

РАЗДЕЛ-3**БЛОК - 10****ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК В РАЗЛИЧНЫХ СРЕДАХ**

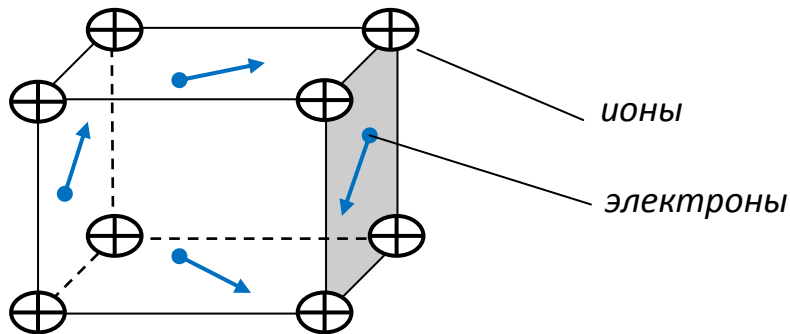
Содержание ОК	№ ОК	§ § учебника
Тема 69	ОК-69	§109-110
1.Электрический ток в металлах		
2.Опыт Рикке		
3.Опыты Манделъштама-Папалекси, Стюарта-Толмена		
Тема 70	ОК-70	§119-120
1.Электрический ток в жидкостях		
2.Электролитическая диссоциация		
3.Электролиз		
Тема 71	ОК-71	§120
1.Закон электролиза		
2.Применение электролиза		
Тема 72	ОК-72	§121-123
1.Электрический ток в газах		
2.Газовый разряд		
3.Несамостоятельный и самостоятельный разряды		
4.Типы разрядов		
5.Плазма		
Тема 73	ОК-73	§117-118
1.Электрический ток в вакууме		
2.Вакуумный диод		
3.Электронно-лучевая трубка		
Тема 74	ОК-74	§113-115
1.Электрический ток в полупроводниках		
2.Собственная проводимость		
3.Примесная проводимость		
4.Термистор.Фоторезистор		
Тема 75	ОК-75	§117
1.Свойства р-п – перехода		
2.Полупроводниковый диод		
3.Транзистор		
Урок взаимоконтроля «Повторим теорию»		ВЗК-10
Тренировочные задания к БЛОКУ-10 «Электрический ток в различных средах»		

БЛОК -10

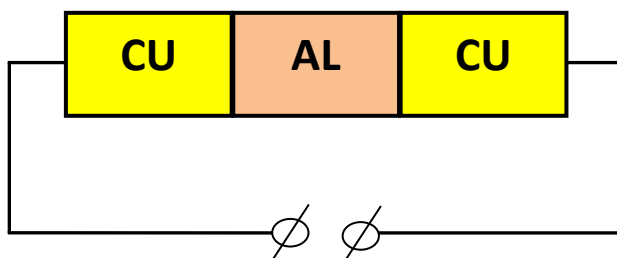
ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК В МЕТАЛЛАХ

ОК - 69

1. Носители тока – ионы или электроны?

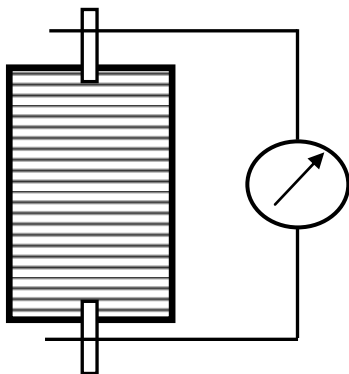


2. Опыт Рикке – 1901 г.

Городская сеть – год – $Q = 3,5$ млн. Кл

Взвешивание!

В переносе заряда в металлах ионы не участвуют!

3. Опыты – Мандельштам – Папалекси – 1913г.
- Стюарт – Толмен - 1916г.

Разгон – торможение – инерция – ТОК!

 $L_{\text{провода}} = 500 \text{ м}, V = 300 \text{ м/с}$

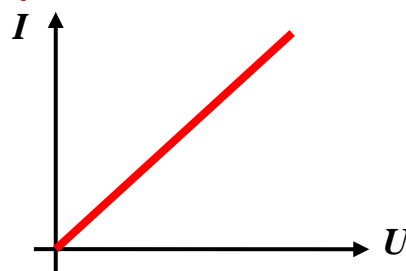
$$\frac{\bar{e}}{m_e} = 1,8 * 10^{11} \frac{\text{Кл}}{\text{кг}}$$

- удельный заряд
электрона

$$m_e \approx 10^{-30} \text{ кг}$$

Носителями тока в металлах являются электроны

4. Вольт – амперная характеристика



БЛОК -10

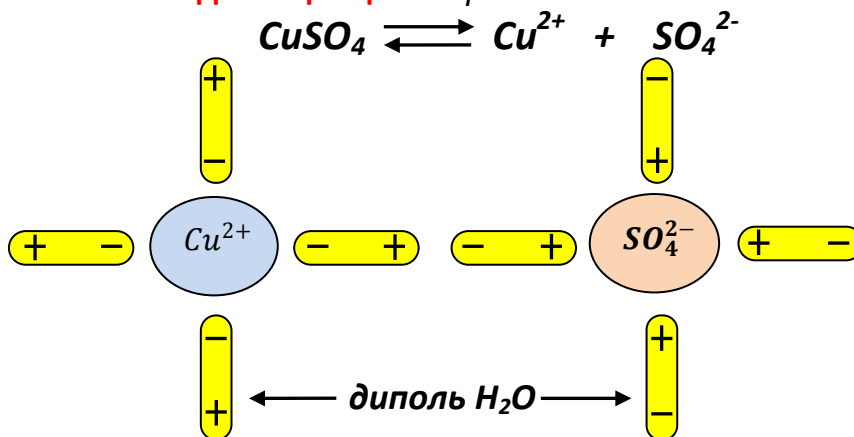
ОК - 70

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК В ЖИДКОСТЯХ

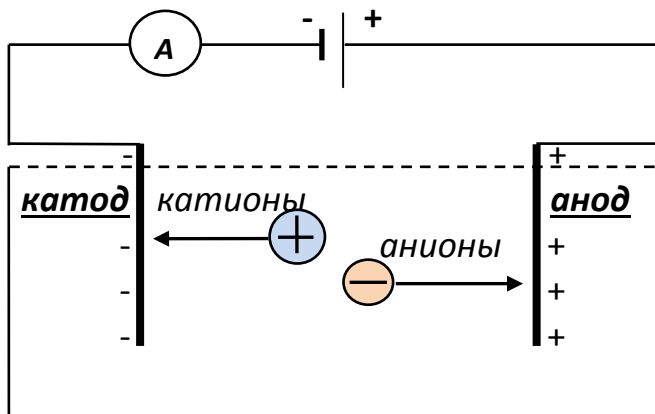
1. Жидкости:

- диэлектрики – дистиллированная вода,
- проводники – водные растворы солей, кислот, щелочей – электролиты,
- полупроводники – расплавленный селен.

2. Электролитическая диссоциация – «разъединение»



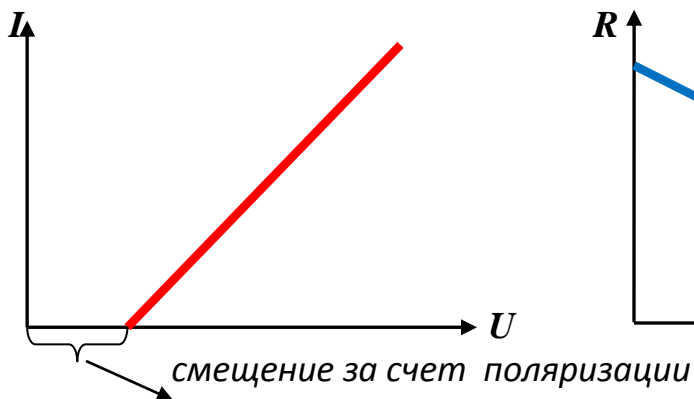
3. Электролиз – выделение вещества, входящего в состав электролита



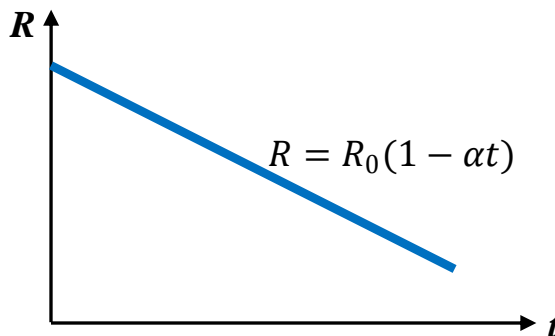
Ионная проводимость!

Перенос вещества!

4. Вольт – амперная характеристика



5. Зависимость R(t)



БЛОК -10

ОК - 71

ЭЛЕКТРОЛИЗ

1.Закон электролиза (М.Фарадей – 1833г.)

$$m = m_0 * N = \frac{M}{N_A} * \frac{q}{q_0} = \frac{M I t}{N_A \bar{e} n} = k I t$$

$$m = k I t$$

$$k = \frac{M}{N_A \bar{e} n} - \text{электрохимический эквивалент вещества}$$

$$\bar{e} N_A = F = 9,65 * 10^4 \frac{\text{Кл}}{\text{кг}} - \text{постоянная Фарадея}$$

$$m = \frac{M}{F n} I t$$

- объединенный закон Фарадея

1874г. – заряд электрона – экспериментально!

$$\bar{e} = \frac{M}{m n N_A} I t = 1,6 * 10^{-19} \text{ Кл}$$

m_0 – масса иона

q – общий заряд,

q_0 – заряд иона,

\bar{e} – заряд электрона,

n – валентность иона,

M – молярная масса,

m – масса вещества.

2.Применение электролиза:

- получение чистых металлов,
- очистка металлов от примесей,
- получение алюминия,
- гальваностегия (покрытие металлических предметов),
- гальванопластика (изготовление рельефных копий),
- изготовление электронных плат.

Пояснения к ОК – 70 и 71

Жидкости, как и твёрдые тела, могут быть диэлектриками, проводниками и полупроводниками.

К диэлектрикам относится дистиллированная вода.

К проводникам — растворы и расплавы электролитов: кислот, щелочей и солей.

Жидкими полупроводниками являются расплавленный селен, расплавы сульфидов и др.

Электролитическая диссоциация.

При растворении электролитов под влиянием электрического поля полярных молекул воды происходит распад молекул электролитов на ионы.

Распад молекул на ионы под влиянием электрического поля полярных молекул воды называется **электролитической диссоциацией**.

Степень диссоциации — доля в растворённом веществе молекул, распавшихся на ионы.

Степень диссоциации зависит от температуры, концентрации раствора и электрических свойств растворителя.

С увеличением температуры степень диссоциации возрастает и, следовательно, увеличивается концентрация положительно и отрицательно заряженных ионов.

Ионы разных знаков при встрече могут снова объединиться в нейтральные молекулы.

При неизменных условиях в растворе *устанавливается динамическое равновесие, при котором число молекул, распадающихся за секунду на ионы, равно числу пар ионов, которые за то же время вновь объединяются в нейтральные молекулы.*

Ионная проводимость.

Носителями заряда в водных растворах или расплавах электролитов являются положительно и отрицательно заряженные ионы.

Если сосуд с раствором электролита включить в электрическую цепь, то отрицательные ионы (*анионы*) начнут двигаться к положительному электроду — аноду, а положительные (*катионы*) — к отрицательному — катоду. В результате по цепи пойдёт электрический ток.

Проводимость водных растворов или расплавов электролитов, которая осуществляется ионами, называют **ионной проводимостью**.

Жидкости могут обладать и электронной проводимостью. Такой проводимостью обладают, например, жидкие металлы.

Электролиз.

При ионной проводимости прохождение тока связано с переносом вещества. На электродах происходит выделение веществ, входящих в состав электролитов. На аноде отрицательно заряженные ионы отдают свои лишние электроны (в химии это называется окислительной реакцией), а на катоде положительные ионы получают недостающие электроны (восстановительная реакция).

Процесс выделения на электроде вещества, связанный с окислительно-восстановительными реакциями, называют **электролизом**.

Явление поляризации – это возникновение обратной ЭДС в процессе электролиза.

Причина - сдвиг потенциала электрода от исходного равновесного значения.

На электродах выделяются продукты реакции, возникает встречная ЭДС или ЭДС поляризации.

Изменение потенциала вызвано изменением:

- концентрации электролита (концентрационная поляризация)
- природы электрода (химическая поляризация).

Поляризация вызывает дополнительный расход электричества.

Закон электролиза Фарадея.

Масса вещества, выделившегося на электроде за время Δt , при прохождении электрического тока, пропорциональна силе тока и времени. Величину k в формуле называют **электрохимическим эквивалентом** данного вещества и выражают в килограммах на кулон (кг/Кл).

Из формулы видно, что коэффициент k численно равен массе вещества, выделившегося на электродах, при переносе ионами заряда, равного 1 Кл.

Определение заряда электрона.

Формулу для массы выделившегося на электроде вещества можно использовать для определения заряда электрона.

Зная массу m выделившегося вещества при прохождении заряда $I\Delta t$, молярную массу M , валентность n атомов и постоянную Авогадро N_A , можно найти значение модуля заряда электрона.

Именно таким путём и было впервые в 1874 г. получено значение элементарного электрического заряда.

Применение электролиза.

Электролиз широко применяют в технике для различных целей. Электролитическим способом покрывают поверхность одного металла тонким слоем другого (*никелирование, хромирование, позолота* и т. п.). Это прочное покрытие защищает поверхность от коррозии.

Если обеспечить хорошее отслаивание электролитического покрытия от поверхности, на которую осаждается металл (этого достигают, например, нанося на поверхность, графит), то можно получить копию с рельефной поверхности.

Процесс получения отслаиваемых покрытий — *гальванопластика* — был разработан русским учёным Б. С. Якоби (1801—1874), который в 1836 г. применил этот способ для изготовления полых фигур для Исаакиевского собора в Санкт-Петербурге.

При помощи электролиза осуществляют *очистку металлов от примесей*. Так, полученную из руды неочищенную медь отливают в форме толстых листов, которые затем помещают в ванну в качестве анодов. При электролизе медь анода растворяется, примеси, содержащиеся ценные и редкие металлы, выпадают на дно, а на катоде оседает чистая медь.

При помощи электролиза получают алюминий из расплава бокситов. Именно этот способ получения алюминия сделал его дешёвым и наряду с железом самым распространённым в технике и быту.

С помощью электролиза получают электронные платы, служащие основой всех электронных изделий. На диэлектрик наклеивают тонкую медную пластину, на которую наносят особой краской сложную картину соединяющих проводов. Затем пластину помещают в электролит, где вытравливаются не закрытые краской участки медного слоя. После этого краска смывается, и на плате появляются детали микросхемы.

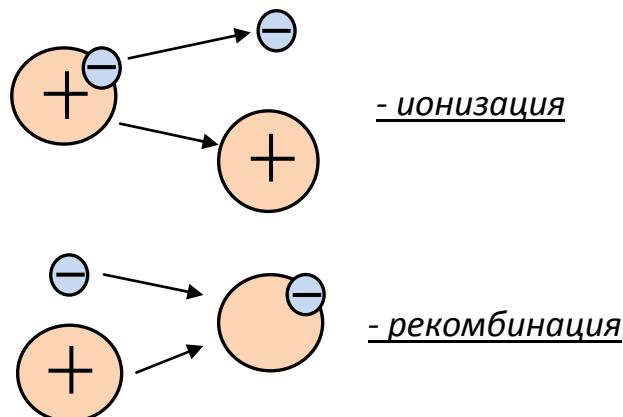
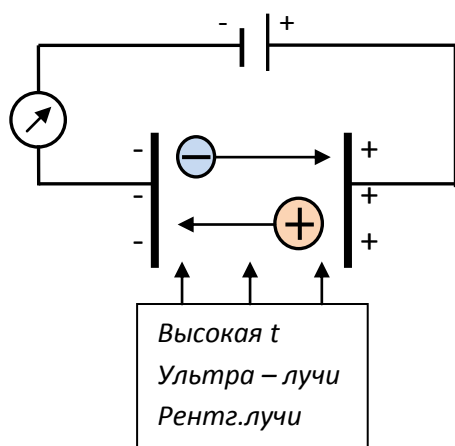
БЛОК -10

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК В ГАЗАХ

ОК - 72

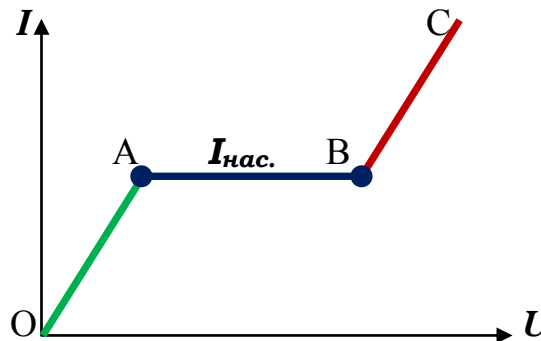
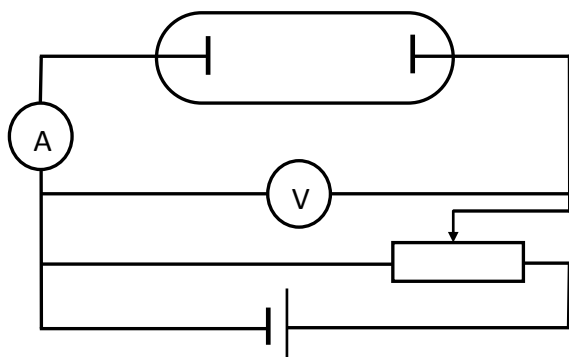
- 1. Воздух – диэлектрик** - линии электропередач,
- воздушный конденсатор,
- контактные выключатели.

- 2. Воздух проводник** - молния,
- электрическая искра,
- дуга при сварке.



Электронно – ионная проводимость

- 3. Газовый разряд** - процесс прохождения электрического тока через газ



Несамостоятельный разряд (OAB) – внешнее воздействие

Самостоятельный разряд (BC) – ионизация ударом, термоэлектронная эмиссия

- 4. Типы самостоятельных разрядов** (см. Пояснения к ОК)

При пониженном давлении - **тлеющий** – лампы дневного света,

При нормальном давлении - **искровой** – молния,

- **коронный** – электрофильтры, утечка энергии

- **дуговой** – сварка, ртутные лампы

- 5. Плазма** – частично или полностью ионизированный газ.

- низкотемпературная $T < 10^5$ К

- высокотемпературная $T > 10^5$ К

При $T = 20 \cdot 10^3 \div 30 \cdot 10^3$ К – любое вещество – плазма!

Термоядерные реакции! МГД – генераторы!

*Пояснения к ОК – 72***Электрический разряд в газе.**

Возьмём пластины плоского конденсатора и зарядим их (рис. ОК). При комнатной температуре, если воздух достаточно сухой, конденсатор разряжается очень медленно.

Это показывает, что электрический ток, вызываемый разностью потенциалов в воздухе между пластинами, очень мал. Следовательно, электрическая проводимость воздуха при комнатной температуре мала и *воздух можно считать диэлектриком.*

Нагреем воздух между пластинами. Конденсатор быстро разряжается. Следовательно, нагретый газ является проводником и в нём устанавливается электрический ток.

Увеличение проводимости воздуха можно вызвать и иными способами, например действием излучений: *ультрафиолетового, рентгеновского, радиоактивного и др.*

Ионизация газов.

При обычных условиях газы почти полностью состоят из нейтральных атомов или молекул и, следовательно, являются диэлектриками. Вследствие нагревания или воздействия излучением часть атомов ионизируется (рис. ОК).

В газе могут образовываться и отрицательные ионы, которые появляются благодаря присоединению электронов к нейтральным атомам.

Процесс распада атомов и молекул на ионы и электроны называется **ионизацией**.

Ионизация газов при нагревании объясняется тем, что по мере нагревания молекулы движутся всё быстрее и быстрее. При этом некоторые молекулы начинают двигаться так быстро, что часть из них при столкновениях распадается, превращаясь в ионы. Чем выше температура, тем больше образуется ионов.

Проводимость газов.

Механизм проводимости газов похож на механизм проводимости растворов и расплавов электролитов. Различие состоит в том, что отрицательный заряд переносится в основном не отрицательными ионами, как в водных растворах или расплавах электролитов, а электронами.

Таким образом, в газах сочетается электронная проводимость, подобная проводимости металлов, с ионной проводимостью, подобной проводимости водных растворов или расплавов электролитов.

Есть ещё одно различие. *В растворах электролитов* образование ионов происходит вследствие ослабления внутримолекулярных связей под действием молекул растворителя (молекул воды).

В газах образование ионов происходит либо при нагревании, либо за счёт действия внешних ионизаторов, например излучений.

Рекомбинация.

Если ионизатор перестанет действовать, то можно заметить, что заряженный конденсатор снова будет сохранять заряд. Это показывает, что после прекращения действия ионизатора газ перестаёт быть проводником. Ток прекращается после того, как все ионы и электроны достигнут электродов. Кроме того, при сближении электрона и положительно заряженного иона они могут вновь образовать нейтральный атом (рис. ОК).

Процесс образования из ионов и электронов нейтральных атомов и молекул называют **рекомбинацией** заряженных частиц.

Процесс прохождения электрического тока через газ называют **газовым разрядом**.

Несамостоятельный разряд. Для исследования разряда в газе при различных давлениях используют стеклянную трубку с двумя электродами (рис. ОК).

Пусть с помощью какого-либо ионизатора в газе образуется в секунду определённое число пар заряженных частиц: положительных ионов и электронов.

При небольшой разности потенциалов между электродами трубки положительно заряженные ионы перемещаются к отрицательному электроду, а электроны и отрицательно заряженные ионы — к положительному электроду. В результате в трубке возникает электрический ток, т. е. происходит *газовый разряд*.

Не все образующиеся ионы достигают электродов; часть их воссоединяется с электронами, образуя нейтральные молекулы газа.

По мере увеличения разности потенциалов между электродами трубки доля заряженных частиц, достигающих электродов, увеличивается. Возрастает и сила тока в цепи.

Наконец наступает момент, при котором все заряженные частицы, образующиеся в газе за секунду, достигают за это время электродов. При этом дальнейшего роста силы тока не происходит (рис. ОК). Ток достигает *насыщения*.

Самостоятельный разряд.

Казалось бы, сила тока и при дальнейшем увеличении разности потенциалов должна оставаться неизменной. Однако опыт показывает, что в газах при увеличении разности потенциалов между электродами, начиная с некоторого её значения, сила тока снова возрастает. Это означает, что в газе появляются дополнительные ионы помимо тех, которые образуются за счёт действия ионизатора. Сила тока может возрасти в сотни и тысячи раз, а число ионов, возникающих в процессе разряда, может стать таким большим, что внешний ионизатор будет уже не нужен для поддержания разряда. Если убрать внешний ионизатор, то разряд может не прекратиться.

Разряд, происходящий в газе без внешнего ионизатора, называется **самостоятельным разрядом**.

Ионизация электронным ударом.

Каковы же причины резкого увеличения силы тока в газе при больших напряжениях?

Рассмотрим какую-либо пару заряженных частиц (положительный ион и электрон), образовавшуюся благодаря действию внешнего ионизатора. Появившийся таким образом свободный электрон начинает двигаться к положительному электроду — аноду, а положительный ион — к катоду. На своём пути электрон встречает ионы и нейтральные атомы. В промежутках между двумя последовательными столкновениями кинетическая энергия электрона увеличивается за счёт работы сил электрического поля. Чем больше разность потенциалов между электродами, тем больше напряжённость электрического поля.

Кинетическая энергия электрона перед очередным столкновением пропорциональна напряжённости поля и длине l свободного пробега электрона (пути между двумя последовательными столкновениями):

$$\frac{mv^2}{2} = eEl$$

Если кинетическая энергия электрона превышает работу A_i , которую нужно совершить, чтобы ионизовать нейтральный атом, т. е.

$$\frac{mv^2}{2} > A_i$$

то при столкновении электрона с атомом происходит ионизация.

Процесс выбивания быстро движущимся свободным электроном при соударении у нейтрального атома одного или нескольких электронов называют **ионизацией электронным ударом**.

В результате вместо одного свободного электрона образуются два (налетающий на атом и вырванный из атома).

Эти электроны, в свою очередь, получают энергию в поле и ионизируют встречные атомы и т. д. Число заряженных частиц резко возрастает, возникает электронная лавина.

!Но одна ионизация электронным ударом не может обеспечить длительный самостоятельный разряд. Действительно, ведь все возникающие таким образом электроны движутся по направлению к аноду и по достижении анода «выбывают из игры». Для существования разряда необходима эмиссия электронов с катода (слово эмиссия означает «испускание»).

Эмиссия электронов может быть обусловлена несколькими причинами.
1. Положительные ионы, образовавшиеся при столкновении свободных электронов с нейтральными атомами, при своём движении к катоду приобретают под действием поля большую кинетическую энергию. При ударах таких быстрых ионов о катод с поверхности последнего выбиваются электроны.

2. Кроме того, катод может испускать электроны при нагревании его до высокой температуры. При самостоятельном разряде нагрев катода может происходить за счёт бомбардировки его положительными ионами, что происходит, например, при дуговом разряде.

В разреженном газе самостоятельный разряд возникает при сравнительно небольших напряжениях. Благодаря малому давлению длина пробега электрона между двумя ударами велика, и он может приобрести энергию, достаточную для ионизации атомов.

При таком разряде газ светится, цвет свечения зависит от рода газа.

Свечение, возникающее при тлеющем разряде, широко используется для рекламы, для освещения помещения лампами дневного света.

Виды самостоятельных разрядов

Разряд	Условия возникновения	Применение
Тлеющий	Низкое давление (доли мм.рт.ст.) Высокая напряженность поля \vec{E}	Ионные и электронные рентгеновские трубки, газоразрядные трубки, газовые лазеры
Дуговой	Термоэлектронная эмиссия с катода. Большая сила тока (10-100 А) при малой напряженности	Прожекторы Сварка и резка металла Электропечи для плавки металла
Коронный	Атмосферное давление. Сильно неоднородное поле	Электроочистительные фильтры газовых смесей
Искровой	Высокое напряжение при атмосферном давлении имеет вид светящегося канала	Молния Разряд конденсатора Искры при электризации

Плазма.

При очень низких температурах все вещества находятся в твёрдом состоянии. Их нагревание вызывает переход веществ из твёрдого состояния в жидкое. Дальнейшее повышение температуры приводит к превращению жидкостей в газ.

При достаточно больших температурах начинается ионизация газа за счет столкновений быстро движущихся атомов или молекул. Вещество переходит в новое состояние, называемое **плазмой**.

Плазма — это частично или полностью ионизованный газ, в котором локальные плотности положительных и отрицательных зарядов практически совпадают.

Плазма в целом является электрически нейтральной системой. В зависимости от условий, степень ионизации плазмы (отношение числа ионизованных атомов к их полному числу) может быть различной. В полностью ионизованной плазме нейтральных атомов нет.

Свойства плазмы. Плазма обладает рядом специфических свойств, что позволяет рассматривать её как особое, *четвёртое состояние вещества*.

1. Из-за большой подвижности заряженные частицы плазмы легко перемещаются под действием электрических и магнитных полей. Поэтому любое нарушение электрической нейтральности отдельных областей плазмы, вызванное скоплением частиц одного знака заряда, быстро ликвидируется. Возникающие электрические поля перемещают заряженные частицы до тех пор, пока электрическая нейтральность не восстановится и электрическое поле не станет равным нулю.

2. В отличие от нейтрального газа, между молекулами которого существуют короткодействующие силы, между заряженными частицами плазмы действуют кулоновские силы, сравнительно медленно убывающие с расстоянием. Каждая частица взаимодействует сразу с большим количеством окружающих частиц.

3. Проводимость плазмы увеличивается по мере роста степени её ионизации. При высоких температурах полностью ионизованная плазма по своей проводимости приближается к сверхпроводникам.

4. Наряду с нагреванием ионизация газа и образование плазмы могут быть вызваны различными излучениями или бомбардировкой атомов газа быстрыми заряженными частицами. При этом получается так называемая *низкотемпературная плазма*.

Плазма в космическом пространстве.

В состоянии плазмы находится подавляющая (около 99%) часть вещества Вселенной. Вследствие высокой температуры Солнце и другие звёзды состоят в основном из полностью ионизованной плазмы.

Из плазмы состоит и межзвёздная среда, заполняющая пространство между звёздами и галактиками. Плотность межзвёздной среды очень мала — в среднем менее одного атома на 1 см^3 . Ионизация атомов межзвёздной среды вызывается излучением звёзд и космическими лучами — потоками быстрых частиц, пронизывающими пространство Вселенной по всем направлениям. В отличие от горячей плазмы звёзд температура межзвёздной плазмы очень мала.

Плазмой окружена и наша планета. Верхний слой атмосферы на высоте 100—300 км представляет собой ионизованный газ — *ионосферу*. Ионизация воздуха в верхнем слое атмосферы вызывается преимущественно излучением Солнца и потоком заряженных частиц, испускаемых Солнцем. Выше ионосферы простираются радиационные пояса Земли, открытые с помощью спутников. Радиационные пояса также состоят из плазмы. Многими свойствами плазмы обладают свободные электроны в металлах. В отличие от обычной плазмы в плазме твёрдого тела положительные ионы не могут перемещаться по всему телу.

Магнитогидродинамический генератор (МГД).

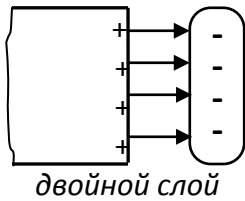
Принцип действия магнитогидродинамического генератора (МГД – генератора) заключается в том, что при движении ионизированного газа (низкотемпературной плазмы) через сильное магнитное поле в нём индуцируется электрический ток. Низкотемпературная плазма возникает при нагревании газа до температуры 2300 – 3000 К, когда от его молекул или атомов отрываются внешние электроны, вследствие чего газ ионизируется и становится проводником электрического тока.

БЛОК -10

ОК - 73

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК В ВАКУУМЕ

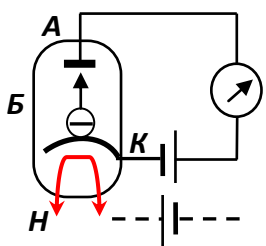
1.Вакуум - $P \ll P_{\text{АТМ.}}$ (до 10^{-13} мм.рт.ст.)



Самопроизвольный выход \bar{e} невозможен!

Термоэлектронная эмиссия!

2.Вакуумный диод (в настоящее время не применяется)

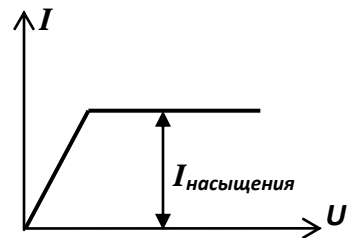


(Б) Баллон – вакуум ($10^{-6} - 10^{-7}$ мм.рт.ст.)

(А) Анод – притягивает \bar{e}

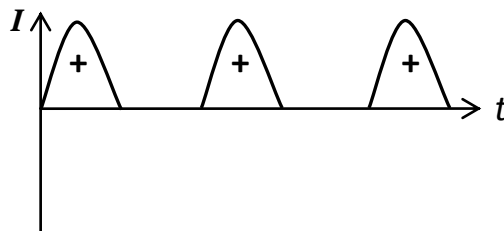
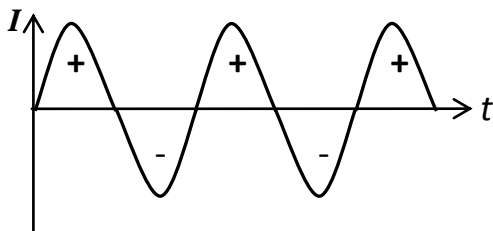
(Н) Нить – подогрев катода

(К) Катод – испускает \bar{e}



односторонняя проводимость!

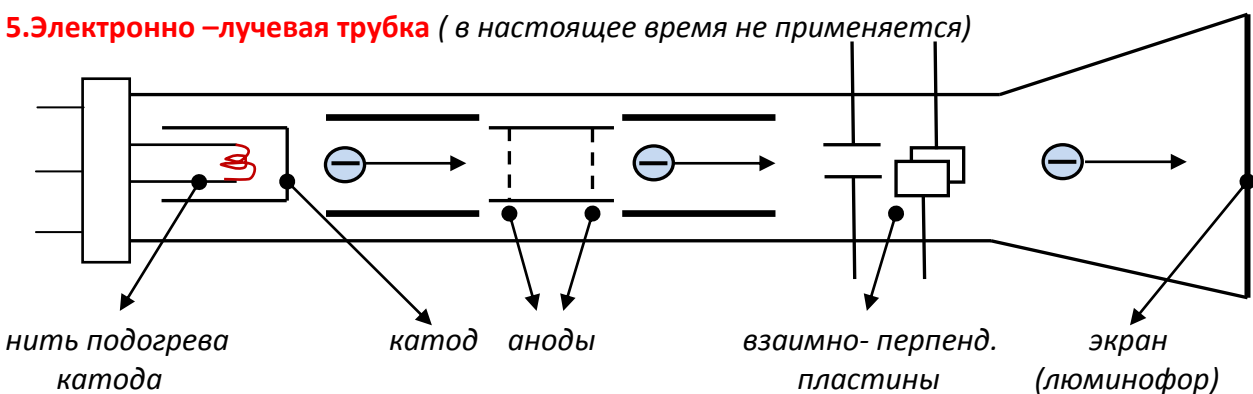
3.Применение – выпрямление переменного тока



4.Свойства электронных лучей

- вызывают свечение, нагрев, рентгеновское излучение
- отклоняются в электрическом и магнитном полях

5.Электронно –лучевая трубка (в настоящее время не применяется)



Управление пучком электронов – с помощью магнитного поля

В цветном кинескопе – три электронные пушки

- экран из трех люминофоров (**красный**, **синий** и **зеленый**)

Пояснения к ОК – 73

До открытия уникальных свойств полупроводников в радиотехнике использовались исключительно электронные лампы.

Откачивая газ из сосуда (трубки), можно получить газ с очень малой концентрацией молекул.

Состояние газа, при котором молекулы успевают пролететь от одной стенки сосуда к другой, ни разу не испытав соударений друг с другом, называют **вакуумом**.

Если в сосуд с вакуумом поместить два электрода и подключить их к источнику тока, то ток между электродами не пойдёт, так как в вакууме нет носителей заряда. Следовательно, для создания тока в трубке должен быть источник заряженных частиц.

Термоэлектронная эмиссия.

Чаще всего действие такого источника заряженных частиц основано на свойстве тел, нагретых до высокой температуры, испускать электроны.

Явление испускания электронов нагретыми металлами называется **термоэлектронной эмиссией**.

Это явление можно рассматривать как испарение электронов с поверхности металла.

Односторонняя проводимость. Диод.

Явление термоэлектронной эмиссии приводит к тому, что нагретый металлический электрод, в отличие от холодного, непрерывно испускает электроны. Электроны образуют вокруг электрода *электронное облако*.

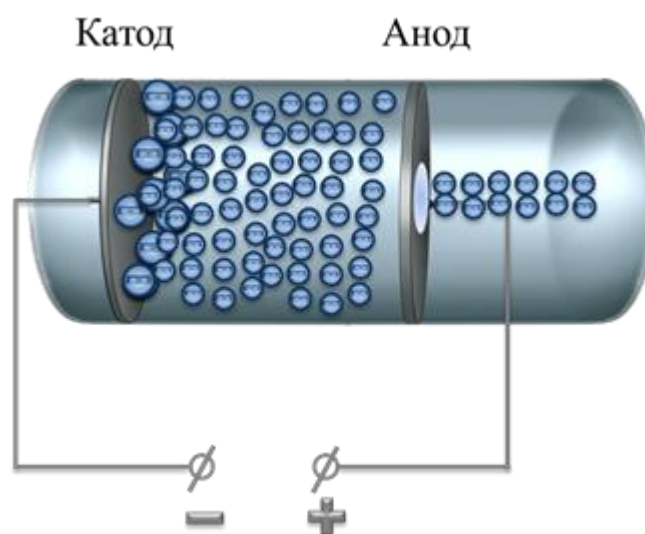
В равновесном состоянии число электронов, покинувших электрод в секунду, равно числу электронов, возвратившихся на электрод за это время. Чем выше температура металла, тем выше плотность электронного облака.

При подключении электродов к источнику тока между ними возникает электрическое поле. Если положительный полюс источника тока соединён с холодным электродом (анодом), а отрицательный — с нагретым (катодом), то вектор напряжённости электрического поля направлен к нагретому электроду. Под действием этого поля электроны частично покидают электронное облако и движутся к холодному электроду. Электрическая цепь замыкается, и в ней устанавливается электрический ток.

При противоположной полярности включения источника напряжённость поля направлена от нагретого электрода к холодному. Электрическое поле отталкивает электроны облака назад к нагретому электроду. Цепь оказывается разомкнутой.

Односторонняя проводимость широко использовалась раньше в электронных приборах с двумя электродами — **вакуумных диодах**, которые служили, как и полупроводниковые диоды, для выпрямления электрического тока. Однако в настоящее время вакуумные диоды практически не применяются.

Если в аноде электронной лампы сделать отверстие, то часть электронов, ускоренных электрическим полем, пролетит в это отверстие, образуя за анодом электронный пучок. Количеством электронов в пучке можно управлять, поместив между катодом и анодом дополнительный электрод и изменяя его потенциал.



Длина потока электронов, пролетающих в это отверстие, будет значительно больше, чем толщина этого потока. Именно такой поток электронов называется электронным пучком. Итак, **электронный пучок — это поток электронов, длина которого гораздо больше, чем толщина.**

Устройство, создающее электронные пучки называется электронной пушкой. То есть, **электронная пушка — это устройство для получения электронных пучков с заданной кинетической энергией и заданной конфигурацией.**

Количество электронов можно контролировать, поместив третий электрод между катодом и анодом, и изменяя его потенциал.

Электронно-лучевая трубка.

Возможность управления электронным пучком с помощью электрического или магнитного поля и свечение покрытого люминофором экрана под действием пучка применяют в *электронно-лучевой трубке*.

Электронно-лучевая трубка была основным элементом первых телевизоров и осциллографа — прибора для исследования быстропеременных процессов в электрических цепях.

Устройство электронно-лучевой трубки показано на рисунке. Эта трубка представляет собой вакуумный баллон, одна из стенок которого служит экраном. В узком конце трубки помещён источник быстрых электронов — *электронная пушка*.

Она состоит из катода, управляющего электрода и анода (чаще несколько анодов располагается друг за другом). Электроны испускаются нагретым оксидным слоем с торца цилиндрического катода, окружённого теплозащитным экраном. Далее они проходят через отверстие в цилиндрическом управляющем электроде (он регулирует число электронов в пучке). Каждый анод состоит из дисков с небольшими отверстиями. Эти диски вставлены в металлические цилиндры. Между первым анодом и катодом создаётся разность потенциалов в сотни и даже тысячи вольт. Сильное электрическое поле ускоряет электроны, и они приобретают большую скорость.

(Форма, расположение и потенциалы анодов выбирают так, чтобы наряду с ускорением электронов осуществлялась и фокусировка электронного пучка, т. е. уменьшение площади поперечного сечения пучка на экране почти до точечных размеров).

На пути к экрану пучок последовательно проходит между двумя парами управляющих пластин, подобных пластинам плоского конденсатора. Если электрического поля между пластинами нет, то пучок не отклоняется и светящаяся точка располагается в центре экрана. При сообщении разности потенциалов вертикально расположенным пластинам пучок смещается в горизонтальном направлении, а при сообщении разности потенциалов горизонтальным пластинам он смещается в вертикальном направлении. Одновременное использование двух пар пластин позволяет перемещать светящуюся точку по экрану в любом направлении.

В электронно-лучевой трубке, применяемой в телевизоре (так называемом кинескопе), управление пучком, созданным электронной пушкой, осуществляется с помощью магнитного поля. Это поле создают катушки, надетые на горловину трубки.

Цветной кинескоп содержит три разнесённые электронные пушки и экран мозаичной структуры, составленный из люминофоров трёх типов (красного, синего и зелёного свечения). Каждый электронный пучок возбуждает люминофоры одного типа, свечение которых в совокупности даёт на экране цветное изображение.

Электронно-лучевые трубки широко применялись в дисплеях — устройствах, присоединяемых к электронно-вычислительным машинам (ЭВМ). На экран дисплея, подобный экрану телевизора, поступала информация, записанная и переработанная ЭВМ. Можно было непосредственно видеть текст на любом языке, графики различных процессов, изображения реальных объектов, а также воображаемые объекты, подчиняющиеся законам, записанным в программе вычислительной машины.

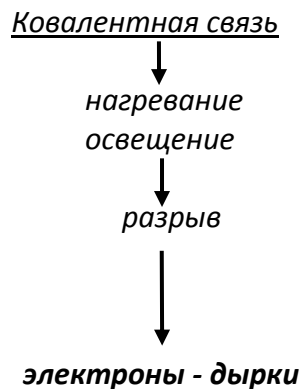
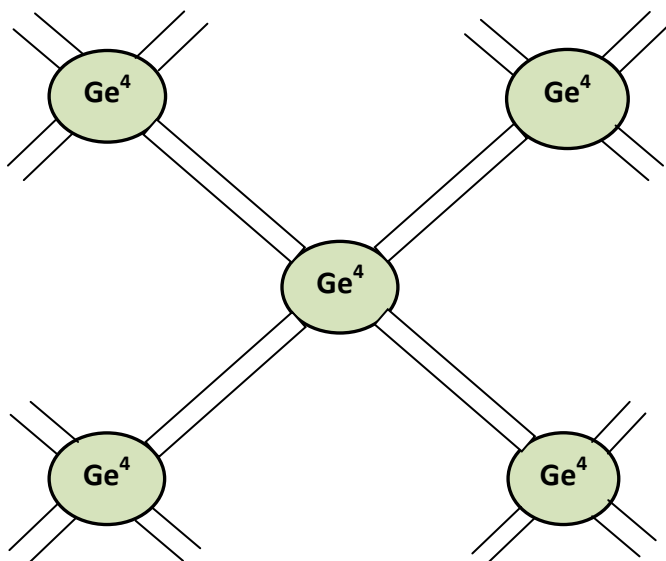
В настоящее время чаще используются телевизоры с жидкокристаллическим или плазменным экраном.

БЛОК -10

ОК - 74

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК В ПОЛУПРОВОДНИКАХ

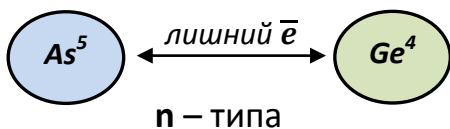
1. Собственная проводимость – монокристаллы Ge, Si, Se и др.



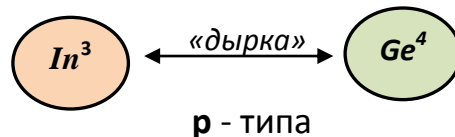
Электронно – дырочная проводимость

2. Примесная проводимость

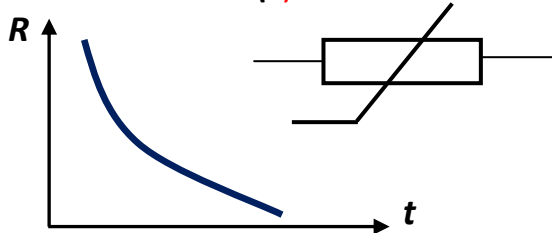
донорная



акцепторная



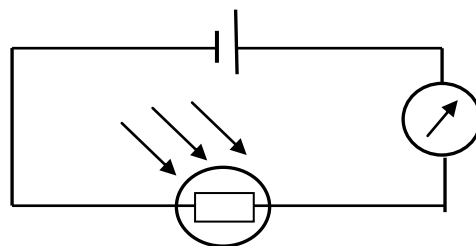
3. Зависимость $R(t)$



Термистор

- дистанционное измерение t -ры
- противопожарная безопасность

4. Зависимость R от освещения



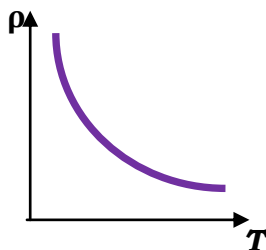
Фоторезистор

- фотореле
- аварийные выключатели

Пояснения к ОК – 74

Полупроводники — вещества, удельное сопротивление которых имеет промежуточное значение между удельным сопротивлением металлов (10^{-6} — 10^{-8} Ом • м) и удельным сопротивлением диэлектриков (10^8 — 10^{13} Ом • м).

Отличие проводников от полупроводников особенно проявляется при анализе зависимости их электропроводимости от температуры. Исследования показывают, что у ряда элементов (кремний, германий, селен, индий, мышьяк и др.) и соединений (PbS, CdS, GaAs и др.) удельное сопротивление с увеличением температуры не растёт, как у металлов, а, наоборот, чрезвычайно резко уменьшается (см.рис.). Такое свойство присуще именно полупроводникам.



Из графика, изображённого на рисунке, видно, что при температурах, близких к абсолютному нулю, удельное сопротивление полупроводников очень велико. Это означает, что при низких температурах полупроводник ведёт себя как диэлектрик. По мере повышения температуры его удельное сопротивление быстро уменьшается.

Строение полупроводников

Познакомимся с механизмом проводимости в полупроводниках. А для этого надо рассмотреть *природу связей*, удерживающих атомы полупроводникового кристалла друг возле друга.

Для примера рассмотрим кристалл германия.

Германий — четырёхвалентный элемент. Это означает, что во внешней оболочке его атома имеется четыре электрона, сравнительно слабо связанные с ядром. Число ближайших соседей каждого атома кремния также равно четырём. Схема структуры кристалла кремния изображена на рисунке в ОК-74.

Взаимодействие пары соседних атомов осуществляется с помощью парноэлектронной связи, называемой *ковалентной связью*. В образовании этой связи от каждого атома участвует по одному валентному электрону, электроны отделяются от атома, которому они принадлежат, и при своём движении большую часть времени проводят в пространстве между соседними атомами. Их отрицательный заряд удерживает положительные ионы германия друг возле друга.

Не надо думать, что пара электронов принадлежит лишь двум атомам. Каждый атом образует четыре связи с соседними, и любой валентный электрон может двигаться по одной из них. Дойдя до соседнего атома, он может перейти к следующему, а затем дальше вдоль всего кристалла. Валентные электроны принадлежат всему кристаллу.

Парноэлектронные связи в кристалле германия достаточно прочны и при низких температурах не разрываются. Поэтому кремний при низкой температуре не проводит электрический ток. Участвующие в связи атомов валентные электроны являются как бы цементирующим раствором, удерживающим кристаллическую решётку, и внешнее электрическое поле не оказывает заметного влияния на их движение. Аналогичное строение имеет кристалл кремния.

Электронная проводимость. При нагревании германия кинетическая энергия частиц повышается, и наступает разрыв отдельных связей. Некоторые электроны покидают свои «проторённые пути» и становятся свободными, подобно электронам в металле. В электрическом поле они перемещаются между узлами решётки, создавая электрический ток.

Проводимость полупроводников, обусловленную наличием у них свободных электронов, называют **электронной проводимостью**.

При повышении температуры число разорванных связей, а значит, и свободных электронов увеличивается. При нагревании от 300 до 700 К число свободных носителей заряда увеличивается от 10^{17} до 10^{24} . Это приводит к уменьшению сопротивления.

Дырочная проводимость.

При разрыве связи между атомами полупроводника образуется вакантное место с недостающим электроном, которое называют **дыркой**.

В дырке имеется избыточный положительный заряд по сравнению с остальными, не разорванными связями.

Положение дырки в кристалле не является неизменным. Непрерывно происходит следующий процесс. Один из электронов, обеспечивающих связь атомов, перескакивает на место образовавшейся дырки и восстанавливает здесь парноэлектронную связь, а там, откуда перескочил этот электрон, образуется новая дырка. *Таким образом, дырка может перемещаться по всему кристаллу.*

Если напряжённость электрического поля в образце равна нулю, то перемещение дырок происходит беспорядочно и поэтому не создаёт электрического тока. При наличии электрического поля возникает упорядоченное перемещение дырок.

Направление движения дырок противоположно направлению движения электронов.

В отсутствие внешнего поля на один свободный электрон (-) приходится одна дырка (+). При наложении поля свободный электрон смещается против напряжённости поля. В этом направлении перемещается также один из связанных электронов. Это выглядит как перемещение дырки в направлении поля.

Проводимость, обусловленная движением дырок, называется **дырочной проводимостью** полупроводников.

Итак, в полупроводниках имеются носители заряда двух типов: электроны и дырки.

Выше был рассмотрен механизм проводимости чистых полупроводников.

Проводимость чистых полупроводников называют **собственной проводимостью**.

Примесная проводимость.

Собственная проводимость полупроводников обычно невелика, так как мало число свободных электронов.

Проводимость полупроводников можно существенно увеличить, внедряя в них примесь. В этом случае наряду с собственной проводимостью возникает дополнительная — *примесная проводимость*.

Проводимость проводников, обусловленная внесением в их кристаллические решётки примесей (атомов посторонних химических элементов), называется **примесной проводимостью**.

Донорные примеси.

Добавим в германий небольшое количество мышьяка. Атомы мышьяка имеют пять валентных электронов. Четыре из них участвуют в создании ковалентной связи данного атома с окружающими атомами кремния. Пятый валентный электрон оказывается слабо связанным с атомом. Он легко покидает атом мышьяка и становится свободным.

При добавлении одной десятиллионной доли атомов мышьяка концентрация свободных электронов становится равной 10^{16} см⁻³. Это в тысячу раз больше концентрации свободных электронов в чистом полупроводнике.

Примеси, легко отдающие электроны и, следовательно, увеличивающие число свободных электронов, называют **донорными** (отдающими) **примесями**.

Полупроводники, имеющие донорные примеси и потому обладающие большим числом электронов (по сравнению с числом дырок), называются **полупроводниками n-типа** (от английского слова negative — отрицательный).

В полупроводнике n-типа электроны являются основными носителями заряда, а *дырки* — *неосновными*.

Акцепторные примеси.

Если в качестве примеси использовать индий, атомы которого трёхвалентны, то характер проводимости полупроводника меняется. Для образования нормальных парноэлектронных связей с соседями атому индия недостаёт одного электрона, который он берёт у соседнего атома кристалла германия. В результате образуется дырка. Число дырок в кристалле равно числу атомов примеси.

Примеси в полупроводнике, создающие дополнительную концентрацию дырок, называют **акцепторными** (принимающими) **примесями**.

При наличии электрического поля дырки перемещаются направленно и возникает электрический ток, обусловленный дырочной проводимостью.

Полупроводники с преобладанием дырочной проводимости над электронной называют **полупроводниками p-типа** (от английского слова positive — положительный).

Основными носителями заряда в полупроводнике р-типа являются дырки, а *неосновными* — электроны.

Изменяя концентрацию примеси, можно значительно изменять число носителей заряда того или иного знака. Благодаря этому можно создавать полупроводники с преимущественной концентрацией одного из носителей тока электронов или дырок. Эта особенность полупроводников открывает широкие возможности для их практического применения.

Терморезистор (*термистор, термосопротивление*) — полупроводниковый прибор, электрическое сопротивление которого изменяется в зависимости от его температуры.

Терморезистор был изобретён Самюэлем Рубеном (Samuel Ruben) в 1930 году.

Терморезисторы изготавливаются из материалов с высоким температурным коэффициентом сопротивления (ТКС), который обычно на порядки выше, чем ТКС металлов и металлических сплавов.



Фоторезистор — полупроводниковый прибор, изменяющий величину своего сопротивления при облучении светом. Не имеет р-п перехода, поэтому обладает одинаковой проводимостью независимо от направления протекания тока.

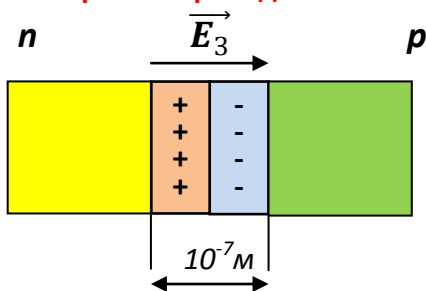


БЛОК - 10

ОК - 75

р - n ПЕРЕХОД

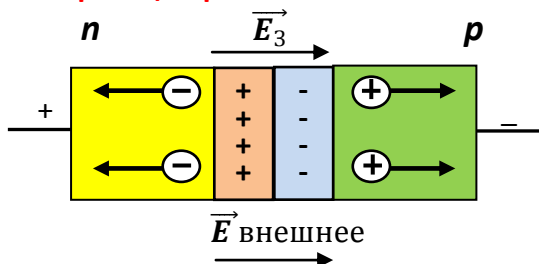
1. Свойства р - n перехода



Запирающий слой!

$$E = \frac{U}{d} = \frac{0,4 \text{ В}}{10^{-7} \text{ м}} = 4 * 10^6 \frac{\text{В}}{\text{м}}$$

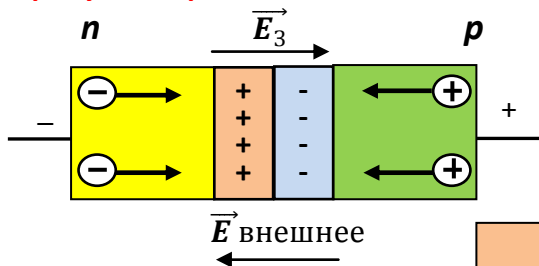
2. Запирающий режим



Слой расширяется - R ↑

Тока нет!

3. Пропускной режим

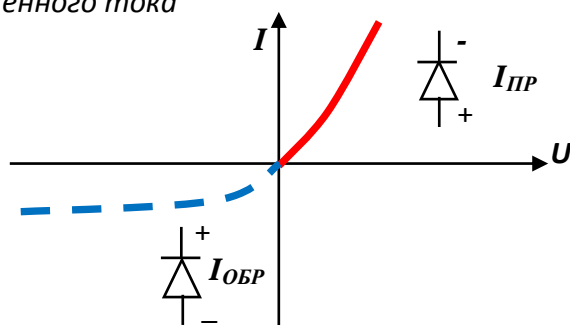
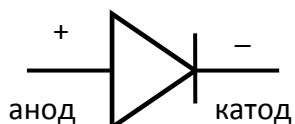


Слой сужается - R ↓

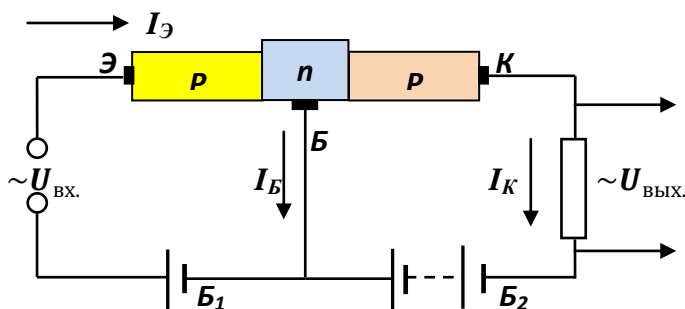
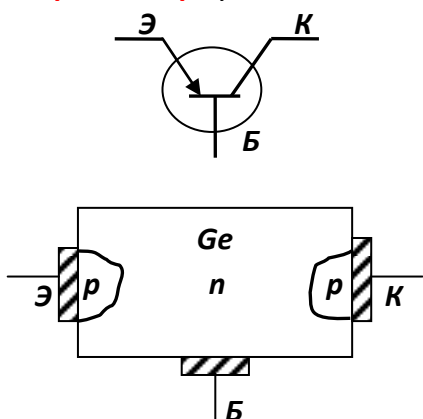
Ток есть!

Односторонняя проводимость

4. Полупроводниковый диод – выпрямление переменного тока



5. Транзистор - усилитель



$$I_{\text{э}} = I_{\text{к}} + I_{\text{б}}$$

Пояснения к ОК – 75

Электрический ток через контакт полупроводников с разным типом проводимости.

Наиболее интересные явления происходят при контакте полупроводников *n*- и *p*-типов. Эти явления используются в большинстве полупроводниковых приборов.

p—n-переход.

Рассмотрим, что будет происходить, если привести в контакт два одинаковых полупроводника, но с разным типом проводимости: *слева полупроводник n-типа, а справа полупроводник p-типа.*

Контакт двух полупроводников с разным типом проводимости называют **p-n-** или **n-p-переходом**.

В левой части много свободных электронов, а в правой их концентрация очень мала. В правой части, наоборот, много дырок, т. е. вакантных мест для электронов. Как только полупроводники приводят в контакт, начинается диффузия электронов из области с проводимостью *n*-типа в область с проводимостью *p*-типа и соответственно переход дырок в обратном направлении. Перешедшие в полупроводник *p*-типа электроны занимают свободные места, происходит процесс рекомбинации электронов и дырок, а попавшие в полупроводник *n*-типа дырки также исчезают благодаря электронам, занимающим вакантное место. Таким образом, вблизи границы раздела полупроводников с разным типом проводимости возникает слой, обеднённый носителями тока (*его называют контактным слоем или запирающим*).

Этот слой фактически представляет собой диэлектрик, его сопротивление очень велико. При этом полупроводник *n*-типа заряжается положительно, а полупроводник *p*-типа — отрицательно. В зоне контакта возникает стационарное электрическое поле напряжённостью \vec{E}_k , препятствующее дальнейшей диффузии электронов и дырок.

Суммарное сопротивление приведённых в контакт полупроводников складывается из сопротивления полупроводника *n*-типа, *p—n*-перехода и полупроводника *p*-типа: $R = R_n + R_{pn} + R_p$.

Так как сопротивления областей с *n*- и *p*-типами проводимости малы (там много носителей заряда — электронов и дырок), то суммарное сопротивление определяется в основном сопротивлением *p—n*-перехода: $R \approx R_{pn}$.

Запирающий режим.

Включим полупроводник с *p—n*-переходом в электрическую цепь так, чтобы потенциал полупроводника *n*-типа был положительным, а *p*-типа — отрицательным. В этом случае напряжённости внешнего и контактного полей направлены в одну сторону и модуль суммарной напряжённости $E = E_k + E_{\text{внеш}}$. Внешнее поле оттягивает электроны и дырки от контактного слоя, в результате чего он расширяется. В связи с этим у электронов уже не хватает энергии для того, чтобы преодолеть этот слой. Переход через контакт осуществляется неосновными носителями, число которых мало.

Сопrotивление контактного слоя очень велико. Ток через р—п-переход не идёт. Образуется так называемый *запирающий слой*. Такой переход называется **обратным**.

Вольт-амперная характеристика обратного перехода изображена на рисунке в ОК штриховой линией. (см. вольт-амперную характеристику в следующем пункте).

Изменим теперь полярность подключения батареи. В этом случае напряжённость внешнего поля будет направлена в сторону, противоположную напряжённости контактного слоя.

Модуль суммарной напряжённости $E = E_k - E_{\text{внеш}}$. Так как поле, удерживающее носители тока, ослабевает, то у электронов уже достаточно энергии, чтобы его преодолеть.

Через переход пойдёт ток, при этом он будет создан основными носителями — из области с п-типом проводимости в область с р-типом проводимости идут электроны, а из области с р-типом в область с п-типом — дырки. В этом случае р—п-переход называется **прямым**. Образуется так называемый *пропускной режим*.

Полупроводниковый диод.

Устройство, содержащее р—п-переход и способное пропускать ток в одном направлении и не пропускать в противоположном, называется **полупроводниковым диодом**.

Если на контакты полупроводникового диода подать переменное напряжение, то ток по цепи пойдёт только в одну сторону.

Полупроводниковые диоды изготавливают из германия, кремния, селена и других веществ.

Выпрямление переменного тока является одним из основных процессов в радиоэлектронике. В выпрямительном устройстве энергия **переменного тока** преобразуется в энергию постоянного **тока**. **Полупроводниковые диоды** хорошо проводят **ток** в прямом направлении и плохо проводят в обратном, и, следовательно, основным назначением большинства **диодов** является **выпрямление переменного тока**.

Полупроводниковые диоды применяют в детекторах приёмников для выделения сигналов низкой частоты, для защиты от неправильного подключения источника к цепи.

В светофорах используются специальные полупроводниковые диоды. При прямом подключении такого диода происходит активная рекомбинация электронов и дырок. При этом выделяется энергия в виде светового излучения.

Схематическое изображение диода приведено на рисунке в ОК. Полупроводниковые выпрямители обладают высокой надёжностью и имеют большой срок службы. Однако они могут работать лишь в ограниченном интервале температур (от -70 до 125 °С).

Транзисторы. Ещё одно применение полупроводников с примесным типом проводимости — транзисторы — приборы, используемые для усиления электрических сигналов.

Рассмотрим один из видов транзисторов из германия или кремния с введёнными в них донорными и акцепторными примесями. Распределение

примесей таково, что создаётся очень тонкая (толщиной порядка нескольких микрометров) прослойка полупроводника *n*-типа между двумя слоями полупроводника *p*-типа. Эту тонкую прослойку называют *основанием* или *базой*.

В кристалле образуются два *p—n*-перехода, прямые направления которых противоположны. Три вывода от областей с различными типами проводимости позволяют включать транзистор в схему, изображённую на рисунке. В данной схеме при подключении батареи B_1 левый *p—n*-переход является *прямым*. Левый полупроводник с проводимостью *p*-типа называют *эмиттером*. Если бы не было правого *p—n*-перехода, в цепи эмиттер — база существовал бы ток, зависящий от напряжения источников (батареи B_1 и источника переменного напряжения) и сопротивления цепи, включая малое сопротивление прямого перехода эмиттер — база.

Батарея B_2 включена так, что правый *n—p*-переход в схеме является *обратным*. Правая область с проводимостью *p*-типа называется *коллектором*. Если бы не было левого *p—n*-перехода, сила тока в цепи коллектора была бы близка к нулю, так как сопротивление обратного перехода очень велико. При существовании же тока в левом *p—n*-переходе появляется ток и в цепи коллектора, причём сила тока в коллекторе лишь немного меньше силы тока в эмиттере. (Если на эмиттер подано отрицательное напряжение, то левый *p—n*-переход будет обратным, и ток в цепи эмиттера и в цепи коллектора будет практически отсутствовать.)

Это объясняется следующим образом. При создании напряжения между эмиттером и базой основные носители полупроводника *p*-типа (дырки) проникают в базу, где они являются уже *неосновными носителями*. Поскольку толщина базы очень мала и число основных носителей (электронов) в ней невелико, попавшие в неё дырки почти не объединяются (не рекомбинируют) с электронами базы и проникают в коллектор за счёт диффузии. Правый *p—n*-переход закрыт для основных носителей заряда базы — электронов, но не для дырок. В коллекторе дырки увлекаются электрическим полем и замыкают цепь. Сила тока, ответвляющегося в цепь эмиттера из базы, очень мала, так как площадь сечения базы в горизонтальной плоскости много меньше сечения в вертикальной плоскости.

Сила тока в коллекторе, почти равная силе тока в эмиттере, изменяется вместе с током через эмиттер. Сопротивление резистора R мало влияет на ток в коллекторе, и это сопротивление можно сделать достаточно большим. Управляя током эмиттера с помощью источника переменного напряжения, включённого в его цепь, мы получим синхронное изменение напряжения на резисторе R .

При большом сопротивлении резистора изменение напряжения на нём может в десятки тысяч раз превышать изменение напряжения сигнала в цепи эмиттера. Это означает усиление напряжения. Поэтому на нагрузке R можно получить электрические сигналы, мощность которых во много раз превышает мощность, поступающую в цепь эмиттера.

Применение транзисторов. Современная электроника базируется на микросхемах и микропроцессорах, включающих в себя колоссальное число транзисторов.

Первая интегральная схема поступила в продажу в 1964 г. Она содержала шесть элементов — четыре транзистора и два резистора. Современные микросхемы содержат миллионы транзисторов.

Компьютеры, составленные из микросхем и микропроцессоров, фактически изменили окружающий человека мир. В настоящее время не существует ни одной области человеческой деятельности, где компьютеры не служили бы активными помощниками человека. Например, в космических исследованиях или высокотехнологичных производствах работают микропроцессоры, уровень организации которых соответствует искусственному интеллекту.

Транзисторы получили чрезвычайно широкое распространение в современной технике. Они заменили электронные лампы в электрических цепях научной, промышленной и бытовой аппаратуры. Портативные радиоприёмники, в которых используются такие приборы, в обиходе называются транзисторами. Преимуществом транзисторов (так же как и полупроводниковых диодов) по сравнению с электронными лампами является прежде всего отсутствие накаливаемого катода, потребляющего значительную мощность и требующего времени для его разогрева. Кроме того, эти приборы в десятки и сотни раз меньше по размерам и массе, чем электронные лампы.

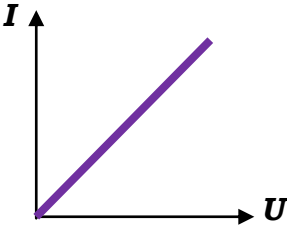
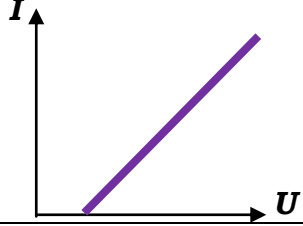
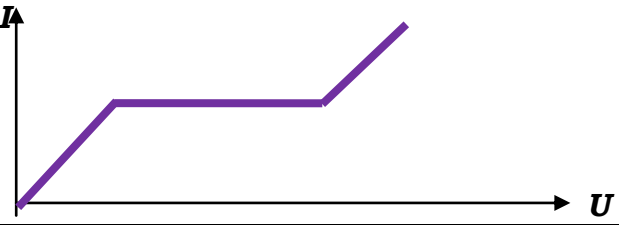
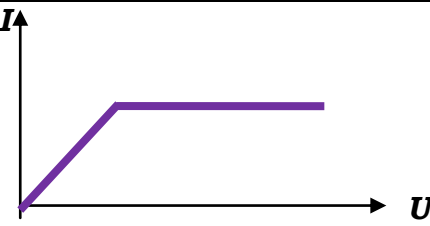
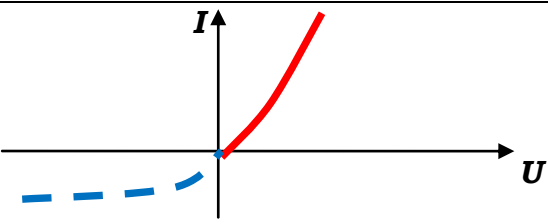
БЛОК -10

ИТОГИ:

Носители тока в различных средах

Среда	Носители тока	Проводимость
Металл	Свободные электроны	Электронная
Электролит	Положительные и отрицательные ионы	Ионная
Газ	Ионы и электроны	Ионная и электронная
Вакуум	Электроны	Электронная
Полупроводник	Свободные электроны и дырки	Электронная и дырочная

Вольт – амперные характеристики

Среда	Вольт – амперные характеристики
Металл	
Электролит	
Газ	
Вакуум	
Полупроводник	

БЛОК -10**Повторим теорию!**
Электрический ток в различных средах.**ВЗК - 10**

1. Расскажите об опыте Рикке. Какой вывод можно сделать из этого опыта?
2. Расскажите об опытах Манделъштам и Папалекси, Стюарта и Толмена. Какой вывод был сделан из этих опытов?
3. Что называют удельным зарядом электрона и чему он равен?
4. Какова зависимость силы тока в проводник от напряжения?
5. Какие вещества относят к электролитам?
6. Что такое электролитическая диссоциация?
7. Что называют электролизом? Как он происходит?
8. Какова зависимость силы тока от напряжения у электролитов?
9. Какова зависимость сопротивления электролита от температуры?
10. Как получить формулу, выражающую закон электролиза?
11. Что называют электрохимическим эквивалентом вещества?
12. Что называют постоянной Фарадея для электролиза?
13. Как практическим путем можно определить заряд электрона?
14. Приведите примеры применения электролиза.
15. Какие примеры свидетельствуют о том, что воздух является хорошим диэлектриком?
16. Какие примеры свидетельствуют о том, что воздух является проводником?
17. Как можно сделать воздух проводником?
18. Что называют ионизацией газа? Что называют рекомбинацией атомов?
19. Что называется газовым разрядом? Нарисуйте схему эксперимента по изучению закономерностей тока в газах и объясните особенности самостоятельного разряда газах.
20. Объясните особенности самостоятельного газового разряда. Начертите полную вольт-амперную характеристику газового разряда.
21. Как возникает самостоятельный газовый разряд?
22. Назовите и опишите виды самостоятельных разрядов в газах.
23. Что такое плазма? Каковы её особенности? Какие виды плазмы существуют? Каково практическое применение плазмы?
24. Что называют вакуумом?
25. Что такое термоэлектронная эмиссия?
26. Опишите устройство и работу вакуумного диода?
27. Начертите и объясните вольт-амперную характеристику вакуумного диода.
28. Каким основным свойством обладает вакуумный диод и где это применяется?
29. Перечислите свойства электронных лучей.
30. Нарисуйте схему и объясните принцип работы электронно-лучевой трубки.
31. Где применяются электронно-лучевые трубки?
32. Какие вещества называют полупроводниками? Приведите примеры полупроводниковых веществ.
33. Почему полупроводники в нормальном состоянии являются хорошими диэлектриками?
34. Объясните механизм возникновения собственной проводимости полупроводников.
35. Что называется электрическим током в беспримесных полупроводниках?
36. Почему собственная проводимость полупроводника мала?
37. Какие существуют виды примесей?
38. Как образуются примесные полупроводники и каково их название?

39. Как зависит сопротивление полупроводника от температуры и освещенности?
В каких приборах устройствах это используется?
40. Как образуется р-п – переход?
41. Расскажите о запирающем и пропускных режимах?
42. Начертите и расскажите о вольт-амперной характеристике полупроводникового диода.
43. Каким свойством обладает полупроводниковый диод и где это используется?
44. Что такое транзистор? Каково его назначение?
45. Как устроен транзистор? Как обозначается на электрических схемах?
46. Объясните работу транзистора?