрического поля эта зона ..... (дает? не дает?) вклад в электропроводность кристалла».
5. Заполните пробел в фразе:  
«Энергетический спектр электронов внутри разрешенной зоны .....

(подсказка: дискретен или непрерывен или квазинепрерывен).
7. Электропроводность донорного полупроводника при низких температурах обусловлена свободными .....(электронами, дырками)

### ВАРИАНТ № 3.

1. Назовите какие носители являются основными в донорном полупроводнике.
2. При возрастании температуры удельное сопротивление металлов ..... (возрастает? убывает? не изменяется?), а донорных полупроводников - ..... (возрастает? убывает? не изменяется?).
3. В чем, согласно зонной теории, заключается разница между полупроводниками и диэлектриками?
4. Заполните пробел в фразе:  
«Если в зоне все возможные состояния заполнены электронами, то эта зона при наложении электрического поля ..... (дает? не дает?) вклад в электропроводность кристалла».
5. Закончите фразу:  
«Самая нижняя энергетическая зона в твердом теле, которая содержит свободные от электронов уровни в основном состоянии называется .....».
6. При высоких температурах в собственном полупроводнике основными носителями являются .....

#### ВАРИАНТ № 4.

1. Назовите какие носители являются основными в акцепторном полупроводнике.
2. При возрастании температуры удельное сопротивление металлов ..... (возрастает? убывает? не изменяется?), а акцепторных полупроводников - ..... (возрастает? убывает? не изменяется?).
3. В чем, согласно зонной теории, заключается разница между полупроводниками и диэлектриками с одной стороны и проводниками с другой стороны?
4. Заполните пробел в фразе:  
«Электроны можно считать электронами проводимости только в том случае, если они находятся в ..... разрешенной зоне».
5. Закончите фразу:  
«Наивысшая энергетическая зона в твердом теле, которая целиком заполнена электронами в основном состоянии называется .....».
6. Электропроводность акцепторного полупроводника при низких температурах обусловлена свободными ..... (электронами, дырками).

### 4.3. Опрос №3

#### ВАРИАНТ №1.

1. В полупроводнике энергетическая плотность состояний по мере удаления от нижнего края зоны проводимости ..... (уменьшается, увеличивается, остается постоянной).
2. В случае невырожденного полупроводника к электронам применима статистика ..... (только Ферми-Дирака, только Максвелла-Больцмана, обе выше перечисленные).
3. В полупроводниках в основном состоянии все разрешенные уровни с энергией большей энергии Ферми ..... (полностью заполнены, частично заполнены, совсем не

заполнены) электронами.

4. Если уровень Ферми находится посередине запрещенной зоны, то это означает что полупроводник - ..... (собственный, невырожденный донорный, невырожденный акцепторный, частично вырожденный донорный, частично вырожденный акцепторный, полностью вырожденный).

5. Электропроводность при более низких температурах появляется у полупроводника .....(собственного, примесного, только донорного, только акцепторного).

#### ВАРИАНТ №2 .

1. В полупроводнике энергетическая плотность состояний по мере удаления от верхнего края валентной зоны .....(уменьшается, увеличивается, остается постоянной).

2. В случае вырожденного полупроводника к электронам применима статистика ..... (только Ферми-Дирака, только Максвелла-Больцмана, обе выше перечисленные).

3. В полупроводниках в основном состоянии все разрешенные уровни с энергией меньшей энергии Ферми .....(полностью заполнены, частично заполнены, совсем не заполнены) электронами.

4. Если уровень Ферми находится в запрещенной зоне вблизи дна зоны проводимости (но не ближе  $2kT$ ), то это означает, что полупроводник - ..... (собственный, невырожденный донорный, невырожденный акцепторный, частично вырожденный донорный, частично вырожденный акцепторный, полностью вырожденный).

5. При высоких температурах в собственном полупроводнике основными носителями являются .....

#### ВАРИАНТ № 3.

1. В полупроводнике энергетическая плотность состояний вблизи нижнего края зоны проводимости .....(минимальна, максимальна, одинакова во всей зоне).

2. В случае собственного полупроводника к электронам применима статистика ..... (только Ферми-Дирака, только Максвелла-Больцмана, обе выше перечисленные).

3. В диэлектриках в основном состоянии все разрешенные уровни с энергией большей энергии Ферми .....(полностью заполнены, частично заполнены, совсем не заполнены) электронами.

4. Если уровень Ферми находится в запрещенной зоне вблизи потолка валентной зоны (но не ближе  $2kT$ ), то это означает, что полупроводник - ..... (собственный, невырожденный донорный, невырожденный акцепторный, частично вырожденный донорный, частично вырожденный акцепторный, полностью вырожденный).

5. Электропроводность донорного полупроводника при низких температурах обусловлена свободными .....(дырками, электронами).

#### ВАРИАНТ № 4.

1. В полупроводнике энергетическая плотность состояний вблизи верхнего края валентной зоны .....(минимальна, максимальна, одинакова во всей зоне).

2. В случае невырожденного примесного полупроводника к электронам применима статистика ..... (только Ферми-Дирака, только Максвелла-Больцмана, обе выше перечисленные).

3. В диэлектриках в основном состоянии все разрешенные уровни с энергией меньшей энергии Ферми .....(полностью заполнены, частично заполнены,

совсем не заполнены) электронами.

4. Если уровень Ферми находится в запрещенной зоне вблизи потолка валентной зоны (причем ближе, чем  $2kT$ ), то это означает, что полупроводник - ..... (собственный, невырожденный донорный, невырожденный акцепторный, частично вырожденный донорный, частично вырожденный акцепторный, полностью вырожденный).

5. Электропроводность акцепторного полупроводника при низких температурах обусловлена свободными .....(дырками, электронами).

#### 4.4.Опрос №4

##### ВАРИАНТ №1.

1. В р-п переходе при прямом смещении преобладает ..... компонента тока (диффузионная, дрейфовая, не та и не другая).

2. В случае подачи на р-п переход прямого смещения потенциальный барьер для основных носителей заряда ..... (уменьшается, увеличивается, остается неизменным).

3. Если на поверхности полупроводника концентрация основных носителей больше, чем концентрация основных носителей в объеме, то это ..... (обогащение, обеднение, слабая инверсия, сильная инверсия).

4. Если уровень Ферми находится в зоне проводимости, то это означает что полупроводник -

..... (собственный, невырожденный донорный, невырожденный акцепторный, частично вырожденный донорный, частично вырожденный акцепторный, полностью вырожденный).

5. Барьерная емкость – это емкость р-п перехода ..... (в отсутствие смещения, при прямом смещении, при обратном смещении).

##### ВАРИАНТ №2 .

1. В р-п переходе при обратном смещении преобладает ..... компонента тока (диффузионная, дрейфовая, не та и не другая).

2. В случае подачи на барьер Шоттки обратного смещения потенциальный барьер для основных носителей заряда ..... (уменьшается, увеличивается, остается неизменным).

3. Если на поверхности полупроводника концентрация основных носителей меньше, чем концентрация основных носителей в объеме, но больше, чем концентрация на поверхности неосновных носителей, то это ..... (обогащение, обеднение, слабая инверсия, сильная инверсия).

4. Если уровень Ферми находится в запрещенной зоне вблизи дна зоны проводимости (но не ближе  $2kT$ ), то это означает, что полупроводник - ..... (собственный, невырожденный донорный, невырожденный акцепторный, частично вырожденный донорный, частично вырожденный акцепторный, полностью вырожденный).

5. Диффузионная емкость – это емкость р-п перехода ..... (в отсутствие смещения, при прямом смещении, при обратном смещении).

##### ВАРИАНТ № 3.

1. В р-п переходе при прямом смещении преобладает ток ..... носителей тока (основных, неосновных, вклад обоих одинаков).

2. . В случае подачи на барьер Шоттки прямого смещения потенциальный барьер для основных носителей заряда ..... (уменьшается, увеличивается, остается неизменным).

3. Если на поверхности полупроводника концентрация неосновных носителей больше, чем концентрация основных, но меньше, чем концентрация основных носителей в объеме, то это



..... (обогащение, обеднение, слабая инверсия, сильная инверсия).

4. Если уровень Ферми находится в запрещенной зоне вблизи потолка валентной зоны (но не ближе  $2kT$ ), то это означает, что полупроводник - .....  
(собственный, невырожденный донорный, невырожденный акцепторный, частично вырожденный донорный, частично вырожденный акцепторный, полностью вырожденный).
5. Барьерная емкость р-п перехода обусловлена .....  
(изменением заряда на металлургической границе, изменением заряда ионизованных примесей в ОПЗ, изменением заряда инжектированных через переход свободных носителей заряда).

4 семестр.

Вопросы по курсу «Полупроводниковая электроника».

1. Классификация веществ по удельной электрической проводимости. Полупроводники.
2. Модельное представление и зонная диаграмма собственного полупроводника.
3. Модельное представление и зонная диаграмма донорного полупроводника.
4. Модельное представление и зонная диаграмма акцепторного полупроводника.
5. Зоны разрешенных значений энергии в кристалле. Образование зон энергии из энергетических уровней при сближении атомов.
6. Металлы, диэлектрики и полупроводники с точки зрения зонной теории твердых тел.
7. Главная задача статистики электронов и дырок в кристаллах. Функции плотности состояний и функции распределения свободных носителей заряда.
8. Расчет концентрации носителей заряда в собственном полупроводнике.
9. Расчет концентрации носителей заряда в примесном полупроводнике.
10. Температурная зависимость электропроводности в собственном полупроводнике. Модельные представления и зонные диаграммы процесса нагревания.
11. Температурная зависимость электропроводности в донорном полупроводнике. Модельные представления и зонные диаграммы процесса нагревания.
12. Температурная зависимость электропроводности в акцепторном полупроводнике. Модельные представления и зонные диаграммы процесса нагревания.
13. Положение уровня Ферми в собственном и примесном полупроводнике.
14. Электропроводность полупроводников. Токи в полупроводниках.
15. Неравновесные носители заряда в полупроводниках. Уравнение непрерывности.
16. Внешняя и термодинамическая работы выхода в полупроводниках n- и p-типа. Уравнение Ричардсона.
17. Эффект поля. Зонная диаграмма при эффекте поля.
18. Контакт металл-полупроводник. Барьер Шоттки.
19. Зонная диаграмма барьера Шоттки при внешнем напряжении.
20. Вольт-амперная характеристика барьера Шоттки.
21. Образование и зонная диаграмма р-п перехода.
22. Физический и металлургический р-п переход. Симметричный и несимметричный р-п переход.
23. Компоненты тока в р-п переходе в равновесном и неравновесном (при наличии внешнего напряжения) состоянии.
24. Вольт-амперная характеристика р-п перехода.
25. Барьерная и диффузионная емкости р-п перехода.
26. Гетеропереходы. Определение, условия практического существования, области применения.
27. Гетеропереходы. Примеры зонных диаграмм и области применения.
28. Виды излучательной и безызлучательной рекомбинации. Внутренний квантовый выход люминесценции полупроводникового материала.

29. Рекомбинационное излучение полупроводников при фундаментальных переходах. Прямые и непрямые переходы.
30. Рекомбинационное излучение при переходах между зоной и примесными уровнями.
31. Спектр рекомбинационного излучения.
32. Механизмы инжекции неосновных носителей заряда в излучающем диоде.
33. Мощность излучения диода. Внутренний и внешний квантовые выходы, эффективность инжекции, коэффициент вывода излучения.
34. Спонтанное и вынужденное излучение атома. Инверсионная заселенность энергетических уровней. Трехуровневая система.
35. Условия создания инверсионной заселенности уровней в лазерных полупроводниковых диодах. Зависимость интенсивности излучения полупроводникового лазера от уровня возбуждения.
36. Внутренний фотоэффект. Собственное, примесное и экситонное поглощение и их вклад в фотопроводимость.
37. Фотопроводимость. Фоторезистивный эффект.
38. Влияние поверхностной рекомбинации и диффузии носителей заряда на спектральные характеристики фототока.
39. Характеристики и параметры фоторезисторов. Релаксация фотопроводимости.
40. Фотоэффект в p-n переходе. Фотогальванический режим. Вентильная фото-ЭДС. Солнечные батареи.
41. Фотодиодный режим полупроводникового диода. Характеристики полупроводникового фотодиода как приемника оптического излучения.