СПб НИУ ИТМО

кафедра ИПМ

Физика

Лабораторная работа № 10

ЭФФЕКТ ПЕЛЬТЬЕ В МЕТАЛЛАХ

Работу выполнил:

Студент II курса

Группы № 2120

Журавлев Виталий

Санкт-Петербург

2013 г.

**Цель работы:**

 Теоретическое и экспериментальное изучение контактного явления на границе 2-х металлов, возникающего при прохождении постоянного тока через контактный слой.

**Теоретические основы:**

# Электрические явления в контактах

При соприкосновении двух проводников электроны вслед­ствие теплового движения переходят из одного проводника в другой. Если соприкасающиеся проводники различны или ес­ли их температура в разных точках неодинакова, то оба пото­ка диффузии электронов неодинаковы и один из проводников заряжается положительно, а другой — отрицательно. Поэтому внутри проводников и во внешнем пространстве между провод­никами появляется электрическое поле. В состоянии равновесия внутри проводников устанавливается такое поле, которое как раз компенсирует разность потоков диффузии. Существованием этих электрических полей обусловлен ряд электрических явле­ний в контактах, которые рассматриваются ниже.

**Контактная разность потенциалов**

Рассмотрим два различных проводника *1* и *2,* находящих­ся в электрическом контакте (рис. 1). Температуру провод­ников будем считать сначала оди­наковой. Согласно сказанному вы­ше на обоих проводниках появляют­ся электрические заряды, а между свободными их концами возникает электрическое поле.

Разность потен­циалов между любыми двумя точ­ками *а* и *б* (рис. 1), находящимися вне проводников, но расположенны­ми в непосредственной близости от их поверхностей, называется *внеш­ней контактной разностью потенциалов* или просто *контактной разностью потенциалов.* В дальнейшем мы будем ее обозначать через *U12 = U1 – U2* где *U1 —* потенциал вблизи проводника *1* (в точке а), а *U2* — вблизи проводника *2* (в точке *б).* Так как в отсутствие тока поверхность каждого проводника является эквипотенциальной, то эта разность потенциалов, конечно, не зависит от положения точек *а* и б, пока одна из них находится у поверхности провод­ника *1,* а другая — у поверхности проводника *2.*

Рис. 1

Обратимся теперь к электрическому полю внутри контакти­рующих проводников. Если температура в каждой точке про­водника одинакова, то по закону Ома плотность тока *j* внутри однородного проводника есть *j = σЕ*, где *σ* - удельная проводимость проводника*.* Так как наша цепь разо­мкнута *(j =* 0), то и электрическое поле в любой точке в толще каждого проводника равно нулю, а потенциал внутри него по­стоянен. Отсюда следует, что электрическое поле внутри провод­ников может существовать только в тонких пограничных слоях на границах проводник 1-проводник *2* и проводник *1* (или *2) -* вакуум. Потенциал же на этих границах должен испытывать скачкообразное изменение. Разность потенциалов *U12 i = ϕ1 — ϕ2,* где *ϕ1* — потенциал внутри проводника 1, а *ϕ2* — внутри провод­ника *2,* мы будем называть *внутренней контактной разностью* *потенциалов* или *контактным скачком потенциала.*

Контактная разность потенциалов непосредственно связана с термоэлектронными работами выхода Ф1 и Ф2 контактирующих тел, а именно:

*еU12 = Ф2 - Ф1* (1)

Это соотношение справедливо как для металлов, так и для по­лупроводников. Поэтому, если работа выхода одного из провод­ников уже известна (например, из опытов с термоэлектронной эмиссией), то, измеряя *U12*, можно найти работу выхода другого проводника. Этот способ широко используют для определения работы выхода веществ с низкой температурой плавления, для которых непосредственные измерения термоэлектронной эмис­сии невозможны.

Контактная разность потенциалов, так же как работа вы­хода электронов, сильно изменяется даже при ничтожных за­грязнениях поверхностей, их окислении и т.п. Поэтому для по­лучения верных значений контактной разности исследуемые вещества необходимо тщательно очищать и измерения вести в вакууме.

Происхождение контактной разности потенциалов и связь ее с работами выхода становятся ясными при рассмотрении энергетических диаграмм обоих проводников. Особенно прост случай двух металлов, находящихся при температуре абсолютного нуля. Их энергетические диаграммы до соприкосновения изображены на рис. 2 а. На нем *w0,* как и раньше, есть энергия покоящегося электрона в вакууме.



Рис. 2

Так как оба металла не заряже­ны, то электрического поля между ними нет и *w0* постоянно; *Ес1* и *Еc2 —* энергии дна зоны проводимости; *χ1* = *W0- Ес1  и χ2 = w0- Ес2* — глубина потенциальных ям, она получила название *электронного сродства* данного вещества; *F1* и *F2* — уровни Ферми в каждом из металлов. Все энергии здесь можно отсчитывать от любого постоянного, но одинакового для обоих ме­таллов уровня. Разность *F- Ес = ξ* называется *химическим потенциалом* электронов. В металлах при *Т =* 0 он равен максимальной кинетической энергии электронов. На рис. 2 показаны также термоэлектрон­ные работы выхода обоих металлов: *Ф1 = W0- F1 = χ1- ξ1, Ф2 = W0- F2 = χ2‑ ξ2*

После соприкосновения металлов потенциальный барьер, создававший­ся вакуумным промежутком, исчезает, и распределение энергий должно бы­ло бы иметь вид, показанный на рис. 2 *б.* Однако при этом электронные газы в обоих металлах не будут находиться в равновесии друг с другом, так как электроны из металла *2* начнут «переливаться» в металл *1;* последний будет заряжаться отрицательно, а металл *2 —* положительно. Поэтому в металле *1* потенциальная энергия электронов, т.е. дно зоны проводимости, будет повышаться, а в металле *2 —* понижаться. Так как величины *χ и ξ* характеризуют вещества и не зависят от того, заряжено ли тело или не заряжено, то и уровни энергии *F* и *w0* для металла *2* будут понижаться от­носительно их значений для металла *1.* Электрический ток прекратится то­гда, когда уровни Ферми *f1* и *f2* в обоих металлах окажутся равными друг другу (рис. 2 в). Это заключение, имеющее простой наглядный смысл для двух металлов при *Т* = 0, справедливо и в общем случае любой тем­пературы как для металлов, так и для полупроводников. *При равновесии проводников, способных обмениваться электронами, и находящихся при одинаковой температуре, уровни Ферми в этих проводниках одинаковы.*

При установившемся электронном равновесии края обеих потенциаль­ных ям уже не находятся на одинаковом уровне, а значит, потенциальная энергия электрона *-eU1* у поверхности металла *1* (точка а) не равна –*eU2* у поверхности металла *2* (точка *б)* (рис. 2 *в).* Их разность есть

*-eU1 -* (*-eU2*) = *(χ1 - ξ1*) - *(χ2 - ξ2*) = *Ф1* – *Ф2.*

Так как *(U1 — U2*) есть контактная разность потенциалов *U12*, то отсюда получается формула (1).

Из рис. 2 *в* видно также, что в равновесии днища потенциальных ям *Ec1* и *Еc2* находятся на разных уровнях. Это показывает, что при переходе через контактный слой внутри металлов потенциальная энергия электрона -*eϕ* тоже изменяется. Контактный скачок потенциала *U12 i* выражается так: e*U12 i* = e(*ϕ1 - ϕ2*) = *ξ1* - *ξ2*.

Он определяется разностью химических потенциалов электронов в контак­тирующих телах.

## Термоэлектричество

Мы видели, что на границе соприкосновения двух различных проводников имеются контактные скачки потенциа­ла *Ui,* которые существуют и при разомкнутой цепи. Это значит, что в приконтактном слое возникает электродвижущая сила. Сторонние силы появляются в данном случае в резуль­тате давления электронного газа, которое различно в разных проводниках. Однако если температура всей цепи одинакова, то результирующая ЭДС равна нулю.

Рассмотрим в качестве примера цепь, показанную на рис. 3 и состоящую из двух разных проводников *1* и *2.* Будем считать для простоты, что соединительные провода, ведущие к вольт­метру, сделаны также из проводника *1,* так что скачки потенциа­ла в контактах *А* и *D* не возникают. Тогда распределение потен­циала в цепи будет иметь вид, показан­ный на рис. 4 *а.*



Скачки потенциа­ла в контактах *В* и *С* равны по модулю, но противоположны по знаку, и поэтому вольтметр, присоединенный к концам цепи *А* и Д не покажет напряжения. Это справедливо для любого числа проводников: электродвижущая сила цепи, составленной из какого угодно чис­ла электронных проводников (проводников 1-го рода), находя­щихся при *одинаковой температуре,* равна *нулю.*

Рис. 3

Однако если температура контактов неодинакова, то полная ЭДС цепи уже не равна нулю, и при замыкании цепи в ней по­является ток. Это явление получило название *термоэлектриче­ства,* а возникающая ЭДС называется *термоэлектродвижущей силой (термо-ЭДС).*

**

Чтобы пояснить причины возникновения термо-ЭДС вернем­ся опять к простой цепи из двух проводников (см. рис. 3) и положим, что температура t1 контакта *В* больше температуры *Т* контакта *С.* Будем также считать для простоты, что темпе­ратура разомкнутых концов цепи *А* и *D* одинакова и тоже рав­на *Т.* Так как тепловые скорости электронов вблизи контакта *В* больше, чем вблизи контакта С, то в проводнике *2* возникнет поток диффузии электронов, направленный от *В* к *С.* В случае полупроводников, в которых концентрация электронов увели­чивается при повышении температуры, появится еще и допол­нительный поток диффузии того же направления, вызванный различием концентраций электронов в горячем и холодном кон­цах проводника. Поэтому в проводнике *2* (на его поверхности) возникнут электрические заряды и внутри проводника образует­ся электрическое поле такой величины, чтобы в установившемся состоянии вызываемый этим полем ток дрейфа компенсировал ток диффузии. Следовательно, при наличии в проводнике гра­диента температуры в нем возникает и градиент электрического потенциала. Сказанное полностью относится и к проводнику *1.* Однако термо-ЭДС обусловлена не только возникновением диффузии в объеме, но еще и контактными скачками потенци­ала *U12 i* и *U21 i* . Так как они зависят от температуры, то сумма их уже не равна нулю. Распределение потенциала в цепи при неравенстве температур контактов показано на рис. 4 *б.* На­пряжение *V,* регистрируемое вольтметром и равное термо-ЭДС, складывается из падения напряжения в объеме проводников и скачков потенциала в контактах.

Рис. 4

Термоэлектричество было открыто Зеебеком еще в двадца­тых годах прошлого века. Для его наблюдения достаточно при­соединить к милливольтметру два куска медной проволоки и замкнуть их куском проволоки из другого материала, напри­мер железа. Пока температура обоих спаев одинакова, милли­вольтметр не обнаруживает никакой ЭДС. Но при нагревании одного из спаев в цепи появляется термо-ЭДС и стрелка милли­вольтметра отклоняется. Если нагретый спай охладить и затем нагреть другой спай, то знак термо-ЭДС изменяется и стрелка милливольтметра отклоняется в другую сторону.

Термо-ЭДС цепи, составленной из двух различных провод­ников *1* и *2,* при малой разности температур AT между обоими спаями выражается формулой

∆ξ = (α1 - α2)∆T, (2)

где α1 зависит от природы проводника *1,* а α2 *—* от природы про­водника *2.* Эти величины зависят также от температуры, и по­этому ∆Т в приведенной формуле должно быть мало. Формула (199.1) показывает, что термо-ЭДС цепи есть разность термо-ЭДС каждого из плеч цепи, и что в каждом из проводников возникает термо-ЭДС ∆ξI = αi ∆T (i = 1,2). Величина

*α = d*ξ */dt*  (3)

называется *дифференциальной термо-ЭДС* данного вещества. Она равна термо-ЭДС, развивающейся в данном проводнике при разности температур между его концами в 1 К.

При немалой разности температур обоих спаев термо-ЭДС равна

 (4)

где *T1* - температура холодного спая, а *T2* - горячего. Если в данном температурном интервале (*Т2 — T1*) величины *α1* и *α2* изменяются слабо, то вместо формулы (199.3) получаем

ξ = (α1 - α2) (*Т2 — T1*). (5)

Здесь α1 и α2 — средние значения дифференциальных термо-ЭДС в данном температурном интервале.

Чтобы определить не только величину, но и направление тер­моэлектрического тока, дифференциальной термо-ЭДС припи­сывают определенный знак. Величина *а считается положи­тельной, если возникающий в проводнике термоток течет от горячего конца к холодному.* Или, другими словами, в замкнутой цепи термоток течет в горячем спае от проводника с меньшим α(алгебраически) к проводнику с большим α*.*

Термо-ЭДС у металлов мала. Однако для полупроводников она намного больше и силь­но зависит от содержащихся в них примесей. Для некоторых полупроводниковых соединений дифференциальная термо-ЭДС может достигать значений 1000 мкВ/К и даже больше. Поэтому в цепи, составленной из полупроводника и металла, термо-ЭДС цепи очень слабо зависит от рода металла и определяется прак­тически только полупроводником.

**Применения термоэлектричества**

Термоэлектричество широко используют для измерения тем­ператур. Для этого служат термоэлементы (термопары). Она содержит две проволоки из различных металлов *1* и 2, концы которых сварены (спай I). Обе проволоки заключены в фарфоровую трубку *Т* для предохранения спая от химических воздействий. Второй спай (II) поддерживается при неизменной температуре. Концы цепи *а и б* присоединяют к милливольт­метру или (при очень точных измерениях) к потенциометру для измерения термо-ЭДС компенсационным методом. Термо­пары обладают тем преимуществом, что позволяют измерять как очень высокие, так и очень низкие температуры, что невоз­можно сделать с помощью обычных жидкостных термометров.

Для увеличения ЭДС термоэлементы соединяют последова­тельно в термобатареи, как показано на рис.  5. При этом все четные спаи поддерживают при одной температуре, а все нечетные — при другой. ЭДС такой батареи равна сумме ЭДС от­дельных элементов.



Рис. 5

# Эффект Пельтье

Опыт показывает, что кроме тепла Джоуля-Ленца, выделяе­мого током в объеме проводника, наблюдаются тепловые яв­ления в контакте двух различных проводников, даже если эти проводники первоначально находятся при одинаковой темпера­туре. В контакте, через который проходит ток, происходит, в зависимости от направления тока, выделение или поглощение тепла, и контакт либо нагревается, либо охлаждается. Это явление получи­ло название *эффекта Пелътъе.*

Тепло Пельтье *Q*П выделенное или поглощенное в спае, про­порционально полному заряду д, прошедшему через спай, или произведению силы тока *I* на время *t:*

 *Q*П= П*q* = П*It*. (6)

Коэффициент П зависит от рода соприкасающихся проводников и от их температуры и называется *коэффициентом Пелътъе.*

В дальнейшем мы будем считать тепло *QП* положительным, если оно выделяется в спае. Чтобы учесть в формуле (6) на­правление тока, мы будем обозначать там, где это потребуется, коэффициент Пельтье через П12, если ток течет от проводника *1* к проводнику *2,* и через П21, если ток имеет противоположное направление. Так как в обоих случаях количество тепла Пельтье одинаково, но только изменяется его знак, то П12 *= —* П21.

Отметим, что между явлением Пельтье и выделением теп­ла Джоуля-Ленца имеются существенные различия. Тепло Джоуля-Ленца пропорционально квадрату силы тока и не за­висит от направления тока. Тепло же Пельтье пропорционально первой степени силы тока и меняет знак при перемене направ­ления тока. Далее, тепло Джоуля-Ленца зависит от сопротив­ления проводника, тогда как тепло Пельтье от него не зависит.

Если измерить *QП* в джоулях, a *q* - в кулонах, то ко­эффициент Пельтье П будет выражен в джоулях на кулон или в вольтах. Опыт показывает, что для большинства различных пар металлов коэффициент Пельтье имеет величину порядка 10-2 - 10-3 В. Для полупроводников коэффициент Пельтье, так же как и термо-ЭДС, на несколько порядков больше.

В обычных условиях тепло Пельтье мало по сравнению с теплом Джоуля-Ленца. Поэтому, чтобы последнее не затуше­вывало тепло Пельтье, нужно по возможности уменьшить теп­ло Джоуля-Ленца, а для этого следует применять достаточно толстые проводники, обладающие малым сопротивлением.

Происхождение тепла Пельтье объясняется следующим об­разом. Каждый электрон при своем движении переносит не только свой заряд, но и присущую ему энергию. Поэтому при наличии электрического тока в проводнике возникает опреде­ленный поток энергии. Он существует и в том случае, когда температура во всех точках проводника одинакова и переноса энергии вследствие теплопроводности нет. Направление пото­ка энергии совпадает с направлением движения электронов, т.е. противоположно направлению плотности тока j.

При одной и той же плотности тока потоки энергии в разных проводниках различны. Поэтому энергия, приходящая к кон­тактной плоскости в проводнике *1,* не равна энергии, уходящей от контактной плоскости в проводнике *2.* Разность этих энергий и есть тепло Пельтье.