

# Лабораторная работа

## «Измерение ширины запрещённой зоны»

### Описание лабораторной установки и практические задания

(п.п. с 1 по 4 читаем в описании к лабораторной работе)

#### 5. Методика измерений

Изменение удельной электропроводности полупроводника производится на постоянном токе методом компенсации по схеме, приведённой на рис. 5.1.

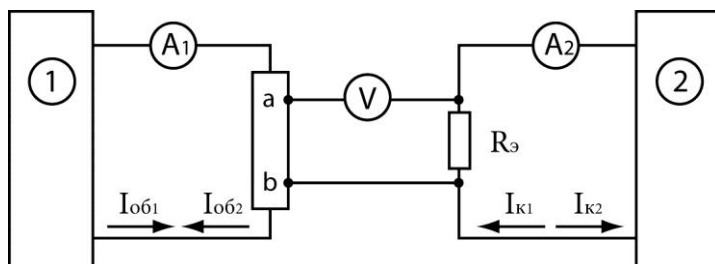


Рис. 5.1.

Регулируемый источник тока (1) задаёт ток образца  $I_{об}$ , измеряемый амперметром  $A_1$ . Регулируемый источник тока (2) задаёт ток компенсации  $I_k$  через эталонный резистор  $R_э$ , величина этого тока измеряется амперметром  $A_2$ . Напряжение  $U_{ab}$  между зондовыми электродами а и б сравнивается с напряжением компенсации  $U_k$  на эталонном резисторе  $R_э$  при помощи индикатора компенсации  $V$ .

При проведении измерений нужно установить ток образца, затем, изменяя ток компенсации, добиться нулевых показаний индикатора компенсации  $V$ . В этом случае напряжение  $U_k$  на эталонном резисторе  $R_э$  будет равно напряжению  $U_{ab}$ :

$$U_{ab} = U_k = I_k R_э$$

В реальной ситуации между зондовыми электродами будут паразитные потенциалы, связанные, во-первых, с влиянием переходного сопротивления на контактах «образец – подводящие провода», во-вторых, появлением термоЭДС на контактах полупроводника с металлом при нагреве образца.

Для того чтобы устранить влияние этих потенциалов, измерение тока компенсации производится дважды. Получив первый отсчёт  $I_{к1}$ , изменяем направление тока через образец и через эталонный резистор, опять добиваемся равенства напряжений  $U_k$  и  $U_{ab}$ , снимаем второй отсчёт  $I_{к2}$ .

Обратите внимание, что полярности как разности потенциалов между электродами а и б, вызванной протеканием тока через образец, так и напряжения на  $R_э$ , сменились на противоположные, а паразитные потенциалы, зависящие от свойств контактов, и термоЭДС, зависящая от температуры образца, остались прежние. Таким образом, среднее арифметическое значение

$$I_k = \frac{I_{к1} + I_{к2}}{2}$$

будет содержать информацию только о полезной составляющей напряжения  $U_{ab}$ .

Величину падения напряжения  $U_k$  легко подсчитать:

$$U_k = I_k R_э$$

Величину сопротивления участка образца расположенного между зондовыми электродами а и б ( $R_{об}$ ) можно определить из равенства:

$$R_{об} = \frac{U_k}{I_{об}} = \frac{I_k R_э}{I_{об}}$$

Зная размеры образца: а - ширина (см), d - толщина (см), l - расстояние между электродами а и б (см), можно рассчитать удельное сопротивление образца:

$$\rho = \frac{ad}{l} R_{об} \quad (\text{Ом см})$$

или обратную величину - электропроводность:  $\sigma = 1/\rho$  (Ом-1 см-1).

## 6. Схема лабораторной установки

Внешний вид установки можно увидеть на рис. 6.1, а её схему – на рис. 6.2.



Рис. 6.1.

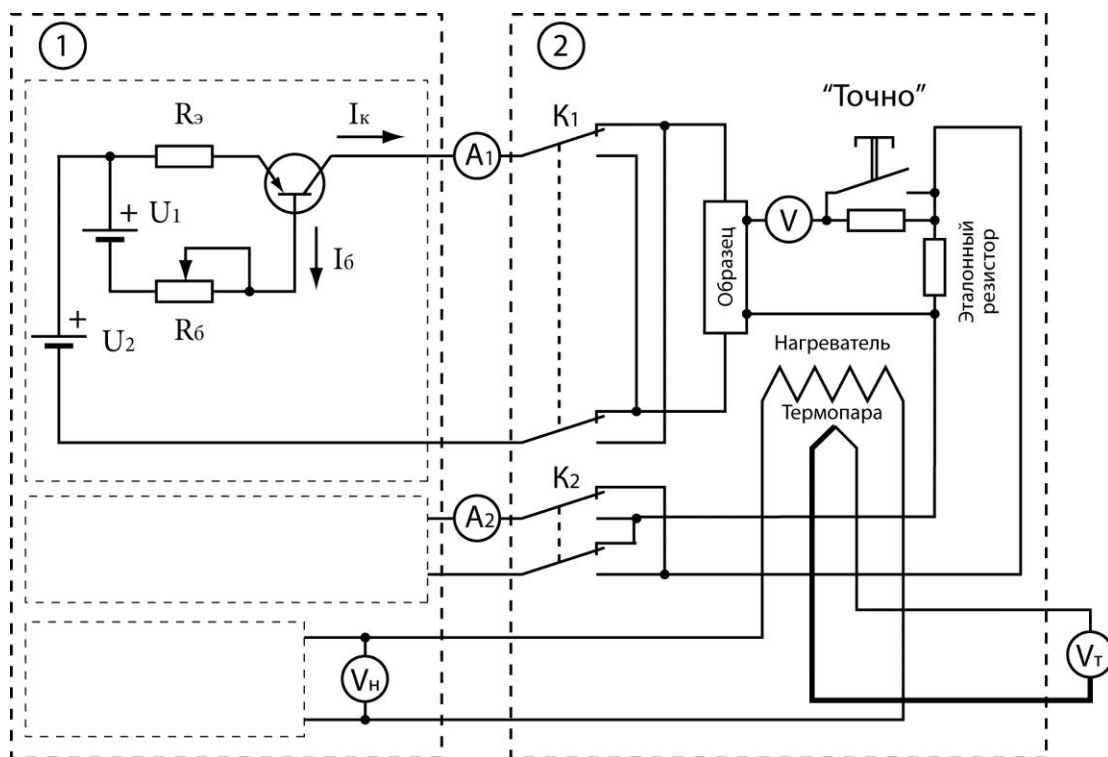


Рис. 6.2.

Блок питания (1) содержит в себе два регулируемых стабилизатора тока (для образца и эталонного резистора) и регулируемый источник питания нагревателя образца, напряжение на выходе которого контролируется вольтметром  $V_n$ . На верхней крышке измерительного блока (2) находится трубчатый керамический нагреватель, в котором размещён исследуемый образец и термопара для измерения температуры. Нагреватель с образцом и термопарой закрыт защитным цилиндром. В корпусе измерительного блока (2) располагается эталонный резистор  $R_3$ , на передней панели – переключатели направления тока образца и компенсации  $K_1$  и  $K_2$ , индикатор компенсации  $V$  с переключателем чувствительности «Точно». Измерение токов образца и компенсации

производится миллиамперметрами  $A_1$  и  $A_2$  для измерения ЭДС термопары используется милливольтметр  $V_T$ , показания которого пересчитываются в температуру по градуировочному графику (рис. 6.3).

### Градуировка термопары

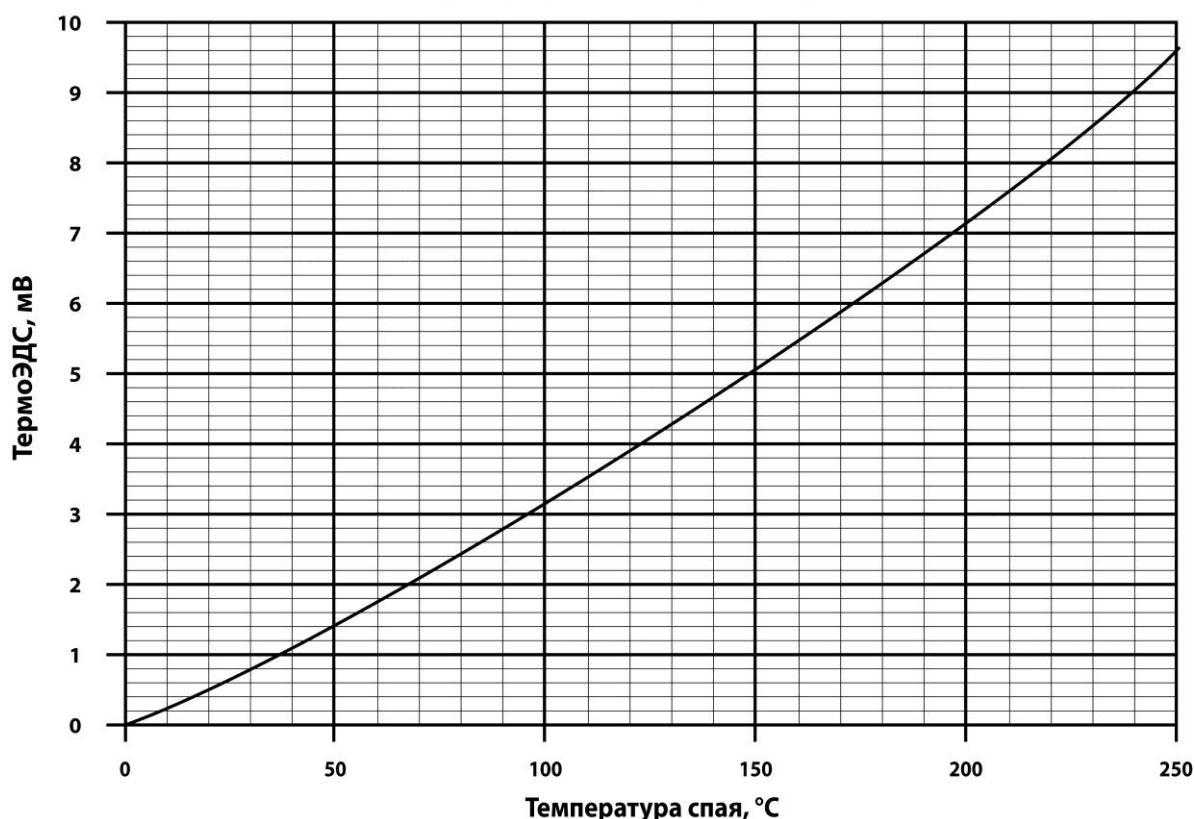


Рис. 6.3.

### 6.1. Регулируемый стабилизатор тока

Теоретически стабилизатор тока представляет собой источник питания с бесконечно большим выходным сопротивлением и бесконечно большим выходным напряжением. Не путайте его со стабилизатором напряжения, который имеет нулевое выходное сопротивление и может выдать бесконечно большой ток (в теории, конечно). Перепутать их всё равно, что перепутать собаку с кошкой!!

В качестве управляющего элемента стабилизатора тока используется биполярный транзистор, включённый по схеме с общим эмиттером. Резистором  $R_6$  можно изменять ток базы транзистора, что будет приводить к изменению тока коллектора транзистора (от 0 до 100 мА), в цепь которого включается нагрузка (образец, эталонный резистор). В данной схеме определяющим является свойство транзистора поддерживать ток коллектора независимо от напряжения на коллекторе, естественно, в определённом диапазоне и с определённой точностью (см. рис. 6.4).

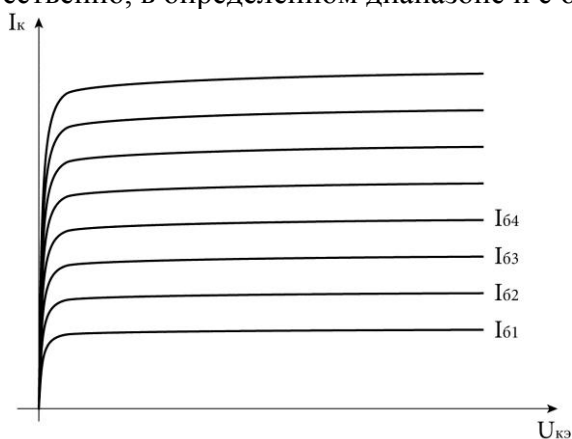


Рис. 6.4.

Для увеличения стабильности значения тока служит резистор  $R_3$  (не путайте с эталонным резистором на рис. 5.1), через который осуществляется отрицательная обратная связь по току: если, например, сопротивление образца уменьшится (при его нагреве), ток в цепи образца увеличится, что приведёт к уменьшению тока базы транзистора  $I_b$ , т. к.

$$I_b = (U_1 - R_3 \cdot I_k) / (R_b + R_{b3}), \text{ где } R_{b3} - \text{сопротивление перехода база-эмиттер.}$$

Уменьшение тока базы уменьшит ток коллектора, а значит, и ток образца до прежней величины.

Аналогичные по схемному решению стабилизаторы тока используются для подачи тока в цепь компенсации (на эталонный резистор) и на нагреватель.

## **6.2. Миллиамперметры $A_1, A_2$**

Для измерения тока образца и тока компенсации в установке используется многопредельные миллиамперметры, изготовленные на базе серийного микроамперметра. Как пользоваться многопредельными приборами, можно прочесть на сайте [www.rf.unn.ru/eledop](http://www.rf.unn.ru/eledop) в разделе «Студентам – Инструкции к приборам».

## **6.3. Милливольтметр $U_T$**

Милливольтметр используется для измерения термоЭДС термопары, установленной внутри нагревателя рядом с образцом. По градуировочному графику (рис. 6.3) можно определить температуру спаев термопары. Не забывайте, что термопары градуируются при температуре свободных концов  $0^\circ\text{C}$ .

## **6.4. Образец**

Измеряемый образец изготовлен из германия, его размеры и расстояние между зондами написаны на передней панели измерительного блока.

## **6.5. Нагревательный элемент**

Для нагрева образца с целью снятия зависимости его проводимости от температуры используется трубчатый керамический нагреватель, внутрь которого установлены образец и термопара. Температура нагревателя определяется величиной подаваемого с блока питания напряжения, которое контролируется вольтметром, находящимся на передней панели блока питания. Измерение температуры производится посредством термопары, расположенной внутри нагревателя в непосредственной близости от образца. Максимально допустимая температура образца  $250^\circ\text{C}$ .

## **6.6. Термопара**

Термопара служит для измерения температуры образца. Её термоЭДС измеряется милливольтметром  $U_T$  и по градуировочному графику (рис. 6.3) пересчитывается в температуру. Не забывайте, что термопары градуируются при температуре свободных концов  $0^\circ\text{C}$ .

## **6.7. Индикатор компенсации**

Индикатором компенсации  $V$  является милливольтметр с нулём в середине шкалы, он показывает разность между напряжением на измерительных электродах образца и напряжением на эталонном резисторе. С целью расширения диапазона чувствительности индикатора в его цепь включен ограничительный резистор, замыкаемый кнопкой «Точно».

## **6.8. Переключатели направления тока**

Переключатели  $K_1$  и  $K_2$  служат для изменения направления тока образца и тока компенсации, что необходимо для компенсации паразитных напряжений.

## **7. Практические задания**

7.1. Произведите измерение электропроводности образца при комнатной температуре. Установив ток образца 5-10 мА, добейтесь нулевого отклонения индикатора компенсации сначала грубой

регулировкой тока компенсации, затем точной, нажав при этом кнопку «Точно» на передней панели измерительного блока. Проведите это же, сменив направление тока.

7.2. Проведите такие же измерения при различных температурах. Включив нагрев образца, установите напряжение нагревателя примерно 10% от максимального значения. Температура устанавливается в течение 5–10 минут. Увеличивая напряжение нагревателя, снимите температурную зависимость тока компенсации (для двух направлений тока при каждом значении температуры) через 15–20 °С.

Максимально допустимая температура образца 250 °С.

С увеличением температуры для обеспечения удовлетворительной точности измерений потребуется увеличить ток образца.

## **8. Техника безопасности**

8.1. В лабораторной установке используется **опасное для жизни напряжение**.

8.2. Сборку, разборку и изменение схемы можно производить **только при выключенном питании**.

8.3. После сборки схемы перед её включением следует пригласить заведующего лабораторией. Он проверит правильность сборки схемы и проведёт инструктаж по технике безопасности на рабочем месте.

8.4. Защитный цилиндр, расположенный на верхней стенке измерительного блока нагревается до высокой температуры. **Остерегайтесь ожога**.

*Далее по тексту старого описания: п. 7. Задания по обработке результатов.*