



Лекция 5

Тема Лекции: Образование и зонная диаграмма р-п перехода

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

Цель лекции:

Изучить физические процессы, происходящие при образовании р–п перехода, рассмотреть механизм выравнивания уровней Ферми и построение зонных диаграмм в равновесном и неравновесном состояниях, а также объяснить роль р–п перехода в работе полупроводниковых приборов.

Основные вопросы:

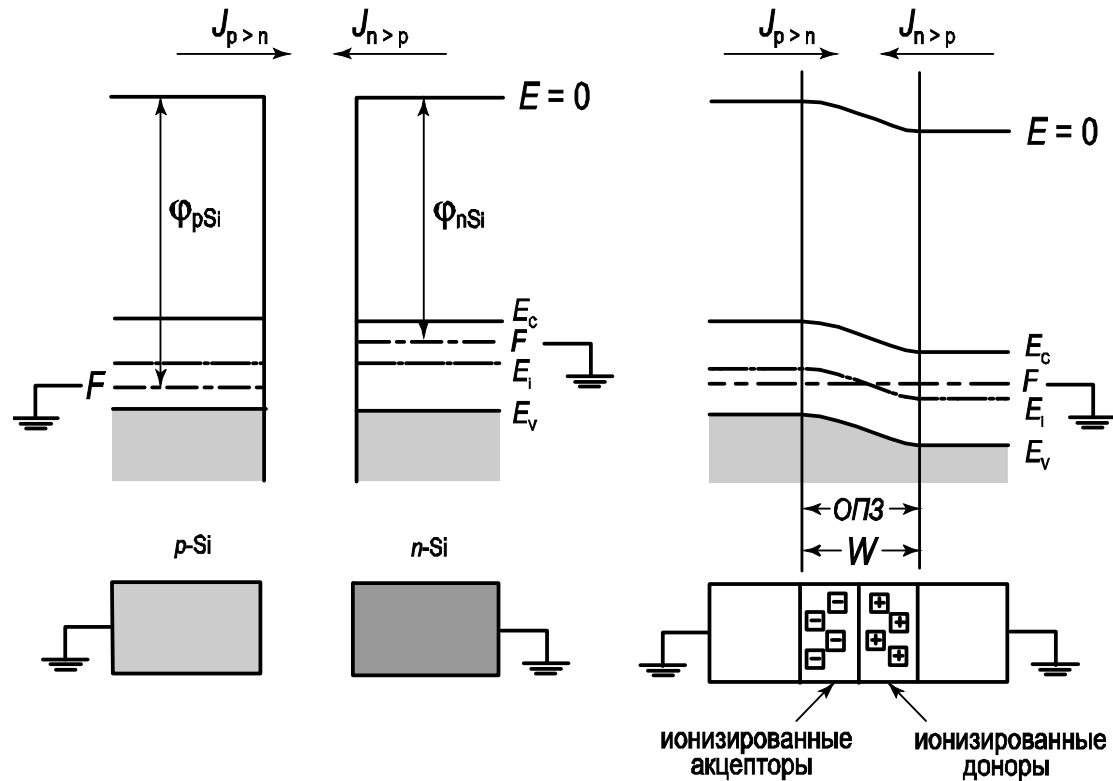
1. Зонная диаграмма р–п перехода в равновесии.
2. Энергетическая диаграмма до и после контакта.
3. Образование р–п перехода.
4. Понятие и значение р–п перехода.

Введение

- Электронно дырочным, или р-п переходом, называют контакт двух полупроводников одного вида с различными типами проводимости (электронным и дырочным).
- Классическим примером р п перехода являются: nSi – pSi, nGe – pGe.
- Величина работы выхода Φ определяется расстоянием от уровня Ферми до уровня вакуума. Термодинамическая работа выхода в полупроводнике р типа Φ_p всегда больше, чем термодинамическая работа выхода Φ_n в полупроводнике n типа.

- При контакте полупроводников n и p типов вследствие различного значения токов термоэлектронной эмиссии (из-за разных значений работы выхода) поток электронов из полупроводника n типа в полупроводник p типа будет больше.
- Электроны из полупроводника n типа будут при переходе в полупроводник p -типа рекомбинировать с дырками. Вследствие несбалансированности токов в полупроводнике n типа возникнет избыточный положительный заряд, а в полупроводнике p типа — отрицательный.
- Положительный заряд обусловлен ионизованными донорами, отрицательный заряд — ионизованными акцепторами.

Зонные диаграммы, иллюстрирующие этапы формирования электронно дырочного перехода



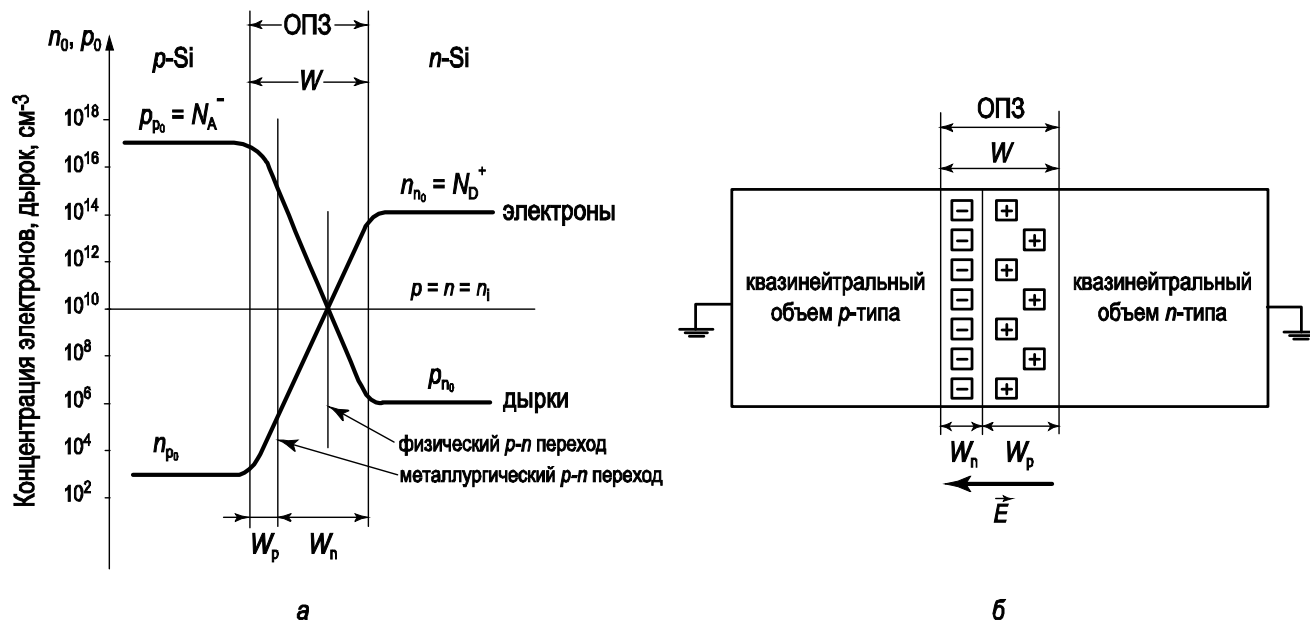
Схема, иллюстрирующая образование *p-n* перехода

Распределение свободных носителей в $p-n$ переходе

Рассмотрим несимметричный $p-n$ переход, будем считать, что концентрация акцепторов больше, чем концентрация доноров $N_A > N_D$; в этом случае для объемного положения уровня Ферми получаем $\varphi_n < \varphi_p$. В условиях равновесия ($V_G = 0$) высота потенциального барьера $p-n$ перехода будет:

$$\Delta\hat{O} = \varphi_n + \varphi_p = \frac{kT}{q} \ln \frac{N_A N_D}{n_i^2}$$

Распределение концентрации носителей в несимметричном p - n переходе в логарифмическом масштабе и схема p - n перехода:



p - n переход в равновесных условиях:

а) распределение равновесных носителей; б) диаграмма, иллюстрирующая распределение доноров и акцепторов

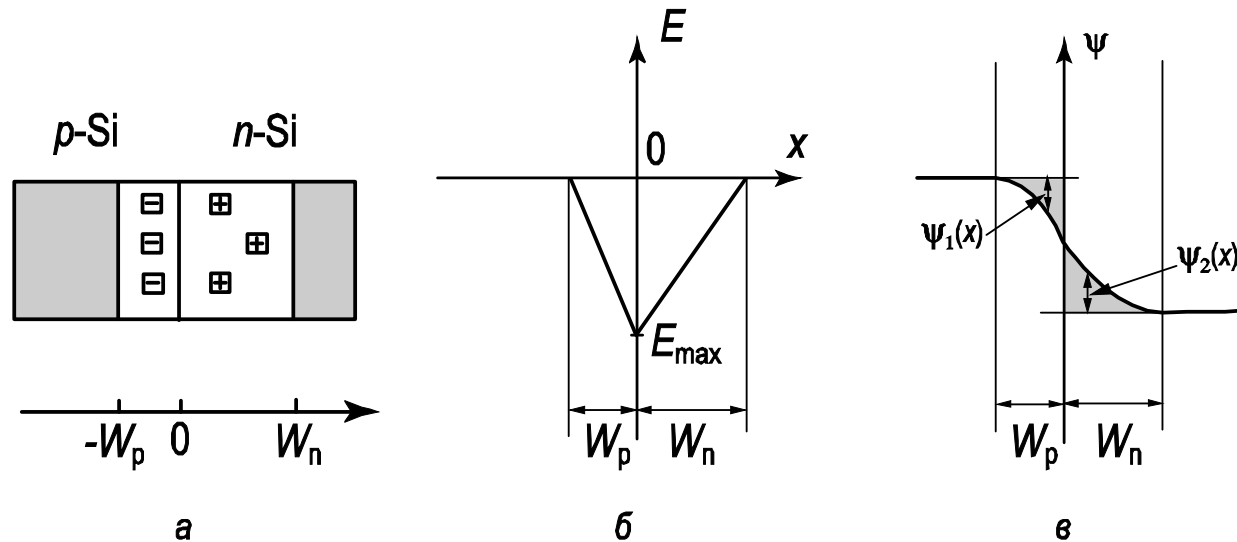
Будем решать уравнение **Пуассона отдельно для областей I и II.** После интегрирования уравнения Пуассона получаем **для области I:**

$$E(x) = -\frac{qN_{\text{D}}^{+}}{\varepsilon_{\text{s}}\varepsilon_0}(W_{\text{n}} - x)$$

для области II:

$$E(x) = -\frac{qN_{\text{A}}^{+}}{\varepsilon_{\text{s}}\varepsilon_0}(W_{\text{p}} + x)$$

Диаграмма, иллюстрирующая распределение электрического поля и потенциала в p - n переходе



- a)* структура p - n перехода;
- б)* распределение электрического поля в ОПЗ;
- в)* распределение потенциала в ОПЗ

Вопросы для контроля изучаемого материала:

1. Как образуется р–п переход и что представляет собой область пространственного заряда?
2. Что такое встроенный потенциал и как он определяется?
3. Объясните процесс выравнивания уровней Ферми при контакте р- и n-областей.
4. Как изменяется зонная диаграмма при прямом и обратном смещении?
5. Чем различаются дрейфовый и диффузионный токи в области перехода?
6. Почему р–п переход обладает выпрямляющими свойствами?
7. Какие типы р–п переходов существуют и где они применяются?

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.