

Краевой конкурс учебно-исследовательских и проектных работ учащихся
«Прикладные вопросы математики»

Прикладные вопросы математики

**Исследование вольт-амперной характеристики р-п
переходов различных полупроводниковых приборов**

Микрюков Г.П., Томилин А.П.

МОУ «Лицей №1» г. Перми, 11 кл.

Скудаев В.И., к.х.н., доц.

Содержание

Введение.....	4
1 Литературные сведения о полупроводниках.....	5
1.1 Механизм электрической проводимости полупроводников.....	5
1.2 Виды полупроводников.....	6
1.3 Свойства р-п перехода.....	7
1.4 Вольт-амперная характеристика р-п перехода	11
1.5 Пробой р-п перехода.....	12
1.6 Технология изготовления р-п перехода.....	13
1.7 Полупроводниковые диоды и транзисторы.....	14
1.8 Постановка задач исследования.....	17
2 Экспериментальное исследование вольт-амперных характеристик р-п переходов.....	18
2.1 Описание экспериментальной установки.....	18
2.2 Характеристики полупроводников, используемых в работе.....	20
2.3 Результаты измерений вольт-амперных характеристик полупроводниковых приборов.....	23
2.4 Анализ полученных результатов.....	28
Заключение.....	34
Список использованных источников.....	35

Введение

В наши дни полупроводники широко распространены в сфере электронной техники. Почти в любом современном электронном приборе находятся тысячи, а то и миллионы полупроводников. Самые широко применяемые полупроводниковые приборы - это транзисторы и диоды.

Вольт-амперные характеристики (ВАХ) различных полупроводников находят применение в радиотехнике для описания параметров полупроводниковых приборов.

В последние десятилетия в отечественной справочной литературе избегают приводить внешний вид ВАХ полупроводниковых приборов.

И это не случайно. Вольт-амперные характеристики не очень хорошо воспроизводимы: они отличаются даже у приборов одной партии. Кроме того, вольт-амперные характеристики сильно зависят от параметров самого полупроводника.

Тем не менее, свойства полупроводниковых приборов необходимо каким-то образом описывать. Делается это путем статистического усреднения данных по большой выборке однотипных полупроводниковых приборов, испытанных по стандартизированной методике.

Целью данной работы является исследование вольт-амперной характеристики полупроводниковых приборов различных классов.

1. Литературные сведения о полупроводниках

Полупроводники — материалы, которые по своей удельной проводимости занимают промежуточное место между проводниками и диэлектриками и отличаются от проводников сильной зависимостью удельной проводимости от концентрации примесей, температуры и различных видов излучения. Основным свойством этих материалов является увеличение электрической проводимости с ростом температуры [1].

1.1. Механизм электрической проводимости полупроводников

В полупроводниках (не содержащих примесей) проявляется электронно-дырочный механизм. Он называется собственной электрической проводимостью полупроводников. Полупроводники характеризуются как свойствами проводников, так и диэлектриков. В атомах полупроводников устанавливаются ковалентные связи. Для высвобождения электрона из атома ему необходимо набрать определенный уровень энергии ($1,76 \cdot 10^{-19}$ Дж в полупроводниках против $11,2 \cdot 10^{-19}$ Дж в диэлектриках). Эта энергия появляется в атомах при нагревании. Отдельные атомы получают энергию для того чтобы высвободить электрон. Во время разрыва связи между электроном и ядром появляется свободное место в электронной оболочке атома. Это обуславливает переход электрона с другого атома на атом со свободным местом. На атом, откуда перешёл электрон, входит другой электрон из другого атома и т. д. Это обуславливается ковалентными связями атомов. Таким образом, происходит перемещение положительного заряда без перемещения самого атома. Этот условный положительный заряд называют дыркой. Обычно подвижность дырок в полупроводнике ниже подвижности электронов. При этом с ростом температуры количество свободных электронов и дырок возрастает. Поэтому в проводнике, не содержащем примесей, удельное сопротивление уменьшается.

1.2. Виды полупроводников

По виду проводимости полупроводники бывают двух типов:

- Электронные полупроводники (n-типа)

Этот вид полупроводников имеет примесную природу. В четырехвалентный полупроводник (например, кремний) добавляют примесь пятивалентного полупроводника (например, мышьяка). В процессе взаимодействия каждый атом примеси вступает в ковалентную связь с атомами кремния. Однако для пятого электрона атома мышьяка нет места в насыщенных валентных связях, и он переходит на дальнюю электронную оболочку (рис. 1). Там для отрыва электрона от атома нужно меньшее количество энергии. Электрон отрывается и превращается в свободный. В данном случае перенос заряда осуществляется электроном, а не дыркой, то есть данный вид полупроводников проводит электрический ток подобно металлам. Примеси, которые добавляют в полупроводники, вследствие чего они превращаются в полупроводники n-типа, называются донорными [2].

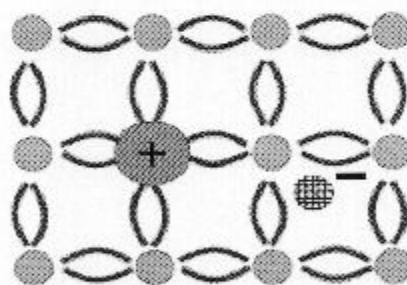


Рис. 1 Проводник n-типа

- Дырочные полупроводники (p-типа)

Этот вид полупроводников, кроме примесной основы, характеризуется дырочной природой проводимости. В четырехвалентный полупроводник (например, в кремний) добавляют небольшое количество атомов трехвалентного элемента (например, индия). Каждый атом примеси устанавливает ковалентную связь с тремя соседними атомами кремния. Для

установки связи с четвертым атомом кремния у атома индия нет валентного электрона, поэтому он захватывает валентный электрон из ковалентной связи между соседними атомами кремния и становится отрицательно заряженным ионом, вследствие чего образуется дырка (рис. 2). Примеси, которые добавляют в полупроводники, вследствие чего они превращаются в полупроводники р-типа, называются акцепторными [2].

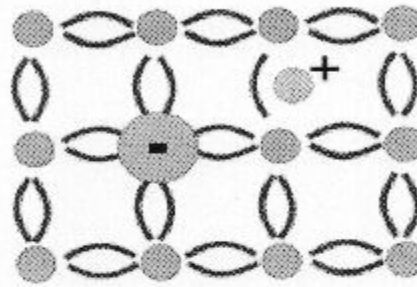


Рис. 2 Проводник р-типа

1.3. Свойства р-п перехода

Электронно-дырочный переход (р-п переход) - область полупроводника, в которой имеет место пространственное изменение типа проводимости (от электронной n к дырочной p) [3].

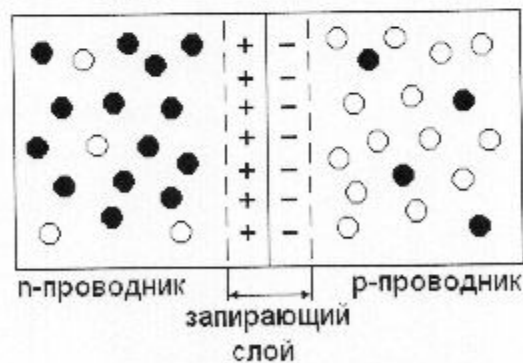


Рис. 3 р-п переход

p-n переход образуется при контакте двух проводников с различными типами проводимости. Вследствие теплового движения происходит диффузия носителей заряда через границу контакта полупроводников. Образуется запирающий слой. Электроны из n-области (в ней они основные носители заряда) переходят в p-область (в ней их концентрация значительно меньше). Аналогично дырки переходят из p-области в n-область. Таким образом, p-область вблизи границы раздела оказывается заряженной положительно, а n-область – отрицательно. p-область приобретает положительный потенциал, и энергия электрона становится меньше. p-область приобретает отрицательный потенциал, и энергия электрона становится больше (рис. 4).

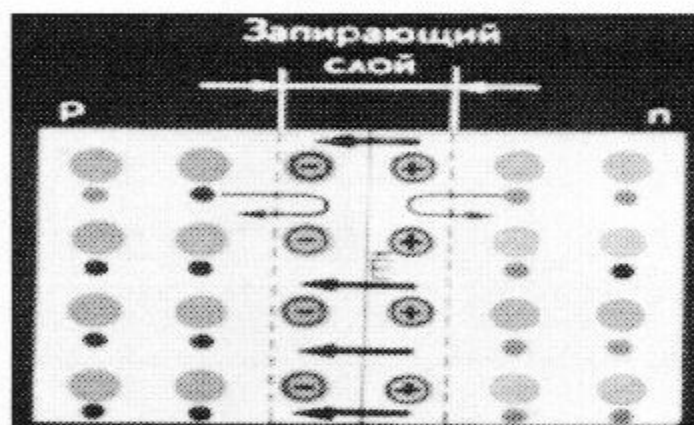


Рис. 4 Образование запирающего слоя

В условиях теплового равновесия при отсутствии внешнего электрического напряжения полная сила тока через p-n переход равна нулю. Так как контактное электрическое поле способствует движению неосновных носителей заряда (рис. 5), поэтому все неосновные носители приконтактной области движутся через p-n переход и образуют некоторый ток (I_n), направленный от n-полупроводника к p-полупроводнику. Сила этого тока определяется только количеством неосновных носителей заряда.

Основные же носители (дырки, движущиеся справа налево, и электроны, движущиеся слева направо) также образуют ток (I_0) направленный противоположно.

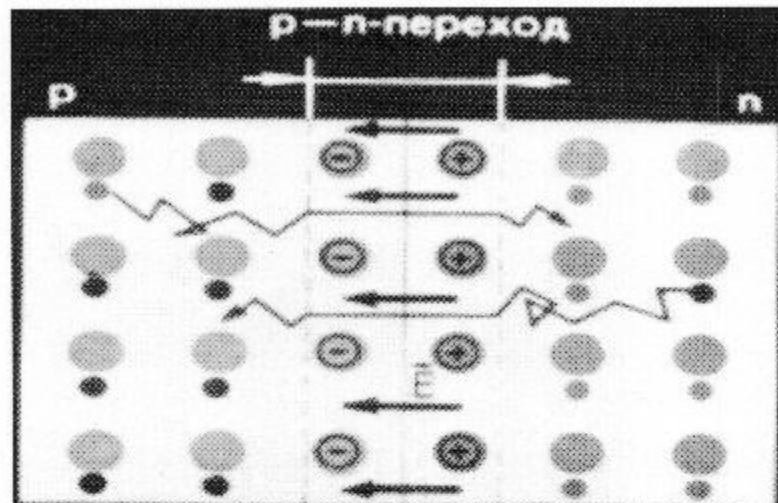


Рис. 5 Прохождение неосновных носителей заряда через p-n переход

Получается что, полная сила тока равна:

$$I = I_0 - I_n = 0.$$

Если к p-области присоединить положительный полюс источника питания, а к n-области – отрицательный, то энергии электронов в n-области и энергия дырок в p-области увеличатся, а энергии электронов в p-области и энергия дырок в n-области уменьшатся. При этом сила тока неосновных носителей (I_n) не изменится, а сила основных носителей (I_0) – увеличится. За счет этого большее количество электронов сможет перейти слева направо, и большее количество дырок сможет перейти справа налево. В результате этого через контакт будет идти ток $I = I_0 - I_n > 0$. Ток будет идти от p-полупроводника к n-полупроводнику, его сила будет резко нарастать с увеличением приложенного напряжения. Направление тока, которое возникает в данном случае, называют пропускным, а ток – прямым (рис. 6).

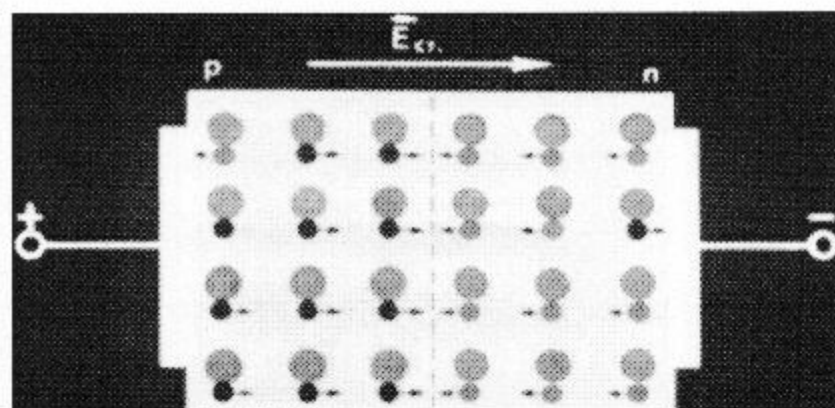


Рис. 6 Прямое подключение полупроводника

Если к р-области присоединить отрицательный полюс источника питания, а к n-области – положительный, то сила тока основных носителей (I_o) – уменьшится, а сила тока неосновных носителей (I_n) не изменится. В результате этого через контакт будет идти ток $I = I_n - I_o > 0$. Будет течь только ток неосновных носителей, при этом сила тока будет очень мала. Это направление тока называют запирающим, а ток – обратным (рис. 7).

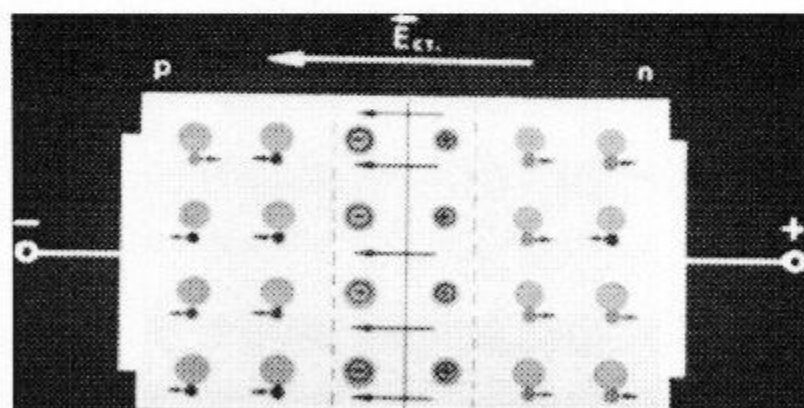


Рис. 7 Обратное подключение полупроводника

Таким образом, мы видим, что р-п переход обладает односторонней проводимостью [4].

1.4. Вольт-амперная характеристика p-n перехода

Вольт-амперную характеристику полупроводникового прибора можно изобразить в виде графика зависимости силы тока от напряжения (рис. 8).

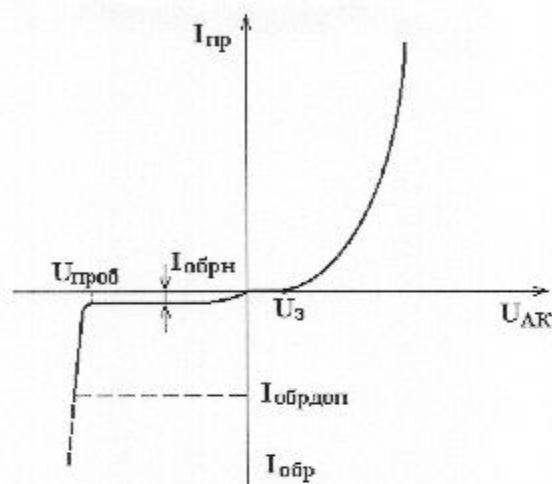


Рис. 8 Вольт-амперная характеристика полупроводника (общий вид)

График вольт-амперной характеристики сильно различен для прямого и обратного напряжений.

По графику видно, что при малом прямом напряжении (U_{AK}) сила тока мала ($I_{пр}$), так как сопротивление p-n перехода большое, сила тока ($I_{пр}$) растет медленно. После того как напряженность внешнего поля превысит напряженность поля запирающего слоя (на графике это точка U_3), сопротивление запирающего слоя резко упадет, и сила тока ($I_{пр}$) начнет резко расти при дальнейшем увеличении прямого напряжения (U_{AK}).

При возрастании обратного напряжения (на оси U_{AK} меньше 0), сила обратного тока ($I_{обрн}$) возрастает очень слабо, так как ток создается не основными носителями заряда.

При достаточно большом обратном напряжении наступает пробой ($U_{проб}$): сила обратного тока резко возрастает ($I_{обрн}$).

Вид вольт-амперной характеристики р-п перехода для различных полупроводниковых приборов, в общем, имеет схожий вид, хотя, численные значения могут сильно отличаться.

1.5. Пробой р-п перехода

Пробой р-п перехода - это явление резкого увеличения обратного тока через диод при достижении обратным напряжением некоторого критического для данного диода значения.

Различают три вида пробоя р-п перехода (рис. 9):

- I. Туннельный пробой (А-Б),
- II. Лавинный пробой (Б-В),
- III. Тепловой пробой (за т.В).

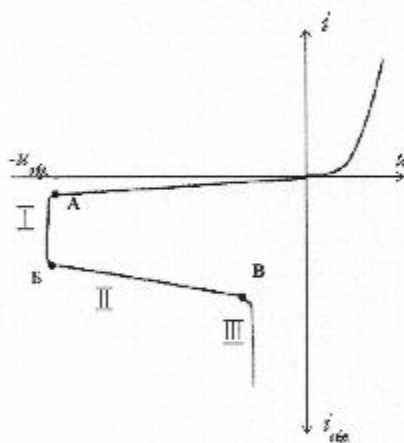


Рис. 9 Пробой р-п перехода

Туннельный пробой возникает при малой ширине р-п перехода, когда при большом обратном напряжении электроны проникают за барьер без преодоления самого барьера. В результате туннельного пробоя ток через переход резко возрастает и обратная ветвь ВАХ идет перпендикулярно оси напряжений вниз.

Лавинный пробой возникает в том случае, если при движении до очередного соударения с нейтральным атомом кристалла электрон или дырка приобретают энергию, достаточную для ионизации этого атома, при этом рождаются новые пары электрон-дырка, происходит лавинообразное размножение носителей зарядов; здесь основную роль играют неосновные носители, они приобретают большую скорость. Лавинный пробой имеет место в переходах с большими удельными сопротивлениями базы, т.е. в р-п переходе с широким переходом.

Тепловой пробой характеризуется сильным увеличением тока в области р-п перехода в результате недостаточного теплоотвода [6].

1.6. Технология изготовления р-п перехода

По технологии изготовления р-п переходы разделяют на сплавные и диффузионные. При изготовлении сплавного перехода пластинку примесного полупроводника определенного типа, например кремния п-типа, тщательно шлифуют до необходимой толщины, затем на ее поверхности укрепляют небольшую таблетку элемента III группы таблицы Менделеева и помещают в печь, где она нагревается до температуры, лежащей ниже точки плавления полупроводника, но выше точки плавления примеси. В результате этого происходит сплавление в кристалл примеси и формирование р-п перехода. При диффузионном методе изготовления р-п перехода полупроводниковые пластинки с защитным окисным слоем предварительно подвергают фотолитографической обработке, при которой на поверхности пластинки создаются площади заданной конфигурации, свободные от окисного слоя, — «окна». После фотолитографии через эти «окна» проводят диффузию примесей в полупроводниковую пластинку и получают р-п переходы.

Процесс фотолитографии происходит так [7]:

- На толстую подложку (в микроэлектронике часто используют кремний) наносят тонкий слой материала, из которого нужно сформировать рисунок. На этот слой наносится фоторезист.
- Производится экспонирование через фотонаблон (контактным или проекционным методом).
- Облучённые участки фоторезиста изменяют свою растворимость и их можно удалить химическим способом (процесс травления). Освобождённые от фоторезиста участки тоже удаляются.
- Заключительная стадия — удаление остатков фоторезиста.

Фоторезист — специальный материал, который изменяет свои физико-химические свойства при облучении светом.

Фотонаблон — пластина, прозрачная для используемого в данном процессе электромагнитного излучения, с рисунком, выполненным непрозрачным для используемого излучения красителем.

1.7. Полупроводниковые диоды и транзисторы

Диод (от др.-греч. $\delta\iota$ — два и -од из слова электрод) — двухэлектродный электронный прибор, обладает различной проводимостью в зависимости от направления электрического тока. Электрод диода, подключённый к положительному полюсу источника тока, когда диод открыт (то есть имеет маленькое сопротивление), называют анодом, подключённый к отрицательному полюсу — катодом (рис. 10).



Рис. 10 Схематическое изображение диода

Диоды бывают электровакуумными (кенотроны), газонаполненными (газотроны, игнитроны, стабилитроны), полупроводниковыми и др. В настоящее время в подавляющем большинстве случаев применяются полупроводниковые диоды (рис. 11).



Рис. 11 Виды диодов

В полупроводниковых диодах используется свойство односторонней проводимости р-п перехода — контакта между полупроводниками с разным типом примесной проводимости [8].

Транзистор (от англ. transfer — переносить и resistance — сопротивление) — электронный прибор из полупроводникового материала, обычно с тремя выводами, позволяющий входным сигналам управлять током в электрической цепи. Обычно используется для усиления, генерирования и преобразования электрических сигналов.

По основному полупроводниковому материалу транзисторы делятся на:

- Германиевые
- Кремниевые
- Арсенид-галлиевые

По структуре транзисторы делятся на (рис. 12):

- Биполярные (рис.13)
- Полевые (рис. 13)



Рис. 12 Виды транзисторов

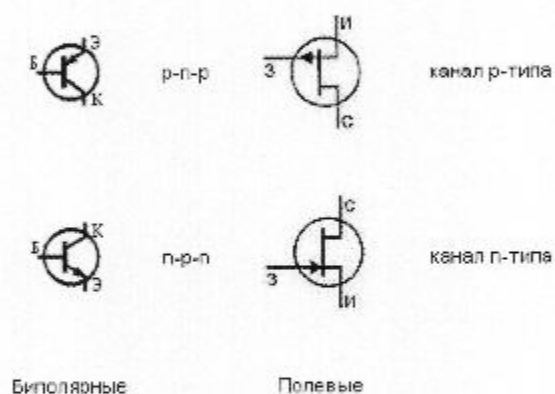


Рис. 13 Схематические изображения транзисторов различных типов

Также транзисторы разделяют по мощности (маломощные транзисторы до 100 мВт, транзисторы средней мощности от 0,1 до 1 Вт, мощные транзисторы (больше 1 Вт)), по исполнению (корпусные, для свободного монтажа, для установки на радиатор, бескорпусные и т.д.), по материалу и конструкции корпуса, (металло-стеклянный, пластмассовый, керамический).

Транзисторы находят свое применение в качестве активных (усилительных) элементов в усилительных и переключательных каскадах [9].

1.8. Постановка задач исследования

Целью данной работы является исследование вольт-амперной характеристики полупроводниковых приборов различных классов.

Поставлены следующие задачи исследования:

1. Исследовать вольт-амперную характеристику диодов.
2. Исследовать вольт-амперную характеристику светодиодов.
3. Исследовать вольт-амперную характеристику р-п переходов транзисторов.

2. Экспериментальное исследование вольт-амперных характеристик р-п переходов

2.1 Описание экспериментальной установки

Для проведения измерений мы собрали установку, фотография которой приведена на рисунке 14.

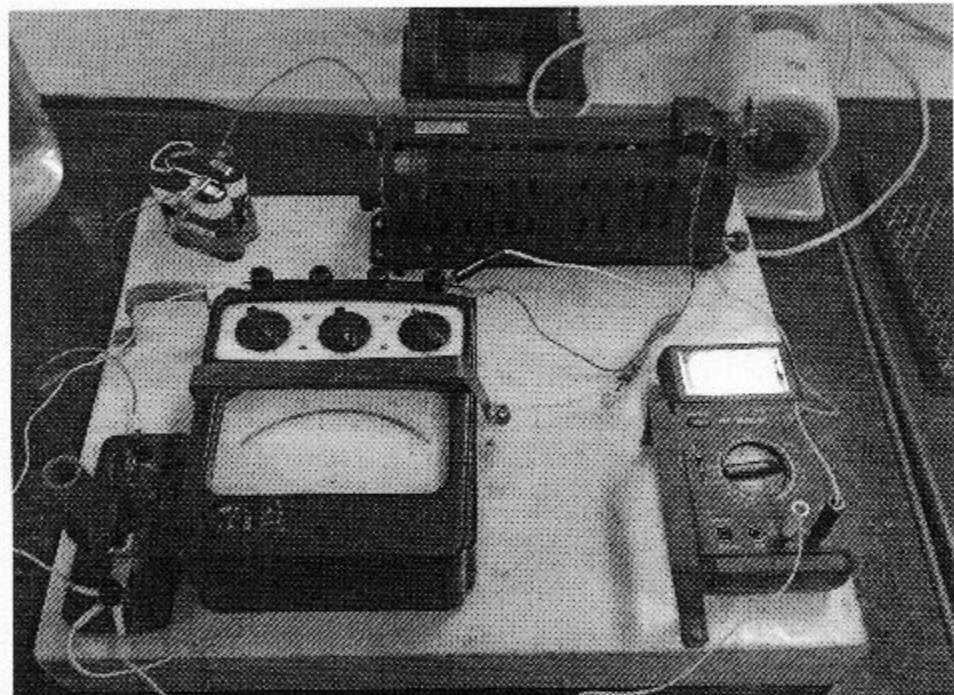


Рис.14 Экспериментальная установка

Она состоит из мультиметра Digital Instrument DT-890B⁺, используемого как вольтметр, комбинированного прибора Ц433 в качестве миллиамперметра, реостата РСП №2 $240 \pm 10\%$ Ом, источника тока (батарея 9В).

Для снятия вольт-амперной характеристики диода при прямом токе собирают цепь по схеме (рис.15), а при обратном токе – по схеме (рис.16). Схему включения приборов при измерении прямого и обратного токов в диоде приходится менять потому, что при прямом токе силой тока в вольтметре

можно пренебречь, так как сопротивление вольтметра значительно больше сопротивления диода. При обратном токе сопротивление диода соизмеримо с сопротивлением вольтметра, поэтому миллиамперметр включается последовательно с диодом.

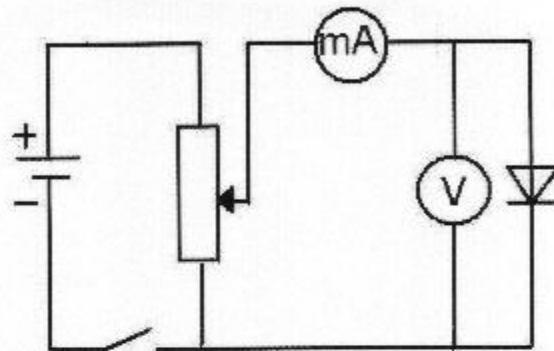


Рис.15 Прямое подключение

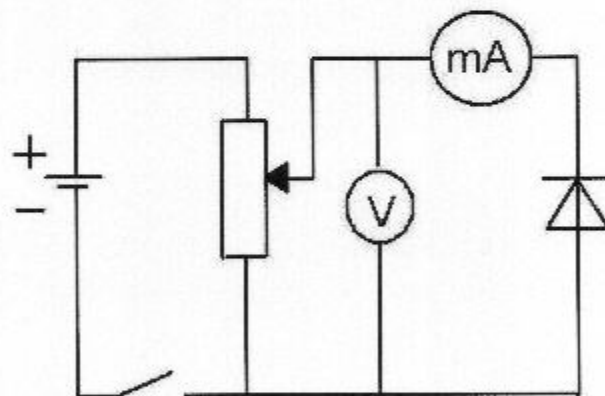


Рис.16 Обратное подключение

Мы включали в цепь различные полупроводниковые приборы и с помощью наших приборов измеряли показания миллиамперметра и мультиметра при различном сопротивлении реостата.

2.2 Характеристики полупроводников, используемых в работе

- Диод Д226Е.

Материал - кремний. Допустимое обратное напряжение 200 В.

Прямое падение напряжения 1 В. Допустимый выпрямленный ток 0.3 В.

Среднее значение обратного допустимого тока 0.05 В.

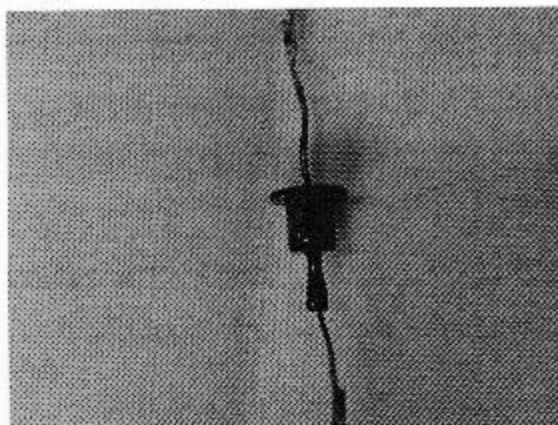


Рис. 17 Диод Д226Е

- Диод 2Д201А.

Материал - кремний. Импульсное обратное напряжение 100 В. Средний прямой ток 5 А.

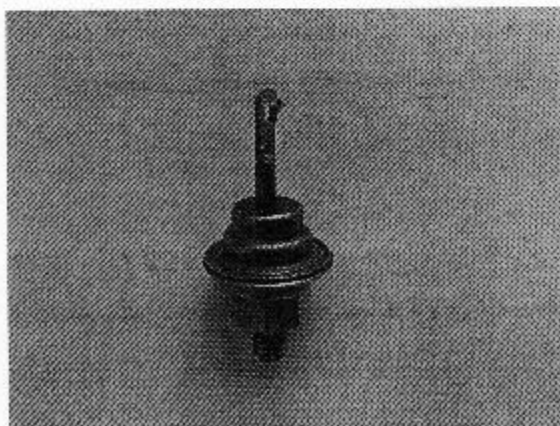


Рис.18 Диод 2Д201А

- Транзистор КТ805АМ.

Материал - кремний. Тип р-п-р биполярный. Максимальная сила тока 5 (8) А.

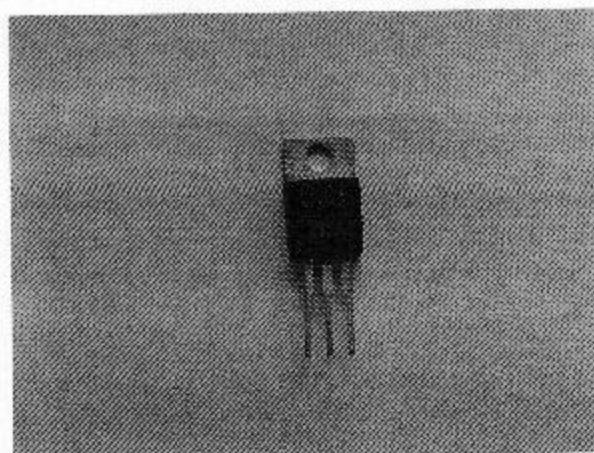


Рис.19 Транзистор КТ805АМ

- Транзистор П416А

Материал - германий, диффузионный, типа р-п-р.

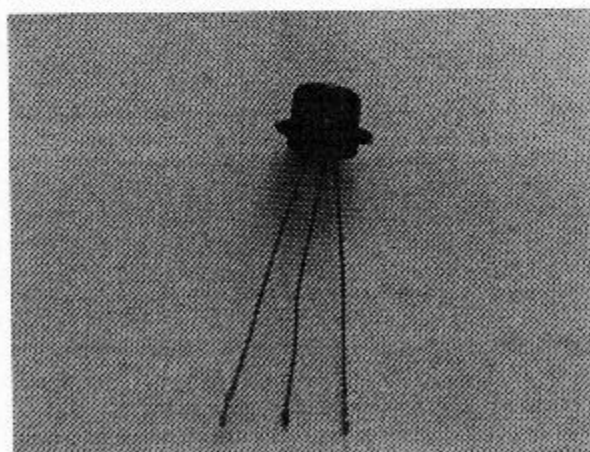


Рис.20 Транзистор П416А

- Диод Д2А

Материал - германий, точечный. Импульсное прямое напряжение не более 7В.

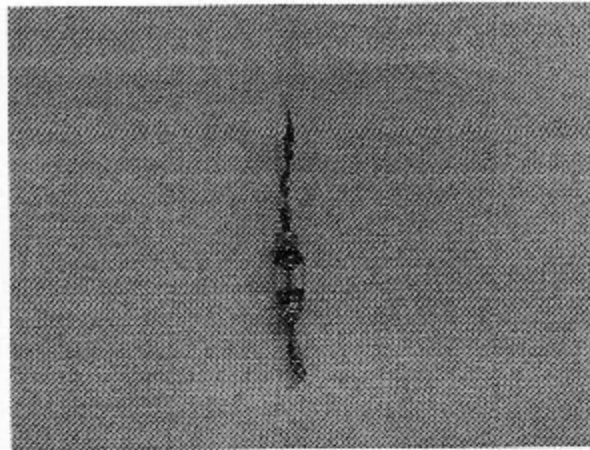


Рис.21 Диод Д2А

- Светодиод

Материал – фосфор. Максимальное допустимое напряжение 2 В. Падение напряжения 1.5 В. Начинает тускло светиться с 0.3 мА.

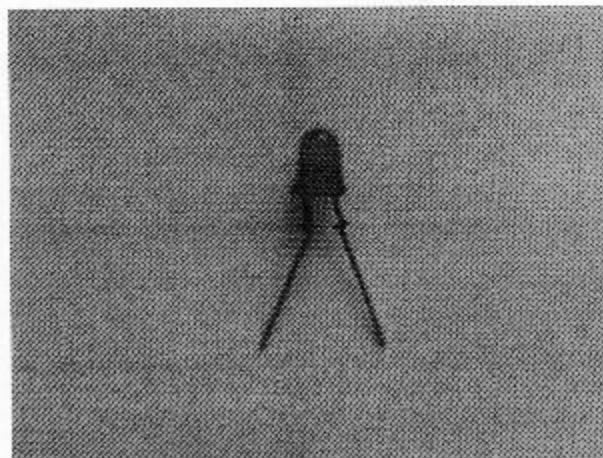


Рис.22 Светодиод

2.3. Результаты измерений вольт-амперных характеристик полупроводниковых приборов.

В таблицах 1-9 приведены результаты измерений силы прямого и обратного тока в зависимости от напряжения на р-п переходах в различных полупроводниковых приборах.

Таблица 1. Зависимость силы тока от напряжения для диода 2Д201А

U, В	I, мкА
-7,46	-2
-6,96	-2
-6,01	-2
-4,99	-1,5
-3,99	-1,5
-3,08	-1
-2	-1
-1	-1
-0,5	-1
0	0
0,21	2,5
0,33	17
0,41	67

Таблица 2. Зависимость силы тока от напряжения для диода Д226Е

U, В	I, мкА
-5,96	-24
-5,52	-18
-4,36	-15
-3,95	-14
-2,02	-8
-1,49	-6
-0,97	-5
-0,55	-3
-0,1	-1
0	0
0,18	2
0,25	4
0,35	8
0,44	46
0,46	147

Таблица 3. Зависимость силы тока от напряжения для светодиода 1

U, В	I, мкА
-1,53	-47
-1,44	-12
-1,41	-8
-1,32	-2,5
-1,18	-1,5
-0,81	-1
-0,58	-1
-0,42	-1
-0,21	-1
-0,05	-0,5
0	0
0,2	0,5
0,4	1
0,96	1
1,3	2
1,35	3
1,4	6
1,48	30
1,51	53
1,55	117
1,56	135

Таблица 4. Зависимость силы тока от напряжения для диода Д2

U, В	I, мкА
-3,81	-4,5
-2,89	-4
-2,85	-3
-2,41	-2,5
-2,2	-2,5
-1,84	-2
-1,43	-2
-1,2	-2
-0,9	-2
-0,7	-1,5
-0,41	-1,5
-0,25	-1,5
-0,13	-1
0	0
0,02	1
0,05	2
0,09	8
0,1	13
0,15	50
0,2	125
0,21	150

Таблица 5. Зависимость силы тока от напряжения на переходе эмиттер-база для кремниевого транзистора КТ805АМ

U, В	I, мкА
-7,24	-90
-6,43	-75
-5,98	-50
-5,55	-20
-5,05	-10
-4,48	-6
-3,98	-4
-3,58	-3
-3,03	-2
-2,48	-1
-1,61	-0,5
0	0
0,34	2
0,4	15
0,42	25
0,44	50
0,46	70
0,47	105

Таблица 6. Зависимость силы тока от напряжения на переходе коллектор-база для кремниевого транзистора КТ805АМ

U, В	I, мкА
-6,63	-5,5
-5,65	-5
-4,4	-4
-3,69	-3
-3	-2,5
-2,2	-2
-1,76	-1,5
-0,77	-1
0	0
0,32	2
0,36	6
0,39	20
0,41	33
0,43	56
0,45	102
0,46	135

Таблица 7. Зависимость силы тока от напряжения на переходе эмиттер-база для германиевого транзистора П416Б

U, В	I, мкА
-2,74	-152
-2,68	-130
-2,5	-75
-2,21	-30
-2,03	-15
-1,5	-3
-1,16	-2
-0,54	-1
0	0
0,05	1
0,09	5
0,12	11
0,14	25
0,16	60
0,17	85
0,18	150

Таблица 8. Зависимость силы тока от напряжения на переходе коллектор-база для германиевого транзистора П416Б

U, В	I, мкА
-2,78	-155
-2,75	-142
-2,65	-109
-2,57	-86
-2,45	-58
-2,24	-28
-2,07	-15
-1,83	-5
-1,72	-3
-1,58	-2
-0,8	-1
0	0
0,03	2
0,05	4
0,09	17
0,12	48
0,14	79
0,15	128

Таблица 9. Зависимость силы тока от напряжения для светодиода 2

U, В	I, мкА
-7	-1
-5,75	-0,5
0	0
1,31	1
1,33	2
1,37	5
1,4	10
1,43	16
1,5	45
1,55	65
1,58	85
1,64	130
1,66	143

2.4. Анализ полученных результатов

На рисунках 23-28 показаны сводные вольт-амперные характеристики германиевых диодов, кремниевых диодов, светодиодов и р-п переходов в германиевых и кремниевых транзисторах.

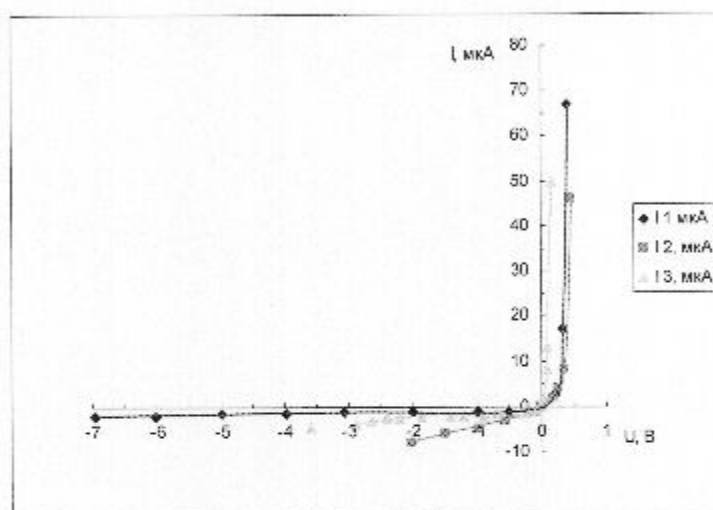


Рис. 23 Зависимость силы тока от напряжения для диодов 2Д201А (кремний), Д226Е (кремний) и Д2А (германий). I_1 - 2Д201А, I_2 - Д226Е, I_3 - Д2А.

2Д201А При прямом напряжении большем 0,2 В происходит резкое возрастание силы тока и падение внутреннего сопротивления.

Д226Е При прямом напряжении большем 0,25 В происходит резкое возрастание силы тока и падение внутреннего сопротивления.

Д2А При прямом напряжении большем 0,1 В происходит резкое возрастание силы тока и падение внутреннего сопротивления.

В прямом подключении диод Д2А (германий) имеет наиболее высокие показания силы тока при меньших напряжениях, в отличие от диодов 2Д201А и Д226Е (кремний), показатели которых схожи и больше в 2 раза чем у диода Д2А.

Показатели обратных токов имеют различие по нарастающей тенденции. Наиболее высокое обратное сопротивление у диода 2Д201А, чуть меньше у диода Д2А. Самое маленькое у диода Д226Е.

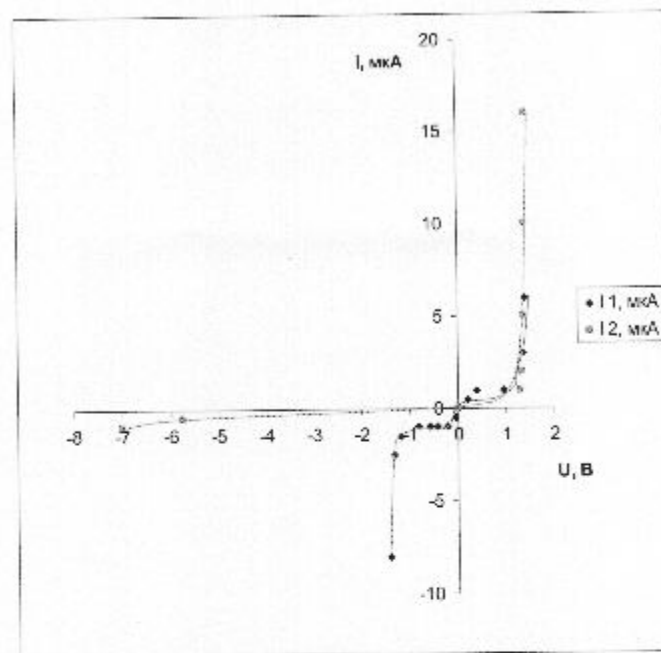


Рис. 24 Зависимость силы тока от напряжения для светодиодов 1 и 2

У обоих светодиодов при прямом напряжении больше 1 В происходит резкое возрастание силы тока и падение внутреннего сопротивления.

Однако при обратном подключении видно существенное различие. В светодиоде 2 внутренне сопротивление велико и потому сила тока мала, а в светодиоде 1 при напряжении больше 1.4 В происходит обратимый пробой.

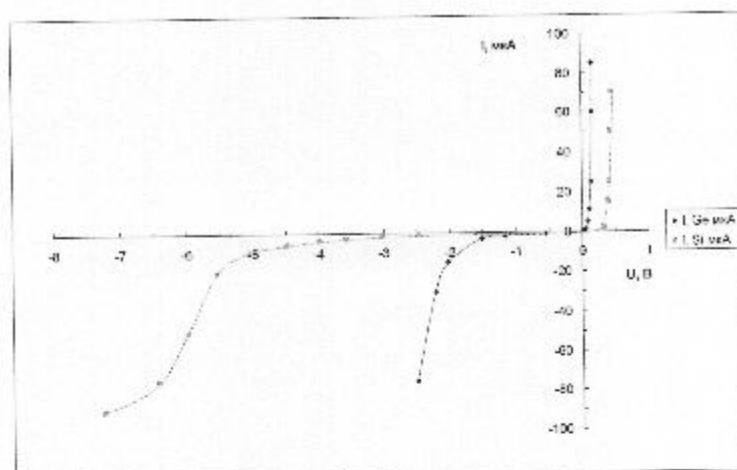


Рис. 25 Зависимость силы тока от напряжения для переходов эмиттер-база кремниевого (КТ805АМ) и германиевого (П416Б) транзисторов.

П416Б (германиевый). При прямом напряжении большем 0.13 В резко возрастает сила прямого тока и падает прямое сопротивление. При обратном подключении с напряжением больше чем 2 В происходит обратимый пробой.

КТ805АМ (кремниевый). При прямом токе большем 0.35 В резко возрастает сила прямого тока и падает прямое сопротивление. При обратном подключении с напряжением больше 5.5 В происходит пробой.

Зависимость силы тока от напряжения в переходе эмиттер-база для транзисторов КТ805АМ и П416Б существенно отличается, что видно на графиках. Минимальное прямое напряжение, при котором резко возрастает сила тока, отличается почти в 3 раза. Также в 3 раза отличается обратное напряжение, при котором происходит пробой. Вероятно, такое различие связано с материалом из которого сделаны транзисторы.

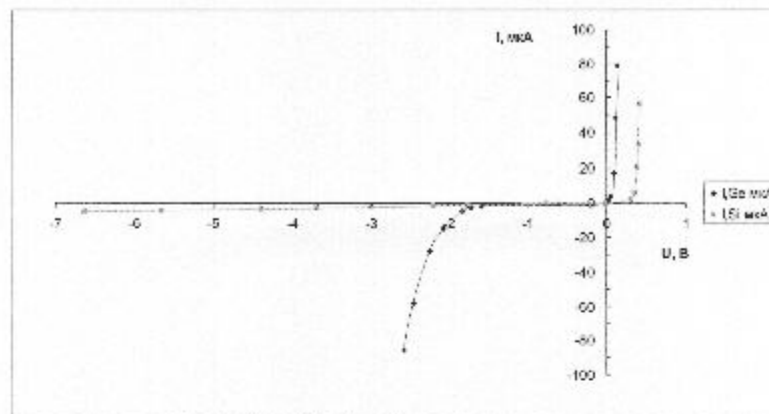


Рис. 26 Зависимость силы тока от напряжения на переходе коллектор-база для германиевого (П416Б) и кремниевого (КТ805АМ) транзисторов

П416Б (германиевый). При прямом напряжении больше 0.9 В резко возрастает сила прямого тока и падает прямое сопротивление. При обратном напряжении больше 2.1 В происходит обратимый пробой.

КТ805АМ (кремниевый). При прямом токе больше 0.35 В резко возрастает сила прямого тока и падает прямое сопротивление. При обратном подключении внутреннее сопротивление велико, сила тока мала. Пробоя при данных напряжениях не замечается.

Минимальное прямое напряжение, при котором резко возрастает сила тока отличается почти в 4 раза. В обратном подключении у германиевого транзистора наблюдается пробой, а у кремниевого нет.

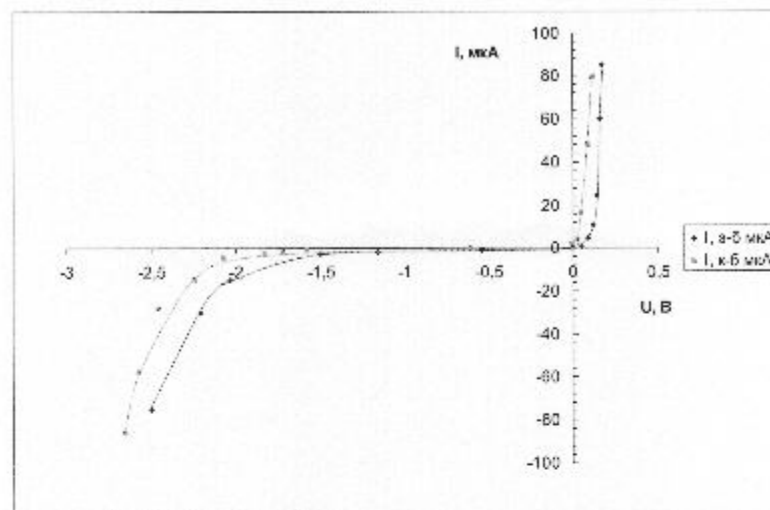


Рис. 27 Зависимость силы тока от напряжения на переходах коллектор-база и эмиттер-база для германиевого (П416Б) транзистора

Сила прямого тока на переходе эмиттер-база резко возрастает при напряжении больше 0.13 В, прямое сопротивление падает. При обратном подключении при напряжении больше 2 В происходит обратимый пробой.

Сила прямого тока на переходе коллектор-база резко возрастает при напряжении больше 0.09 В, прямое сопротивление падает. В обратном подключении при напряжении больше 2.1 В происходит обратимый пробой.

Хотя материал, из которого сделан транзистор, однороден, все же существует различие в графиках зависимости силы тока от напряжения. Возможно, это потому, что в эмиттере концентрация основных носителей заряда больше, чем в коллекторе.

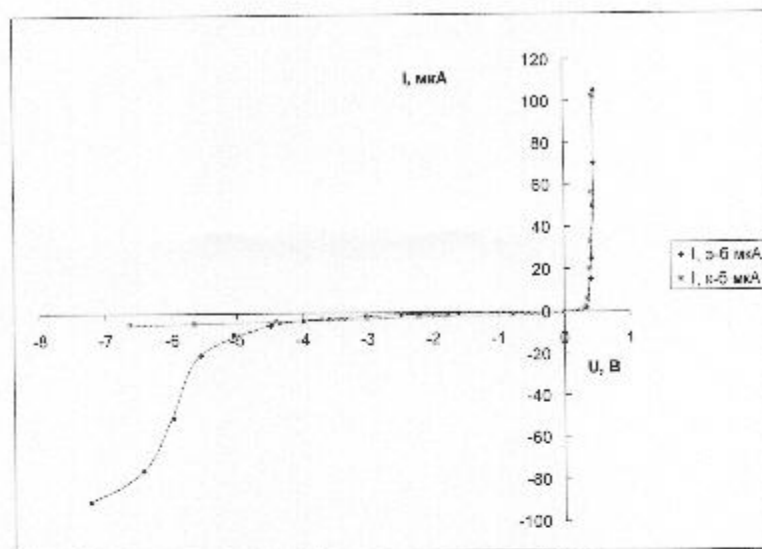


Рис.28 Зависимость силы тока от напряжения на переходах коллектор-база и эмиттер-база для кремниевого (КТ805АМ) транзистора

Сила прямого тока значительно возрастает при напряжении большем 0.35 В.

В обратном подключении в переходе коллектор-база пробоя не замечается, обратное сопротивление велико. В переходе эмиттер база при обратном напряжении большем 5.5 В происходит обратимый пробой.

Зависимость силы тока от напряжения при прямом подключении на переходах совпадает. Однако в обратном подключении есть существенная разница. В случае эмиттер-база есть пробой, а в переходе коллектор база пробоя не замечается.

Заключение

1. Освоена методика получения вольт-амперных характеристик р-п переходов полупроводников. Получены графики зависимости силы тока от напряжения при прямом и обратном подключении р-п переходов.
2. Проанализированы вольт-амперные характеристики р-п переходов ряда полупроводниковых приборов: германиевых и кремниевых диодов, транзисторов и светодиодов.
3. Обнаружено, что сопротивление р-п перехода, подключенного в прямом направлении, при малом напряжении (менее 0,1 В) очень велико и лишь при превышении некоторого порогового напряжения сопротивление резко уменьшается.
4. Установлено, что величина порогового напряжения не является строго определённой величиной, но заметно отличается для полупроводниковых приборов, изготовленных из разных материалов. Для приборов, изготовленных на основе германия, она равна примерно 0,1 В, на основе кремния – 0,2 В, на основе фосфора – 1 В.
5. Показано, что сила обратного тока у кремниевых приборов меньше, чем у германиевых, а напряжение пробоя больше.

Список использованных источников

1. И. С. Зефирова (гл. ред.) Химическая энциклопедия. — Москва: Большая Российская Энциклопедия, 1995. — Т. 4. — С. 55. — 639 с. — 20000 экз. — ISBN 5-85270-092-4
2. <http://ru.wikipedia.org/wiki/Полупроводник>
3. Большая советская энциклопедия. Гл. ред. А.М. Прохоров, 3-е изд. Т. 1-30. М., «Сов. энциклопедия», 1969-78. 630000 экз.
4. Мякишев Г.Я. и др. Физика: Электродинамика. 10-11 кл.: Учеб. для углубленного изучения физики/Г. Я. Мякишев, А. З. Сияков, Б. А. Слободсков. — 2-е изд. — М.: Дрофа 1998-480с.: ил.
5. http://www.reshetov.biz/index.php?option=com_content&view=article&id=79:27.07.2009%2016:10:46&catid=10:27.07.2009%2016:10:16&Itemid=12
6. http://jstonline.narod.ru/eltechonline/eltech_a0/eltech_a0b0/eltech_a0b0c.htm
7. <http://ru.wikipedia.org/wiki/Фотолинтография>
8. <http://ru.wikipedia.org/wiki/Диод>
9. <http://ru.wikipedia.org/wiki/Транзистор>