

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЧЕРНІВЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ЮРІЯ ФЕДЬКОВИЧА**

**Навчально-науковий інститут фізико-технічних та комп'ютерних наук
кафедра електроніки і енергетики**

**Основні механізми струмопереносу в анізотипних
гетеропереходах $MnCo_2O_4/n-CdTe$**

Дипломна робота

Рівень вищої освіти –перший (бакалаврська)

Виконав:

студент 4 курсу, 432-ск групи

Унгурян В.М. _____

Керівник:

канд. фізико-математичних наук,

Ілащук М.І. _____

*До захисту допущено
на засіданні кафедри
протокол № _____ від _____ 2024 р.
Зав. кафедрою _____ проф. Майструк Е.В.*

Чернівці – 2024

Анотація

В дипломній роботі проведено дослідження електричних та фотоелектричних властивостей анізотипних гетеропереходів $p\text{-MnCo}_2\text{O}_4/n\text{-CdTe}$, виготовлених нанесенням тонких плівок кобальтиту марганцю на поверхню сколу кристалічного телуриду кадмію методом спреї-піролізу. Температура підкладинок становила $T_s = 390^\circ\text{C}$. Отримані структури характеризувалися діодними властивостями з коефіцієнтом випрямлення струму $\sim 10^2$.

Встановлено, що в процесі виготовлення гетеропереходів $p\text{-MnCo}_2\text{O}_4/n\text{-CdTe}$ в приконтактній частині $n\text{-CdTe}$ формується високоомна область, яка визначає основні механізми проходження носіїв заряду в досліджуваних структурах. Електричні параметри цієї області визначені з використанням теорії струмів, обмежених просторовим зарядом (питомий опір $\rho = 5,15 \cdot 10^8 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$; концентрацію та ефективну холлівську рухливість носіїв заряду $n_0 = 3,5 \cdot 10^9 \text{ см}^{-3}$ і $\mu_n = 5,6 \text{ см}^2 \cdot \text{В}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$, відповідно).

При освітленні інтегральним світлом отримані гетеропереходи $p\text{-MnCo}_2\text{O}_4/n\text{-CdTe}$ проявляли досить високу фоточутливість в області зворотних напруг, що визначає їх практичне використання як фотоприймачів у видимій частині оптичного діапазону випромінювання.

Дипломна робота написана українською мовою та містить: сторінок 47, рисунків 16, посилань на літературу 14.

Зміст

ВСТУП.....	4
РОЗДІЛ 1. Теоретична частина.....	6
1. Основні фізичні властивості тонких плівок $MnCo_2O_4$	6
1.1. Оптичні властивості тонких плівок $MnCo_2O_4$	6
1.2 Структурні властивості плівок $MnCo_2O_4$	7
1.3 Електричні властивості плівок $MnCo_2O_4$	8
1.4 Фотолюмінесцентні спектри плівок $MnCo_2O_4$	9
РОЗДІЛ 2. Експериментальна частина.....	16
2.1 Методика виготовлення гетеро структур $MnCo_2O_4/n-CdTe$ методом спреї-піролізу.....	16
2.2. Експериментальні результати та їх обговорення	15
Висновки.....	39
Список літератури.....	40
Додаток Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.....	31

Вступ

Телурид кадмію ($CdTe$) — сполука, що складається з кадмію та телуру. Це напівпровідниковий матеріал, який використовується в сонячних елементах, інфрачервоних детекторах та інших оптоелектронних пристроях. Оптимальне значення для фотоелектричного перетворення сонячної енергії ширини забороненої зони $CdTe E_g = 1.5$ eВ та високий коефіцієнт поглинання світла ($\alpha =$

105 см⁻¹ при енергії фотонів $h\nu \geq E_g$ сприяють застосуванню цього напівпровідника для створення сонячних панелей. Практичне використання CdTe у фотовольтаїці також забезпечується можливістю його отримання, як n- та і р-типу провідності з оптимальною концентрацією носіїв заряду 10^{15} - 10^{16} см⁻³ [1].

Структура тонкоплівкової сонячної батареї CdTe складається з поглинаючого шару CdTe р-типу та віконного шару на основі CdS n-типу, що утворює гетероперехід, який має змішану область розділу. Тонкоплівкові поглиначі CdTe мають хороші електронні властивості, сприятливі для дії сонячних елементів. Він має ідеальну пряму заборонену зону $\sim 1,5$ eV, яка добре узгоджується з максимумами спектру Сонця, забезпечуючи максимальну теоретичну ефективність $\sim 30\%$. Найбільш привабливими властивостями сполуки CdTe є її хімічна простота та надійна стабільність. CdTe не тільки стабільний для наземних застосувань, але також було продемонстровано, що CdTe має чудову стабільність при високоенергетичному фотонному та електронному опроміненні для космічних застосувань, перевершуючи Si, GaAs, CIGS тощо.

Кобальтитові наноматеріали інтенсивно досліджуються з приводу Розуміння їх електричних та діелектричних властивостей. Зокрема, FeCo₂O₄ і NiCo₂O₄ є дуже цікавими кобальтитами, які використовуються в різних приладах, таких як іонні батареї, електричні пристрої, супер конденсатори, електричні каталізатори тощо [2]. Кобальтити на основі марганцю зазвичай використовуються як нодні матеріали для літій-іонних батарей (LIB) і матеріали з малими втратами на високих частотах [2]. Конструкційні, електричні, діелектричні та магнітні властивості шпінелевих кобальтитів сильно залежать від розподілу катіонів у ґратці, розміру зерен, морфології поверхні, хімічного складу, а також методу виготовлення.

Враховуючи значення ширини забороненої зони плівок кобальтиту марганцю, отриманих методом спреї-піролізу $E_g = 1.3$ eV [2], високий коефіцієнт поглинання при $h\nu \approx E_g$ [3], р-тип провідності з досить високою концентрацією носіїв заряду

($\rho \approx 1016 \text{ см}^{-3}$) можна прогнозувати, що анізотипні гетеропереходи р- MnCo_2O_4 /n-CdTe будуть характеризуватися випрямляючими властивостями та фоточутливістю у видимому діапазоні оптичного випромінювання.

РОЗДІЛ 1. Теоретична частина

1. Основні фізичні властивості тонких плівок MnCo_2O_4

MnCo_2O_4 (MCO) є матеріалом, метод синтезу якого не є дуже складним, тому може бути використаний будь-який існуючий метод отримання тонких плівок цього кобальтиту. MnCo_2O_4 був синтезований з використанням декількох методів, таких як співосадження, мікрохвильова плазма, кульове подрібнення, спрей-піроліз тощо.

У роботі [2] проведені дослідження фізичних властивостей тонких плівок MnCo_2O_4 , отриманих різними методами: модифікованим методом Печіні (МСОР), гідротермічним (МСОН), термальним (МСОН) та модифікованим гідротермальним (МСОНА). Вказані методи дають можливість отримати високочисті і кристалічні нанопорошки з високою площею поверхні при відносно низьких температурах ідеальні для фотокаталітичних застосувань.

1.1. Оптичні властивості тонких плівок MnCo_2O_4

Для визначення області спектра, в якій відбувається поглинання квантів світла фотонів, було проведено УФ-спектроскопічний аналіз порошків MnCo_2O_4 . За спектрами відбивання була визначена ширина забороненої зони кожного матеріалу методом Кубелки-Мунка. За допомогою коефіцієнта відбивання R для плівок, отриманих різними методами, підставляючи його значення у рівняння Кубелки-Мунка, визначали коефіцієнт поглинання α :

$$f(R) = \frac{(1 - R)^2}{2R} \approx \alpha.$$

Тоді, використовуючи співвідношення, яке визначає спектральну залежність коефіцієнта поглинання:

$$\alpha(h\nu) = A(h\nu - E_g)^n,$$

було побудовано спектральну залежність коефіцієнта поглинання (рис.1.1.) у відповідних координатах та визначено значення показника степеня n і E_g . Для напівпровідників з прямою забороненою зоною, $n = 2$, а для з непрямою $-n = 1/2$.

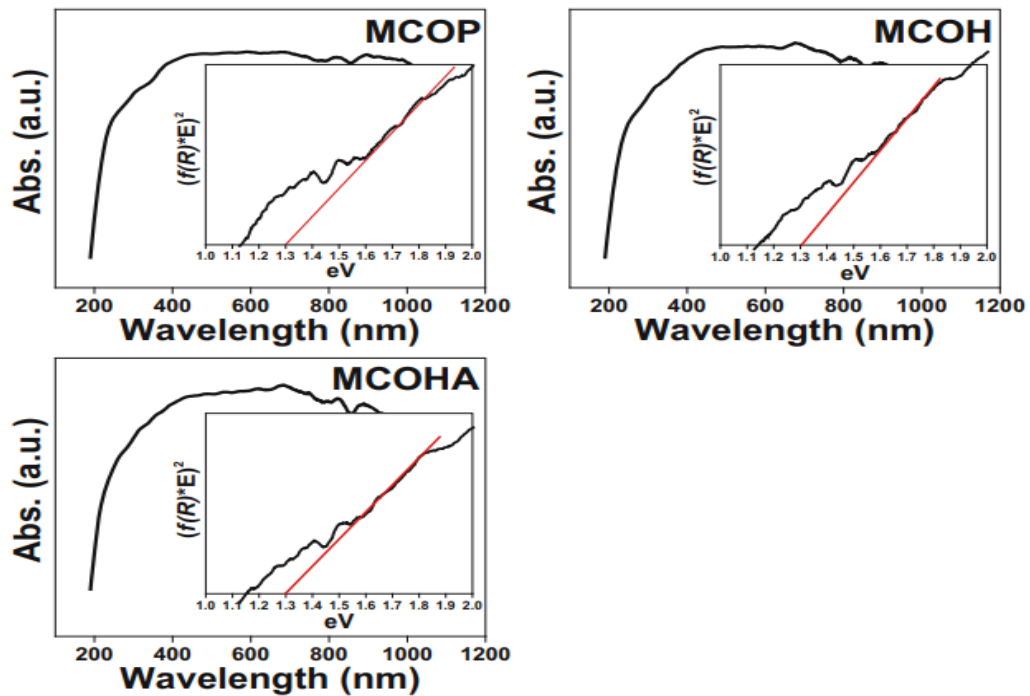


Рис.1.1. Спектри поглинання і залежності $\alpha^n=f(h\nu)$ для оцінки прямої забороненої зони плівок MnCO_2O_4 , отриманих різними методами.

На графіках $\alpha(h\nu)$ дотична лінія, проведена в точці з найкрутішим нахилом до осі x, визначає ширину забороненої зони матеріалу в еВ. Проведена оцінка ширини забороненої зони плівок MnCO_2O_4 , показала приблизне значення 1.30 еВ для всіх трьох методів їх отримання.

1.2. Структурні властивості плівок MnCO_2O_4

Рентгеноструктурні дослідження підтверджують, що в зразках кобальтиту шпінелі присутня тільки одна фаза без будь-яких домішкових фаз, які можна було б виявити. Уточнення рентгенограми за допомогою програми Fullprof показує, що ця сполука кристалізується в кубічній структурі з просторовою групою $Fd\ 3m$. Цей результат узгоджується з даними, отриманими в інших наукових роботах. Розраховане значення середнього розміру кристалітів становило 70 нм. Структурні дослідження підтвердили присутність кобальту як в тетраедричних, так і в октаедричних пустотах; отже, це свідчить про інверсійну структуру шпінелі. Це узгоджується з катіонним розподілом кобальту, знайденим методом нейтронної дифракції. Середній розмір зерен був

визначений за допомогою програмного забезпечення ImageJ, і становить 180 нм, що значно більше, ніж розмір кристалітів, визначений рентгеноструктурним аналізом.

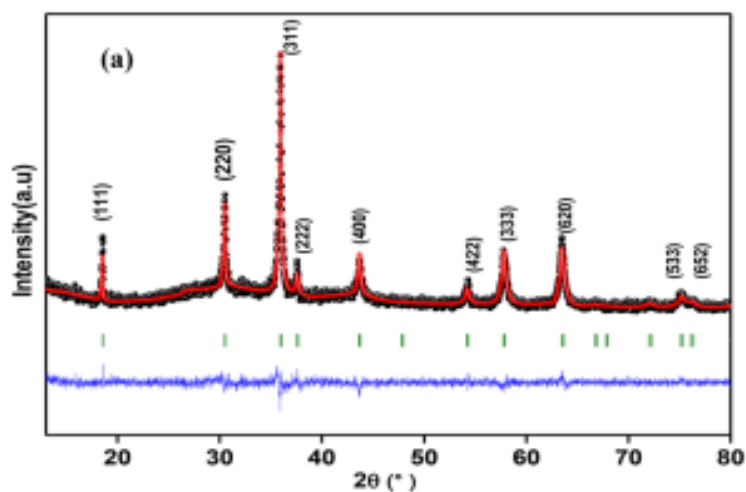


Рис.1.2. Рентгенограми плівок $MnCo_2O_4$, отриманих різними методами.

Основні параметри плівок $MnCo_2O_4$, отримані з рентгеноструктурного аналізу, приведені в таблиці 1.

Таблиця 1.

Основні властивості $MnCo_2O_4$

Характеристика	$MnCo_2O_4$
Просторова група	Fd 3 m (кубічна)
Параметр ґратки (Å)	8.2925
Об'єм комірки (Å ³)	570.2383
Розмір зерен (нм)	180
Розмір кристаліту (нм)	70
Рентгенівська густина (г / см ³)	5.57
Пористість (%)	11%
Компактність (%)	89%

1.3.Електричні властивості плівок $MnCo_2O_4$

Для отримання двох основних електричних властивостей синтезованих плівок $MnCo_2O_4$, таких як рухливість і концентрація носіїв заряду (КНЗ), було використано ефект Холла з конфігурацією Ван де Пау. Отримано результати, наведені в таблиці 2.

Електричні параметри зразків $MnCo_2O_4$

Сполука	Концентрація носіїв заряду, $см^{-3}$	Рухливість носіїв заряду, $см^2/V \cdot c$
МСОР	2.6×10^{16}	48.6
МСОН	4.2×10^{16}	25.9
МСОНА	13.0×10^{16}	3.7

З таблиці 2 видно, що МСОР має концентрацію носіїв заряду $2.6 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$ з найвищою рухливістю $48,6 \text{ см}^2/V \cdot c$. МСОН показує КНЗ – $4.2 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$ рухливістю $25,9 \text{ см}^2/V \cdot c$. Нарешті, МСОНА показує вищу концентрацію носіїв заряду – $13,0 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$ і рухливістю $3,7 \text{ см}^2/V \cdot c$. З одного боку, вимірювання ефекту Холла показали, що зразки належать до *n*-типу провідності, як повідомлялося в літературі. З іншого боку, результати вимірювання вказують на те, що МСОР і МСОН демонструють подібну поведінку в інтервалі $3-4 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$. Тоді як МСОНА показує вищу на порядок концентрацію носіїв заряду, що можна пояснити більшою кількістю кисневих вакансій, присутніх у матеріалі. Порядок розташування матеріалів за рухливістю є наступний: МСОР > МСОН > МСОНА. Цей порядок, ймовірно, пов'язаний з кристалічною будовою матеріалів, як зазначено в розділі рентгенівських досліджень. Вища кристалічність МСОР призводить до вищої рухливості, що узгоджується з літературними даними. Носії заряду, зазвичай, рухається швидше в кристалічних областях. У випадку МСОН його кристалічність дещо вища, ніж у МСОНА, завдяки цьому він має більшу рухливість. Оскільки відомостей про ці властивості $MnCo_2O_4$ дуже мало, отримані результати надають нову інформацію для цих типів матеріалів, які можуть бути використані в подальших дослідженнях.

1.4. Фотолюмінесцентні спектри плівок $MnCo_2O_4$

Метод спектроскопії ФЛ є поширеною методикою, що використовується для вивчення ефективності розділення фотогенерованих носіїв заряду, а також їх міграції та перенесення у фотокаталізаторі. Спектри ФЛ для МСОР,

МСОН та МСОНА приведені на рис.1.3. Видно сильний сигнал ФЛ для всіх трьох

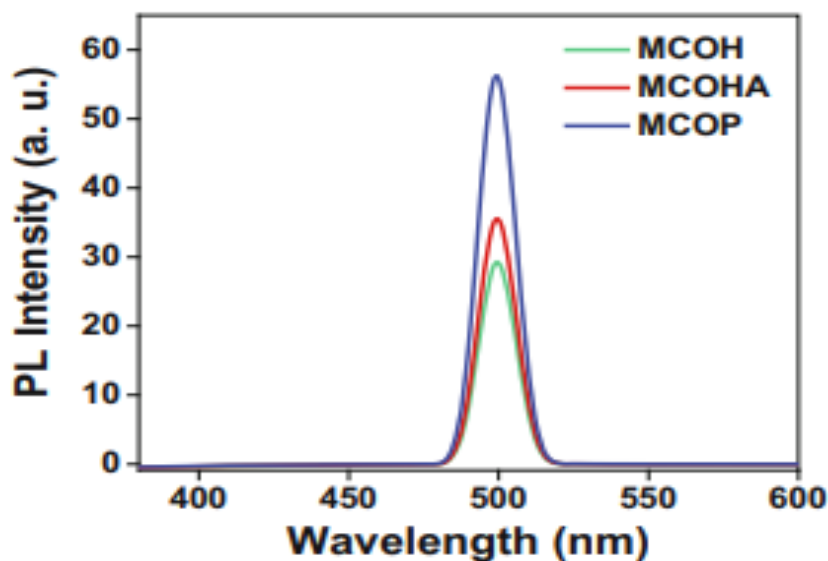


Рис.1.3 Фотолюмінесцентні спектри зразків $MnCo_2O_4$, отриманих різними методами.

зразків. при фотозбудженні з довжиною хвилі 470 нм. Це свідчить про те, що чим вища інтенсивність піку, тим швидше відбувається рекомбінація фотозбуджених електронно-діркових пар. Загалом, низька інтенсивність ФЛ показує на кращу ефективність розділення зарядів. Аналогічно, ця ефективність може бути безпосередньо пов'язана з концентрацією носіїв заряду і, як зазначалося раніше, пов'язано з кисневими вакансіями в матеріалах, які перешкоджають рекомбінації носіїв заряду. Аналіз результатів ФЛ спектрів показує, що найефективніше розділяє заряди МСОН з найвищим значенням концентрації носіїв заряду.

РОЗДІЛ 2. Експериментальна частина

2.1. Методика виготовлення гетероструктур $MnCo_2O_4/n-CdTe$ методом спреї-піролізу

Для виготовлення методом спреї-піролізу плівок $MnCo_2O_4$ використовувалися солі двохлористого марганцю $MnCl_2 \cdot 4H_2O$ і три хлористого кобальту $CoCl_2 \cdot 6H_2O$. З цих солей готувалися з концентрацією 0,1 М розчини у дистильованій воді. Приготовані розчини змішувалися у співвідношенні об'ємів згідно формули плівки $MnCo_2O_4$, тобто марганцю у два рази менше ніж кобальту. Як правило, змішувалися 25 мл розчину $MnCl_2 \cdot 4H_2O$ і 50 мл розчину $CoCl_2 \cdot 6H_2O$.

Молярні маси солей:

$$MnCl_2 \cdot 4H_2O = 54,93 + (35,5 \cdot 2) + 4 \cdot (2 + 16) = 196,93 \text{ г.}$$

$$CoCl_2 \cdot 6H_2O = 58,93 + (35,5 \cdot 2) + 6 \cdot (2 + 16) = 237,93 \text{ г.}$$

Для приготування 200 мл розчинів з концентрацією 0,1 М вибирали маси солей:

$$MnCl_2 \cdot 4H_2O = 3,94 \text{ г.}$$

$$CoCl_2 \cdot 6H_2O = 4,76 \text{ г.}$$

Змішані розчини солей заливалися у пульверизатор. Місткість об'єму пульверизатора близько 25 мл. Розпорозувалося для виготовлення плівки близько 40-50 мл розчину. При такій кількості, за даними вимірювання товщини плівки $MnCo_2O_4$ на МІІІ-4 утворювалася плівка товщиною близько 0,3 мкм. Плівки вирощували на підкладках телуриду кадмію.

Температура підкладки $CdTe$, на яку наносили плівку кобальтиту марганцю становила $T=390^\circ C$.

2.2. Експериментальні результати та їх обговорення

Вольт-амперні характеристики (ВАХ) анізотипних гетеропереходів p - $\text{MnCo}_2\text{O}_4/n$ - CdTe , виміряні при прямих та зворотних напругах в широкому інтервалі температур $T = 295\text{--}346\text{ K}$ (рис.2.1) вказують на їх діодні властивості. Коефіцієнт випрямлення досліджуваних структур при $T=295\text{ K}$ та $V=2,0\text{ В}$ становить $\approx 10^2$.

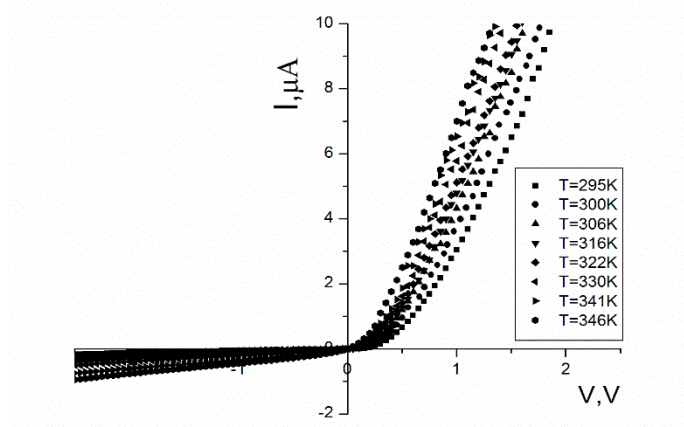


Рис.3.1. Вольт-амперні характеристики анізотипних гетеропереходів p - $\text{MnCo}_2\text{O}_4/n$ - CdTe при прямих та зворотних зміщеннях

Особливістю ВАХ гетероструктур p - $\text{MnCo}_2\text{O}_4/n$ - CdTe були невеликі значення прямих струмів, які вимірювалися в мікроамперах навіть при досить великих напругах (наприклад, $I = 11,6\text{ мкА}$ при $V=2\text{ В}$). Можна допустити, що вказана властивість досліджуваних гетеропереходів зумовлена наявністю в їх базовій області високоомного прошарку, який формується в процесі виготовлення структури. Для встановлення структурних особливостей отриманих гетеропереходів та виявлення основних механізмів струмопереносу крізь потенціальний бар'єр в області прямих зміщень був проведений аналіз залежностей $I=f(V)$, побудованих у різних координатах. Встановлено, що лінеаризація ВАХ структур спостерігається у координатах $\ln I=f(\ln V)$, з різним кутом нахилу до вісі напруг у різних діапазонах вимірювання (рис.2.2). Отже, в області прямих зміщень I - V - залежності гетеропереходів p - $\text{MnCo}_2\text{O}_4/n$ - CdTe описуються степеневим законом $I \sim V^m$, характерним для струмів обмежених просторовим зарядом (СОПЗ) [4]. Такі струми виникають, як правило, у високоомних напівпровідниках та діелектриках і зумовлені інжекцією основних

носіїв заряду. В даному випадку, СОПЗ виникають внаслідок інжекції електронів з низькоомної частини бази у високоомну, яка формується у приповерхневій області CdTe в процесі технологічних операцій виготовлення структури. Дійсно, як було встановлено у багатьох роботах [5,6], при нагріванні підкладинки CdTe до невисоких температур ($T_s=250-300^\circ\text{C}$) в приповерхневому шарі, внаслідок сублімації переважно атомів кадмію, утворюються власні точкові дефекти

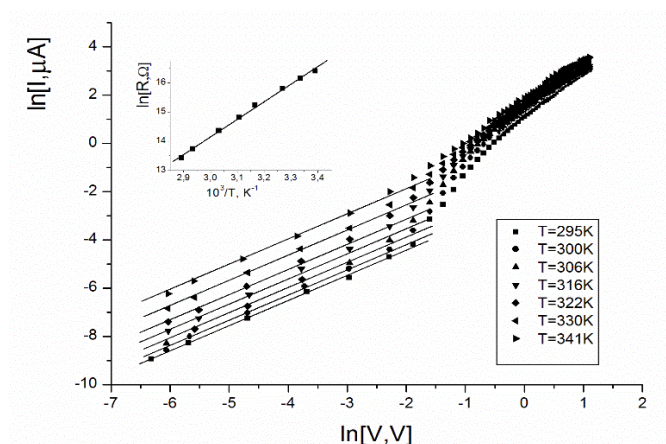


Рис.3.2. ВАХ анізотипних гетеропереходів $p\text{-MnCo}_2\text{O}_4/n\text{-CdTe}$ при додатних зміщеннях, побудовані у логарифмічному масштабі. На вставці температурна залежність опору високоомного прошарку бази.

акцепторного типу вакансії кадмію – V_{Cd}^- , V_{Cd}^{-2} . Оскільки, основними точковими дефектами, які визначають електронну провідність базового матеріалу є Cl_{Te}^+ , то при появі V_{Cd}^- , V_{Cd}^{-2} буде відбуватися їх взаємодія з утворенням електрично активних та нейтральних комплексів $(V_{Cd}^{-2}Cl_{Te}^+)^-$, $(V_{Cd}^{-2}2Cl_{Te}^+)$, $(V_{Cd}^-Cl_{Te}^+)^0$. Такі процеси зумовлюють утворення компенсуючого матеріалу з високим опором [1].

Дослідження інжекційних струмів дає можливість виявити наявність у використовуваному матеріалі як мілкі, так і глибокі локальні стани, які можуть захоплювати вільні носії заряду, та визначити їх деякі параметри. Крім цього, з аналізу СОПЗ можна отримати інформацію щодо властивостей самого

напівпровідника. Саме тому, у роботі був проведений детальний аналіз ВАХ досліджуваних структур $p\text{-MnCo}_2\text{O}_4/n\text{-CdTe}$.

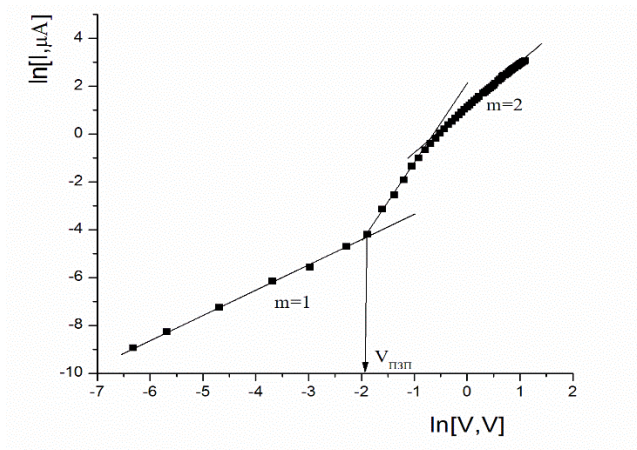


Рис.3.3. ВАХ гетероструктури $p\text{-MnCo}_2\text{O}_4/n\text{-CdTe}$ при додатних зміщеннях, побудована у логарифмічному масштабі при $T=295\text{K}$.

Як видно з рис.3.3, для ВАХ структур $p\text{-MnCo}_2\text{O}_4/n\text{-CdTe}$ характерна наявність трьох ділянок, які добре узгоджуються з теорією СОПЗ [4]. Лінійна ділянка ВАХ в області невеликих напруг $V = V_{пзп}(V_{TFL}) \leq 0,15\text{ В}$ характеризується показником ступеня $m = 1$. Тобто, залежність $I=f(V)$ при малих значеннях прикладеної напруги описується законом Ома, що зумовлено наявністю у напівпровіднику термічно генерованих носіїв заряду n_0 , якщо їх концентрація перевищує концентрацію інжектованих. Наявність лінійної ділянки $m = 1$ на залежностях $\ln I = f(\ln V)$ в області температур $T = 295\text{--}346\text{ К}$ (рис.2.2) дає можливість визначити значення опору високоомного прошарку при різних температурах та побудувати його температурну залежність (рис. 2.2, вставка). Розраховане значення опору R_b при $T=295\text{ К}$ становило $1,7 \cdot 10^7\text{ Ом}$. Визначена глибина залягання енергетичного рівня ΔE , що визначає рівноважну провідність високоомної частини бази становить $\Delta E = 0,52\text{ eV}$, що, як правило, проявляється у напівізолюючих кристалах CdTe:Cl та відповідає комплексам, за участю власних дефектів та неконтрольованих домішок [1]. З врахуванням геометричних розмірів підкладки та товщини високоомного прошарку, яка була визначена з аналізу вольт-фарадних характеристик і становила $d=65\text{ мкм}$, розраховали його питомий опір $\rho = 5,15 \cdot 10^8\text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$.

Згідно теорії СОПЗ наявність лінійної ділянки з $m = 1$ при низьких напругах характерна для напівпровідників, які містять глибокі пастки, енергетичні рівні яких розміщені вище рівня Фермі. В області вказаних напруг, інжектовані носії заряду захоплюються пастками, утворюючи нерухомий об'ємний заряд і в перенесенні струму через зразок участі не беруть. Напруга $V_{ПЗП}$ відповідає напрузі повного заповнення пасток. При збільшенні величини напруги $V > V_{ПЗП}$ струм починає різко зростати, оскільки зростає кількість інжектованих електронів, які вже не захоплюються пастками. Зміна нахилу залежностей $\ln I = f(\ln V)$, що спостерігається після значного зростання струму ($V > 0,53$ В), відповідно до теорії ВАХ СОПЗ, пояснюється переходом до безпасткового квадратичного закону, оскільки всі локальні стани вже заповнені електронами [4]. Дійсно, визначена у вказаному інтервалі напруг величина показника ступеня $m = 2$ (рис.3.3).

Якщо моноенергетичні пастки, що містяться в напівпровіднику є глибокими вираз для напруги їх повного заповнення буде мати вигляд:

$$V_{ПЗП} = \frac{q(N_t - n_{t0})L^2}{2\varepsilon\varepsilon_0}, \quad (2.1)$$

де: q – заряд електрона; N_t – концентрація пасток; n_{t0} – концентрація пасток, заповнених електронами; L – товщина напівпровідника; ε – відносна діелектрична провідність напівпровідника; $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{Ф} \cdot \text{м}^{-1}$ – електрична постійна. Обчислене значення $N_t - n_{t0}$, яке визначає концентрацію незаповнених електронами пасток було рівне $N_t - n_{t0} = 4,2 \cdot 10^{10} \text{см}^{-3}$. Концентрацію рівноважних електронів у високоомній частині бази визначали на основі співвідношення [4]:

$$I(2V_{ПЗП})/I(V_{ПЗП}) = N_t - n_{t0}/n_0. \quad (2.2)$$

Розраховане значення рівноважної концентрації електронів у високоомній частині бази n_0 становило $n_0 = 3,5 \cdot 10^9 \text{см}^{-3}$. З врахуванням отриманого значення n_0 та розрахованої вище величини питомого опору визначена ефективна рухливість електронів була рівною $\mu_n = 5,6 \text{см}^2 \cdot \text{В}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$, що, практично, на два порядки менше ніж у кристалах CdTe n-типу провідності. Занижене значення рухливості носіїв заряду пояснюється наявністю не скомпенсованого

від'ємного заряду електронів, зосередженого на пастках, електричне поле якого протидіє подальшій їх інжекції.

Зворотні гілки ВАХ в області невеликих зміщень ($V \leq 0,4$ В при $T=295$ К) добре описуються степеневим законом $I \sim V^m$ з показником ступеня $m = 1$ (рис.3.4). Тобто, ВАХ в цьому випадку, аналогічно до прямих зміщень, підпорядковується закону Ома і може бути пояснена в рамках моделі струмів, обмежених просторовим зарядом. Інжекція електронів у високоомну частину бази відбувається зі зони провідності плівки, де ці носії є неосновними.

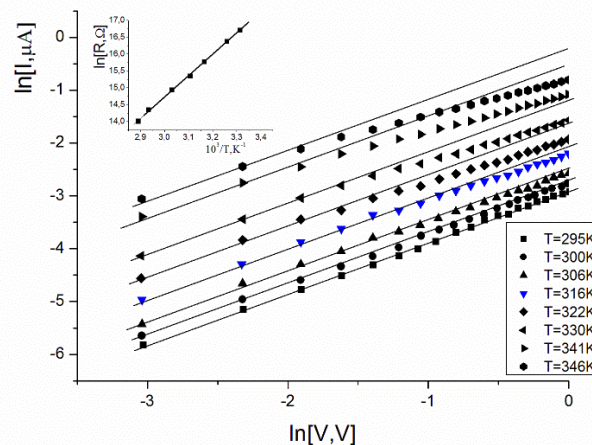


Рис.3.4. Зворотні гілки ВАХ гетеропереходів $p\text{-MnCo}_2\text{O}_4/n\text{-CdTe}$ у логарифмічному масштабі в температурному інтервалі $T = 295\text{--}346$ К. На вставці – температурна залежність високоомної частини бази.

Значення опору високоомного прошарку, визначені при одному значенні напруги для різних температур за законом Ома, добре корелюють з визначеними з аналізу прямих гілок ВАХ. Наприклад, при $T=295$ К розраховане значення опору R_b при зворотних та прямих зміщеннях становило $1,8 \cdot 10^7$ Ом та $1,7 \cdot 10^7$ Ом відповідно. Крім того, глибина залягання енергетичного рівня, визначена з температурної залежності R_b (рис.3.4, вставка) – рівна $\Delta E = 0,54$ еВ – співпадає з відповідною величиною, розрахованою при аналізі прямих гілок ВАХ.

При збільшенні напруги зворотнього зміщення досліджуваних гетеропереходах $p\text{-MnCo}_2\text{O}_4/n\text{-CdTe}$ механізм струмопереносу змінюється. Значення напруги, при якій відбувається вказана зміна при підвищенні

температури, зменшується (рис.3.4). I - V -характеристики у цьому випадку добре описуються формулою для тунельного струму [7]:

$$I = a_0 \exp\left(-b_0(\varphi_k - V)^{-1/2}\right), \quad (2.3)$$

де a_0 – параметр, величина якого залежить від ймовірності заповнення енергетичних рівнів електронами, які беруть участь у процесі тунелювання, b_0 – параметр, який визначається швидкістю зміни струму від напруги. Лінійність ВАХ досліджуваних гетеропереходів у координатах $\ln I_t = f((\varphi_k - V)^{-1/2})$ (рис.3.3) добре узгоджується з виразом (2.3). Значення контактної різниці потенціалів φ_k при $T=295\text{K}$ визначене з C - V -характеристик $\varphi_k \approx 0,8\text{V}$. Коефіцієнт температурної зміни висоти потенціального бар'єра, для визначення залежності $\varphi_k = f(T)$, взятий з роботи [8], в якій досліджувалися електричні властивості бар'єрних структур на основі n - CdTe $-d(\varphi_k/dT) = -2,8 \cdot 10^{-3} \text{eV} \cdot \text{K}^{-1}$

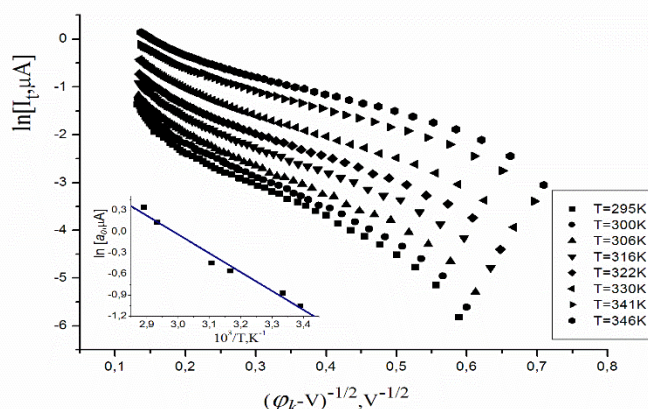


Рис.3.5. Лінійна залежність зворотних I - V -характеристик гетеропереходів p - $\text{MnCo}_2\text{O}_4/n$ - CdTe для тунельного струму. На вставці – температурна залежність параметра a_0

Побудована температурна залежність параметра a_0 в координатах $\ln a_0 = f(10^3/T)$ для досліджуваних гетеропереходів p - $\text{MnCo}_2\text{O}_4/n$ - CdTe добре апроксимується прямою лінією (рис.2.5, вставка). Значення $\ln a_0$ визначали апроксимацією лінійних ділянок залежностей $\ln I_t = f((\varphi_k - V)^{-1/2})$ до вісі струмів. Отже, ймовірність заповнення енергетичних рівнів електронами, з яких здійснюється їх тунелювання, визначається статистикою Фермі-Дірака. Зважаючи на полярність зовнішнього зміщення, можна вважати, що ці рівні розміщені в забороненій зоні півки MnCo_2O , а зворотний струм формується внаслідок тунелювання

електронів з них у зону провідності CdTe. Енергетичне розміщення вказаних енергетичних рівнів в забороненій зоні кобальтиту марганцю, визначене зі залежностей $\ln a_0 = f(10^3/T)$, становило 0.23 eV. Прояв тунельного струму при більших напругах зумовлений його експоненціальною залежністю від її значення, на відміну від степеневі залежності струму, обмеженого просторовим зарядом.

Вимірювання вольт-фарадних характеристик досліджуваних гетеро структур MnCo₂O₄/n-CdTe проведені в широкому діапазоні частот $f = 1,0 - 100$ кГц (рис. 2.6).

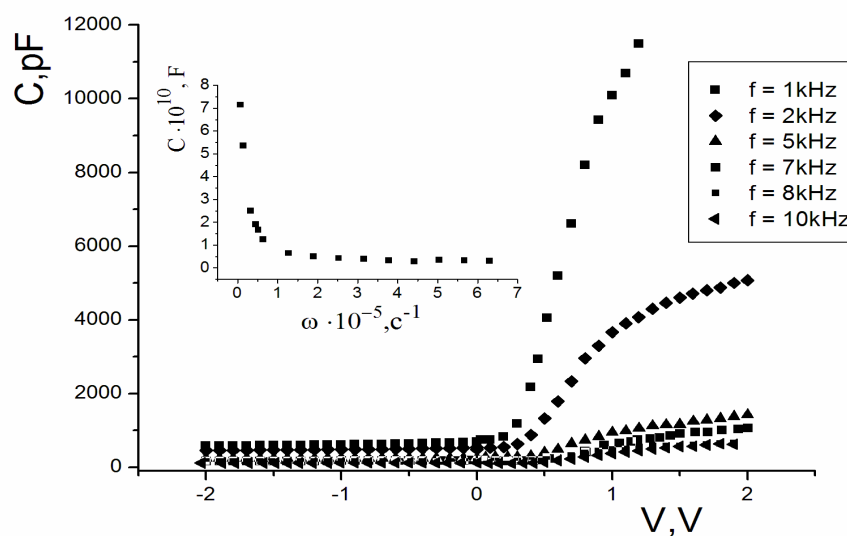


Рис.3.6. Вольт-фарадні характеристики структури MnCo₂O₄/n-CdTe в частотному діапазоні $f = 1,0 - 10$ кГц. На вставці частотна залежність вимірюваної ємності структури в діапазоні $f = 1,0 - 100$ кГц (приведені значення величини C відповідають $V = 0,0$ В).

Характерним для ВХФ отриманих гетеропереходів є їх частотна залежність в області низьких частот ($f = 1,0 - 60$ кГц) та її відсутність при $f > 60$ кГц в області зворотних та невеликих прямих напруг. Для досліджуваних структур в діапазоні відсутності залежності вимірюваної ємності від частоти її величина досягала мінімального значення та становила $C \approx 35$ пФ. Крім цього, спостерігається також, практична незалежність величини вимірюваної ємності при зворотних напругах та її досить різке збільшення при зміні полярності зовнішнього зміщення. Відсутність залежності $C = f(V)$ в області

зворотних зміщень не узгоджується із характерною для різких бар'єрних структур залежністю $C \sim \sqrt{\phi_k - qV}$, яка спостерігається коли ємність змінюється з напругою внаслідок зміни ширини області просторового заряду [8].

Враховуючи встановлену з аналізу вольт-амперних характеристик досліджуваних структур $MnCo_2O_4/n-CdTe$ наявність високоомного прошарку в базовій області структури, який зумовлює інжекційні струми при прямих зміщеннях, встановлені особливості $C-V$ - характеристик можна пояснити на основі моделі структури з послідовним опором в базі, значення якого R_b змінюється при включенні гетеропереходу в прямому напрямку [9].

Для вказаного типу структур аналіз $C-V$ -характеристик необхідно проводити використовуючи еквівалентну схему заміщення, в якій, крім опору бази, враховується і її ємність (рис.2.7).

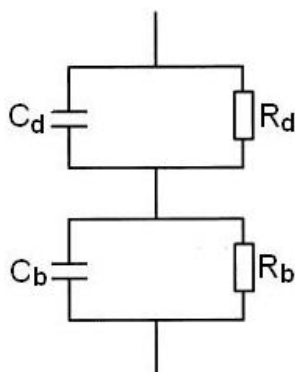


Рис.3.7. Еквівалентна схема структури при врахуванні наявності тонкого високоомного прошарку

У тому випадку, коли величина послідовного опору R_b досить значна, зазвичай, еквівалентну схему структури представляють у вигляді паралельного RC -ланцюжка з послідовно під'єднаним опором. Тоді вимірювана ємність визначається через параметри еквівалентної схеми наступним співвідношенням

$$C_M = \frac{C_d}{(1 + R_b/R_d) + \omega^2 R_b^2 C_d^2}, \quad (2.4)$$

де: C_M – вимірювана ємність системи; $C_M R_d$ – ємність та опір області просторового заряду; R_b – послідовний опір структури; $\omega = 2\pi f$ – циклічна частота змінного сигналу при вимірюванні ємності. Коректні вимірювання

можливі в діапазоні частот і послідовних опорів, коли має місце співвідношення

$$(\omega R_b C_d)^2 \ll 1. \quad (2.5)$$

Як показано в роботах [10,11], характерною ознакою виконання умови (2.5) є поява залежності величини вимірюваної ємності від частоти, що приводить до паралельного зміщення залежностей $C_M^{-2} = f(V)$ та збільшення величини відсічки на вісі напруг. Однак, залежність вимірюваної ємності від зовнішнього зміщення $C \sim \sqrt{\varphi_k - qV}$ зберігається.

Зазвичай вважають, що $R_b \ll R_d$, тому у випадку, коли $(\omega R_b C_d)^2 > 1$ вираз (2.4) набуває вигляду

$$C_M \approx C_d / (\omega R_b C_d)^2. \quad (2.6)$$

Аналіз виразу (3) показує, що зі збільшенням частоти вимірювання, ємність C_M повинна прямувати до нуля пропорційно ω^{-2} . Однак, для досліджуваних структур $\text{MnCo}_2\text{O}_4/n\text{-Cd}$ мінімальне значення ємності становить $C \approx 35$ пФ і залежність величини C_M в області зворотних та невеликих прямих зміщень при $f > 60$ кГц була відсутня (рис.3.6). Це вказує на те, що в даному випадку необхідно використати більш складну еквівалентну схему структури, яка би дозволила більш точно пояснити експериментальні C - V -характеристики. Для цього, у випадку великого опору бази, використовують еквівалентну схему, яка враховує ємність бази (рис.3.7).

Допускаючи, що при зворотних та невеликих прямих напругах опори високоомного прошарку R_b та з'єднаної області структури R_d приблизно рівні між собою $R_b \cong R_d$, враховуючи, що $(\omega R_b C_d)^2 \gg 1$ для повної ємності системи автори [9] отримали вираз:

$$C_M \cong \frac{C_d C_b}{C_d + C_b}, \quad (2.7)$$

тобто повна ємність системи складається із послідовно ввімкнених ємностей високоомного прошарку C_b та просторового заряду гетеропереходу C_d .

Оскільки при $V < 0$ спостерігається висока бар'єрна ємність електричного переходу $C_d \gg C_b$, вираз (2.7) набуває вигляду $C_M \cong C_b$, тобто абсолютне

значення величини C_M наближається до ємності високоомного прошарку C_b , тобто до ємності рівній $C \approx 35$ пФ. При цьому, частотна залежність ємності не спостерігається.

У випадку прямих зміщень спостерігається істотне зростання величини C_M при збільшенні напруги, що пояснюється різким зменшенням опору високоомного прошарку бази внаслідок інжекції носіїв заряду. Істотне зростання струму, що спостерігається на прямих гілках I - V -характеристик уже при невеликих напругах ($V \approx 0,15$ В) (рис.2.3) підтверджує модуляцію високоомної частини бази інжекованими носіями заряду. При цьому $R_b < R_d$, і для опису залежності $C_M = f(V)$ можна використати вираз, для еквівалентної схеми структури у вигляді паралельного RC -ланцюжка з послідовно під'єднаним опором.

$$C_M = \frac{C_d}{1 + \omega^2 [R_b(V)]^2 C_d^2}. \quad (2.8)$$

Вважається, що кожному значенню напруги буде відповідати своє значення R_b . Ще однією причиною різкого зростання ємності є звуження області просторового заряду гетеропереходу.

Різде зменшення величини R_b приведе до того, що вимірювана ємність структури C_M в певному інтервалі прямих зміщень буде змінюватися від C_b до C_d , що підтверджується наявністю прямолінійних ділянок на залежностях $C_M^{-2} = f(V)$ (рис.2.8). Можна вважати, що коли $V \rightarrow V_C$, де V_C – визначена екстраполяцією прямолінійних ділянок $C_M^{-2} = f(V)$ характеристик до вісі абсцис напруга відсічки, то $C_M \rightarrow C_d$. Значення V_C становить 0.8 В, що є досить реальним для такого типу бар'єрних структур на основі CdTe.

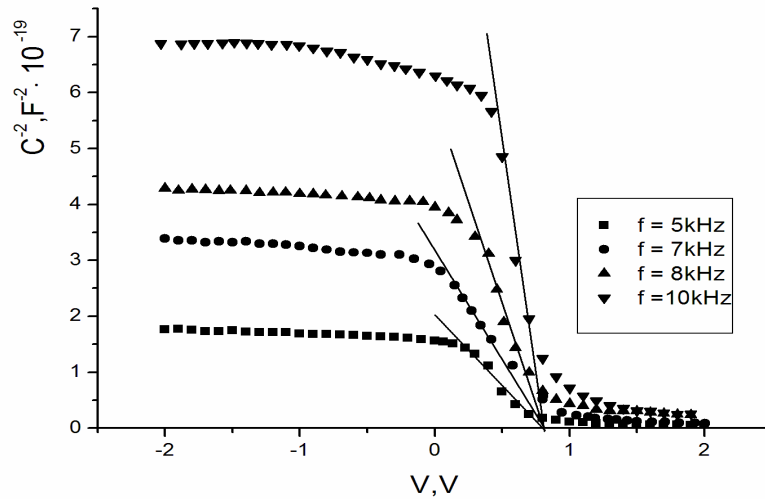


Рис.3.8. Вольт-фарадні характеристики гетеропереходу $\text{MnCo}_2\text{O}_4/n\text{-CdTe}$, побудовані в координатах $C_M^{-2} = f(V)$

Зростання ємності в області додатних зміщень залежить від здатності інжекттованих носіїв заряду встигати за зміною сигналу, на якому проводяться вимірювання. При невиконанні зазначеної умови, що може мати місце в області високих частот, збільшення ємності при $V > 0$ може не спостерігатися [9].

Оскільки, значення виміряної ємності $C_M \approx 35$ пФ досліджуваних структур $\text{MnCo}_2\text{O}_4/n\text{-CdTe}$ інтерпретується, як ємність високоомного прошарку бази, була проведена оцінка його товщини з використанням формули для плоского конденсатора:

$$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon S}{d}, (2.9)$$

де S – площа гетеропереходу, d – ширина області просторового заряду, $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф·м⁻¹ – електрична постійна; $\epsilon = 10,6$ – відносна діелектрична проникність CdTe. Розрахована величина становила $d = 65$ мкм.

Проведені дослідження фотоелектричних властивостей отриманих гетеропереходів $p\text{-MnCo}_2\text{O}_4/n\text{-CdTe}$. Встановлено, що при їх освітленні зі сторони плівки кобальтиту марганцю інтегральним світлом структури проявляли досить хорошу фоточутливість в області зворотних напруг (рис.3.9).

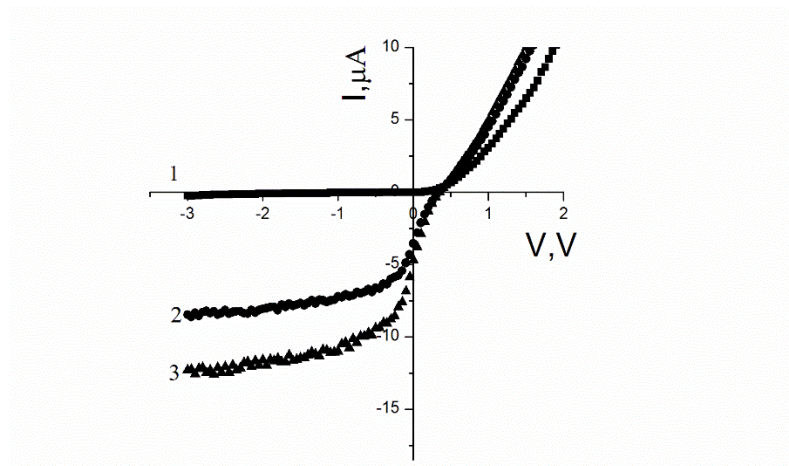


Рис.3.9. Вольт-амперні характеристики неосвітленої (крива 1) та освітленої при інтенсивності фотозбудження 25000лк (крива 2) і 40000лк (крива 3) гетероструктури $p\text{-MnCo}_2\text{O}_4/n\text{-CdTe}$.

Таким чином, отримані методом спреї-піролізу гетеропереходи $p\text{-MnCo}_2\text{O}_4/n\text{-CdTe}$ можна застосовувати в якості фотоприймачів видимого випромінювання.

Висновок

1. Методом спреї-піролізу тонких плівок кобальтиту марганцю MnCo_2O_4 на поверхню сколу кристалічного $n\text{-CdTe}$ при температурі підкладок $T_S = 390^\circ\text{C}$ отримані анізотипні гетеропереходи $p\text{-MnCo}_2\text{O}_4/n\text{-CdTe}$ з коефіцієнтом випрямлення струму $\sim 10^2$.
2. Вольт-амперні характеристики досліджуваних гетеропереходів при прямих та зворотних ($V \geq -0,5 \text{ В}$) зміщеннях визначаються процесами інжекції основних носіїв заряду у високоомну приконтактну частину $n\text{-CdTe}$, яка утворюється при виготовленні структур.
3. На основі теорії струмів, обмежених просторовим зарядом, визначені основні електричні параметри високоомної частини бази: питомий опір $\rho = 5,15 \cdot 10^8 \text{ Ом}\cdot\text{см}$; концентрацію та ефективну холлівську рухливість носіїв заряду $n_0 = 3,5 \cdot 10^9 \text{ см}^{-3}$; $\mu_n = 5,6 \text{ см}^2 \cdot \text{В}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$, відповідно.
4. Фоточутливість гетеропереходів $p\text{-MnCo}_2\text{O}_4/n\text{-CdTe}$ в області відємних зміщень та практична незалежність зворотного струму відзнапруги визначає їх практичне використання як фотоприймачів видимого випромінювання.

Список літератури

1. Handbook of photovoltaic science and engineering / Edited by A.Luque and S. Hegedus. – 2nd ed. – John Wiley & Sons, Ltd., 2011. – 1132p.
2. I.M. Dharmadasa, A.E. Alam, A.A. Ojo, O.K. Echendu, Scientific complications and controversies noted in the field of CdS/CdTe thin film solar cells and the way forward for further development, J Mater Sci: Mater Electron. 30 (2019) 20330–20344.
3. Sundaram K. B., Ashamin K. Work function determination of zinc oxide films, J. of Vacuum Science & Technology , A 15 (1997) 428-430.
4. Maistruk E.V., Orletskyi I.G., Ilashchuk M.I., Koziarskyi I.P., KoziarskyD.P., Marianchuk P.D., Parfenyuk O.A. Influence of heat treatment of the base material on the electrical properties of anisotyped heterojunctions $n\text{-ZnO:Al/p-CdZnTe}$ //Semicond. Sci. Technol.–2019– 045016 (8pp).
5. S. Girish Kumar, K. S. R. Koteswara Rao, Physics and chemistry of CdTe/CdS thin film heterojunction photovoltaic devices: fundamental and critical aspects, Energy Environ. Sci., 7 (2014),45.
6. Martil I., Gonzalez-Diaz G., Sanchez-Quesada F. Temperature and bias effects on the electrical properties of CdS thin films prepared by R.F. sputtering // Thin Solid Films.–1984.–V.114.– P.327-334.
7. 7. Zanio K.R. Cadmium Telluride / Zanio K.R.– Semiconductors and semimetals.– New Yorc, San Francisco, London: Acad. Press.–1978– V.13.– 256p.
- 8.Maistruk E. V., Ilashchuk M. I., Orletsky I. G., Koziarskyi I. P., Koziarskyi D. P., Marianchuk P. D., Parfenyuk O. A., Ulyanytskiy K. S. Influence of the base material on the interface properties of $\text{ZnO:Al/n-CdS/p-Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Te}$ heterojunctions. *Engineering Research Express*. 2020. Vol. 2, № 3. P. 035037. (14pp). Online ISSN: 2631-8695
9. E.V. Maistruk, I.G. Orletsky, M.I. Ilashchuk, I.P. Koziarskyi, D.P. Koziarskyi, P.D. Marianchuk, O.A. Parfenyuk, Influence of heat treatment of the base material on the electrical properties of anisotyped heterojunctions $n\text{-ZnO:Al/ p-CdZnTe}$,

Semiconductor Science and Technology. 34 (2019) 045016.

<https://doi.org/10.1088/1361-6641/ab0a1c>.

10. B.L. Sharma, R.K. Purohit. Semiconductor heterojunctions (Pergamon Press, 1974) [ISBN:9781483280868].
- 11. Eduard V.Maistruk, Ivan G.Orletskyi, Mariya I.Ilashchuk, Ivan P.Koziarskyi, Dmytro P.Koziarskyi ZnO:Al/ZnS/n-CdTe heterojunctions' electric and photoelectric properties, Optik. 276(2023) 170663**
<https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2023.170663>
12. Sze S. M. and Kwok K. N. (2007) Physics of Semiconductor Devices (New York: Wiley)
13. A.S. Kavasoglu, N. Kavasoglu, S. Oktik / Simulation for capacitance correction from Nyquist plot of complex impedance–voltage characteristics, Solid-State Electronics. 52 (2008) 990–996
14. A.M. Goodman, Metal—Semiconductor Barrier Height Measurement by the Differential Capacitance Method—One Carrier System, Journal of Applied Physics. 34 (1963) 329–338. [doi:10.1063/1.1702608](https://doi.org/10.1063/1.1702608).

Додаток. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

Державне, регіональне та галузеве управління охороною праці, чисельні наглядові і контрольні органи не можуть гарантувати повну безпеку ведення робіт на виробництві, якщо питання охорони праці не стануть повсякденним завданням та моральним обов'язком також і роботодавців, керівників виробництв, інженерно-технічних працівників, кожного працюючого. Для вирішення всіх проблем у сфері охорони праці потрібний системний підхід, створення ефективної системи управління охороною праці (СУОП) на кожному підприємстві, в установі та організації незалежно від форм власності і об'єму виробництва.

Успішне вирішення задачі попередження нещасних випадків, професійних захворювань та аварій повинно закладатись вже на етапі планування виробництва і забезпечуватись на всіх його стадіях. Для того, щоб гарантувати на виробництві виконання усіх робіт найбільш безпечним способом, та позбавити працюючих від небажаного ризику травм, пошкодження здоров'я чи майна, охорона праці використовує системний підхід та системний аналіз.

Системою, яка вивчається в охороні праці, є система "людина – виробниче середовище". Процес системного аналізу здійснюється відносно виробничого середовища, де люди, технологічні процеси, обладнання, механізми та виробничі приміщення є складовими частинами, які можуть впливати на безпеку та успішне виконання роботи або поставленої задачі.

Як правило, у виробничому середовищі існує велика кількість потенційних небезпек і концепція системного аналізу вимагає враховувати усі ймовірні небезпеки як складові тієї чи іншої небезпечної ситуації до факту виникнення джерела небезпеки у системі "людина – виробниче середовище". При цьому системний аналіз визначає коригувальні заходи, які повинні бути вжиті у виробничому процесі ще до виконання роботи чи вирішення основної задачі.

Зміст системного підходу полягає в тому, що будь-яка система управління або її окрема частина повинна розглядатися як ціле, самостійне явище, яке характеризується метою діяльності, структурою, ресурсами, процесами та

взаємозв'язками з іншими системами. Системний підхід дозволяє вивчати систему управління в сукупності всіх її елементів і аналізувати як статичний, так і динамічний її стан.

Більшість посадових осіб, підприємців та бізнесменів розглядає економічні та соціальні чинники не узгоджено, що призводить до безсистемності в процесі прийняття рішень. Для того, щоб подальший розвиток того чи іншого виробництва був економічно ефективним й одночасно соціально справедливим, необхідно знати і розуміти всі системні зв'язки в процесі його функціонування. Безумовно, що системний підхід повинен бути основним методичним засобом вирішення проблем охорони праці.

До основних функцій управління охороною праці належать:

- прогнозування і планування робіт;
- організація та координація робіт;
- облік, аналіз та оцінка показників охорони праці;
- контроль за станом охорони праці та функціонуванням СУОП;
- стимулювання охорони праці.

Функція прогнозування та планування роботи з охорони праці, в основі якої лежить прогностичний аналіз, має вирішальне значення в системі управління охороною праці. Планування роботи з охорони праці поділяють на перспективне, поточне та оперативне.

Перспективне планування – це найбільш важливі, трудомісткі і довготермінові заходи, виконання яких зазвичай потребує сумісної роботи кількох підрозділів підприємства. Можливість виконання заходів перспективного плану повинна бути підтверджена обґрунтованим розрахунком необхідного матеріально-технічного забезпечення і фінансових витрат з зазначенням джерел фінансування. Основною формою перспективного планування роботи з охорони праці є розроблення комплексного плану підприємства щодо поліпшення стану охорони праці.

Поточне планування здійснюють у межах календарного року через розроблення відповідних заходів у розділі «Охорона праці» колективного договору.

Оперативне планування роботи з охорони праці здійснюють за підсумками контролю стану охорони праці в структурних підрозділах і на підприємстві загалом. Оперативні заходи щодо усунення виявлених прорахунків зазначаються безпосередньо у наказі по підприємству, який видається за підсумками контролю, або у плані заходів, як додатку до наказу.

Процес планування заходів з охорони праці, як і реалізація будь-якої іншої управлінської функції, повинен здійснюватися в три етапи:

- оцінка ситуації чи стану об'єкта управління (оцінка стану безпеки праці і виробничого середовища на підприємстві);
- пошук шляхів і способів впливу на ситуацію (визначення варіантів заходів, які можуть вплинути на стан охорони праці);
- вибір і обґрунтування оптимального способу дій для поліпшення ситуації (визначення раціонального переліку заходів з охорони праці для включення їх у план чи колективний договір).

Одним з найважливіших завдань планування є розробка планів попередження, локалізації і ліквідації аварійних ситуацій й аварій (далі - ПЛАС). Формування цих планів здійснюється у відповідності до НПАОП 0.00-4.33-99 «Положення щодо розробки планів локалізації та ліквідації аварійних ситуацій і аварій» (додаток до лекції).

Цей нормативний акт поширюється на потенційно небезпечні підприємства (далі - підприємства), потенційно небезпечні об'єкти (далі - об'єкти), на яких можливі аварії із залповими викидами вибухонебезпечних і токсичних продуктів, вибухами й загоряннями (пожежами) в апаратурі, виробничих приміщеннях і зовнішніх спорудах, які можуть призвести до зруйнування будинків, споруд, технологічного устаткування, ураження людей, негативного впливу на довкілля. Нормативний акт встановлює порядок розробки, вимоги до складу, змісту та форми, процедуру затвердження й

перегляду ПЛАС. Вимоги цього нормативного акта обов'язкові для всіх міністерств, відомств, підприємств, організацій, юридичних і фізичних осіб незалежно від їхньої галузевої та/або відомчої належності й форми власності.

Метою плану локалізації і ліквідації аварійних ситуацій і аварій є планування дій (взаємодії) персоналу підприємства, спецпідрозділів, населення, центральних і місцевих органів виконавчої влади та органів місцевого самоврядування щодо локалізації і ліквідації аварій та пом'якшення їх наслідків.

Функція СУОП щодо організації та координації робіт передбачає формування органів управління охороною праці на всіх рівнях управління і всіх стадіях виробничого процесу, визначення обов'язків, прав, відповідальності та порядку взаємодії осіб, які беруть участь у процесі управління, а також прийняття та реалізацію управлінських рішень.

Оскільки роботодавець несе всю відповідальність за стан охорони праці на виробництві, саме він повинен створити і забезпечити функціонування системи управління охороною праці.

Для цього роботодавець:

- створює відповідні служби, які забезпечують вирішення конкретних питань охорони праці (На підприємстві з кількістю працівників 50 і більше осіб роботодавець створює службу охорони праці як окрему структуру);

- розробляє і реалізує комплексні заходи для досягнення встановлених нормативів і підвищення наявного рівня охорони праці;

- забезпечує виконання необхідних профілактичних заходів відповідно до обставин, що змінюються;

- впроваджує прогресивні технології, досягнення науки і техніки, засоби механізації та автоматизації, позитивний досвід з охорони праці тощо;

- забезпечує належне утримання будівель і споруд, виробничого обладнання та устаткування, моніторинг за їх технічним станом;

- забезпечує усунення причин, що призводять до нещасних випадків, професійних захворювань;

- організовує проведення аудиту охорони праці, лабораторних досліджень умов праці, оцінку технічного стану виробничого обладнання та устаткування, атестацій робочих місць і за їх підсумками вживає заходів до усунення небезпечних і шкідливих для здоров'я виробничих факторів;

- розробляє і затверджує нормативні акти з охорони праці підприємства, забезпечує безоплатно працівників нормативно-правовими актами та актами підприємства з охорони праці;

- здійснює контроль за дотриманням працівниками технологічних процесів, правил поводження з машинами, механізмами, устаткуванням та іншими засобами виробництва, використанням засобів захисту, виконанням робіт відповідно до вимог охорони праці;

- організовує пропаганду безпечних методів праці та співробітництво з працівниками в галузі охорони праці;

- вживає термінових заходів для допомоги потерпілим, залучає за необхідності професійні аварійно-рятувальні формування в разі виникнення на підприємстві аварій і нещасних випадків.

За порушення цих вимог роботодавець несе безпосередню відповідальність.

Виробничі будівлі, споруди, машини, механізми, устаткування, транспортні засоби, що впроваджуються в дію, та технологічні процеси повинні відповідати вимогам НПАОП. Відповідальність щодо забезпечення цих вимог покладається на роботодавця. Роботодавець також повинен отримати дозвіл на початок роботи та види робіт підприємства, діяльність якого пов'язана з виконанням робіт та експлуатацією об'єктів, машин, механізмів, устаткування підвищеної небезпеки. Перелік видів робіт, об'єктів, машин, механізмів, устаткування підвищеної небезпеки визначає Кабінет Міністрів України. Якщо роботодавець не отримав зазначеного дозволу, місцевий орган виконавчої влади або орган місцевого самоврядування, за поданням Держгірпромнагляду, вживає заходів до скасування державної реєстрації цього підприємства.

Для забезпечення пропорційної участі працівників у вирішенні будь-яких питань безпеки, гігієни праці та виробничого середовища за рішенням трудового колективу на підприємстві може створюватися комісія з питань охорони праці.

Функція обліку, аналізу та оцінки показників охорони праці спрямована (відповідно до одержаної інформації) на розробку та прийняття управлінських рішень керівниками всіх рівнів підприємства (від майстра дільниці до керівника підприємства). Суть цієї функції полягає в системному обліку показників стану охорони праці, в аналізі отриманих даних та узагальненні причин недотримання вимог НПАОП, а також причин невиконання планів з охорони праці з розробкою заходів, направлених на усунення виявлених упущень. Аналізуються матеріали: про нещасні випадки та професійні захворювання; результати всіх видів контролю за станом охорони праці; дані паспортів санітарно-технічного стану умов праці в цеху (на дільниці); матеріали спеціальних обстежень будівель, споруд, приміщень, обладнання тощо. У результаті обліку, аналізу та оцінки стану охорони праці вносять доповнення та уточнення до оперативних, поточних і перспективних планів роботи з охорони праці, а також зі стимулювання діяльності окремих структурних підрозділів, служб, працівників за досягнуті показники охорони праці.

Функція контролю за станом охорони праці та функціонуванням СУОП забезпечує дійове управління охороною праці. Будь-яка система управління може надійно функціонувати лише за наявності повної, своєчасної і достовірної інформації про стан об'єкта управління. Отримати таку інформацію про стан охорони праці, виявити можливі відхилення від норм безпеки, а також перевірити виконання планів та управлінських рішень можна тільки на підставі регулярного та об'єктивного контролю. Тому контроль стану охорони праці є найбільш відповідальною та трудомісткою функцією процесу управління. До основних форм контролю за станом охорони праці в рамках СУОП підприємства належать: оперативний контроль; відомчий контроль, що проводиться службою охорони праці підприємства; адміністративно-

громадський багатоступеневий контроль. Крім цих видів контролю, існує відомчий контроль вищих господарських органів, державний нагляд і громадський контроль за охороною праці, які розглядаються окремо.

Оперативний контроль керівники робіт і підрозділів підприємства здійснюють згідно із затвердженими посадовими обов'язками. Служба охорони праці контролює виконання вимог безпеки праці в усіх структурних підрозділах і службах підприємства.

Функція стимулювання охорони праці спрямована на створення зацікавленості працівників у забезпеченні здорових і безпечних умов праці. Стимулювання передбачає моральні та матеріальні заохочення, а також і покарання за невиконання покладених на конкретну особу зобов'язань щодо безпеки праці або порушення вимог щодо охорони праці. Стимулювання охорони праці – неодмінна умова попередження виробничого травматизму та профілактики профзахворювань. На державному рівні стимулювання охорони праці регулюється законодавчими актами і перед усім Законом «Про охорону праці», у якому цьому питанню присвячено IV розділ, та Законом «Про загальнообов'язкове державне соціальне страхування від нещасного випадку на виробництві та професійного захворювання, які спричинили втрату працездатності». Ці закони визначають, що при розрахунку розміру страхового внеску для кожного підприємства за умови досягнення належного стану охорони праці, зниження рівня або відсутності травматизму і професійної захворюваності внаслідок здійснення роботодавцем відповідних профілактичних заходів може бути встановлено знижку. За високий рівень травматизму і професійної захворюваності та неналежний стан охорони праці встановлюється надбавка до розміру страхового внеску.

Згідно ст. 26 Закону «Про охорону праці» роботодавець зобов'язаний відшкодувати збитки, завдані порушенням вимог охорони праці іншим юридичним чи фізичним особам. Роботодавець також відшкодовує витрати на проведення робіт з рятування потерпілих під час аварії та ліквідації її наслідків, на розслідування і проведення експертизи причин аварії, нещасного випадку

або професійного захворювання, на складання санітарно-гігієнічної характеристики умов праці осіб, які проходять обстеження щодо наявності професійного захворювання, а також інші витрати, передбачені законодавством.

Особливості ураження електричним струмом

Чинники, що впливають на тяжкість ураження людини електричним струмом, поділяються на три групи: електричного характеру, неелектричного характеру і чинники виробничого середовища. Основні чинники електричного характеру — це величина струму, що проходить крізь людину, напруга, під яку вона потрапляє, та опір її тіла, рід і частота струму. Величина струму, що проходить крізь тіло людини, безпосередньо і найбільше впливає на тяжкість ураження електричним струмом. За характером дії на організм виділяють:

—відчутний струм — викликає при проходженні через організм відчутні подразнення;

—невідпускаючий струм — викликає при проходженні через організм непереможні судомні скорочення м'язів руки, в якій затиснуто провідник;

—фібриляційний струм — при проходженні через організм викликає фібриляцію серця.

Відповідно до наведеного вище: — пороговий відчутний струм (найменше значення відчутного струму) для змінного струму частотою 50 Гц коливається в межах 0,6—1,5 мА і 5—7 мА — для постійного струму;

— пороговий невідпускаючий струм (найменше значення не—відпускаючого струму) коливається в межах 10—15 мА для змінного струму і 50—80 мА — для постійного;

— пороговий фібриляційний струм (найменше значення фібриляційного струму) знаходиться в межах 100 мА для змінного струму і 300 мА для постійного.

Гранично допустимий струм, що проходить крізь тіло людини при нормальному (неаварійному) режимі роботи електроустановки, не повинен перевищувати 0,3 мА для змінного струму і 1 мА для постійного.

Величина напруги, під яку потрапляє людина, впливає на тяжкість ураження електричним струмом в тій мірі, що зі збільшенням прикладеної до тіла напруги зменшується опір тіла людини. Останнє призводить до збільшення струму в мережі замикання через тіло людини і, як наслідок, до збільшення тяжкості ураження.

Чинниками виробничого середовища, які впливають на небезпеку ураження людини електричним струмом, є температура повітря в приміщенні, вологість повітря, запиленість повітря, наявність у повітрі хімічно активних домішок тощо. За чинниками виробничого середовища ПУЗ виділяють такі типи приміщень:

- гарячі, температура в яких впродовж доби перевищує 35 С;
- сухі, відносна вологість в яких не перевищує 60%, тобто знаходиться в межах оптимальної за гігієнічними нормативами;
- вологі, відносна вологість в яких не перевищує 75%, тобто знаходиться в межах допустимої за гігієнічними нормативами;
- сирі, відносна вологість в яких більше 75%, але менше вологості насичення;
- особливо сирі, відносна вологість в яких близька до насичення, спостерігається конденсація пари на будівельних конструкціях, обладнанні;
- запилені, в яких пил проникає в електричні апарати та інші споживачі електроенергії і осідає на струмовідні частини, при цьому такі приміщення діляться на приміщення зі струмопровідним і неструмопровідним пилом;
- приміщення з хімічно агресивним середовищем, яке призводить до порушення ізоляції, або біологічним середовищем, що у вигляді плісняви утворюється на електрообладнанні.

Вплив електричного струму на організм людини

Протікання струму через тіло людини супроводжується термічним, електролітичним та біологічним ефектами.

Термічна дія струму полягає в нагріванні тканини, випаровуванні вологи, що викликає опіки, обвуглювання тканин та їх розриви паром. Тяжкість термічної дії струму залежить від величини струму, опору проходженню струму та часу проходження. За короткочасної дії струму термічна складова може бути визначальною в характері і тяжкості ураження.

Електролітична дія струму проявляється в розкладі органічної речовини (її електролізі), в тому числі і крові, що призводить до зміни їх фізико—хімічних і біохімічних властивостей. Останнє, в свою чергу, призводить до порушення біохімічних процесів у тканинах і органах, які є основою забезпечення життєдіяльності організму.

Біологічна дія струму проявляється у подразненні і збуренні живих тканин організму, в тому числі і на клітинному рівні. При цьому порушуються внутрішні біоелектричні процеси, що протікають в організмі, який нормально функціонує, і пов'язані з його життєвими функціями. Збурення, спричинене подразнюючою дією струму, може проявлятися у вигляді мимовільного непередбачуваного скорочення м'язів. Це, так звана, пряма або безпосередня збурююча дія струму на тканини, по яких він протікає. Разом із цим, збурююча дія струму на тканини може бути і не прямою, а рефлекторною — через центральну нервову систему. Останнє може призвести до серйозних порушень діяльності життєво важливих органів, у тому числі серця та легенів, навіть коли ці органи не знаходяться на шляху проходження струму.

Як реагує на електромагнітне поле організм людини

Електромагнітні поля особливо негативно впливають на організм людини, яка безпосередньо працює з джерелом випромінювання. В діапазоні промислових частот більше негативний вплив на біологічний об'єкт має електрична складова поля.

Найчутливішими до ЕМП є нейродинамічні процеси, які прямо чи побічно перемикають хронобіологічні процеси організму на патологічний або стресовий режим функціонування.

При дії ЕМП на людину можливі гострі та хронічні форми порушення фізіологічних функцій організму. Такі порушення виникають в результаті дії електричної складової ЕМП на нервову систему, а також на структуру кори головного та спинного мозку, серцево-судинної системи. У більшості випадків такі зміни в діяльності нервової та серцево-судинної системи мають зворотній характер, але в результаті тривалої дії вони накопичуються, підсилюються з плином часу, але, як правило, зменшуються та зникають при виключенні впливу та поліпшенні умов праці. Тривалий та інтенсивний вплив ЕМП призводить до стійких порушень в організмі людини та захворювань.

Сумісна дія випромінювань широкого діапазону може викликати окрему радіохвильову хворобу.

Тяжкість її наслідків прямо залежить від напруженості ЕМП, фізичних особливостей різних діапазонів частот, тривалості впливу, умов навколишнього середовища, а також від функціонального стану та стійкості організму до впливу різних чинників, можливостей адаптації. Збільшується ризик виникнення загальних захворювань, захворювань органів дихання, травлення тощо. Це може відбуватися також і за дуже невеликої інтенсивності ЕМП, яка незначно перевищує гігієнічні нормативи.

Результатом дії на організм людини електромагнітних випромінювань в діапазоні 30 кГц – 300 МГц є: загальна слабкість, підвищена втома, порушення сну, головний біль та біль в ділянці серця. З'являється роздратованість, втрачається увага, сповільнюються рухово-мовні реакції.

У разі прямого впливу на око випромінювання відбувається пошкодження рогівки. серед усіх тканин ока найбільшу чутливість в діапазоні 1-10 ГГц має кришталік. Сильні пошкодження кришталіка зумовлені тепловим впливом НВЧ (при щільності потоку енергії понад 100 мВт/см²). За малої інтенсивності помутніння спостерігаються тільки у задній ділянці, за великої – по всьому

об'єму кришталіка. Для попередження професійних захворювань, які виникають у результаті тривалої дії електромагнітних випромінювань, встановлені гранично допустимі рівні електромагнітних випромінювань, які необхідно контролювати не рідше 1 разу на рік. Якщо вводиться в дію новий об'єкт або здійснюється реконструкція діючих об'єктів, то заміри рівня електромагнітних випромінювань проводяться перед введенням їх в експлуатацію

Робота з електровимірювальними приладами та високою напругою

Розміщення і монтаж стаціонарних електровимірювальних приладів повинні здійснюватись відповідно до таких правил:

1. Для забезпечення безпеки працюючих у відповідності з вимогами правил встановлення електроустановок повинні бути встановлені заземлюючі пристрої, до яких надійно повинні бути підключені металеві частини електроустановок і корпуси електрообладнання, які внаслідок пошкодження ізоляції можуть бути під напругою. Заземлення необхідне:
 - а) при напрузі 500В і вище змінного і постійного струму у всіх випадках,
 - б) при напрузі 36В і вище змінного струму і 100В постійного в приміщеннях з підвищеною небезпекою,
 - в) при всіх напругах змінного і постійного струму в вибухонебезпечних приміщеннях.
2. Вимикачі, магнітні пускачі, регулюючі пристрої і т. п. повинні мати надпис та маркування, які вказують до якого пристрою відноситься.
3. На приводах комутаційних апаратів повинні бути явно вказані положення “включено і виключено”.
4. В лабораторії повинні бути первинні засоби вогнегасіння – вогнегасник, ящик з піском, шерстяна ковдра або брезент.
5. Електричний провід повинен мати якісну ізоляцію.
6. Після закінчення робіт необхідно відключити електроенергію, прибрати робоче місце, виключити рубильник, перевірити водопровідні крани.

