

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

А.А. Насонов

## Изучение полупроводникового диода и стабилитрона

*Учебно-методическое пособие  
по курсу «Физическая электроника»  
для студентов направления  
«Физико-математическое образование»,  
профиль «Физика»*

ВОРОНЕЖ  
ВГПУ  
2009

УДК 53(045)  
ББК 22.2  
НЗ1

*Издано по решению  
учебно-методического совета ВГПУ.  
Протокол № 6 от 16.04.09 г.*

Рецензент

доцент кафедры общей физики *В.С. Еремин* (ВГПУ)

**Насонов А.А.**

НЗ1 Изучение полупроводникового диода и стабилитрона : учебно-методическое пособие по курсу «Физическая электроника» для студентов направления «Физико-математическое образование», профиль «Физика» / А.А. Насонов. – Воронеж : ВГПУ, 2009. – 8 с.

Учебно-методическое пособие знакомит с теоретическими основами принципа действия р-п-перехода и помогает в практическом изучении основных электрических свойств простейших полупроводниковых приборов – диода и стабилитрона.

**УДК 53(045)  
ББК 22.2**

© Насонов А.А., 2009  
© Редакционно-издательское оформление.  
Воронежский госпедуниверситет, 2009

*Цель работы:* ознакомится с теоретическими основами принципа действия р-п-перехода и практическое изучение основных электрических свойств простейших полупроводниковых приборов – диода и стабилитрона.

## ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Принцип действия полупроводникового диода и стабилитрона основан на свойствах электронно-дырочного перехода.

Электронно-дырочный переход или р-п-переход возникает в месте контакта двух полупроводниковых кристаллов с электронной и дырочной проводимостью. Электронно-дырочные переходы могут быть симметричными и несимметричными, а также резкими и плавными. В симметричном р-п-переходе концентрации примесей будут приблизительно одинаковыми  $N_p \approx N_n$  (рис. 1).

На практике чаще используются приборы с несимметричным переходом, в которых концентрации примесей неодинаковые  $N_p > N_n$  или  $N_p < N_n$  (рис. 2).

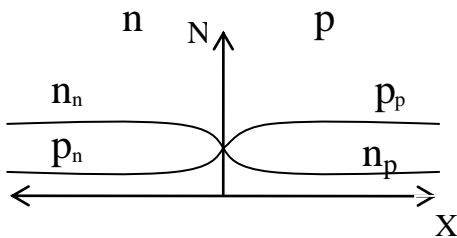


Рисунок 1

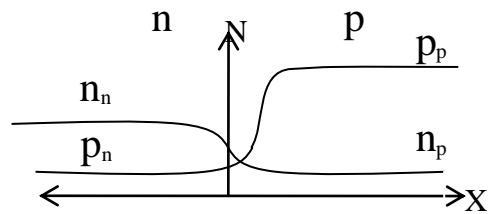


Рисунок 2

Неосновные носители обозначены соответственно тем областям, где они находятся  $P_n, p_p$ . Рассмотрим процессы, происходящие в области контакта полупроводников с разными типами проводимости.

При соединении полупроводников с р- и п-проводимостью, возникает диффузия основных носителей-дырок из р-области в п-область и электронов из п-области в р-область. В результате возникает диффузионный ток  $I_{\text{диф}} = I_{p \text{ диф}} + I_{n \text{ диф}}$ .

Его направление совпадает с направлением движения дырок как положительных зарядов. В области с п-проводимостью произойдет рекомбинация с дырками, а в области с р-проводимостью – с электронами. В результате рекомбинации образуется обеднённый слой с низкой проводимостью. Кроме этого в р-области будут образованы отрицательные ионы примеси и положительные ионы в п-области. Их образование вызывает контактную разность потенциалов и электрическое поле  $E_k$ , которое будет препятствовать дальнейшему процессу диффузии. Это поле в дальнейшем прекратит движение основных носителей в соседнюю область.

Неосновные носители будут наоборот ускоряться контактным электрическим полем  $E_k$  и создадут дрейфовый ток  $I_{\text{др}}$ . Если  $I_{\text{диф}} > I_{\text{др}}$ , то будет увеличиваться контактная разность потенциалов и контактное электрическое поле  $E_k$ . Но со временем встречное поле  $E_k$  будет уменьшать  $I_{\text{диф}}$  пока не наступит равенство токов  $I_{\text{диф}} = I_{\text{др}}$ .

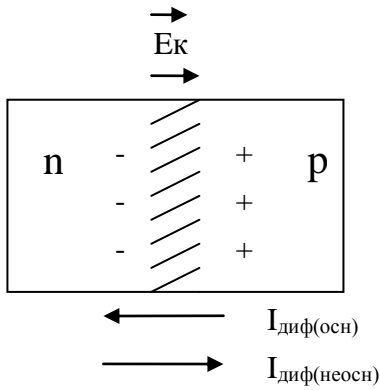


Рисунок 3

Таким образом, в полупроводниках с р- и п-проводимостью возникает электрическое равновесие в граничной области называемой «запорным слоем», или р-п-переходом.

Основным свойством р-п-перехода является его односторонняя электрическая проводимость. Если на р-область подать «плюс» источника тока, а на п-область «минус» (рис. 4), то через р-п-переход будут течь основные носители и ширина обеднённого слоя уменьшится. Этот ток называют

мым током, а р-п-переход открытым.

Электрическое поле источника будет ослаблять контактную разность потенциалов и его электрическое поле  $E_k$ .

Внешнее электрическое поле будет запирающим для неосновных носителей.

При смене полярности приложенного напряжения направления токов будут изменены на противоположные. Основные носители будут двигаться от запорного слоя, и его ширина значительно возрастет. Проводимость резко уменьшится, и увеличится влияние контактного поля  $E_k$ . Оно будет создавать ток неосновных носителей. Этот ток называют обратным током или тепловым, а р-п-переход будет называться закрытым (рис. 5). Неосновные носители на рис. 4 и 5 изображены меньшего размера.

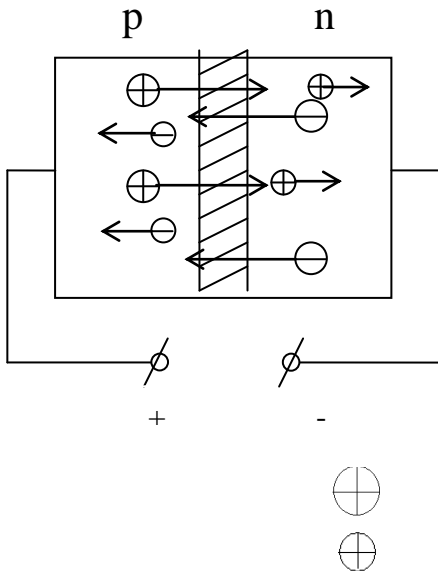


Рисунок 4

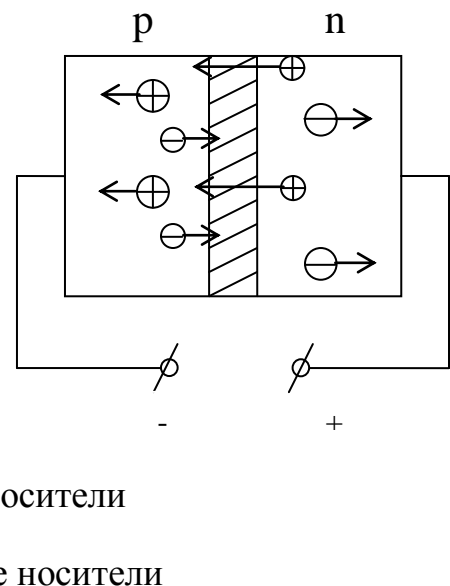


Рисунок 5

— основные носители

— неосновные носители

Вольт-амперная характеристика (ВАХ) р-п-перехода или полупроводникового диода выглядит следующим образом.

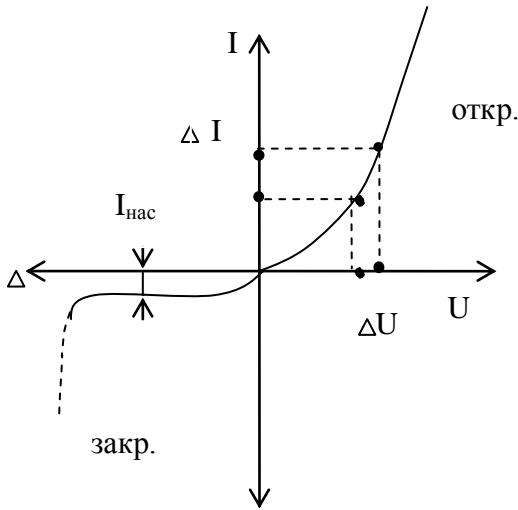


Рисунок 6

Аналитически ВАХ диода описывается уравнением Шокли:  $I(u) = I_{нас}[\exp(U/kT)-1]$ , где  $e$  – заряд электрона  
 $I$  – обратный ток  
 $U$  – приложенное напряжение.

При комнатной температуре ( $T = 300$  к) величина  $kT/e=0,026$  В.

Если обратное напряжение будет значительно превышать допустимый предел, то неосновные носители создадут ударную ионизацию, которая приведет к лавинообразному росту обратного тока и выведет диод из строя.

Так как ВАХ является нелинейной, то это означает, что сопротивление открытого р-п-перехода диода зависит от приложенного напряжения и не является постоянной величиной.

Поэтому его рассчитывают в дифференциальной форме:  $R_i = \frac{\Delta U}{\Delta I}$ , выбирая интервал  $\Delta U$  приблизительно в середине ВАХ. Аналогично можно рассчитывать сопротивление в закрытом состоянии диода.

На кремниевом диоде в открытом состоянии, падение напряжения составляет  $U \approx 0,6 \div 1,2$  В, а на германиевом  $U \approx 0,1 \div 0,5$  В.

Одной из разновидностей диода является стабилитрон, который в отличие от обычного выпрямительного диода, работает при подаче на него обратного напряжения. Если его плавно увеличивать, то обратный ток сначала имеет вид как и у обычного диода. Но при некотором значении напряжения  $U_{стаб}$  р-п-переход «пробивается», а резкое увеличение обратного тока не является аварийным.

Особенностью этого тока является то, что его изменение в широких пределах не вызывает изменения падения напряжения  $U_{стаб}$ . Этот участок ВАХ является рабочим участком.

Существуют некоторые токи  $I_{ст-мин}$  и  $I_{ст-макс}$ , в пределах которых стабилитрон работает устойчиво. Прибор получил такое название потому, что напряжение на нем не изменяется при изменениях тока.

Он широко используется как элемент электронных стабилизаторов напряжения и источников опорного напряжения. Для расчета параметров стабилитрона выбирают рабочую точку А на ВАХ посередине между предельными значениями токов ( $I_{ном}$ ). При этом рассчитывается дифференциальное сопротивление

$R_i = \frac{U_{cm}}{I_o}$ . Прямое включение стабилитрона не используется, но его ВАХ была бы такой же, как и у обычного выпрямительного диода.

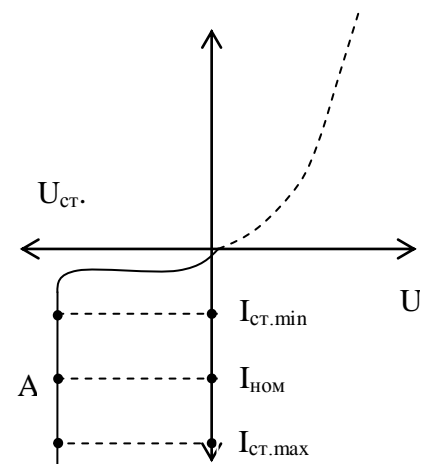


Рисунок 7



7. Выключить схему.

По данным таблицы 1 и 2 построить ВАХ диода. Масштаб выбирается произвольно, т. к.  $U_{обр} \gg U_{пр}$ . Используя приблизительно центральные участки графика, рассчитать  $R_i = \Delta U / \Delta I$  дифференциальные сопротивления в открытом и закрытом состояниях.

### Снятие ВАХ стабилитрона

Так как стабилитрон работает только при подаче на него обратного напряжения, то достаточно снять одну зависимость  $I = f(U)$ .

1. Собрать схему по рис. 10.

2. Установить предел измерения на вольтметре 6 В для КС 156 А и 30 В для Д 808-Д 814.

На миллиамперметре установить предел 30 мА. Полярность выводов обозначена на корпусе.

3. Увеличивать напряжение от 0 до  $U_{\text{стаб}}$ , при котором оно перестает возрастать, а ток резко возрастает. Оно будет разным для разных видов стабилитронов, например, для КС 156 А оно будет 5,6 В. Марку стабилитрона записать в тетради.

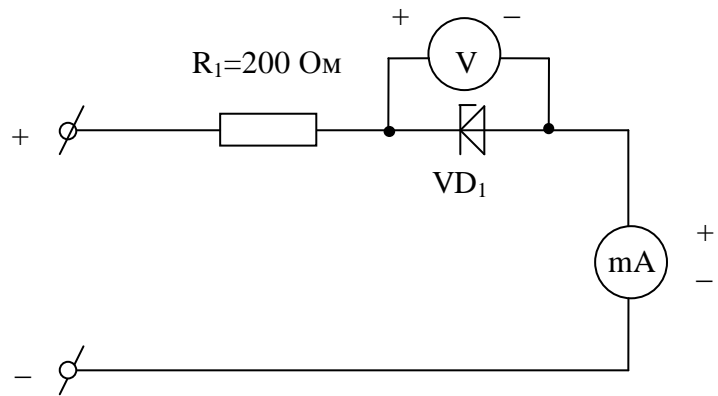


Рисунок 10

Таблица 3

$U_{\text{В}}$	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7
$I_{\text{мА}}$								

4. При прекращении роста напряжения на стабилитроне *не увеличивать* напряжение источника, так как ток не должен превышать  $\approx 10_{\text{мА}}$ !

5. Результаты занести в таблицу 3.

6. Построить ВАХ и обозначить на графике  $U_{\text{ст}}$  и  $I_{\text{ст. min}}$ .

7. Выключить схему.

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Дать сравнительную характеристику электрических свойств полупроводников с металлами и диэлектриками.

2. Понятие собственной и примесной проводимости.

3. Образование p-n-перехода. Процессы, происходящие в нем.

4. Электрические характеристики диода и его применение.

5. Электрические характеристики стабилитрона и его применение.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Гершензон Е.М. Радиотехника / Е.М. Гершензон, Г.Д. Полянина, Н.В. Соина. – М.: Просвещение, 1986.
2. Степаненко И.П. Основы микроэлектроники / И.П. Степаненко. – М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2004.
3. Харченко В.М., Основы электроники / В.М. Харченко. – М.: Энергоатомиздат, 1982.
4. Ямпольский В.С. Основы автоматики и электронно-вычислительной техники / В.С. Ямпольский. – М.: Просвещение, 1991.

Учебное издание

**НАСОНОВ Алексей Альбертович**

**Изучение полупроводникового  
диода и стабилитрона**

*Учебно-методическое пособие  
по курсу «Физическая электроника»  
для студентов направления  
«Физико-математическое образование»,  
профиль «Физика»*

Изготовление оригинала-макета: *Ю.С. Топоркова*

Подписано в печать 30.10.2009. Формат 60×84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага офсетная.  
Печать трафаретная. Гарнитура «Таймс». Усл. печ. л. 0,5. Уч.-изд. л. 0,4.  
Заказ 297. Тираж 15 экз.

Воронежский госпедуниверситет.  
Отпечатано в типографии университета.  
394043, г. Воронеж, ул. Ленина, 86.