

Методика изучения темы «Примесная проводимость полупроводников. Полупроводниковый диод» в рамках проектно - исследовательской деятельности на уроках физики в профильном классе.

Автор- учитель физики Климов И.Ю.

Этап 1. Проверка усвоения ранее изученного материала и повторение (устный опрос).

??? Какие вещества называют полупроводниками?

!!! Вещества, проводимость которых в миллиарды раз меньше , чем у металлов называют полупроводниками.

??? Какова примерно концентрация свободных носителей заряда в металлах и полупроводниках без примесей?

!!! В металлах: от 10^{28} — 10^{29} м³, а в полупроводниках: от 10^{13} — 10^{19} м³.

??? Что является носителями заряда в чистых полупроводниках?

!!! В чистых полупроводниках носителями положительного заряда являются дырки , а отрицательного — электроны.

??? Какой вид проводимости (электронная или дырочная) преобладает в чистых полупроводниках?

!!! В чистых полупроводниках электронная и дырочная проводимости одинаковы.

??? Назовите известные вам вещества, являющиеся полупроводниками.

!!! Германий (Ge) , кремний (Si) селен (Se) , теллур (Te) , оксид меди, карбид кремния , и т. д.

После ответа привожу таблицу “Концентрация носителей заряда в чистых полупроводниках

Ge	Si	Se	Te
$2,5 \cdot 10^{19}$ (м ⁻³)	$1,6 \cdot 10^{13}$ (м ⁻³)	10^{18} (м ⁻³)	10^{19} (м ⁻³)

??? Как можно увеличить концентрацию основных носителей в чистых полупроводниках?

!!! Путём нагрева или освещения.

??? Дайте определение « полупроводника» на основе зависимости проводимости от температуры и освещённости.

!!! Полупроводники — это вещества , у которых проводимость возрастает во много раз при нагревании и освещении.

Этап 2. Изложение нового материала.

а) донорные примеси.

Если в чистый полупроводник ввести примесь химического элемента, валентность которого больше, чем у основного элемента (например, к четырёхвалентному кремнию добавить пятивалентный мышьяк), то у атомов мышьяка по одному валентному электрону окажутся незадействованными в связях , они будут «свободными» . Эти свободные электроны станут *электронами проводимости*.

Определение. Примесь, поставляющая свободные электроны, называется донорной, а полупроводник называется полупроводником n — типа.

Давайте посмотрим : сколько электронов проводимости образуется, если к 1 м³ кремния добавить 1 г мышьяка.

ДАНО:

$$M_{Si} = 28$$

$$M_{As} = 74$$

$$V_{Si} = 1\text{ м}^3$$

$$m_{As} = 1\text{ г}$$

$$n_x = ?$$

РЕШЕНИЕ:

Если к 1 м^3 кремния добавить 1 грамм мышьяка, то это внесёт n_x электронов проводимости:

$$n = \frac{m_{As}}{M_{As}} \cdot N_a = \frac{10^{-3}}{74} \cdot 6.02 \cdot 10^{23} \approx 8 \cdot 10^{20} (\text{м}^{-3})$$

Давайте сравним это с концентрацией свободных носителей у кремния: $n_{Si} = 1.6 \cdot 10^{13} \text{ м}^{-3}$; $n_x = 8 \cdot 10^{20} \text{ м}^{-3}$. Это в $5 \cdot 10^7$ раз больше (в 50 миллионов раз!).

Видите, как сильно возрастает концентрация от примеси мышьяка в 1 гр, к $m_{Si} = \rho \cdot V = 2300\text{ кг}$ кремния! ($\rho_{Si} = 2330\text{ кг/м}^3$). Один грамм мышьяка от примеси кремния составляет всего 0,00004 %.

Итак, если в чистый полупроводник внести донорную примесь, мы существенно повысим концентрацию свободных носителей заряда — электронов.

б) Акцепторные примеси.:

??? А как вы считаете, что произойдёт, если к тому же самому четырёхвалентному германию добавить примесь трёхвалентного индия?

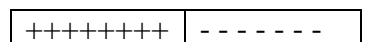
!!! При введении такой примеси образуется свободное место в атоме индия, и электрон атома германия может перейти на это место в атоме индия, т.о. пустое место — дырка — перемещается по полупроводнику.

Определение: Примеси, поставляющие дырки, называются *акцепторными*. А полупроводники, получаемые при этом, называют полупроводниками p - типа. Демонстрирую два полупроводниковых брусочка и предлагаю определить какого они типа. Рисую на доске схему опыта и объясняю учащимся, что при нагревании верхнего конца полупроводникового брусочка, имеющиеся в нём свободные носители заряда будут перемещаться от горячего конца бруска к холодному, т. е. вниз. Так как направление движения заряженных частиц в цепи гальванометра известно, то можно использовать уже известный нам метод определения знака заряда этих частиц.

Провод от средней (общей) клеммы термоэлемента подключается к левой (минусовой) клемме гальванометра, а провод от правого образца полупроводникового брусочка — к плюсовой клемме. Нагреваем паяльником верхний конец образца и учащиеся наблюдают отклонение стрелки гальванометра влево, что свидетельствует о наличии отрицательных носителей заряда — электронов. Следовательно проводимость брусочка — электронная, а сам полупроводник — n - типа. Затем провод от плюсовой клеммы гальванометра присоединяем к левому образцу и наблюдаем отклонение стрелки гальванометра вправо.

Следовательно заряд носителей - положительный - это дырки, а полупроводник - p - типа.

Теперь давайте рассмотрим контакт полупроводников p и n типов.



В результате встречной диффузии электронов и дырок у такого перехода образуется запирающий электрический слой, поле которого препятствует дальнейшему переходу электронов и дырок через границу. Запирающий слой обеднён свободными носителями заряда и поэтому имеет повышенное сопротивление. давайте включим такой контакт в цепь: p- область подсоединим к плюсу источника, n- область — минусу источника, К цепи подсоединим амперметр.

В результате основные носители в n- области (электроны) двигаются под действием внешнего электрического поля к плюсовой клемме, а основные носители в p- области

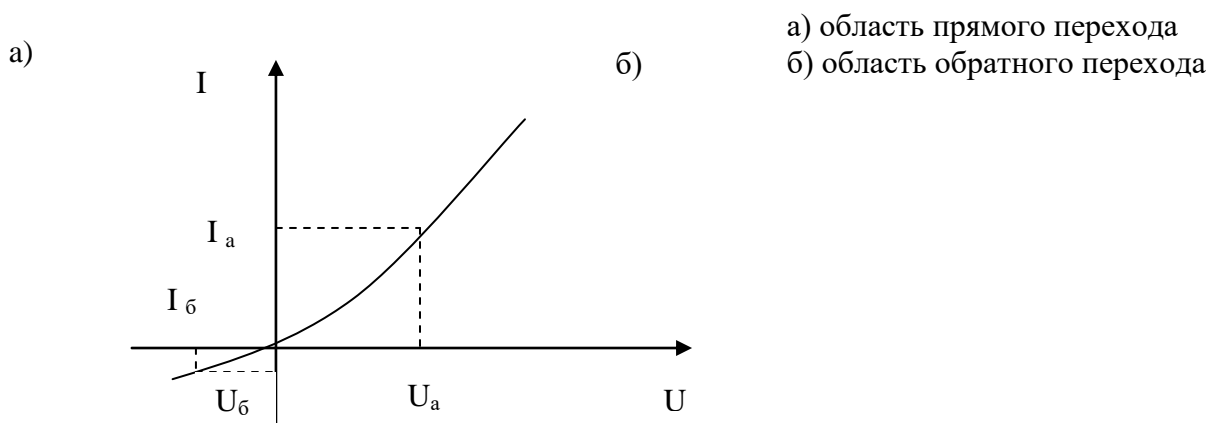
(дырки) в силу той же причины двигаются к минусовой клемме. Таким образом запирающий слой разрушается и в цепи течёт ток. Такое включение называют *прямым переходом*.

Теперь мы сменим полярность (обратное подключение).

Сопротивление запирающего слоя резко возрастёт и тока в цепи не будет. На самом деле ток в цепи течёт, но он очень мал, так как он создаётся не основными носителями заряда, которых меньшинство.

Результаты опытов говорят о том, что контакт полупроводников р и п типов обладает *односторонней проводимостью*.

ВАХ имеет вид:



Эффект односторонней проводимости широко используется в радиотехнике и автоматике. Контакт полупроводников р и п типов называется *полупроводниковым диодом*. Современные диоды чаще всего делают из германия или кремния, в которых благодаря соответствующим примесям создаются соприкасающиеся между собой области с электронной и дырочной проводимостью.