

**Осадчук О.В.**

Вінницький національний технічний університет

**Мартинюк В.В.**

Вінницький національний технічний університет

**Євсєєва М.В.**

Вінницький національний медичний університет імені М.І. Пирогова

**Мартинюк Г.І.**

Вінницький національний технічний університет

## ВПЛИВ ТЕМПЕРАТУРИ ТА МАГНІТНОГО ПОЛЯ НА ФІЗИЧНІ ПАРАМЕТРИ (КУПРУМ, БІСМУТ)ВМІСНОГО В-ДИКЕТОНАТУ

Стаття присвячена дослідженню впливу температури та магнітного поля на фізичні параметри (купрум, бісмут)вмісного  $\beta$ -дикетонату. В роботі наведено методикку синтезу та виділено в твердому стані гетерометалічну координаційну сполуку. Експериментально доведено, що отримана сполука в спресованому стані володіє напівпровідниковими властивостями. Для синтезу гетероядерної координаційної сполуки використано безводні хлориди бісмуту (III) і купруму (II) та пентан-2,4-діон, реакцію проведено в середовищі 2-пропанолу при нагріванні. Показано, що швидкість реакції синтезу координаційної сполуки та її практичний вихід зростає в присутності протонно-акцепторного реагента. Встановлено практичний вихід синтезованого продукту, який дорівнює 84% від теоретично обчисленого. Підтверджено чистоту та ідентичність гетероядерного  $\mu$ -пентаізопропокси(трикупрум(II), бісмут(III))тетраацетилацетонату (I) на основі даних елементного аналізу. Визначено, що до складу сполуки (I) входять атоми двох різних за природою металів, які знаходяться у співвідношенні  $\text{Cu} : \text{Bi} = 3:1$  і вона має таку брутто формулу:  $\text{Cu}_3\text{BiC}_{35}\text{O}_{13}\text{H}_{68}$ . Проведено дослідження магнітних властивостей за кімнатної температури, аналіз ІЧ-спектрів у твердому стані та термодериватографічне дослідження в інтервалі температур 20-900°C виділеного гетероядерного  $\beta$ -дикетонату. На основі отриманих даних для даної координаційної сполуки запропоновано поліядерну будову. В спресованому стані досліджено вплив температури та магнітного поля на фізичні властивості отриманого матеріалу на основі сполуки (I). Встановлено температурну залежність електропровідності отриманого  $\mu$ -пентаізопропокси(трикупрум(II), бісмут(III))тетраацетилацетонату і показано, що при збільшенні температури від 303 K до 423 K його питомий опір суттєво зменшується від  $5 \cdot 10^{11} \text{ Ом} \cdot \text{см}$  до  $8 \cdot 10^2 \text{ Ом} \cdot \text{см}$ , що свідчить про наявність напівпровідникових властивостей. На основі отриманих експериментальних даних обчислено питому провідність дослідженого матеріалу, при  $T_1 = 303 \text{ K} - \sigma_1 = 2,00 \cdot 10^{-10} (\text{Ом} \cdot \text{м})^{-1}$ , а для  $T_2 = 423 \text{ K} - \sigma_2 = 0,125 (\text{Ом} \cdot \text{м})^{-1}$  та встановлено ширину забороненої зони  $\Delta E = 1,86 \text{ eV}$ . Доведено, що досліджуваний матеріал є напівпровідником з носіями струму обох знаків.

**Ключові слова:** напівпровідник, магнітне поле, температура, індукція, гетероядерні комплексні сполуки.

**Постановка проблеми.** В наш час напівпровідникові резистивні сенсори широко використовуються в різних галузях народного господарства. Серед великого числа відомих сенсорів особливе місце займають термосенсори, які є базовим елементом для створення датчиків іншого типу, наприклад, механічних, радіаційних, біологічних та хімічних [1-3]. Оскільки, напівпровідники є дуже чутливими до змін умов навколишнього середовища, то їх властивості змінюються зі зміною температури, під дією електричного

та магнітного полів, зовнішнього опромінення і багатьох інших факторів. Тому характеристики напівпровідникових сенсорів та ефективність їх роботи суттєво залежать від природи напівпровідникового матеріалу його чистоти та стійкості. В зв'язку з цим, одним із сучасних напрямків розвитку напівпровідникової електроніки є розробка нових матеріалів, з високою чутливістю електричного опору до змін температури, яку кількісно оцінюють за допомогою температурного коефіцієнта опору.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій.

На практиці [1, 4-6] в якості резистивних напівпровідникових матеріалів найчастіше використовують неметали, метали, оксиди металів а також різноманітні композиційні матеріали, які виготовляють методами порошкової металургії при тривалому спіканні. Такі методи є довготривалими, енергоємними і не завжди дозволяють отримати кінцеві продукти високого ступеня чистоти [7-10].

Особливу увагу вчених останнім часом привертають терморезистивні композиційні матеріали [8, 9], в яких електропровідність суттєво залежить від об'ємної концентрації наповнювача. В роботі [8] досліджено терморезистивний матеріал на основі сегнетоелектричної кераміки, проте такий матеріал має обмеження в застосуванні через вузький інтервал робочих температур.

В роботах [5, 8] представлені дані з дослідження резистивних властивостей органічних полімерних матеріалів з електропровідними наповнювачами. Однак такі полімерні композиційні матеріали проявляють нестабільність своїх властивостей після нагрівання та охолодження внаслідок зміни структури термореактивного полімерного компонента та мають вузький температурний діапазон використання.

Відомо [11, 12], що деякі гетероядерні координаційні сполуки володіють напівпровідниковими властивостями і можуть виконувати роль терморезистивного матеріалу для розробки нових високочутливих термо- та магніточутливих сенсорів.

**Постановка завдання.** Метою даного дослідження є отримання нового напівпровідникового матеріалу на основі гетероядерної координативної сполуки, та дослідження впливу магнітного поля і температури на його фізичні властивості.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Відомо, що гетероядерні координаційні сполуки, які містять у своєму складі атоми металів різної природи володіють різноманітними електричними, магнітними, оптичними та іншими властивостями і знаходять широке застосування на практиці [13-17]. В твердому стані такі сполуки здатні проявляти електропровідні властивості, які залежать від природи металів, що входять до їх складу та лігандного оточення і можуть змінюватися в широких межах від діелектрика до напівпровідника. Особливий інтерес викликають напівпровідникові властивості гетероядерних  $\beta$ -дикетонатів, які містять в своєму складі метали d- та p- елементів періодичної системи. Деякі з цих сполук володіють високою чутливістю до змін температури тому можуть бути використані

в якості напівпровідникового матеріалу на практиці для виготовлення терморезисторів.

З метою отримання нового напівпровідникового матеріалу була розроблена методика синтезу гетероядерного  $\mu$ -пентаізопропоксо(трикупрум(II), бісмут(III))тетраацетилацетонату (I), такого складу:  $[\text{Cu}_3\text{Bi}(\text{OC}_3\text{H}_7\text{-i})_5(\text{C}_5\text{H}_7\text{O}_2)_4]$ , де  $\text{OC}_3\text{H}_7\text{-i} = \text{CH}_3\text{-CH}(\text{O}^-)\text{-CH}_3$ ;  $\text{C}_5\text{H}_7\text{O}_2 = \text{H}_3\text{C-S}(\text{O})\text{-CH-C}(\text{O}^-)\text{-CH}_3$ .

Гетероядерну координаційну сполуку (I) синтезували в трьохгорлій термостійкій круглодонній колбі з оборотним водяним холодильником та пристроєм для перемішування, яка розміщена на водяній бані за такою методикою: наважки солей 2,54 г (8 ммоль) бісмут (III) хлориду і 3,24 г (24 ммоль) безводного купрум (II) хлориду розчиняли в 240 мл 2-пропанолу при нагріванні на водяній бані ( $\sim 60^\circ\text{C}$ ) та безперервному перемішуванні. Після повного розчинення солей до отриманого прозорого розчину додавали 3,40 мл (32 ммоль) пентан-2,4-діону. Далі в реакційну суміш невеликими порціями, за допомогою піпетки, додавали піперидин до  $\text{pH} = 9$  і продовжували перемішування та нагрівання ( $\sim 60^\circ\text{C}$ ) впродовж 1,5 години. Після додавання протонно-акцепторного реагенту спостерігали утворення блакитного дрібнокристалічного осаду, кількість якого збільшувалась при охолодженні реакційної маси. Через годину після повного охолодження до кімнатної температури осад фільтрували на скляному фільтрі за допомогою насоса Комовського, промивали метиловим спиртом, діетиловим етером і висушували у вакуум-ексикаторі. Практичний вихід продукту 7,33 г, що складає 84% від теоретично обчисленого. Синтезована координаційна сполука (I) – дрібнокристалічний порошок блакитного кольору, добре розчинний у диметилформаміді, малорозчинний в етиловому спирті, гідролізується у воді.

Для підтвердження ідентичності гетероядерного  $\mu$ -пентаізопропоксо-(трикупрум(II), бісмут(III))тетраацетилацетонату (I) проведено елементний аналіз і встановлено, що до його складу входять атоми двох різних за природою металів, які знаходяться у співвідношенні:  $\text{Cu} : \text{Bi} = 3:1$ . Експериментальні дані з визначення вмісту атомів Карбону та Гідрогену дозволили встановити для виділеної координаційної сполуки (I) таку брутто формулу:  $\text{Cu}_3\text{BiC}_{35}\text{O}_{13}\text{H}_{68}$ . Для встановлення структурної будови виділеного гетероядерного  $\beta$ -дикетонату проведено дослідження магнітних властивостей за кімнатної температури, аналіз ІЧ-спектрів у твердому стані та термодес-

риватографічне дослідження в інтервалі температур 20-900 °С. На основі отриманих даних для даної координаційної сполуки (I) запропоновано поліядерну будову, в якій три атоми Купруму(II) та один атом Бісмуту(III), поєднані за допомогою аніонів 2-пропанолу, які виконують роль місткових лігандів, крім того до складу однієї молекули комплексу входять чотири аніона монодепротонованих молекул пентан-2,4-діону.

Молярна маса отриманої гетероядерної координаційної сполуки  $[\text{Cu}_3\text{Bi}(\text{OC}_3\text{H}_7\text{-i})_5(\text{C}_5\text{H}_7\text{O}_2)_4]$  (I), де  $\text{OC}_3\text{H}_7\text{-i} = \text{CH}_3\text{-CH}(\text{O}^-)\text{-CH}_3$ ;  $\text{C}_5\text{H}_7\text{O}_2 = \text{H}_3\text{C-C}(\text{O})\text{-CH-C}(\text{O}^-)\text{-CH}_3$  дорівнює 1096,00 г/моль, а кількість валентних електронів для однієї молекули – 289.

Для дослідження електричної провідності синтезованого порошкоподібного матеріалу сполуки (I) за допомогою пресу виготовлено експериментальний зразок у формі циліндра об'єм якого дорівнює  $19,20 \cdot 10^{-9} \text{ м}^3$ , а маса – 0,17 г. Густина досліджуваного матеріалу пресованого зразка розраховано за формулою (1):

$$\rho = m / v = 8,854 \cdot 10^3 \text{ кг} / \text{м}^3 \quad (1)$$

де  $\rho$  – густина речовини;  $m$  – маса експериментального циліндричного зразка;  $V$  – об'єм експериментального циліндричного зразка.

За формулою (2) здійснено розрахунок маси однієї молекули досліджуваної речовини (I):

$$m_0 = M / N_A = 182,060 \cdot 10^{-20} \text{ кг}, \quad (2)$$

де  $m_0$  – маса однієї молекули сполуки;  $M$  – молярна маса сполуки (I);  $N_A$  – число Авогадро.

Загальну кількість молекул сполуки (I) в об'ємі досліджуваного циліндричного зразка розраховано за формулою (3)

$$N_{\text{мол}} = m / m_0 = 9,34 \cdot 10^{13} \text{ молекул}, \quad (3)$$

де  $N_{\text{мол}}$  – загальна кількість молекул в експериментальному зразку;  $m$  – маса експериментального циліндричного зразка;  $m_0$  – маса однієї молекули отриманої сполуки (I).

Загальну кількість валентних електронів в експериментальному зразку досліджуваного матеріалу розраховано за формулою (4):

$$N = 289 \cdot N_{\text{мол}} = 2699,26 \cdot 10^{13}. \quad (4)$$

Концентрацію носіїв заряду розраховано при температурі 423 К з використанням формули (5):

$$n = N / V = 1,3867 \cdot 10^{23} \text{ м}^{-3}, \quad (5)$$

де  $N$  – загальна кількість валентних електронів в експериментальному зразку;  $V$  – об'єм експериментального зразка.

Дослідження температурної залежності електропровідності отриманого матеріалу  $\mu$ -пентаізопроропко(трикупрум(II), бісмут(III))тетраацетилацетонату (I) показало, що при збільшенні температури від 303 К до 423 К його питомий опір суттєво зменшується від  $5 \cdot 10^{11} \text{ Ом} \cdot \text{см}$  до  $8 \cdot 10^2 \text{ Ом} \cdot \text{см}$ , це свідчить про наявність напівпровідникових властивостей. На основі отриманих експериментальних даних обчислено питому провідність дослідженого матеріалу, при  $T_1 = 303 \text{ К}$  –  $\sigma_1 = 2,00 \cdot 10^{-10} (\text{Ом} \cdot \text{м})^{-1}$ , а для  $T_2 = 423 \text{ К}$  –  $\sigma_2 = 0,125 \cdot (\text{Ом} \cdot \text{м})^{-1}$ . За формулою (6), з використанням експериментальних даних, проведено розрахунок забороненої зони для отриманого напівпровідникового матеріалу:

$$\Delta E = \frac{k \ln \frac{\sigma_1}{\sigma_2}}{\left( \frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right)} = 2,9852 \cdot 10^{-19} \text{ Дж} = 1,865 \text{ eВ}, \quad (6)$$

де  $T$  – абсолютна температура;  $\sigma$  – питома провідність матеріалу;  $k$  – стала Больцмана.

Виходячи з розрахунків отримали підтвердження, що даний матеріал є напівпровідником з носіями струму обох знаків.

Ширина забороненої зони та формула залежності концентрації носіїв заряду напівпровідника від температури, дає можливість отримати графік залежності концентрації носіїв заряду від температури, який в логарифмічному вигляді подано на рис. 1.

Як видно з рис. 1, концентрація носіїв заряду в діапазоні температур від 273 К до 493 К зростає від  $8,7 \cdot 10^{10} \text{ м}^{-3}$  до  $1,9 \cdot 10^{26} \text{ м}^{-3}$ .

Розраховувавши сталу Холла при 303 К отримали:

$$R_H = 1 / nq = 28400 \text{ м}^3 \cdot \text{Кл}^{-1}, \quad (7)$$

де  $q$  – заряд електрона;  $n$  – концентрація носіїв заряду.

Формула (8) дає можливість обчислювати квантову сталу Холла:

$$R_{\text{кв} H} = -3\pi / 8nq = -33170,2 \text{ м}^3 \cdot \text{Кл}^{-1}. \quad (8)$$

Об'єднавши рівняння залежності концентрації носіїв заряду від температури та формулу (8), вивели формулу залежності константи Холла від температури (9):

$$R_{\text{кв} H} = -\frac{3\pi}{8qn_0} \cdot e^{\frac{\Delta E}{kT}}. \quad (9)$$

На основі формули (9) побудовано логарифмічну залежність квантової константи Холла від температури (рис. 2):

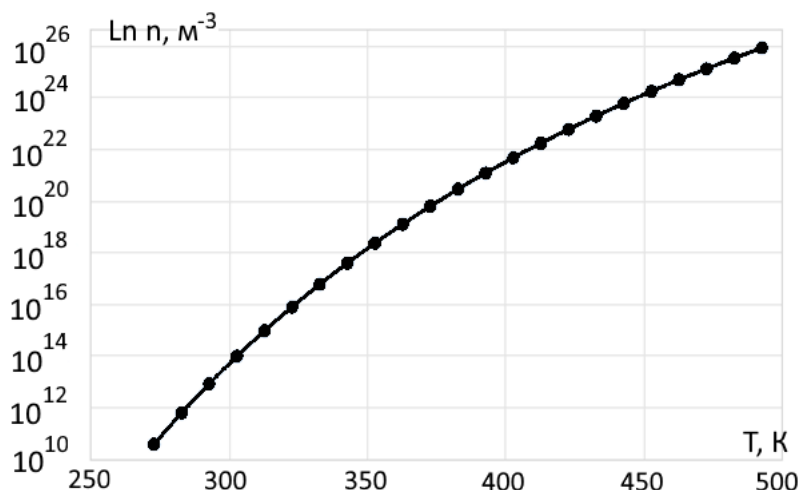


Рис. 1. Логарифмічна залежність концентрації носіїв заряду від температури

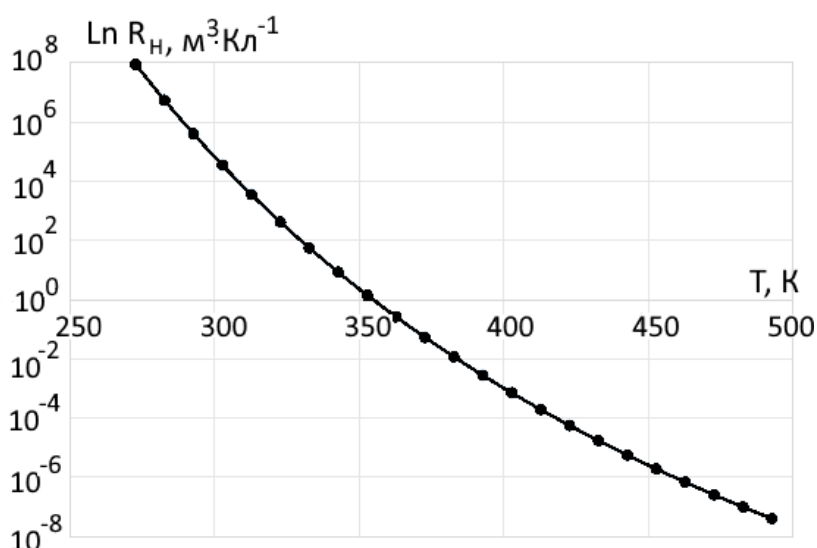


Рис. 2. Логарифмічна залежність квантової константи Холла від температури

Як видно з графіка (рис. 2), величина квантової константи Холла для отриманої координаційної сполуки (I) при зростанні температури від 273 до 493 K зменшується від  $8,5 \cdot 10^{-7} \text{ м}^3 \cdot \text{Кл}^{-1}$  до  $3,7 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3 \cdot \text{Кл}^{-1}$ .

З експериментальних даних питомого опору, при 303 K,  $\rho = 5 \cdot 10^9 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ , для знаходження рухливості носіїв заряду, була розрахована питома провідність  $\sigma = 2,0 \cdot 10^{-10} \text{ сім}$ .

$$\mu_n = R_H \cdot \sigma. \quad (10)$$

Для квантового випадку визначимо рухливість носіїв заряду:

$$\mu_n = R_{\text{кв}H} \cdot \sigma = 6,63 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3 \cdot (\text{В} \cdot \text{с})^{-1}. \quad (11)$$

Підставляючи в (11) залежність питомої провідності від температури та константи Холла від температури було визначено, що рухливість носіїв заряду не залежить від температури і рівна  $\mu = 6,63 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3 / (\text{В} \cdot \text{с})$ .

Розрахунок залежностей Холлівської напруженості електричного поля всередині напівпровідника, з розмірами  $1,6 \times 1,6 \times 7,5 \text{ мм}$ , що виникає під дією магнітного поля всередині напівпровідника подано на рисунку 3.

Як видно з графіка в діапазоні від 10 до 200 мТ напруженість збільшується від 0,301 до 6,02 В/м, а в діапазоні від 100 до 1000 мТ графік набуває лінійного характеру і напруженість змінюється від 6,02 В/м до 30,12 В/м.

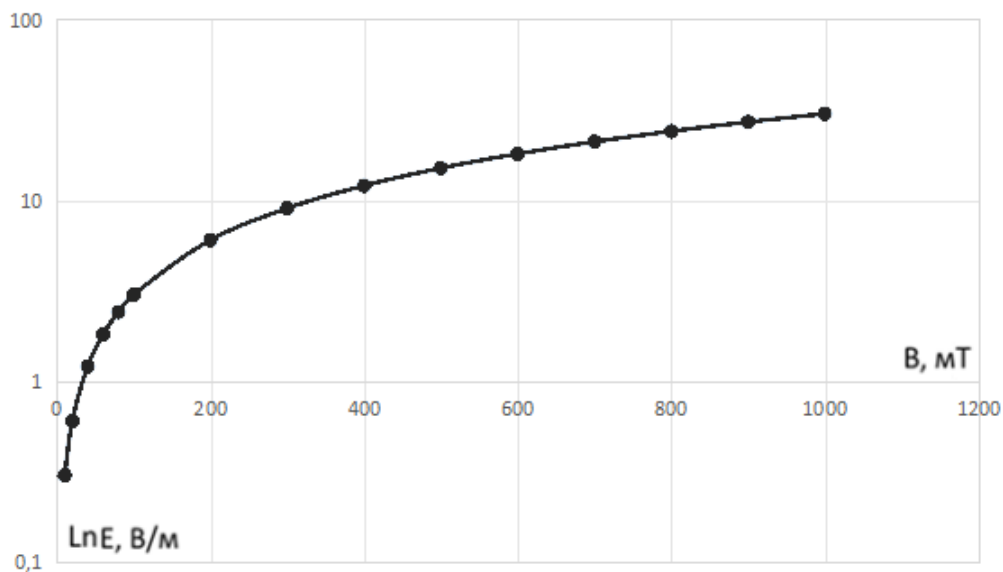


Рис. 3. Логарифмічна залежність напруженості електричного поля всередині напівпровідника від індукції магнітного поля

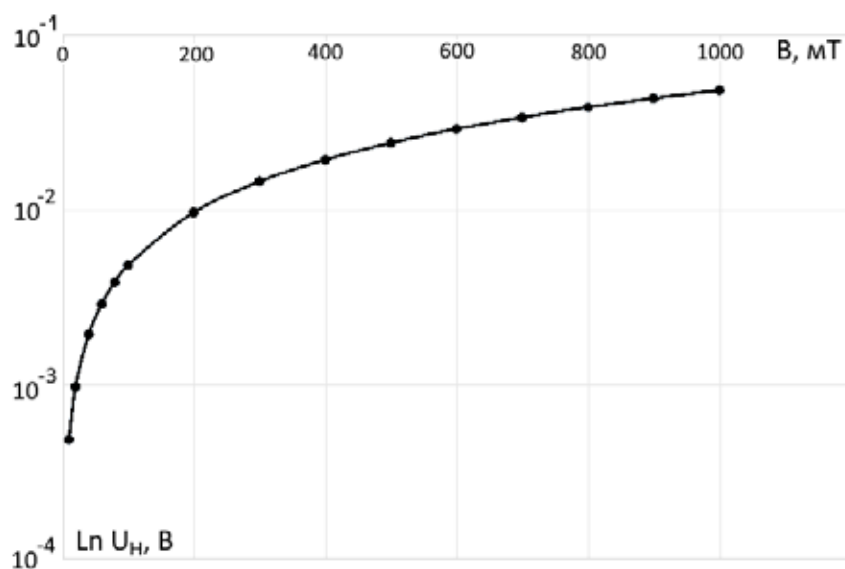


Рис. 4. Логарифмічна залежність напруги Холла від індукції магнітного поля

Відповідна залежність спостерігається і для напруги Холла. Логарифмічну залежність напруги Холла від індукції магнітного поля подано на рисунку 4.

З графіка видно, що в діапазоні від 10 до 200 мТ напруга Холла зростає від  $4,8 \cdot 10^{-4}$  до  $9,6 \cdot 10^{-3}$  В, а від 200 до 1000 мТ – Холлівська напруга зростає від  $9,6 \cdot 10^{-3}$  В до  $4,8 \cdot 10^{-2}$  В.

**Висновки.** Розроблено методику синтезу нового напівпровідникового матеріалу, виділено його в твердому стані, доведено його склад та будову. Досліджено вплив температури та магнітного поля на його фізичні параметри. Вста-

новлено температурну залежність електропровідності отриманого матеріалу  $\mu$ -пентаізопропо ксо(трикупрум(II), бісмут(III))тетраацетилацетонату і показано, що при збільшенні температури від 303 К до 423 К його питомий опір суттєво зменшується від  $5 \cdot 10^{11}$  Ом·см до  $8 \cdot 10^2$  Ом·см, що свідчить про наявність напівпровідникових властивостей. На основі отриманих експериментальних даних обчислено питому провідність дослідженого матеріалу, при  $T_1 = 303$  К –  $\sigma_1 = 2,00 \cdot 10^{-10}$  (Ом·м)<sup>-1</sup>, а для  $T_2 = 423$  К –  $\sigma_2 = 0,125$  (Ом·м)<sup>-1</sup>. Встановлено, що інтервал робочих температур складає від +273 до +493 К, причому розкла-

дання хімічної сполуки відбувається з 523 К, концентрація носіїв заряду зростає від  $8,7 \cdot 10^{10} \text{ м}^{-3}$  при 273 К до  $1,97 \cdot 10^{26} \text{ м}^{-3}$  при 493 К, при цьому константа Холла при збільшенні температури від

273 К до 493 К зменшується від  $8,5 \cdot 10^7 \text{ м}^3 \cdot \text{Кл}^{-1}$  до  $3,7 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3 \cdot \text{Кл}^{-1}$ , напруга Холла в діапазоні магнітного поля від 0 до 1000 мТ змінюється від  $4,82 \cdot 10^{-4}$  до  $4,82 \cdot 10^{-2} \text{ В}$ .

### Список літератури:

1. Strikha V. I. Semiconductor sensors – semiconductor electronics promising direction. *Sensor Electronics and Microsystem Technologies*. 2021. V.18. № 2. P. 48–53. URL: <https://doi.org/10.18524/1815-7459.2021.2.235212>. (date of access: 21.01.2025).
2. Вимірювальні перетворювачі (сенсори): підручник / В.М. Ванько, Є.С. Поліщук, М.М. Дорожовець та ін.; за ред. Є.С. Поліщука, В.М. Ванько. Львів: Нац. ун-т Львів. Політехніка, 2015. 580 с.
3. Осадчук В.С., Осадчук О.В. Сенсори тиску і магнітного поля: монографія. Вінниця: Універсум-Вінниця, 2005. 207 с.
4. Мельник О.Л., Ярош Я.Д., Балицька Н.О., Соловійов А.В. Температурний коефіцієнт опору композиційних систем «кераміка-вуглець» з нанорозмірними вуглецевими наповнювачами. *Вісник Житомирського агроєкологічного університету*. 2017. № 2(16), Т. 1. С. 171–179.
5. Hongfeng X., Pengyang D., Lisong D., Jiazhen S. LDPE/carbon black conductive composites: Influence of radiation crosslinking on PTC and NTC properties. *Journal of Applied Polymer Science*. 2002. № 13. P. 2742–2749. DOI: 10.1002/app.10720. (date of access: 21.01.2025).
6. Hongfeng X., Pengyang D., Lisong D., Jiazhen S. LDPE/carbon black conductive composites: Influence of radiation crosslinking on PTC and NTC properties. *Journal of Applied Polymer Science*. 2002. № 13. P. 2742–2749. DOI: 10.1002/app.10720. (date of access: 21.01.2025).
7. Hongfeng X., Pengyang D., Lisong D., Jiazhen S. LDPE/carbon black conductive composites: Influence of radiation crosslinking on PTC and NTC properties. *Journal of Applied Polymer Science*. 2002. № 13. P. 2742–2749. DOI: 10.1002/app.10720. (date of access: 21.01.2025).
8. L. Jingrong, C. Xiangfeng, L. Wei, C. Guohua. The piezoresistive behaviors of polyethylene/foliated graphite nanocomposites. *European Polymer Journal*. 2006. № 5. P. 1015–1021. DOI: 10.1016/j.eurpolymj.2005.11.026. (date of access: 21.01.2025).
9. Мельник О.Л., Ярош Я.Д., Серов В.В., Отаманський В.В. Вплив високодисперсних вуглецевих наповнювачів на теплові властивості композиційних систем «кераміка-вуглець». *Вісник Житомирського агроєкологічного університету*. 2017. № 1(58). С. 259–270.
10. Strümpfer R. Polymer composite thermistors for temperature and current sensors. *Journal of Applied Physics*. 1996. Vol. 80, № 11. P. 6091–6096. DOI: 10.1063/1.363682. (date of access: 21.01.2025).
11. Мельник О.Л., Гутніченко О.А. Температурний коефіцієнт опору графіт-керамічних композиційних матеріалів з кварцевим наповнювачем різної дисперсності. *Вісник Тернопільського національного технічного університету*. 2014. № 4. С. 102–114. URL: <http://elartu.tntu.edu.ua/handle/123456-789/5734>. (дата звернення: 21.01.2025).
12. Мельничук П.П., Мельник О.Л. Вплив неіоногенної поверхнево активної речовини Тритон Х-305 на основні фізико-механічні властивості композитних матеріалів кераміка-нанопластинки графіту. *Вісник Житомирського державного університету*. 2014. № 4. С. 44–52.
13. Osadchuk O., Martyniuk V., Osadchuk I., Semenova O., Sydoruk T., Evseeva M. The impact of temperature and magnetic field on physical field on physical parameters of the strontium-containing heterometallic coordination compound of copper(II). In: *2020 IEEE 15th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET)*. (Lviv-Slavske, Ukraine 25–29 February 2020). Lviv-Slavske, 2020. P. 511–515. URL: <https://doi.org/10.1109/TCSET49122.2020.235485>. (date of access: 21.01.2025).
14. Semenov A., Martyniuk V., Evseeva M., Osadchuk O., Semenova O., Yushchenko T. Electrical Properties of the (Copper, Dysprosium)-Containing Complex Compound. 2024. In: *6th International Conference on Nanotechnologies and Biomedical Engineering. ICNBME 2023. IFMBE Proceedings*, 2024. Vol. 91. P. 31–40 Springer, Cham. URL: [https://doi.org/10.1007/978-3-031-42775-6\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-031-42775-6_4). (date of access: 21.01.2025).
15. J.-W. Yang, Y.-M. Tian, J. Tao, P. Chen, H.-F. Li, Y.-Q. Zhang, P.-F. Yan, W.-B. Sun, Modulation of the Coordination Environment around the Magnetic Easy Axis Leads to Significant Magnetic Relaxations in a Series of 3d-4f Schiff Complexes. *Inorganic Chemistry Journal*. 2018. 57. P. 8065–8077. DOI: 10.1021/acs.inorgchem.8b00056. (date of access: 21.01.2025).
16. Osadchuk O., Martyniuk V., Semenova O., Semenov A., Martyniuk H., Sydoruk T. Physical parameters of the synthesized semiconductor material based on a heterometallic complex compound of copper (II) with N,N'-Bis(Salicylidene)Semicarbazide. In: *2022 IEEE 16th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET)*. IEEE, 22–26 February 2022, Lviv-

Slavske, Ukraine (2022) P. 432–435. URL: <https://doi.org/10.1109/TCSET55632.2022.9766980>. (date of access: 21.01.2025).

17. Semenov A.O., Martyniuk V.V., Evseeva M.V., Osadchuk O.V., Semenova O.O. Electrical properties of the nanocomposite (copper, samarium)-containing complex compound. 2022 *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng* IOP Conf. Ser. 1254(1). 012029. 2022. URL: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1254/1/012029>. (date of access: 21.01.2025).

**Osadchuk O.V., Martyniuk V.V., Evseeva M.V., Martyniuk G.I. INFLUENCE OF TEMPERATURE AND MAGNETIC FIELD ON THE PHYSICAL PARAMETERS OF (COPPER, BISMUTH) CONTAINING  $\beta$ -DIKETONATE**

*The article is devoted to the study of the influence of temperature and magnetic field on the physical parameters of (copper, bismuth)-containing  $\beta$ -diketonate. The work describes the method of synthesis and isolates a heterometallic coordination compound in the solid state. It was experimentally proven that the obtained compound in a compressed state has semiconductor properties. Anhydrous bismuth (III) and cuprous (II) chlorides and pentane-2,4-dione were used for the synthesis of a heteronuclear coordination compound, the reaction was carried out in a 2-propanol medium with heating. It is shown that the reaction rate of the coordination compound synthesis and its practical yield increases in the presence of a proton-acceptor reagent. The practical yield of the synthesized product was established, which is equal to 84% of the theoretically calculated one. The purity and identity of heteronuclear  $\mu$ -pentaisopropoxo(tricuprum(II), bismuth(III)) tetraacetylacetonate (I) was confirmed based on elemental analysis data. It was determined that the composition of compound (I) includes atoms of two metals of different nature, which are in the ratio of Cu : Bu = 3:1 and it has the following gross formula:  $\text{Cu}_3\text{BiC}_{35}\text{O}_{13}\text{H}_{68}$ . A study of magnetic properties at room temperature, analysis of IR spectra in the solid state, and a thermoderivative study in the temperature range of 20-900°C of the isolated heteronuclear  $\beta$ -diketonate was carried out. Based on the obtained data, a polynuclear structure was proposed for this coordination compound. In the compressed state, the influence of temperature and magnetic field on the physical properties of the obtained material based on compound (I) was investigated. The temperature dependence of the electrical conductivity of the obtained  $\mu$ -pentaisopropoxo(tricuprum(II), bismuth(III)) tetraacetylacetonate was established and it was shown that when the temperature increases from 303 K to 423 K, its resistivity significantly decreases from  $5 \cdot 10^{11} \Omega \cdot \text{cm}$  to  $8 \cdot 10^2 \Omega \cdot \text{cm}$ , which indicates the presence of semiconductor properties. Based on the obtained experimental data, the specific conductivity of the studied material was calculated, at  $T_1 = 303 \text{ K} - \sigma_1 = 2.00 \cdot 10^{-10} (\Omega \cdot \text{m})^{-1}$ , and for  $T_2 = 423 \text{ K} - \sigma_2 = 0.125 (\Omega \cdot \text{m})^{-1}$  and the band gap  $\Delta E = 1.86 \text{ eV}$  is set. It is proved that the studied material is a semiconductor with current carriers of both signs.*

**Key words:** semiconductor, magnetic field, temperature, induction, heteronuclear complex compounds.