

3.2. СТРУКТУРА И СОСТАВ ФОНДОВ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Фонды оценочных средств по дисциплине представляют собой варианты экзаменационных билетов, перечень вопросов для рейтинговых и контрольных мероприятий.

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана	
ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 1	
По курсу «Физические основы микро- и нанoeлектроники»	
1. Приближение сильной связи. 2. Контакт электронного и дырочного полупроводников. 3. Устройства спинэлектроники.	
Утверждаю	В.А. Шахнов
Билет рассмотрен и утвержден на заседании кафедры «__» _____ г.	

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана	
ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 2	
По курсу «Физические основы микро- и нанoeлектроники»	
1. Приближение слабой связи. 2. $p-n$ -переход в равновесном состоянии. 3. Углеродные нанотрубки.	
Утверждаю	В.А. Шахнов
Билет рассмотрен и утвержден на заседании кафедры «__» _____ г.	

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана	
ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 3	
По курсу «Физические основы микро- и нанoeлектроники»	
1. Зоны Бриллюэна. 2. Зависимость контактной разности потенциалов от концентрации примеси в полупроводниках. 3. Классификация наноматериалов.	
Утверждаю	В.А. Шахнов
Билет рассмотрен и утвержден на заседании кафедры «__» _____ г.	

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана	
ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 4	
По курсу «Физические основы микро- и нанoeлектроники»	
1. Эффективная масса. 2. $p-n$ -переход при прямом смещении. 3. Причины резкого изменения свойств материалов при переходе к наноразмеру.	
Утверждаю	В.А. Шахнов
Билет рассмотрен и утвержден на заседании кафедры «__» _____ г.	

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана	
ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 5	
По курсу «Физические основы микро- и нанoeлектроники»	
1. Зонная схема кристаллических тел, полупроводники, проводники, диэлектрики. 2. $p-n$ -переход при обратном смещении. 3. Полупроводниковые сверхрешетки.	
Утверждаю	В.А. Шахнов
Билет рассмотрен и утвержден на заседании кафедры «__» _____ г.	

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана	
ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 6	
По курсу «Физические основы микро- и нанoeлектроники»	
<ol style="list-style-type: none"> 1. Зависимость концентрации свободных носителей в полупроводнике от положения уровня Ферми. 2. ВАХ тонкого $p-n$-перехода. Зависимость избыточной концентрации неосновных носителей от расстояния от $p-n$-перехода. 3. Нульмерный 0D-объект. 	
Утверждаю	В.А. Шахнов
Билет рассмотрен и утвержден на заседании кафедры «__» _____ г.	

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана	
ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 7	
По курсу «Физические основы микро- и нанoeлектроники»	
<ol style="list-style-type: none"> 1. Положение уровня Ферми и концентрация носителей в собственных полупроводниках. 2. ВАХ тонкого $p-n$-перехода. Формула вольт-амперной характеристики для прямого и обратного тока диода. 3. Одномерный 1D-объект. 	
Утверждаю	В.А. Шахнов
Билет рассмотрен и утвержден на заседании кафедры «__» _____ г.	

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана	
ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 8	
По курсу «Физические основы микро- и нанoeлектроники»	
<ol style="list-style-type: none"> 1. Положение уровня Ферми и концентрация носителей в примесных полупроводниках. 2. Тепловой ток и дифференциальное сопротивление $p-n$-перехода. 3. Двумерный 2D-объект. 	
Утверждаю	В.А. Шахнов
Билет рассмотрен и утвержден на заседании кафедры «__» _____ г.	

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана	
ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 9	
По курсу «Физические основы микро- и нанoeлектроники»	
1. Зависимость концентрации носителей в примесных полупроводниках от температуры. Закон действующих масс. 2. ВАХ $p-n$ -перехода. 3. Соотношение неопределенности Гейзенберга.	
Утверждаю	В.А. Шахнов
Билет рассмотрен и утвержден на заседании кафедры «__» _____ г.	

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана	
ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 10	
По курсу «Физические основы микро- и нанoeлектроники»	
1. Неравновесные носители. Рекомбинация носителей. 2. Поверхностные состояния. 3. Волновые свойства частиц. Уравнение де Бройля.	
Утверждаю	В.А. Шахнов
Билет рассмотрен и утвержден на заседании кафедры «__» _____ г.	

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана	
ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 11	
По курсу «Физические основы микро- и нанoeлектроники»	
1. Рекомбинация носителей. Виды рекомбинации. 2. Пробой $p-n$ -перехода. 3. Дрейфовые и диффузионные составляющие тока в полупроводниках.	
Утверждаю	В.А. Шахнов
Билет рассмотрен и утвержден на заседании кафедры «__» _____ г.	

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана	
ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 12	
По курсу «Физические основы микро- и нанoeлектроники»	
1. Уравнение непрерывности. 2. Эффект поля. МДП-структуры. 3. Влияние сближения атомов на потенциальные барьеры.	
Утверждаю	В.А. Шахнов
Билет рассмотрен и утвержден на заседании кафедры «__» _____ г.	

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана	
ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 13	
По курсу «Физические основы микро- и нанoeлектроники»	
1. Движение электронов под действием внешнего электрического поля. 2. Вольт-фарадные характеристики МДП-структур. 3. Электропроводность примесных полупроводников.	
Утверждаю	В.А. Шахнов
Билет рассмотрен и утвержден на заседании кафедры «__» _____ г.	

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана	
ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 14	
По курсу «Физические основы микро- и нанoeлектроники»	
1. Зависимость подвижности носителей от температуры. 2. Полевые транзисторы. Общие сведения. 3. Отличия температурных зависимостей электропроводности металлов и полупроводников.	
Утверждаю	В.А. Шахнов
Билет рассмотрен и утвержден на заседании кафедры «__» _____ г.	

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана	
ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 15	
По курсу «Физические основы микро- и нанoeлектроники»	
1. Основные механизмы рассеяния носителей. Подвижность носителей. 2. Полевые транзисторы с изолированным затвором. 3. Температурный метод определения ширины запрещенной зоны полупроводника.	
Утверждаю	В.А. Шахнов
Билет рассмотрен и утвержден на заседании кафедры «__» _____ г.	

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана	
ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 16	
По курсу «Физические основы микро- и нанoeлектроники»	
1. Электропроводность чистых металлов. 2. Статические характеристики МДП-транзисторов. 3. Основные и неосновные носители в полупроводниках.	
Утверждаю	В.А. Шахнов
Билет рассмотрен и утвержден на заседании кафедры «__» _____ г.	

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана	
ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 17	
По курсу «Физические основы микро- и нанoeлектроники»	
1. Электропроводность собственных полупроводников. 2. Полевые транзисторы с управляющим $p-n$ -переходом. 3. Температурная зависимость концентрации носителей в примесных полупроводниках.	
Утверждаю	В.А. Шахнов
Билет рассмотрен и утвержден на заседании кафедры «__» _____ г.	

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана	
ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 18	
По курсу «Физические основы микро- и наноэлектроники»	
1. Электропроводность примесных полупроводников. 2. Перенос носителей через тонкие диэлектрические пленки. Эмиссия Шоттки, эмиссия Пула — Френкеля. 3. Концентрация носителей в примесных полупроводниках в зависимости от температуры.	
Утверждаю	В.А. Шахнов
Билет рассмотрен и утвержден на заседании кафедры «__» _____ г.	

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана	
ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 19	
По курсу «Физические основы микро- и наноэлектроники»	
1. Уравнение токов в полупроводниках. 2. Сильнополевая туннельная инжекция. 3. Положение уровня Ферми в примесных полупроводниках в зависимости от температуры.	
Утверждаю	В.А. Шахнов
Билет рассмотрен и утвержден на заседании кафедры «__» _____ г.	

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана	
ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 20	
По курсу «Физические основы микро- и наноэлектроники»	
1. Составляющие плотности тока в полупроводниках. Электрическое поле объемных зарядов. 2. Эффект поля. МДП-структуры. 3. Уровень Ферми и равновесная концентрация носителей в невырожденных собственных полупроводниках.	
Утверждаю	В.А. Шахнов
Билет рассмотрен и утвержден на заседании кафедры «__» _____ г.	

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана	
ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 21	
По курсу «Физические основы микро- и нанoeлектроники»	
1. Кулоновская блокада. 2. Углеродные нанотрубки. 3. Закон действующих масс в полупроводниках.	
Утверждаю	В.А. Шахнов
Билет рассмотрен и утвержден на заседании кафедры «__» _____ г.	

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана	
ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 22	
По курсу «Физические основы микро- и нанoeлектроники»	
1. Одноэлектронный транзистор. 2. Графен. 3. Зависимость положения уровня Ферми в собственном полупроводнике от температуры.	
Утверждаю	В.А. Шахнов
Билет рассмотрен и утвержден на заседании кафедры «__» _____ г.	

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана	
ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 23	
По курсу «Физические основы микро- и нанoeлектроники»	
1. Устройства молекулярной электроники. 2. Фуллерены и фуллериты. 3. Собственные и примесные полупроводники.	
Утверждаю	В.А. Шахнов
Билет рассмотрен и утвержден на заседании кафедры «__» _____ г.	

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана	
ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 24	
По курсу «Физические основы микро- и наноэлектроники»	
1. Устройства спинэлектроники. 2. Основные виды наносенсоров и области их применения. 3. Положение уровня Ферми в собственном полупроводнике.	
Утверждаю	В.А. Шахнов
Билет рассмотрен и утвержден на заседании кафедры «__» _____ г.	

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана	
ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 25	
По курсу «Физические основы микро- и наноэлектроники»	
1. Зонная схема кристаллических тел. 2. Необходимые условия для возникновения проводимости. 3. Понятие дырки в полупроводнике. Механизм образования дырки.	
Утверждаю	В.А. Шахнов
Билет рассмотрен и утвержден на заседании кафедры «__» _____ г.	

3.3. СПЕЦИФИКАЦИЯ УЧЕБНЫХ ВИДЕО- И АУДИОМАТЕРИАЛОВ, СЛАЙДОВ, ЭСКИЗОВ, ПЛАКАТОВ И ДРУГИХ ДИДАКТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

В данном подразделе приведен типовой пример оформления слайдов к лекциям по курсу «Физические основы микроэлектроники». На первой лекции необходимо ознакомить студентов с целью и задачами курса, а также дать краткую информацию по структуре курса. Рекомендуемая структура для оформления схемы слайда приведена на рис. 3.1.

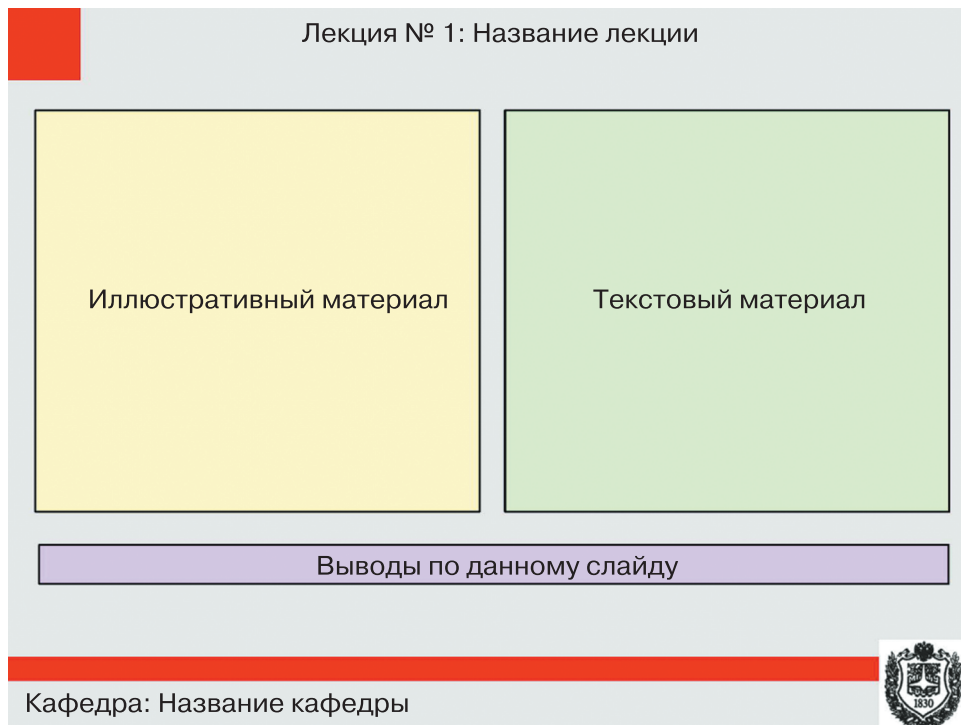


Рис. 3.1. Концептуальная схема слайда к лекции

В типовую структуру слайда рекомендуется включать название лекции, название кафедры, университета. Спецификация слайдов к лекциям приведена в табл. 3.6, примеры оформления — на рис. 3.2–3.21. С мультимедийными материалами к лекции можно ознакомиться на портале e-learning.bmstu.ru.

Таблица 3.6

Спецификация слайдов к лекциям

Название лекции	Число слайдов
1. Элементы квантовой механики и физической статистики	29
1.1. Волновые свойства частиц, уравнение Шредингера	5
1.2. Соотношение неопределенности Гейзенберга	3
1.3. Потенциальные барьеры для микрочастиц	7
1.4. Функция Ферми	4
1.5. Фазовая и групповая скорости, фононы	6
1.6. Низкоразмерные объекты: квантовая яма, квантовая нить, квантовая точка	4
2. Элементы зонной теории твердых тел	38
2.1. Электронный газ в периодическом потенциальном поле	9
2.2. Зоны Бриллюэна	7
2.3. Эффективная масса электрона	6
2.4. Зонная схема кристаллических тел – проводники, диэлектрики, полупроводники	7
2.5. Плотность состояний	9
3. Статистика электронов и дырок в полупроводниках	37
3.1. Собственные и примесные полупроводники	5
3.2. Зависимость концентрации свободных носителей в полупроводнике от положения уровня Ферми	8
3.3. Уровень Ферми и равновесная концентрация носителей в невырожденных собственных полупроводниках	4
3.4. Положение уровня Ферми и концентрация носителей в примесных полупроводниках	8
3.5. Неравновесные носители, рекомбинация носителей	3
3.6. Поверхностная рекомбинация	5
3.7. Уравнение непрерывности	4
4. Электропроводность твердых тел	31
4.1. Движение электронов под действием внешнего поля	5
4.2. Зависимость подвижности носителей заряда от температуры	6
4.3. Электропроводность чистых металлов	4
4.4. Электропроводность собственных полупроводников	3
4.5. Электропроводность примесных полупроводников	7
4.6. Диффузионные уравнения	6
5. Контактные явления	24
5.1. Контакт электронного и дырочного полупроводников	3
5.2. Равновесное состояние $p-n$ -перехода	5
5.3. Зонная диаграмма $p-n$ -перехода при приложении внешнего поля	4
5.4. ВАХ тонкого $p-n$ -перехода	5
5.5. Барьерная и диффузионная емкость $p-n$ -перехода	7

ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МИКРО- И НАНОЭЛЕКТРОНИКИ

Доцент каф. ИУ4 Жалнин Владимир Петрович

Кафедра ИУ4 «Проектирование и технология производства электронной аппаратуры» (<http://nanotech.iu4.bmstu.ru>)

МГТУ
им. Н.Э. Баумана

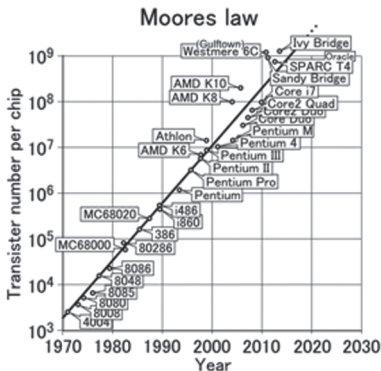
Рис. 3.2. Пример информационного слайда к вводной лекции

Вводная лекция

Лекция № 1

Исторические аспекты развития микроэлектроники

Развитие микроэлектроники сопровождалось ростом степени интеграции при одновременном уменьшении минимального размера элементов интегральных схем.



Кафедра ИУ4 «Проектирование и технология производства электронной аппаратуры» (<http://nanotech.iu4.bmstu.ru>)

МГТУ
им. Н.Э. Баумана

Рис. 3.3. Примеры информационного слайда к лекции № 1

«Элементы квантовой механики и физической статистики»

Лекция № 3

Уравнение
Шрёдингера

«Если электрон можно описать как волну, то как выглядит его волновое уравнение?» Питер Девай, 1926 г.



Нобелевский лауреат
Erwin Rudolf Josef Alexander Schrodinger (1887–1961)

Для микрочастицы, движущейся в силовом поле и обладающей потенциальной энергией $u(x, y, z, t)$, уравнение имеет вид

$$-i\hbar \frac{\partial \Psi}{\partial t} = \frac{\hbar^2}{2m} \left(\frac{\partial^2 \Psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \Psi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \Psi}{\partial z^2} \right) - u(x, y, z, t) \Psi,$$

где $i = \sqrt{-1}$; \hbar – постоянная Планка, деленная на 2π (приведенная постоянная Планка или постоянная Дирака);

$\Psi(x, y, z, t)$ – является решением этого уравнения и называется волновой функцией.

Кафедра ИУ4 «Проектирование и технология производства электронной аппаратуры» (<http://nanotech.iu4.bmstu.ru>)

МГТУ
им. Н.Э. Баумана

Рис. 3.4. Примеры информационного слайда к лекции № 3

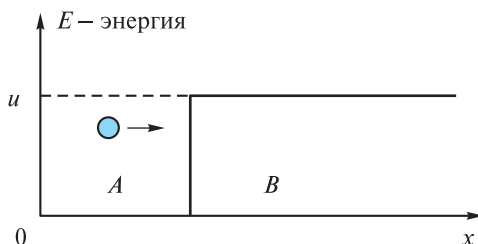
«Элементы квантовой механики и физической статистики»

Лекция № 4

Потенциальные барьеры для микрочастиц

Прямоугольный барьер полубесконечной толщины

Пусть в области A микрочастица имеет потенциальную энергию, равную нулю, а в области B – равную u



Кафедра ИУ4 «Проектирование и технология производства электронной аппаратуры» (<http://nanotech.iu4.bmstu.ru>)

МГТУ
им. Н.Э. Баумана

Рис. 3.5. Примеры информационного слайда к лекции № 4

«Элементы квантовой механики и физической статистики» — Лекция № 5

Функция Ферми

$$f_F = \frac{1}{e^{\frac{E-E_F}{kT}} + 1}$$

График изменения функции Ферми при различных температурах

Кафедра ИУ4 «Проектирование и технология производства электронной аппаратуры» (<http://nanotech.iu4.bmstu.ru>)

МГТУ
им. Н.Э. Баумана

Рис. 3.6. Примеры информационного слайда к лекции № 5

«Элементы квантовой механики и физической статистики» — Лекция № 6

Элементы зонной теории твердых тел

Электронный газ в периодическом потенциальном поле

Потенциальные ямы атомов, удаленных на значительное расстояние друг от друга

Кафедра ИУ4 «Проектирование и технология производства электронной аппаратуры» (<http://nanotech.iu4.bmstu.ru>)

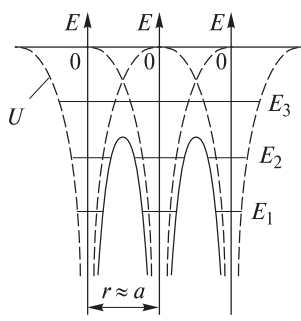
МГТУ
им. Н.Э. Баумана

Рис. 3.7. Примеры информационного слайда к лекции № 6

«Элементы квантовой механики и физической статистики» — Лекция № 7

Элементы зонной теории твердых тел

Электронный газ в периодическом потенциальном поле



Потенциальные ямы атомов, находящихся на расстоянии, равном постоянной решетки

Кафедра ИУ4 «Проектирование и технология производства электронной аппаратуры» (<http://nanotech.iu4.bmstu.ru>)

МГТУ
им. Н.Э. Баумана

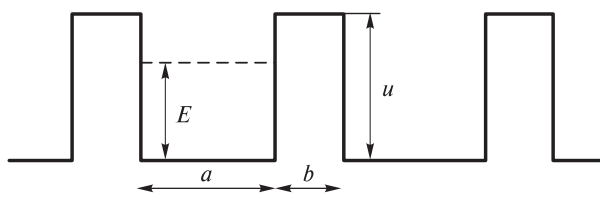
a

«Элементы квантовой механики и физической статистики» — Лекция № 7

Элементы зонной теории твердых тел

Приближение слабой связи

В рамках приближения слабой связи описывается состояние квазисвободного электрона, движущегося в периодическом поле кристаллической решетки



Модель потенциального рельефа Кронига – Пенни

Уравнение Шрёдингера для циклических граничных условий:

$$\frac{\partial^2 \Psi}{\partial x^2} + \frac{2m}{\hbar^2} (E - u) \Psi = 0$$

Кафедра ИУ4 «Проектирование и технология производства электронной аппаратуры» (<http://nanotech.iu4.bmstu.ru>)

МГТУ
им. Н.Э. Баумана

б

Рис. 3.8. Примеры информационного слайда к лекции № 7

«Элементы квантовой механики и физической статистики» — Лекция № 8

Элементы зонной теории твердых тел

Варианты приближений

<p>Адиабатическое приближение — основано на том, что масса ядра в атоме намного больше массы электрона, поэтому скорость движения ядра уступает примерно на два порядка скорости движения электронов. Это позволяет в первом приближении рассматривать только движение электронов в поле неподвижных ядер</p>	<p>Одноэлектронное, или метод Хартри — Фока — в этой модели энергия попарного взаимодействия электронов в кристаллической решетке заменяется взаимодействием одного электрона с усредненным самосогласованным полем всех остальных электронов</p>
<p>Приближения сильной связи — предполагается, что электроны находятся в потенциальных ямах своих атомов (являются квазисвязанными)</p>	<p>Приближения слабой связи — описывают состояние квазисвободного электрона, движущегося в периодическом поле кристаллической решетки</p>

Кафедра ИУ4 «Проектирование и технология производства электронной аппаратуры» (<http://nanotech.iu4.bmstu.ru>)

МГТУ
им. Н.Э. Баумана

a

«Элементы квантовой механики и физической статистики» — Лекция № 8

Элементы зонной теории твердых тел

Зоны Бриллюэна

Зависимость энергии электрона от волнового вектора \vec{k} для разных энергетических зон

Кафедра ИУ4 «Проектирование и технология производства электронной аппаратуры» (<http://nanotech.iu4.bmstu.ru>)

МГТУ
им. Н.Э. Баумана

б

Рис. 3.9 (начало). Примеры информационного слайда к лекции № 8

«Элементы квантовой механики и физической статистики» — Лекция № 8

Элементы зонной теории твердых тел

Зоны Бриллюэна

Дно зоны проводимости

Запрещенная зона

Вершина валентной зоны

E_C

E_V

$1,1 \text{ эВ}$

$k = [000]$

$[111]$ 0 $[100]$ k

Упрощенное изображение энергетической структуры полупроводников

Ширина запрещенной зоны

E_g

Зонная структура кремния для двух направлений в k -пространстве

Кафедра ИУ4 «Проектирование и технология производства электронной аппаратуры» (<http://nanotech.iu4.bmstu.ru>)

МГТУ им. Н.Э. Баумана

6

«Элементы квантовой механики и физической статистики» — Лекция № 8

Элементы зонной теории твердых тел

Эффективная масса электрона

E

k

$-\pi/a$ π/a

v

m^*

$-\pi/a$ π/a

$-\pi/a$ π/a

Зависимости энергии, скорости и эффективной массы электрона от волнового вектора \vec{k}

Кафедра ИУ4 «Проектирование и технология производства электронной аппаратуры» (<http://nanotech.iu4.bmstu.ru>)

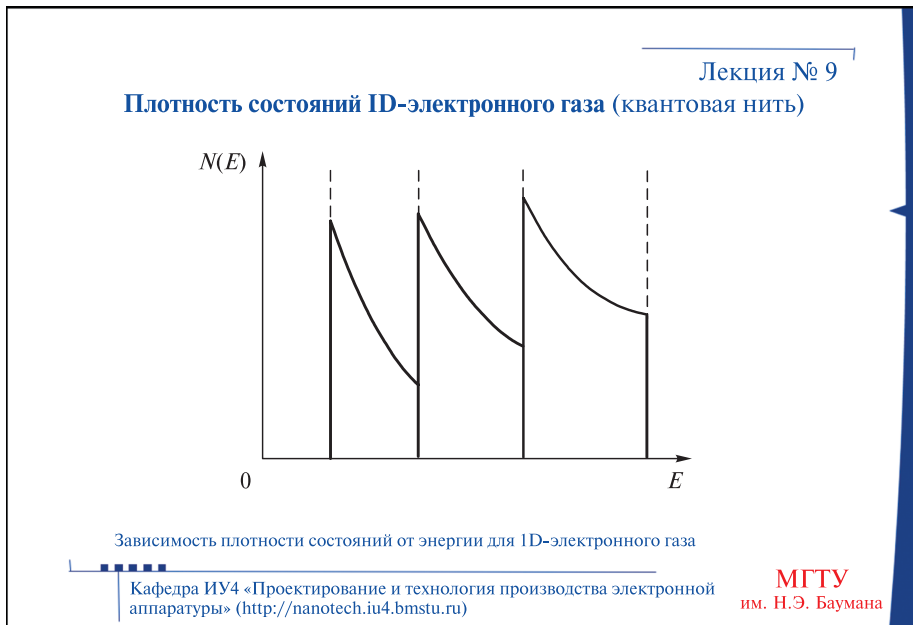
МГТУ им. Н.Э. Баумана

2

Рис. 3.9 (окончание). Примеры информационного слайда к лекции № 8



а



б

Рис. 3.10. Примеры информационного слайда к лекции № 9

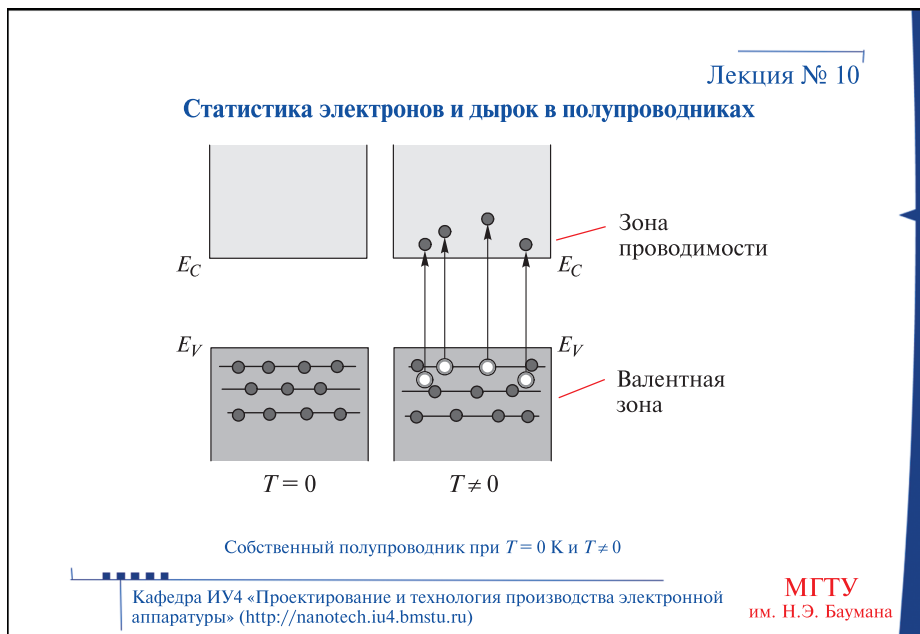


Рис. 3.11. Пример информационного слайда к лекции № 10

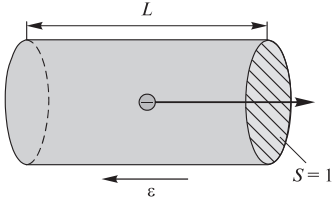


Рис. 3.12. Пример информационного слайда к лекции № 11

Лекция № 12

Электропроводность твердых тел

Зависимость подвижности носителей заряда от температуры



$j = qnV_D = qn\mu\varepsilon$,

где L – длина образующей цилиндра;
 j – плотность тока
 q – заряд электрона
 n – число электронов в единице объема
 V_D – скорость электрона
 μ – подвижность электронов
 ε – напряженность электрического поля

МГТУ
им. Н.Э. Баумана

Кафедра ИУ4 «Проектирование и технология производства электронной аппаратуры» (<http://nanotech.iu4.bmstu.ru>)

а

Лекция № 12

Электропроводность примесных полупроводников

Уравнение непрерывности



T_n – температура истощения примесей
 T_c – температура перехода электронов в зону проводимости

Низкие температуры

Температурная зависимость электропроводности примесного полупроводника

МГТУ
им. Н.Э. Баумана

Кафедра ИУ4 «Проектирование и технология производства электронной аппаратуры» (<http://nanotech.iu4.bmstu.ru>)

б

Рис. 3.13 (начало). Примеры информационного слайда к лекции № 12

Лекция № 12

Диффузионные уравнения

Внешнее поле ϵ Поле объемного заряда ϵ_i

Объемные заряды в полупроводнике

$$j_n = qn\mu_n\epsilon + qD_n \text{grad}(n) = -qn\mu_n \text{grad}(\varphi) + qD_n \text{grad}(n);$$

$$j_p = qp\mu_p\epsilon + qD_p \text{grad}(p) = -qp\mu_p \text{grad}(\varphi) + qD_p \text{grad}(p)$$

Кафедра ИУ4 «Проектирование и технология производства электронной аппаратуры» (<http://nanotech.iu4.bmstu.ru>)

МГТУ
им. Н.Э. Баумана

6

Рис. 3.13 (окончание). Примеры информационного слайда к лекции № 12

Лекция № 13

p-n-переход

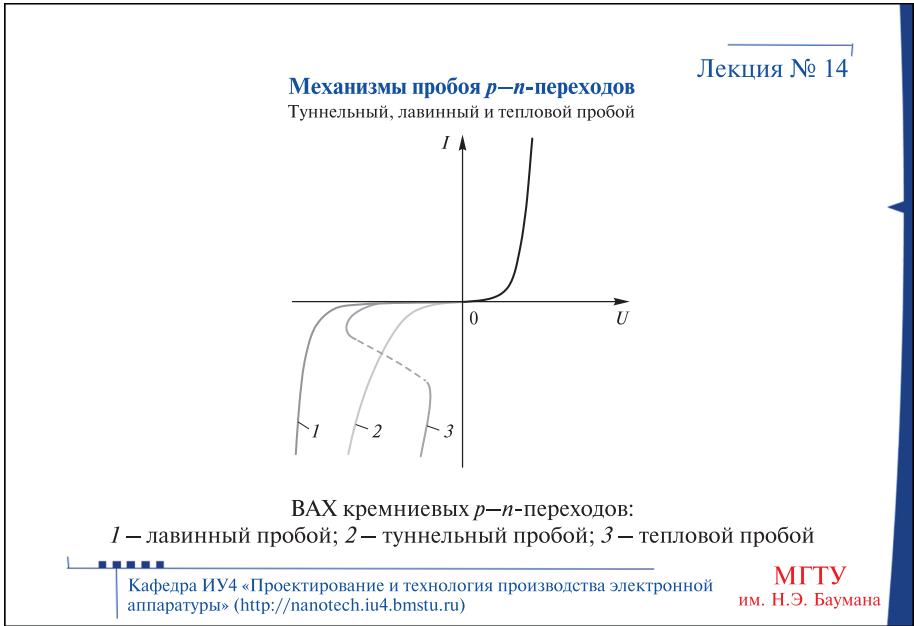
$qU_k = \varphi_0,$
 где U_k – контактная разность потенциалов

Зонная диаграмма p-n-перехода

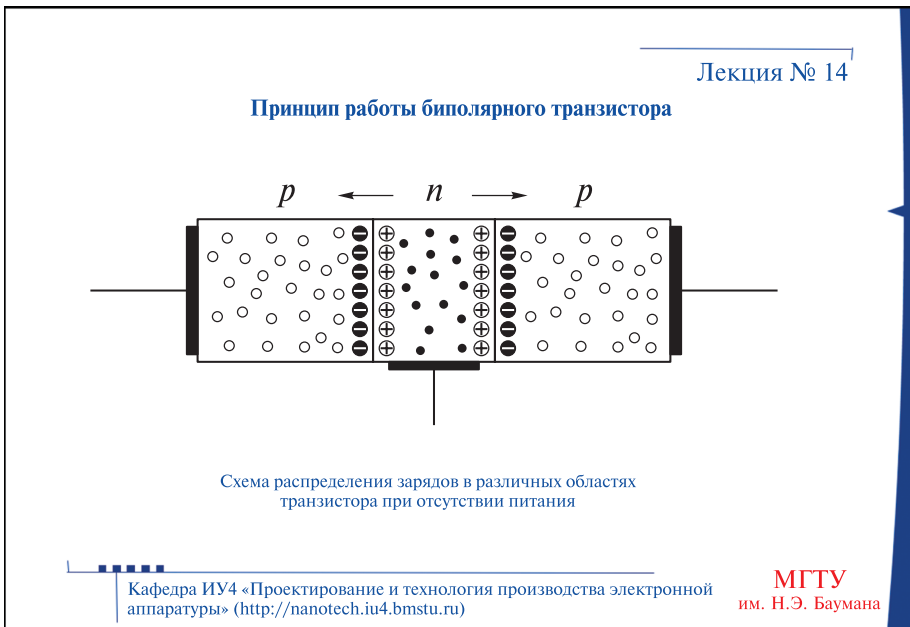
Кафедра ИУ4 «Проектирование и технология производства электронной аппаратуры» (<http://nanotech.iu4.bmstu.ru>)

МГТУ
им. Н.Э. Баумана

Рис. 3.14. Примеры информационного слайда к лекции № 13



а



б

Рис. 3.15. Примеры информационного слайда к лекции № 14

Лекция № 15

Полевые транзисторы с изолированным затвором

$U_{ЗИ} = 0$ Канал закрыт

$U_{ЗИ} < 0$ Канал закрыт

$U_{ЗИ} > 0$ Канал открыт

Структура МДП-транзистора с индуцированным каналом:
 1 – металлизация; 2 – толстый окисел;
 3 – кристалл кремния; 4 – подзатворный диэлектрик

Кафедра ИУ4 «Проектирование и технология производства электронной аппаратуры» (<http://nanotech.iu4.bmstu.ru>)

МГТУ
им. Н.Э. Баумана

Рис. 3.16. Пример информационного слайда к лекции № 15

Лекция № 16

Резонансно-туннельные диоды

РТД – диод с несколькими потенциальными барьерами, в котором реализуются условия для резонансного туннелирования

d_2 (2...5 нм) – потенциальный барьер

d_3 (3...10 нм) – квантовая яма

Структура резонансно-туннельного диода

Кафедра ИУ4 «Проектирование и технология производства электронной аппаратуры» (<http://nanotech.iu4.bmstu.ru>)

МГТУ
им. Н.Э. Баумана

Рис. 3.17. Пример информационного слайда к лекции № 16

Лекция № 17

Одноэлектронный транзистор

Туннельные переходы

И О С

З

Схема включения одноэлектронного транзистора

Кафедра ИУ4 «Проектирование и технология производства электронной аппаратуры» (<http://nanotech.iu4.bmstu.ru>)

МГТУ
им. Н.Э. Баумана

а

Лекция № 17

Молекулярные логические элементы

Вход А Вход Б Выход

S H N C O

С — атом углерода;
Н — атом водорода;
N — атом азота;
S — сера;
O — кислород

Логический элемент «НЕ-И» с двумя входами
Электрон будет проходить через молекулярную цепочку только
в те моменты, когда сигнал на обоих входах отсутствует

Кафедра ИУ4 «Проектирование и технология производства электронной аппаратуры» (<http://nanotech.iu4.bmstu.ru>)

МГТУ
им. Н.Э. Баумана

б

Рис. 3.18. Примеры информационного слайда к лекции № 17

Лекция № 18

Ячейка памяти на основе ГМС-элементов

Ячейка MRAM (размер около 200×200 нм)

MRAM – (англ. *magnetoresistive random-access memory*) – запоминающее устройство с произвольным доступом

Кафедра ИУ4 «Проектирование и технология производства электронной аппаратуры» (<http://nanotech.iu4.bmstu.ru>)

МГТУ
им. Н.Э. Баумана

а

Лекция № 18

Углеродные наноструктуры

Алмаз

Графит

Лонсдейлит

С60 (фуллерены)
С70
С540

Графен

Аморфный углерод

Однослойная углеродная нанотрубка

Аллотропные формы углерода

Кафедра ИУ4 «Проектирование и технология производства электронной аппаратуры» (<http://nanotech.iu4.bmstu.ru>)

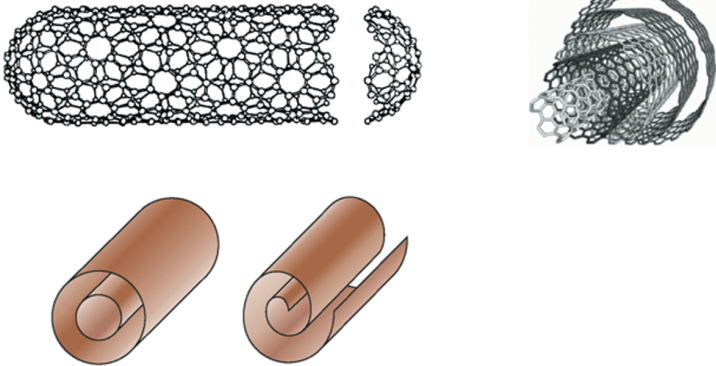
МГТУ
им. Н.Э. Баумана

б

Рис. 3.19 (начало). Примеры информационного слайда к лекции № 18

Лекция № 18

Виды нанотрубок



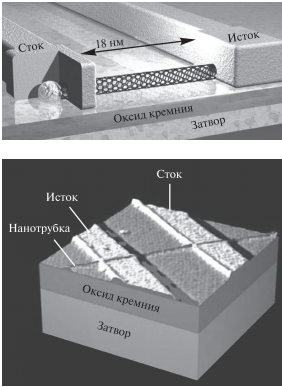
Кафедра ИУ4 «Проектирование и технология производства электронной аппаратуры» (<http://nanotech.iu4.bmstu.ru>)

МГТУ
им. Н.Э. Баумана

6

Лекция № 18

Транзисторы на основе нанотрубок



Транзистор на основе УНТ
(сверху – схема, снизу – лабораторный прототип)

Кафедра ИУ4 «Проектирование и технология производства электронной аппаратуры» (<http://nanotech.iu4.bmstu.ru>)

МГТУ
им. Н.Э. Баумана

2

Рис. 3.19 (окончание). Примеры информационного слайда к лекции № 18

Текст лекции, ее продолжительность, язык и насыщенность фактами и аргументами должны учитывать возрастную и социальный состав аудитории. Не рекомендуется писать весь материал лекции дословно. Бывает, что перед самым началом лекции приходится вносить срочные изменения и сделать их легче в конспекте, чем в дословном тексте. При подготовке текста особое внимание рекомендуется уделять его началу и окончанию. Начало не должно быть слишком затянутым, не следует начинать с общих, всем известных фраз. Необходимо сразу заинтересовать слушателей, показать связь предмета лекции с реальными, известными из повседневной жизни событиями и объектами.

При выступлении необходимо стремиться избегать канцеляризмов, слов типа «значит», «так сказать» и т. д., жаргонных выражений. Живости, ясности выступления способствуют народные поговорки и пословицы, цитаты из литературных произведений и «крылатые слова» великих людей. Но и здесь необходимо знать меру. Считается, что при получасовом выступлении возможно использование двух-трех цитат и до пяти округленных цифр. Как в случае с подготовкой материалов в печать, текст выступления рекомендуется подготавливать за два-три дня в черновом варианте, а затем вновь вернуться к нему.

Психологи отмечают, что внимание аудитории к лектору постепенно начинает снижаться уже через 15 минут после начала лекции. В связи с этим не рекомендуется слишком затягивать свое выступление. Доказано также, что восприятие материала возрастает при комплексности воздействия на органы чувств человека. Поэтому желательно демонстрировать на лекции цветные слайды, видеофильмы, образцы, красочные плакаты и т. п.