

**Методичні вказівки
до виконання курсової роботи
з дисципліни
«Фізика напівпровідників»**

для студентів
спеціальності 171 – Електроніка

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет

**Методичні вказівки
до виконання курсової роботи
з дисципліни
«Фізика напівпровідників»**

для студентів
спеціальності 171 – Електроніка

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 «Фізика напівпровідників» для студентів спеціальності 171 «Електроніка» / Уклад. В. В. Мартинюк, О. О. Селецька. – Вінниця : ВНТУ, 2019. – 18 с.

Вказівки підготовлені згідно з навчальним планом підготовки бакалаврів з електроніки спеціальності 171 «Електроніка». Наведено основні вимоги щодо організаційних питань підготовки курсової роботи, її оформлення та захисту, а також структура курсової роботи з дисципліни «Фізика напівпровідників», необхідні довідкові дані.

ВСТУП

Чинні методичні вказівки розроблено відповідно до навчального плану підготовки бакалаврів з електроніки спеціальності 171 «Електроніка» .

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

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

Самостійна робота студентів в межах дисципліни «Фізика напівпровідників» є обов'язковою складовою навчального плану підготовки бакалаврів з електроніки спеціальності 171 – Електроніка, 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.

Основу самостійної роботи студентів з дисципліни «Фізика напівпровідників» 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. П'єзоелектричні явища. Розрахунок впливу відповідних явищ на електрофізичні параметри матеріалів.

2. Індокси Міллера. Розрахунок впливу розташування площин 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.

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

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 відразу після індивідуального завдання, не має перевищувати 10 – 12 рядків тексту), основну частину роботи, яка має містити вступ; аналіз стану питання (перший розділ) щодо розрахунку електрофізичних параметрів матеріалів, що запропоновані 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.

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, визначають **мету** роботи, яка може полягати у покращенні будь-яких параметрів чи електрофізичних характеристик матеріалу, що досліджується (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 **мовою 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 покладено 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 нові технології формування контактів та контактних систем.

2. Розраховано контактну різницю потенціалів яка становить

$$\varphi_{k_1} = 0,026 \text{ В}, \varphi_{k_2} = 0,062 \text{ В}, \varphi_{k_3} = 0,083 \text{ В}, \varphi_{k_4} = 0,97 \text{ В}.$$

3. Розраховано область просторового заряду яка становить

$$\delta_{онз_1} = 0,275 \text{ см}, \delta_{онз_2} = 0,258 \text{ см}, \delta_{онз_3} = 0,258 \text{ см}, \delta_{онз_4} = 0,269 \text{ см}.$$

4. Розроблено програму розрахунку рівня Фермі, контактної різниці потенціалів та області просторових зарядів.»

Список використаної літератури оформлюється з урахуванням сучасних вимог до бібліографічного опису інформаційних джерел 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 наведені 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 В. J. Optical End-Point Detection for the Plasma Etching of Aluminium / В. 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 / Кравченко С. Ю., Кравченко Ю. С., Осадчук В. С., Осадчук О. В. – 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 плазмы и УТС: междунар. науч.-техн. конференция, 24 – 28 февр. 2003 г.: тезисы докл., 2003.

Додатки до курсової роботи з фізики твердого тіла 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.

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

Розглянемо атомну систему одиниць

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

Звернемося до розгляду моделі 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. Тобто, 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 сходячкова функція Хевісайда,

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

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

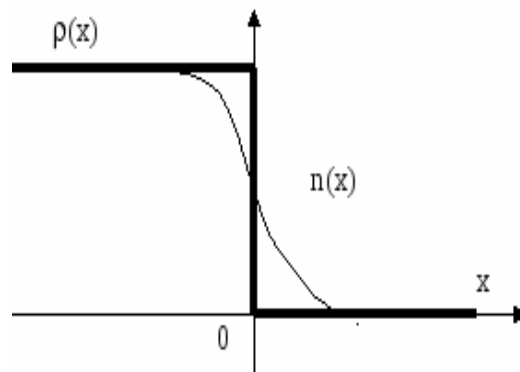


Рисунок 2.1 – Розподіл концентрації зарядів на поверхні металу

(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, яку можна записати таким чином :

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

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 .

Тоді, для електростатичного потенціалу, маємо

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

$$\sigma_q = C_q \frac{\bar{n}^2}{b^3}. \quad (2.17)$$

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

$$\sigma_{ex} = C_{ex} \frac{\bar{n}^{4/3}}{b}. \quad (2.20)$$

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 σ 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

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

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

$e\varphi_{MH}$ – 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:

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

За прямого зміщення 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.

Густину 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
$e\varphi_{MH}$, eV	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 $A_e^* = 1,2 \cdot 10^6$ А/(м² · К²).

Струм діода Шоттки з урахуванням сталої Річардсона та 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. Павлов П. В. Физика твердого тела. Изд.4 / П. В. Павлов, А. Х. Хохлов. – М. :URSS, 2015. – 496 с.
2. 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.
3. Прищепа М. М. Мікроелектроніка : в 3-х ч. : навч. посіб. / М. М. Прищепа, В. П. Погребняк. – К. : Вища школа, 2004. – Ч. 1. Елементи мікроелектроніки. – 2004. – 431 с.
4. Прищепа М. М. Мікроелектроніка. Елементи мікросхем. Збірник задач : навч. посіб. / М. М. Прищепа, В. П. Погребняк. – К. : Вища школа, 2005. – 167 с.
5. Закалик Л. І. Фізичні основи та пристрої функціональної електроніки / Л. І. Закалик, І. В. Костюк. – Львів : Нац. ун-т «Львів. політехніка», 2001.
6. Щука А. А. Электроника : учебн. пособие / Щука А. А. – С-Пб. : БХВ -Петербург, 2005. – 800 с.
7. Осадчук В. С. Основы функціональної мікроелектроніки / Осадчук В. С. – Вінниця : ВДТУ, 1998. – 245 с.
8. Готра З. Ю. Технологія електронної техніки : навчальний посібник у 2 т. / Готра З. Ю. – Львів : Видавництво національного університету «Львівська Політехніка», 2010. – 888 с.
9. Прокопів А. А. Фізичні основи електроніки : підручник / Прокопів А. А. – К. : Видавничо-поліграфічний центр «Київський університет», 2005. – 431 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.

Додаток А

ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Кафедра електроніки та наносистем

КУРСОВА РОБОТА

«Фізика напівпровідників»

на тему: **«Розрахунок рівня Фермі та контактної різниці потенціалів при контакті двох напівпровідників з різним типом провідності»**

студента 2 курсу групи ЕП- б

спеціальності – 171

«Електроніка»

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 «Фізика напівпровідників»
студенту 2 курсу гр. ЕП- б Іванову М. Ю.

на тему: «Розрахунок рівня Фермі та контактної різниці потенціалів при контакті двох напівпровідників з різним типом провідності»

1. Пропонується: провести аналіз стану питання щодо впливу домішок на висоту рівня Фермі та контактної різниці потенціалів.

2. На основі проведеного аналізу запропонувати методи зменшення або збільшення впливу домішок на висоту рівня Фермі.

3. Розрахувати енергію Фермі при $T=253\text{ K}$, $T=263\text{ K}$, $T=273\text{ K}$, $T=283\text{ K}$, $T=293\text{ K}$, $T=300\text{ K}$, коли енергетичний рівень дорівнює $1\%=0,01$. Концентрація акцепторної домішки в р-області $N_a=10^{15}\text{ (см}^{-3}\text{)}$, донорної домішки в n-області, області просторового заряду в р- і n-областях при прикладенні зовнішньої напруги $U=-10\text{ В}$.

4. Розробити програму для обрахунку 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, ϵ_0	$8,86 \cdot 10^{-14}$ Ф/см
Магнітна проникність вакууму, μ_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 ³	$4,4 \cdot 10^{28}$	$5,0 \cdot 10^{28}$	$1,3 \cdot 10^{28}$
Стала ґратки, d (за 300 К)	м ⁻¹⁰	5,65	5,43	5,65
Температура плавлення, T	°С	936,0	1412,0	1238,0
Діелектрична проникність, ϵ	-	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 ⁻³	$2,1 \cdot 10^{19}$	$1,5 \cdot 10^{16}$	$8,9 \cdot 10^{12}$
Рухливість носіїв заряду за 300 К:	м ² /(Вс)			
електронів μ_n		0,39	0,135	0,85
дірок μ_p		0,18	0,048	0,04
Коефіцієнт дифузії за 300 К:	м ² /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
«Фізика напівпровідників»
для студентів спеціальності 171 - Електроніка**

Укладачі: *Володимир Валерійович Мартинюк*
Олена Олександрівна Селецька

Рукопис оформив *В. Мартинюк*

Редактор *Т. Старічек*

Оригінал-макет підготував *О. Ткачук*

Підписано до друку 07.06.2019.
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. № 2019-083.

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.