

План уроку № 7

Тема

Розділ 1. Фізичні основи роботи електронних і напівпровідникових приладів, пасивні елементи електроніки

1.3 Електрофізичні властивості напівпровідників

Тема уроку

Власна і домішкова провідність напівпровідників

Мета уроку

Освоїти властивості напівпровідників, мати уяві про різницю між власною та домішковою властивостями напівпровідників

Виховна мета:

Формування інтересу до вивчення нових інформаційних технологій
Формування навичок взаємооцінювання

Розвиваюча мета

Розвиток мислення і творчої уяви
Розвиток творчих здібностей
Розвиток навичок порівняння і узагальнення в обробці інформації

Тип уроку: Комбінований

Метод

Словесний, розповідь-викладення

Наочні посібники

Персональний комп'ютер, програмне забезпечення, операційна система Windows, картки із завданнями

Хід уроку

I. Організаційна частина

Приймаю рапорт чергового і перевіряю готовність учнів до уроку

II. Перевірка домашнього завдання

1. Що таке провідники?
2. Що таке діелектрики?
3. Що таке напівпровідники?
4. Головний постулат зонної теорії...
5. Що таке діаграма рівнів енергії?
6. Як утворюються енергетичні зони?
7. Що таке валентна зона?
8. Що таке вільна зона?
9. Що таке зона провідності?

III. Знайомство учнів з темою і метою уроку, мотивація навчальної діяльності

Знайомлю учнів із темою і метою уроку та розповідаю про необхідність знань, умінь і навичок даної теми при оволодінні даною спеціальністю оператора комп'ютерного набору

IV. Вивчення нового матеріалу

Атоми реальних тіл взаємозв'язані та утворюють ту чи іншу структуру. Такі, наприклад, найбільш поширені в твердо тілній електроніці напівпровідники, як германій та кремній, мають регулярну структуру з кристалічною ґраткою типу «алмаз». В основі такої ґратки лежить просторова фігура — тетраедр, у кутках і в центрі якої розміщені атоми (рис. 1.5).

Особливістю такої структури є те, що всі атоми перебувають на однаковій відстані один від одного, причому ці відстані такі, що зовнішні електронні оболонки перекривають одна одну. Взаємодія зовнішніх електронних оболонок виявляється в тому, що в електронах сусідніх атомів з'являються загальні орбіти, на яких відповідно до принципу Паулі можуть перебувати тільки два електрони. Ці загальні орбіти зв'язують між собою атоми германію та кремнію, утворюючи ковалентні зв'язки (парно-електронний зв'язок). Тоді кожний атом, що має на зовнішній оболонці чотири електрони, ніби доповнює її до восьми електронів, що відповідає повністю зайнятій оболонці (рис. 1.6, а).

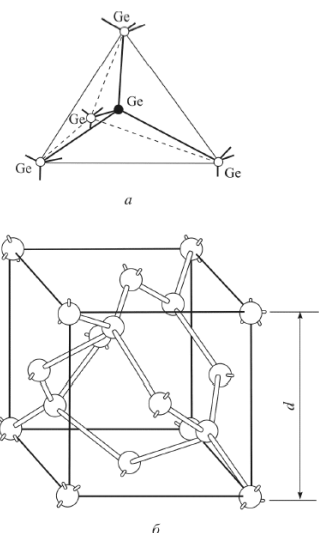


Рис. 1.5. Кристалічна структура типу «алмаз»: а — елементарний тетраедр; б — елементарна комірка

На практиці, розглядаючи ті чи інші процеси в кристалічній структурі, користуються її плоским зображенням, у якому зберігається однаковість відстаней між суміжними атомами, а ковалентні зв'язки зображають як лінії (рис. 1.6, б).

Власна електропровідність

Однорідна структура напівпровідника може бути лише за температури абсолютного нуля. У міру підвищення температури частина валентних зв'язків руйнується під дією теплових коливань атомів у ґратці, тобто частина електронів залишають атоми та стають вільними. Такі електрони називають також електронами провідності. Якщо електрон покидає атом, в одному з ковалентних зв'язків утворюється вакантне місце, що рівносильно появи там додатного заряду, який дорівнює заряду електрона. Таке вакантне місце називають *діркою*.

Дірка — це квазічастинка, яка характеризує квантовий стан, не зайнятий електроном, у валентній зоні напівпровідника. Дірці як квазічастинці приписують елементарний додатний заряд і ефективну масу. Незаповнений зв'язок може бути легко заповнений одним з електронів із сусідніх зв'язків, на місці якого утворюється нова вакансія. Таке послідовне заповнення вакансій електронами рівно-сильно хаотичному переміщенню дірок по кристалічній ґратці (рис. 1.7, а). Під дією електричного поля електрони провідності та дірки набувають напрямленого руху та утворюють електричний струм у напівпровіднику.

Таким чином, електричний струм у власному напівпровіднику створюють два типи носіїв заряду — електрони та дірки. *Процес утворення вільних електронів і дірок в напівпровіднику під дією тепла називають термогенерацією носіїв заряду.* Вільні електрони можуть повертатись на незаповнені зв'язки. При цьому зникають і вільні електрони, і дірки. *Процес зникнення носіїв заряду в напівпровіднику називають рекомбінацією.* Проміжок часу з моменту утворення носіїв заряду до моменту їх рекомбінації називають *часом життя носіїв*. Електрони та дірки власних (бездомішкових) напівпровідників завжди утворюються парами, тобто концентрація електронів у таких напівпровідниках дорівнює концентрації дірок:

$$n_i = p_i^*$$

Електропровідність напівпровідників, зумовлену парними носіями заряду теплового походження, називають власною.

Зонну (енергетичну) діаграму власного напівпровідника зображено на рис. 1.7, б. За температури абсолютного нуля всі енергетичні рівні валентної зони заповнені, а в зоні провідності електронів немає, тому електропровідність напівпровідника дорівнює нулю і напівпровідник відповідає ідеальному діелектрику. Під час нагрівання напівпровідника енергія валентних електронів зростає, і коли вона стає рівною чи більшою, ніж ширина забороненої зони ΔE_g , то частина електронів із валентної зони переходить у зону провідності. Таким чином, відбувається генерація пар носіїв: у зоні провідності з'являються вільні електрони, а у валентній зоні — дірки, що й зумовлює електропровідність власного напівпровідника. Ширина забороненої зони, тобто енергія іонізації атомів германію, дорівнює 0,67 еВ, кремнію — 1,12 еВ, арсеніду галію — 1,43 еВ. Рекомбінація електронів і дірок у власному напівпровіднику з погляду зонної теорії — це зникнення пар електрон-дірка внаслідок переходу електронів із зони провідності у валентну зону.

Домішкова електропровідність

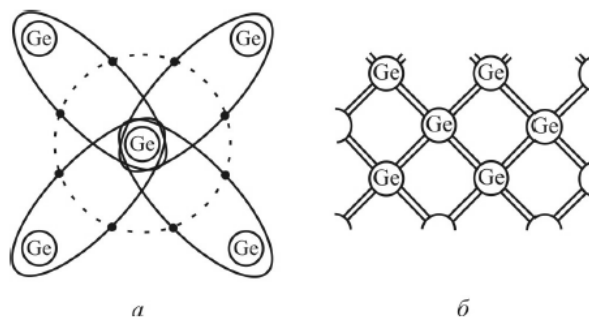


Рис. 1.6. Утворення ковалентних зв'язків у кристалах кремнію: а — схема доповнення зовнішньої електронної оболонки до 8 електронів; б — площинна модель кристалічної ґратки

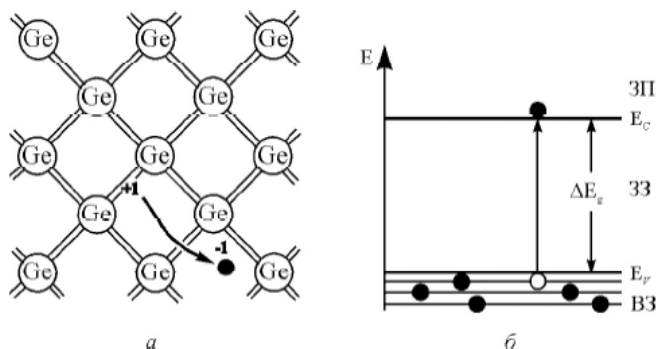


Рис. 1.7. До пояснення механізму електропровідності у власному напівпровіднику: а — на площинній моделі; б — на зонній діаграмі

Електропровідність напівпровідників суттєво залежить від різного типу домішок. Із зонної теорії твердого тіла відомо, що будь-які порушення періодичності потенціального поля кристала (наприклад, домішками) створюють у забороненій зоні локальні дозволи для електронів — енергетичні рівні, що суттєво діють на електропровідність речовини. *Електропровідність, зумовлену введеними в напівпровідник домішками, називають домішковою.* Як домішки в германій та кремнії найчастіше використовують елементи п'ятої та третьої груп таблиці Менделєєва. До п'ятивалентних домішок належать фосфор, сурма, арсеній; до тривалентних — бор, алюміній, індій, галій. Нехай, наприклад, в ідеальній кристалічній ґратці германію один атом заміщується атомом сурми. На зовнішній оболонці атома сурми є п'ять валентних електронів, чотири з яких утворюють ковалентні зв'язки із сусідніми атомами германію, а п'ятий електрон виявляється «зайвим» (рис. 1.8, а). Цей електрон слабкіше зв'язаний з атомами сурми, і для того, щоб відірвати його від атома та перетворити у вільний носій заряду, потрібно вивільнити значно меншу енергію, ніж для відриву електрона із валентного зв'язку. У зонній моделі (рис. 1.8, б) це означає, що для переведення електрона в зону провідності необхідна менша енергія, ніж ширина забороненої зони ΔE_g . А це свідчить про те, що енергетичні рівні, які можуть займати такі електрони, мають бути розміщені в забороненій зоні поблизу дна зони провідності. *Енергію, потрібну для переведення електрона з додаткового (домішкового) рівня в зону провідності, називають енергією іонізації донорної домішки.* Відхід електрона від атома сурми перетворює цей атом у позитивний іон. Однак цей додатний заряд буде міцно зв'язаний з кристалічною ґраткою, а отже, не зможе переміщуватися, як дірка. Поява вільного електрона в зоні провідності у разі введення в напівпровідник атома п'ятої групи не залишає вакансії у валентній зоні, тобто існування вільного електрона не пов'язано з одночасним існуванням дірки.

Домішки, що здатні віддавати електрони в зону провідності, називають донорами; їх концентрацію позначають через ND .

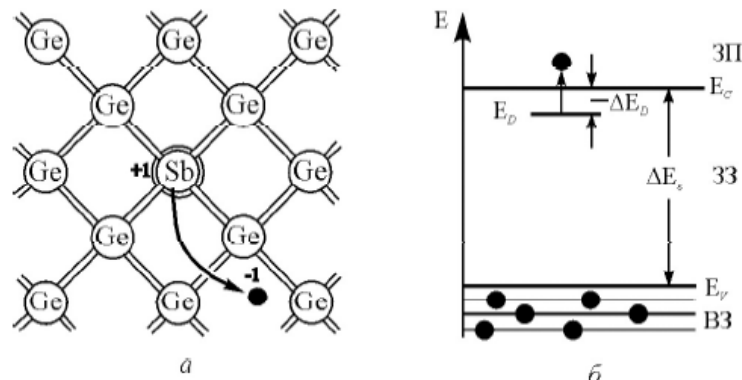


Рис. 1.8. До пояснення механізму електропровідності у донорному напівпровіднику: а — на площинній моделі; б — на зонній діаграмі

Підвищення концентрації атомів сурми в германії приводить до збільшення кількості вільних електронів без зміни при цьому кількості дірок, як це було у випадку власного напівпровідника.

Якщо концентрація електронів у напівпровіднику суттєво перевищить концентрацію дірок, то електропровідність напівпровідника здебільшого буде визначатися електронами. *Такий напівпровідник називають електронним або n-типу* (від *negative*). В електронному напівпровіднику електрони є основними носіями зарядів (nn), а дірки — неосновними (pn).

Розглянемо випадок, коли в структуру германію вводиться атом третьої групи таблиці Менделєєва (наприклад, галій). Зовнішня електронна оболонка атома галію містить три електрони. У кристалічній ґратці германію цей атом утворює тільки три заповнені зв'язки. Четвертий зв'язок виявляється незаповненим, однак він не несе заряду, і атом галію, і суміжні з ним атоми германію залишаються

електронейтральними. У разі невеликого теплового збудження електрон із сусідніх заповнених зв'язків може перейти в незаповнений зв'язок. У зовнішній оболонці галію з'являється додатковий електрон, атом втрачає свою нейтральність і стає негативним іоном.

Таблиця 1.1

ЕНЕРГІЯ ІОНІЗАЦІЇ ДОМІШОК У ГЕРМАНІЮ І КРЕМНІЮ [еВ]

Донорні домішки	Германій	Кремній
Фосфор	0,012	0,044
Арсеній	0,013	0,049
Сурма	0,0096	0,039

Акцепторні домішки	Германій	Кремній
Бор	0,0104	0,045
Алюміній	0,0102	0,057
Галій	0,0108	0,065
Індій	0,0112	0,160

Порушується електрична нейтральність того зв'язку, звідки надійшов електрон: там з'являється позитивний заряд — дірка (рис. 1.9, а).

Коли акцепторні домішки приймають на свої рівні електрони з валентної зони, вони спричиняють появу в напівпровіднику діркової провідності. *Напівпровідники, у яких основними носіями зарядів є дірки, називають дірковими або напівпровідниками р-типу (від positive).*

Якщо збільшувати концентрацію домішки, то відстань між домішковими атомами зменшується, їх енергетичні рівні розщеплюються і перетворюються в зони.

Утворена домішкова зона в донорному напівпровіднику в процесі розширення зливається із зоною провідності, а в акцепторному напівпровіднику — з валентною зоною. *Такі напівпровідники називають виродженими або напівметалами.*

V. Узагальнення і систематизація знань

1. Наведіть визначення електропровідності речовини.
2. Напишіть формулу електропровідності.
3. Наведіть визначення рухомості носіїв заряду.
4. Поясніть основні положення зонної теорії речовини.
5. У чому полягає відмінність між провідниками, напівпровідниками та діелектриками з погляду зонної теорії?
6. Поясніть механізми власної та домішкової електропровідностей напівпровідників.
7. Яким законам підпорядковується розподіл носіїв заряду в зонах напівпровідника?

VI. Підсумки уроку

Оцінюю роботу групи та виставляю оцінки учням які відповідали та приймали активну участь у вивченні нового матеріалу

VII. Домашнє завдання

конспект