

- 3) адаптивність;
- 4) систематичність і послідовність;
- 5) комп'ютерна візуалізація учебної інформації.

Дидактическая значимость усиливается тем, что студент имеет возможность использовать средства современной компьютерной графики, что обеспечивает усиление наглядности моделей изучаемых объектов или процессов. Все это стимулирует процесс усвоения учебного материала. Кроме этого электронный "Компьютерный практикум по физике" дает возможность свободного выбора режима работы за компьютером.

При создании компьютерного лабораторного практикума авторами учитывались основные психофизиологические особенности, возникающие при построении процесса обучения с помощью компьютеров. В частности, учитывались психологические и физиологические особенности восприятия человеком информации с экрана монитора:

- психологические требования к организации диалога;
- требования к пространственному размещению информации на экране монитора;
- требования к буквенно-цифровой символике и знакам;
- требования к яркостным и контрастным характеристикам, цветовому представлению информации.

Проведенный на кафедре педагогический эксперимент позволил утверждать, что эффект применения компьютерного лабораторного практикума увеличивается при его комплексном использовании с реальными лабораторными установками.

Практикум положительно зарекомендовал себя при опытным применении в МГТА, ее филиалах и представительствах (больше 70). Его можно предлагать в качестве дополнительного задания к экспериментам на реальных установках на ту же тему. Кроме того, наличие компьютерного лабораторного практикума существенно влияет на возможность организации дистанционного образования.

Криськов Ц.А., Левицький С.М., Мельник Н.В., Киселюк М.П.

Кам'янець-Подільський державний університет

РОЗРОБКА ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНИХ МАТЕРІАЛІВ

Пропонується лабораторна робота по визначенню температурної залежності термо-ЕРС для використання у курсі "Фізика твердого тіла". Метою роботи є ознайомлення студентів з принципом роботи термоелектричних пристроїв. Для прикладу наведені графіки температурних залежностей цього коефіцієнта у різних зразках.

Laboratory work by definition of temperature dependence thermo-EMF for introduction in a rate "Solid State Physic's offered. The purpose this work is acquaintance of students with a principle of work of thermoelectric devices. For an example schedules of temperature dependence of this factor at various samples are resulted.

У зв'язку з інтенсивним розвитком технологічних процесів мікроелектроніки та розробкою нових пристроїв є потреба в ознайомленні студентів з окремими стадіями таких робіт. Для курсу "Фізика твердого тіла" пропонується лабораторна робота з дослідження температурної залежності коефіцієнта термо-ЕРС термоелектричних матеріалів.

Вимірювання температурної залежності термо-ЕРС

Мета роботи: вивчення залежності термо-ЕРС напівпровідників від температури. Вимірювання проводяться в діапазоні температур 20-300°C на зразках PbTe.

В роботі на основі ефекту Зеебека показана методика обчислення термо-ЕРС напівпровідника з двома типами носіїв зарядів – електронами і дірками. Проведений аналіз температурної залежності термо-ЕРС напівпровідників.

Прилади та матеріали: пристрій для вимірювання термо-ЕРС та типу провідності, вольтметр універсальний, випрямляч ВС – 24М, досліджуваний зразок, провідники, комутуючі пристрої.

Теоретична частина

Розглянемо однорідний напівпровідник при наявності температурного градієнта. Градієнт температури викликає в зразку появу як градієнта концентрації, так і градієнта середньої енергії носіїв заряду, які є причиною появи струму. У розімкненому колі в стаціонарному стані густина струму у всіх точках дорівнює нулю, що в даному випадку можливо лише при появі електричного поля, яке викликає в кожній точці напівпровідника струм, що компенсує потік носіїв, обумовлений градієнтом температури. На зразку виникає електрорушійна сила, яку називають термо-ЕРС.

Замикання кола, в якому існує ефект Зеебека, приводить до виникнення в ньому постійного електричного струму. Фізична картина виникнення ЕРС в явищі Зеебека полягає в наступному. Відомо, що різ-

ним температурам в колі відповідають різні кінетичні енергії вільних електронів (дірок) в зоні провідності (валентній зоні). В той же час коефіцієнт дифузії носіїв зростає зі збільшенням їх енергії. У зв'язку з цим відбувається поступова термодифузія носіїв в область кола з нижчою температурою. Надлишок носіїв приводить до виникнення внутрішнього електричного поля, яке протидіє дальшій термодифузії. Різниця концентрацій носіїв на холодному і гарячому кінцях провідника, при якій настає динамічна рівновага, залежить від фізичних характеристик матеріалу.

Суть ефекту Зеебека полягає у тому, що при наявності різниці температур на краях напівпровідникового зразка у ньому виникає термо-ЕРС, пропорційна різниці температур.

Коефіцієнт термоелектрорушійної сили α залежить, насамперед, від матеріалу термоелектродів, а також від діапазону температур, в якому працює термопара; у деяких випадках із зміною температури α змінює знак.

Зручно користуватися абсолютним питомим коефіцієнтом термоелектрорушійної сили провідника, який можна визначити, якщо провідник сполучити в парі з абсолютним термоелектродом, у якому термоелектричний ефект відсутній. Таким абсолютним термоелектродом може бути будь-який надпровідник. З достатнім наближенням такі властивості мають метали з доброю електропровідністю.

Коефіцієнти Зеебека телуристого свинцю n - і p -типу зростають, як показано на рис. 1, при підвищенні температури до деякої максимальної величини.

Подальше підвищення температури приводить до появи власної провідності, і коефіцієнт Зеебека зменшується.

При низькій температурі із збільшенням концентрації домішок коефіцієнт Зеебека також зменшується, однак температура, яка відповідає максимуму коефіцієнта Зеебека, зсувається в цьому випадку в бік вищих значень. Завдяки більшій рухливості електронів порівняно з рухливістю дірок чистий PbTe стехіометрич-

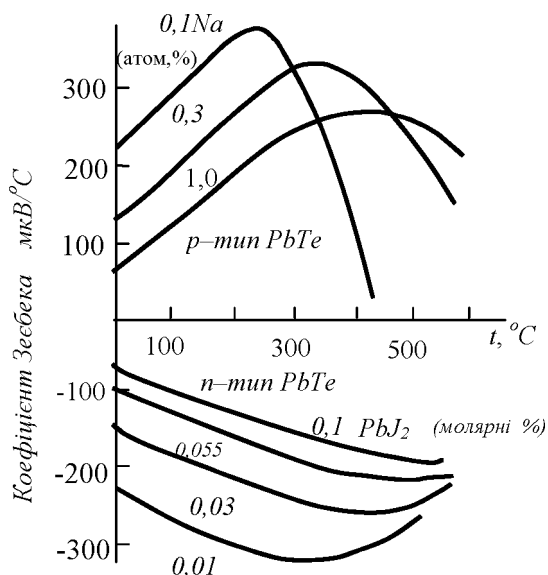


Рис. 1. Залежність коефіцієнта Зеебека PbTe від температури

ного складу повинен мати коефіцієнт Зеебека *n*-типу. Цим можна пояснити інтенсивніше зменшення коефіцієнта Зеебека при високій температурі для сплавів *p*-типу в порівнянні із сплавами *n*-типу.

У невеликому діапазоні температур коефіцієнт термоелектрорушійної сили α можна вважати з достатньою точністю пропорційною різниці температур і коефіцієнту термоелектрорушійної сили (точніше α – функція різниці температур спаїв):

$$\alpha = \frac{\Delta U}{\Delta T},$$

де ΔU – величина термо-ЕРС, ΔT – різниця температур, α – коефіцієнт Зеебека.

Вимірювальна установка і методика вимірювань

Вивчення температурної залежності термо-ЕРС проводиться на зразках в діапазоні температур 20-300°C.

Вимірювання здійснюються з використанням пристрою (рис. 2), який складається із зразка 1, нагрівача 2, термопар "хромель-алюмель" 3, металеві пластинки 4, випрямляча ВС-24м, стержня 5, лабораторного штатива 6.

Методика вимірювань. Нагріваємо стержень 5 за допомогою нагрівача 2 до необхідної температури, після чого позмищуємо зразок 1 на металеву пластинку 4 і залишаємо його на 3-5 хв. Після цього знімаємо покази термо-ЕРС за допомогою мілівольтметра. Змінюючи струм нагрівника, контролюємо температуру стержня термопарою "хромель-алюмель" 3.

Таким чином, змінюючи температуру, знімаємо покази термо-ЕРС.

Вимірювання температурної залежності термо-ЕРС полягає в визначенні температур країв зразка і виникаючої на них ЕРС. Температура вимірюється за допомогою термопар, гарячі спаї яких розміщені біля країв зразка і мають температури T_1 і T_2 . Холодні спаї цих термопар мають температуру T_0 (термостатовані при 0°C). За показами термопар $U_1(T_0, T_1)$ і $U_2(T_0, T_2)$ знаходимо перепад температур $\Delta T = T_2 - T_1$ вздовж зразка. ЕРС зразка ΔU вимірюється між металевими зондами і відповідає вимірянй ΔT . Електрорушійні сили E_1 і E_2 термопар відповідають різниці температур їх спаїв $T_1 - T_0$ або $T_2 - T_0$.

Термо-ЕРС α дорівнює відношенню $\Delta U / \Delta T$ і це значення необхідно віднести до температури $T_{cp} = (T_1 + T_2) / 2$, вважаючи α постійною в інтервалі температур $\Delta T = T_2 - T_1$.

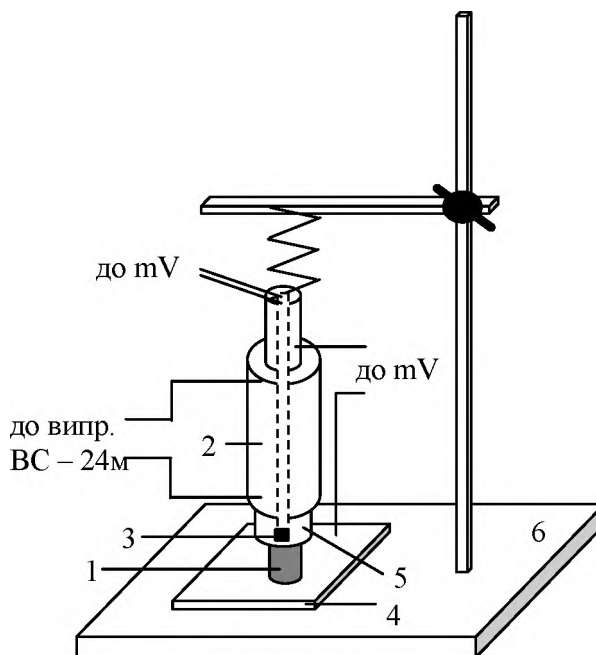


Рис. 2. Схема пристрою: 1 – зразок; 2 – нагрівач; 3 – термопара "ХА"; 4 – металеві пластинка; 5 – металевий стержень; 6 – штатив лабораторний

Зондами при вимірюванні ΔU є металеві пластинки і металеві стержні. Таким чином, за допомогою двох термопар, металеві пластинки і металеві стержня можна послідовно виміряти всі необхідні величини: E_1 і E_2 та ΔU .

Завдання

1. Виміряти термо-ЕРС зразків *n*- або *p*-типу в інтервалі температури 20-300°C.
2. Виміряти α при температурі, близькій до кімнатної.
3. Виміряти термо-ЕРС при підвищених температурах. Результати вимірювань та обчислень записати в таблицю:

Зразок	t , °C	α , мВ/°C

4. Побудувати графіки температурної залежності термо-ЕРС (див. рис. 3).
5. Тип провідності матеріалу напівпровідника визначається знаком термо-ЕРС: "+" відповідає зразку *p*-типу, в "-" – зразку *n*-типу.

Приклад графічної залежності термо-ЕРС

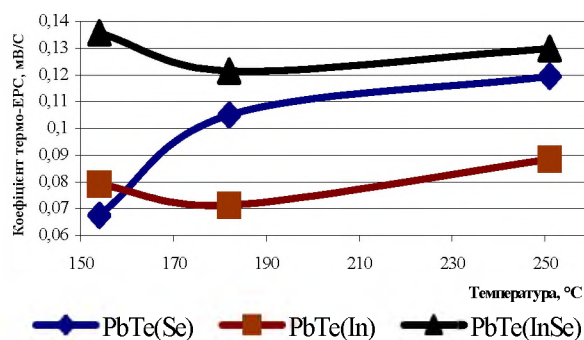


Рис. 3. Температурна залежність коефіцієнта термо-ЕРС PbTe з домішками In, Se

Контрольні запитання

1. Поясніть принцип роботи термоелектричних пристроїв.
2. Обґрунтуйте принцип роботи пристрою та його будову.
3. Яким чином можна визначити тип провідності матеріалу?
4. У чому полягає суть ефекту Зеебека?
5. Дайте означення термо-ЕРС.

Список використаних джерел

1. *Анатъчук Л.И.* Термоэлементы и термоэлектрические устройства. — К.: Наукова думка, 1979. — 768 с.

2. *Городецкий А.Ф., Кравченко А.Ф., Самойлов Е.М.* Основы физики полупроводников и полупроводниковых приборов. — Новосибирск: Наука, 1966. — 350 с.
3. *Епифанов Г.И.* Физика твердого тела. Учебное пособие для вузов. — М.: Высшая школа, 1977. — 288 с.
4. *Семенюк В.А., Бевз В.А., Гармашов А.В.* // Физическая электроника. — Львов. — 1990. — № 40. — С. 18-22.
5. *Шперун В.М., Фрейк Д.М., Запужляк Р.І.* Термоелектрика телуриду свинцю та його аналогів. — Івано-Франківськ: Плай, 2000. — 250 с.
6. *Стильбанс Л.С.* Физика полупроводников. — М.: Советское радио, 1967. — 452 с.

Лисак В.А.

Запорізький обласний інститут післядипломної педагогічної освіти

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА: ДОСЛІДЖЕННЯ ОПТИЧНОЇ СИСТЕМИ З ДВОХ ТОВСТИХ (РЕАЛЬНИХ) СФЕРИ НИХ ЛІНЗ

У статті запропоновано експериментальний метод визначення кардинальних (головних) точок та кардинальних (головних) площин системи лінз.

In article is offered the experimental method for determination of cardinal points and cardinal planes of lenses system.

Нині діюча програма шкільного курсу фізики в 11 класі для поглибленого вивчення фізики за рівнем С в темі “Світлові хвилі та оптичні прилади” передбачає вивчення оптичних приладів, побудованих на системах лінз (фотоапарат, проєкційний апарат, мікроскоп, телескоп). Однак постає **проблема**: чи можна експериментально дослідити оптичну систему, складену з декількох лінз?

Останнім часом інноваційну технологію графічної візуалізації лій для оптичних лінз застосував А.І.Павленко для експериментального дослідження оптичної сили системи *тонких* лінз [1]. У статті А.І.Павленко пропонує експериментально застосувати для системи *тонких* лінз прийом побудови еквівалентної *тонкої* лінзи не лише для найпростішої системи з двох тонких лінз, але й для багатолінзових систем. Проте, як пише сам автор, для багатолінзових систем побудови і обчислення значно ускладнюються через багаторазове послідовне застосування описаної технології: спочатку треба побудувати еквівалентну тонку лінзу для перших двох лінз системи, потім — для їх еквівалентної лінзи і третьої і т.д.

На нашу думку для усвідомлення реальних процесів, що відбуваються в оптичних системах потрібно розглядати поняття головних площин та головних точок товстої лінзи (системи лінз). У зв'язку з цим в лабораторній роботі “Дослідження оптичної системи з двох товстих (реальних) сферичних лінз” ми пропонуємо доступний для учнів середніх шкіл експериментальний метод визначення головних (кардинальних) точок і головних (кардинальних) площин системи лінз. Пропоноване дослідження не потребує складного обладнання і ґрунтується на застосуванні методу графічної візуалізації лій [2] до циліндричних фрагментів лінз.

Ми згодні з А.І.Павленком, що у багатолінзових системах спостерігати графічні лінії стає важко. Незважаючи на це запропонований нами експериментальний метод визначення положення головних (кардинальних) точок і головних (кардинальних) площин системи лінз дозволяє дуже просто обчислити оптичну силу системи лінз незалежно від кількості лінз у системі. Крім того, оскільки тонка лінза є ідеалізованим об'єктом, а реально під час експерименту учням доводиться працювати з товстими лінзами, особливістю яких є наявність головних точок та головних площин, то школярі навіть при ретельному й досконалому ви-

конанні експерименту (вважаючи лінзи тонкими) одержують значні похибки.

Для виконання експериментального дослідження потрібне таке обладнання: циліндричні фрагменти сферичних лінз (двох збиральних двовипуклих та двох розсіювальних двовгнутих лінз), аркуш паперу (в клітинку або з міліметровою сіткою), тонко заструганій олівець, лінійка. В пропонуваній лабораторній роботі можна використовувати циліндричні фрагменти сферичних лінз від фабричного набору для оптичного диску (шайби Гаргля) або саморобні (такі фрагменти лінз можна виготовити з органічного скла в потрібній кількості наборів для робочих місць учнів у шкільній майстерні).

Для з'ясування декількох ключових моментів розглянемо детально процес виконання експерименту на прикладі одного з можливих видів оптичної системи. Складемо оптичну систему з двох збиральних двовипуклих лінз. Для цього на аркуші паперу тонко заструганим олівцем накреслимо довгу пряму лінію OO' і розмістимо на ній лінзи одна за одною так, щоб їхні головні оптичні осі співпадали (тобто, щоб відмічена лінія після проходження через лінзи не змінювала свого напрямку). Одержана спільна головна оптична вісь системи лінз OO' буде проходити через центри всіх поверхонь, що обмежують окремі лінзи.

Не зміщуючи лінз, накреслимо лінію-промінь паралельно до головної оптичної осі системи. Тут доречно звернути увагу на такі дві обставини: 1) положення головних площин залежить від товщини лінзи і змінюється при віддаленні від оптичної осі до краю лінзи (для двовипуклої лінзи головні площини наближаються одна до одної, для двовгнутої — віддаляються одна від одної); 2) при наближенні до краю лінзи збільшується сферична аберация. Тому в експерименті ліній-промені треба будувати в зоні параксіальності променів, яку можна вважати приблизно рівною половині діаметру лінзи. Тобто, під час виконання експерименту ліній-промені треба креслити на відстані від оптичної осі не більшій чвертині діаметру найменшої лінзи.

Розміщуючи ребро лінійки з іншого боку системи так, щоб воно було на одній прямій з уявним зображенням ліній-променя у системі, накреслимо тонко заструганим олівцем продовження ліній-променя. Після проходження системи лінз промінь перетне головну оптичну вісь системи у точці F' , яку називають *заднім фокусом системи*.