

**Методичні вказівки**  
**до виконання курсової роботи**  
**з дисципліни**  
**«Фізичні основи електронної техніки»**  
**для студентів**  
**спеціальності 153 – Мікро- та наносистемна техніка**

Міністерство освіти і науки України  
Вінницький національний технічний університет

**Методичні вказівки**  
**до виконання курсової роботи**  
**з дисципліни «Фізичні основи електронної**  
**техніки»**

**для студентів**  
**спеціальності 153 – Мікро- та наносистемна техніка**

Вінниця  
ВНТУ  
2019

Рекомендовано до друку Методичною радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України (протокол № 6 від 21.02. 2019 р.)

Рецензенти:

**О. В. Осадчук**, доктор технічних наук, професор

**Ю. В. Булига**, кандидат технічних наук, доцент

Методичні вказівки до виконання курсової роботи з дисципліни «Фізичні основи електронної техніки» для студентів спеціальності 153 – Мікро- та наносистемна техніка / Уклад. В. В. Мартинюк, К. В. Огородник. – Вінниця : ВНТУ, 2019. – 18 с.

Вказівки підготовлено згідно з навчальним планом підготовки бакалаврів з електроніки за спеціальністю 153 – Мікро- та наносистемна техніка. Наведено основні вимоги щодо організаційних питань підготовки курсової роботи, її оформлення та захисту, а також структуру курсової роботи з дисципліни «Фізичні основи електронної техніки», необхідні довідкові дані.

## ВСТУП

Методичні вказівки розроблено відповідно до навчального плану підготовки бакалаврів з електроніки за спеціальністю 153 – Мікро та наносистемна техніка.

Мета цієї розробки – допомогти студентові методично правильно організувати свою роботу при виконанні курсової роботи та надати практичну допомогу щодо організаційних питань, забезпечення виконання вимог до її оформлення та захисту.

### РОЗДІЛ 1 ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ ЩОДО ОРГАНІЗАЦІЇ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТІВ. СТРУКТУРА КУРСОВОЇ РОБОТИ

Самостійна робота студентів в межах дисципліни «Фізичні основи електронної техніки» є обов'язковою складовою навчального плану підготовки бакалаврів з електроніки за напрямом «Електронні пристрої та системи», яка проводиться з метою безпосереднього практичного засвоєння студентами теоретичних знань із визначення параметрів та характеристик приладів мікроелектроніки та функціональної електроніки, набуття ними навичок роботи з комп'ютерного моделювання структур таких приладів.

Оснoву самостійної роботи студентів з дисципліни «Фізичні основи електронної техніки» становить курсова робота, яка виконується студентами у п'ятому навчальному триместрі одночасно з вивченням ними теоретичного матеріалу.

Тематика курсових робіт з цієї дисципліни розробляється кафедрою електроніки і пропонується студентам за принципом вільного вибору, носить різноманітний характер і охоплює практично всі напрямки розвитку мікроелектроніки та функціональної електроніки.

**1. Термоелектричні явища.** Розрахунок впливу відповідних явищ на електрофізичні параметри матеріалів.

**2. Електромагнітні явища.** Розрахунок впливу відповідних явищ на електричні параметри матеріалів.

**3. Оптико-електронні явища.** Розрахунок впливу відповідних явищ на електрофізичні параметри матеріалів.

**4. Дефекти.** Розрахунок впливу різного роду дефектів на структуру матеріалу та його електрофізичні властивості.

**5. Домішки.** Розрахунок впливу різного роду домішок на структуру матеріалу та його електрофізичні властивості.

Якщо ж тематика курсової роботи збігається з тематикою наукової роботи студента або є складовою частиною його майбутньої бакалаврської

дипломної роботи, то тема курсової роботи може бути запропонована самим виконавцем, але структура, обсяг і графік виконання роботи її обов'язково узгоджується з викладачем.

Структура курсової роботи містить такі обов'язкові елементи: титульний аркуш, форма якого визначається відповідним Положенням про курсові роботи у ВНТУ, а приклад конкретного виконання подається у додатку А до чинних методичних вказівок; індивідуальне завдання на курсову роботу (додаток Б); анотацію, де у стислій, лаконічній формі подається зміст та основні результати, які отримано під час виконання цієї курсової роботи (обсяг анотації, яка друкується на окремому аркуші і розміщується зразу ж після індивідуального завдання, не може перевищувати 10 – 12 рядків тексту), основну частину роботи, яка має містити вступ; аналіз стану питання (перший розділ) щодо розрахунку електрофізичних параметрів матеріалів, запропонованих для курсової роботи, розрахунковий розділ (другий розділ), де наводиться методика та результати розрахунків відповідних параметрів, третій розділ, де подаються результати щодо можливості покращення експлуатаційних чи конструктивно-технологічних параметрів; висновки, список цитованої літератури і додатки.

Курсова робота виконується відповідно до вимог ДСТУ 3008:2015 та Положення про курсове проектування у ВНТУ.

Щодо обсягу курсової роботи, то він може бути рекомендований у межах 30 сторінок з використанням стандартних аркушів білого паперу формату А4 (210×297 мм). Мова – українська. Для друкування застосовувати текстовий редактор MS WORD for WINDOWS, використавши шрифт Times New Roman (Сур), 14 pt, через один інтервал між рядками. Нумерація сторінок (починаючи з четвертої) – в правому верхньому куті.

У **вступі** потрібно, насамперед, сформулювати **актуальність** розробки чи дослідження (актуальність теми). Потім, виходячи з актуальності, визначити **мету** роботи, яка може полягати у покращенні будь-яких параметрів чи електрофізичних характеристик досліджуваного матеріалу (наприклад, «підвищення температурного коефіцієнта опору матеріалу», «підвищення коефіцієнта теплопровідності матеріалу», «зменшення впливу магнітного поля на основні чи неосновні носії заряду» тощо). Задекларована мета передбачає формулювання конкретних практичних **завдань (або задач) дослідження**, виконання яких дозволить досягнути необхідних результатів, визначених метою дослідження або розробки. Задачі дослідження формулюються відповідно до змісту курсової роботи. Окрім зазначених (актуальності, мети, задач дослідження) у вступі необхідно показати, що є **предметом дослідження** (зазвичай, це, насамперед, характеристики і параметри досліджуваного матеріалу) і **об'єктом дослідження** (наприклад, процес перетворення оптичного випромінювання в електричний інформаційний сигнал), які **методи**

дослідження були використані під час підготовки цієї роботи, в чому полягає **практична цінність** проведеного дослідження чи розрахунку.

**Перший розділ** рекомендується побудувати як аналіз стану питання, тобто на основі залучення якомога ширшого наявного літературного матеріалу (підручники, навчальні посібники, наукові монографії та статті з наукових журналів, описи патентів на винаходи тощо) критично висвітлити, в якому стані знаходиться об'єкт вашого дослідження, наскільки він поширений, де використовується, чи достатня теоретична база для аналізу та розрахунку цих матеріалів, які є шляхи покращення конструктивних чи експлуатаційних параметрів таких матеріалів (виключно відповідно до заявленої мети).

При аналізі стану питання обов'язковим є не тільки критичне висвітлення певної інформації про об'єкт дослідження, але й коректне ставлення до самих джерел інформації, про що свідчить наявність чи відсутність у тексті вашої роботи відповідних цифр у квадратних дужках, кожна з яких відповідає номеру того чи іншого видання зі списку використаної літератури, що обов'язково подається в кінці курсової роботи. Оформляти цей список необхідно з дотриманням сучасних правил бібліографічного опису документів. При цьому не потрібно забувати, що **бібліографічний опис** того чи іншого документа подається тільки **на мові оригіналу**.

**Другий розділ**, як правило, присвячується розрахункам конкретних електрофізичних параметрів з наперед заданими константами. При виконанні цього розділу курсової роботи потрібно використати всю наявну теоретичну базу, враховуючи як лекційний матеріал, так і рекомендовану вам спеціальну літературу. Якщо тема курсової роботи була запропонована самим її виконавцем, то структура і обсяг відповідних розрахунків мають бути обов'язково погоджені з керівником вашої курсової роботи і відповідним чином зафіксовані в індивідуальному завданні на КР.

**Третій розділ** не є обов'язковим. Цей розділ є елементом наукової роботи, основна мета якої – дослідження можливості суттєвого покращення конструктивних, технологічних або експлуатаційних параметрів чи характеристик досліджуваних матеріалів, що покладені в основу цієї курсової роботи.

Методи такого дослідження можуть носити як експериментальний, так і теоретичний характер із залученням методів математичного і комп'ютерного моделювання. Результати таких досліджень, як правило, мають елементи наукової новизни або нового технічного рішення, які необхідно формально захистити або у вигляді наукової публікації (доповідь на науковій конференції, наукова стаття у фаховому журналі).

**Висновки**, якими завершується будь-яка робота цього кваліфікаційного рівня, мають чітко (по пунктах) відповісти, що конкретно зроблено в цій роботі і які конкретні результати отримано. Прикладом такого запису може бути:

«1. Проаналізовано теплоємність металів при низьких та високих температурах. Показано, що у області низьких температур енергія тіла зі збільшенням температури підвищується, а при високих температурах (наближених до температури Дебая) буде зменшуватись.

2. Розраховано кількість теплоти для алюмінію та міді при однакових температурах: від 10 К до 20 К; від 150 К до 250 К; від 300 К до 400 К. Як видно, для міді:  $Q_1 = 1,18$  Дж;  $Q_2 = 2241,9$  Дж;  $Q_3 = 6254,5$  Дж, а для алюмінію:  $Q_1 = 1,72$  Дж;  $Q_2 = 3854,9$  Дж;  $Q_3 = 9128,5$  Дж.

3. Розроблено програму для визначення кількості теплоти для міді і алюмінію та проведено її тестування, яке підтвердило її правильну та коректну роботу».

**Список використаної літератури** оформлюється з урахуванням сучасних вимог до бібліографічного опису інформаційних джерел (ДСТУ ГОСТ 7.1:2006) у кінці курсової роботи (після висновків). Список складається за чергою посилань у тексті (а не за абеткою).

У тексті курсової роботи посилання ставляться в квадратні дужки (наприклад, [1, 2]).

Приклади бібліографічного опису інформаційних джерел наведено нижче.

Для книжок (підручники, навчальні посібники, монографії).

1. Осадчук О. В. Мікроелектронні частотні перетворювачі на основі структур з від'ємним опором / Осадчук О. В. – Вінниця : УНІВЕРСУМ – Вінниця, 2001. – 303 с.

2. Васильєва Л. Д. Напівпровідникові прилади : підручник / Васильєва Л. Д., Медведенко Б. І., Якименко Ю. І. – К. : ІВЦ «Видавництво «Політехніка», 2003. – 388 с.

Для наукових статей.

3. Орликовский А. А. Диагностика *in situ* плазменных технологических процессов микроэлектроники: Современное состояние и ближайшие перспективы. Часть IV / А. А. Орликовский, К. В. Руденко, Я. Н. Суханов // Микроэлектроника. – 2001. – Т. 30. – № 6. – С. 403 – 433.

4. Curtis B. J. Optical End-Point Detection for the Plasma Etching of Aluminium / B. J. Curtis / Solid State Technology. – 1980. – V. 23. – № 4. – P. 129 – 132.

Для патентів.

5. Патент України № 26976, H01L 21/302. Спосіб визначення моменту закінчення процесу плазмохімічного травлення / С. Ю. Кравченко, Ю. С. Кравченко, В. С. Осадчук, О. В. Осадчук – 2007. – Бюл. 16.

Для електронних джерел інформації.

6. Аверкин С. Н. Зондовая диагностика плазмы ВЧ и СВЧ источников в иммерсионном ионном имплантере [Электронный ресурс] / С. Н. Аверкин, А. П. Ершов, А. А. Орликовский, К. В. Руденко, Я. Н. Суханов / XXX Международная (Звенигородская) конференция по

физике плазми и УТС: междунар. науч.-техн. конференция, 24 – 28 февр. 2003 г.: тезисы докл., 2003.

**Додатки** до курсової роботи з фізичних основ електроніки подаються як продовження роботи на подальших її аркушах.

Кожен додаток має починатися з нової сторінки, мати заголовок, надрукований вгорі малими літерами з першої великої симетрично відносно тексту сторінки. Посередині рядка над заголовком малими літерами з першої великої має бути надруковано слово «Додаток \_» і велика літера, що позначає додаток.

Додатки потрібно позначати послідовно літерами української абетки, за винятком літер Г, Є, З, І, Ї, Й, О, Ч, Ь, наприклад, «Додаток А», «Додаток Б».

**Ілюстрації (рисунок) і таблиці** в тексті курсової роботи оформлюються відповідно до затверджених норм і вимог.

Ілюстрації можуть бути розміщені як по тексту курсової роботи, так і в її додатках.

Всі ілюстрації нумерують в межах розділу, наприклад: Рисунок 1.1, Рисунок 1.2. Посилання на ілюстрації подають так: «... на рис. 1.1 ...». Посилання на раніше згадувані рисунки подають із скороченням слова «дивись», наприклад: «див. рис. 3.2».

Всі рисунки повинні мати назву і пояснювальні дані (підрисунковий текст), якщо це не зрозуміло з тексту, наприклад, «Рисунок 3.1 – Вихідні характеристики біполярного транзистора» (крапка в кінці назви рисунка не ставиться).

Цифровий матеріал, як правило, оформлюють у вигляді таблиць. Кожна таблиця повинна мати назву, якщо її зміст не зрозуміло з тексту, яку треба виконувати малими літерами (перша велика) над таблицею (над лівим верхнім кутом), наприклад, «Таблиця 2.4 – Параметри МДН-структури з полісиліцієвим заслоном» (без крапки у кінці).

Якщо розміри таблиці виходять за формат листа, то таблицю ділять на частини, які залежно від особливості таблиці переносять на інші листи або розташовують на одному листі, наприклад, одна під одною.

Слово «Таблиця \_», назва і порядковий номер таблиці вказують один раз на першою частиною таблиці, над наступними частинами пишуть слова «Продовження таблиці \_» із зазначенням її номера.

Всі таблиці, якщо їх в роботі більше, ніж одна, нумерують в межах розділу.



## РОЗДІЛ 2 КОРОТКІ ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ ЩОДО РОЗРАХУНКІВ ДЕЯКИХ ВЕЛИЧИН

### 2.1 Розрахунок поверхневої енергії металів і роботи виходу електронів методом функціонала густини (density-functional theory)

#### 2.1.1 Розрахунок поверхневої енергії

Використовується атомна система одиниць:

$$e^2 = \Delta = m = 1$$

Розглянемо модель однорідного фону для поверхні металу (модель нестабільного желе, Jellium model). Це поверхневий аналог моделі, що широко використовується для вивчення об'ємних властивостей простих металів, зона провідності яких формується з s- і p- атомних рівнів. Розглянемо випадок нескінченного кристала у припущенні, що заряд ґратки іонів рівномірно розмазаний по усьому об'єму і утворює однорідний позитивний фон із густиною  $\bar{n}$ , що різко обривається на координатній площині ZY. Інакше кажучи, візьмемо густину зарядів у вигляді:

$$\rho(x) = \bar{n}\Theta(-x) = \begin{cases} 1, & x \leq 0 \\ 0, & x > 0 \end{cases} \quad (2.1)$$

де  $\Theta(-x)$  – одинична сходинкова функція Хевісайда,

$\bar{n}$  – це середня густина позитивного заряду іонної ґратки; зручною одиницею її виміру є радіус  $r_s$ , обумовлений формулою:

$$\frac{4}{3}\pi r_s^3 \equiv \bar{n}^{-1}, \quad (2.2)$$

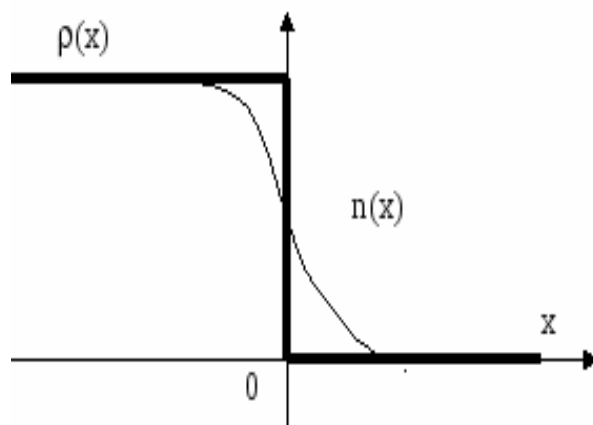


Рисунок 2.1 – Розподіл концентрації зарядів на поверхні металу

(в простих металах  $r_s$  змінюється від 2 до 6 а. о.) (1 а. о. довжини дорівнює борівському радіусу  $a_0$ ).

Для однорідного металу, повна неелектростатична енергія:

$$G = \bar{g}V, \quad (2.3)$$

де  $V$  – об'єм металу,

$\bar{g}$  – об'ємна густина неелектростатичної енергії однорідного електронного газу, що виглядає як:

$$\bar{g} \equiv g(\bar{n}). \quad (2.4)$$

У наближенні локальної густини повна енергія металу із урахуванням поверхні є:

$$E = G + E_q = S \int_{-\infty}^{\infty} dx g(n(x)) + E_q, \quad (2.5)$$

де  $E_q$  – електростатична енергія взаємодії електронів і іонів.

Об'ємна густина енергії складається з таких складових:

$$g(n) = g_t(n) + g_{ex}(n) + g_{cor}(n) + g_g(n), \quad (2.6)$$

де  $g_t(n)$  – об'ємна густина кінетичної енергії електронів;

$g_{ex}(n)$  – об'ємна густина обмінної енергії електронів;

$g_{cor}(n)$  – об'ємна густина кореляційної енергії електронів;

$g_g(n)$  – градієнтна поправка Вейцеккера для кінетичної енергії електронів.

Електростатичний потенціал визначається рівнянням Пуассона у такий спосіб:

$$\sigma_j = \sigma_q + \sigma_t + \sigma_g + \sigma_{ex} + \sigma_{cor}. \quad (2.7)$$

Для кінетичної енергії можна записати

$$g_t(n) = \frac{3}{10} K_F^2 n. \quad (2.8)$$

де  $K_F = (3\pi^2 n)^{\frac{1}{3}}$  – імпульс Фермі,

$E_F = \frac{K_F^2}{2}$  (в атомних одиницях Хартрі).

$$\sigma_t = \int_{-\infty}^0 dx \cdot [g_t(n(x)) - g_t(\bar{n})] + \int_0^{\infty} dx \cdot g_t(x), \quad (2.9)$$

для градієнтної поправки

$$g_g = \frac{1}{72} \cdot \frac{|\nabla n|^2}{n}, \quad (2.10)$$

$$\sigma_g = \frac{2}{72} \cdot \int_{-\infty}^{\infty} dx \cdot \frac{|\nabla n|^2}{2}, \quad (2.11)$$

для обмінної енергії

$$g_{ex} = -\frac{3}{4 \cdot \pi} \cdot K_F \cdot n, \quad (2.12)$$

$$\sigma_{ex} = \int_{-\infty}^0 dx \cdot [g_{ex}(n(x)) - g_{ex}(\bar{n})] + \int_0^{\infty} dx \cdot g_{ex}(n(x)), \quad (2.13)$$

для кореляційної енергії

$$g_{cor} = -[0,0474 + 0,0155 \ln(K_F)] \cdot n,$$

$$\sigma_{cor} = \int_{-\infty}^0 dx \cdot [g_{cor}(n(x)) - g_{cor}(\bar{n})] + \int_0^{\infty} dx \cdot g_{cor}(n(x)) \quad (2.14)$$

Для знаходження оптимального вигляду функції  $n(x)$  застосуємо варіаційний метод. Він полягає в заданні  $n(x)$  параметричним рівнянням із варіаційним параметром ( $b$ ), а потім із наступною мінімізацією повної енергії за цим параметром. Нехай

$$n(x) = \bar{n} \begin{cases} 1 - \frac{1}{2} e^{bx}, & x \leq 0 \\ \frac{1}{2} e^{-bx}, & x > 0 \end{cases}, \quad (2.15)$$

де величина  $b^{-1}$  приблизно дорівнює  $d$ .

Для електростатичного потенціалу маємо:

$$\varphi(x) = \frac{4\pi\bar{n}}{b^2} \begin{cases} \left(1 - \frac{1}{2} e^{bx}, x \leq 0\right) \\ \frac{2}{2} e^{-bx}, x > 0 \end{cases}, \quad (2.16)$$

$$\sigma_q = C_q \frac{\bar{n}^2}{b^2}. \quad (2.17)$$

Для кінетичної енергії

$$\sigma_t = C_t \frac{\bar{n}^{-5/2}}{b}. \quad (2.18)$$

Для градієнтної поправки

$$\sigma_g = C_g \bar{n} b. \quad (2.19)$$

Для обміну

$$\sigma_{ex} = C_{ex} \frac{\bar{n}^{-1/2}}{b}. \quad (2.20)$$

Для кореляції

$$\sigma_{cor} = C_{cor} \frac{\bar{n}}{b}. \quad (2.21)$$

Варіаційний параметр  $b$  знаходиться за принципом мінімізації поверхневої енергії. При оптимальному розподілі густини  $n(x)$  значення  $\sigma$  менше, ніж при будь-якому іншому розподілі густини електронів. У моделі стабілізованого желе (Stabilized Jellium model) поверхнева енергія є

$$\sigma_{sj} = \sigma_j + \langle \sigma V \rangle_{ws} \int_{-\infty}^0 dx [n(x) - \bar{n}], \quad (2.22)$$

де

$$\langle \sigma V \rangle_{ws} = -\bar{n} \frac{d\varepsilon_j \bar{n}}{d\bar{n}}, \quad (2.23)$$

де  $\varepsilon_j = g_j / \bar{n}$  - енергія на 1 електрон. Потенціал  $\langle \sigma V \rangle_{ws}$  враховує дискретність іонів та електрон-іонну взаємодію в псевдопотенціальному наближенні.

$$g(\bar{n}) = g_t(\bar{n}) + g_{ex}(\bar{n}) + g_{cor}(\bar{n}) + g_g(\bar{n}).$$

### 2.1.2 Контакт метал – напівпровідник

Висоту потенціального бар'єра на межі між напівпровідником і металом за умов рівноваги розраховують за формулою:

$$U_0 = e\varphi_0 = e\varphi_{mn} - \left( \frac{E_g}{2e} - \varphi_F \right), \quad (2.24)$$

де  $U_0 = e\varphi_0$  – висота потенціального бар'єра;

$e\varphi_{mn}$  – потенціальний бар'єр контакту метал – напівпровідник;

$E_g$  – ширина забороненої зони напівпровідника  $n$ -типу;

$E_F$  – енергія Фермі в напівпровіднику.

Товщину області просторового заряду за умов рівноваги визначають так:

$$x_{n0} = \left( \frac{2\varepsilon\varepsilon_0}{eN_D} - \varphi_F \right)^{1/2}. \quad (2.25)$$

При прямому зміщенні переходу

$$x_n = \left[ \frac{2\varepsilon\varepsilon_0}{eN_D} (e\varphi_0 + U) \right]^{1/2}. \quad (2.26)$$

Потік електронів із металу в напівпровідник за умов рівноваги розраховують за формулою

$$x_n = \frac{m_n^*(kT)^2}{h^3} \exp\left(-\frac{eU_{MH}}{kT}\right), \quad (2.27)$$

де  $m_n^*$  – ефективна маса електрона;

$k$  – стала Больцмана;

$h$  – стала Планка;

$eU_{MH}$  – висота потенціального бар'єра.

Густина струму для діода Шотткі визначають за виразом

$$J_{MH} = e \frac{m_n^*(kT)^2}{h^3} \exp\left(-\frac{eU_{MH}}{kT}\right) \left[ \exp\frac{eU}{kT} - 1 \right] \quad (2.28)$$

Значення висоти потенціального бар'єра контакту метал–кремній  $n$ -типу для деяких металів наведено в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Висота потенціального бар'єра контакту метал – кремній

Метал	Mo	W	Ni	Al	Cu	PtSi	Au
$e\varphi_{MH}$ , eВ	0,59	0,67	0,68	0,76	0,77	0,82	0,84

У рівнянні (2.28) вираз  $A^* = e \frac{m_n^*(kT)^2}{h^3}$  називають сталою

Річардсона.

Величина  $A^*$  є однією з найважливіших сталих у теорії контакту метал – напівпровідник і залежить від напівпровідника й типу його провідності. Стала Річардсона для термоелектронної емісії в вакуумі  $A_B^* = 1,2 \cdot 10^6$  А/(м<sup>2</sup>\*К<sup>2</sup>).

Струм діода Шотткі з урахуванням сталої Річардсона і площі діода  $S$  визначають за виразом

$$I_{MH} = A^* T^2 S \exp\left(-\frac{eU_{MH}}{kT}\right) \left[ \exp\left(\frac{eU}{kT}\right) - 1 \right]. \quad (2.29)$$

## РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Готра З. Ю. Технологія електронної техніки : навчальний посібник у 2 т./ Готра З. Ю. – Львів : Видавництво національного університету «Львівська Політехніка», 2010. – 888 с.
2. Фізичні основи електронної техніки : підручник для студ. ВНЗ / [З. Ю. Готра, І. Є. Лопатинський, Б. А. Лукіянець та ін.]. – Львів : Бескид Біт, 2004. – 880 с.
3. Прокопів А. А. Фізичні основи електронної техніки : підручник / Прокопів А. А. – К. : Видавничо-поліграфічний центр «Київський університет», 2005. – 431 с.
4. Аваев Н. А. Основы микроэлектроники. Учебное пособие для ВУЗов / Аваев Н. А., Наумов Ю. Е., Фролкин В. Т. – М. : Радио и связь, 1991. – 288 с.
5. Прищепя М. М. Мікроелектроніка. В 3-х ч. Ч. 1. Елементи мікроелектроніки : навч. посіб. / М. М. Прищепя, В. П. Погребняк. – К. : Вища школа, 2004. – 431 с.
6. Прищепя М. М. Мікроелектроніка. Елементи мікросхем. Збірник задач : навч. посіб. / М. М. Прищепя, В. П. Погребняк. – К. : Вища школа, 2005. – 167с.
7. Закалик Л. І. Фізичні основи та пристрої функціональної електроніки / Л. І. Закалик, І. В. Костюк. – Львів : Нац. ун-т «Львів. політехніка», 2001.
8. Щука А. А. Электроника : учебн. пособие / Щука А. А. – С-Пб. : БХВ-Петербург, 2005. – 800 с.
9. Осадчук В. С. Основи функціональної мікроелектроніки / Осадчук В. С. – Вінниця : ВДГУ, 1998. – 245 с.
10. Лозинський А. О. Системи керування електропобутовими приладами : навч. посібник / Лозинський А. О., Копчак Б. Л., Бушер В. В. – Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2010. – 304 с.
11. Кириленко О. В. Системи силової електроніки та методи їх аналізу / Кириленко О. В., Жуйков В. Я., Детасюк С. П. – К. : Текст, 2006. – 488 с.

## ДОДАТОК А

ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
Кафедра електроніки та наносистем

### КУРСОВА РОБОТА

«Фізичні основи електронної техніки»  
на тему: «Розрахунок теплоємності та теплопровідності металів»

студента 2 курсу групи ЕП- б  
спеціальності 153  
«Мікро- та наносистемна техніка»  
ІВАНОВА М. Ю.  
Керівник: к.т.н., доцент Мартинюк В. В.

Національна шкала \_\_\_\_\_  
Кількість балів: \_\_\_\_\_ Оцінка: ECTS \_\_\_\_\_

Члени комісії

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

(підпис)

(прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_

(підпис)

\_\_\_\_\_

(прізвище та ініціали)

м. Вінниця 2019 рік



## ДОДАТОК Б

ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри ЕНС

Й. Й. Білінський

« \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2019 р.

### ІНДИВІДУАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ

#### на курсову роботу

з дисципліни «Фізичні основи електронної техніки»

студенту 2 курсу гр. ЕП- б Іванову М. Ю.

на тему: «РОЗРАХУНОК ВПЛИВУ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПОЛЯ НА ТЕПЛОЄМНІСТЬ ТА ТЕПЛОПРОВІДНІСТЬ МЕТАЛІВ»

*1. Пропонується: провести аналіз стану питання щодо дослідження впливу електромагнітного поля на теплоємність та теплопровідність металів.*

*2. На основі проведеного аналізу запропонувати методи зменшення або збільшення впливу електромагнітного поля на теплоємність та теплопровідність металів.*

*3. Розрахувати вплив електромагнітного поля на задані параметри металів до та після запропонованих методів.*

*4. Розробити програму для обчислення результатів.*

*Основні вихідні дані:*

---

---

---

---

Дата попереднього захисту роботи « \_\_\_ » квітня 2019 р.

Завдання видав:

Керівник КР \_\_\_\_\_

Мартинюк В. В., к.т.н., доцент  
каф. електроніки та наносистем

« \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2019 р.

Завдання отримав:

студент \_\_\_\_\_

Іванов М. Ю.

« \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2019 р.

## ДОДАТОК В

Таблиця В.1 – Основні фізичні сталі

Стала Планка, $h$	$6,62 \cdot 10^{-34}$ Дж · с $4,14 \cdot 10^{-15}$ еВ · с
Стала Больцмана, $k$	$1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К $0,86 \cdot 10^{-4}$ еВ /К
Маса електрона, $m_e$	$9,106 \cdot 10^{-31}$ кг
Заряд електрона, $e$	$1,602 \cdot 10^{-19}$ Кл
Діелектрична проникність вакууму, $\epsilon_0$	$8,86 \cdot 10^{-14}$ Ф/см
Магнітна проникність вакууму, $\mu_0$	$1,257 \cdot 10^{-8}$ Гн/см
Швидкість світла, $c$	$2,99778 \cdot 10^{10}$ см/с

Таблиця В.2 – Фізичні властивості напівпровідникових матеріалів

Параметр	Одиниця виміру	Ge	Si	GaAs
Атомний номер	-	32	14	-
Атомна (молекулярна) маса	-	72,59	28,08	144,64
Концентрація атомів, $N$	ат./м <sup>3</sup>	$4,4 \cdot 10^{28}$	$5,0 \cdot 10^{28}$	$1,3 \cdot 10^{28}$
Стала ґратки, $d$ (за 300 К)	м <sup>-10</sup>	5,65	5,43	5,65
Температура плавлення, $T$	°С	936,0	1412,0	1238,0
Діелектрична проникність, $\epsilon$	-	16	12	10,9
Ширина забороненої зони, $E_g$ :	еВ			
0 К		0,785	1,21	1,52
300 К		0,67	1,11	1,43
Концентрація носіїв заряду у власному напівпровіднику $n_i$ (300 К)	м <sup>-3</sup>	$2,1 \cdot 10^{19}$	$1,5 \cdot 10^{16}$	$8,9 \cdot 10^{12}$
Рухливість носіїв заряду за 300 К:	м <sup>2</sup> /(Вс)			
електронів $\mu_n$		0,39	0,135	0,85
дірок $\mu_p$		0,18	0,048	0,04
Коефіцієнт дифузії за 300 К:	м <sup>2</sup> /с			
електронів $D_n$		$9,3 \cdot 10^{-3}$	$3,5 \cdot 10^{-3}$	$2,2 \cdot 10^{-2}$
дірок $D_p$		$4,4 \cdot 10^{-3}$	$1,3 \cdot 10^{-3}$	$1,1 \cdot 10^{-3}$

*Навчальне видання*

**Методичні вказівки  
до виконання курсової роботи  
з дисципліни  
«Фізичні основи електронної техніки»  
для студентів  
спеціальності 153 – Мікро та наносистемна техніка**

Укладачі: *Володимир Валерійович Мартинюк*  
*Костянтин Володимирович Огородник*

Рукопис оформив *В. Мартинюк*

Редактор *Т. Старічек*

Оригінал-макет підготував *О. Ткачук*

Підписано до друку 10.06.2019.  
Формат 29,7×42¼. Папір офсетний.  
Гарнітура Times New Roman.  
Друк різнографічний. Ум. друк. арк. 1,08.  
Наклад 40 (1-й запуск 1–21) пр. Зам. № 2019-085.

Видавець та виготовлювач  
Вінницький національний технічний університет,  
інформаційний редакційно-видавничий центр.  
ВНТУ, ГНК, к. 114.  
Хмельницьке шосе, 95,  
м. Вінниця, 21021.  
Тел. (0432) 65-18-06.  
**press.vntu.edu.ua;**  
*E-mail: kivc.vntu@gmail.com.*  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи  
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.