

УДК 621.316.825
ГРНТИ 14.35.09

ОСОБЕННОСТИ ПОСТАНОВКИ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ ПО ИЗУЧЕНИЮ СВОЙСТВ ПОЛУПРОВОДНИКОВ В КУРСЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ

Ткаченко Тамара Михайловна

к.ф.-м.н., доцент, доцент кафедры практической подготовки студентов

Барайшук Сергей Михайлович

к.ф.-м.н., доцент, заведующий кафедрой практической подготовки студентов

Нефедов Святослав Святославович

старший преподаватель кафедры практической подготовки студентов

Белорусский государственный аграрный технический университет

Республика Беларусь, г. Минск

Аннотация: Описывается методика постановки и проведения лабораторной работы по дисциплине «Электротехнические и конструкционные материалы» с использованием универсального электромонтажного комплекса производства НТП «Центр». Лабораторная работа посвящена изучению зависимости электротехнических характеристик полупроводниковых компонент от температуры. Работа интегрирована в другие дисциплины, изучаемые студентами энергетических специальностей.

Ключевые слова: Лабораторная работа, полупроводник, электротехнические характеристики, полупроводниковые компоненты, температура междисциплинарные связи.

SPECIFIC FEATURES OF LABORATORY WORK FOR STUDYING THE PROPERTIES OF SEMICONDUCTORS IN THE COURSE OF MATERIALS SCIENCE

Tkachenka Tamara Mikhailovna

PhD, Associate Professor, associate professor of the Department of practical training of students

Baraishuk Siarhey Mikhailovich

PhD, Associate Professor, head of the Department of practical training of students

Nefedov Svetoslav Svetoslavovich

senior lecturer of the Department of practical training of students

Belarusian State Agrarian Technical University

Republic of Belarus, the city of Minsk

Abstract: The article describes the methodology of setting up and conducting laboratory work in the discipline "Electrical and structural materials" using Belarusian universal electrical installation complex. The laboratory work is devoted to the study of the dependence of the electrical characteristics of semiconductor components on temperature. The work is integrated into other disciplines studied by students of energy specialties.

Key words: Laboratory work, semiconductor, electrical performance, semiconductor components, temperature.

Введение. Обновление практикума по материаловедению в Белорусском аграрном техническом университете потребовало некоторых принципиальных изменений, в частности, в методике постановки лабораторных работ по изучению свойств полупроводниковых материалов, важных для их применения в электротехнических изделиях. Такие изменения связаны, в первую очередь, с сокращением времени обучения и переходом на четырехлетнюю подготовку специалистов инженеров-энергетиков. В том числе сокращено время обучения физике, в процессе углубленного изучения которой

студенты приобретают знания принципиальных законов природы, необходимые при изучении материаловедения. В связи с этим обстоятельством, важнейшим требованием при подготовке лабораторного практикума по материаловедению становится требование придания ему интеграционного характера. Латинское «enteger» означает полный, цельный, ненарушенный процесс или действие, имеющий своим результатом целостность, объединение, соединение. [1]. Существует несколько интеграционных моделей [2], в нашем случае, мы постарались реализовать междисциплинарную интеграцию материаловедения, физики, электротехники. Такой синтез содержания учебных дисциплин позволяет сформировать у студентов целостное представление о свойствах и особенностях применения электротехнических и конструкционных материалов.

Еще одной особенностью современного процесса обучения является требование усиления его практической (практико-профессиональной) направленности. В этой связи, в постановке новой лабораторной работы по изучению полупроводников в курсе материаловедения следует учесть особенности их практического применения. А именно то, что полупроводники в электротехнических устройствах в чистом - «собственном» - виде не используются. Требуемые электротехнические свойства для практического применения полупроводников – проводимость электронного или дырочного типа - искусственно наводятся в них путем легирования. Но и легированные полупроводники в технике используются только в виде различных комбинаций, создающих простейшие полупроводниковые устройства, называемые полупроводниковыми компонентами или элементами.

Перечисленные особенности изучения полупроводников следовало учесть при составлении измененного курса. В процессе изучения теории в курсе материаловедения освещаются свойства и полупроводников, и простейших полупроводниковых приборов и элементов. А при постановке новой лабораторной работы, как элемента практической подготовки, мы ориентировались на изучение свойств простейших полупроводниковых элементов, как непосредственно применяемых на практике.

Методика постановки лабораторной работы. Как известно, полупроводниковыми компонентами являются простейшие устройства, состоящие из нескольких полупроводников с разными свойствами. Если рассматривать идеальные, «собственные» полупроводники, то их проводимость есть результат разрыва ковалентных связей и образования пар электрон – дырка. При низких температурах у идеальных полупроводников свободные носители заряда отсутствуют, и они не проводят электрический ток. Целенаправленное введение примесей в материал с целью придания нужных свойств называется легированием. Чтобы получить преобладание в полупроводнике электронов, его необходимо легировать примесью с большей валентностью, чем его собственная, а полупроводник с электронной проводимостью называют полупроводником *n*-типа. Для получения полупроводника с преобладающей дырочной проводимостью, его легируют примесью с валентностью, меньшей, чем его собственная (полупроводник *p*-типа). Собственная проводимость идеального полупроводника не относится ни к типу *n*, ни к типу *p* и существует только в теоретических построениях, так как совершенно чистых веществ не существует.

Основными электротехническими характеристиками материалов являются удельная проводимость γ и удельное сопротивление ρ . Для полупроводников удельная проводимость есть сумма электронной и дырочной проводимостей, которые рассчитываются отдельно:

$$\gamma_n = \mu_n n_0 q, \quad (1)$$

$$\gamma_p = \mu_p p_0 q, \quad (2)$$

где γ_n и γ_p электронная и дырочная удельные проводимости соответственно, См;
 μ_n и μ_p – подвижности электронов и дырок соответственно, м²/В·с;

n_0 – концентрация электронов (дырок), м^{-3} ;
 q – заряд электрона, Кл.

Температура влияет на собственную проводимость полупроводников. Подвижность носителей заряда μ , определяемая их эффективной массой, скоростью и частотой столкновений с узлами и дефектами кристаллической решетки, слабо зависит от температуры. На характер зависимости проводимости полупроводника от температуры основное влияние оказывает концентрация носителей заряда. Если за счет внешней энергии повысить температуру полупроводника, то некоторые слабо связанные электроны атомов примесей могут перейти в зону проводимости. Для этого нужна энергия много меньшая, чем энергия активации электронов самого полупроводника. С ростом температуры концентрация носителей заряда в полупроводнике возрастает, следовательно, проводимость растет, а сопротивление падает (рисунок 1).

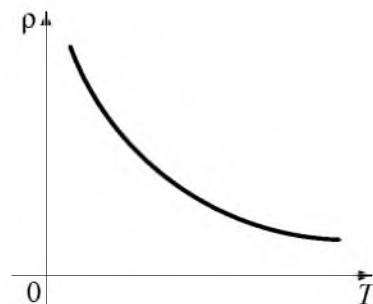


Рис. 1 Зависимость удельного сопротивления полупроводников от температуры

Сильная зависимость удельной электрической проводимости полупроводников от температуры используется для создания температурно-зависимых резисторов-терморезисторов.

Терморезистором называется простейший полупроводниковый компонент с температурозависимым электрическим сопротивлением. Изобретенный в 1930 году ученым Самюэлем Рубеном, этот компонент находит самое широкое применение в технике. Изготавливают терморезисторы из различных материалов, температурный коэффициент сопротивления (ТКС) которых достаточно высок, то есть из особых, специфичных полупроводников (рисунок 2).



Рис. 2 Внешний вид терморезисторов

По характеру зависимости сопротивления элемента от температуры, терморезисторы разделяют на две большие группы – позисторы и термисторы.

Позисторы обладают положительным ТКС и применяются для защиты электродвигателей от перегрузки, для задержки времени включения импульсных блоков питания, в измерительных приборах, в устройствах памяти, в качестве саморегулирующихся нагревательных элементов и др.

Термистор – температурозависимый резистор, имеющий высокую чувствительность и обладающий отрицательным ТКС. Применяется для контроля

изменения температуры в бытовой технике (морозильники, фены, холодильники и т.д.); автомобильной электронике (измерение охлаждения антифриза, масла, контроль выхлопных газов и др.); кондиционерах (распределение тепла, контроль температуры в помещении); отопительных котлах, теплых полах, печах; электронике и др.

Материалами для терморезисторов сегодня служат: смеси поликристаллических оксидов переходных металлов, таких как кобальт, марганец, медь и никель, полупроводники $A^{III}B^V$ -типа, а также смеси легированных, стеклообразных полупроводников, таких как кремний и германий, и некоторых других веществ.

На рисунке 3 показан характер температурной зависимости сопротивления термистора и позистора.

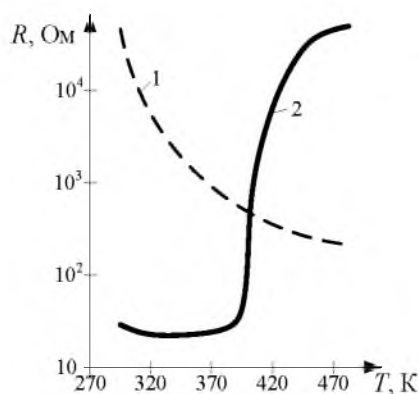


Рис. 3 Зависимость сопротивления термистора (1) и позистора (2) от температуры

Цель данной лабораторной работы – научить студентов различать и использовать на практике температурозависимые полупроводниковые компоненты, понимать существенную разницу между существующими типами терморезисторов.

В лабораторной работе первоначально осуществляется измерение зависимости сопротивления полупроводниковых компонент от температуры, лабораторная установка для измерения представлена на рисунке 4 [5].

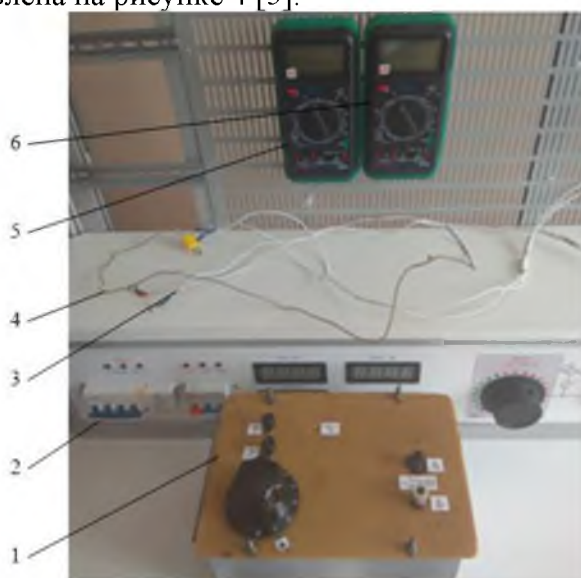


Рис. 4 Внешний вид лабораторной установки: 1 – испытательная ёмкость; 2 – базовый стенд НТЦ-08.47.1 "Электромонтажный комплекс"; 3 – измерительные провода; 4 – датчик температуры (термопара); 5, 6 - многофункциональные цифровые мультиметры Mastech MY64 соответственно M1 и M2

Лабораторная установка представляет собой базовый стенд НТЦ-08.47.1 "Электромонтажный комплекс" 2, на который установлена испытательная ёмкость 1. Мультиметр 5 (М1) и датчик температуры (термопара) 4 используются для измерения температуры полупроводниковых компонент, загруженных в испытательную ёмкость 1. Мультиметр 6 (М2) с помощью измерительных проводов 3 подключается к испытательной ёмкости 1 для измерения сопротивления образцов полупроводников.

Измерительная панель испытательной ёмкости представлена на рис.5.

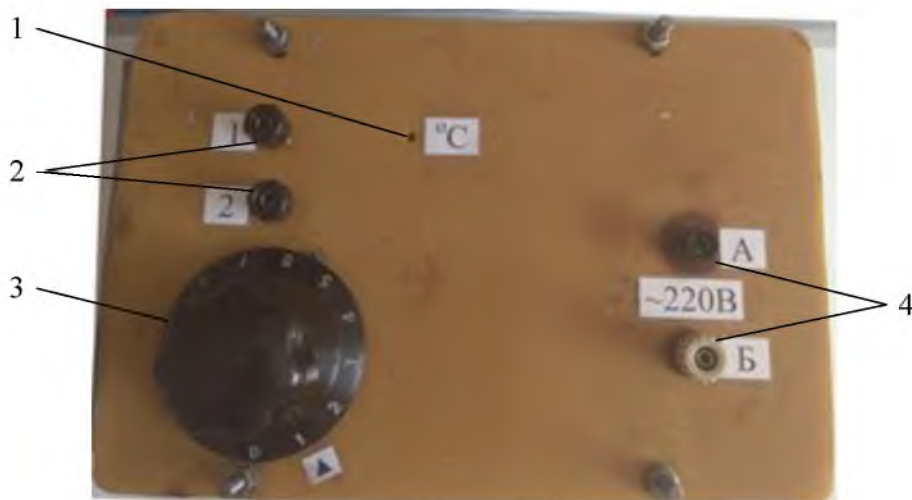


Рис. 5 Измерительная панель испытательной ёмкости: 1 – отверстие для датчика температуры; 2 – зажимы для подключения мультиметра М2; 3 – пакетный переключатель; 4 – зажимы для подключения к источнику питания

В отверстие 1 опускается датчик температуры, подключенный к мультиметру М1. К зажимам 2 («1» и «2») через пакетный переключатель 3 внутри ёмкости подсоединены образцы полупроводниковых компонент. Для измерения их сопротивления к зажимам 2 с помощью измерительных проводов подключается мультиметр М2. К зажимам 4 («А» и «Б») внутри ёмкости подсоединен нагреватель. С помощью измерительных проводов зажимы 4 подключаются к стенду НТЦ-08.47.1 "Электромонтажный комплекс" для питания установки от сети переменного напряжения 220В. Таким образом, данная работа позволяет расширить функциональные возможности стенда, и интенсивно задействовать его в учебном процессе не только для электромонтажных работ, но и при изучении материаловедения.

Лабораторная установка работает следующим образом. При подаче напряжения питания на нагреватель через зажимы «А» и «Б», происходит нагрев трансформаторного масла, которым заполнена испытательная ёмкость. В результате образцы полупроводниковых компонент, которые погружены в ёмкость с трансформаторным маслом, также нагреваются. Диапазон температур от комнатной до $T = 90\text{ }^{\circ}\text{C}$ студенты проходят с шагом $5\text{ }^{\circ}\text{C}$, для каждой температуры замеряя сопротивления всех исследуемых компонент. Замеры проводят одновременно для нескольких компонент, используя для перехода от одной к другой пакетный переключатель 3, последовательно переводя его в нужные положения от 1 до N. Данные заносятся в таблицу.

По окончании экспериментальной части работы, необходимо построить температурные зависимости сопротивлений исследуемых компонент, затем сравнить построенные графические зависимости $R=f(T)$ с зависимостями, представленными на рисунке 3. Конечная задача работы – определить какие полупроводниковые компоненты, находятся в установке под заданными номерами.

Такая схема лабораторной установки позволяет выдавать студентам индивидуальные задания на работу, заменять часть элементов и выполнять работу при частичном выходе из строя некоторых исследуемых элементов. К пакетному переключателю подключено большое число температурозависимых полупроводниковых компонент, а в качестве задания для исследований выдаются индивидуальные наборы компонент под различными номерами. Задания можно также усложнить путем набора позисторов с существенно отличающимися областями температурного роста удельного сопротивления. Так, на рис.3 показана область стабильности сопротивления позистора до температур $\sim 380-390\text{K}$, после которой сопротивление резко возрастает, однако можно выбрать позисторы с областями роста удельного сопротивления для гораздо более высоких температур. Наша лабораторная установка рассчитана на измерения температурной зависимости удельного сопротивления до температур порядка $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ (385K), то есть для некоторых позисторов эксперимент не позволяет дойти до областей роста сопротивления. Однако, в заданной экспериментальной температурной области ($20-90\text{ }^{\circ}\text{C}$) вид температурной зависимости удельного сопротивления со слабым его падением может ввести в заблуждение при расшифровке наименования соответствующей полупроводниковой компоненты.

Заключение. На кафедре практической подготовки студентов агроэнергетического факультета БГАТУ разработан лабораторный практикум по дисциплине «Электротехнические и конструкционные материалы» [6], в состав которого входит лабораторная работа по исследованию свойств различных температурозависимых полупроводниковых компонент, позволяющая ознакомит студентов с работой простейших полупроводниковых компонент с различными температурными коэффициентами сопротивления. При выполнении лабораторной работы студенты развивают навыки работы с измерительным оборудованием, учатся сопоставлять экспериментальные и теоретические данные и делать самостоятельные выводы по наблюдаемым изменениям свойств, формируя навыки выбора элементов схем. Работа, безусловно, носит интеграционный, междисциплинарный характер и практическую направленность, способствуя формированию профессиональных компетенций инженера-энергетика.

Список литературы:

1. Лопаткин, В.М. Интегративные тенденции в развитии образовательных систем: Международный и Российский опыт / В.М. Лопаткин // Вестник ТГПУ. Сер. Естественные и точные науки. – 2004. – № 6 (43). – С.141-148.
2. Интегративный подход в учебном процессе вуза / Г.Я. Гревцева [и др.] // Современные проблемы науки и образования. – 2017. – № 5.
3. Осипов, Интегративный подход в формировании компетенций в образовательном процессе / В.В. Осипов, Т.П. Бугаева // Современные наукоемкие технологии. – 2017. – № 1. – С.140-144.
4. Зимняя, И.А. Интегративный подход к оценке единой социально-профессиональной компетентности выпускников вузов / И.А. Зимняя, Е.И. Земцова // Высшее образование сегодня. – 2008. – №5. – С.14-19.
5. Барайшук, С.М. Особенности постановки лабораторной работы по изучению электрических свойств проводниковых и полупроводниковых материалов на базе универсального электромонтажного комплекса / С.М. Барайшук, Т.М. Ткаченко [и др.] // Весті БДПУ. Серія 3. – 2017. – № 4. – С.23-28.
6. Ткаченко, Т.М. Электротехнические и конструкционные материалы. Лабораторный практикум: учебно-методическое пособие / Т.М. Ткаченко, С.С. Нефедов, С.М. Барайшук. – Минск: БГАТУ, 2021. – 84 с.