

Муниципальное общеобразовательное бюджетное учреждение  
«Волховская средняя общеобразовательная школа № 7»

«Температурная зависимость различных материалов»

Выполнили:  
Архипов Тимофей  
Ученик 9 «А» класса,  
Назаров Михаил  
Ученик 9 «А» класса,  
Руководитель:  
Кузнецова Ирина Сергеевна  
учитель физики

г. Волхов

2024

## **Оглавление**

<b>Введение</b> .....	2
<b>Глава 1. Теоретическая часть</b> .....	4
1.1 История открытия проводимости и сопротивления.....	4
1.2 Электрическое сопротивление и проводимость .....	5
1.2.1 Физическая природа электрического сопротивления: .....	5
1.2.1 Проводимость.....	6
1.2.3 Удельное электрическое сопротивление и удельная проводимость. ....	6
1.2.4 Зависимость сопротивления от температуры металлов и полупроводников: .....	8
1.3 Электронная и дырочная проводимости в полупроводниках. ....	10
1.4 Транзисторы.....	14
1.5 Полевой транзистор .....	16
1.7 Терморезисторы .....	17
1.7.1 NTC («Negative Temperature Coefficient») .....	19
1.7.2 PTC («Positive Temperature Coefficient») .....	20
1.8 Термодатчики (типы, характеристики, применение) .....	23
1.9 Выводы по теоретической главе: .....	24
<b>Глава 2. Практическая часть</b> .....	25
2.1 Исследование зависимости сопротивления полупроводника (термистора) от температуры.....	25
2.2 Исследование зависимости сопротивления полупроводника, представляющего собой смесь окислов марганца и магния.....	28
2.3 Исследование зависимости сопротивления металлов от температуры (металлическая проволока из школьного набора).....	30
2.4 Сборка модели термодатчика с использованием терморезистора.....	35
<b>Заключение</b> .....	42
<b>Список литературы</b> .....	43

## **Введение**

### **Актуальность проекта:**

Представить себе современный мир без полупроводниковых материалов, сопротивление которых при изменении температуры меняется очень значительно, невозможно, они широко применяются в нефтегазовой промышленности, топливно-энергетическом комплексе, машиностроении, автомобильной промышленности и спецтехнике, химической промышленности, строительстве, в аналоговой и цифровой электронике, в виде различных терморезисторов, термисторов и позисторов. Для производства, совершенствования полупроводниковых датчиков и, в целом, полупроводниковых приборов, требуются грамотные инженерные кадры, а их подготовку необходимо начинать со школьной скамьи, где учащиеся должны получать политехнические знания, в частности, приобретать навыки создания простейших полупроводниковых устройств в условиях школьной лаборатории.

### **Цель проекта:**

Исследование зависимости сопротивления полупроводников и металлов от температуры. Создание модели датчика температуры на основе полупроводникового устройства -терморезистора.

### **Объект проекта:**

Знания принципов работы полупроводниковых устройств, в частности датчика температуры.

### **Предмет проекта:**

Зависимость сопротивления проводников и полупроводников от температуры, модель датчика температуры.

### **Задачи для достижения поставленной цели:**

- ознакомится с историей открытия проводимости, в частности проводимости полупроводников;
- выяснить, какие физические законы положены в основу действия полупроводниковых устройств;
- изучить принцип действия полупроводниковых устройств;
- исследовать зависимость сопротивления термистора от температуры;
- создание модели полупроводникового датчика температуры.

### **Методы исследования:**

- углубленное изучение соответствующих разделов и тем школьного курса физики;
- изучение научной и научно-популярной литературы и источников из сети интернет по теме исследования;
- изучение принципа действия полупроводниковых устройств.

### **Гипотеза:**

В условиях школьной лаборатории можно исследовать зависимость сопротивления полупроводников и проводников от температуры, а также самостоятельно собрать демонстрационную модель полупроводникового датчика.

### **Проблема:**

Недостаток знаний учащихся в сфере проводимости и полупроводимости. Необходимость проводить экспериментальные обследования.

## Глава 1. Теоретическая часть.

### 1.1 История открытия проводимости и сопротивления.

Электрический ток – упорядоченное, направленное движение заряженных частиц в веществе.

Проводимость веществ – способность пропускать через себя заряженные частицы. По уровню проводимости все вещества делятся на 3 группы:

проводники – вещества, которые проводят электрический ток (есть свободные электроны);

-полупроводники - вещества, в которых количество свободных электронов зависит от внешних условий (температура);

-диэлектрики – вещества, которые не проводят электрический ток (нет свободных зарядов)

Впервые, исследование проводимости диэлектриков провел Шарль Огюстен Кулон, французский физик и военный инженер. Он показал, что любой изолятор обладает малой, определенной для каждого вещества электропроводимостью. Одновременно с Ш. Кулоном исследованием электропроводимости веществ занимался Г. Кавендиш, английский физик и химик. В его записках, относящихся к 1775 г., найдены уже сравнительные численные результаты, так, например, Г. Кавендиш установил, что железная проволока проводит ток почти в 400 000 000 раз лучше, чем дистиллированная вода. Интересно, что роль измерительного прибора при этом играло физиологическое ощущение тока.

Проблема электропроводимости веществ приобрела особую важность в связи с исследованием электрических цепей постоянного тока. Английский физик и химик Д. Гемфри в 1821 г. исследовал зависимость проводимости внешнего участка цепи от длины проводника и его поперечного сечения, он же установил, что проводимость металлических проводников уменьшается при их нагревании. Таким образом была впервые установлена -зависимость проводимости от температуры.

Первые систематические исследования электропроводимости провел М. Фарадей в 1833 г., который показал, что все вещества в большей или меньшей степени проводят ток, поэтому абсолютной изоляции не существует. В результате многочисленных опытов Фарадей установил, что проводимость диэлектриков растет при нагревании, а при переходе через точку плавления все твердые диэлектрики становятся проводниками.

Английский ученый Гarris в 1834 г. показал, что проводимость воздуха не изменяется при нагревании.

Изучение проводимости металлов стало важной технической проблемой, в связи с развитием мировой системы телеграфной связи. Естественно, возник вопрос об увеличении проводимости металлов. Физическая теория не давала ответа на этот вопрос, ибо был неизвестен механизм электропроводимости. В конце XIX в., после открытия электрона, начала развиваться электронная теория проводимости. Начало теории дал в 1900 г. немецкий физик Пауль Друде (1863—1906). Теория Друде вошла в учебные курсы физики под именем классической теории электропроводимости металлов. В этой теории электроны уподобляются атомам идеального газа, заполняющего кристаллическую решетку металла. Теория Друде была развита Х. Лоренцом, однако она не дала объяснения целого ряда электрических и магнитных свойств металлов. В частности, наиболее трудным оказалось явление сверхпроводимости, открытое в 1911 г. голландским физиком Гейке Камерлинг-Оннесом. Строгая теория электропроводимости металлов была развита после построения квантовой механики. Теория проводимости электролитов была развита шведским физиком и химиком Сванте Аррениусом (1859—1927), ему принадлежит ведущая идея электролитической диссоциации. При исследовании проводимости жидкостей была установлена сильная зависимость проводимости от примесей, особенно резкая у воды, так как она является хорошим растворителем. Исследование проводимости газов привело к открытию различных форм газовых разрядов. Особую роль сыграли эти исследования в открытии электрона. Электропроводимость полупроводников стали изучать только в 20-х годах XX в. В связи с открытием важных практических применений полупроводников исследования их электропроводимости, ее зависимости от примесей, температуры и других факторов ведутся в настоящее время особенно интенсивно.

## **1.2 Электрическое сопротивление и проводимость**

### **1.2.1 Физическая природа электрического сопротивления:**

При движении свободных электронов в проводнике, последние сталкиваются на своем пути с положительными ионами, атомами и молекулами вещества, из которого выполнен проводник, и передают им часть своей энергии.

При этом энергия движущихся электронов в результате столкновения их с атомами и молекулами частично выделяется и рассеивается в виде тепла, нагревающего проводник. Ввиду того что электроны, сталкиваясь с частицами проводника, преодолевают некоторое сопротивление движению, принято говорить, что проводники обладают электрическим сопротивлением. Если сопротивление проводника мало, он сравнительно слабо нагревается током; если сопротивление велико, проводник может раскалиться. Провода, подводящие электрический ток к электрической плитке, почти не нагреваются, так как их сопротивление мало, а спираль плитки, обладающая большим сопротивлением, раскаляется докрасна. Еще сильнее нагревается нить электрической лампы.

За единицу сопротивления принят Ом. Сопротивлением 1 Ом обладает проводник, по которому проходит ток 1 А при разности потенциалов на его концах (напряжении), равной 1 В. Эталоном сопротивления 1 Ом служит столбик ртути длиной 106,3 см и площадью поперечного сечения 1 мм<sup>2</sup> при температуре 0 °С. На практике часто сопротивления измеряют тысячами ом — килоомами (кОм) или миллионами ом — мегаомами (МОм). Сопротивление обозначают буквой R.

### **1.2.1 Проводимость.**

Всякий проводник можно характеризовать не только его сопротивлением, но и так называемой проводимостью — способностью проводить электрический ток. Проводимость есть величина, обратная сопротивлению. Единица проводимости называется Сименсом (См). 1 См равен 1/1 Ом. Проводимость обозначают буквой G.

### **1.2.3 Удельное электрическое сопротивление и удельная проводимость.**

Атомы разных веществ оказывают прохождению электрического тока неодинаковое сопротивление. О способности отдельных веществ проводить электрический ток можно судить по их удельному электрическому сопротивлению  $\rho$ . За величину, характеризующую удельное сопротивление, обычно принимают сопротивление куба с ребром 1 м.

Удельное электрическое сопротивление измеряют в Ом-м. Для суждения об электропроводности материалов пользуются также понятием удельная электрическая проводимость  $\alpha=1/\rho$ . Удельная электрическая проводимость измеряется в Сименсах на метр (См/м) (проводимость куба с ребром 1 м). Часто удельное электрическое сопротивление выражают в ом-сантиметрах (Ом \* см), а удельную электрическую проводимость — в Сименсах на сантиметр (См/см). При этом 1 Ом-см =  $10^{-2}$  Ом-м, а 1 См/см =  $10^2$  См/м.

Проводниковые материалы применяют, главным образом, в виде проволок, шин или лент, площадь поперечного сечения которых принято выражать в квадратных миллиметрах, а длину — в метрах. Поэтому для удельного электрического сопротивления подобных материалов и удельной электрической проводимости введены и другие единицы измерения:  $\rho$  измеряют в Ом·мм<sup>2</sup>/м (сопротивление проводника длиной 1 м и площадью поперечного сечения 1 мм<sup>2</sup>), а  $\alpha$  — в См·м/мм<sup>2</sup> (проводимость проводника длиной 1 м и площадью поперечного сечения 1 мм<sup>2</sup>).

Из металлов наиболее высокой электропроводностью обладают серебро и медь, так как структура их атомов позволяет легко передвигаться свободным электронам, затем следует золото, хром, алюминий, марганец, вольфрам и т. д. Хуже проводят ток железо и сталь.

Чистые металлы всегда проводят электрический ток лучше, чем их сплавы. Поэтому в электротехнике используют преимущественно очень чистую медь, содержащую только 0,05 % примесей. И наоборот, в тех случаях, когда необходим материал с высоким сопротивлением (для различных нагревательных приборов, реостатов и пр.), применяют специальные сплавы: константан, манганин, нихром, фехраль. В табл. 1 приведены значения удельного сопротивления некоторых проводниковых материалов, применяемых в электрическом оборудовании локомотивов. 16

Таблица 1. Удельное сопротивление и температурный коэффициент некоторых веществ.

Наименование материала	Удельное сопротивление $\rho$ при 20°С, Ом * мм <sup>2</sup> /м	Температурный коэффициент сопротивления $\alpha$ , 1/°С
Серебро	0,016	0,0035
Медь техническая	0,0172	0,0041
Алюминий	0,0295	0,0040
Сталь	0,125—0,146	0,0057
Манганин (сплавы для резисторов и измерительных приборов)	0,40—0,52	0,00003
Константан	0,44	0,00005
Нихром	1,02—1,12	0,0001

Следует отметить, что в технике, кроме металлических проводников, используют и неметаллические. К таким проводникам относится, например, уголь, из которого изготовляют щетки электрических машин, электроды для прожекторов и пр. Проводниками электрического тока являются толща земли,



живые ткани растений, животных и человека. Проводят электрический ток сырое дерево и многие другие изоляционные материалы во влажном состоянии.

Электрическое сопротивление проводника зависит не только от материала проводника, но и его длины / и площади поперечного сечения (электрическое сопротивление подобно сопротивлению, оказываемому движению воды в трубе, которое зависит от площади сечения трубы и ее длины.)

#### **1.2.4 Зависимость сопротивления от температуры металлов и полупроводников:**

Электропроводность всех материалов зависит от их температуры. В металлических проводниках при нагревании размах и скорость колебаний атомов в кристаллической решетке металла увеличиваются, вследствие чего возрастает и сопротивление, которое они оказывают потоку электронов. При охлаждении происходит обратное явление: беспорядочное колебательное движение атомов в узлах кристаллической решетки уменьшается, сопротивление их потоку электронов понижается и электропроводность проводника возрастает.

В природе, однако, имеются некоторые сплавы: фехраль, константан, манганин и др., у которых в определенном интервале температур электрическое сопротивление меняется сравнительно мало. Подобные сплавы применяют в технике для изготовления различных резисторов, используемых в электроизмерительных приборах и некоторых аппаратах для компенсации влияния температуры на их работу.

О степени изменения сопротивления проводников при изменении температуры судят по так называемому температурному коэффициенту сопротивления  $\alpha$ . Этот коэффициент представляет собой относительное приращение сопротивления проводника при увеличении его температуры на  $1^\circ\text{C}$ . В табл. 1 приведены значения температурного коэффициента сопротивления для наиболее применяемых проводниковых материалов.

В полупроводниках для того, чтобы перевести электрон из связанного состояния в свободное, нужно извне сообщить ему некоторую добавочную энергию.

Очень быстрое возрастание числа свободных электронов в полупроводниках при повышении их температуры приводит к тому, что изменение сопротивления полупроводников с температурой в 10 - 20 раз больше, чем у металлов. Сопротивление металлов изменяется в среднем на 0,3% на каждый градус изменения температуры; у полупроводников же повышение температуры на  $1^\circ$  изменяет электропроводность на 3 - 6%, повышение температуры на  $10^\circ$  на 75,5%, а повышение температуры на  $100^\circ$  увеличивает проводимость в 50 раз.

Полупроводники, приспособленные для использования их очень большого температурного коэффициента сопротивления, получили в технике название термосопротивлений (иначе термисторов).

Термосопротивления находят много очень важных и все расширяющихся применений в самых разнообразных областях техники: для автоматики и телемеханики, а также в качестве очень точных и чувствительных термометров.

Термометры сопротивления, или, как их называют, болометры, применялись в лабораторной практике уже давно, но раньше они изготовлялись из металлов, и это было связано с рядом трудностей, ограничивавших область их применения. Болометры приходилось делать из длинной тонкой проволоки, чтобы общее их сопротивление было достаточно велико по сравнению с сопротивлением подводящих проводов. Кроме того, изменение сопротивления металлов очень мало, и измерение температуры с помощью металлических болометров требовало чрезвычайно точного измерения сопротивлений.

От этих недостатков свободны полупроводниковые болометры, или термосопротивления. Их удельное сопротивление настолько велико, что весь болометр может иметь размеры в несколько миллиметров или даже несколько десятых долей миллиметра. При таких малых размерах термосопротивление чрезвычайно быстро принимает температуру окружающей среды, что позволяет измерять температуру небольших предметов (например, листьев растений или отдельных участков человеческой кожи).

Чувствительность современных термосопротивлений настолько велика, что с их помощью можно обнаруживать и измерять изменения температуры на одну миллионную долю градуса. Это дало возможность применять их в современных приборах для измерения интенсивности очень слабого излучения вместо термостолбиков

Свойство металлических проводников увеличивать свое сопротивление при нагревании часто используют в современной технике для измерения температуры. Например, при испытаниях тяговых двигателей после ремонта температуру нагрева их обмоток определяют измерением их сопротивления в холодном состоянии и после работы под нагрузкой в течение установленного периода (обычно в течение 1 ч).

Напротив, в полупроводнике всё время идут два противоположных процесса. С одной стороны, идёт процесс захвата освобождённых электронов, т.е. воссоединения их с тем или иным из оставшихся в полупроводнике ионов - атомов потерявших свой электрон.

Равновесие между связанными и свободными электронами является подвижным, или динамическим.

Исследуя свойства металлов при глубоком (очень сильном) охлаждении, ученые обнаружили замечательное явление: вблизи абсолютного нуля (-273,16

°С) некоторые металлы почти полностью утрачивают электрическое сопротивление. Они становятся идеальными проводниками, способными длительное время пропускать ток по замкнутой цепи без всякого воздействия источника электрической энергии. Это явление названо сверхпроводимостью. В настоящее время созданы опытные образцы линий электропередачи и электрических машин, в которых используется явление сверхпроводимости. Такие машины имеют значительно меньшие массу и габаритные размеры по сравнению с машинами общего назначения и работают с очень высоким коэффициентом полезного действия. Линии электропередачи в этом случае можно выполнить из проводов с очень малой площадью поперечного сечения. В перспективе в электротехнике будет все больше и больше использоваться это явление.

Таким образом, изменение сопротивления полупроводников с температурой, в частности, понижения сопротивления при повышении температуры, позволяет использовать их для сборки термодатчика, устройства, регулирующего температуру.

### **1.3 Электронная и дырочная проводимости в полупроводниках.**

В металлах концентрация свободных электронов очень велика, так что большая часть атомов оказывается ионизованной; практически вся электропроводность металлов объясняется поведением «свободных электронов». В полупроводниках же, где концентрация свободных электронов значительно меньше, нужно учитывать, наряду с движением в электрическом поле этих свободных электронов, и другой процесс, который может играть не меньшую роль в их проводимости.

Сравнительно немногочисленные электроны, сделавшиеся свободными, оторвались, очевидно, от некоторых атомов полупроводника, которые, таким образом, превратились в ионы. Каждый из таких ионов окружен большим количеством нейтральных атомов. Нейтральные атомы, находящиеся в непосредственной близости к иону, могут легко отдавать ему свой электрон, делая его нейтральным, но сами превращаясь в ионы. Таким образом, этот обмен электронами приводит к тому, что место положительного иона в полупроводнике меняется, т. е. дело обстоит так, как будто переместился положительный заряд. Таким образом, наряду с перемещением свободных электронов в полупроводнике может происходить процесс, имеющий характер перемещения положительных зарядов.

Одни полупроводники, например окислы алюминия, цинка, титана и др., обладают подобно металлам электронной проводимостью и называются полупроводниками типа n (от слова negative — отрицательный), так как в них ток представляет собой перемещение электронов, т. е. отрицательно заряженных частиц. В этих полупроводниках имеется большое количество полусвободных электронов, которые очень слабо связаны с ядрами атомов и совершают беспорядочное тепловое движение между атомами кристаллической решетки.

Пока в полупроводнике не действует внешнее электрическое поле, оба эти процесса имеют хаотический характер, так что в среднем каждому электрону, смещенному в одном направлении, соответствует перемещение электрона в противоположном направлении; так же обстоит и с перемещением положительно заряженных мест. Но при наложении поля оба процесса получают преимущественное направление: свободные электроны движутся в некотором избытке против поля, а положительные места - в некотором избытке по полю. Оба эти преимущественные перемещения дают ток одного направления (по полю), и результирующая электропроводность обуславливается обоими процессами.

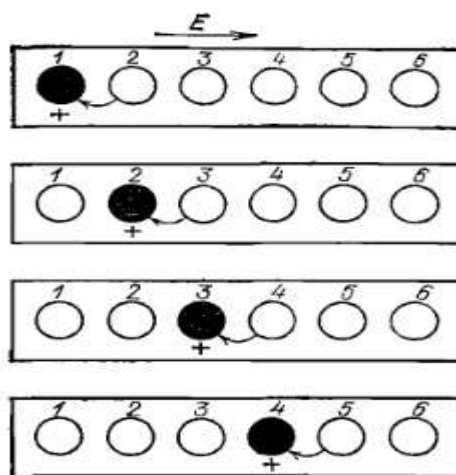


Рисунок 1

Грубо схематически рис. 1 иллюстрирует описанный процесс. Если мы представим себе цепочку атомов полупроводника, в одном месте которой образовался положительный ион А, то под действием сил поля будет происходить перенос электрона от В к А, затем от С к В, от D к С т. д., а результатом этого будет перемещение положительно заряженного места в обратном направлении.

Таким образом, в полупроводнике имеет место и движение свободных электронов против поля и перенос их от нейтральных атомов к ионам, равносильный движению положительного заряда по направлению поля. Очень часто, хотя и не совсем удачно, то место полупроводника, где вместо

нейтрального атома имеется положительный ион, называют «дыркой» и говорят, что ток в проводнике осуществляется частично движением свободных электронов против поля и частично движением «дырок» по полю. Нужно только помнить при этом, что фактически всегда имеет место только движение электронов, но движение связанных электронов от атомов к ионам приводит к такому результату, как будто двигаются положительно заряженные «дырки». В идеально чистом полупроводнике без всяких чужеродных примесей каждому освобожденному тепловым движением или светом электрону соответствовало бы образование одной дырки, т. е. число участвующих в создании тока электронов и дырок было бы одинаково.

Расчет и опыт показывают, что и подвижности электронов и дырок приблизительно одинаковы. Таким образом, участие электронов и дырок в переносе заряда, т. е. в создании электрического тока, в таком идеальном полупроводнике было бы почти одинаково. Приблизительно половина заряда переносилась бы движением свободных электронов против поля и половина движением дырок по полю.

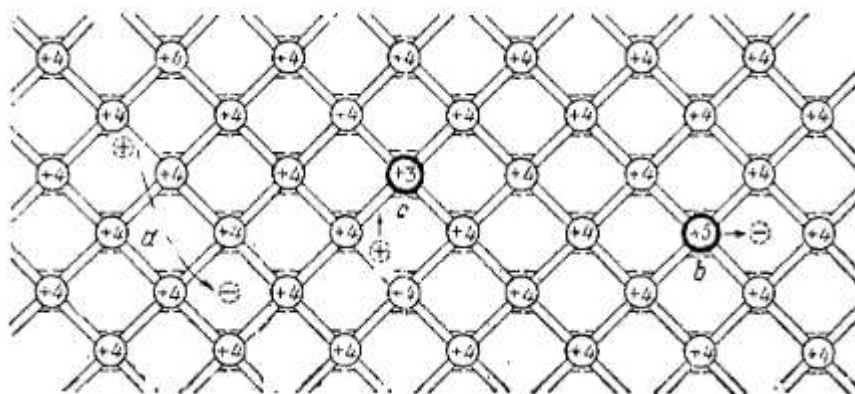


Рисунок 2

Однако такие идеально чистые полупроводники в природе не встречаются вовсе, а изготовить их искусственно необычайно трудно. Малейшие следы примесей, иногда даже не поддающиеся обнаружению с помощью самых тонких современных методов анализа, коренным образом меняют свойства полупроводников. В одних случаях влияние примесей проявляется в том, что «дырочный» механизм электропроводности становится практически невозможным, и ток в полупроводнике осуществляется только движением свободных электронов. Такие полупроводники называются «электронными полупроводниками» или «полупроводниками n-типа» (от слова «негативный» отрицательный). В других случаях невозможным становится движение свободных электронов, и ток осуществляется только движением дырок. Эти полупроводники

называются «дырочными полупроводниками», или «полупроводниками р-типа» (от слова «позитивный»- положительный).

Наряду с полупроводниками р и n-типа, могут быть, разумеется, и полупроводники смешанного типа, в которых заметную роль играет и электронная и дырочная проводимость.

Разберемся в процессах, происходящих на так называемых р-n-переходах, т. е. на границе соприкосновения дырочных и электронных полупроводников. В электронном проводнике основными носителями тока являются свободные электроны, число которых гораздо больше, чем число дырок. В дырочном проводнике, наоборот, число дырок гораздо больше, чем число свободных электронов. Когда мы приводим эти два вещества в соприкосновение, то электроны начинают диффундировать из n-тела, где их концентрация выше, в р-тело, где их имеется меньше, подобно тому, как атомы растворенного вещества диффундируют из крепкого раствора в слабый, если привести растворы в соприкосновение. Точно так же и по тем же причинам дырки будут диффундировать из дырочного полупроводника в электронный.

В результате этого пограничный слой обоих полупроводников обедняется основными носителями, т. е. на границе создается так называемый запирающий слой, сопротивление которого значительно больше, чем сопротивление всей толщи обоих полупроводников. Фактически именно сопротивлением этого запирающего слоя и определяется сопротивление всего тела.

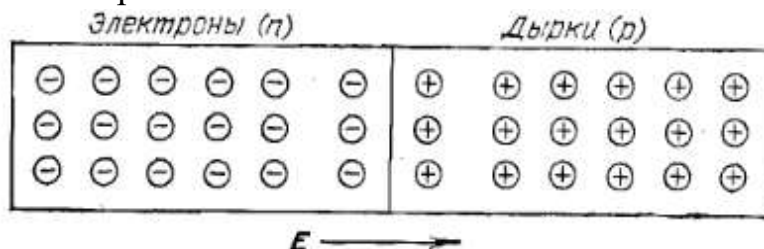


Рисунок 3

Естественно, возникает вопрос: до каких пор будет происходить уход дырок из р-тела в n-тело и уход электронов в обратном направлении? Ответить на этот вопрос нетрудно.

Так как из дырочного полупроводника уходят положительные заряды, а притекают в него электроны, то вблизи границы этот полупроводник заряжается отрицательно. Точно так же пограничный слой электронного полупроводника заряжается положительно, так как сюда притекают дырки, а отсюда уходят электроны. Таким образом, вблизи границы возникает двойной электрический слой, в котором поле направлено от электронного полупроводника к дырочному, т. е. противодействует диффузии электронов и дырок (поле E на рис. 3). Когда это

поле достигнет такой напряженности, что его действие уравновесит стремление свободных электронов и дырок диффундировать в «чужие» области, - будет достигнуто равновесие, и дальнейшая диффузия прекратится.

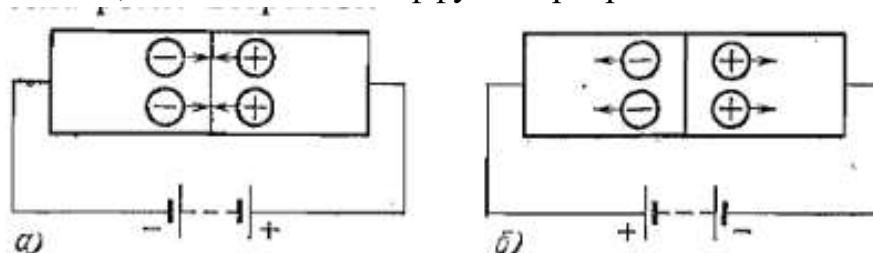


Рисунок 4

Представим себе теперь, что мы присоединили нашу пластинку к батарее так, что электронный проводник соединен с минусом батареи, а дырочный с плюсом (рис. 4). Внешнее поле, которое сосредоточено преимущественно в запирающем слое, имеющем наибольшее сопротивление, будет направлено от дырочного полупроводника к электронному. Дырки и электроны будут двигаться к границе, навстречу друг другу (рис. 4б); запирающий слой будет обогащаться электронами и дырками, и сопротивление его уменьшится. Ток в этом «пропускном» направлении будет силен. Напротив, если мы присоединим плюс батареи к электронному проводнику, а минус - к дырочному, то внешнее поле будет двигать электроны и дырки от границы в противоположные стороны (рис. 19б, б), запирающий слой будет расширяться, и сопротивление тела резко возрастет.

## 1.4 Транзисторы

Для сборки демонстрационной модели термодатчика, будет использован полевой транзистор, поэтому, в рамках проекта, необходимо рассмотреть принцип работы данного устройства, которое также является полупроводниковым.

Транзистор состоит из трёх слоёв полупроводников: по краям находятся полупроводники одного типа, а между ними — очень тонкая прослойка полупроводника другого типа. На рисунке №6 изображён р-п-р-транзистор. Две крайние области транзистора называют эмиттером 1 и коллектором 2, а среднюю область — базой.

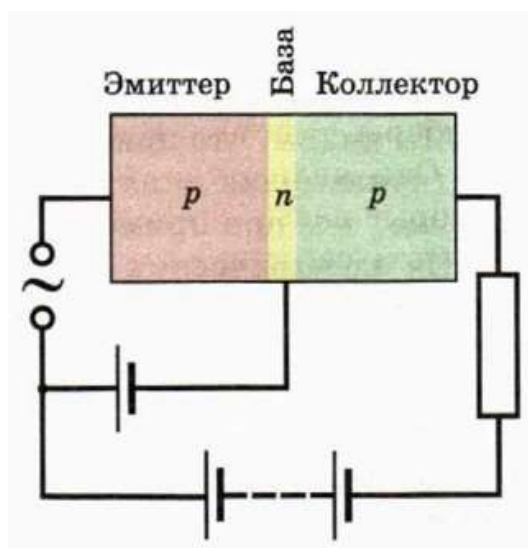


Рисунок 6

1 От английского «emit» — излучать, испускать.

2 От английского «collect» — собирать.

В р-п-р-транзисторе основными носителями заряда в эмиттере и базе являются дырки. В базе же основные носители заряда — электроны, но её делают настолько тонкой (несколько микрон), а концентрацию электронов в ней настолько малой, что практически все дырки проходят с эмиттера в коллектор сквозь базу.

Переход между эмиттером и базой делают прямым, и поэтому дырки с эмиттера диффундируют в базу, а сквозь неё в коллектор. Однако число дырок, которые прошли сквозь базу (а следовательно, и сила тока через коллектор), существенно зависит от напряжения между эмиттером и базой: чем сильнее база притягивает дырки, тем большее их число пройдёт сквозь неё.

Благодаря этому малые изменения напряжения между эмиттером и базой вызывают синхронные, только во много раз большие изменения напряжения на нагрузке (резисторе В), включённой в цепь коллектора.

Таким образом, транзистор можно использовать для усиления электрических сигналов: изменяя напряжение между базой и эмиттером на сотые доли вольта, можно изменять напряжение между эмиттером и коллектором на десятки вольт. Это позволяет, например, преобразовывать чрезвычайно слабые сигналы в антеннах радиоприёмников и мобильных телефонов в электрический ток, питающий динамики или наушники.

Транзистор — прибор, предназначенный для управления током в электрической цепи. Применяется практически во всех моделях видео аппаратуры и аудио аппаратуры. Полупроводниковые транзисторы пришли на смену морально устаревшим ламповым, которые устанавливались в старые телевизоры. Для изготовления полупроводниковых моделей ранее использовался германий, но сферы его применения ограничены из-за чувствительности к температурным



колебаниям. На смену германию пришел кремний, т.к. кремниевые детали стоят дешевле германиевых и более устойчивы к скачкам температуры. Транзисторы небольшой мощности изготавливают в прямоугольных корпусах из полимерных материалов или в металлических цилиндрических.

## 1.5 Полевой транзистор

Полевой транзистор — полупроводниковый прибор, принцип действия которого основан на управлении электрическим сопротивлением токопроводящего канала поперечным электрическим полем, создаваемым приложенным к затвору напряжением.

Полевые транзисторы классифицируют на приборы с управляющим р-п-переходом и с изолированным затвором, так называемые МДП («металл-диэлектрик-полупроводник»)-транзисторы, которые также называют МОП («металл-оксид-полупроводник»)-транзисторами, причём последние подразделяют на транзисторы со встроенным каналом и приборы с индуцированным каналом.

К основным параметрам полевых транзисторов причисляют: входное сопротивление, внутреннее сопротивление транзистора, также называемое выходным, крутизну стокзатворной характеристики, напряжение отсечки и некоторые другие.

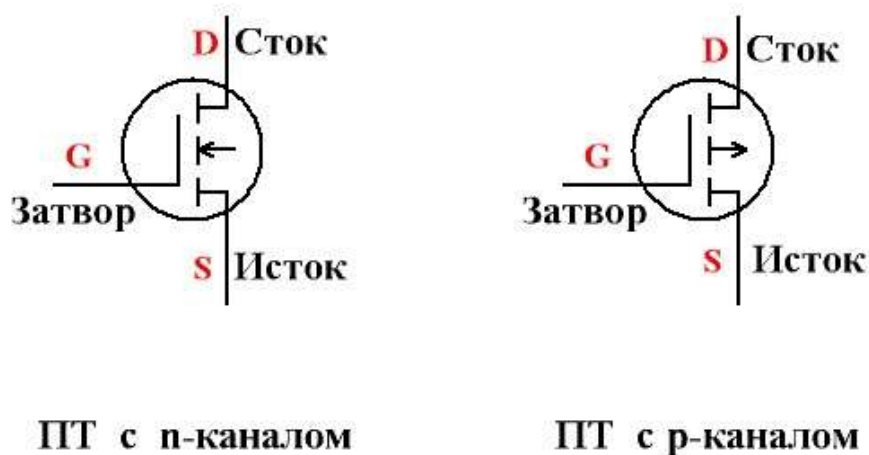


Рисунок 7

Вывод: Он обладает многими преимуществами перед биполярными, что и обуславливает его повсеместное использование, например: высокое входное сопротивление, увеличенное быстродействие, управление напряжением и др.

## 1.7 Терморезисторы

Основные виды терморезисторов — термисторы и позисторы (с отрицательным и положительным ТКС (температурный коэффициент сопротивления) соответственно). В термисторах с ростом температуры сопротивление падает, а позисторах, наоборот, увеличивается.

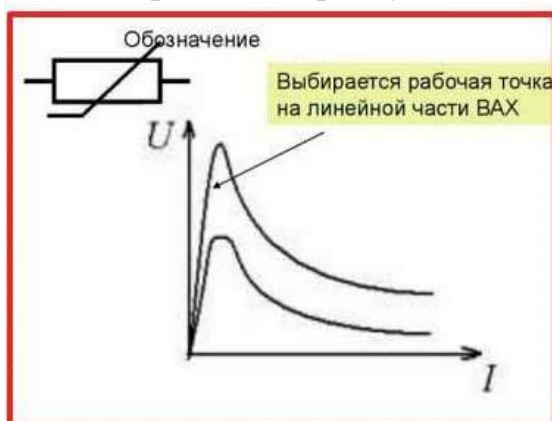


Рисунок 8

Терморезисторы активно применяются в разных сферах, тесно связанных с электроникой. Они особенно важны при реализации процессов, зависящих от правильности настройки температурного режима. Такой подход актуален для компьютерных технологий, устройств передачи информации, высокоточного промышленного оборудования и т. д. Распространенный способ применения терморезисторов — ограничение токов, возникающих в процессе пуска аппаратов.

Терморезисторы различаются по принципу действия. Выделяется два типа:

1. Контактные этой категории относятся термопары, термодатчики, заполненные термометры и термометры биметаллического типа.



Рисунок 9

2. Бесконтактные. В эту группу входят терморезисторы, построенные на инфракрасном принципе действия. Они активно применяются в оборонной сфере, благодаря способности выявлять тепловое излучение ИК и оптических лучей (выделяются газами и жидкостями).

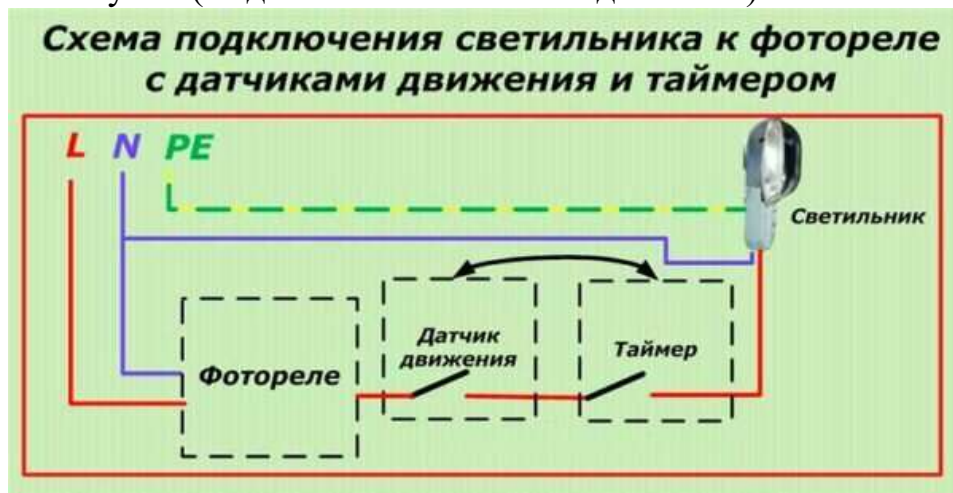


Рисунок 10

Терморезисторы делаются максимально чувствительными к изменению температурного режима, ведь на этом принципе они и работают. При отсутствии нагрева атомы, входящие в состав детали, находятся в правильном порядке и формируют длинные ряды.

В случае нагрева количество активных «переносчиков» заряда растет, чем больше таких единиц, тем выше проводимость материала.

При изучении кривой зависимости сопротивления от температуры можно увидеть характеристику нелинейного типа. При этом лучшие характеристики терморезистор показывает в диапазоне от -90 до +130 градусов.

Важно учесть, что принцип действия таких деталей строится на корреляции между температурным режимом и металлами в составе детали.

Сам терморезистор изготавливается с применением полупроводниковых составов (оксидов, марганца, меди, никеля, силикатов, железа и других). Такие компоненты способны реагировать на малейшее изменение в температуре.

Создаваемое электрическое поле подталкивает электрон, который перемещается до момента удара об атом. По этой причине движение электрона затормаживается. При росте температуры атомы двигаются активнее. При таких обстоятельствах исходный атом быстрее столкнется с другим элементом. В результате возникает дополнительное сопротивление.

После снижения рабочей температуры электроны «падают» в нижние валентные уровни и переходят в невозбужденное состояние. Иными словами, они меньше перемещаются и не создают такого сопротивления.

В случае повышения температуры растет и показатель  $R$ , но здесь нужно учесть тип терморезистора, от которого зависит принцип повышения и роста сопротивления при изменении температурного режима.

### 1.7.1 NTC («Negative Temperature Coefficient»)

Терморезисторы NTC — изделия, имеющие отрицательный температурный коэффициент. Их особенность — повышенная чувствительность, высокий температурный коэффициент (на один или два порядка выше, чем у металла), небольшие габариты и широкий температурный диапазон.

Полупроводники NTC удобны в применении, стабильны в работе и способны выдерживать большую перегрузку.

Особенность NTC в том, что их сопротивление увеличивается при снижении температуры. И наоборот, если температура повышается, параметр сопротивление понижается. При изготовлении таких устройств применяются полупроводники.

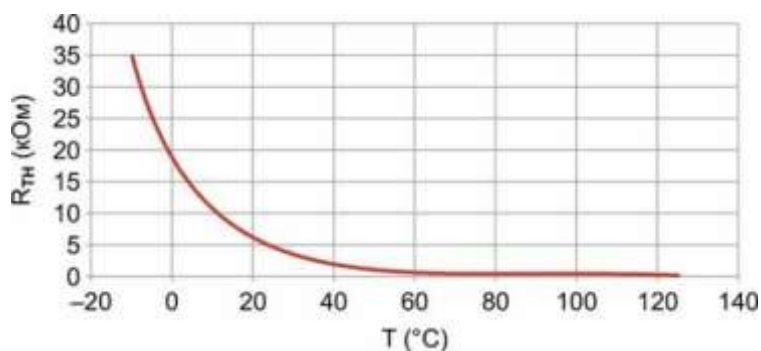


График 1

Принцип действия прост, при повышении температуры число носителей заряда резко растет, и электроны направляются в зону проводимости., кроме

полупроводников, при изготовлении данных устройств могут применяться и переходные металлы.

Как правило, термисторы NTC применяются в температурном диапазоне от 25 до 200 градусов. Следовательно, их можно использовать для измерений в указанном пределе.

Терморезистор NTC также используется в автомобиле — датчик, применяемый для определения точки отключения и включения климат-контроля в машине.

Еще один способ применения — контроль температуры двигателя. В случае превышения безопасного предела подается команда на реле, а дальше двигатель глушится.



Рисунок 12

Не менее важный элемент — датчик пожара, определяющий рост температуры и запускающий сигнализацию.

Терморезисторы NTC обозначаются буквами или имеют цветную маркировку в виде полос, колец или других обозначений. Варианты маркировки зависят от производителя, типа изделия и других параметров.

Пример обозначения 5D-20, где первая цифра показывает сопротивление терморезистора при 25 градусах Цельсия, а расположенная рядом с ней цифра (20) — диаметр.

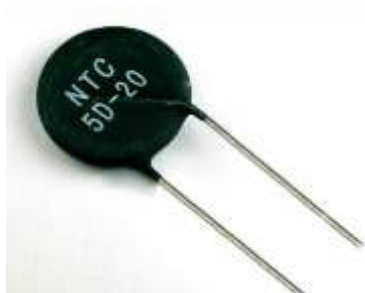


Рисунок 13

Чем выше этот параметр, тем большую мощность рассеивания имеет изделие.

### 1.7.2 PTC («Positive Temperature Coefficient»)

В отличие от рассмотренных выше терморезисторов, PTC — термисторы, имеющие положительный коэффициент сопротивления. Это означает, что в

случае нагрева детали увеличивается и ее сопротивление. Такие изделия активно применялись в старых телевизорах, оборудованных цветными телескопами. Сегодня выделяется два типа РТС-терморезисторов (от числа выводов) — с двумя и тремя отпайками. Отличие трехвыводных изделий заключается в том, что в их состав входит два позитрона, имеющих вид «таблеток», устанавливаемых в одном корпусе.



Рисунок 14

Внешне может показаться, что эти элементы идентичны, но на практике это не так. Одна из «таблеток» имеет меньший размер. Отличается и сопротивление — от 1,3 до 3,6 кОм в первом случае, и от 18 до 24 Ом для второй такой таблетки. Двухвыводные терморезисторы производятся с применением полупроводникового материала (чаще всего Si — кремний). Внешне изделие имеет вид небольшой пластинки с двумя выводами на разных концах.



Рисунок 15

Терморезисторы РТС применяются в разных сферах. Чаще всего их используют для защиты силового оборудования от перегруза или перегрева, а также поддержания температуры в безопасном режиме.

Примеры применения позисторов: для защиты электрических двигателей, от перегорания при клине ротора или в случае поломки системы охлаждения; защиты трансформаторных обмоток от перегрева или перегруза; в машинах для нагрева тракта впуска, для размагничивания ЭЛТ-кинескопов и т. д.

Изображение терморезистора на схеме может различаться. Изделие легко найти по обозначениям  $t$  и  $t_0$ . Внешне оно отражается как сопротивление, через которое проходит полоска по диагонали с «подставкой» под  $t_0$  снизу. Главные обозначения — R1, TH1 или RK

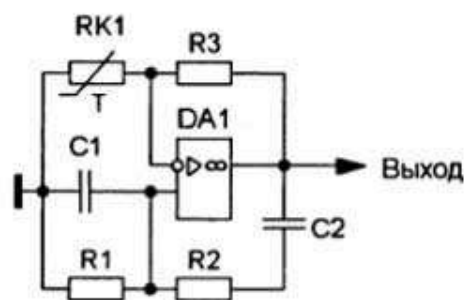
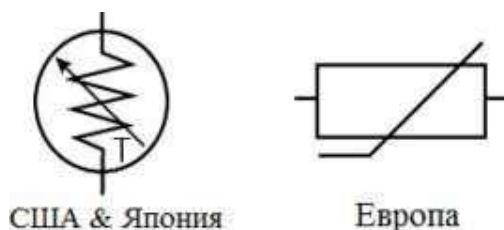


Рисунок 16

Терморезисторы изготавливают в виде плоской пластины, диска, стержня, шайбы, трубки, бусинки, цилиндра.



Рисунок 17

Самые маленькие терморезисторы - в виде бусинок, их размеры меньше 1 миллиметра, а характеристики элементов отличаются стабильностью. Недостатком является невозможность взаимной подмены в электрических схемах.

Терморезисторы классифицируются по числу градусов в Кельвинах:

- сверхвысокотемпературные — от 900 до 1300;
- высокотемпературные — от 570 до 899;
- среднетемпературные — от 170 до 510;
- низкотемпературные — до 170.

Максимальный нагрев хоть и допустим для термоэлементов, но сказывается на их работе ухудшением качества и появлением значительной погрешности в показателях.

### **1.8 Термодатчики (типы, характеристики, применение)**

На сегодняшний день выпускаются следующие виды температурных датчиков:

- Термисторы. По сути, данный тип датчиков – это термометры сопротивления, изготовленные на основе смешанных оксидов переходных металлов. Термисторы делятся на два основных типа – РТС (с положительным коэффициентом) и NTC (с отрицательным коэффициентом температурного сопротивления). Наиболее распространены температурные датчики NTC. Термисторы РТС применяются исключительно в узких диапазонах температур (всего несколько градусов), поэтому, их использование чаще ограничивается системами контроля и сигнализации. В целом, термометры очень чувствительны к измеряемой температуре, но, к сожалению, этого нельзя сказать о линейности выходного сигнала.
- Термопары. Данное оборудование является идеальным решением для измерения температуры в максимально широком диапазоне (до +2300°C). Оно отличается высокой точностью и воспроизводимостью. Но, важно отметить: термопары нуждаются в установке схем усиления сигнала, что необходимо для его последующей обработки.
- Терморезистивные датчики. Принцип работы терморезистивных датчиков температуры (RTDs - Resistance Temperature Devices) основан на пропускании через них электрического тока.
- Полупроводниковые датчики. Современные полупроводниковые датчики выполняют свои функции в широком диапазоне температур. Они имеют высокую точность. Устройства оснащены встроенной схемой усиления сигнала, что позволяет настраивать оборудование на требуемую температурную зависимость. Согласно характеристикам и области применения, выделяют датчики температуры воздуха, жидкости и т.д. Кроме этого, датчик температуры воздуха может быть наружным (уличным) или внутренним (комнатным, устанавливаемым в помещениях).

Различают датчики температуры и по материалу исполнения чувствительного элемента, а также, типу корпусирования:

- датчики с платиновым чувствительным элементом;
- корпусированные датчики;



- датчики с полупроводниковым чувствительным элементом.

Датчики температуры наружного воздуха, жидкости (воды), комнатные устройства и т.д. имеют единый перечень наиболее важных характеристик:

- точность показателей (возможная/допускаемая погрешность);
- диапазон измеряемых температур;
- ориентировочный (гарантий) срок службы;
- стандартизация характеристик (возможность взаимозаменяемости датчиков);
- стойкость к температурным перегрузкам;
- линейность выходных характеристик.

### **1.9 Выводы по теоретической главе:**

-ознакомились с историей открытия проводимости, в частности проводимости полупроводников;

-выяснили, какие физические законы положены в основу действия полупроводниковых устройств;

-изучили принцип действия некоторых полупроводниковых устройств, в частности, терморезисторов, транзисторов.

Чувствительность современных термосопротивлений настолько велика, что с их помощью можно обнаруживать и измерять изменения температуры на одну миллионную долю градуса. Это дало возможность применять их в современных приборах для измерения интенсивности очень слабого излучения вместо термостолбиков.

## Глава 2. Практическая часть.

Практическая часть нашей работы будет состоять из двух частей: исследование зависимости сопротивления различных материалов (в частности, термистора, полупроводника, состоящего из окислов магния и марганца, и проводника (металлической проволоки из школьного набора) от температуры, создание модели полупроводникового датчика температуры с использованием термистора

### 2.1 Исследование зависимости сопротивления полупроводника (термистора) от температуры

Для исследования зависимости сопротивления термистора от температуры необходимо провести лабораторный опыт.

#### Цель работы:

Изучить зависимость сопротивления термистора от температуры; построить график на основе выполненных измерений; сделать вывод о характере зависимости.

#### Оборудование:

Термистор, пробирка, лабораторная плитка, термометр, мультиметр, металлический стакан, штативы.

#### Ход работы:

1) Прикрепить клеммы мультиметра к термистору. Опустить термистор в пробирку. Опустить пробирку с термистором в емкость со снегом, температура которого  $-19\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Снять показания мультиметра, занести их в таблицу.

2) Опустить пробирку с термистором в емкость с водой, температура которой  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Снять показания мультиметра, занести их в таблицу.

3) Измерить сопротивления термистора при комнатной температуре ( $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), снять показания мультиметра, занести их в таблицу.

4) Емкость с водой поставить на, включенную в розетку, лабораторную плитку. Поместить в воду пробирку с термистором. С помощью термометра измерять температуру воды. Снимать показания мультиметра через каждые  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

5) На основании таблицы построить график.

Установка для измерения сопротивления термистора изображена на рисунке 18.



Рисунок 18

Таблица 2. Зависимость сопротивления термистора от температуры.

№	Температура воды, t °С	Абсолютная температура воды, Т К	Сопротивление термистора, R кОм
1	-19 (снег)	254	22
2	0	273	22
3	20	293	10
4	25	298	6
5	30	303	6
6	35	308	6
7	40	313	5
8	45	318	5
9	50	323	5
10	55	328	4
11	60	333	4
12	65	338	3
13	70	343	3
14	75	348	3
15	80	353	2
16	85	358	2
17	90	363	2
18	95	368	1

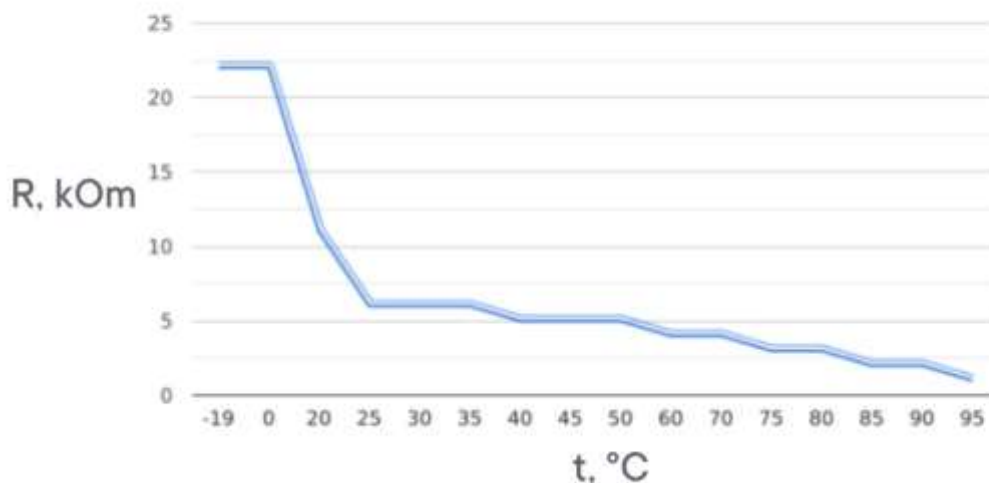


График 2. Зависимость сопротивления термистора от температуры.

**Вывод:**

В ходе проведения опыта было установлено, что сопротивление термистора при увеличении температуры уменьшается экспоненциально. При изменении температуры от -19 градусов до 0 градусов, сопротивление термистора практически не изменилось, в дальнейшем при повышении температуры сопротивление термистора уменьшается примерно через каждые десять градусов на 1 кОм.

На основе полученных экспериментальных данных, произведен расчет коэффициента температурной чувствительности В (коэффициент в показателе экспоненты температурной характеристики термистора), значение которого зависит от свойств материала термистора в рабочем диапазоне температур. Данный коэффициент может быть найден экспериментально, путем измерения

сопротивлений термистора при температурах T0 и T по формуле  $B = \frac{\ln(R_0/R)}{1/T_0 - 1/T}$ .

$T_0 = 20 \text{ градусов} + 273 \text{ градуса} = 293 \text{ К}; T = 90 \text{ градусов} + 273 \text{ градуса} = 363 \text{ К}.$

$B = \ln 11 / (1/293 - 1/363) = 3424 \text{ К};$

Значение температурного коэффициента сопротивления термистора можно рассчитать по формуле  $TKR = -B/T^2$ . При комнатной температуре 20 градусов (T=293K)

$TKR = -2434/85849 = -0.03 = -3 \cdot 10^{-2} \text{ К}^{-1}$

Значения температурных коэффициентов сопротивления при комнатной температуре различных термисторов находятся в пределах  $-(0,8-6,0) \cdot 10^{-2} \text{ К}^{-1}$

## 2.2 Исследование зависимости сопротивления полупроводника, представляющего собой смесь окислов марганца и магния

В данном опыте мы не можем напрямую измерить сопротивление, поэтому вывод о изменении сопротивления мы будем делать по показаниям гальванометра.

### Цель работы:

Изучить зависимость сопротивления полупроводника, представляющего собой смесь окислов марганца и магния, от температуры

### Оборудование:

Полупроводник (термосопротивление, представляющее собой смесь окислов марганца и магния), ключ, источник тока, гальванометр, реостат (1000 Ом), спиртовка, штатив, стакан с холодной водой.

### Ход работы:

- 1) Последовательно соединить полупроводник, ключ, источник тока, гальванометр, реостат (рисунок 19)
- 2) Измерить показания гальванометра.
- 3) Зажечь спиртовку и нагревать полупроводник, снять показания гальванометра (рисунок 20)
- 4) Опустить полупроводник в стакан с холодной водой, снять показания гальванометра (рисунок 21)



Рисунок 19



Рисунок 20



Рисунок 21

Таблица 3

№	Внешнее воздействие	Сила тока, I $\mu$ A
1	Нормальные условия (рисунок 19)	325
2	Повышение температуры (рисунок 20)	500
3	Охлаждение (рисунок 21)	300

### **Вывод:**

Наблюдаемое повышение силы тока в цепи, свидетельствовало о том, что сопротивление стало уменьшаться (согласно закону Ома). В полупроводниковых материалах при повышении температуры возрастает число носителей тока (свободных электронов), поэтому сопротивление материала падает.

При уменьшении температуры сила тока в электрической цепи уменьшалась, это свидетельствует о том, что сопротивление стало возрастать (согласно закону Ома).

### **2.3 Исследование зависимости сопротивления металлов от температуры (металлическая проволока из школьного набора)**

Для исследования зависимости сопротивления металлической проволоки от температуры необходимо провести лабораторный опыт.

#### **Опыт №1:**

##### **Цель работы:**

Изучить зависимость сопротивления металлической проволоки от температуры; сделать вывод о характере зависимости.

##### **Оборудование:**

Металлическая проволока, пробирка, лабораторная плитка, термометр, мультиметр, металлический стакан, штативы.

##### **Ход работы:**

1) Прикрепить клеммы мультиметра к металлической проволоке. Опустить проволоку в пробирку. Опустить пробирку с проволокой в емкость с водой, температура которой 20 °С. Снять показания мультиметра, занести их в таблицу.

2) Емкость с водой поставить на включенную в розетку лабораторную плитку. Поместить в воду пробирку с термистором. С помощью термометра измерять температуру воды. Снимать показания мультиметра через каждые 5 °С.

Установка, которая использовалась в этом опыте, изображена на рисунках 22 и 23.



Рисунок 22



Рисунок 23

### **Вывод:**

Проводя этот опыт, мы выяснили, сопротивление данной металлической проволоки при комнатной температуре ( $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ )  $4,4\text{ }\Omega$ , сопротивление поменялось только при  $90\text{ }^{\circ}\text{C}$  и стало  $4,5\text{ }\Omega$ . Мы поняли, что нужно проводить другой опыт для измерения сопротивления металлической проволоки.

### **Опыт №2:**

#### **Цель работы:**

Изучить зависимость сопротивления металлической проволоки от времени при нагревании (так как в этом опыте мы нагреваем проволоку над пламенем свечи, мы не можем замерить температуры проволоки из-за отсутствия необходимого оборудования, поэтому будем изучать зависимость от времени при нагревании); построить график на основе сделанных измерений; сделать вывод о характере зависимости.

#### **Оборудование:**

Металлическая проволока, свеча, мультиметр, секундомер, штативы.

#### **Ход работы:**

1) Прикрепить клеммы мультиметра к металлической проволоке. Закрепить проволоку так, чтобы она находилась над пламенем свечи (рисунок 21).

2) Снимать показания времени и мультиметра при изменении сопротивления (рисунки 25–30), занести полученные данные в таблицу.

3) На основании таблицы построить график.



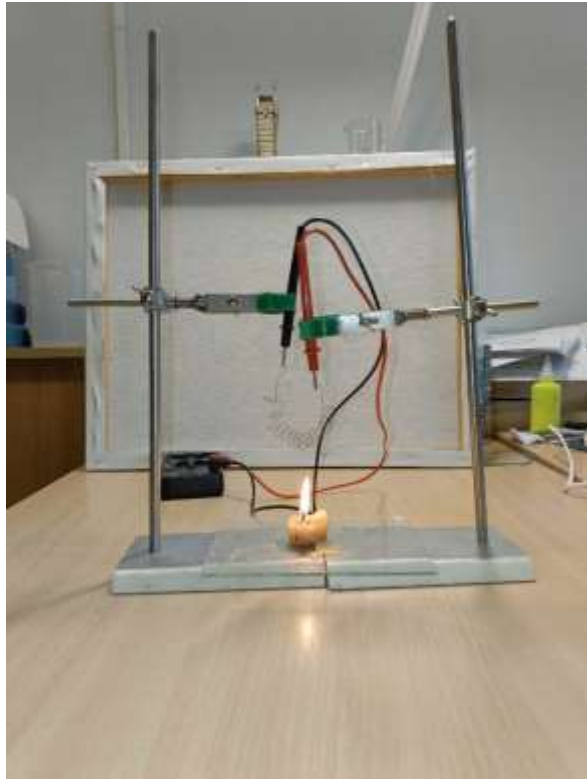


Рисунок 24



Рисунок 25



Рисунок 26

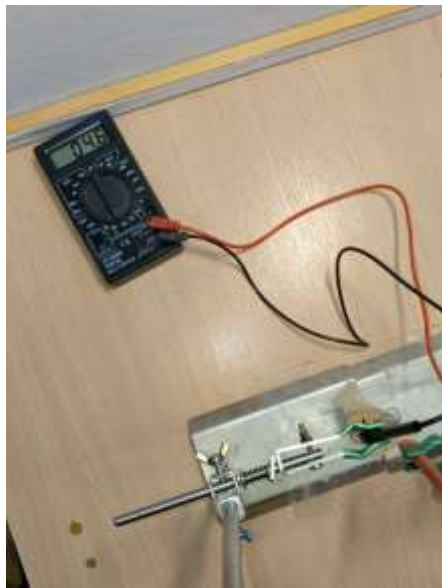


Рисунок 27

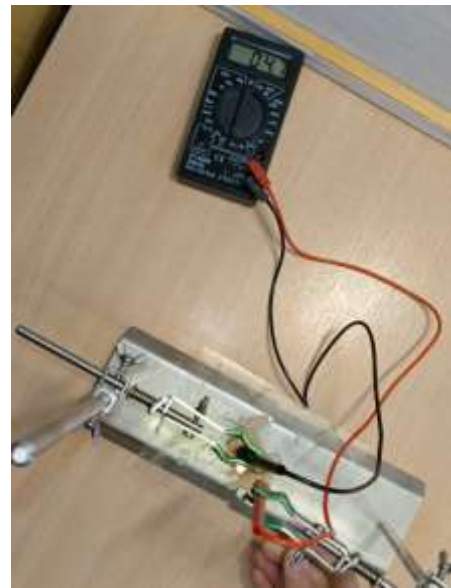


Рисунок 28

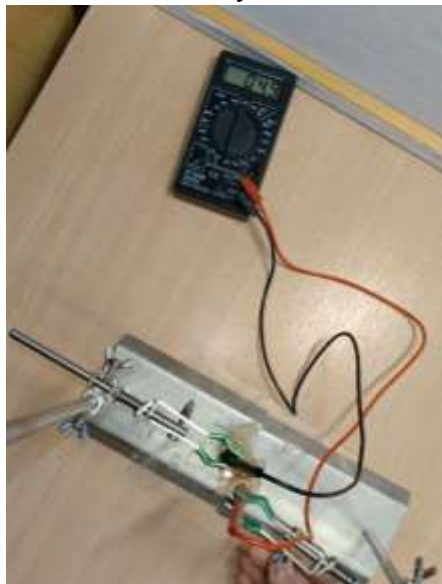


Рисунок 29

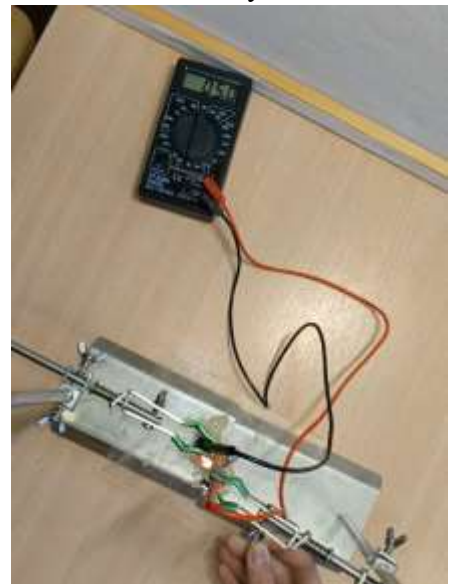


Рисунок 30

Таблица 4. Зависимость сопротивления металлической проволоки от времени нагревания.

№	$\tau$ , МИН	R, Ом
1	0	4,4
2	2	4,5
3	4	4,6
4	5	4,7
5	7	4,9
6	9	5

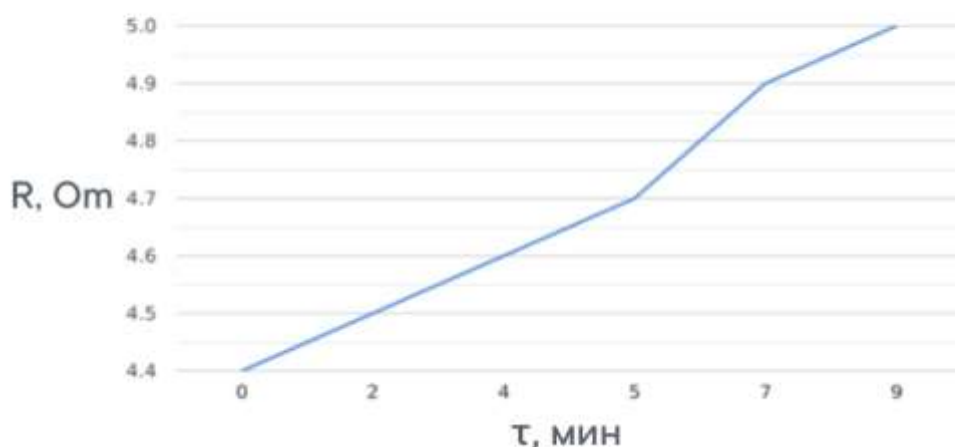


График 2. Зависимость сопротивления металлической проволоки от времени нагревания.

**Вывод:**

В ходе опыта наблюдалось очень незначительное увеличение сопротивления данной металлической проволоки, которое, на начало исследований, при комнатной температуре (20 °С) составляло 4,4 Ом затем, при достижении температуры воды 90 °С поднялось до значения 4,5 Ом.

Материал, из которого изготовлена металлическая проволока, используемая в опыте неизвестен, но, рассчитав температурный коэффициент сопротивления по формуле  $\frac{R-R_0}{R_0} = \alpha \Delta t$  можно узнать, приблизительно, из какого материала изготовлена эта проволока.

Конечное сопротивление при температуре 90 градусов Цельсия  $R = 4.5$  Ом, начальное сопротивление  $R_0 = 4,4$  Ом,  $\Delta t = 90$  градусов, тогда  $\alpha \Delta t = R - R_0 / R_0$ ;  $\alpha \Delta t = 4,5 - 4,4 / 4,4$ ;  $\alpha \Delta t = 0,0223$ ;  $\alpha = 0,0223 / 90$ ;  $\alpha = 2,53 \cdot 10^{-4}$ . Согласно таблице значений температурного коэффициента сопротивления для некоторых чистых веществ и сплавов

**Общий вывод:**

Из анализа результатов экспериментальных исследований зависимости сопротивления проводников и полупроводников от температуры, следует, что у полупроводников сопротивление при нагревании уменьшается очень быстро, при этом значения сопротивлений изменяются в сотни и тысячи раз, а у проводников намного медленнее, значения меняются всего лишь на несколько десятых. Таким образом, для сборки термодатчика, самым эффективным является использование полупроводникового термосопротивления, в частности, термистора.

## 2.4 Сборка модели термодатчика с использованием терморезистора

В целях изучения практического применения зависимости сопротивления полупроводников от температуры, наиболее прост в реализации и интересен термодатчик - устройство, предназначенное для включения системы охлаждения при повышении температуры до определенного значения (включается вентилятор или кулер для ноутбука). Именно это устройство и будет собрано в рамках данного проекта.

### Оборудование:

Блок питания 12 В, кулер от компьютера 12 В, терморезистор VDR1 (10 кОм), переменный резистор (10 кОм), полевой транзистор IRFZ 44, макетная плата, провода, паяльник с припоем, паяльная кислота.

Для сборки термодатчика используем термистор NTC на 10 кОм MF52 с отрицательным температурным коэффициентом сопротивления со следующими характеристиками:

-Сопротивление при 25°C: 10 КОм;

-Диапазон измерений: -40...125 °С;

-Точность 5%

-Максимальный допустимый ток: 1 мА.

### Буквенная маркировка терморезисторов

На упаковку термисторов наносится маркировка, состоящая из двух, трех или четырех цифр и буквы. Буква играет роль запятой и одновременно обозначает, в каких единицах измеряется номинал резистора: R - в омах; К - в килоомах; М - в мегаомах. Примеры обозначения приведены в табл. 5.

Таблица 5. Обозначение номиналов термисторов 5% ряда E24

Сопротивление	Обозначение	Сопротивление	Обозначение
10 Ом	10R	10 кОм	10K
100 Ом	100R	150 кОм	M15
1 кОм	1K0	1 МОм	1M0

Таблица 6. Обозначение номиналов термисторов 1% ряда E96

Сопротивление	Обозначение	Сопротивление	Обозначение
10 Ом	10R0	10 кОм	10K0
100 Ом	100R0	150 кОм	M150
1 кОм	1K00	1 МОм	1M00

Допуск резисторов по одной из наиболее распространенных систем обозначений BS 1852 (British Standard 1852), обозначается буквой после обозначения номинала резистора (табл. 6).

Таблица 7. Обозначение допусков резисторов.

Буква	F	G	H	J
Допуск, ±%	1	2	3	5

Примеры: 1K00F соответствует номиналу 1 кОм ±1%; K10J соответствует номиналу 100 Ом ±5%.

Таким образом, терморезистор, который используется при сборке термодатчика в рамках проекта, является низкотемпературным, измеряет сопротивление в мега Омах, допуск резистора составляет 5%.

Также, при сборке термодатчика будет использован полевой транзистор IRFZ 44. Преимущества полевых транзисторов перед биполярными в том, что они не зависят от температурных колебаний, обладают более быстрой скоростью срабатывания, малыми электропотерями при работе, большей величиной усиления тока, малощумностью, низким потреблением мощности.

#### **Основные характеристики IRFZ 44 рис.31:**

Максимальное напряжение сток-исток - 60 В;

Максимальный ток сток-исток - 50А;

Максимальное напряжение затвор-исток - 20В;

Пороговое напряжение на затворе – 4В;

Сопротивление канала в открытом состоянии -0,0175 Ом/ 25А

## Сборка термодатчика:

### Ход работы:

- 1) Плюсовую клемму блока питания соединяем проводом с входным контактом (+) кулера.
- 2) Три вывода полевого транзистора спаиваем проводами так: «исток» с переменным резистором, «затвор» с терморезистором, «сток» с кулером.
- 3) Проводами соединяют свободные контакты терморезистора с «+» блока питания, переменного резистора с «-» того же блока.

### Примечание:

При выполнении работы нужно ориентироваться на рисунок 31 (на нём изображено устройство полевого транзистора) и на рисунок 32 (на нём изображена схема термодатчика).

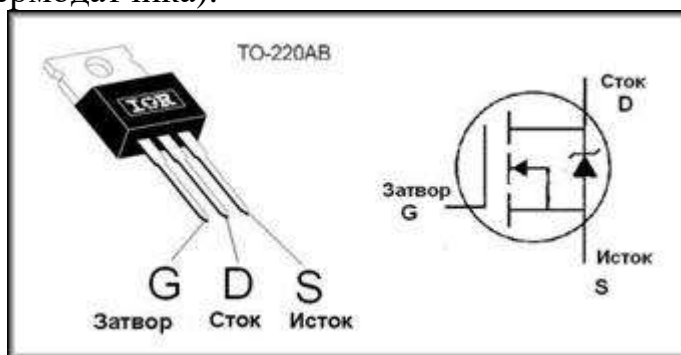


Рисунок 31

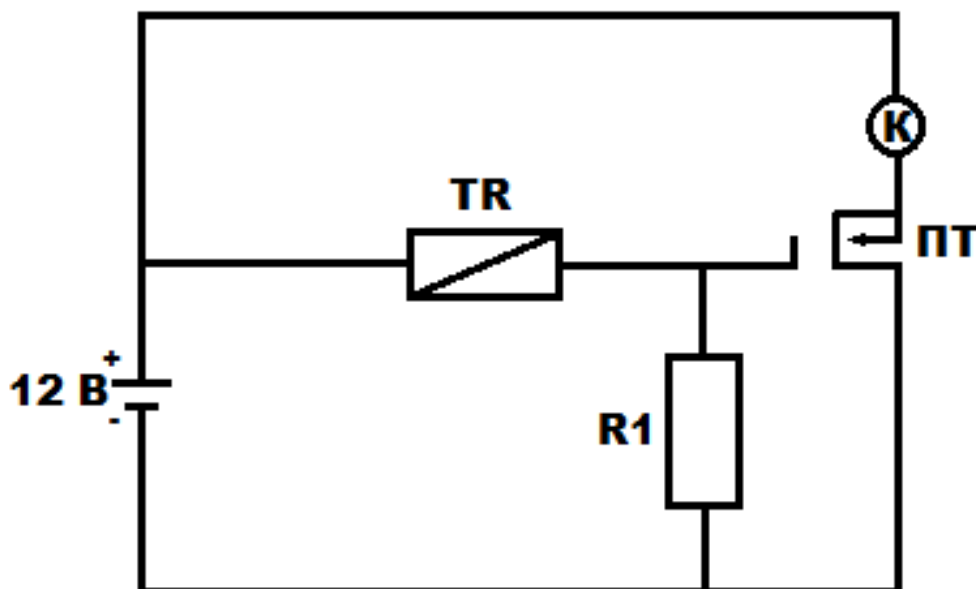


Рисунок 32

TR — терморезистор, К — кулер, R1 — переменный резистор, ПТ — полевой транзистор.

На рисунках 33 и 34 изображён готовый термодатчик (вид сверху и вид снизу соответственно)

Подготовив вышеперечисленные материалы и инструмент, переходим к монтажу устройства по данной схеме, соединяя элементы цепи путем спаивания:  
-плюсовую клемму блока питания соединяем проводом с входным контактом (+) кулера;

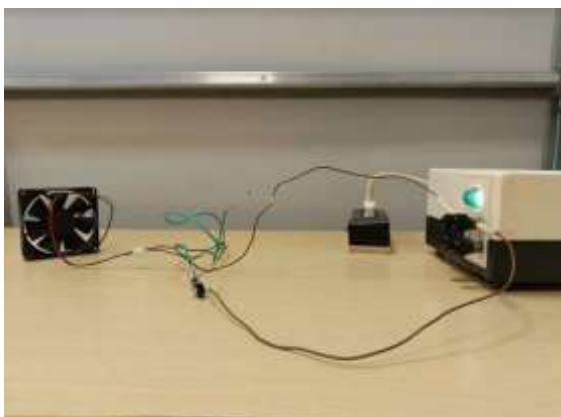


Рисунок 33

На рисунках 34 и 35 представлена эта же схема, но собранная на макетной плате.

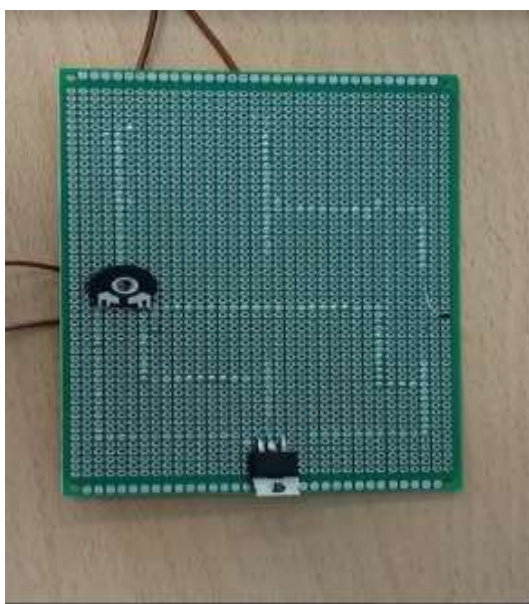


Рисунок 34

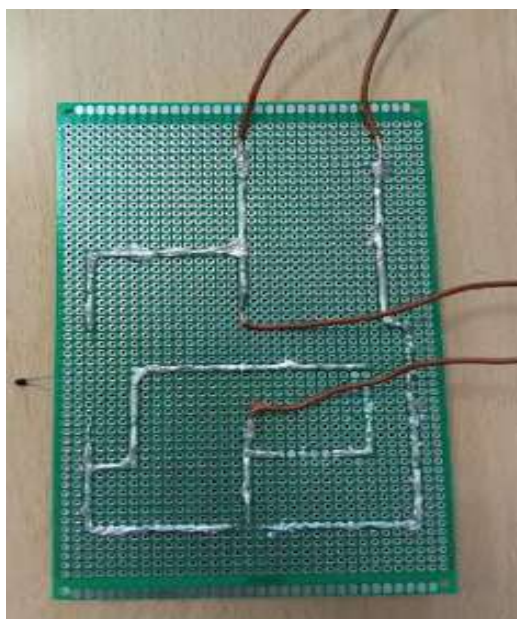


Рисунок 35

### **Тестирование термодатчика:**

При тестировании термодатчика к терморезистору подносят горящую спичку или зажигалку, при этом должен включаться кулер, но мы настроили переменный резистор таким образом, чтобы кулер начинал крутиться от нагревания термистора до температуры 36,6 °С. При остывании терморезистора кулер должен выключиться.

По указанной схеме была собрана электрическая цепь путем спаивания всех элементов цепи, при зажимании термистора рукой включается кулер с целью охлаждения системы и понижения температуры.

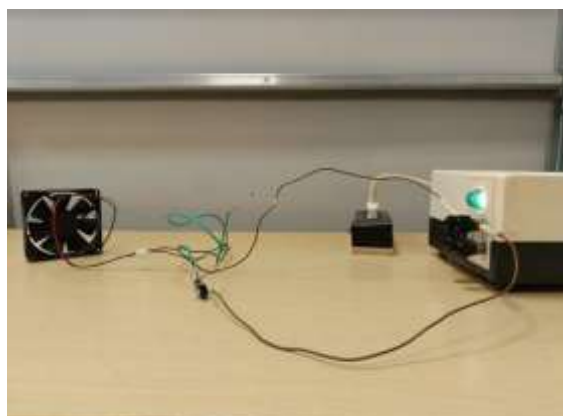


Рисунок 36



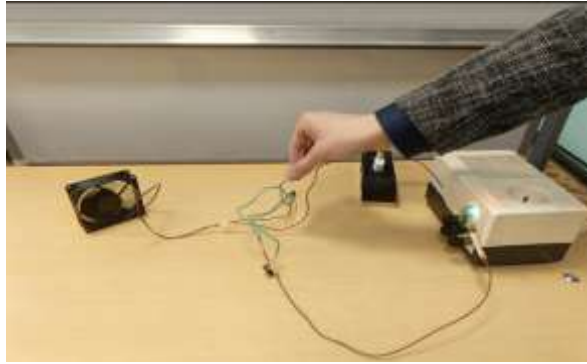


Рисунок 37

Данная электрическая цепь выполнена на макетной плате (Рисунок,38,39)

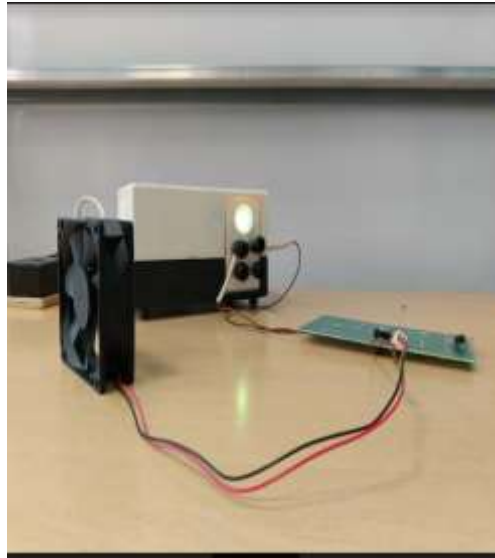


Рисунок 38

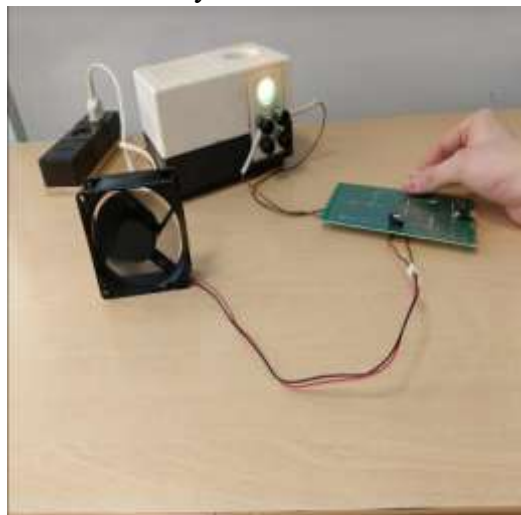


Рисунок 39

### **Вывод по главе 2:**

В результате проведенных исследований зависимости сопротивления полупроводников (в частности, термистора и термосопротивления из окислов марганца и магния) и проводников от температуры был сделан вывод о том, что сопротивление термистора уменьшается при возрастании температуры экспоненциально (в среднем, через каждый 10 градусов на 1 кОм.), то есть достаточно быстро. Уменьшение сопротивления полупроводника с увеличением температуры (отрицательный температурный коэффициент сопротивления) вызвано увеличением концентрации носителей заряда.

В ходе исследования зависимости сопротивления проводника (для опыта использовалась проволока из школьного лабораторного набора) было установлено, что даже при очень высоких температурах (в верхней части пламени свечи температура достигает 1400 градусов) сопротивление проволоки увеличивается линейно, очень незначительно и медленно, за 9 минут увеличилось на 0,6 Ом.

Таким образом, был сделан вывод о том, что полупроводники обладают очень высокой чувствительностью к изменениям температуры, поэтому это свойство полупроводников используется в таких приборах, как термодатчики.

## Заключение.

В ходе проекта была поставлена задача ознакомиться с историей открытия проводимости, в частности проводимости полупроводников, выяснить, какие физические законы положены в основу действия полупроводниковых устройств, изучить принцип действия полупроводниковых устройств, исследовать зависимость сопротивления термистора от температуры, создание модели полупроводникового датчика температуры.

Мы исследовали зависимость сопротивления от температуры различных материалов (термистора, полупроводника, представляющего собой смесь окислов марганца и магния, и металлической проволоки), построили экспериментальные графики на основе сделанных исследований и пришли к выводу о том, что у полупроводников сопротивление при нагревании уменьшается очень быстро, при этом значения сопротивлений изменяются в сотни и тысячи раз, а у проводников намного медленнее, значения меняются всего лишь на несколько десятых. Таким образом, для сборки термодатчика, самым эффективным является использование полупроводникового термосопротивления, в частности, термистора.

В дальнейшем, в ходе проекта, на макетной плате был собран термодатчик с использованием термистора, настроенный на температуру тела человека, в целях безопасности тестирования и демонстрации в дальнейшем (температура, необходимая для нагревания термистора, равна 36,6 °C).

Таким образом, гипотеза о том, что в условиях школьной лаборатории можно исследовать зависимость сопротивления полупроводников и проводников от температуры, а также самостоятельно собрать демонстрационную модель полупроводникового датчика, нашла свое подтверждение.

## Список литературы

1. Элементарный учебник физики под редакцией Г.С. Ландсберга [https://ftfsite.ru/wp-content/files/fiz\\_landsberg\\_II\\_elmag\\_2.1.pdf](https://ftfsite.ru/wp-content/files/fiz_landsberg_II_elmag_2.1.pdf);
2. <https://www.asutpp.ru/poluprovodnikovyj-diod.html>
3. Учебник для вузов «Полупроводниковые приборы» В.В. Пасынков, Л.К. Чиркин, издательство «Высшая школа», 1987 г., с изменениями;
4. Учебник физики 10-11 класс «Электродинамика» углубленный уровень Г.Я. Мякишев, А.З. Сияков <https://go.11klasov.net/16009-fizika-10-11-klass-uglublennyy-uroven-jelektrodinamika-uchebnik-mjakishev-gja-sinjakov-az.html>;
5. <https://osensorax.ru/klimat/temperatury-svoimi-rukami>