



Уральский
федеральный
университет
имени первого Президента
России Б.Н.Ельцина

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» (УрФУ)
Институт радиоэлектроники и информационных технологий – РтФ
Школа бакалавриата

Оценка работы _____
Преподаватель _____

Отчет по лабораторной работе № 2
по дисциплине «Физические основы микро- и нанoeлектроники»
Тема: «ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК И ПАРАМЕТРОВ
ЭЛЕКТРОННО-ДЫРОЧНЫХ ПЕРЕХОДОВ»

Студент: _____ ФИО Нухкадиев
Н.Р.
Группа: РИЗ - 121105y

Преподаватель: _____ ФИО Дурнаков А.А.

Екатеринбург

2024

1 ЦЕЛЬ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

Ознакомиться с физическими основами работы электронно-дырочных переходов, приобрести навыки экспериментального исследования электрических пробоев переходов, исследовать влияние материала полупроводника и температуры окружающей среды на характеристики и параметры пробоев электронно-дырочных переходов.

2 Типовые параметры исследуемых электронно-дырочных переходов

Таблица 1.1 – Параметры стабилитрона с полевым пробоем.

Параметры	КС156А
Напряжение стабилизации номинальное при ($I_{ст,мА}$), В	5,6 (10)
Разброс напряжения стабилизации	$\pm 10\%$
Максимальный ток стабилизации, мА	55
Минимальный ток стабилизации, мА	3
Прямое напряжение при $I_{пр}=50\text{мА}$ (не более), В	1
Постоянный обратный ток при $U_{обр}=0,7U_{стном}$, мА	1
Постоянный прямой ток, мА	
Дифференциальное сопротивление ($I_{ст,мА}$), Ом	46 (10)
Температурный коэффициент напряжения стабилизации, %/град	$\pm 0,05$
Рассеиваемая мощность, мВт	300

Таблица 1.2 – Параметры стабилитрона с лавинным пробоем.

Параметры	Д814Д
-----------	-------

2 СХЕМЫ И ЗАМЕРЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

При экспериментальных исследованиях электронно-дырочных переходов в режиме электрического пробоя снимаются вольт–амперные характеристики для разных значений рабочих температур. Причем лабораторная установка позволяет исследовать электронно-дырочные переходы с полевым и лавинным пробоем, исследовать прямые и обратные ветви вольт–амперной характеристики. При снятии прямой ветви ВАХ электронно-дырочного перехода (рис. 1) задаются значениями прямого тока и измеряют напряжение на электронно-дырочном переходе, соответствующее заданному значению тока. Напряжение регулируется с помощью источника входного напряжения, которое может изменяться в диапазоне от 0 до 5 В.

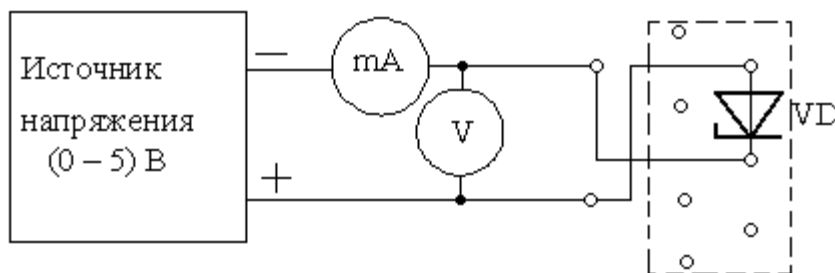


Рис. 1. Схема лабораторной установки для снятия прямой ветви ВАХ электронно-дырочного перехода.

При снятии обратной ветви ВАХ электронно-дырочного перехода, работающего в режиме электрического пробоя, (рис. 2) между источником входного напряжения и стабилитроном включается резистор $R_{огр}$, значение которого определяется наибольшим входным напряжением $U_{ВХ\ МАКС}$, максимальным током стабилизации $I_{СТ\ МАКС}$. При проведении

экспериментальных исследований необходимо задаваться значениями обратного тока электронно-дырочного перехода, при этом измеряя значения напряжения на переходе.

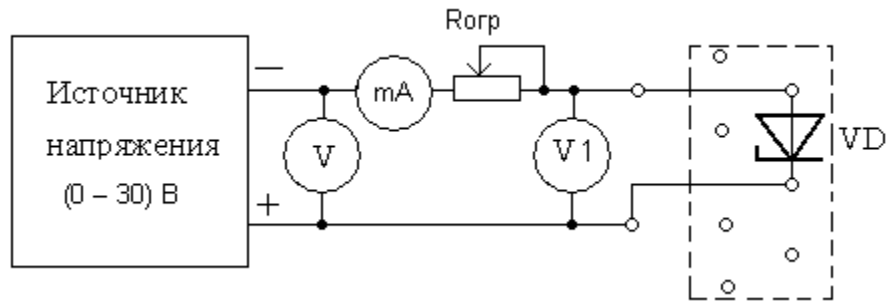


Рис.2. Схема лабораторной установки для снятия обратной ветви ВАХ перехода, работающего в режиме электрического пробоя.

Миллиамперметр (mA) измеряет ток, протекающий через обратно смещённый электронно-дырочный переход, вольтметр (V1) служит для измерения напряжения на переходе, вольтметр (V) – для измерения напряжения, получаемого от источника напряжения, а $R_{орг}$ – резистор, величина сопротивления которого определяет исходное положение рабочей точки на вольт-амперной характеристике электронно-дырочного перехода.

Таблица 2.1 – Д814 стабилитрон с лавинным пробоем: прямое включение.

$I_{\text{прям}}, \text{ mA}$	0	5	10	30	50
$U_{\text{прям}}, \text{ В}$ при $T_1=20, \text{ C}$	0	0,64	0,66	0,74	0,78
$U_{\text{прям}}, \text{ В}$ при $T_1=70, \text{ C}$	0	0,6	0,62	0,70	0,74

Таблица 2.2 – Экспериментальные данные: обратное включение.

$I_{обр},$ мА	1	2	3	10	16	22	24	$I_{ст макс}$
$U_{обр}, В$ $T_1=20^\circ$ С	8,23	13,4 0	13,49	13,64	13,7 3	13,82	13,9	
$U_{обр}, В$ $T_2=70^\circ$ С	13,67	13,7 2	13,8	13,92	13,9 9	14,04	14,08	

Таблица 2.3 – КС156А стабилитрон с полевым пробоем: прямое включение.

$I_{прям}, мА$	0	5	10	30	50
$U_{прям}, В$ при $T_1=20, С$	0	0,66	0,69	0,72	0,78
$U_{прям}, В$ при $T_1=70, С$	0	0,61	0,63	0,65	0,73

Таблица 2.4 – Экспериментальные данные: обратное включение.

$I_{обр}, мА$	1	4	10	20	30	39	47	$I_{ст макс}$
$U_{обр}, В$ $T_1=20С$	4,73	5,39	5,69	5,84	5,86	5,89	5,91	5,93
$U_{обр}, В$ $T_2=70^\circ$ С	4,61	5,28	5,60	5,83	5,84	5,93	5,96	5,99

3 Графики вольт амперных характеристик исследуемых электронно-дырочных переходов

Рис. 3. ВАХ прямой ветви стабилитрона Д814Д

Рис. 4. ВАХ обратной ветви стабилитрона Д814Д

Рис. 5. ВАХ прямой ветви стабилитрона КС156А

Рис. 6. ВАХ обратной ветви стабилитрона КС156А

3 РАССЧЁТНАЯ ЧАСТЬ

1. Для всех исследуемых электронно-дырочных переходов, предназначенных для работы в режиме электрического пробоя, определить значения $I_{ст макс}$ и $I_{ст мин}$. Номинальный ток стабилизации перехода определить

по формуле $I_{ст ном} = \frac{I_{ст макс} + I_{ст мин}}{2}$.

Таблица 3.1 – Токи стабилизации (Макс. и Мин.).

Прямая ветвь	Д814	$I_{ст макс} = 50 мА$ $I_{ст мин} = 0 мА$	$I_{ст ном} = 25 мА$
	КС156А	$I_{ст макс} = 50 мА$	$I_{ст ном} = 25 мА$

		$I_{ст\ мин} = 0\ мА$	
Обратная ветвь	Д814	$I_{ст\ макс} = 24\ мА$ $I_{ст\ мин} = 1\ мА$	$I_{ст\ ном} = 12,5\ мА$
	КС156А	$I_{ст\ макс} = 55\ мА$ $I_{ст\ мин} = 1\ мА$	$I_{ст\ ном} = 28\ мА$

2. Для всех исследуемых переходов, используя прямые ветви характеристик, снятые при комнатной и повышенной температурах, определить значения температурного коэффициента напряжения прямой

ветви ТК $H_{прям} = \frac{\Delta U_{прям}}{\Delta T}$ при $I_{прям} = I_{ст\ ном}$.

Таблица 3.2 – Расчёт прямого температурного коэффициента напряжения.

Д814	20 С	$TK\ H_{прям} = \frac{\Delta U_{прям}}{\Delta T} = \frac{(0,78 - 0,74)\ В}{50\ С} = 0,0008\ В/С$
	70 С	$TK\ H_{прям} = \frac{\Delta U_{прям}}{\Delta T} = \frac{(0,74 - 0,70)\ В}{50\ С} = 0,0008\ В/С$
КС156А	20 С	$TK\ H_{прям} = \frac{\Delta U_{прям}}{\Delta T} = \frac{(0,78 - 0,72)\ В}{50\ С} = 0,0012\ В/С$
	70 С	$TK\ H_{прям} = \frac{\Delta U_{прям}}{\Delta T} = \frac{(0,73 - 0,65)\ В}{50\ С} = 0,0016\ В/С$

3. Для всех исследуемых переходов, используя обратные ветви вольт–амперных характеристик, снятые при различных температурах, определить значение температурного коэффициента напряжения пробоя $TK\ H_{проб} = \frac{\Delta U'_{обр}}{\Delta T}$

при $I_{обр} = I_{ст\ ном}$.

Таблица 3.3 – Расчёт температурного коэффициента напряжения пробоя.

Д814	20 С	$TK\ H_{проб} = \frac{\Delta U'_{обр}}{\Delta T} = \frac{(13,9 - 13,73)\ В}{50\ С} = 0,0034\ В/С$
	70 С	$TK\ H_{проб} = \frac{\Delta U'_{обр}}{\Delta T} = \frac{(14,08 - 13,99)\ В}{50\ С} = 0,0018\ В/С$
КС156А	20 С	$TK\ H_{проб} = \frac{\Delta U'_{обр}}{\Delta T} = \frac{(5,93 - 5,86)\ В}{50\ С} = 0,0014\ В/С$
	70 С	$TK\ H_{проб} = \frac{\Delta U'_{обр}}{\Delta T} = \frac{(5,99 - 5,84)\ В}{50\ С} = 0,003\ В/С$

4. Для всех исследуемых переходов по вольт–амперным характеристикам, снятым при комнатной температуре, определить для области пробоя:

а) дифференциальное сопротивление обратно смещённого перехода

$$r_{ст} = \frac{\Delta U_{обр}}{I_{ст макс} - I_{ст мин}}, \text{ где } \Delta U_{обр} \text{ соответствует изменениям тока от } I_{ст макс} \text{ до } I_{ст мин};$$

Таблица 3.4 – Расчёт дифференциального сопротивления обратно смещённого перехода.

Прямая ветвь	Д814	$r_{ст} = \frac{\Delta U_{пр}}{I_{ст макс} - I_{ст мин}} = \frac{(0,78 - 0,74)}{50 \text{ мА}} = 0,8 \text{ Ом}$
	КС156А	$r_{ст} = \frac{\Delta U_{пр}}{I_{ст макс} - I_{ст мин}} = \frac{(0,78 - 0,72)}{50 \text{ мА}} = 1,2 \text{ Ом}$
Обратная ветвь	Д814	$r_{ст} = \frac{\Delta U_{обр}}{I_{ст макс} - I_{ст мин}} = \frac{(13,9 - 13,73)}{12,5 \text{ мА}} = 1,36 \text{ Ом}$
	КС156А	$r_{ст} = \frac{\Delta U_{обр}}{I_{ст макс} - I_{ст мин}} = \frac{(5,93 - 5,86)}{28 \text{ мА}} = 2,5 \text{ Ом}$

б) статическое сопротивление перехода $R_0 = U_{ст ном} / I_{ст ном}$.

Таблица 3.5 – Расчёт статического сопротивления перехода.

Прямая ветвь	Д814	$R_0 = \frac{U_{ст ном}}{I_{ст ном}} = \frac{0,78 \text{ В}}{50 \text{ мА}} = 15,6 \text{ Ом}$
	КС156А	$R_0 = \frac{U_{ст ном}}{I_{ст ном}} = \frac{0,77 \text{ В}}{50 \text{ мА}} = 15,4 \text{ Ом}$
Обратная ветвь	Д814	$R_0 = \frac{U_{ст ном}}{I_{ст ном}} = \frac{13,9}{10 \text{ мА}} = 1390 \text{ Ом}$

	КС156А	$R_0 = \frac{U_{ст\ ном}}{I_{ст\ ном}} = \frac{5,93}{10\text{ мА}} = 593\text{ Ом}$
--	--------	---

5. Для переходов с различным механизмом пробоя определить сопротивление базы. Для этого рассчитать дифференциальное сопротивление перехода в области «больших» токов прямой ветви вольт-амперной характеристики: $r_{\delta} \approx r_{\text{диф}} = (U_2 - U_1) / (I_2 - I_1)$ где I_2 – максимальное измеренное значение прямого тока перехода; I_1 – составляет примерно 0,8 I_2 ; значения прямого напряжения U_2, U_1 соответствуют значениям тока I_2, I_1 .

Таблица 3.6 – Расчёт дифференциального (базы) сопротивления.

Прямая ветвь	Д814, 20 С	$r_{\delta} \approx \frac{(U_2 - U_1)}{(I_2 - I_1)} = \frac{(0,78 - 0,74)\text{ В}}{(50 - 30)\text{ мА}} = 2\text{ Ом}$
	Д814, 70 С	$r_{\delta} \approx \frac{(U_2 - U_1)}{(I_2 - I_1)} = \frac{(0,75 - 0,70)\text{ В}}{(50 - 30)\text{ мА}} = 2,5\text{ Ом}$
	КС156А, 20 С	$r_{\delta} \approx \frac{(U_2 - U_1)}{(I_2 - I_1)} = \frac{(0,78 - 0,72)\text{ В}}{(50 - 30)\text{ мА}} = 3\text{ Ом}$
	КС156А, 70 С	$r_{\delta} \approx \frac{(U_2 - U_1)}{(I_2 - I_1)} = \frac{(0,73 - 0,65)\text{ В}}{(50 - 30)\text{ мА}} = 4\text{ Ом}$
Обратная ветвь	Д814, 20 С	$r_{\delta} \approx \frac{(U_2 - U_1)}{(I_2 - I_1)} = \frac{(13,9 - 13,73)\text{ В}}{(25 - 16)\text{ мА}} = 18\text{ Ом}$
	Д814, 70 С	$r_{\delta} \approx \frac{(U_2 - U_1)}{(I_2 - I_1)} = \frac{(14,08 - 13,99)\text{ В}}{(25 - 16)\text{ мА}} = 10\text{ Ом}$
	КС156А, 20 С	$r_{\delta} \approx \frac{(U_2 - U_1)}{(I_2 - I_1)} = \frac{(5,93 - 5,86)\text{ В}}{(55 - 30)\text{ мА}} = 2,8\text{ Ом}$
	КС156А, 70 С	$r_{\delta} \approx \frac{(U_2 - U_1)}{(I_2 - I_1)} = \frac{(5,99 - 5,84)\text{ В}}{(55 - 30)\text{ мА}} = 6\text{ Ом}$

4 ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТА

При повышении температуры стабилитрона до 70 С, при таких же значениях тока, то значения напряжения значительно меньше, чем при комнатной температуре.

Сопротивления (дифференциальное и статическое) у КС156А больше, чем у Д814. А сопротивление базы значительно больше. На прямой ветви

статическое сопротивление меньше у КС156А, чем у Д814. На обратной ветви статическое сопротивление Д814 больше, чем у КС156А.