

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
МІНІСТЕРСТВО ОХОРОНИ ЗДОРОВ'Я УКРАЇНИ
БУКОВИНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ МЕДИЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

МАТЕРІАЛИ

III науково-практичної інтернет-конференції



**РОЗВИТОК
ПРИРОДНИЧИХ НАУК
ЯК ОСНОВА НОВІТНІХ
ДОСЯГНЕНЬ У
МЕДИЦИНІ**

*м. Чернівці
21 червня 2023 року*

Список використаної літератури

1. Зозуля О.С. Особливості розвитку стулок передсердно-шлуночкових клапанів. *Морфологія*. 2007. Т. 1, № 2. С. 54–58.
2. Касьянова А.Ю., Лебідь І.Г. Медико-психологічні особливості якості життя молодих дорослих пацієнтів із прооперованими вродженими вадами серця. *Журнал клінічних та експериментальних досліджень*. 2014. 2(3). 365–372.
3. Козлов В.О., Довгаль Г.В., Дзяк В.Г. Залежність будови та розташування сухожилкових хорд від вікових характеристик. *Український медичний альманах*. 2000. №1. С. 29–30.
4. Козлов В., Довгаль Г., Жаріков М. Будова папілярно-трабекулярного апарату та варіанти розташування сухожилкових струн у серці плодів та дітей. *Буковинський медичний вісник*. 200. Т. 5, №3–4. С. 59–60.
5. Майданник В.Г., Хайтович М.В. Діагностика природжених пороків серця: сучасний стан і перспективи. *Педіатрія, акушерство та гінекологія*. 2010. Т. 72, № 1. С. 31–34.
6. Макаров А.В., ПП. Сокур Вроджені вади серця. *Український медичний часопис*. 2003. №5. С. 122–125.
7. Олійник І.Ю., Корнійчук О.В., Лаврів Л.П. Бернік Н.Б. Спосіб тривимірного реконструювання органів та структур. *Клінічна анатомія та оперативна хірургія*. 2011. Т. 10, №1. С.97–100.
8. Симівська Р.Р. Макро-, мікро- та ультраструктурна організація тристулкового та двостулкового клапанів серця. *Клінічна анатомія та оперативна хірургія*. 2018. Т. 17, № 4. С. 24–29.
9. Твердохліб І.В. Просторова реконструкція біологічних об'єктів за допомогою комп'ютерного моделювання. *Морфологія*. 2007. №1. С. 135–139.
10. Harsha B.R., Chandrashekar K.T., Dakshayani K.R. Morphometric study on posterior papillary muscles of human tricuspid valve *IAIM*. 2015. Vol. 2, №2. P. 34–38.

УДК 539.21; 541.182; 548.5; 620.18;681.586

Ткачук І.Г

МОДЕЛЮВАННЯ НОВИХ СТРУКТУР ДЛЯ МЕДИЧНИХ ДАТЧИКІВ НА ОСНОВІ

ПЛІВОК ДЕЛОФАСИДІВ ТА ШАРУВАТИХ КРИСТАЛІВ InSe

Буковинський державний медичний університет, м. Чернівці

tkachuk.ivan@bsmu.edu.ua

Анотація Досліджені умови виготовлення фоточутливих анізотипних гетеропереходів $\text{CuFeO}_2/n\text{-InSe}$ методом низькотемпературного спреї-піролізу тонких плівок CuFeO_2 на кристалічні підкладки $n\text{-InSe}$ для використання їх як сенсорів сприйняття в медичних приладах. На основі аналізу температурних залежностей прямих і зворотних ВАХ встановлена динаміка зміни енергетичних параметрів та з'ясована роль енергетичних станів на межі гетеропереходу при формуванні контактної різниці потенціалів. Досліджено та визначено величину послідовного опору а також вплив опору на енергетичні параметри. Визначені механізми формування прямого та зворотного струмів крізь енергетичний бар'єр $\text{CuFeO}_2/n\text{-InSe}$. Досліджена спектральна залежність квантової ефективності опроміненої зі сторони плівки CuFeO_2 гетероструктури $\text{CuFeO}_2/n\text{-InSe}$ в інтервалі енергій фотонів $1.2\div 3.2$ eV.

Вступ. Моноселенід індію InSe володіє шириною забороненої зони $E_g = 1.2$ eV яка знаходиться в діапазоні оптимальних значень для фотоелектричного перетворення спектру сонячного випромінювання в наземних умовах. Шарувата структура кристалів InSe зі слабким Ван-дер-Ваальсовим зв'язком між шарами забезпечує їх перевагу перед іншими напівпровідниками при виготовленні підкладок для гетероструктур через уникнення операцій розрізування злитків, механічної і хімічної обробки поверхні. Крім того, стійкість InSe до радіаційного випромінювання розширює область його використання. Використання селеніду індію як базового матеріалу дозволяє створювати фоточутливі структури різних типів: на основі контакту метал/напівпровідник, гомопереходи і гетеропереходи.

Прозорі провідні оксиди – це матеріали з високою електропровідністю і низьким оптичним поглинанням видимого світла. Тонкі плівки прозорих провідних оксидів широко використовуються в різних пристроях, таких як плоскі дисплеї, сенсорні панелі та сонячні батареї. Делафосити – потрійні оксиди міді та заліза з основною формулою ABO_2 , де A являє собою одновалентні катіони, такі як Cu або Ag, а B являє собою тривалентні метали від Al до La. Делафосит $CuFeO_2$ – це напівпровідник p -типу, ширина забороненої зони якого може змінюватися від 0.91 до 3.35 eV.

Методика експерименту. Для виготовлення гетеропереходів використовувався монокристалічний n -InSe, вирощений методом Бріджмена. Зі злитка кристала InSe вздовж площини спайності сколювалися плоскопаралельні пластини $5 \times 5 \times 1$ mm³, які мали досконалі дзеркальні поверхні. Сколювання проводилося на повітрі. Тонкі плівки $CuFeO_2$ p -типу електропровідності із товщиною ~ 0.3 μ m виготовлялися методом спреї-піролізу 0.1 М водних розчинів солей двохлористої міді $CuCl_2 \cdot 2H_2O$ і три хлористого заліза $FeCl_3 \cdot 6H_2O$. При розчиненні солей металів використовувалася бідистильована вода. Окремо приготовлені розчини солей міді і заліза перед нанесенням змішувалися у пропорції 1:1 за об'ємом із використанням магнітної мішалки протягом 30 min при кімнатній температурі. Температура піролізу при отриманні зразків тонких плівок $CuFeO_2$ на підкладках натрій-кальцієвого скла, сіталу і селеніду індію становила $T_g = 350$ °C. В якості газу носія використовувалося стиснуте повітря. Підкладки скла і сіталу перед нанесенням плівок $CuFeO_2$ знежирювалися у аміачно-перекисному розчині $H_2O_2:(NH_2)OH:H_2O$, оброблялися 5%-м розчином двохромокислого калію $K_2Cr_2O_7$ у сірчаній кислоті і промивалися у бідистильованій воді. Для дослідження спектру оптичного пропускання використовувалися зразки плівок $CuFeO_2$, виготовлені на склі розміром 18×18 mm². Оптична ширина забороненої зони виготовлених плівок $CuFeO_2$ $E_g = 2.6$ eV. Процес спреї піролізу дозволяв одночасно здійснювати нанесення плівок на різні підкладки. Для одержання сходинок плівки, які використовувалися при

визначенні товщини, використовувалися спеціально виготовлені маски. Товщина плівок CuFeO_2 вимірювалася мікроінтерферометром Лінника МІІІ-4. Поверхневий електроопір плівок CuFeO_2 на діелектричних сітлових підкладках безпосередньо після процесу виготовлення контролювався чотиризондовим методом і становив $\rho_s = 10^4 \Omega/\text{квадрат}$.

Результати і обговорення. На рис. 1 приведені прямі гілки вольт-амперних характеристик $I(V)$ гетероструктур $\text{CuFeO}_2/n\text{-InSe}$, виміряні при різних температурах. Вони добре описується формулою в рамках моделі, що враховує вплив послідовного (R_s) і шунтуючого опорів (R_{sh}):

$$I = I_s \left[\exp\left(\frac{e(V - IR_s)}{nkT}\right) - 1 \right] + \frac{V - IR_s}{R_{sh}} \quad (1)$$

де I_s – зворотній струм насичення, який можна знайти екстраполяцією до нульової напруги, n – коефіцієнт неідеальності.

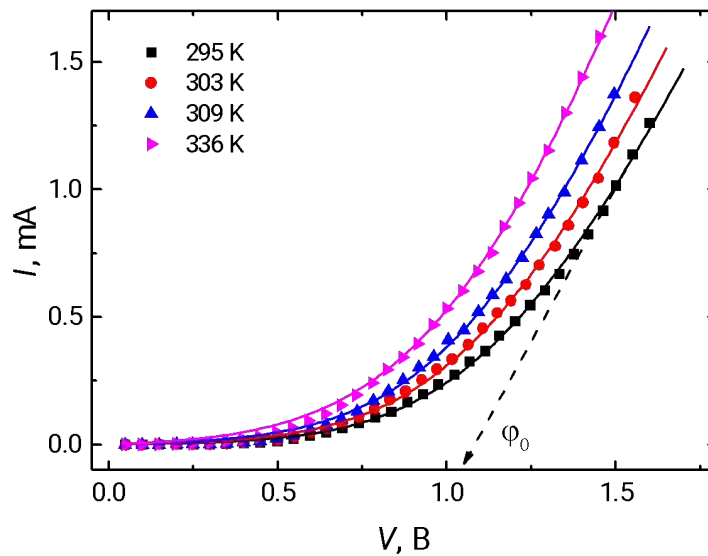


Рис. 1. Прямі гілки ВАХ гетероструктури $\text{CuFeO}_2/n\text{-InSe}$ при різних температурах (крапки – експериментальні дані, криві – апроксимація формулою (1))

Суцільні криві на рис. 1 представляють собою результати апроксимації ВАХ формулою (1). Параметри підгонки приведені в Табл. 1.

Таблиця 1. Підгоночні параметри

T, K	n	$I_s, \mu\text{A}$	R_s, Om	R_{sh}, Om
295	8	2.5	272	10^6

303		3.7	253	
309		5.4	232	
336		11	190	

Значення висоти потенціального бар'єру гетероструктури φ_0 при різних температурах визначені шляхом екстраполяції лінійних ділянок ВАХ до перетину з віссю напруг. Встановлено, що температурна залежність $\varphi_0(T)$, для етероструктур $\text{CuFeO}_2/n\text{-InSe}$ (рис. 1) добре описується рівнянням:

$$\varphi_0(T) = \varphi_0(0) - \beta_\varphi T, \quad (2)$$

де $\beta_\varphi = 5.5 \cdot 10^{-3} \text{ eV} \cdot \text{K}^{-1}$ – температурний коефіцієнт висоти потенціального бар'єру, а $\varphi_0(0) = 2.56 \text{ eV}$ – значення висоти потенціального бар'єру досліджуваної гетероструктури при абсолютному нулі температури.

Велике значення β_φ порівняно з температурним коефіцієнтом ширини забороненої зони для InSe ($\beta_{Eg} = 2.3 \cdot 10^{-4} \text{ eV/K}$) може бути обумовлено великою концентрацією поверхневих дефектів N_{ss} на межі розділу $\text{CuFeO}_2/n\text{-InSe}$, що є наслідком істотного розходження постійних ґраток a матеріалів гетеропереходу.

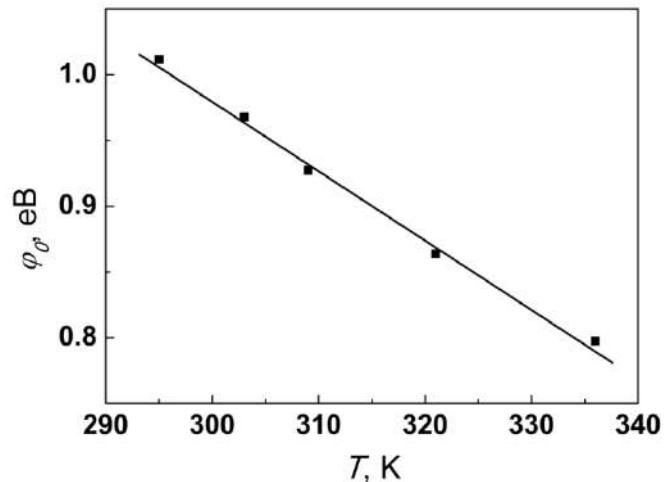


Рис. 2. Залежність висоти потенціального бар'єру φ_0 від температури для гетероструктури $\text{CuFeO}_2/n\text{-InSe}$

У першому наближенні $N_{ss} \propto x^{-2}$, де відстань між дислокаціями невідповідності x визначається з наступного виразу:

$$x = a_{\text{InSe}} a_{\text{CuFeO}_2} / (a_{\text{InSe}} - a_{\text{CuFeO}_2}) \quad (3)$$

Для $a_{\text{InSe}} = 4.24 \text{ \AA}$ і $a_{\text{CuFeO}_2} = 5.43 \text{ \AA}$ отримаємо $x = 19.3 \text{ \AA}$ і $N_{ss} = 2.67 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-2}$. При такій густині поверхневі стани можуть грати роль ефективних центрів захоплення, або рекомбінації і суттєво впливати на електричні властивості гетеро структур.

На рис. 3. представлена залежність диференційного опору R_{diff} від напруги V , на основі якої можна визначити величину послідовного опору гетероструктури R_s . Видно, що в області напруг більше висоти потенціального бар'єру криві $R_{diff}(V)$ виходять на насичення. Це свідчить про те, що напруга на бар'єрній області діода перестає змінюватися, тобто бар'єр практично відкритий, а струм через гетероперехід обмежується його послідовним опором R_s , який визначається шляхом екстраполяції області насичення до перетину з віссю диференційного опору.

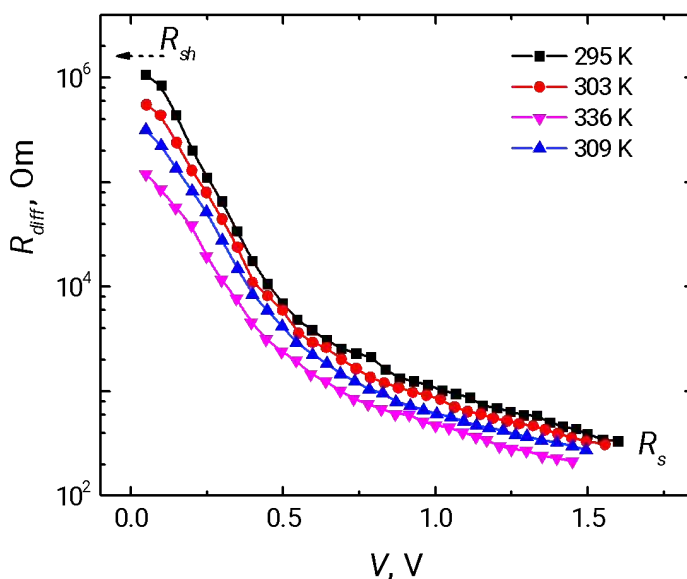


Рис. 3. Залежність диференційного опору гетероструктури $\text{CuFeO}_2/n\text{-InSe}$ від напруги при різних температурах

Послідовний опір гетеропереходу визначається опором підкладки (InSe). При кімнатній температурі $\rho_{||c}(\text{InSe}) \sim 10^3 \text{ Ом}\cdot\text{см}$. Тоді для зразка розміром $5 \times 5 \times 1.2 \text{ мм}^3$ можна оцінити $R_s = \rho \cdot S/l = 480 \text{ Ом}\cdot\text{см}$, що корелюється з даними рис. 3. Прямі гілки вольтамперних характеристик гетеропереходу в напівлогарифмічних координатах при різних температурах показані на рис. 4. Як видно з рисунку, в області прямих зміщень $V > 3kT/e$ спостерігаються прямолінійні ділянки.

Аналіз прямих гілок ВАХ гетероструктур $\text{CuFeO}_2/n\text{-InSe}$, побудованих в напівлогарифмічному масштабі, показав, що залежність $\ln I = f(V)$ складається із двох

прямолинійних ділянок, що свідчить про експоненційну залежність струму від напруги і наявність двох домінуючих механізмів переносу заряду в досліджуваному інтервалі напруг. Визначені значення коефіцієнта неідеальності ($\Delta \ln(I)/\Delta V = e/nkT$ становлять $n = 3$ ($V < 0.6$ V) і $n = 8$ ($V > 0.6$ V).

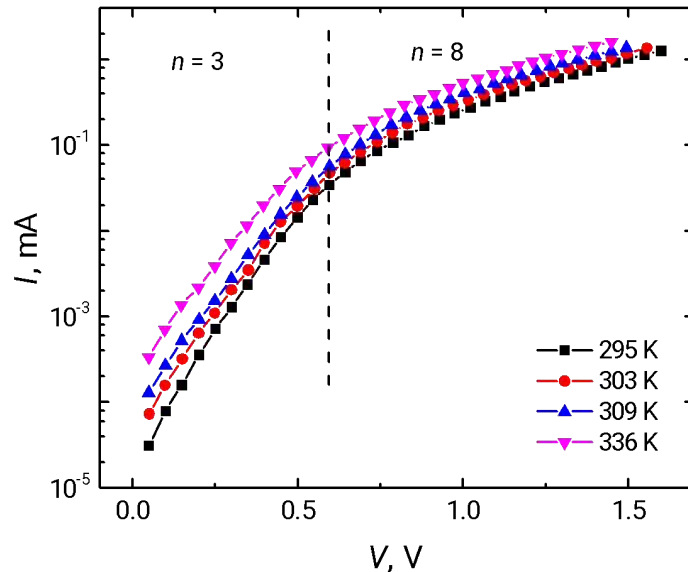


Рис. 4. Прямі гілки ВАХ гетероструктури $\text{CuFeO}_2/n\text{-InSe}$ в напівлогарифмічному масштабі

Велике значення показника неідеальності та слабкий нахил залежностей $\ln(I) = f(V)$ при різних температурах є свідченням тунельної природи механізму струмопереносу. При малих зміщеннях область просторового заряду занадто тонка для прямого тунелювання, яке описується формулою Ньюмена. Тому, враховуючи вище оцінену високу концентрацію дислокацій невідповідності N_{ss} , можна вважати єдиним механізмом струмопереносу багатоступінчасті тунельно-рекомбінаційні процеси за участю поверхневих станів на межі розділу $\text{CuFeO}_2/n\text{-InSe}$. Струм при прямому зміщенні визначається наступним виразом:

$$I = B \exp(-\alpha(\varphi_0(T) - eV)), \quad (4)$$

де B – величина, яка слабо залежить від температури і напруги, φ_0 – висота потенціального бар'єру.

Перепишемо вираз (4) в іншому вигляді:

$$I = B \exp(-\alpha\varphi_0(T)) \exp(\alpha eV) = I_0 \exp(\alpha eV), \quad (5)$$

де $I_0 = B \exp(-\alpha\varphi_0(T))$ – струм відсічки, який не залежить від прикладеної напруги.

З виразу (5) випливає, що нахил $\Delta \ln(I)/\Delta V$ початкових ділянок прямих гілок вольтамперних характеристик визначає коефіцієнт α , який приймає значення $\approx 10 \text{ eV}^{-1}$.

Підставивши дану формулу у вираз для струму відсічки, отримаємо наступний вираз:

$$I_0 = B \exp(-\alpha(\varphi_0(0) - \beta_\varphi T)) = B \exp(-\alpha\varphi_0(0)) \exp(\alpha\beta_\varphi T) = I_C \exp(\alpha\beta_\varphi T), \quad (6)$$

де I_C – константа.

Температурну залежність $\ln(I_0) = f(T)$ в напівлогарифмічних координатах показано на вставці рис. 4. Коефіцієнт α можна визначити з нахилу прямолінійної залежності $\ln(I_0) = f(T)$: $\alpha = \beta_\varphi^{-1}(\Delta \ln(I_C)/T) = 10.5 \text{ eV}^{-1}$. Близькі значення коефіцієнта α , визначеного з різних залежностей (формули 5-6), підтверджують достовірність аналізу початкових ділянок ВАХ характеристик гетеропереходу $\text{CuFeO}_2/n\text{-InSe}$ в рамках багатоступінчастого тенульно-рекомбінаційного механізму струмопереносу за участю поверхневих станів на межі поділу $\text{CuFeO}_2/n\text{-InSe}$.

В області напруг $V > 0.5 \text{ В}$ залежність $I(V)$ добре описується формулою Ньюмена для тунельного струму:

$$I = I_t^0 \exp(\beta T) \exp(\gamma V) = I_t \exp(\gamma V), \quad (7)$$

де $I_t = I_t^0 \exp(\beta T)$ – струм відсічки, γ, β – константи.

З останнього виразу видно, що нахил $\Delta \ln(I)/\Delta V$ прямих гілок ВАХ визначає коефіцієнт γ (вираз (7)), який приймає значення 5.8 В^{-1} .

При зворотному зміщенні у разі різкого переходу вираз для тунельного струму має вигляд:

$$I_{rev}^t \approx a_0 \exp\left(\frac{b_0}{\sqrt{\varphi_0(T) - eV}}\right), \quad (8)$$

де a_0 і b_0 – параметри, які не залежать від напруги.

Те, що зворотні гілки ВАХ на рис 5 є прямими лініями в координатах $\ln(I_{rev}^t) = f(\varphi_0 - eV)^{-1/2}$, відповідно до рівняння (8), підтверджує домінування тунельного механізму струмопереносу в області зворотних зміщень $|V| > 3kT/e$.

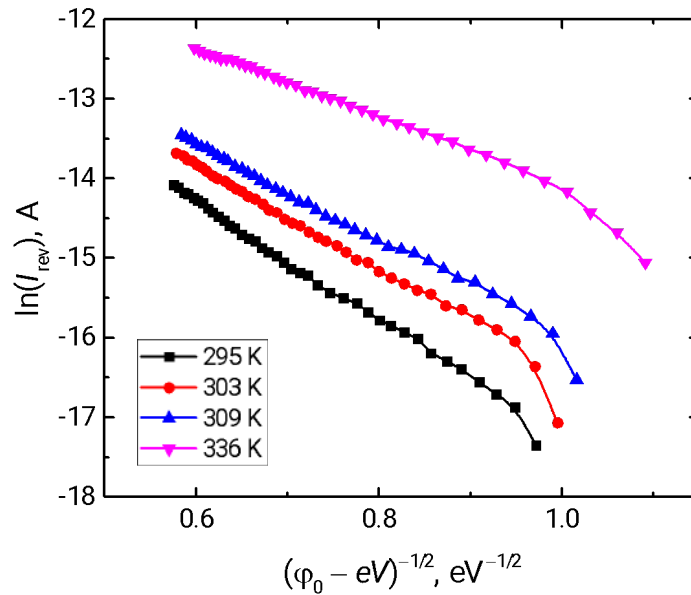


Рис. 5 Залежності, які характеризують тунельний механізм струмопереносу через гетероструктуру $\text{CuFeO}_2/n\text{-InSe}$ при зворотному зміщенні

Зменшення нахилу прямолінійних ділянок на рис. 5 при збільшенні температури пов'язано із зменшенням параметру b_0 , який визначається з наступного виразу:

$$b_0 = CW_1(T)\varphi_0(T)^{3/2}, \quad (9)$$

де C – константа, W_1 – ширина області просторового заряду при $\varphi_0 - eV = 1$ eV.

Для асиметричного різкого гетеропереходу ширина області просторового заряду визначається з наступного виразу:

$$W = \sqrt{\frac{2\varepsilon_0\varepsilon_p(\varphi_0 - eV)}{e(N_A - N_D)}} \quad (10)$$

де ε_0 – абсолютна діелектрична проникність вакууму, ε_p – відносна діелектрична проникність.

Параметр a_0 визначається ймовірністю заповнення енергетичного рівня з якого відбувається тунелювання при зворотному зміщенні. З енергетичного нахилу температурної залежності $\ln(a_0) = f(10^3/T)$ можна визначити глибину його залягання. Але отримані експериментальні дані свідчать про температурну незалежність параметра a_0 . Така ситуація є характерною для контакту метал-напівпровідник при тунелюванні з рівнів металу. Температурна незалежність параметра a_0 може свідчити про участь у процесах тунелювання поверхневих станів з рівномірним розподілом по енергії.

Висновок. В даній роботі досліджені умови виготовлення фоточутливих гетеропереходів $\text{CuFeO}_2/n\text{-InSe}$ методом низькотемпературного спреї-піролізу тонких плівок CuFeO_2 на кристалічні підкладки $n\text{-InSe}$. На основі аналізу температурних залежностей прямих і зворотних ВАХ встановлена динаміка зміни енергетичних параметрів та з'ясована роль енергетичних станів на межі гетеропереходу при формуванні контактної різниці потенціалів. Досліджено та визначено величину послідовного опору а також вплив опору на енергетичні параметри. Визначені механізми формування прямого та зворотного струмів крізь енергетичний бар'єр $\text{CuFeO}_2/n\text{-InSe}$. Аналіз прямих гілок ВАХ гетероструктур $\text{CuFeO}_2/n\text{-InSe}$, побудованих в напівлогарифмічному масштабі, показав, що залежність $\ln I = f(V)$ складається із двох прямолінійних ділянок, що свідчить про експоненційну залежність струму від напруги і наявність двох домінуючих механізмів переносу заряду в досліджуваному інтервалі напруг. Визначені значення коефіцієнта неідеальності $(\Delta \ln(I)/\Delta V = e/nkT)$ становлять $n = 3$ ($V < 0.6 \text{ V}$) і $n = 8$ ($V > 0.6 \text{ V}$).

Karatieieva S.Yu

THE DYNAMIC COMPARISON OF THE LOWER EXTREMITIES LENGTH OF STUDENTS WITH THE MODEL FOR PREDICTING THEIR LENGTH

.Bukovinian State Medical University, Chernivtsi

Karateeva@bsmu.edu.ua

One of the important problems of modern morphology is the study of changes that occur in the body under the influence of various factors his problem is especially important in connection with the development of sports. Therefore, the study of changes that occur in individual organs, systems and the body as a whole, under the influence of physical activity of varying intensity and nature is relevant and important in practice.

The dynamic comparison of the lower extremities length, depending on the type of sport, followed by the construction of a mathematical model for predicting sports type was carried out on 132 students of higher education institutions of Bukovyna.

While the primary study was carried out during September-October 2021, next study of these same students was conducted in September-October 2022. The main group consists of 92 (69.7%) students, the control group - 40 (30.30%) students aged 16 to 18 years. All students of the main group, in addition to physical activity, which was included in the program of their specialty,