

Часть I

ЭЛЕКТРОНИКА И СХЕМОТЕХНИКА

Введение

Определение

- Электроника - это наука о взаимодействии электронов с ЭМП, о методах, охватывающих исследование и разработку электронных приборов и принципах их использования.

Разделы электроники

- ◎ *Вакуумная* (электронные лампы; работают в области высоких уровней мощности и высоких частот).
- ◎ *Плазменная* (силовая электроника)
- ◎ *Квантовая* (пример: лазер).
- ◎ *Оптическая* (оптические волноводы, устройства, управляющие световыми потоками, приемники оптического излучения и др.).

Разделы электроники

- *Функциональная* (используют домены, зарядовые пакеты - динамическая неоднородность)

	Схемотехническая электроника	Функциональная электроника	Вывод
Информация передается	Побитово	Одновременно	Быстродействие и помехозащищенность
Соединения и контакты играют	Основную роль	Вспомогательную роль	Высокая надежность
Используются функции	И, ИЛИ, НЕ	Преобразования Фурье, Лапласа, ф-и корреляции, свертки и др.	

Разделы электроники

⦿ *Микроэлектроника*

- ✓ По количеству выпускаемых промышленностью единиц, точности технологий и чистоте производства, количеству областей применения нет прибора, который хоть в какой-то мере мог приблизиться к транзистору. На основе транзисторов созданы интегральные схемы, совершенный продукт технологического прогресса XX столетия.
- ✓ 1 июля 1948 г. - новость в "New York Times" о новой разработке Bell Telecom Labs, как о замене лампам,
- ✓ 1956 г. - Нобелевская премия по физике за изобретение германиевого транзистора,
- ✓ 1958 г. - полевой транзистор.

**Тема 1. Физика
полупроводниковых
структур**

1.1. Энергетические зоны полупроводника

- Полупроводник - вещество, основным свойством которого является сильная зависимость удельной проводимости от внешних факторов.
- Основные материалы: Ge, Si, GaAs. Каждый электрон в атоме занимает определенный энергетический уровень. В твердом теле благодаря взаимодействию атомов энергетические уровни расщепляются и образуют энергетические зоны. Электроны могут находиться только на разрешенных уровнях.

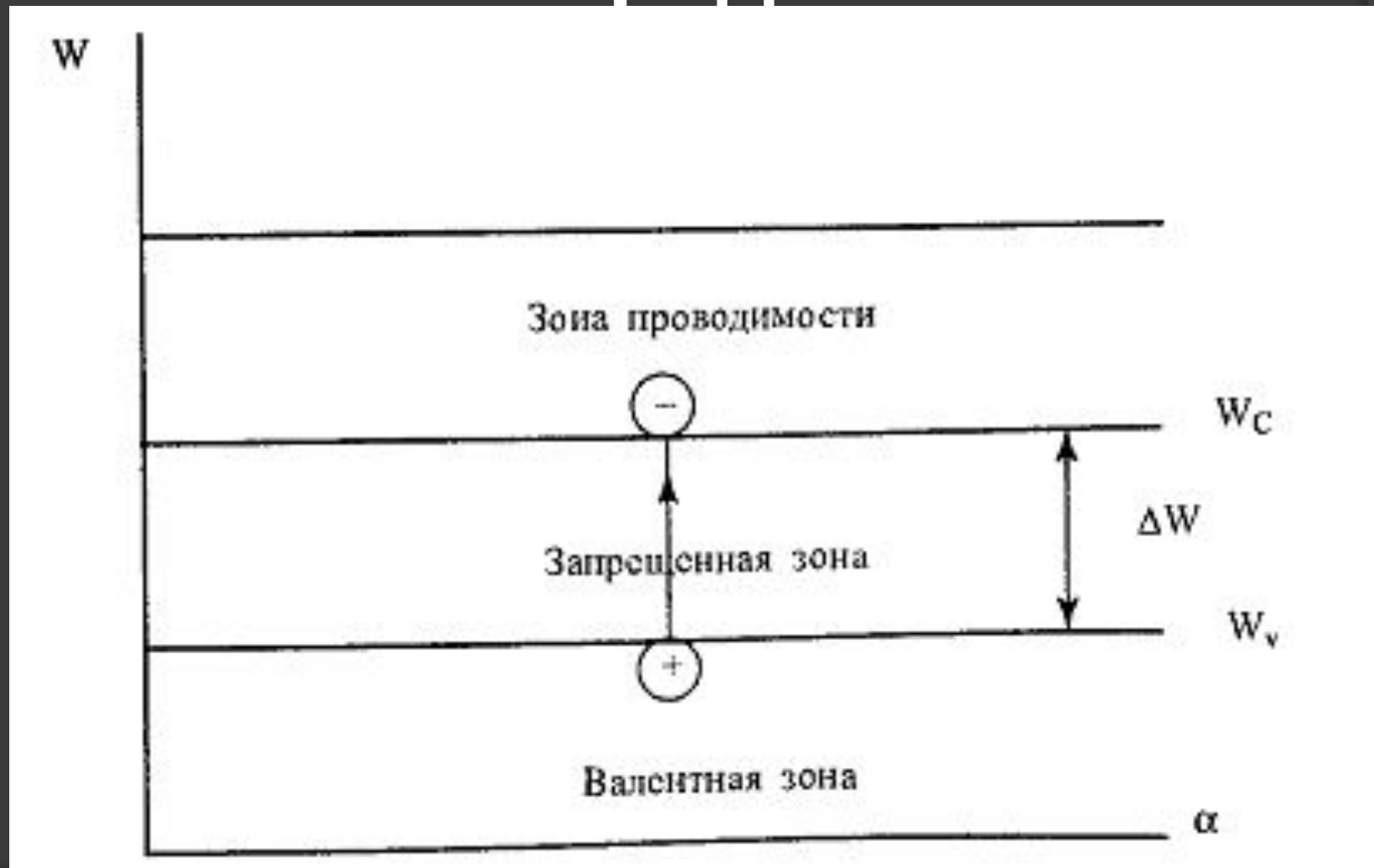
1.1. Энергетические зоны полупроводника

ΔE при $T=300\text{ K}$	
Ge	0,66 В
Si	1,12 В
GaAs	1,35 В

1.2. Генерация и рекомбинация носителей заряда

- ⦿ Электропроводность полупроводника определяется двумя типами носителей электрического заряда, которые могут перемещаться под действием градиента концентрации или внешнего поля.
- ⦿ Носители заряда:
 - ✓ Электроны зоны проводимости
 - ✓ Дырки валентной зоны

1.2. Генерация и рекомбинация носителей заряда



1.2. Генерация и рекомбинация носителей заряда

- Дырка - квазичастица или незаполненное электронными состоянием (вакансия) в валентной зоне полупроводника.
- Под действием внешних факторов происходит генерация носителей заряда - образование свободных электронов и дырок. Сопротивление полупроводника при этом уменьшается.
- Обратный процесс называется рекомбинацией.
- В состоянии термодинамического равновесия существует равновесная концентрация электронов (n_0) и дырок (p_0).

$$\Delta n = n - n_0 \quad \Delta p = p - p_0$$

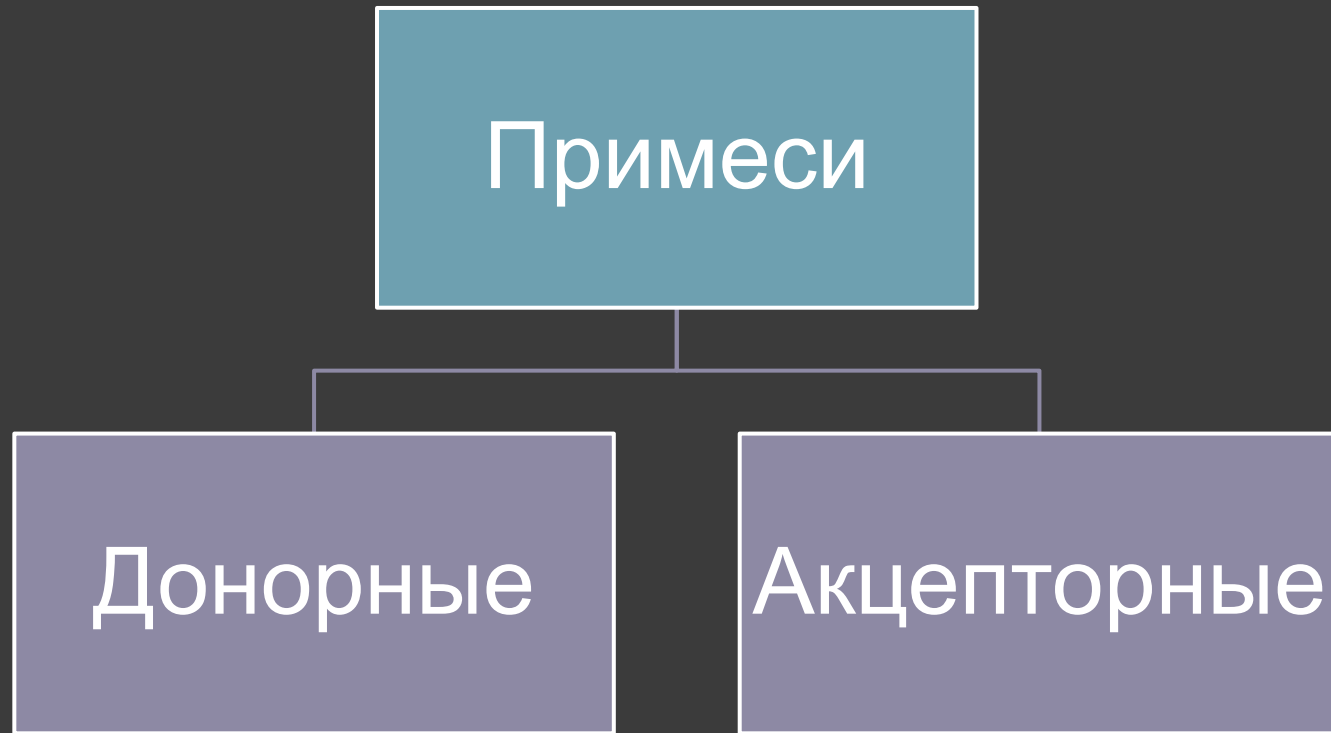
1.3. Собственные полупроводники (i-типа)

- Беспримесный и бездефектный полупроводник с идеальной кристаллической решеткой называется собственным полупроводником. При $T=0$ является изолятором. При возрастании T возникают колебания атомов в решетке, нарушаются связи между атомами, возникают свободные электроны и дырки. Процесс образования электронно-дырочных пар под действием температуры называется термогенерацией.

1.4. Примесные полупроводники

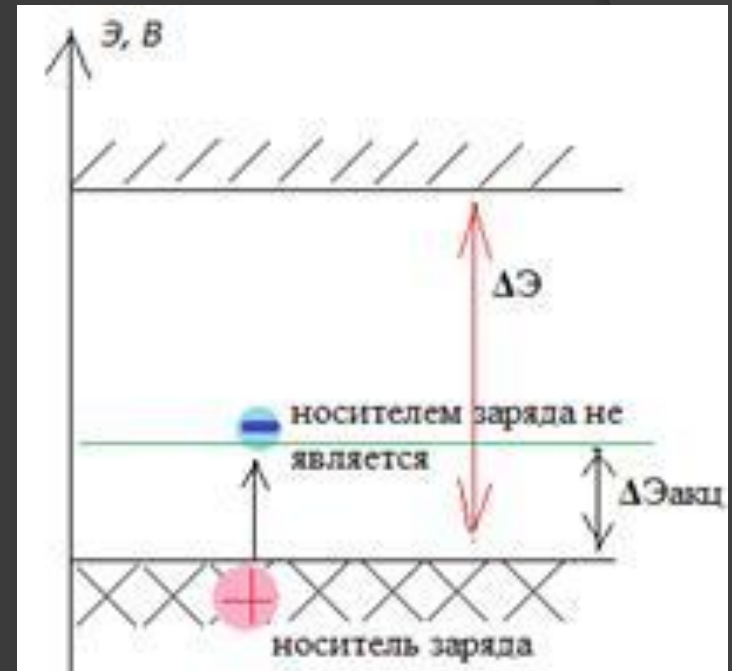
- Проводимостью собственного полупроводника можно управлять, вводя примеси. Большинство полупроводниковых приборов изготавливают на основе примесных полупроводников, т.е. полупроводником, электрические характеристики которого определяются донорными или акцепторными примесями. В результате в рабочем диапазоне температур полупроводникового прибора поставщика ми основного носителя заряда должны быть примеси, поэтому в практике важное значение имеют материалы, у которых ощутимая собственная концентрация носителей заряда появляется при возможно более высокой T .

1.4. Примесные полупроводники



1.4. Примесные полупроводники

- Акцептор - примесный атом, или дефект кристаллической решётки, образующий в запрещённой зоне энергетический уровень, свободный от электрона в невозбуждённом состоянии атома, и способный захватить электрон валентной зоны в возбуждённом состоянии.



$$\Delta \mathcal{E}_{\text{акц}} \ll \Delta \mathcal{E}$$

1.4. Примесные полупроводники

- ⦿ Донор – примесный атом или дефект кристаллической решётки, образующий в запрещённой зоне энергетический уровень, занятый электронами в невозбуждённом состоянии атома, и способный отдать электрон в зону проводимости.



$$\Delta\mathcal{E}_{\text{дон}} \ll \Delta\mathcal{E}$$

1.4. Примесные полупроводники

- Энергия ионизации акцептора – минимальная энергия, которую необходимо сообщить электрону валентной зоны, чтоб перенести его на акцепторный уровень.
- Энергия ионизации донора – минимальная энергия, которую необходимо сообщить электрону, находящемуся на донорном уровне, чтобы перевести его в зону проводимости.
- При низких T основными источниками носителей заряда являются примеси.
- Носители преобладающего типа называются основные, другие – неосновные.
- Что дают примеси:
 - ✓ Менее напряжение для изменения проводимости полупроводника
 - ✓ Можно изменять проводимость технологическим путём (вводя примеси), тем самым создавая различные приборы
 - ✓ Создание p-n перехода

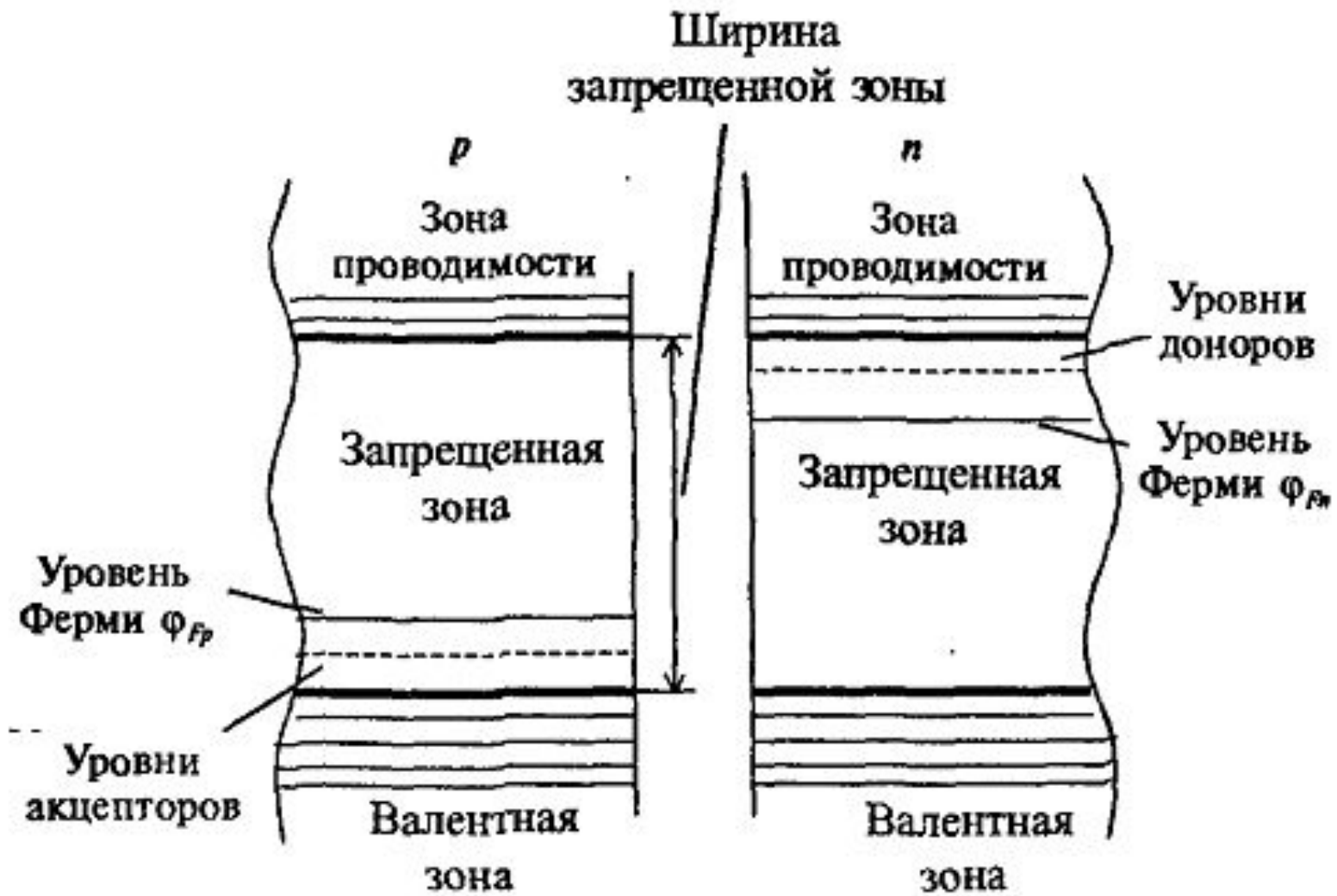
1.5. Уровень Ферми

- На энергетических диаграммах полупроводников указывают расположение уровня Ферми, что делает наглядным объяснение многих физических процессов.
- Вероятность заполнения электроном энергетического уровня \mathcal{E} . Соответствует статистике Ферми-Дирака:

$$p_n(\mathcal{E}) = \frac{1}{1 + e^{\frac{\mathcal{E} - \mathcal{E}_F}{kT}}}$$

\mathcal{E}_F – энергия уровня Ферми, вероятность заполнения которого равна 0,5.

1.5. Уровень Ферми



1.5. Уровень Ферми

- ⦿ В невырожденных ПП уровень Ферми всегда лежит в запрещённой зоне.
- ⦿ В условиях термодинамического равновесия уровень Ферми – горизонтальный.
- ⦿ С увеличением T уровень Ферми стремится к середине запрещённой зоны. С увеличением концентрации носителей заряда – соответственно: к потолку валентной зоны и дну зоны проводимости.
- ⦿ Температурный потенциал (25 мВ при $T=300$ К):

$$\varphi_T = \frac{kT}{q}$$

1.6. Процессы переноса носителей заряда в полупроводнике

- Процесс переноса зарядов происходит при наличии ЭП или grad концентрации носителей заряда.
- Дрейф – направленное движение носителей заряда при наличии ЭП.

1.6. Процессы переноса носителей заряда в полупроводнике

- Электронная составляющая плотности дрейфового тока:

$$j_{n\text{др}} = \gamma_n E = qn\mu_n E$$

- n – концентрация, E – напряжённость, γ_n – удельная проводимость полупроводника при одном виде носителей (электрон), μ_n – подвижность (величина, численно равная средней скорости их направленного движения в ЭП с $E=1$).
- Дырочная составляющая плотности дрейфового тока:

$$j_{p\text{др}} = \gamma_p E = qp\mu_p E$$

1.6. Процессы переноса носителей заряда в полупроводнике

- Диффузия – направленное движение носителей заряда вследствие градиента концентрации.
- Из молекулярной физики известно, что поток частиц при диффузии пропорционален градиенту концентрации этих частиц.

1.6. Процессы переноса носителей заряда в полупроводнике

- Поток – число частиц, пересекающих в единицу времени единичную площадку, перпендикулярную направлению градиента концентрации.

$$\Phi_m = -D_n \nabla \text{grad } m$$

- D_n – коэффициент диффузии.
- Плотность диффузионного тока:

$$j_{n\text{диф}} = q D_n \text{grad } n$$

$$j_{p\text{диф}} = q D_p \text{grad } p$$