

Лабораторная работа №5.

ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ И ЕЕ ТЕМПЕРАТУРНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ.

Цель работы: Измерение температурной зависимости электропроводности и определение ширины запрещенной зоны.

Приборы: потенциометр Р307, миллиамперметр, блок питания УИП, нуль-гальванометр, потенциометр ПП-63, печь, латр, магазин сопротивлений Р33.

ТЕОРИЯ.

Одним из важнейших свойств полупроводников является существование запрещенного промежутка энергий между плотностью заполненной электронами при 0К валентной (V) зоной и следующей, свободной при той же температуре, зоной проводимости (С, рис. 1). Запрещенный промежуток ΔE_g , определяющий энергию активации процесса освобождения валентных электронов от связей с атомами, в большинстве полупроводников не слишком велик. Поэтому в пределах температур, когда состояние самой кристаллической структуры вещества остается устойчивым, заметное количество электронов переходит в зону проводимости и при наложении электрического поля может переносить ток. Квантовомеханический анализ процесса показывает, что появляющиеся при этом свободные места в валентных связях ведут себя как положительные свободные носители заряда, называемые дырками. Концентрация тех и других ($n = p = n_i$) определяет собственную электропроводность полупроводника при данной температуре:

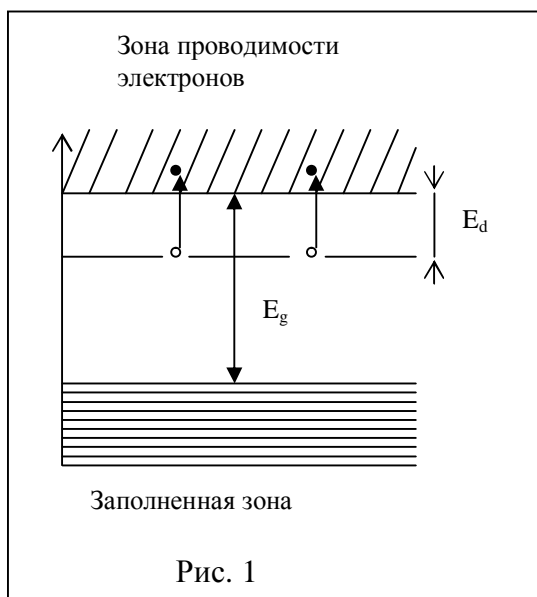
$$\sigma = qn_i(\mu_n + \mu_p) \quad (1)$$

где q – заряд, а μ_n и μ_p – подвижности электронов и дырок, представляющие собой скорости их дрейфа в электрическом поле единичной напряженности.

Примесной проводимостью полупроводников называется их электропроводность, обусловленная наличием примесных центров. Под примесными центрами подразумеваются различного рода дефекты, нарушающие периодичность кристаллической решетки: атомы посторонних элементов (примеси), вакансии, атомы или ионы, находящиеся в междоузлиях и т.д.

Примесные включения вносят изменения в периодическое электрическое поле кристалла и влияют на их энергетические состояния. Энергетические уровни валентных электронов примесных атомов образуют примесные энергетические

уровни, расположенные в запрещенной зоне (локальные уровни) (рис. 1). Примеси могут служить дополнительными источниками электронов в кристалле. Например, при замещении одного 4-валентного атома германия 5-валентным атомом фосфора



или сурьмы, один электрон не может образовать ковалентной связи и является лишним.

Энергетический уровень такого электрона располагается ниже зоны проводимости (см рис. 1).

Подобные уровни, заполненные электронами, называются донорными. Атомы примесей, поставляющие электроны, называются атомами – донорами. Для перевода электронов с донорных уровней в незаполненную зону проводимости необходима малая энергия E_d . Например, для

кремния $E_d = 0,054$ эВ, если примесью является мышьяк (E_d кремния равен 1,1 эВ).

В результате переброса электронов с донорных уровней в зону проводимости в полупроводнике возникает электронная примесная проводимость. Полупроводники такого типа называются электронными, или полупроводниками n-типа.

Выражение для проводимости примесного полупроводника имеет следующий вид:

$$\sigma = \sigma_0 \exp\left(-\frac{E_d}{2kT}\right) \quad (2)$$

На рис. 2 показана схематическая зависимость $\ln\sigma$ ($1/T$) для примесного полупроводника. На этой кривой можно выделить три характерные области ab, bc, cd. Область (ab) соответствует низким температурам и простирается до температуры T_s истощения смеси. При низких температурах тепловая энергия колебаний решетки kT значительно меньше ширины запрещенной зоны E_g , вследствие чего они не могут обеспечить переброс электронов в зону проводимости. Но этой энергии оказывается достаточно для переброса в зону проводимости электронов с донорских уровней E , т.к. $E_d \ll E_g$. Поэтому при низких температурах проводимость определяется возбуждением лишь «примесных» носителей заряда. Т.е., область (ab) примесной проводимости

полупроводника, возникающей вследствие ионизации «примесных» носителей заряда, дающих «примесные» носители тока. Область (bc) занимает промежуток от температуры истощения примесей T_s (т.е. полной тонизации всех примесей) до температуры перехода к собственной проводимости T_i . В этой области не происходит заметного возбуждения собственных носителей, и все примесные атомы полностью ионизированы. Поэтому концентрация примесей $n \approx N_d$ и изменяется слабо.

Область (cd) соответствует переходу к собственной проводимости полупроводника. При высоких температурах начинается интенсивное возбуждение

собственных носителей. Но до тех пор, пока концентрация собственных носителей n_i остается много меньше N_d ($n_i \ll N_d$). В этом случае $n = n_i + N_d \approx n_i$. Это соответствует переходу к собственной проводимости полупроводника. Температура T_i такого перехода тем выше, чем больше ширина запрещенной зоны полупроводника и концентрация примесей в нем.

Практически при исследовании температурной зависимости проводимости полупроводников часто

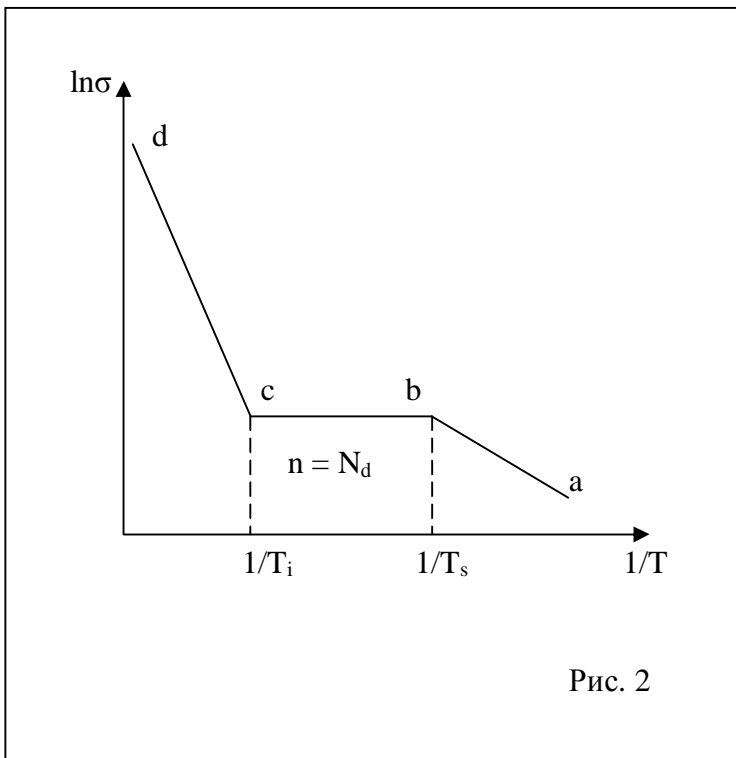


Рис. 2

пользуются не проводимостью, а просто сопротивлением R . Для полупроводника n – типа:

$$R = R_0 e^{\frac{E_d}{2kT}}$$

$$\ln R = \ln R_0 + \frac{E_d}{2k} \frac{1}{T} \quad (3)$$

Измерив температурный ход $R(T)$ в области низких температур, можно из (3) определить энергию ионизации примеси, а в области высоких – ширину запрещенной зоны E_g . В этом случае

$$\ln R \approx \ln R_0 + \frac{E_g}{2k} \frac{1}{T} \quad (4)$$

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА И МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЙ.

1. Соберите установку (см. рис.3). Образец представляет собой полупроводниковый терморезистор, помещенный в кварцевую трубочку. С помощью соединительных проводов он подключается к измерительному прибору (клемма R_x). Для измерения сопротивления используется универсальный вольтметр В7-26 в соответствующем режиме работы.

Для измерения температуры образца используется термопара медь-константан, которая помещается в ту же кварцевую трубочку рядом с терморезистором. В качестве милливольтметра для измерения термо-ЭДС используется цифровой вольтметр.

2. Установите самые грубые пределы измерения прибора В7-26 и цифрового вольтметра, включите и прогрейте в течение 15 – 20 мин.

3. Для измерения в области температур выше комнатной, терморезистор с термопарой поместите в электрическую печь и проведите измерения от комнатной температуры до 150⁰С (423 К). Поскольку холодный спай термопары содержится при комнатной температуре, к полученной температуре необходимо прибавить значение комнатной температуры.

4. Постройте график $\ln R$ от $1/T$. Определите из него энергию ионизации донорной примеси E_d .

5. Результаты измерений занесите в таблицу.

T(K)	R (Ом)	lnR	1/T (K ⁻¹)
------	--------	-----	------------------------

ВОПРОСЫ.

1. Нарисовать зонную энергетическую схему собственного и n – типа невырожденных полупроводников.

2. Объяснить механизм проводимости в собственных полупроводниках.

3. Записать формулу электропроводности для всех типов полупроводников.

4. Дать определение подвижности носителей заряда.
5. Расскажите на примере элементарного полупроводника германия как меняется проводимость его при наличии примесей.
6. В чем состоит физический смысл уровня Ферми?
7. Запишите формулу, связывающую электропроводность с температурой.
8. Как найти ширину запрещенной зоны из температурной зависимости электропроводности?
9. Дайте детальное описание схемы и установки.
10. Расскажите о порядке производимых измерений.

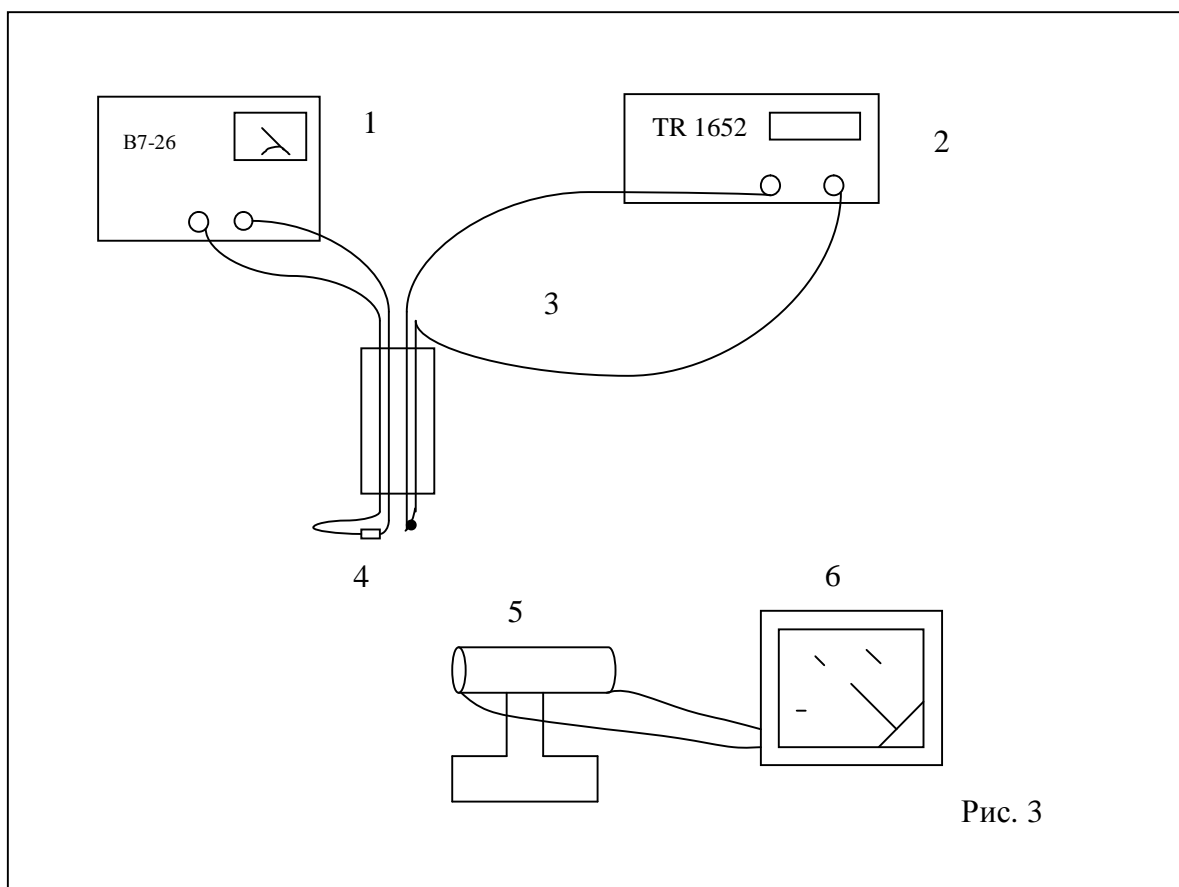


Рис. 3

- 1 – универсальный вольтметр В7-26
- 2 – цифровой вольтметр
- 3 – термопара
- 4 – терморезистор
- 5 – электрическая печь
- 6 - ЛАТР

