

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего профессионального образования
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ
Кафедра конструирования узлов и деталей РЭА (КУДР)

В.Ф. Агафонников

Измерение ширины базы триода

Руководство к лабораторной работе
по курсу "Физика полупроводниковых структур"
для студентов радиоконструкторского факультета

Томск 2012

I. БИПОЛЯРНОЕ

Биполярный транзистор создан американскими учеными Дж. Бардином и В. Браттейном в 1948г. Это событие имело громадное значение для развития полупроводниковой электроники. Транзисторы могут работать при значительно меньших напряжениях, чем ламповые триоды, и не являются простыми заменителями последних; их можно использовать не только для усиления и генерации переменного тока, но и в качестве ключевых элементов. Определение "биполярный" указывает на то, что работа транзистора связана с процессами, в которых принимают участие носители заряда двух сортов (электроны и дырки). Слово "транзистор" произошло от английского словосочетания "transfer resistor" - преобразователь сопротивления.

Структурно транзистор представляет собой два р-п перехода, включенных навстречу друг другу и изготовленных в едином кристалле. Область кристалла между р-п переходами называется базой транзистора, которая должна быть существенно меньше диффузионной длины носителей заряда, инжектируемых эмиттером в базу и экстрагируемых коллектором транзистора.

Цель данной работы - исследуя вольт-амперную характеристику транзистора на малом сигнале, определить толщину базы транзистора.

2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАССТОЯНИЯ МЕЖДУ ДВУМЯ ПЛОСКОСТНЫМИ Р-П ПЕРЕХОДАМИ - ШИРИНЫ БАЗЫ

Для определения ширины базы (W) можно использовать вольт-амперную характеристику триода.

Ток через базу из эмиттера в коллектор переносится неосновными носителями, т.е. дырками в базе п-типа (р-п-р триод) и электронами в базе р-типа (п-р-п триод). Рассмотрим р-п-р триод. При достаточно малых токах ток J_p в базе бездрейфового триода чисто диффузионный и связан с концентрацией дырок в базе (p) соотношением $J_p = -eD_p \cdot S \frac{dp}{dx}$,

$$J_p = -eD_p \cdot S \frac{dp}{dx}, \quad (2.1)$$

где e - заряд электрона;
 D_p - коэффициент диффузии дырок;
 S - сечение базы.

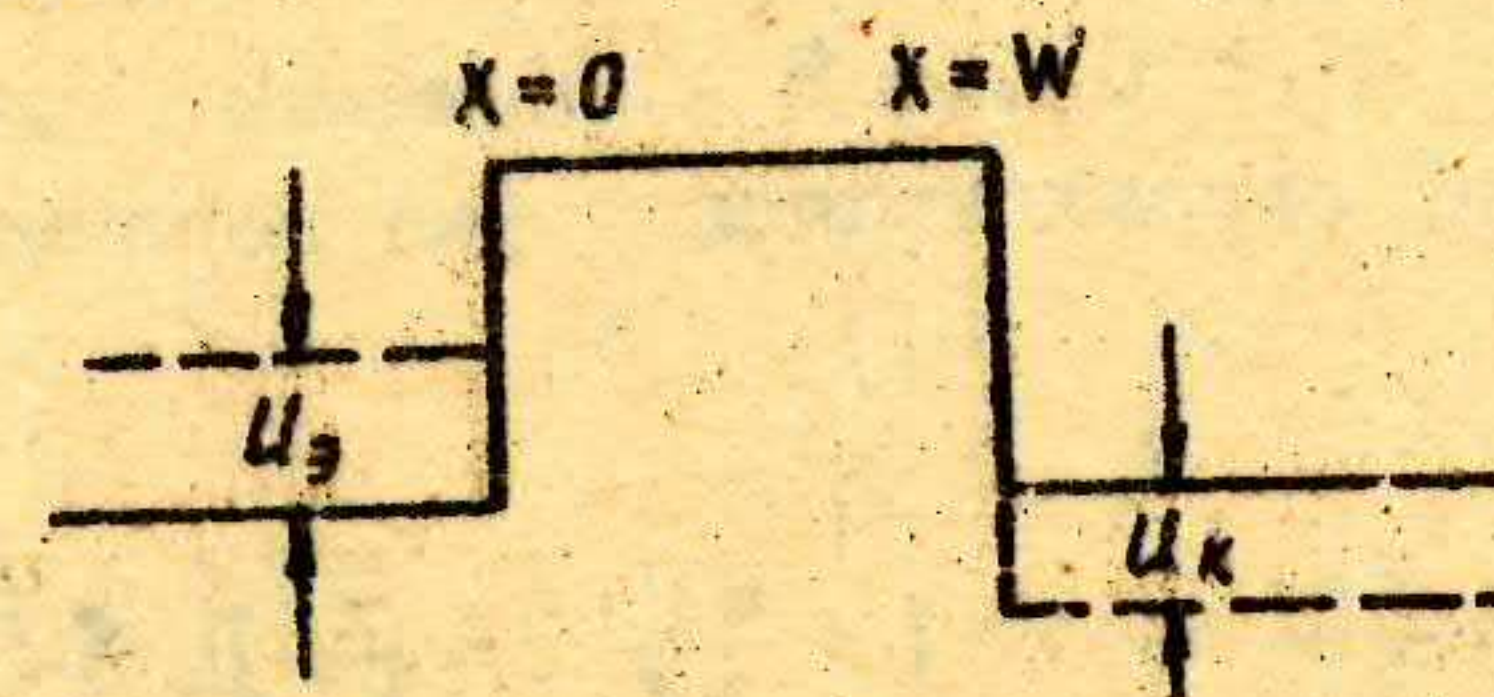
В случае сплавного бездрейфового триода величина J_p вдоль базы почти не меняется, поэтому интегрировать выражение (2.1) следует при $J_p = \text{const}$.

$$J_p \cdot x = -eD_p \cdot S \cdot p(x) + C_1, \quad (2.2)$$

где C_1 - постоянная интегрирования.

При отсутствии внешнего смещения потенциал в базе постоянен и $P = P_{II} = \text{const}$ (рис.2.1).

Распределение потенциала в р-п-р структуре.



Сплошная кривая - при термодинамическом равновесии.
 Пунктирная - при наличии смещения.

Рис. 2.1

Для создания инжекции дырок из эмиттера потенциальный барьер эмиттера ($X = 0$) понижается на величину U_3 , а потенциальный барьер коллектора ($X = W$) повышается на величину U_k . Концентрация частиц в любой точке экспоненциально убывает или возрастает в зависимости от потенциальной энергии частиц в этой точке. Поэтому при наличии U_3 и U_k имеем

$$p(0) = p_n \exp\left(\frac{eU_3}{kT}\right), \quad (2.3)$$

$$p(W) = p_n \exp\left(-\frac{eU_k}{kT}\right), \quad (2.4)$$

С помощью этих условий находим C_1 и J_p согласно (2.2)

$$J_p = -eD_p S \frac{p_n}{W} \left[\exp\left(\frac{eU_3}{kT}\right) - \exp\left(-\frac{eU_k}{kT}\right) \right] \quad (2.5)$$

Если к р-п-р структуре приложить разность потенциалов (рис.2.2), то она распределится между истоковыми слоями р-п переходов эмиттера и коллектора ($U = U_3 + U_k$). Падением напряжения вне р-п переходов (в нейтральной области эмиттера, базы и коллектора) можно пренебречь в виду их большой проводимости.

Включение батареи питания на р-п-р структуру

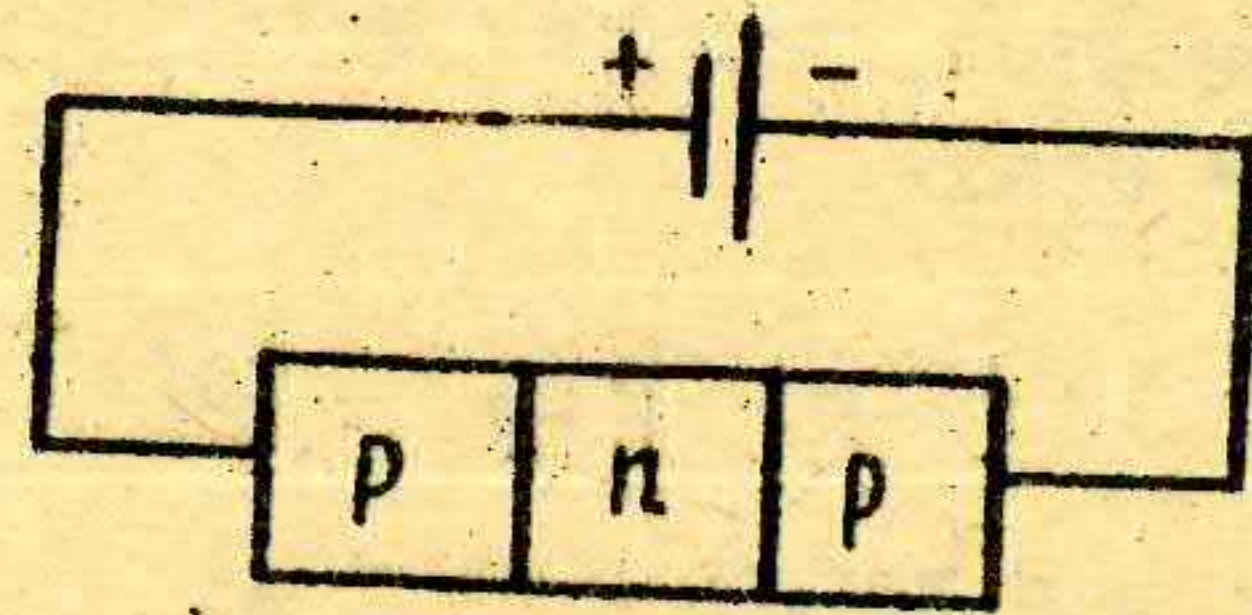


Рис. 2.2

При температуре $T = 300 \text{ К}$ $kT/e = 0,026 \text{ В}$. Поэтому при $U \ll 0,026 \text{ В}$ (например, при $U < 5 \text{ мВ}$), а значит, при $U_K < 0,026 \text{ В}$ и $U_2 < 0,026 \text{ В}$ экспоненты в выражении (2.5) можно разложить в ряд, ограничиваясь двумя первыми членами

$$J_p = eD_p S \frac{p_n}{W} \left(1 + \frac{eU_2}{kT} + \dots - 1 + \frac{eU_K}{kT} \right) = \frac{e^2 D_p S p_n}{kT W} U \quad (2.6)$$

Измеряя зависимость $J_p(U)$, которая при $U < 5 \text{ мВ}$ линейна, мы можем найти одну из двух основных характеристик полупроводника, расположенного между двумя р-п переходами (например, базы триода) - ее ширину W или ее проводимость $\sigma_n = e\mu_n n_n$.

Так как эмиттер и коллектор могут отличаться по своим сечениям и по проводимости, то измерение $J_p(U)$ при каждом значении U нужно провести дважды, меняя полярность напряжения относительно выводов эмиттера и коллектора.

3. ЗАДАНИЕ

3.1. Снять зависимость $J_p(U)$, меняя напряжение через интервалы в $0,5 \text{ мВ}$ для триодов, предложенных преподавателем.

3.2. Используя полученную зависимость $J_p(U)$, по формуле (2.6) найти ширину базы W триодов П13, П14, П16, МП41, П201.

4. СПРАВОЧНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ РАСЧЕТА ШИРИНЫ БАЗЫ ТРИОДА

Коэффициент диффузии дырок в германии $D_p = 44 \text{ см}^2/\text{с}$, подвижность электронов в германии $\mu_n = 3800 \text{ см}^2/\text{В}\cdot\text{с}$. Постоянная Больцмана $k = 1,38 \times 10^{-23} \text{ Дж/град}$; $1эВ = 1,6 \times 10^{-19} \text{ Дж}$; заряд электрона $e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ Кл}$.

$$\rho_n \approx n_n = p_n \cdot N_g = n_i^2 = 5 \cdot 10^{26} \text{ см}^{-3}$$

Для триодов П13, П14, П16 считать ширину базы, полагая

$$\rho_n = 1-2 \text{ Ом}\cdot\text{см}$$

$$S = 3 \times 10^{-3} \text{ см}^2$$

молоточик

для П201

$$\rho_n = 1,5-2 \text{ Ом}\cdot\text{см}$$

$$S = 0,3 \text{ см}^2$$

молоток

5. ПОРЯДОК РАБОТЫ

5.1. Собрать схему (рис.5.1). Обратить особое внимание на полярность при подключении измерительных приборов. Приборы должны быть заарретированы. Сопротивление регулировки напряжения на макете вывести в положение минимума (выводить до упора против часовой стрелки).

5.2. С разрешения преподавателя разарретировать милливольтметр и микроамперметр (после этого перемещать приборы воспрещается).

Электрическая схема макета

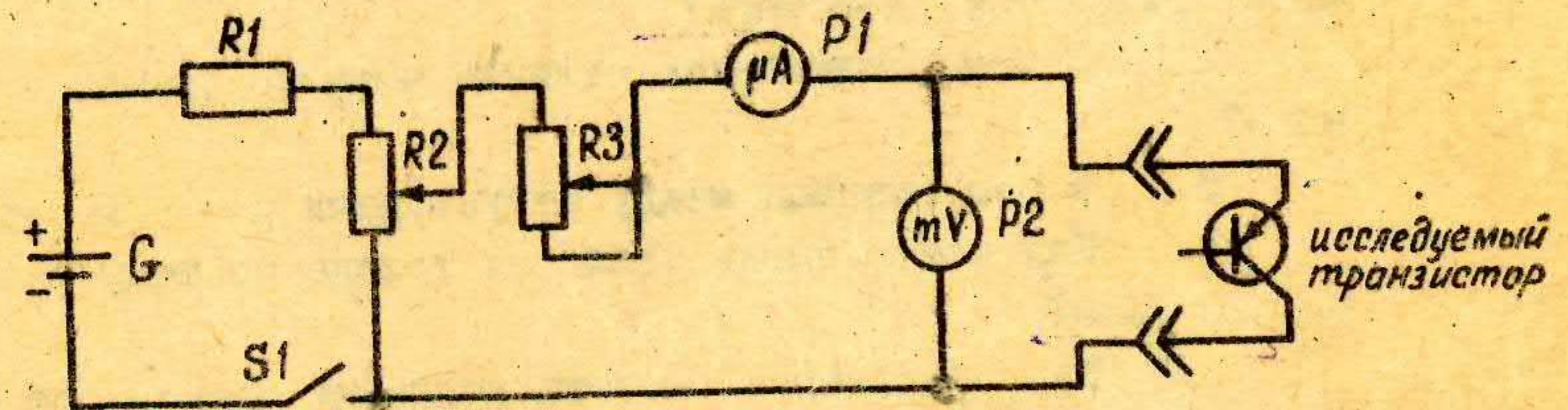


Рис. 5.1

5.3. Включить макет и, повышая плавно напряжение с помощью сопротивления регулировки напряжения $R2$ и $R3$, произвести необходимые измерения.

5.4. После окончания работы приборы обязательно вновь заарретировать, поставить пределы наименьшей чувствительности.

5.5. В данной работе транзистор испытывается при напряжении не более 5 мВ между коллектором и эмиттером при отключенной базе. Штепсельная вилка с укрепленным на ней транзистором включается в соответствующие гнезда макета.

5.6. Измерения проводятся через 0,5 мВ. Далее полярность включения эмиттер-коллектора изменяется и измерения повторяются.

5.7. По средним значениям строится график зависимости тока от напряжения и производится требуемый расчет. При расчете значения тока и напряжения брать на линейном участке зависимости $I = f(U)$.

5.8. Все переключения в схеме следует производить обязательно при полностью выведенных сопротивлениях регулировки напряжения. В противном случае возможна порча прибора. Исследования производятся на следующих триодах:

- | | |
|---------|--|
| 1) П13 | } маломощные сплавные германиевые триоды (р-п-р) |
| 2) П14 | |
| 3) П16 | |
| 4) П201 | могущий сплавный германиевый триод (р-п-р) |

6. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

6.1. Как влияет ширина базы W на ток коллекторного перехода?

6.2. В каких случаях и почему ток коллектора будет практически равен току эмиттера?

6.3. В чем заключаются отличия мощного триода от маломощного?

6.4. В чем разница между структурами р-п-р и п-р-п?

6.5. Как коэффициент усиления триода по току зависит от ширины базы?

6.6. Как предельная частота усиления зависит от ширины базы триода?

7. РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

- 7.1. Федотс А.Я. Основы физики полупроводниковых приборов. М.: Сов.радио, 1963. -С.208-242.
- 7.2. Степаненко И.П. основы теории транзисторов и транзисторных схем. -М.: Энергия, 1973. -С.164-170.
- 7.3. Гаман В.И. Физика полупроводниковых приборов. -Томск: Изд-во Томск.гос.ун-та, 1989. -334с.