

# Электропроводность металлов и сплавов



# Содержание :

- Электропроводность проводников
- Электропроводность полупроводников
- Электропроводность диэлектриков
- Электропроводность металлов
- Электропроводность сплавов

# Теоретические сведения

- 1) Проводник - тело, в котором имеются свободные носители заряда, то есть заряженные частицы, которые могут свободно перемещаться внутри этого тела.
- 2) Полупроводник - материал, который по своей удельной проводимости занимает промежуточное место между проводниками и диэлектриками и отличается от проводников сильной зависимостью удельной проводимости от концентрации примесей, температуры и воздействия различных видов излучения.
- 3) Диэлектрик - вещество, плохо проводящее электрический ток.
- 4) Электропроводность - способность тела проводить электрический ток, а также физическая величина, характеризующая эту способность и обратная электрическому сопротивлению.
- 5) Сплав - макроскопически однородный металлический материал, состоящий из смеси двух или большего числа химических элементов с преобладанием металлических компонентов.

# Электропроводность проводников

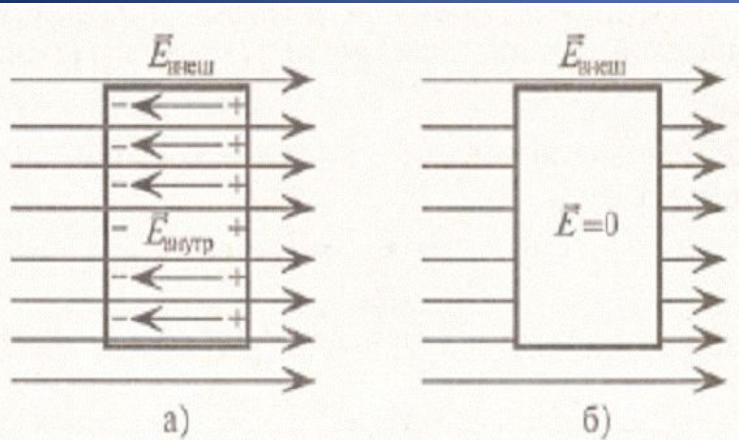


Рис 1.1

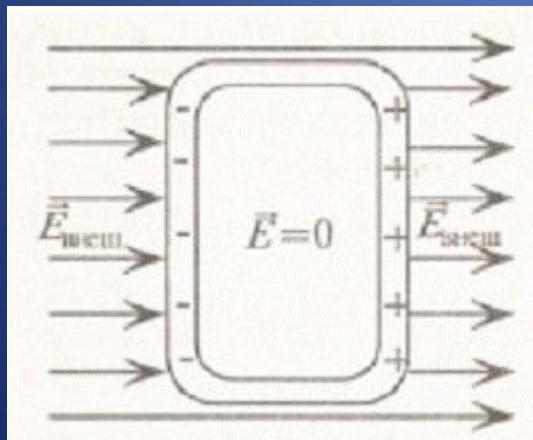


Рис 1.2

- Проводники обладают высокой электропроводностью. Различают проводники первого и второго рода. К проводникам первого рода относятся все металлы, некоторые сплавы и уголь. Они обладают электронной проводимостью. К проводникам второго рода относятся электролиты. В них имеет место ионная проводимость.
- Если проводник поместить в электростатическое поле, то под действием этого поля происходит перемещение зарядов в проводнике: положительных – в направлении внешнего поля, отрицательных – в противоположном направлении (рис.1.1а). Такое разделение зарядов в проводнике под действием внешнего поля называется электростатической индукцией. Разделённые внутри проводника заряды создают своё электрическое поле, направленное от положительных зарядов к отрицательным, т.е. против внешнего поля (рис.1. 1а).
- Очевидно, разделение зарядов в проводнике прекратится тогда, когда напряжённость поля разделённых зарядов  $E_{внутр}$  станет равной напряжённости внешнего поля в проводнике  $E_{внешн}$ , т.е.  $E_{внутр} = E_{внешн}$ , а результирующее поле
- $E = E_{внутр} - E_{внешн} = 0$
- Таким образом, результирующее поле внутри проводника станет равным нулю
- (рис.1. 1б). На этом принципе работает электростатический экран, защищающий часть пространства от внешних электрических полей (рис.1. 2). Для того чтобы внешние электрические поля не влияли на точность электроизмерения, измерительный прибор помещают внутрь замкнутой проводящей оболочки (экран), в которой электростатическое поле отсутствует.

# Электропроводность полупроводников

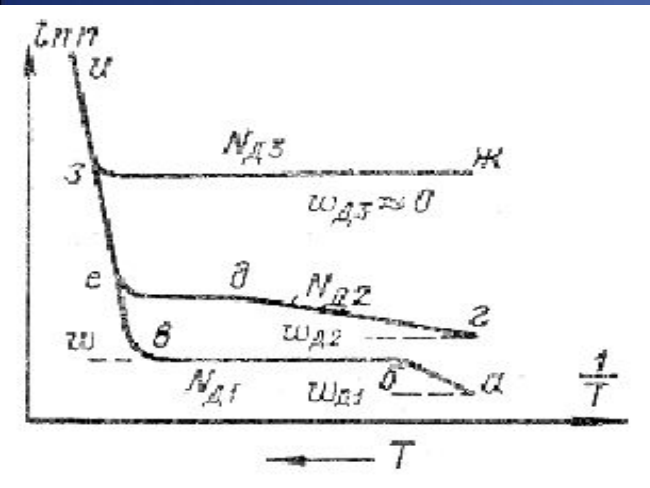


Рис.2.1

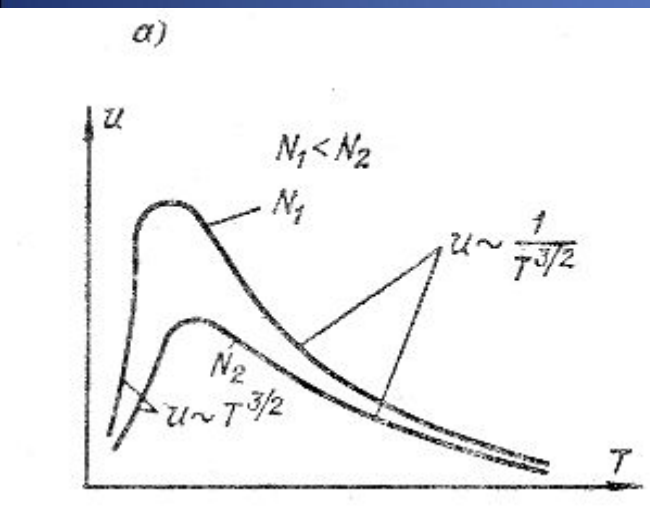


Рис.2.2

- Полупроводник, не содержащий примесей, в нормальных условиях обладает так называемой собственной проводимостью или проводимостью типа *i*. Собственная проводимость обусловлена генерацией пар "электрон-дырка". Если концентрация электронов в зоне проводимости –  $n_i$ , а дырок в валентной зоне –  $p_i$  и  $n_i = p_i$ , то собственная  $\sigma_i = n_i e (\mu_n + \mu_p)$  полупроводника:
- В примесном полупроводнике  $n \gg p$ , поэтому электропроводность  $\sigma = e (\mu_n n + \mu_p p)$  описывается формулой:
- В широком диапазоне температур и для различного содержания примесей имеют место температурные зависимости концентрации носителей заряда в полупроводнике *n*-типа, изображенные на рис. 2.1.
- В области низких температур участок нижней ломаной между точками *a* и *b* характеризует только концентрацию носителей, обусловленную примесями. Наклон прямой на этом участке определяется энергией активации примесей. С увеличением температуры число носителей, поставляемых примесями, возрастает, пока не истощатся электронные ресурсы примесных атомов (точка *b*). На участке *b* – в примеси уже истощены, перехода электронов через запрещенную зону еще не обнаруживается. Участок кривой с постоянной концентрацией носителей заряда называют областью истощения примесей. В дальнейшем температура настолько велика, что начинается быстрый рост концентрации носителей вследствие перехода электронов через запрещенную зону (участок *в* – *и*). Наклон этого участка характеризует ширину запрещенной зоны полупроводника. Угол наклона участка *a* – *б* зависит от концентрации примесей.
- Вторая компонента, обуславливающая электропроводность полупроводников – подвижность носителей заряда. При повышении температуры энергия электронов, а следовательно, и подвижность увеличивается. Но, начиная с некоторой температуры *T* усиливаются колебания узлов кристаллической решетки полупроводника, которые

# Электропроводность диэлектриков

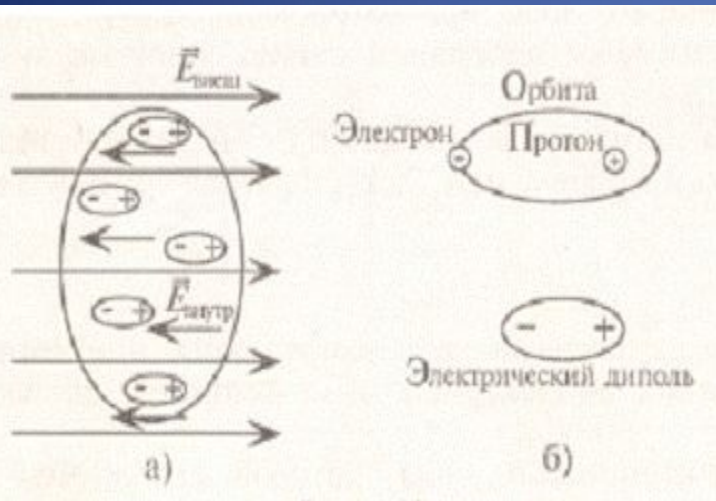


Рис.3.1

- Электропроводность диэлектриков практически равна нулю в силу весьма сильной связи между электронами и ядром атомов диэлектрика.
- Если диэлектрик поместить в электростатическое поле, то в нём произойдёт поляризация атомов, т.е. смещение разноимённых зарядов в самом атоме, но не разделение их (рис. 3.1а). Поляризованный атом может рассматриваться как электрический диполь (рис. 3.1б), в котором «центры тяжести» положительных и отрицательных зарядов смещаются.
- Диполь – это система двух разноимённых зарядов, расположенных на малом расстоянии друг от друга в замкнутом пространстве атома или молекулы.
- Электрический диполь – это атом диэлектрика, в котором орбита электрона вытягивается в направлении, противоположном направлению внешнего поля  $E_{внешн}$  (рис. 3.11б). Поляризованные атомы создают своё электрическое поле, напряжённость которого направлена против внешнего поля. В результате поляризации результирующее поле внутри диэлектрика ослабляется. Интенсивность поляризации диэлектрика зависит от его диэлектрической проницаемости. Чем она больше, тем интенсивнее поляризация в диэлектрике и тем слабее электрическое поле в нём.
- $E = E_{внешн} - E_{внутр}$
- Если диэлектрик поместить в сильное электрическое поле, напряжённость которого можно увеличивать, то при каком-то значении напряжённости произойдёт пробой диэлектрика, при этом электроны отрываются от атома, т.е. происходит ионизация диэлектрика, и он становится проводником. Напряжённость внешнего поля, при которой происходит пробой диэлектрика, называется пробивной напряжённостью диэлектрика. А напряжение, при котором происходит пробой диэлектрика, называют напряжением пробоя, или электрической прочностью диэлектрика.

# Электропроводность металлов

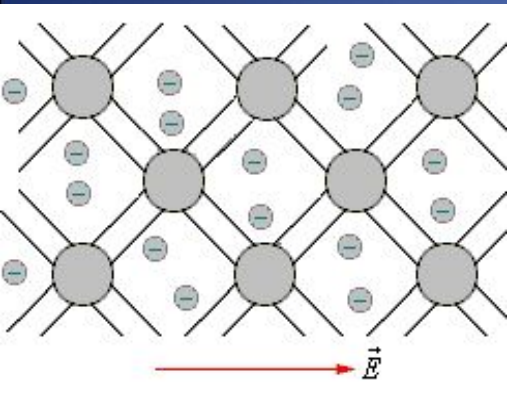


Рис.4.1-  
строение металла

- Электрический ток в металлах согласно классической электронной теории проводимости это упорядоченное движение электронов под действием сторонних сил. Согласно этой теории металл состоит из положительных ионов находящихся в узлах кристаллической решётки. А в свободном пространстве между ними движутся электроны подобно одноатомному идеальному газу.
- Однако если в газе атомы соударяются между собой то в проводнике электроны ударяются об узлы решетки, отдавая таким образом им свою энергию.
- Как же была получена эта теория. Для начала нужно было выяснить, что является носителями зарядов в проводнике. С этой целью ученый Рикке в 1899 году провел такой эксперимент. Он взял три одинаковых цилиндра с тонко обработанными торцами. Два из них были медные, а третий алюминиевый. Сжал их между собой так, чтобы алюминиевый цилиндр оказался посередине и включил всю эту конструкцию в главный питающий провод на трамвайной подстанции.
- Спустя год он разобрал конструкцию и тщательно обследовал места соединения цилиндров. И обнаружил, что диффузии металлов друг в друга не произошло. То есть атомы меди не проникли в алюминий и наоборот. Из этого эксперимента можно сделать вывод что под действием электрического тока по проводнику не перемещаются ионы. А движутся лишь свободные электроны.

# Электропроводность металлов

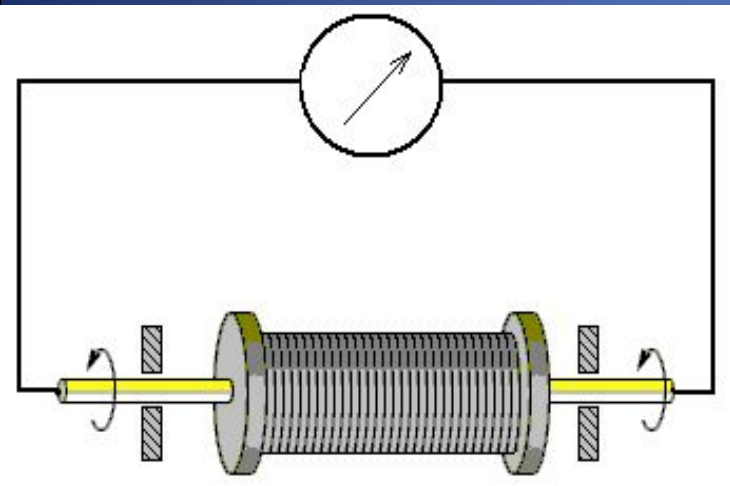
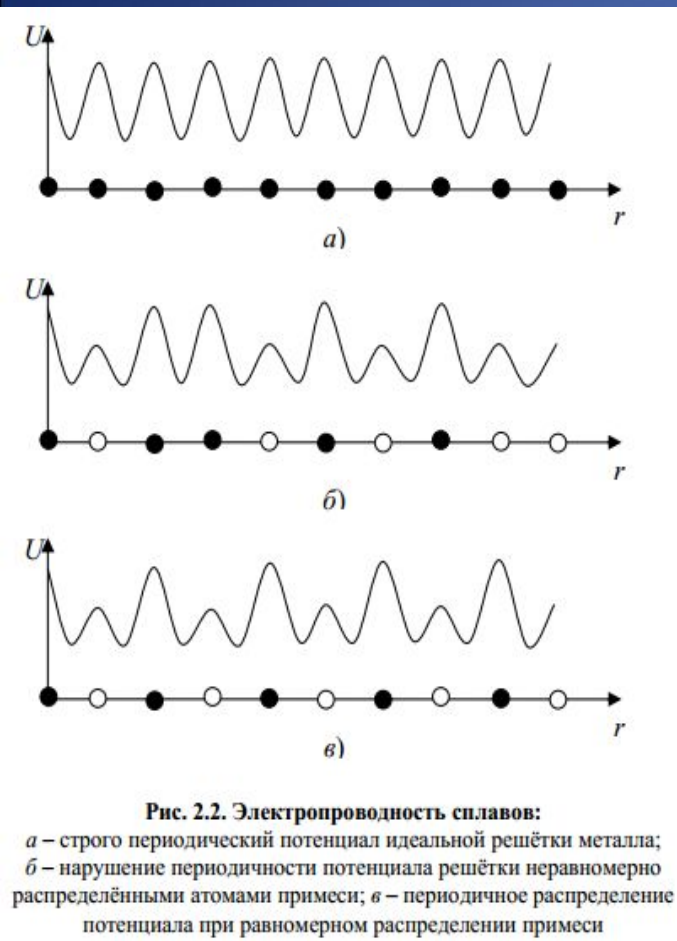


Рис.4.2-  
катушка с проводом  
вращаемая вокруг  
продольной оси

- То, что по проводнику движутся электроны, было установлено благодаря еще одному опыту. Для него необходимо взять катушку из проволоки и раскрутить ее. К катушке должен быть подключен амперметр. В момент резкой остановки катушки прибор покажет кратковременный ток. Этот ток обусловлен тем, что электроны продолжают двигаться по инерции, в то время как катушка уже остановилась. То есть наблюдается движение электронов по проводу хоть и кратковременное.
- В проводнике без электрического поля свободные электроны находятся в непрерывном хаотическом движении как молекулы газа. Но при создании внешнего электрического поля электроны сохраняя свое хаотическое движение, начнут двигаться под действием сил поля. Вот это направленное движение и называется током.
- Сами электроны под действием поля движутся достаточно медленно. Приблизительно пару миллиметров в секунду. Так как же лампочка, которую мы включаем, загорается так быстро ведь провод, которым она подключена достаточно длинный. И электрон от выключателя как минимум пару минут должен двигаться к спирали лампы.
- На самом деле все немного по другому. Ведь провода спираль и выключатель состоят из проводника и в них присутствуют электроны по всей длине. И при замыкании выключателя чтобы ток начал оказывать действие необязательно, чтобы электрон от выключателя попал в спираль. Ведь электроны в ней уже есть. При замыкании по проводникам начинает двигаться электрическое поле практически со скоростью света вот оно та и передает энергию.
- Представьте себе тонкую трубку набитую шариками внешним диаметром чуть меньше диаметра трубы. Когда мы всунем еще шарик с одной стороны, то с другого конца выпадет другой шарик. То есть по трубке двигалось усилие, передаваясь от шарика к шарикам, а не ток шарик, который мы впихнули.



# Электропроводность сплавов



**Рис. 2.2. Электропроводность сплавов:**

*a* – строго периодический потенциал идеальной решётки металла;  
*б* – нарушение периодичности потенциала решётки неравномерно распределёнными атомами примеси; *в* – периодичное распределение потенциала при равномерном распределении примеси

Идеальная решётка металла имеет строго периодический потенциал (рис. 2.2, а). Если часть атомов меди беспорядочно замещена атомами другого элемента, то поле вблизи примесных атомов не такое, как вблизи собственных. Потенциал решётки становится непериодическим (рис. 2.2, б). Он нарушается беспорядочно распределёнными примесями, что приводит к рассеянию носителей и дополнительному электрическому сопротивлению.

В сплавах примеси вызывают более сильное нарушение периодичности потенциала решётки, чем тепловые колебания.

Поэтому сопротивление сплава  $\rho(\text{спл})$  значительно больше сопротивления  $\rho$  чистых металлов и определяется в основном рассеянием носителей на примесях.

Как показал Нордгейм, подвижность для бинарных сплавов, обусловленная рассеянием их на нарушениях периодичности потенциала решётки, определяется

$$\mu_{\text{спл}} \sim [p(1-p)]^{-1},$$

ближённом соотношением:

где  $p$  и  $1-p$  – относительные доли металлов, образующих сплав.

Подставим в выражение  $\sigma = qn\mu$  соотношение для подвижности сплава, учитывая, что  $\rho_{\text{спл}} = \rho / \mu_{\text{спл}}$  и выражение удельного сопротивления для бинарного (двойного) сплава:

$$\rho_{\text{спл}} = \beta [p(1-p)],$$

где  $\beta$  – коэффициент пропорциональности.

Функция  $p(1-p)$  имеет максимум при  $p = 1/2$ , т.е. при равном содержании в сплаве обоих компонентов. Если сплаваемые металлы при определённом соотношении компонентов образуют соединение с упорядоченной внутренней структурой, то периодичность решётки восстанавливается (рис. 2.2, в) и сопротивление, обусловленное рассеянием на примесях, практически полностью исчезает.

Этот факт является подтверждением квантовой теории электропроводности, согласно которой причиной

электрического сопротивления твёрдых материалов является не столкновение свободных электронов с атомами решётки, а рассеяние их на дефектах решётки, вызывающих нарушение периодичности потенциала

# Вывод:

- Мы изучили электропроводность проводников, полупроводников, диэлектриков, также в частности металлов и сплавов, узнали какие факторы влияют на их электропроводность.

# Контрольные вопросы:

- 1) Дать определение проводника
- 2) Какие вы знаете виды проводников?
- 3) Дайте определение собственной проводимости полупроводника.
- 4) Что такое диполь?
- 5) Дайте определение электрического диполя.
- 6) Что такое электропроводность?
- 7) Дайте определение электрического тока в металлах согласно классической электронной теории проводимости.
- 8) Дайте определение сплава.
- 9) Напишите уравнение подвижности для бинарных сплавов.
- 10) Дайте определение диэлектрика.