Лабораторная работа №84

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОННО-ДЫРОЧНОГО ПЕРЕХОДА В ПОЛУПРОВОДНИКАХ

Цель работы: изучить физические процессы в электронно-дырочном переходе; исследовать вольтамперную характеристику и определить параметры полупроводникового диода.

1. **Теоретическое введение**

Пользуясь конспектом и рекомендуемой литературой, изучите теоретический материал темы и изложите письменно ответы на следующие вопросы (изложение должно содержать текст, формулы, рисунки)

1. Собственная и примесная проводимость полупроводников. Основные и неосновные носители заряда в примесных полупроводниках.

2. Электронно-дырочный переход (р-п-переход) и энергетическая диаграмма. Контактная разность потенциалов. Диффузионный и дрейфовый токи p-n перехода.

3. Энергетические диаграммы электронно-дырочного перехода при пропускном и запирающем напряжении. Уравнение вольтамперной характеристики идеального p-n перехода.

1. **Описание установки и метода измерений**

Простейшим электронным прибором, содержащим электронно-дырочный переход является полупроводниковый диод, принципиальная схема которого показана на рисунке. Буквами p и n обозначены области полупроводника с проводимостями соответственно p и n типа. Обычно концентрации основных носителей заряда (дырок в p-области и электронов в n-области) сильно различаются. Одна из областей p-n-структуры, называемая эмиттером, обозначается на схеме знаком (+) рядом с обозначением типа проводимости и имеет большую концентрацию основных носителей заряда, чем другая область, называемая базой. Поэтому сопротивление базы намного больше сопротивления эмиттера. База и эмиттер образуют омические контакты с электродами. К электродам подсоединены металлические выводы, посредством которых диод включается в цепь.

Основной характеристикой полупроводникового диода является *вольтамперная характеристика* (зависимость силы тока I от напряжения U), экспериметнальный график которой показан на рисунке сплошной линией. Здесь же пунктиром нанесена теоретическая вольтамперная характеристика электронно-дырочного перехода, уравнение которой имеет вид:

Где – сила тока неосновных носителей заряда, e – заряд электрона, – напряжение на электронно-дырочном переходе, k – постоянная Больцмана; Т –абсолютная температура.

Для наглядности обратные ветви характеристик схематично изображены в более крупно масштабе по току и в более мелком – по напряжению в отличие от прямых ветвей. В области малых токов экспериментальная и теоретическая вольт-амперные характеристики практически совпадают. Но при больших токах (U > 0), а также при высоких запирающих напряжениях (U < 0) характеристики расходятся, что является следствием явлений, не учтенных при теоретическом анализе процессов в электронно-дырочном переходе. К таким явлениям можно отнести: падение напряжения на сопротивлении базы диода, инжекцию носителей заряда из эмиттера в базу диода через p-n-переход, процессы тепловой генерации и рекомбинации носителей заряда в области p-n-перехода, поверхностную проводимость p-n-перехода.

Важными параметрами полупроводникового диода, которые могут быть рассчитаны по его вольтамперной характеристике, являются: статическое сопротивление , динамическое сопротивление , коэффициент выпрямления K, а также сопротивление базы диода .

*Статическое сопротивление* диода – это отношение приложенного напряжения U к силе тока I, проходящей через диод:

*Динамическим,* или *дифференциальным,* сопротивлением диода называется величина, определяемая выражением

Где – малое изменение приложенного напряжения; – соответствующее изменение силы тока в диоде.

*Коэффициент выпрямления* K диода – это отношение силы прямого тока в диоде к силе обратного тока при одинаковом (по модулю) приложенном напряжении U:

В области больших прямых токов экспериментальная вольтамперная характеристика диода расположена ниже теоретической и является почти линейной. В диодах с большой толщиной базы инжекция носителей заряда через p-n-переход не оказывает заметного влияния на вольт-амперные характеристики. В этом случае отклонение экспериментальной вольт-амперной характеристики от теоретической связано главным образом с падением напряжения на сопротивлении базы диода . В результате напряжение на электронно-дырочном переходе оказывается меньше напряжения U, приложенного к диоду, т.е.

Поэтому в области больших прямых токов, где exp, уравнение вольтамперной характеристики можно записать в виде

Это уточненное теоретическое уравнение позволяет произвести оценочный расчет сопротивления базы диода по двум экспериментальным точкам прямой ветви вольт-амперной характеристики. Чтобы получить расчетную формулу для , выразим из уравнения напряжение U

И найдем разность напряжений для двух точек прямой ветви вольтамперной характеристики:

Выражая отсюда сопротивление базы , получаем формулу

При не очень высоких по модулю запирающих напряжениях U основной причиной несоответствия теоретической и экспериментальной вольтамперных характеристик диода являются процесс тепловой генерации и рекомбинации носителей заряда в области p-n-перехода. По мере роста модуля запирающего напряжения U увеличивается ширина p-n-перехода и возрастает число генерируемых в переходе носителей заряда. В результате этого обратный ток диода не достигает насыщения, которое наблюдается на теоретической вольт-амперной характеристике, а медленно растет. Другой причиной роста обратного тока диода является поверхностная проводимость электронно-дырочного перехода.

Если запирающее напряжение диода превышает определенное критическое значение , то сила тока начинает резко возрастать. Это явление называют пробоем диода. Напряжение, при котором наступает пробой p-n-перехода, зависит от типа диода и может иметь от единиц до сотен вольт.

Для снятия вольтамперных характеристик p-n-переходов выпрямительных диодов используется лабораторная установка, электрическая схема которой представлена на рисунке. Все элементы электрической схемы, за исключением миллиамперметра и вольтметра собраны в одном корпусе. Схема содержит два источника постоянного напряжения и , которые подключаются к измерительной цепи посредством трехпозиционного переключателя . Низковольтный источник предназначен для исследования прямой ветви (положение 1 переключателя) и начального участка обратной ветви вольтамперной характеристики (положение 3 переключателя). При использовании источника напряжение на диоде регулируется с помощью делителя напряжения , а при использовании источника – с помощью делителя напряжения . Для подключения к измерительной схеме одного из исследуемых диодов служит переключатель . Сила тока в диоде измеряется миллиамперметром mA, а напряжение – вольтметром V.

1. **Порядок выполнения работы и обработка результатов измерений**
2. Подготовьте таблицу для занесения и обработки результатов измерений.
3. Пользуясь схемой и приложением к установке, ознакомьтесь с устройством установки, назначением и расположением измерительных приборов, изучите инструкцию пользования миллиамперметром и вольтметром. Поверните рукоятки реостатов и в крайнее положение против хода часовой стрелки, что соответствует нулевому напряжению в измерительной цепи. Переключатель установите в положение 1 (для снятия прямой ветви вольт-амперной характеристики. При помощи переключателя включите в измерительную схему диод, номер которого совпадает с номером Вашего звена. С разрешения преподавателя или лаборанта подключите установку и приборы к сети.
4. Измерьте прямую ветвь вольт-амперной характеристики диода. Для этого изменяя при помощи реостата прямое напряжение U на диоде от 0 до 1 В через 0,1 В, измерьте соответствующее значения силы тока I. Закончив измерения, поверните рукоятку реостата в исходное положение (крайнее положение против хода часовой стрелки).
5. Измерьте начальный участок обратной ветви воль-амперной характеристики диода. Для этого переключатель переведите в положение 2 и, изменяя реостатом модуль запирающего напряжения U на диоде от 0 до 1 через 0,1 В, измерьте соответствующие значения модуля силы тока I. Закончив измерения, поверните рукоятку реостата в исходное положение (крайнее положение против хода часовой стрелки).
6. Измерьте обратную ветвь вольт-амперной характеристики диода при высоких запирающих напряжениях. Для этого переключатель переведите в положение 3 и, изменяя реостатом модуль запирающего значения U от 5 до 25 В через 5 В, измерьте соответствующие значения модуля силы тока I. Закончив измерения, поверните рукоятку реостата в исходное положение (крайнее положение против хода часовой стрелки) и отключите установку и приборы от электросети.
7. По полученным экспериментальным данным постройте график вольтамперной характеристики (при этом необходимо выбрать различные масштабы по осям U и I для прямой и обратной ветвей).
8. Используя формулы, вычислите для полупроводникового диода значения статических и динамических сопротивлений для прямой и обратной ветвей, а также коэффициенты выпрямления K. Проанализируйте зависимость полученных значений от величины напряжения U, приложенного к диоду.
9. По нескольким экспериментальным точкам прямой ветви вольтамперной характеристики, используя выражение, оцените сопротивление базы диода и сравните его со значениями статического и динамического сопротивлений диода.