

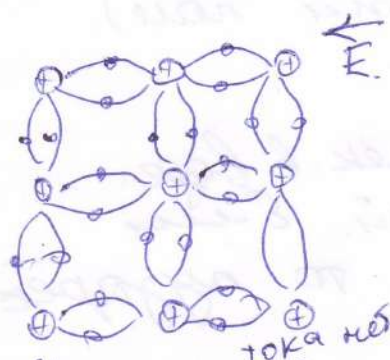
Тема: Электрич. ток в полупроводниках  
 св-ва полупроводников

- 1) Полупроводники - чувств-ые к изменению температуры: терморезисторы, (термисторы)
- 2) Высокая чувств-ть к освещению. Фоторезисторы - прибор, преобраз. световое из-е в электр. ток
- 3) чувствительность к магнитному полю - магниторезисторы.
- 4) чувствительность к электр. полю (диоды, транзисторы и др.)

Кремниевый век.

- Электр. процессы в физ. электр. и полупр. мет (большее своб. з-ов).
- Элементарный полупроводн. атом одного сорта, C, Si, Ge.
- Сложные полупроводники,  $CdS, ZnS, GaAs$  светодиод.
- $AlGaAs, Cd, HgTe$   
 чувств. к ИК излуч. (хрупкий)

4-я группа ПС Менделеева, валентность = 4, что происходит внутри кристалла



Ковал. связь  
 Полеетим в электр. поле  
 Что будет? Ничего! Кошр. е привл-  
 жан к своей паре и эл. поле  
 не может его разрушить =>  
 в-во физ. электр. (тока нет).

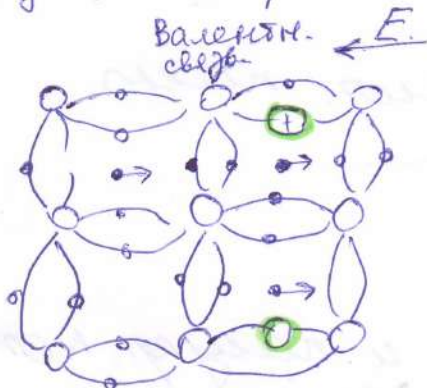
Но это возможно, если  $T=0$

Можнама нацреватъ, Увелич. энергии теплового  
 Закрепленного  $\bar{e}$   $\beta\bar{v}-\bar{v}$

Для полупроводников: энергии, необход. для того,  
 чтобы  $\bar{e}$  оторвался и перешел в пространство  
 между ионами порядка  $kT$ .

$$\left. \begin{aligned} E_{Si} &= 1,1 \text{ эВ} \\ E_{Ge} &= 0,7 \text{ эВ} \end{aligned} \right\} \text{ширина запрещ. зоны}$$

У диэлектриков  $E > 2-3 \text{ эВ}$  - разница.



ток есть  
 $T \neq 0$

(калин.)

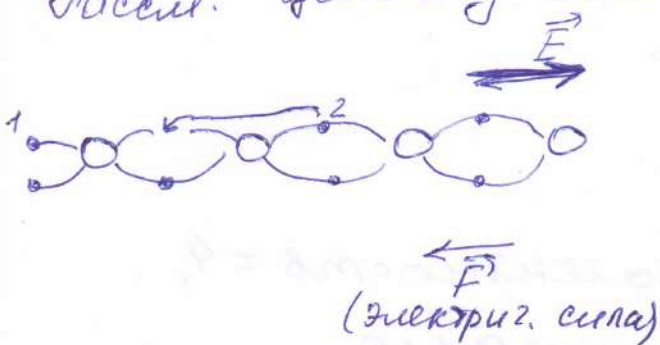
Если вкл. электрич. поле,  
 то свободн. электроны  
 начнут двигаться - элект  
 ронный ток.

Но появились области, в кот.  
 не скомпенсирован "+" з-р.  
 (места, откуда ушли  $\bar{e}$ )

Вакантное место в ~~своб.~~ <sup>валянтн.</sup> связи-  
 дырка.

т.о. возможно не только  $\beta\bar{v}-\bar{e}$ , но и направ-  
 ленное  $\beta\bar{v}-\bar{e}$  движ. - дырочный ток.

Рассм. цепочку атомов Si.



Вакантное место может  
 занять как 1-й  $\bar{e}$ , так и 2-й  $\bar{e}$   
 Но если мы создадим электр  
 поле. вправо.

Дырку займет 2-й  $\bar{e}$   
 (по электрич. силе)

Дырка ведет себя как своб. электрич. з-р (пере-  
 мещается по напр-ю напряженности поле).

т.е. дырочный ток

Дырку можно предст. как пузырьк. в воде.  
 (отсутствие воды), тело с "-" массой. Если  
 вода  $\beta\bar{v}-\bar{e}$  вниз под действ.  $F_{\text{тяж}}$ , то пузырек  
 всплывает.

## Полупроводник (продолжение)

Фермак. число  $\bar{e}$  и дырок - собств. полупроводник

$n$  - конц. своб.  $\bar{e}$  ( $n$ -negative)

$p$  - конц. своб. дырок ( $p$ -positive)

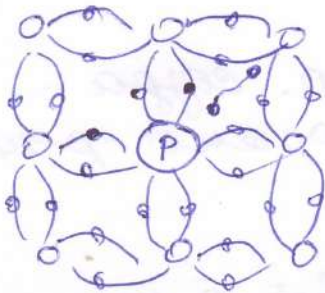
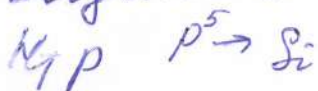
$n=p$  - в собств. полупр.

с ростом  $t$ -ра эти величины растут.

$$J = e n S v$$

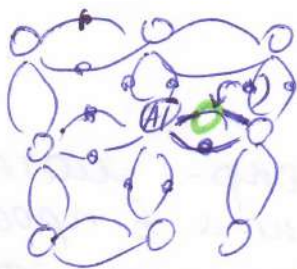
конц-я

Введем в полупр. кристалл примесь.



4 $\bar{e}$  созд. пар, а 5-му  $\bar{e}$  парог нет, он лишний.  $\Rightarrow$  атом фосфора превращается в ион, а  $\bar{e}$  будет блуждать по кристаллу. (это не сопров-ет увелич. дырок), т.е. считается конц-я дырок в полупроводнике.

~~Однако блу.~~ Донорная примесь  $n \gg p$  - электронный полупроводник (полупр.  $n$ -типа)  
Донор-поставл.  $\bar{e}$ .



$Al, v=3$

Атом  $Al$  - захват.  $\bar{e}$ .

Акцепторная примесь то асерт-принимать.

Образ-ся своб. дырки  $n \ll p$

(дырочной полупр., полупр.  $p$ -типа).

В полупр. 2 типа проводимости и делают возможным созд-е самых разных приборов.

## Полупров. диод.

В основе лежит электроно-дырочный переход - это контакт 2-х полупр.-ов. с разл. типом проводимости.

Обозн-я p-n-переход.

1)  $nSi - pSi$  - гомопереход

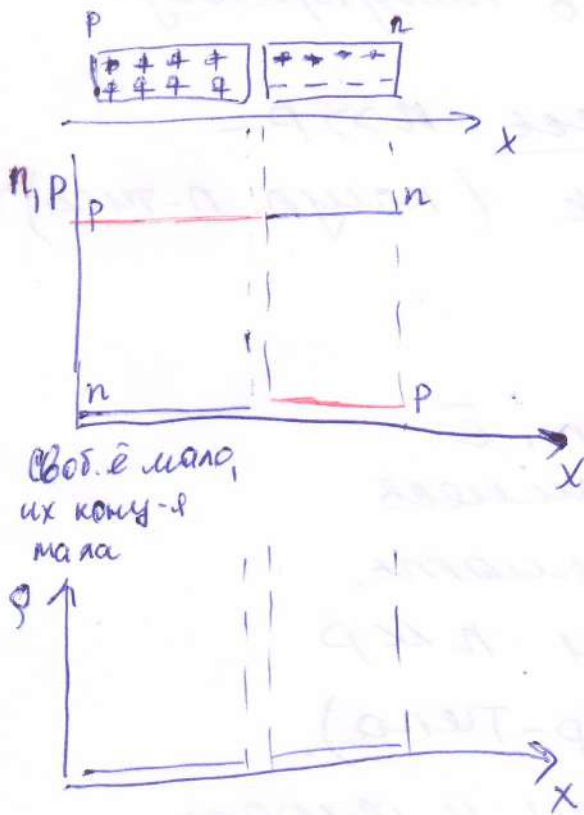
2)  $nGaAs - pCu_2S$  - гетеропереход.

Электроны в n-полупр. - осн. носителями  $J$ -тока  
 Дырки в p-полупр. - осн. носителями  $J$ -тока

Электроны в p-полупр. - неосновные  
 дырки в n-полупр. - основные.

Два полупр. не соединяют (герметик)

Берут один полупр. и с одной стор. создают в нем переход n-типа, а др. сторону - p-тип.  
 Существует "металлургич. граница".



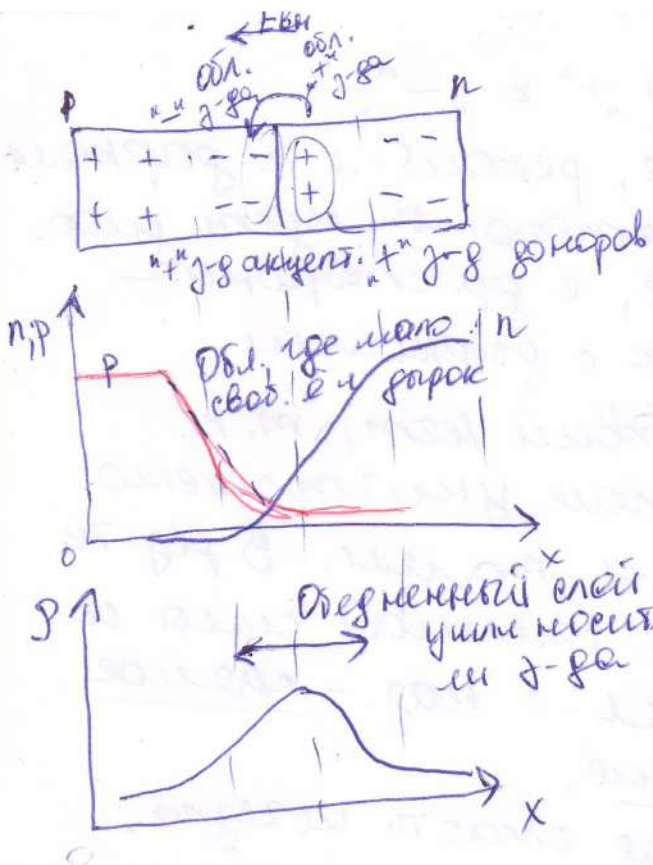
Своб. е мало,  
их конц-я  
мала

n, p-конц-я своб. е и  
своб. дырок

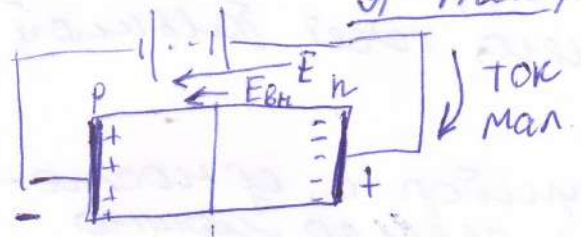
завис. конц-ии своб. е  
и своб. дырок от x

Завис. удельн. сопр-я материала от полож-я в пространстве от координаты x  
 уд. сопр. ↓, т.к. в одной стороне e, в др. - дырки. Приведем в соприкосновение, сформируется p-n-переход.

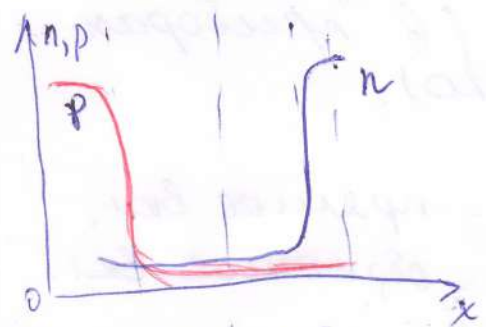
Когда p и n соединили они начинают д-с-с под действием диффузии. Электроны занимают места в валентке. Выход-рекомбинация  $\Rightarrow$  исч. и  $\bar{e}$  и д-с-с слева обр. обл. " - " д-с-с (или " + " д-с-с акценторов) Справа - обл. " + " д-с-с ( " + " д-с-с зонеров). Чем  $\rightarrow$  носит. д-с-с, тем д-с-с



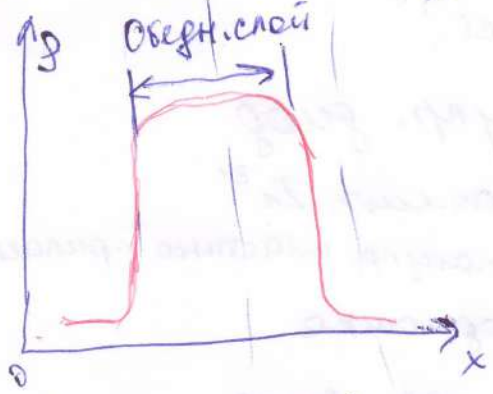
А теперь соед. доп. электрич. поле.



Созд. доп. внешнее поле. Д-с-с как бы притягиваются обедненной областью расширяется



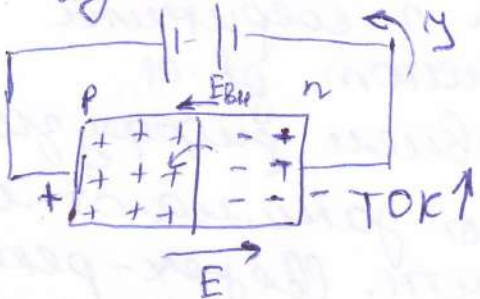
уд. сопр. растёт великнет ии  $\bar{e}$  ии дырок



Обедн. слой расширился, ток, ч-з p-n переход благодаря большому сопротивлению, тоже мал. это обратное вкл-е.

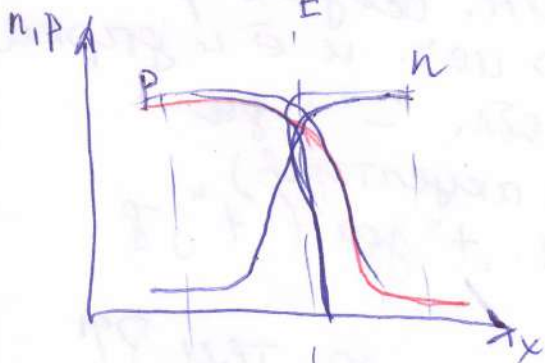
Обратное вкл-е

изменили полярность.



$E$  напр. от "+" к "-".

Диффузия, рекомб-е с допками с одной стороны идет дир. поток с  $e^-$ , с др. стороны - дир. поток с допками.



Препятствием нет, т.к. внутр. поле уменьшено внешним полем. В рез-те образ. ток большой силы и такое вкл-е наз. - прямое включение.

Обратная область исчезла.

Удельное сопрот-е мало, т.е.  $U_{д}$  мало течет большой ток.

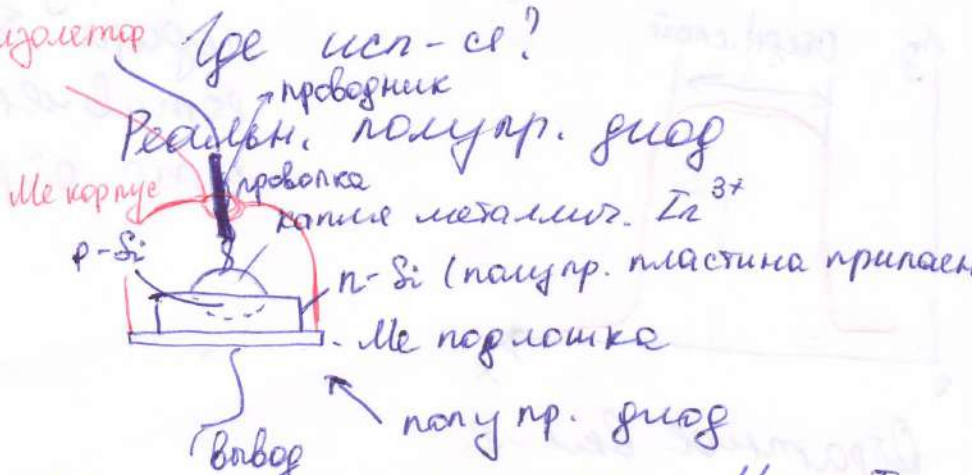
т.е. мы научились науч. прибор с односторонней проводимостью. т.е. p-n переход можно исп-ть в кач-ве выпрямителей. (в приборах с односторонней проводимостью).  
ВАХ p-n-перехода.



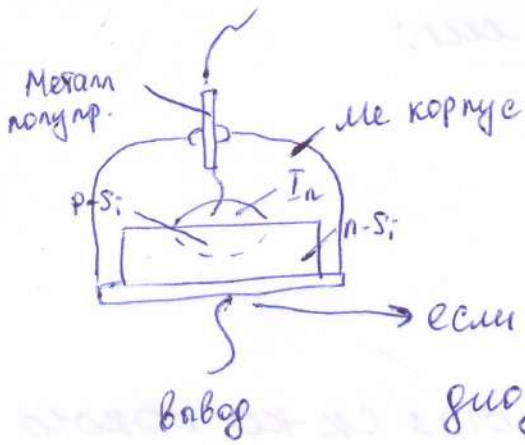
"+" и - прямое вкл.  
"- и + - обратное вкл.

стекл. изолятор

где исп-ся?



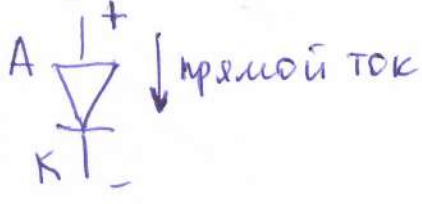
Вводим акцепторы (где созд. p-область), капаям Метал. Zn, нагреваем, атомы диффундируют внутрь n-Si и можно доп-ся, когда концы-я акцел. превратит концы-ю доп-ров => катод-я полупроводника.



--- граница раздела полупр. p и n-типа

если подадим "+" - будет в прямом напр-ии, диод будет хорошо проводить

Цифр-е на схеме.



Исп. полупр. диодов в выпрямителях - это только одно по назначению.

Однако диод шире использ. и в др. целях. Допустим выкл. в обр. напр-ии. Нет носителей з-да, их расстояние полен. Но их можно создать. Можно сделать окошко и осветить светом полупр. материал -> в нем магнут роуп-се своб. е и држки т.к. энергии светового изл-я пойдет на то, чтобы освоб. свободные е. Возникнут фотодиадрамы и генерируемые светом држки. Они под действием электр. поле уйдут в контакты и в цепи потечет ток. - фотодиод. (чувствит. фоторезистора).

Расши. прямое выкл. е и држки з-се на встречную др. группу, в резу-те е занимает место в валентной связи, возвращ-ся назад. Там по энерг. ме меньше, чем в своб. сост-ии. (на ширину запрещ. зона). Эта энергия может выеб-а разными способами. Самый тривиальный - это диод нагревается. Однако можно наоборот такие полупроводники, что энергия, образ. при рекомбинации пойдет на световое изл-е. - полупр. светодиод.