

# Электроника



# Преподаватель: Самсонов Александр Иванович



# Рекомендуемая литература

---

1. Белов Г.А. Электроника и микроэлектроника: Учеб. пособие. Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2001. 378 с.
2. Новожилов, О. П. Электротехника и электроника: учебник / О. П. Новожилов. – М.: Гардарики, 2008. – 653 с.
3. Исследование полупроводниковых приборов. Метод. указ к лаб. работам. – ЧГУ, Чебоксары, 1988.
4. Полупроводниковые диоды и транзисторы. Лабораторный практикум – ЧГУ, Чебоксары, 2010.

---

# Структура курса:

- 9 лекций;
- 4 Лабораторных работ;
- Тест

Форма отчетности – зачет.

---

# ВВЕДЕНИЕ

- Современный этап развития человеческого общества характеризуется всё возрастающим проникновением **электроники** во все сферы жизни и деятельности людей. Достижения в этой области в значительной мере способствуют решению сложнейших научно-технических проблем, повышению эффективности научных исследований, созданию новых видов машин и оборудования, разработке эффективных технологий и систем управления, получению материалов с уникальными свойствами, совершенствованию процессов сбора и обработки информации и др.
- Охватывая широкий круг научно-технических и производственных проблем, **электроника** опирается на достижения различных областей знаний. При этом, с одной стороны, она ставит перед другими науками и производством новые задачи, стимулируя их дальнейшее развитие, а с другой – вооружает их качественно новыми техническими средствами и методами исследований.

- Известно, что электроника включает в себя три основные области исследований (вакуумную, твердотельную и квантовую электроники), каждая из которых объединяет исследования физико-химических явлений и процессов, имеющих фундаментальное значение как для разработки электронных приборов, так и для метода расчёта и способа изготовления таких приборов.
- Данный курс лекций посвящен полупроводниковой электронике и по этой причине ориентирован на изучение физики процессов в полупроводниковых приборах и устройствах на их основе.

# 1. ИСТОКИ ЭЛЕКТРОНИКИ

- Любую науку можно представить в виде дерева с корнями (истоками), со старыми ветвями и молодыми побегами. Физика является одним из центральных корней дерева электроники, так как изучает движение электронов под действием постоянных и переменных полей. Эти поля могут быть рассчитаны электродинамическими методами при известных напряжениях на электродах прибора, включенного в схему установки. Для расчета схем применяют теорию электрических цепей. При расчете траектории электронов в приборе используются сведения из теоретической механики, высшей математики и вычислительной техники. При выборе материалов для изготавливаемого прибора и способа их обработки необходимо знание химии и технологии материалов.
- Нижними ветвями дерева, исторически явившимися первыми, являются вакуумная и ионная электроники. Следующими ветвями являются: схемная электроника, полупроводниковая электроника, электроника СВЧ, микроэлектроника, квантовая электроника, оптоэлектроника, криоэлектроника, космическая электроника. Выделение таких ветвей является весьма условным. В реальности большинство ветвей пересекаются между собой (например, имеются вакуумные и полупроводниковые приборы СВЧ или в квантовом приборе используется газовый разряд).

- Одной из основных причин, способствовавших зарождению и развитию электроники, микроволновой в частности, явилась необходимость в совершенствовании средств связи между отдельными людьми и далеко расположенными селениями.
- Как наука, полупроводниковая электроника сформировалась в начале XX века после создания основ электродинамики, открытия и исследования фотопроводимости (У. Смит, 1873), односторонней проводимости контакта металл-полупроводник (К. Ф. Браун, 1874), фотоэлектронной эмиссии (Г. Герц, 1887; А.Г. Столетов, 1905), рентгеновских лучей (В.К. Рентген, 1895), открытия электрона (Дж. Дж. Томсон, 1897), создания электронной теории (Х.А. Лоренц, 1892 – 1909).
- Появлению электронных приборов предшествовал сложный период возникновения и установления понятия об электро́не как об элементарной частице. Электро́н – первая частица микромира, физические свойства которой были установлены человеком. К представлению о существовании в природе элементарного электрического заряда ученых конца XIX века приводил целый ряд явлений, связанных с электричеством. Это и электризация не проводящих ток тел при трении, и явление электролиза, когда прохождение тока через растворы могло быть объяснено только тем, что молекулы растворённых в жидкости веществ состоят из электрически заряженных частиц, и открытое Эдисоном в 1881 году явление термоэлектронной эмиссии, названное эффектом Эдисона.



# Электрические свойства полупроводников

---

*Полупроводниками* называют вещества, удельная проводимость которых имеет промежуточное значение между удельными проводимостями металлов и диэлектриков.

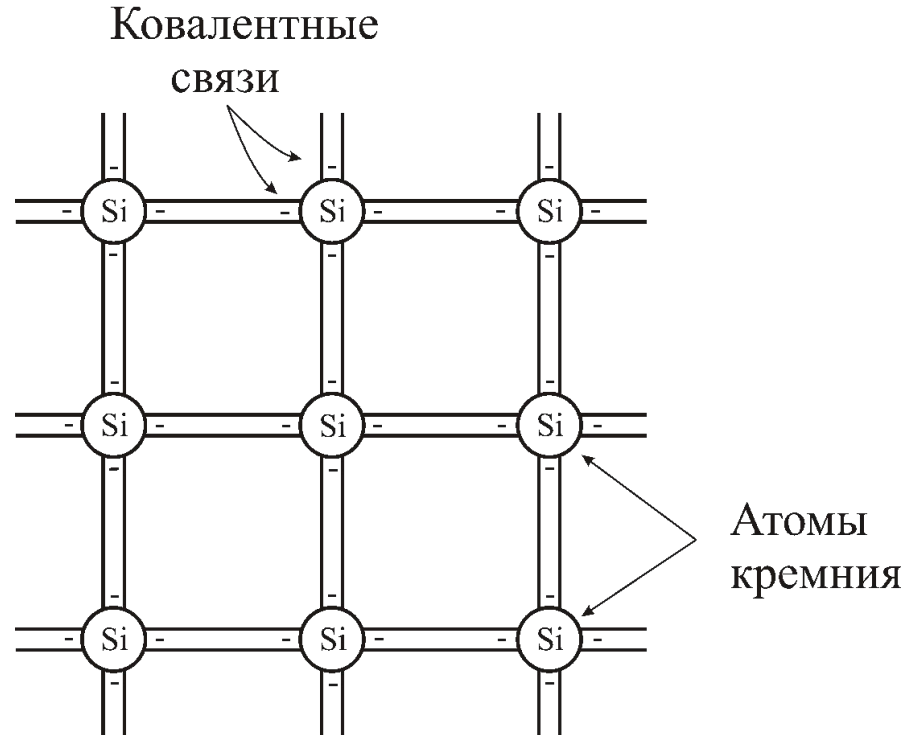
В отличие от металлов в полупроводниках носители заряда возникают при повышении температуры или поглощении энергии от другого источника.

В полупроводниках электропроводность осуществляется двумя различными видами движения электронов. Проводимость полупроводников можно менять в широких пределах, добавляя ничтожно малые количества примесей.

# Электрические свойства полупроводников

---

## Структура кристалла кремния



Атомы кремния способны объединять свои валентные электроны с другими атомами кремния с помощью ковалентных связей.

# Электрические свойства полупроводников

---

При освобождении электрона в кристаллической решетке появляется незаполненная межатомная связь. Такие «пустые» места с отсутствующими электронами получили название *дырок*.

Возникновение дырок в кристалле полупроводника создает дополнительную возможность для переноса заряда. Дырка может быть заполнена электроном, перешедшим под действием тепловых колебаний от соседнего атома.

Последовательное заполнение свободной связи электронами эквивалентно движению дырки в направлении, противоположном движению электронов, что равносильно перемещению положительного заряда.

# Электрические свойства полупроводников

---

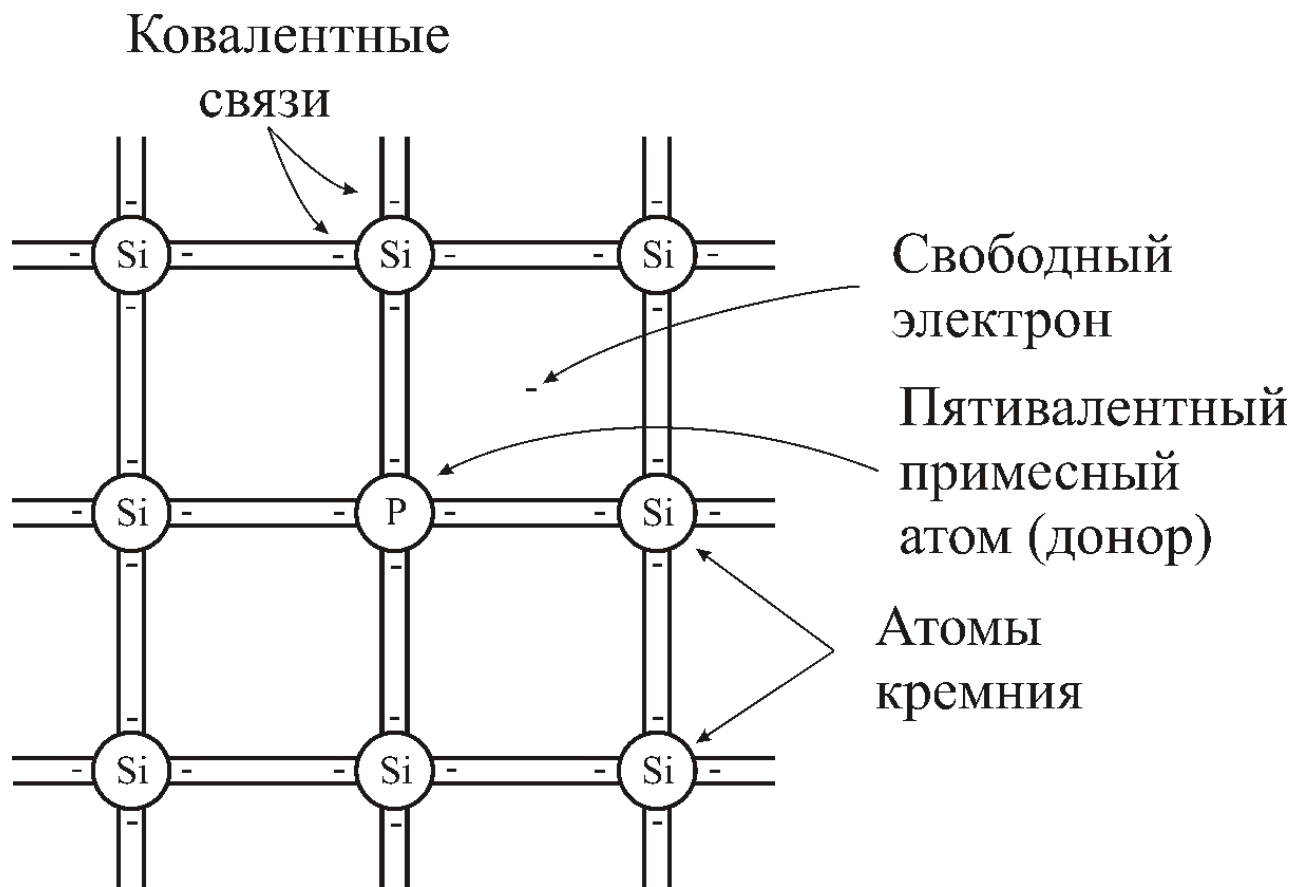
В полупроводнике имеются два типа носителей заряда – электроны и дырки, а общая проводимость полупроводника является суммой электронной проводимости ( $n$ -типа) и дырочной проводимости ( $p$ -типа).

Для увеличения проводимости чистых полупроводниковых материалов применяют *легирование* – добавление небольших количеств посторонних элементов, называемых примесями.

Используются два типа примесей. Примеси первого типа – пентавалентные – состоят из атомов с пятью валентными электронами. Примеси второго типа – тривалентные – состоят из атомов с тремя валентными электронами.

# Электрические свойства полупроводников

*Структура кристалла кремния, легированного пентавалентным материалом (фосфором)*



# Электрические свойства полупроводников

---

Атом фосфора называют *донором*, поскольку он отдает свой лишний электрон.

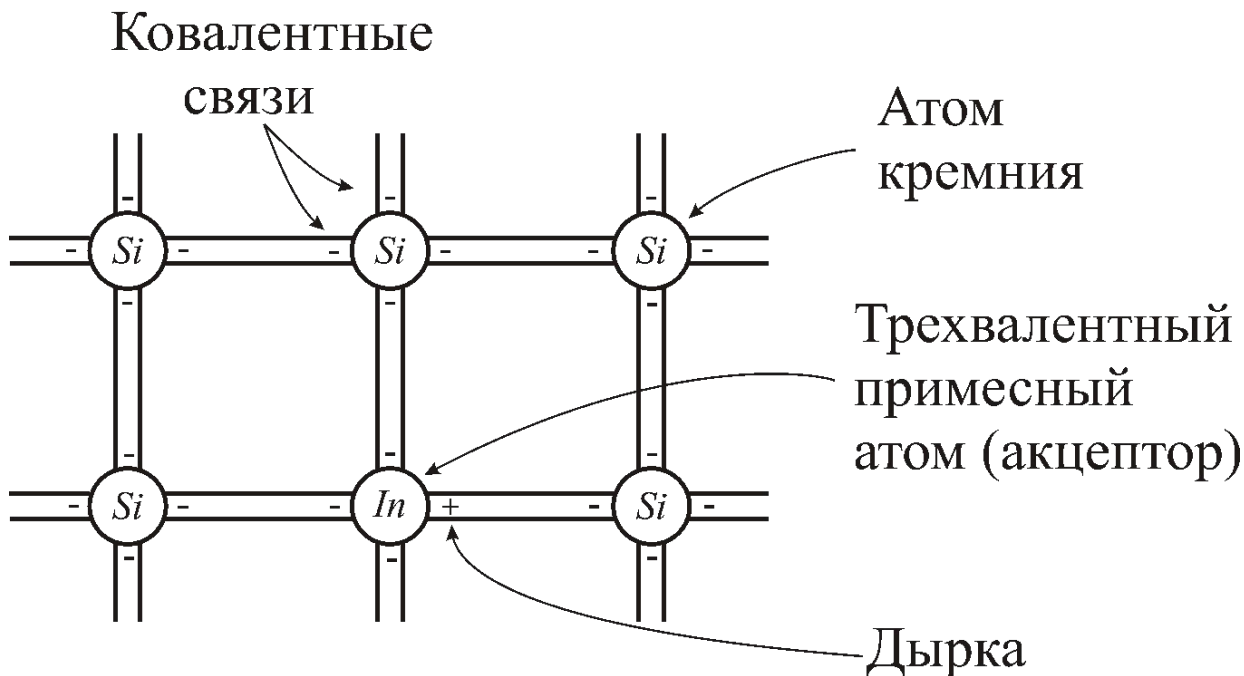
Электроны в таком полупроводнике являются *основными носителями*, а дырки – *неосновными носителями*. Основные носители имеют отрицательный заряд, поэтому такой материал называется полупроводником *n*-типа.

В качестве донорных примесей для германия и кремния используют фосфор, мышьяк, сурьму.

# Электрические свойства полупроводников

Когда полупроводниковый материал легирован трехвалентными атомами, например атомами индия (In), то эти атомы разместят свои три валентных электрона среди трех соседних атомов. Это создаст в ковалентной связи дырку.

*Структура кристалла кремния, легированного трехвалентным материалом*



# Электрические свойства полупроводников

---

Атомы, которые вносят в полупроводник дополнительные дырки, называются *акцепторами*.

Дырки являются основными носителями, а электроны – неосновными. Поскольку основные носители имеют положительный заряд, материал называется полупроводником *p*-типа.

В качестве акцепторных примесей в германии и кремнии используют бор, алюминий, галлий, индий.



# Вольт-амперная характеристика $p$ – $n$ -перехода

---

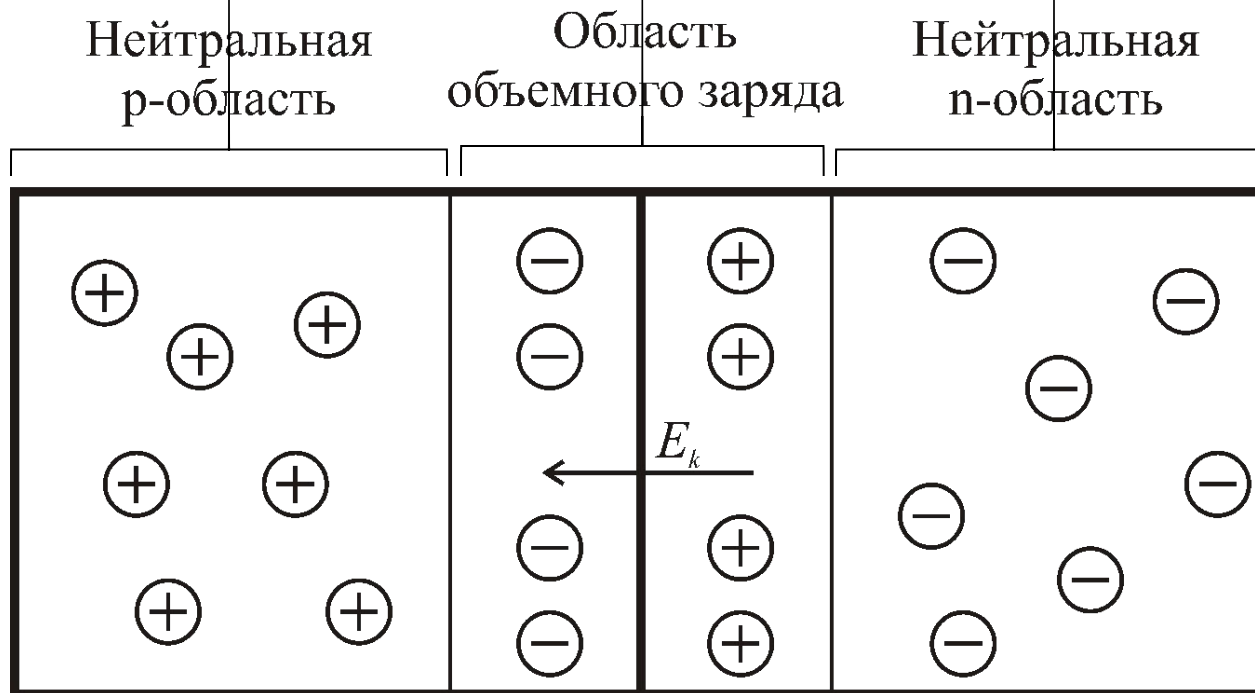
Контакт двух полупроводников с различными типами проводимости называется  $p$ – $n$ -переходом.

Поскольку концентрация электронов в  $n$ -области значительно больше их концентрации в  $p$ -области, происходит диффузия электронов из  $n$ -области в  $p$ -область. В  $n$ -области остаются неподвижные положительно заряженные ионы доноров.

Одновременно происходит диффузия дырок из  $p$ -области в  $n$ -область. За счет этого приграничная  $p$ -область приобретает отрицательный заряд, обусловленный отрицательно заряженными ионами акцепторов.

# Вольт-амперная характеристика $p-n$ -перехода

Прилегающие к  $p-n$ -переходу области образуют слой объемного заряда, обедненный основными носителями. В слое объемного заряда возникает контактное электрическое поле  $E_k$ , препятствующее дальнейшему переходу электронов и дырок из одной области в другую.

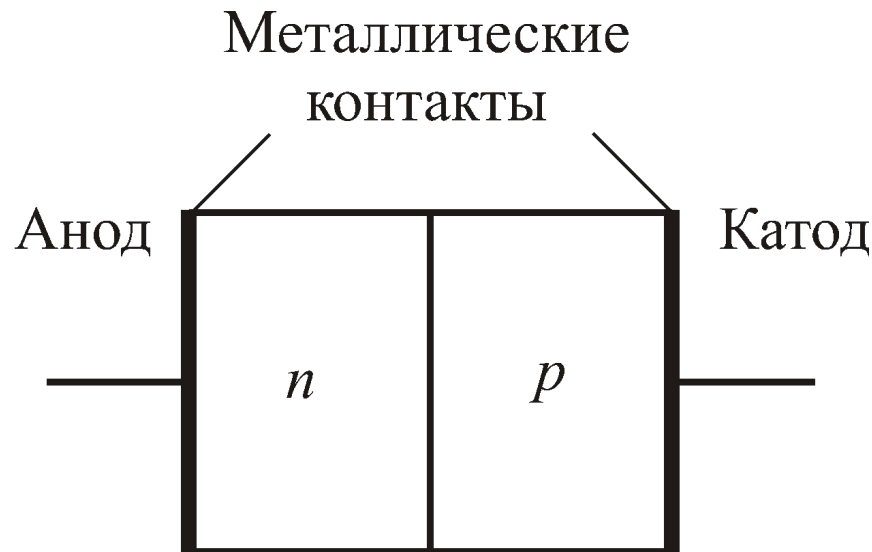


# Полупроводниковые диоды

---

Полупроводниковый диод – двухполюсный прибор, имеющий один  $p$ – $n$ -переход.

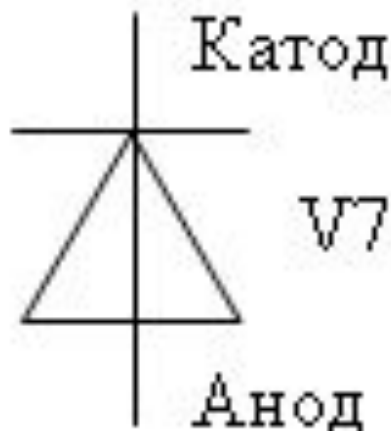
Упрощенная структура диода



Электрод диода, подключенный к  $p$ -области, называют *анодом* (А), а электрод, подключенный к  $n$ -области – *катодом* (К).

## Полупроводниковые диоды

Обозначение на схемах:



V или VD - обозначение диода

VS – обозначение диодной сборки

Цифра после V, показывает номер диода в схеме

Анод – это полупроводник P-типа

Катод – это полупроводник N-типа

- Полупроводниковый диод – это прибор с двухслойной P-N структурой и одним P-N переходом.

Слой **P** - акцепторная примесь (основные носители - дырки).  
Слой **N** - донорная примесь (основные носители - электроны).

- При приложении внешнего напряжения к диоду в прямом направлении («+» на анод, а «-» на катод) уменьшается потенциальный барьер, увеличивается диффузия – диод открыт (закоротка).
- При приложении напряжения в обратном направлении увеличивается потенциальный барьер, прекращается диффузия – диод закрыт (разрыв).