

**ПЕРИОДИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА  
И  
СВЕТОИЗЛУЧАЮЩИЕ ДИОДЫ**

- **Актуальность:** Световые диоды (СД) нашли широкое применение в светильниках, прожекторах, светодиодных лентах, декоративной светотехнике и особенно в компактных осветительных приборах — ручных фонариках. Светодиодные осветительные приборы подразделяются на уличные и интерьерные. Сегодня их применяют для подсветки зданий, автомобилей, улиц и рекламных конструкций, фонтанов, тоннелей и мостов. Помимо этого, СД используются в качестве различных индикаторов, в устройствах связи. [1]



- | - <https://ru.wikipedia.org>

Чтобы изучить световые диоды и их периодические свойства, стоит окунуться в природу данных приборов и узнать, что они из себя представляют. Для этого изучим, что такое полупроводники.

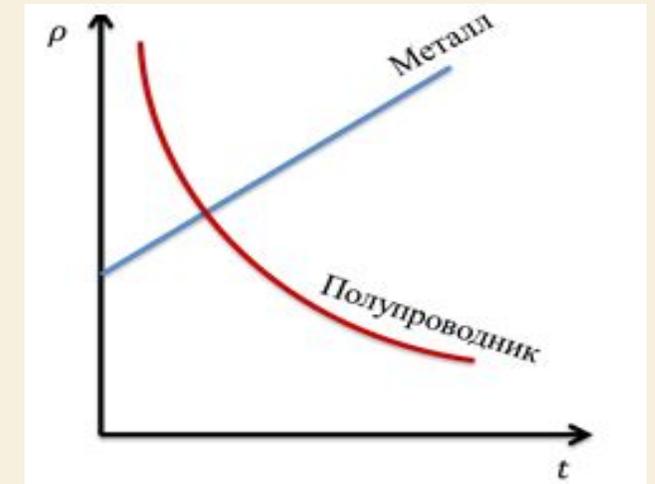
К полупроводникам относятся вещества, которые по своим электрическим свойствам занимают промежуточное положение между проводниками и диэлектриками. Отличительным признаком полупроводников является сильная зависимость их электропроводности от температуры, концентрации примесей, воздействия светового и ионизирующего излучения. [2]

**1) Зависимость удельного электрического сопротивления от температуры.** С повышением температуры оно, как правило, уменьшается на 5-6% на градус. [2]. Уменьшение электрического сопротивления полупроводников при нагревании объясняется тем, что с повышением температуры кристалла число освобождающихся электронов увеличивается, концентрация свободных электронов в кристалле возрастает (увеличивается и сила тока). [3]

**2) Воздействия светового и ионизирующего излучения.**

Большинство применяемых в данное время полупроводников относятся к кристаллическим телам, атомы которых образуют пространственную решетку. Взаимное притяжение атомов кристаллической решетки происходит за счет ковалентной связи. Электроны могут иметь различную степень связи со своей

парой атомов. При передачи им энергии из вне (например, с помощью электромагнитного поля или при нагревании) они способны покинуть свои места в кристаллической решетке и перемещаться по кристаллу, создавая таким образом электрический ток в нем. Удельное сопротивление уменьшается. [2]

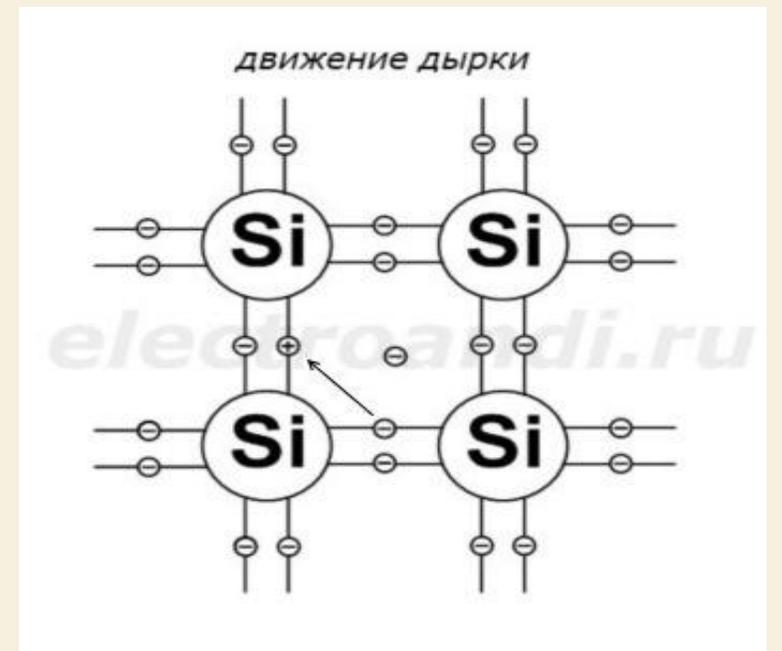
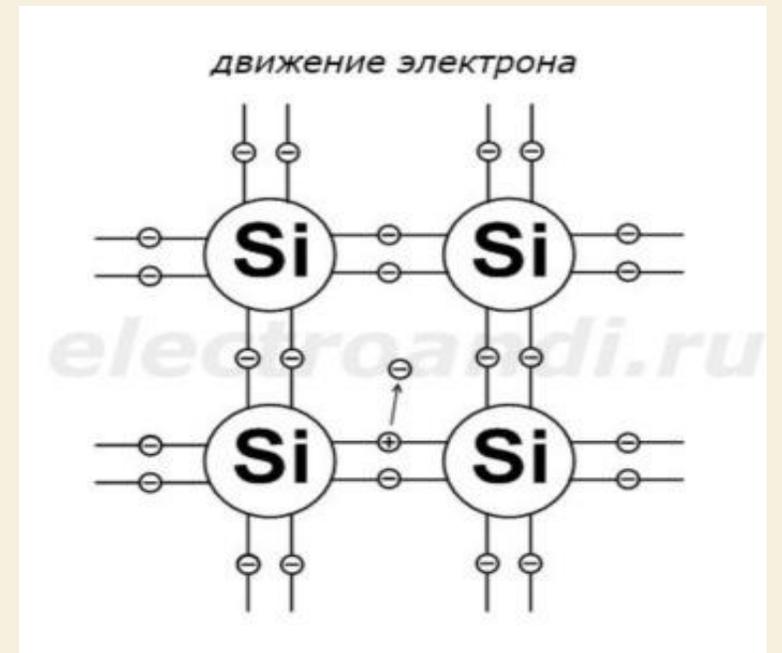


- При повышении температуры, электрон получает количество энергии, которое хватает чтобы “перескочить” из валентной зоны в зону проводимости и отделяется от атома. Он начинает перемещаться по кристаллу и участвовать во взаимодействии с другими атомами. На месте, с которого ушёл электрон, остался нескомпенсированный положительный заряд – **дырка**. На место дырки приходит другой электрон, таким образом, ковалентная связь восстанавливается в одном месте, но нарушается в другом.

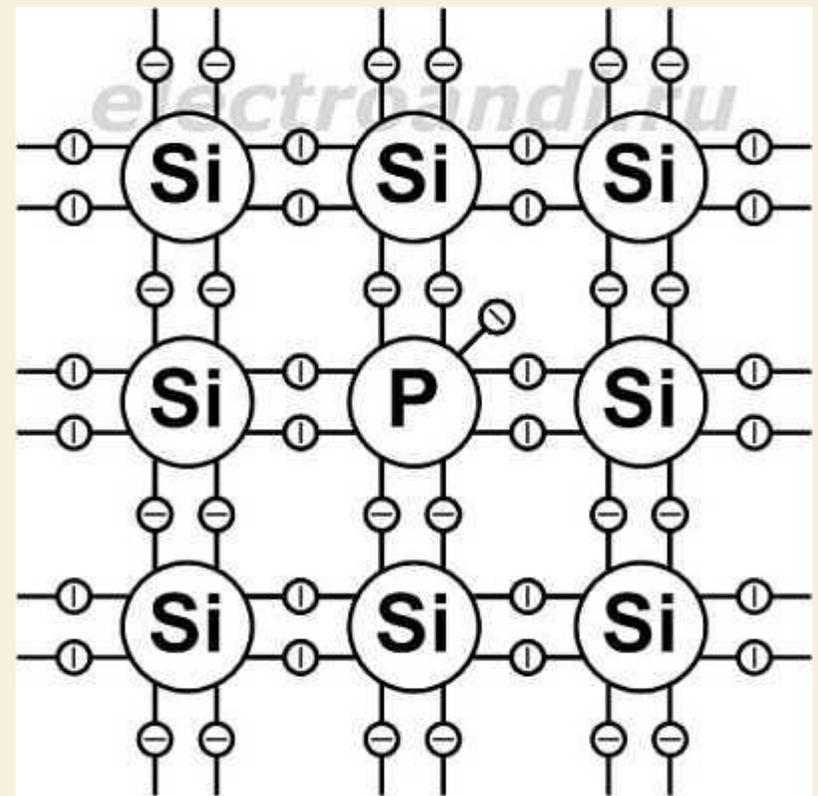
- Так, дырка перемещается по кристаллу и движется она противоположно движению электронов. Движение электронов и дырок внутри чистого полупроводника называется **собственной проводимостью**. [4]

(р-переход)

- 4- <https://electroandi.ru>



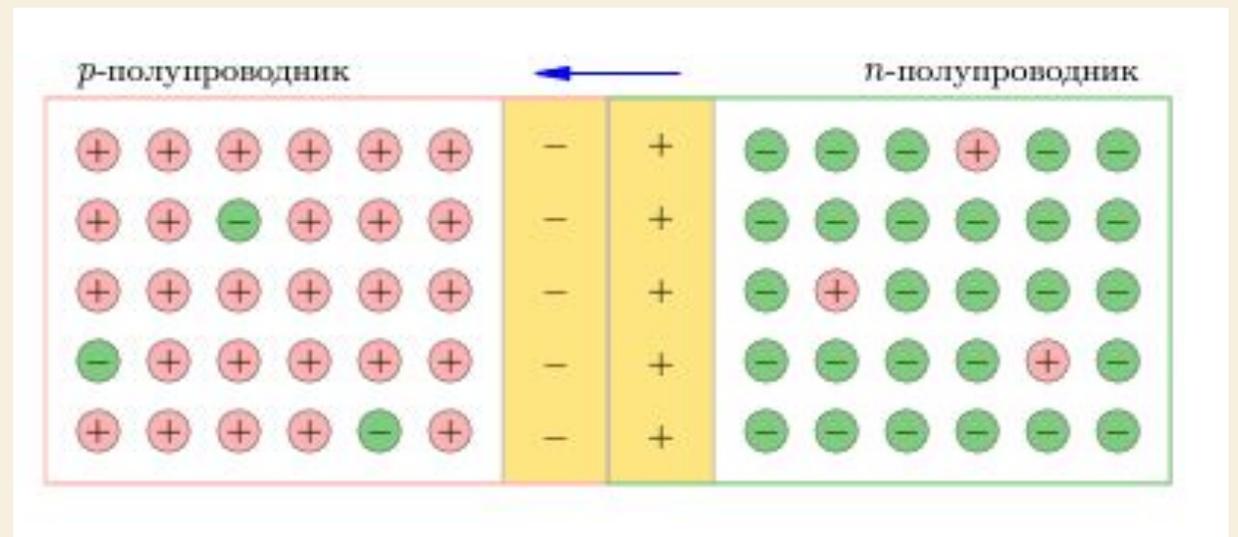
- **3) Зависимость удельного электрического сопротивления от концентрации примесей.** Контролируемое введение примесей в полупроводниках позволяет в очень широких пределах изменять как удельное сопротивление, так и степень зависимости от температуры. Если в полупроводник добавляется очень небольшое количество такой примеси, атомы которой имеют на единицу больше валентности, чем атомы полупроводника (донорная примесь), то на каждый введённый атом примеси появляется электрон, способный перейти в зону проводимости. [3]
- (n-переход)



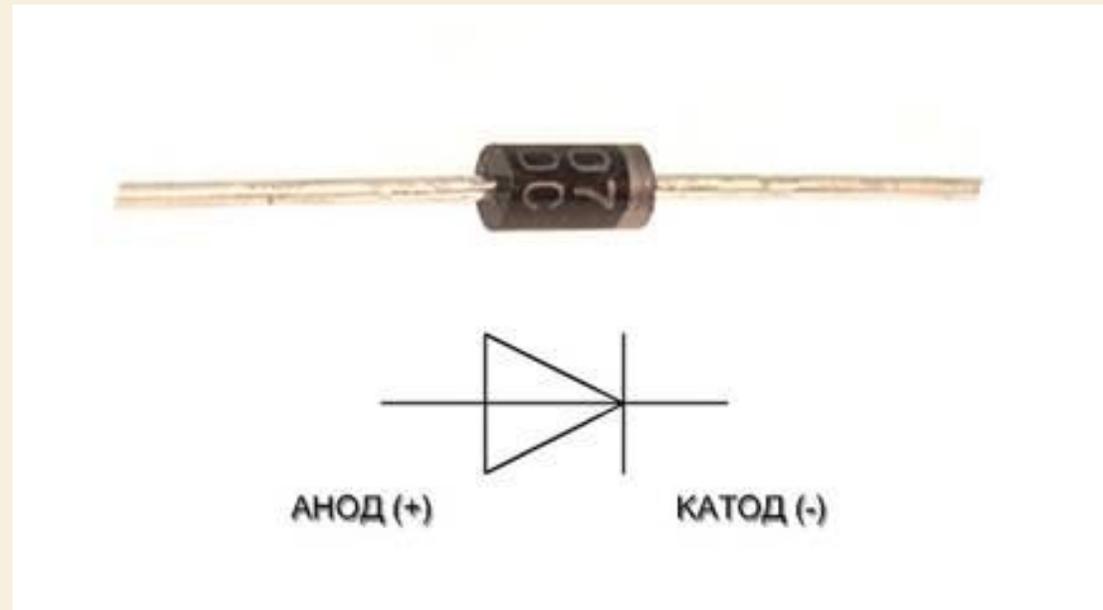
## Электронно-дырочный переход.

Место контакта двух полупроводников с различными типами проводимости (электронной и дырочной) называется электронно-дырочным переходом, или р–п-переходом. В области р–п-перехода возникает односторонняя проводимость.

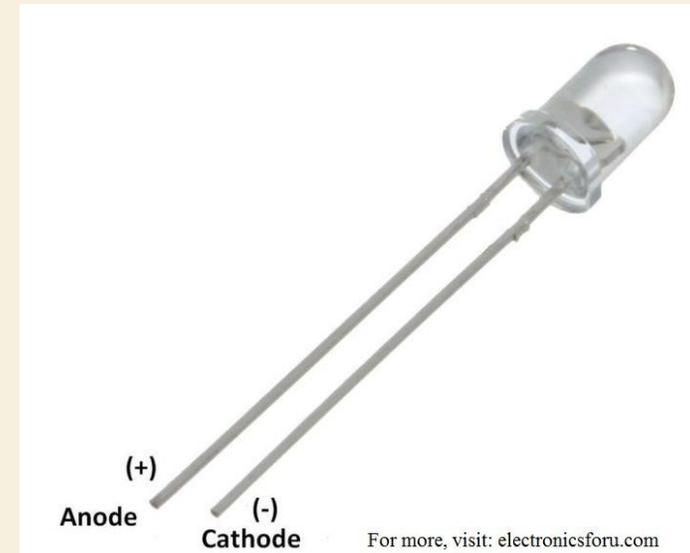
Свободные электроны переходят из n-области в p-область и перераспределяются с дырками; дырки же проникают из p-области в n-область и перераспределяются там с электронами. В результате этих процессов в электронном полупроводнике около границы контакта остаётся нескомпенсированный заряд положительных ионов донорной примеси, а в дырочном полупроводнике (также вблизи границы) возникает нескомпенсированный отрицательный заряд ионов акцепторной примеси. Эти нескомпенсированные заряды образуют так называемый запирающий слой, который препятствует дальнейшей перераспределению свободных электронов и дырок через границу контакта. [5]



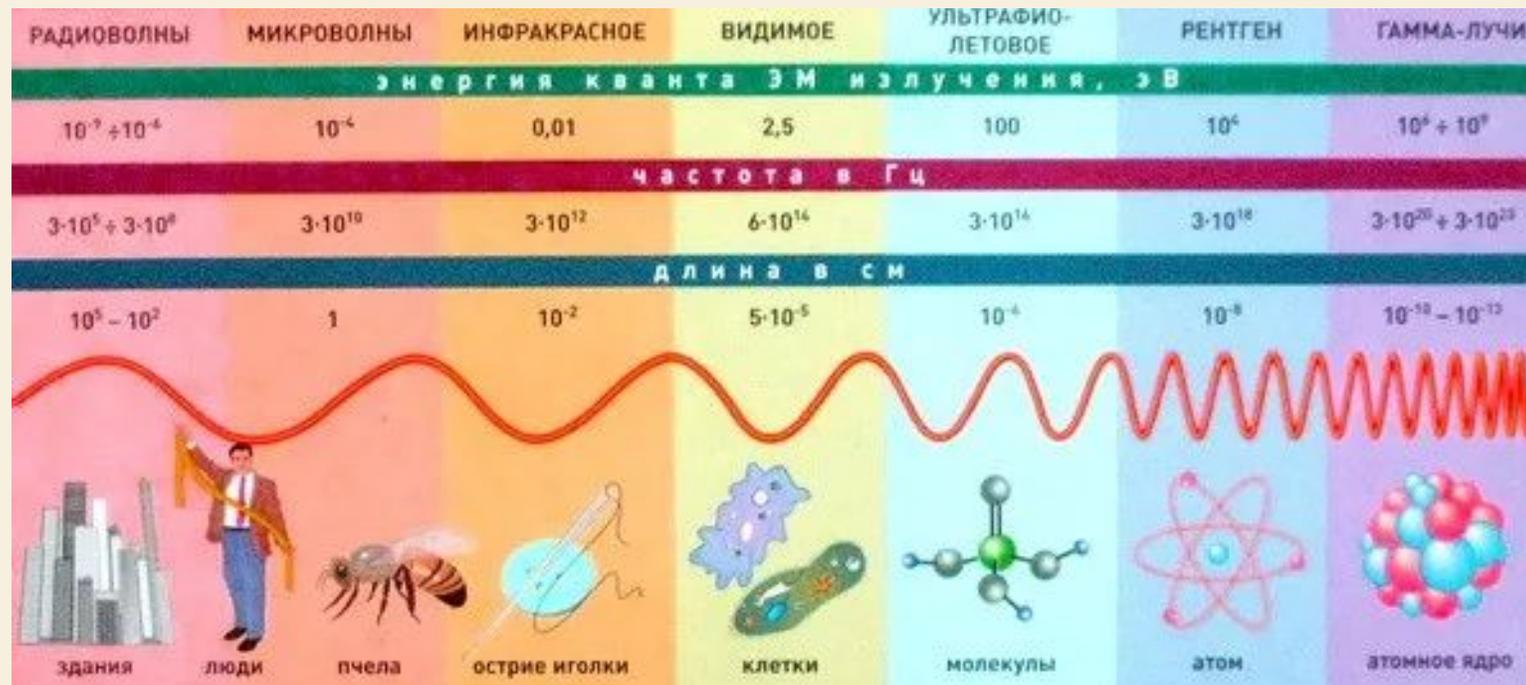
- Диод – это полупроводниковый прибор с одним выпрямляющим электрическим переходом и двумя выводами, в котором используется то или иное свойство электрического перехода.
- Диоды имеют две области: область с высокой концентрацией примесей (эмиттер) и с маленькой концентрацией примесей (база). Та сторона диода, к которой подключается отрицательный полюс источника, называется катодом, а положительный – анодом. [2]



- Существует различные виды диодов: выпрямительные, универсальные, импульсивные, варикапы и многие другие. Для нашего исследования нам понадобятся светоизлучающие диоды.
- Светоизлучающие диоды - это это излучающий полупроводниковый прибор с одним или несколькими электрическими переходами, предназначенный для непосредственного преобразования электрической энергии в энергию некогерентного светового излучения.
- В зависимости от длины волны излучения светоизлучающие диоды делятся на две группы: с излучением в видимой части спектра и инфракрасной.[2]



СД могут иметь в своем составе один или несколько выпрямляющих переходов (электрический переход, электрическое сопротивление которого при одном направлении тока больше, чем при другом), в которых происходит активное перераспределение электронов и дырок. Общее число перераспределения определяется силой тока, часть этих перераспределений происходит с излучением кванта энергии. Чтобы кванты энергии - фотоны, освобожденные при рекомбинации, соответствовали квантам видимого света, ширина запрещенной зоны исходного полупроводника должна быть относительно широкой ( $> 1.7\text{эВ}$ ), иначе при меньшей ширине кванты энергии соответствуют инфракрасной зоне.[2]



## Связь вещества и цвета светодиода [4]

Соединение	Постоянная решетки, А	Энергия запрещенной зоны, эВ	Цвет
Селенид кадмия CdSe	≈6,1	≈1,8	красный
Нитрид индия InN	≈3,5	≈1,95	оранжевый
Фосфид галлия GaP	≈5,4	≈2,15	желтый
Фосфид алюминия AlP	≈5,45	≈2,4	зеленый
Селенид цинка ZnSe	≈5,75	≈2,7	синий
Карбид кремния SiC	≈3,13	≈2,8	фиолетовый

[4]

• Таким образом, целью нашей работы - связать внешние изменения с физическими свойствами полупроводников.

• Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

1. Изучение полупроводников и диодов;
2. Наблюдение за связью между энергией света с электрической энергией;
3. Наблюдение за связью между температурой и электрическими свойствами диодов;
4. Сравнение поведения электрических свойств полупроводников с металлами.

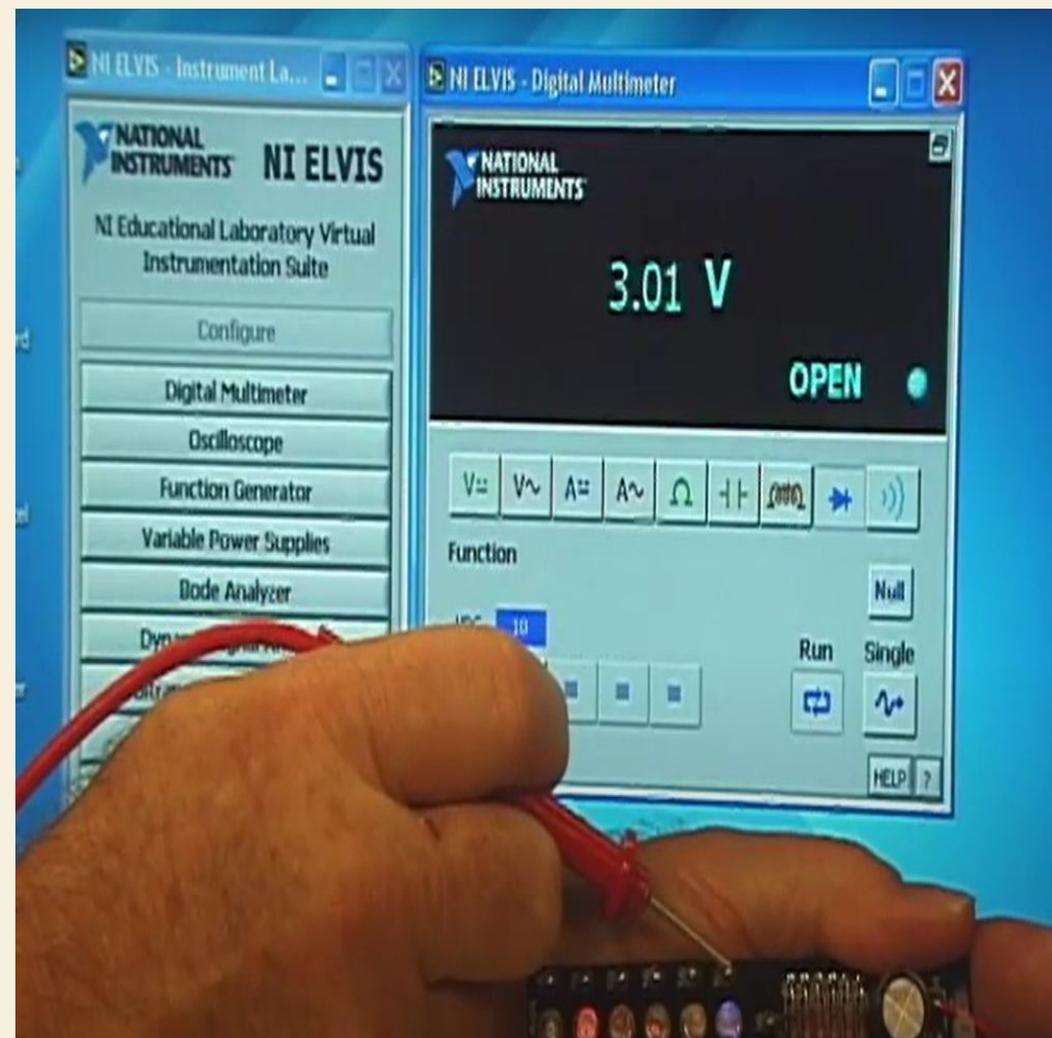
# Экспериментальная часть I часть.

В первой части эксперимента мы рассмотрим связь напряжения запрещенной зоны и цвета, который мы видим у светодиода. Для данного эксперимента были взяты СД, состоящие из фосфида галлия разной концентрации с дополнительной примесью мышьяка, синий и желтый световой диод.



- Для этого мы подключим каждый диод и при помощи компьютерной программы ELVIS замерим напряжение.
- Стоит отметить, что данный способ имеет неточные показания, т.к. при измерении показателей на синем СД загорались и красные диоды, т.к. им нужно намного меньше энергии, чтобы светиться.

Диод	Напряжение запрещенной зоны
Синий	$\approx 3,01\text{В}$
Желтый	$\approx 1,96\text{В}$
Оранжевый	$\approx 1,94\text{В}$
Красный	$\approx 1,80\text{В}$
Красный	$\approx 1,74\text{В}$
Инфракрасный	$\approx 1,17\text{В}$

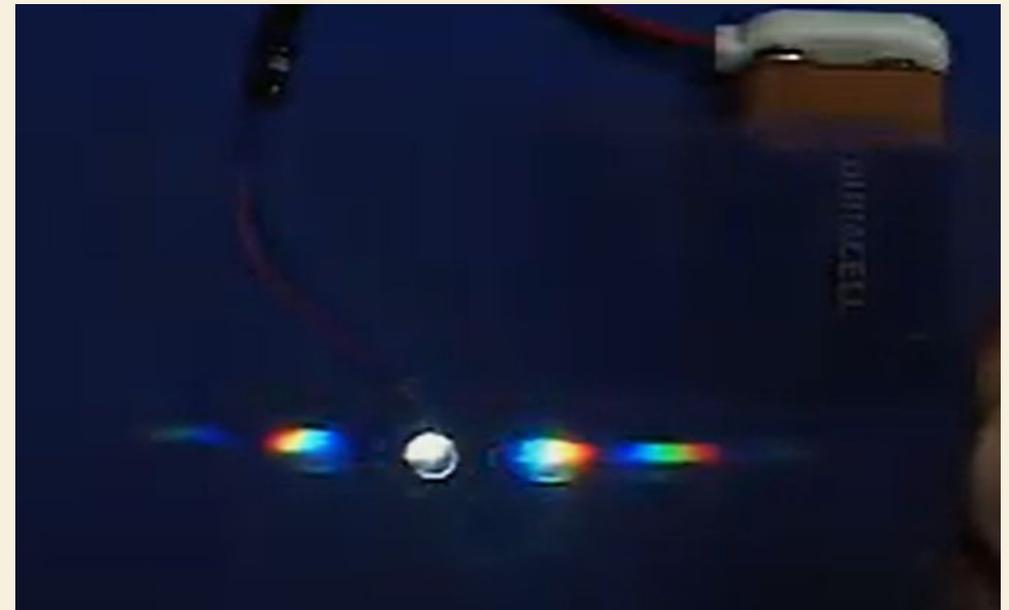


## Часть

В данном эксперименте мы связываем структуру твердого тела с физическими свойствами. Для начала проверим подключение СД к цепи. Ранее нам стало известно, что диод содержит катод и анод. Если неправильно подсоединить их к цепи, то света не будет. При правильном подключении диод начинает светиться.

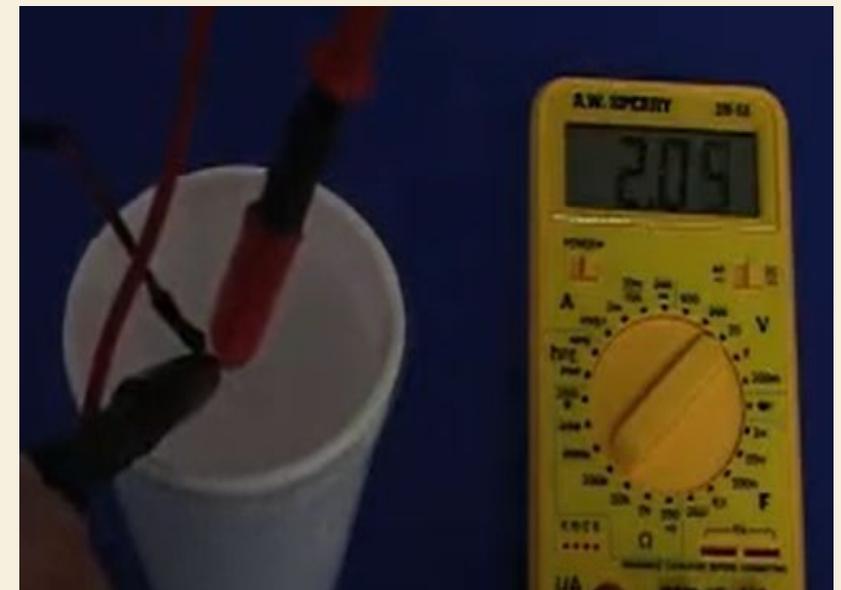


- Возьмем диодную ленту, диод с белым светом и дифракционную решетку. Дифракционную решетку ставим параллельно диодам и поворачиваем ее на  $90^\circ$ .
- В случае с диодной лентой мы наблюдаем дифракцию (способность волны огибать препятствия) и поляризацию света.
- Во втором случае, помимо дифракции, мы видим и дисперсию (разложение света на 7 цветов).

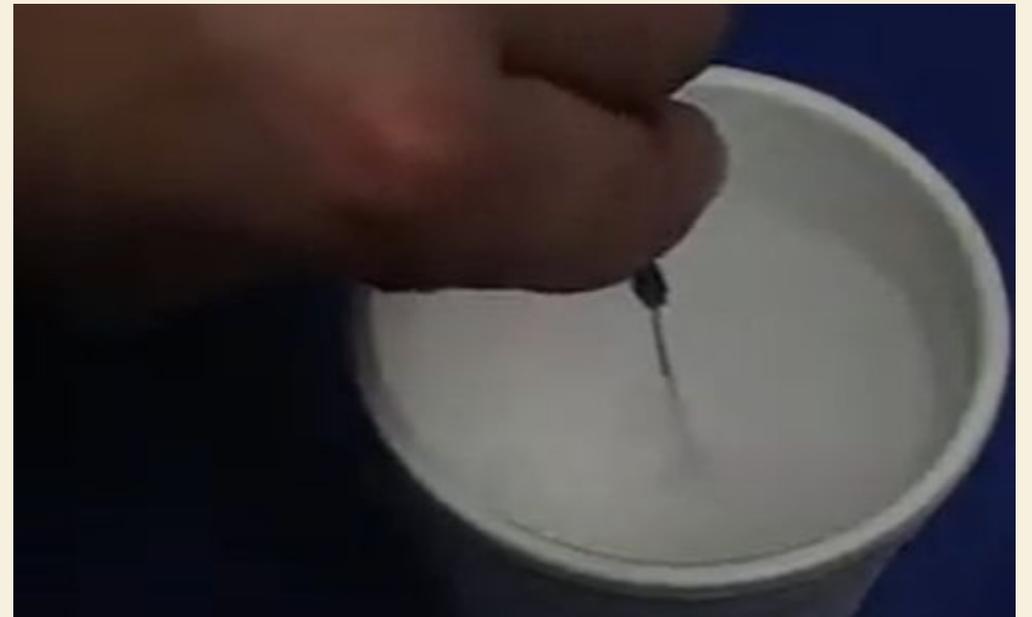


- Пронаблюдаем за изменением напряжения при изменении температуры. Для этого при постоянном токе и температуре в комнате  $+20^{\circ}\text{C}$  измерим начальное напряжение.
- Далее, чтобы резко понизить температуру окружающей среды, опустим диод в жидкий азот ( $-196^{\circ}\text{C}$ ) и измерим напряжение.
- Как мы можем заметить, при уменьшении температуры возрастает показания напряжения.

Температура	Напряжение
$+20^{\circ}\text{C}$	1,44В
$-196^{\circ}\text{C}$	2,05В



- При тех же температурах проверим способность диода светиться.
- При комнатной температуре зеленый диод светится ярко, но стоит нам погрузить его в жидкий азот, как свечение полностью пропадает из-за повышения сопротивления диода, которое мешает проходить свету.



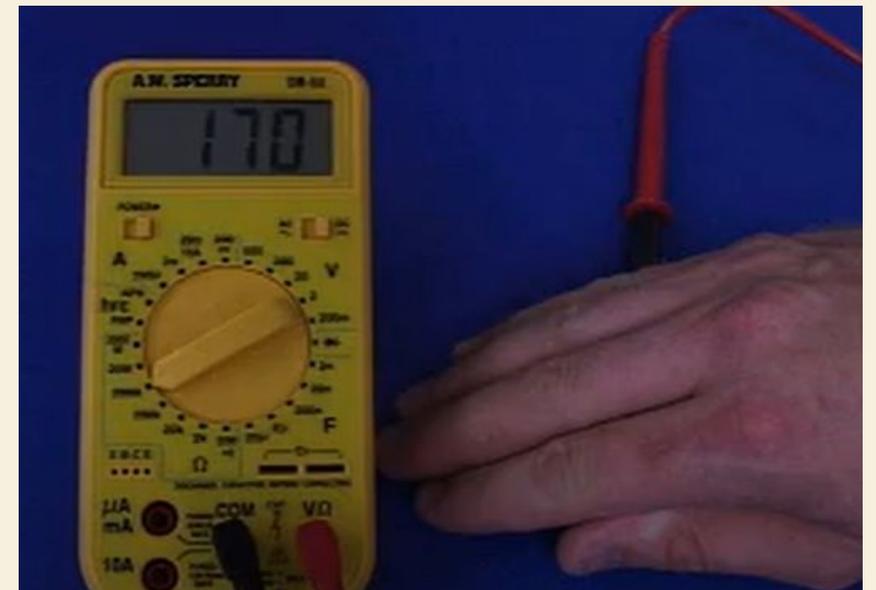
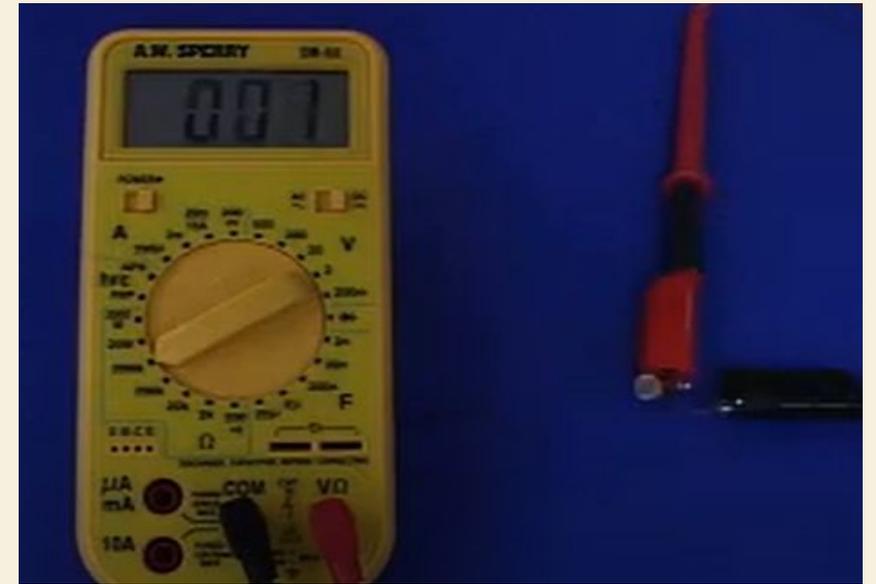
- Для сравнения возьмем проводник (медную катушку) и наблюдаем за изменением его сопротивления с изменением температуры. Температуры останутся теми же, которые были и в предыдущих экспериментах.
- Можно заметить, что при понижении температуры сопротивление тоже понижается.

температура	сопротивление
+20°C	158,30м
-196°C	21,20м

Показания взяты спустя 1 минуты.



- Чтобы увидеть зависимость сопротивления от света, возьмем полупроводниковый фотоэлемент и замерим его сопротивление в светлой комнате и в темноте.
- Заметим, что при меньшем количестве поступающего света, сопротивление полупроводника резко начинает расти с 1 Ом до 170 Ом.



# Заключение

Таким образом, на основе проделанного исследования были получены следующие результаты:

- 1) При повышении сопротивления полупроводников уменьшается пропускание света;
- 2) В темноте сопротивление полупроводника больше, чем при свете;
- 3) У полупроводника, в отличие от проводника, при понижении температуры электрическое сопротивление растёт.