



Лекция 8

Тема Лекции: Характеристики идеального диода на основе р n перехода

***к.ф.-м.н., PhD, ассоциированный профессор
Тулегенова Аида Тулегенкызы***

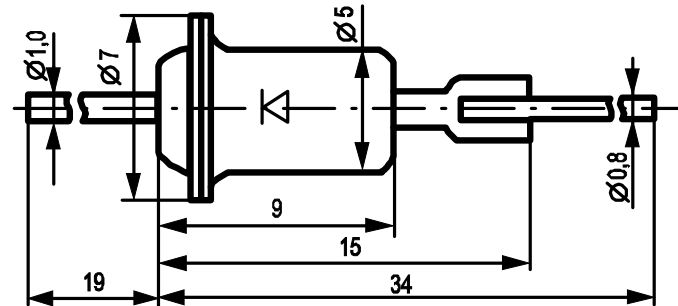
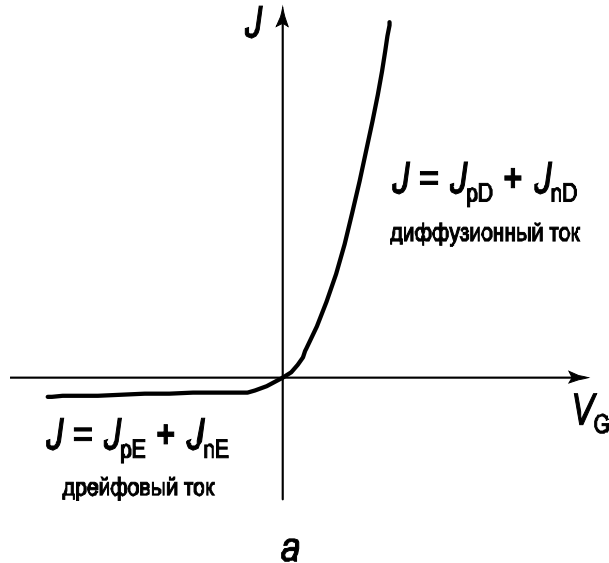
Цель лекции:

Рассмотреть основные физические процессы, определяющие вольтамперные характеристики идеального р–п перехода, вывести уравнение тока диода, обсудить прямое и обратное смещение, а также отклонения реальных диодов от идеализированной модели.

Основные вопросы:

1. Понятие идеального диода.
2. Физические процессы в р–п переходе
3. Уравнение тока идеального диода.
4. Прямое и обратное смещение диода.
5. Вольтамперная характеристика (ВАХ) идеального диода.
6. Температурная зависимость характеристик

Основу **выпрямительного диода** составляет обычный электронно-дырочный переход. В прямом смещении ток диода инжекционный, большой по величине и представляет собой диффузионную компоненту тока основных носителей. При обратном смещении ток диода маленький по величине и представляет собой дрейфовую компоненту тока неосновных носителей. В состоянии равновесия суммарный ток, обусловленный **диффузионными и дрейфовыми токами электронов и дырок**, равен нулю.

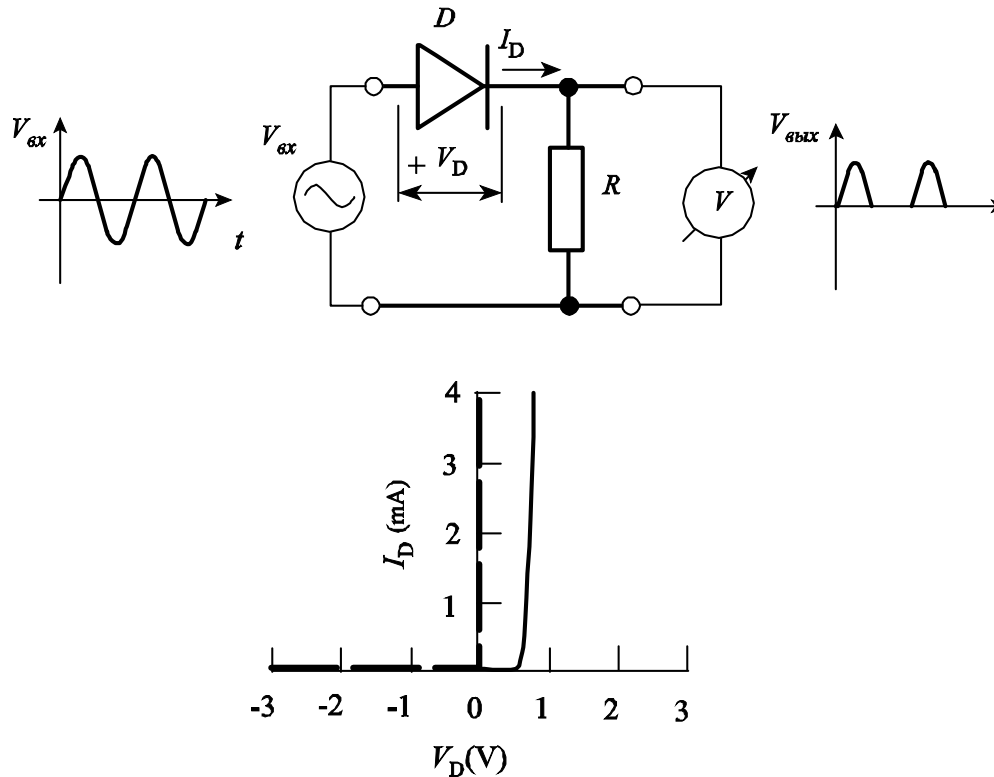


а) вольт-амперная характеристика;

б) конструкция корпуса

Выпрямление в диоде

Одним из главных свойств полупроводникового диода на основе p-n перехода является резкая асимметрия вольт-амперной характеристики: высокая проводимость при прямом смещении и низкая при обратном. Это свойство диода используется в выпрямительных диодах.



Схема, иллюстрирующая выпрямление переменного тока с помощью диода

Характеристическое сопротивление

Различают два вида характеристического сопротивления диодов: дифференциальное сопротивление r_D и сопротивление по постоянному току R_D .

Дифференциальное сопротивление определяется как

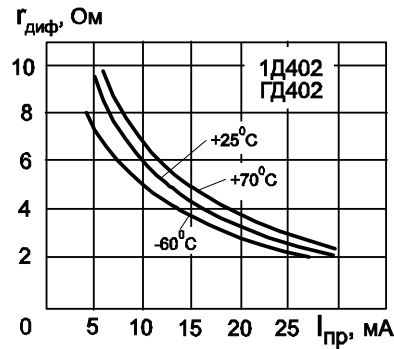
$$r_D = \frac{dU}{dI} = \left[\frac{dI}{dU} \right]^{-1} = \beta j_s e^{\beta V} + j_s - j_s = [\beta(I + I_s)]^{-1} = \frac{kT / q}{I + I_s}$$

Сопротивление по постоянному току R_D определяется как отношение приложенного напряжения V_G к протекающему току I через диод:

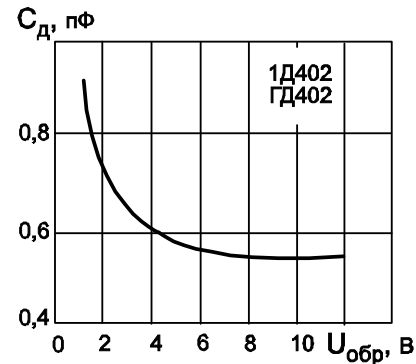
$$R_D = \frac{U}{I} = \frac{U}{I_0 (e^{\beta U} - 1)}$$

Эквивалентная схема диода

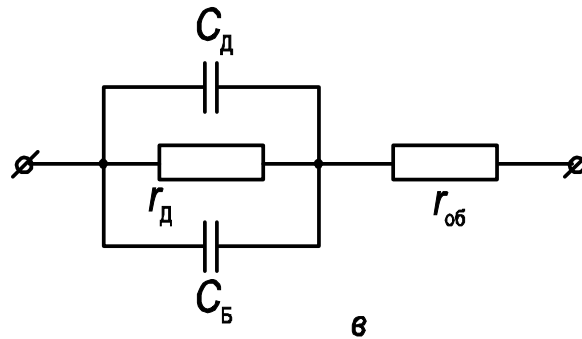
Сопротивление квазинейтрального объема эмиттера можно не учитывать, поскольку в диодах эмиттер обычно легирован существенно более сильно, чем база



а



б

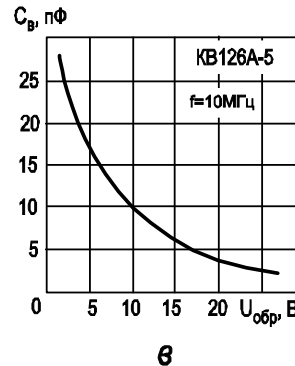
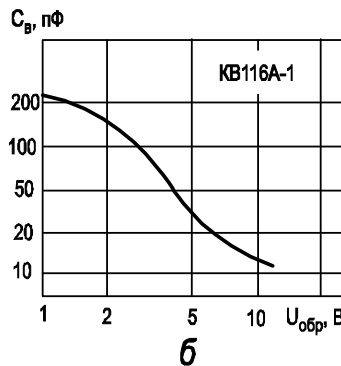
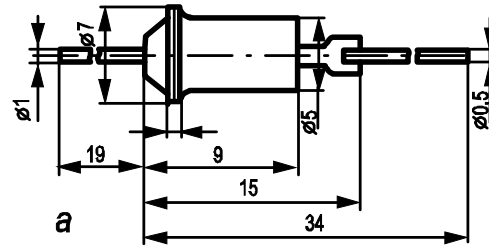


в

Приборные характеристики и эквивалентная малосигнальная схема для
выпрямительных диодов

Варикапы

Зависимость барьерной емкости C_B от приложенного обратного **напряжения** V_G используется для приборной реализации. Полупроводниковый диод, реализующий эту зависимость, **называется варикапом**. Максимальное значение емкости варикапа имеет при нулевом **напряжении** V_G . При увеличении обратного смещения емкость варикапа уменьшается. Функциональная зависимость емкости варикапа от напряжения определяется профилем легирования базы варикапа. В случае однородного легирования емкость обратно пропорциональна корню из приложенного **напряжения** V_G .



Конструкция варикапа (а) и зависимость емкости варикапа от напряжения для различных варикапов (б – KB116A, в – KB126A, г – KB130A)

Зависимость генерационного **тока** $J_{\text{ген}}$ от **напряжения** V_G будет определяться зависимостью ширины области **пространственного заряда** W от напряжения V_G .

Поскольку ширина области пространственного заряда W определяется как

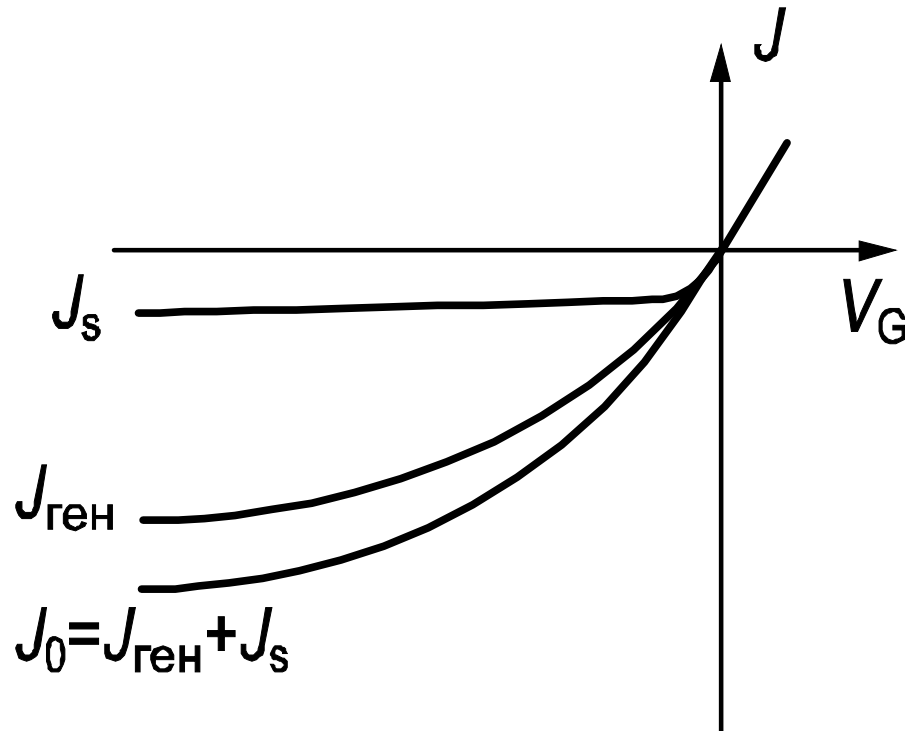
$$W = \sqrt{\frac{2\varepsilon_s \varepsilon_0 (U_{\text{г}} + \varphi_0)}{qN_D}}$$

то **генерационный ток** $J_{\text{ген}}$ будет пропорционален корню из напряжения

$$J_{\text{ген}} \sim \sqrt{V_G}$$

Сделаем оценку отношения **теплового J_0** и **генерационного $J_{\text{ген}}$** токов для диодов, изготовленных из различных полупроводников:

$$\frac{J_{\text{ген}}}{J_0} = \frac{W}{L_n} \frac{N_D}{n_i}$$



Вклад генерационного тока $J_{\text{ген}}$ в обратный ток p - n перехода

Вопросы для контроля изучаемого материала:

1. Что понимается под идеальным диодом?
2. Как формируется p–n переход и область пространственного заряда?
3. Выведите уравнение тока идеального диода (закон Шокли).
4. Как изменяется барьерная высота при прямом и обратном смещении?
5. Объясните физический смысл тока насыщения.
6. Нарисуйте типичную вольтамперную характеристику идеального диода.
7. Какие факторы вызывают отклонения реальных диодов от идеальных?

Список литературных источников:

1. Соколова Т. Н. Физика конденсированного состояния. — М.: Лань, 2020.
2. Китаев В. П. Физика твёрдого тела. — М.: Физматлит, 2021.
3. Капустин А. П. Кристаллография, минералогия и физика твёрдого тела. — М.: МИСиС, 2020.
4. Kittel, C. Introduction to Solid State Physics. — Wiley, 2022.
5. Ashcroft, N. W., Mermin, N. D. Solid State Physics. — Cengage, 2019.