

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

Попова Тетяна Миколаївна – доктор педагогічних наук, професор, завідувач кафедри вищої математики та фізики Керченського державного морського технологічного університету.

Коло наукових інтересів: методологія і дидактика реалізації культурно-історичної складової змісту фізичної освіти в загальноосвітній школі.

Масленнікова Діана Юрївна – старший викладач кафедри вищої математики та фізики Керченського державного морського технологічного університету.

Коло наукових інтересів: теорія і методика впровадження музейної педагогіки в умовах розвивального навчання фізики в загальноосвітній школі.

ФОРМУВАННЯ УЯВЛЕНЬ ПРО ЕЛЕКТРИЧНУ ПРОВІДНІСТЬ НАПІВПРОВІДНИКІВ В УЧНІВ ОСНОВНОЇ ШКОЛИ

Микола МОКЛЮК, Ірина ХАРКУН

У статті описано особливості вивчення в основній школі електричного струму у напівпровідниках: внутрішню будову напівпровідників, природу їх власної і домішкової електропровідності.

The article describes the features of learning in the elementary school of electric current in semiconductors: the internal structure of semiconductors, the nature of their own and impurity conductivity.

В програмі з фізики для основної школи [1] вивчення напівпровідників відбувається в розділі «Електричний струм» у 9 класі, протягом однієї-двох годин, під час розгляду особливостей та закономірностей проходження електричного струму в різних середовищах. При цьому розглядаються різні види провідності: у металах; електролітах; газах; напівпровідниках. Глибина розкриття різних питань суттєво відрізняється. Найбільш детально вивчається електричний струм у металах, електролітах: вводяться кількісні залежності, розв'язуються задачі. Решта матеріалу вивчається на якісному рівні.

Програмою передбачено таку послідовність вивчення теми: електричний струм у металах, електролітах, газах, вакуумі, напівпровідниках. Розгляд даних питань здійснюється за єдиною методичною моделлю [2]:

- 1) з'ясувати природу носіїв заряду, особливості їх руху;
- 2) розглянути вольт-амперні характеристики;
- 3) пояснити закономірності, яким підкоряється струм в даному середовищі;
- 4) зазначити явища, що супроводжують проходження струму в даному середовищі;
- 5) показати практичне застосування струму в даному середовищі, будову і принцип дії різних приладів.

При розгляді матеріалу використовують відомості про будову речовини; при з'ясуванні механізму провідності значну увагу приділяють встановленню причинно-наслідкових зв'язків; подальшого розвитку набувають модельні уявлення: модель електроліту, газу, напівпровідника.

Для розкриття механізму проходження струму в різних середовищах використовують демонстраційні експерименти, комп'ютерні моделюючі програми засоби, екранні посібники (кінофільми, діафільми). Після вивчення матеріалу теми доцільно співставити особливості електричного струму в різних середовищах.

На початку вивчення електричного струму в напівпровідниках учитель з учнями з'ясовує до якого класу речовин їх відносять за здатністю проводити електричний струм.

Вивчення напівпровідників варто розпочати з розгляду їх електричних властивостей, порівнянні властивостей напівпровідників з провідниками і діелектриками. З цією метою потрібно порівняти значення питомого опору провідників – 10^8 - 10^6 Ом·м, діелектриків – 10^8 - 10^{20} Ом·м, напівпровідників – 10^6 - 10^8 Ом·м.

З точки зору внутрішньої будови напівпровідника це означає [3], що концентрація вільних заряджених частинок у напівпровідників менша ніж у металах, але більша ніж у діелектриків, і становить $1 \cdot 10^{19}$ - $1 \cdot 10^{24}$ м⁻³.

Напівпровідникові властивості спостерігаються в багатьох речовинах, до яких належать майже всі окисли металів (Cu₂O, ZnO, Mn₂O₃, CoFe₂O₄ та ін.) селеніди (Bi₂Se₃, Cs₂Se і ін.), сульфідів (PbS, CdS, Ag₂S та ін.), телурідів (Cu₂T та ін.), численні сполуки металів з

металами – так звані інтерметалеві сполуки (InSb, ZnSb, Mg₂Sn та ін.) і деякі чисті хімічні елементи – так звані елементарні напівпровідники (Ge, Si, Te, As та ін.) (рис. 1)

Усі напівпровідники мають кристалічну будову і при виготовленні приладів використовуються, як у вигляді монокристалів (діоди, тріоди), так у вигляді пресованих порошків, тобто з монокристалічною структурою (термістори, фотоопори та ін.).

Узагальнюючи подані вище відомості, можна дати таке означення: напівпровідниками називають велику групу речовин з кристалічною структурою, електронним механізмом провідності, від'ємним температурним коефіцієнтом опору, питомий опір яких лежить у межах $1 \cdot 10^{-6} - 1 \cdot 10^8$ Ом·м і значною мірою залежить від зовнішніх факторів (нагрівання, освітлення, введення домішок, вміщення в електричне поле з великою напруженістю, тощо).

Вивчення провідності напівпровідників доцільно розпочати з короткого повторення структури твердого тіла, види зв'язків між атомами в молекулах і кристалах [4]. Використовуючи знання учнів із хімії розглядають будову цих речовин на прикладі германію - Ge чи Si-кремнію. Ці хімічні елементи розташовані в IV групі і мають порядкові номери Si -14, Ge -32. Кожний з атомів оточений чотирма іншими, зв'язок між ними здійснюється валентними електронами, які утворюють ковалентні зв'язки.

На рис. 1. зображена просторова і плоска схема ідеальної решітки германія. Ядра атомів позначені чорними кільцями, а валентні електрони – білими кільцями з знаком мінус.

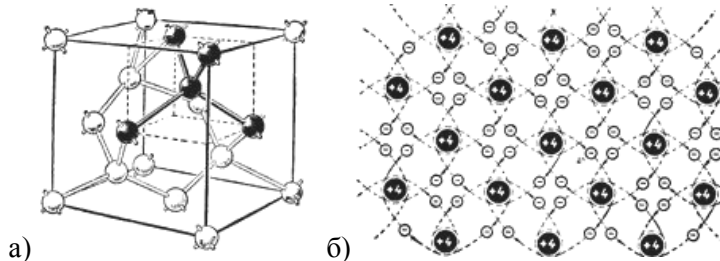


Рис. 1. Схема електронних зв'язків між атомами германія: а-просторова схема ідеальної германія; б - плоска схема ідеальної решітки германія.

Сили притягання між окремими атомами здійснюється парою валентних електронів. Кожний атом оточений чотирма сусідніми, тому в підсумку він зв'язаний з 8 електронами. Вказується, що такий тип зв'язку мають всі напівпровідники при температурі абсолютного нуля. Оскільки в напівпровідникові не має вільних електронів він веде себе як діелектрик [4].

Але, якщо на напівпровідник починають діяти зовнішні чинники (нагрівання, освітленість) ідеальна структура кристалічної решітки порушується і частина валентних електронів, звільняючись від ковалентних зв'язків, переходить у вільний стан.

Вільні електрони рухаються всередині кристалічної решітки напівпровідника, подібно вільним електронам в металі.

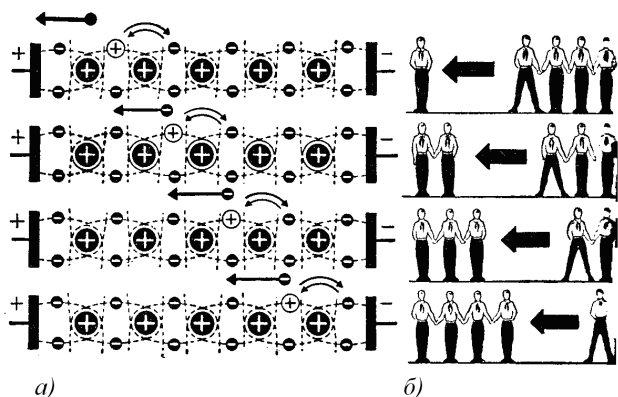


Рис. 2. а) схема руху електронів і дірок,
б) аналогія руху дірок з рухом учнів.

Провідність напівпровідника, обумовлену рухом електронів, називають електронною.

Учням розповідають, що при переході електронів у вільний стан, під час розриву ковалентного зв'язку утворюється вакансія, тобто незаповнений електронний зв'язок, який називають діркою. Дірку розглядають як позитивний заряд, що рівний за модулем заряду електрона. Для пояснення особливостей її руху (вона може вільно переміщуватися по кристалу подібно вільному електрону) використовують схему руху електронів і дірок (рис. 2.)

На рис. 3. напівпровідник представлений ланцюжком з 5 атомів. Один ковалентний зв'язок розірваний. В результаті утворились вільні електрони і дірки. Електричне поле переміщує електрони від від'ємного полюса до додатнього. Тому дірка заповнюється другим електроном, який до неї приходить з правої сторони. Перший зв'язок відновлюється, але проворуч виникає нова дірка. Цей процес повториться і для наступних чотирьох зв'язків, що і показано на рис. 2(a).

В шкільних умовах показати на досліді власну провідність неможливо. Щоб покращити її розуміння, варто навести різні аналогії. Одна із них переміщення учнів, яка зображена на рис. 2(б).

Схема переміщення глядачів в кінозалі. Якщо один з глядачів вийшов залишилось вільне крісло – своєрідна дірка. Якщо глядач із другого ряду зайняв його, то пусте крісло буде в другому ряду. Тобто дірка (вільне крісло) рухається по залу.

Також аналогічно можна розглядати рух кульки по нахиленому жолобові [3], що відповідає переміщенню вільного електрона під дією електричного поля рис. 3.

Наголошуємо, що рух електронів і дірок хаотичний, який змінюється якщо кристал помістити в електричне поле - електрони будуть рухатись до анода, дірки - до катода. Виникне струм. Провідність у чистих напівпровідників називають власною провідністю, вона обумовлена рухом електронів і дірок. Тобто власна провідність є електронно-дірковою.

Далі розглядають домішкову провідність напівпровідників: електронну і діркову.

Електронна провідність напівпровідників сильно залежить від наявності в решітці напівпровідника різних домішок.

Власна провідність напівпровідників невелика, оскільки малою є кількість вільних електронів. Особливість напівпровідників полягає в тому, що в них за наявності домішок поряд із власною провідністю виникає додаткова - домішкова провідність. Змінюючи концентрацію домішки, можна суттєво змінити кількість носіїв заряду того або того знака, а отже, створити напівпровідники з переважаючою концентрацією позитивно чи негативно заряджених носіїв.

Механізм утворення напівпровідника *n* - типу (*negativus* – негативний) (електронна провідність) розглядають на прикладі германія або силіцію [4].

Наприклад, при внесенні в чотиривалентний кремній Si невеликої кількості п'ятивалентного арсену (As) чотири електрони арсену (As) утворюють ковалентні зв'язки із сусідніми атомами силіцію (Si), а п'ятий одразу стає вільним (рис. 4.) Домішки, що легко віддають електрони, і, отже, збільшують кількість вільних носіїв, називають донорними домішками.

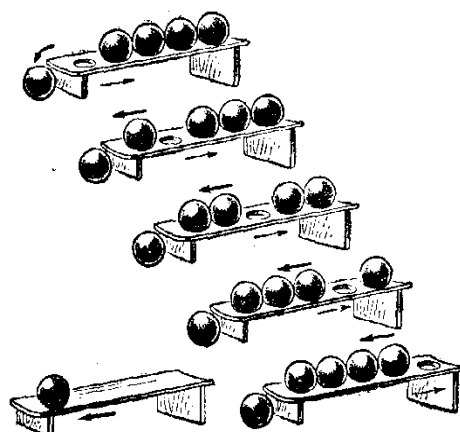


Рис. 3. Аналогія власної провідності напівпровідників з рухом кульки по нахиленому жолобі

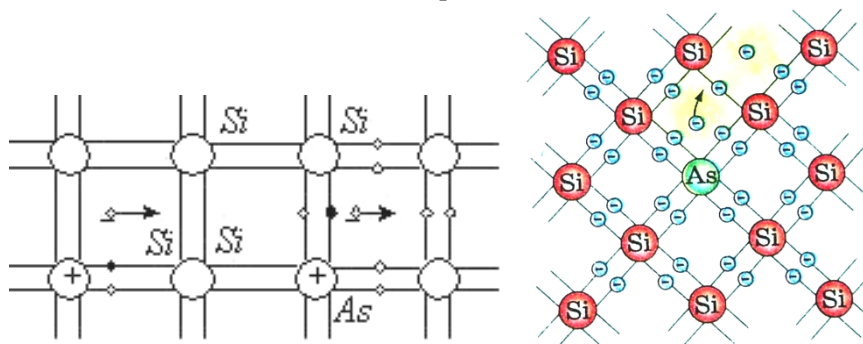


Рис. 4. Механізм утворення напівпровідника *n* - типу на прикладі силіцію в яких додано домішки As.

Напівпровідники з донорною провідністю мають більшу кількість електронів порівняно з кількістю дірок. Їх називають напівпровідниками n-типу. У них електрони є основними носіями заряду, а дірки - неосновними.

Механізм утворення напівпровідника *p* – типу (*positivus* – позитивний) (діркова провідність) пояснюємо на прикладі силіцію в який додали тривалентний елемент Індію (рис. 5.).

Коли як домішки використовують індій (In), то характер провідності силіцію зміниться, в порівнянні з попереднім. Тепер для встановлення нормальних парно-електронних зв'язків із сусідами атома індію не вистачає електрона. Унаслідок цього утворюється дірка. Кількість дірок у кристалі дорівнюватиме кількості атомів домішки. Домішки цього типу називають акцепторними (приймальними).

Напівпровідники з переважанням діркової провідності над електронною називають напівпровідниками *p*-типу. Основними носіями заряду таких напівпровідників є дірки, а неосновними - електрони.

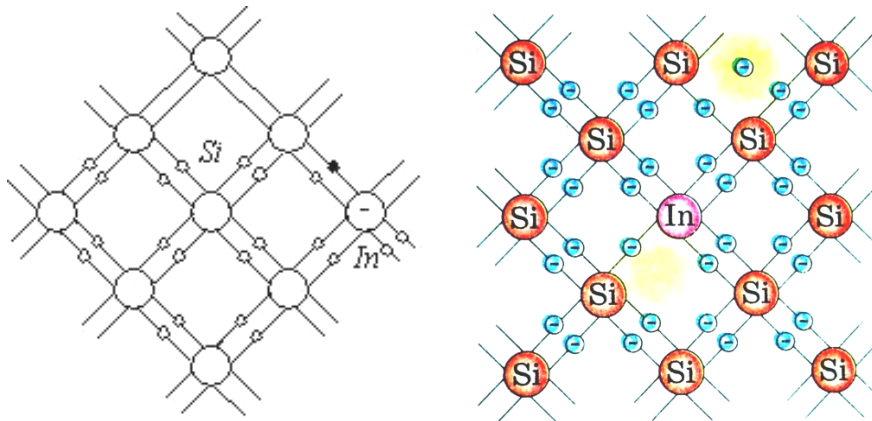


Рис. 5. Механізм утворення напівпровідника *p* - типу на прикладі силіцію в який додали тривалентний елемент індію.

Висновки. Вивчення електричного струму в напівпровідниках відбувається в 9 класі, під час розгляду особливостей та закономірностей проходження електричного струму в різних середовищах.

Метою вивчення даної теми є пояснити природу виникнення струму в напівпровідниках, показати практичне застосування напівпровідників

При розгляді матеріалу використовують відомості про будову речовини; при з'ясуванні механізму провідності значну увагу приділяють встановленню причинно-наслідкових зв'язків; подальшого розвитку набуває модельне уявлення напівпровідника.

Розгляд даного питання здійснюється за такою методичною моделлю: з'ясувати природу носіїв заряду, особливості їх руху; розглянути вольт-амперні характеристики; пояснити закономірності, яким підкоряється струм в даному середовищі; зазначити явища, що супроводжують проходження струму в даному середовищі; показати практичне застосування струму в даному середовищі, будову і принцип дії різних приладів.

БІБЛІОГРАФІЯ

1. Навчальна програма для учнів 7-9 класів загальноосвітніх навчальних закладів. – Київ, 2004. - 17с.
2. Методика преподавания физики в средней школе: Частные вопросы: Учеб. пособие для студентов пед. ин-тов по физ.-мат. спец. / С.В. Анофрикова, М.А. Бобкова, Л.А. Бордонская и др.; Под ред. С.Е. Каменецкого, Л.А. Ивановой. - М.: Просвещение, 1987. - 336 с.
3. Божина Ф. Я. Фізика. 9 клас: Підручник для загальноосвіт. навч. Закладів / Ф. Я. Божина, М.М. Кірюхін, О. О. Кірюхіна. – Х.: Видавництво «Ранок», 2009. – 224 с.
4. Буров В.А. Методика изучения полупроводников в школе / В.А. Буров. – Москва. Просвещение, 1965. - 156с.

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

Моклюк Микола Олексійович – кандидат педагогічних наук, старший викладач кафедри фізики і методики викладання фізики, інформатики, астрономії Вінницького державного педагогічного університету імені Михайла Коцюбинського.

Коло наукових інтересів: демонстраційний експеримент з фізики.
Харкун Ірина Сергіївна – студентка Інституту математики, фізики і технологічної освіти Вінницького державного педагогічного університету імені Михайла Коцюбинського.
Коло наукових інтересів: напівпровідникові прилади та їх використання в навчальному експерименті.

МЕТОД ТЕРМОДИНАМІЧНИХ ЦИКЛІВ У ПРОЦЕСІ ПІДГОТОВКИ ВЧИТЕЛЯ ФІЗИКИ

Іван МОРОЗ

Розглядається методика викладання теми «Метод циклів в статистичній термодинаміці» в курсі теоретичної фізики педагогічних університетів.

Methodology of exposition of theme is examined «Method of cycles in statistical thermodynamics» in a course theoretical physics in pedagogical universities.

Постановка проблеми. При вивченні термодинаміки студенти повинні не лише зрозуміти і вивчити її основні закони, але й одержати чітке уявлення про можливість вивчення навколишнього світу, які надаються термодинамікою. Отже існує проблема методичного обґрунтування прикладних застосувань законів термодинаміки. Термодинамічний аналіз макроскопічних тіл ґрунтується на першому і другому законах термодинаміки, з яких математичним шляхом виводяться закономірності, що відносяться до досліджуваного явища. Для розрахунку роботи і кількості теплоти, які складають головний зміст прикладних застосувань термодинаміки, необов'язково знати усі особливості кінетики реального процесу. Досить, щоб разом із відомими зовнішніми умовами, в яких протікає процес, були задані кінцеві й початкові стани всіх тіл, які беруть участь у процесі.

У ході історичного розвитку статистичної термодинаміки були розроблені два методи дослідження : метод циклів і метод термодинамічних потенціалів (інша назва - метод характеристичних функцій).

Метод кругових процесів зіграв дуже велику роль в розвитку науки. Причому, якщо на початковому періоді використовувалася система незалежних змінних (p, V), то надалі, після введення поняття «ентропія», вчені, які спеціалізувалися в області термодинамічних досліджень, стали використовувати також систему змінних (T, S).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз літературних джерел [1-7] показує, що у наш час у наукових дослідженнях в основному застосовується метод термодинамічних потенціалів. Але у навчальному процесі (при розв'язанні задач і в лекційній практиці) графічний метод циклів, який був одним з перших методів термодинамічних досліджень, і усі учені аж до початку ХХ століття (Карно, Клаузіус, Нернст та ін.) використовували лише цей метод, досі залишається незамінним, оскільки вносить наочність, істотно спрощуючи аналіз процесів. Це образно виразив І.Р. Кричевський [1]: «Метод квазістатичних циклів Карно зараз рідко застосовується. Читачі можуть зустрітися з цим методом при читанні старої (але не застарілою!) термодинамічної літератури. Нехай читачі віднесуться до методу циклів Карно, як В. Маяковський бажав, щоб нащадки відносилися до його віршів: «Ви з повагою обмацуйте їх, як стару, але грізну зброю». Але питання методики і технології викладання методів термодинамічних досліджень залишаються поза увагою методичної науки.

Мета статті. Враховуючи, що історична складова предмета, як і сам предмет - статистична термодинаміка, є важливим елементом формування наукового світогляду майбутніх учителів фізики, ми вважаємо необхідним при вивченні термодинаміки ознайомити студентів педагогічних спеціальностей з методом циклів і хоч би на одному прикладі продемонструвати його використання. У якості такого прикладу пропонуємо розглянути методику вивчення залежності тиску насиченої пари від температури, яка базується на аналізі літературних джерел [2-8] і власного досвіду викладання теоретичної фізики в педагогічному університеті.

Виклад основного матеріалу дослідження. Пари різних рідин широко використовуються у багатьох галузях техніки. Найбільше застосування знайшла пара