

УДК: 621.38

ISSN 1729-4428

О.В. Осадчук¹, В.В. Мартинюк¹, М.В. Євсєєва², Я.О. Осадчук¹, О.Є. Аврамчук³

Терморезистивні властивості (купрум, неодим)вмісного ацетилацетонату

¹Вінницький національний технічний університет, martynyuk.v.v@vntu.edu.ua,

²Вінницький національний медичний університет ім. М. І. Пирогова,

³Житомирський військовий інститут імені С.П.Корольова

Синтезовано новий матеріал тетракіс- μ 3-(метоксо) (метанол)-пентакіс ацетилацетонато) (трикупрум(II), неодим(III)) метанол(I), такого складу: $[\text{Cu}_3\text{Nd}(\text{AA})_5(\text{OCH}_3)_4\text{CH}_3\text{OH}] \text{CH}_3\text{OH}$, де $\text{HAA} = \text{H}_3\text{C}-\text{C}(\text{O})-\text{CH}_2-\text{C}(\text{O})-\text{CH}_3$. На основі даних елементного аналізу та фізико-хімічних методів дослідження встановлено, що отримана комплексна сполука (I) містить атоми Купруму(II) та Неодиму(III) у співвідношенні $\text{Cu}:\text{Nd} = 3:1$, а її склад відповідає брутто-формулі: $\text{Cu}_3\text{NdO}_{16}\text{C}_{31}\text{H}_{55}$. Вимірювання електропровідності отриманого матеріалу проводили в пресованому вигляді. Для комплексної сполуки (I) розраховано кількість валентних електронів в одній молекулі – 270; масу однієї молекули - $163,65 \cdot 10^{-20}$ кг; загальну кількість молекул в об'ємі циліндричного зразка масою 0,125 г та об'ємом $17,74 \cdot 10^{-9} \text{ м}^3$ - $7,638 \cdot 10^{13}$ молек.; загальну кількість валентних електронів - $20,6232 \cdot 10^{15}$. В інтервалі температур 303 – 423 К питомий опір пресованого зразка зменшується від $2 \cdot 10^{12}$ до $5 \cdot 10^4$ Ом·см, це підтверджує, що виділена сполука є напівпровідником, з шириною забороненої зони 1,6125 еВ. Досліджено електропровідні властивості комплексної сполуки, як термочутливого елемента, для цього використовували експериментальний зразок пресованого матеріалу з геометричними розмірами $1 \cdot 10^{-3} \text{ м} \times 0,5 \cdot 10^{-3} \text{ м} \times 0,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}$.

Ключові слова: температура, терморезистор, концентрація, напівпровідник, електропровідні властивості, комплексна сполука.

Подано до редакції 02.02.2022; прийнято до друку 30.11. 2022.

Вступ

Терморезистор – один з виробів електронної техніки, особливістю якого є значна залежність електричного опору від температури. З використанням терморезисторів розроблені і функціонують багато систем дистанційного і централізованого вимірювання та регулювання температури, теплового контролю машин і механізмів, пожежної сигналізації, схеми температурної компенсації різних елементів електричного кола, вимірювання потужності високочастотного випромінювання, пристрої вимірювання швидкості руху рідин і газів та інше [1-6]. Більшість промислових типів терморезисторів з негативним температурним коефіцієнтом опору

(ТКО) виготовляють з використанням напівпровідникових матеріалів на основі оксидів 3d-металів [1-6]. В промисловості такі напівпровідникові матеріали отримують способом сумісного осадження а пізніше методом мокрого змішування вихідних речовин з подальшим подрібненням в кульових млинах і тривалим високотемпературним спіканням основних компонентів [5, 6]. Однак, такі оксидні напівпровідникові матеріали володіють рядом недоліків: зміна складу матеріалу при протіканні струму, хімічна нестабільність матеріалу в інтервалі робочих температур та висока чутливість до забруднювачів, які можуть зустрічатися при виготовленні терморезистора, невисока здатність до відтворення вихідних параметрів (значень номінального опору та ТКО). Крім того, на практиці

використання оксидних напівпровідників не дозволяє отримувати матеріали з широким діапазоном зміни питомого опору, що обмежує можливість виготовлення виробів однакових габаритів з широким діапазоном значень номінального опору. Тому, актуальним є синтез нових напівпровідникових матеріалів, які володіють значною провідністю і високими значеннями ТКО, що дозволить на їх основі розробляти терморезистори з високою чутливістю до змін температури.

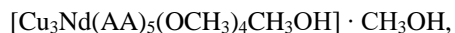
В галузі розробки нових функціональних матеріалів важлива роль належить комплексним сполукам, в яких β-дикетон є хелатуючим а в деяких випадках і містковим лігандом [7-14]. В наш час галузі практичного використання функціональних матеріалів, що містять β-дикетонати металів постійно розширюються. Зокрема, вони використовуються в газових сенсорах, молекулярних термометрах, у виробництві оптичного волокна і світлоперетворюючих матеріалів є вихідними речовинами для отримання матеріалів з цінними електричними, оптичними, каталітичними та іншими властивостями [7-14]. Особливий інтерес серед цього класу комплексних сполук викликають гетерометалічні β-дикетонати, які володіють напівпровідниковими властивостями [15,16].

I. Теоретичні та експериментальні дослідження

Метою даної роботи є синтез гетерометалічного (купрум, неодим)вмісного ацетилацетонату та дослідження його терморезистивних властивостей.

Відомо [15,16], що гетерометалічні β-дикетонати, володіють напівпровідниковими властивостями, показники яких залежать як від природи металів так і лігандів а також від стереохімії комплексної сполуки.

З метою пошуку нових гетерометалічних β-дикетонатів, які володіють напівпровідниковими властивостями була розроблена методика синтезу комплексної сполуки – тетракіс-μ₃-(метоксо)(метанол)-пентакіс(ацетилацетонато)(трикупрум(II), неодим(III)) метанол (I), такого складу:



де НАА = H₃C–C(O)–CH₂–C(O)–CH₃.

Тетракіс-μ₃-(метоксо) (метанол) пентакіс (ацетилацетонато) (трикупрум(II), неодим(III)) метанол (I) отримано за такою методикою: наважки солей 3,62 г (15 ммоль) купрум(II) нітрату тригідрату і 2,19 г (5 ммоль) неодим(III) нітрату гексагідрату розчиняли в 130 мл абсолютного метилового спирту, який містив 40 мл ортомурашиного етеру, витримували 2 години при кімнатній температурі в герметично закритій конічній колбі. Після цього у реакційну суміш додавали 2,7 мл (25 ммоль) ацетилацетону, конічну колбу закривали оборотним водяним холодильником і розміщували на магнітну мішалку з підігрівом. Далі при безперервному перемішуванні і нагріванні (~ 50 °С) в реакційну суміш поступово вводили піперидин до рН = 8 і продовжували нагрівати та

перемішувати впродовж однієї години. Після охолодження із розчину випадав однорідний дрібнокристалічний осад блакитного кольору, який фільтрували на скляному фільтрі, промивали невеликою кількістю абсолютного метанолу, діетиловим етером і висушували у вакуум-ексикаторі над силікагелем. Практичний вихід дорівнює 4,07 г, що складає 80% від теоретичного. Виділена комплексна сполука (I) являє собою дрібнокристалічний порошок, який погано розчинний в диметилформаміді, краще – в диметилсульфоксиді, практично не розчиняється у спиртах, хлороформі, бензені, ацетоні, у воді руйнується.

Для синтезованої комплексної сполуки (I) в сухому порошкоподібному стані проведено елементний аналіз і встановлено, що вона містить:

Cu – 18,65%; Nd – 14,25%; C – 36,68%; H – 5,24%.

Як видно з наведених даних, співвідношення металів у сполуці (I) Cu:Nd = 3:1, а її склад відповідає такій брутто-формулі: Cu₃NdO₁₆C₃₁H₅₅. Крім того, для виділеної гетерометалічної сполуки (I) проведено магнетохімічне, ІЧ-спектроскопічне і термогравіметричне дослідження [17]. Детальний аналіз отриманих експериментальних даних фізико-хімічних методів дослідження дозволяє запропонувати таку схему розміщення хімічних зв'язків для комплексної сполуки (I) (рис. 1) [17]:

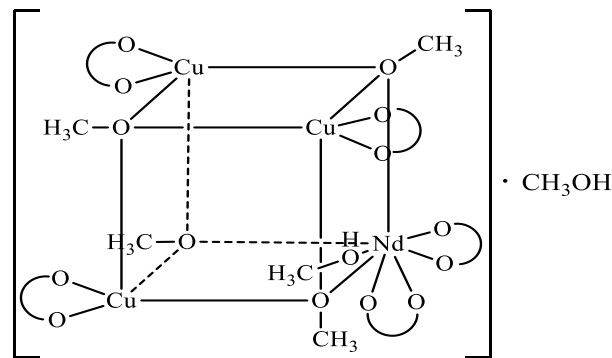


Рис. 1. Схема розміщення хімічних зв'язків в тетракіс-μ₃-(метоксо) (метанол) пентакіс (ацетилацетонато) (трикупрум (II), неодим (III)) метанол (I)

Оскільки, отримана сполука [Cu₃Nd(AA)₅(OCH₃)₄CH₃OH]·CH₃OH (I) містить у своєму складі кристалізаційні молекули метилового спирту, які легко відщеплюються при нагріванні, то дослідження її електричних властивостей проводили після попереднього нагрівання в сушильній шафі при 383°K до припинення зміни маси. Для вимірювання електропровідності виділеної сполуки у вигляді порошку використовували спеціально розроблену пресувальну установку, за допомогою якої виготовили циліндричний зразок масою 0,125 г та об'ємом 17,74·10⁻⁹ м³. На основі цих даних за формулою (1) розраховано густину виготовленого експериментального зразка досліджуваного матеріалу в спресованому стані:

$$\rho = m/v = 7,046 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3, \quad (1)$$

де ρ – густина речовини; m – маса експериментального зразка; V – об’єм експериментального зразка.

Для комплексної сполуки $[\text{Cu}_3\text{Nd}(\text{AA})_5(\text{OCH}_3)_4\text{CH}_3\text{OH}]$ (I) розрахована молярна маса, яка дорівнює $985,5 \text{ г/моль}$ та кількість валентних електронів в одній молекулі – 270.

Для знаходження маси однієї молекули, використали формулу (2)

$$m_0 = M/N_A = 163,65 \cdot 10^{-20} \text{ кг}, \quad (2)$$

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

Загальну кількість молекул в об’ємі циліндричного зразка масою $0,125 \text{ г}$ та об’ємом $17,74 \cdot 10^{-9} \text{ м}^3$ розраховували за формулою (3):

$$N_{\text{мол}} = \frac{m}{m_0} = 7,638 \cdot 10^{13} \text{ молек.}, \quad (3)$$

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

Загальну кількість валентних електронів:

$$N = 270 \cdot N_{\text{мол}} = 20,6232 \cdot 10^{15}. \quad (4)$$

Експеримент показав, що в інтервалі температур $303 - 423 \text{ К}$ питомий опір пресованого зразка досліджуваного матеріалу сполуки (I) зменшується від $2 \cdot 10^{12}$ до $5 \cdot 10^4 \text{ Ом}\cdot\text{см}$, тобто виділена сполука є напівпровідником. Виходячи з експериментальних даних, розраховано питому провідність сполуки для цих температур. Для $T_1 = 303 \text{ К}$ – $\sigma_1 = 5,0 \cdot 10^{-11} (\text{Ом}\cdot\text{м})^{-1}$, а для $T_2 = 423 \text{ К}$ – $\sigma_2 = 2,0 \cdot 10^{-3} (\text{Ом}\cdot\text{м})^{-1}$. На основі цих даних була розрахована ширина забороненої зони

$$\Delta E = \frac{k \ln \frac{\sigma_1}{\sigma_2}}{\left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1}\right)} = 2,58 \cdot 10^{-19} \text{ Дж} = 1,6125 \text{ eВ}, \quad (5)$$

де ΔE – ширина забороненої зони комплексної сполуки $[\text{Cu}_3\text{Nd}(\text{AA})_5(\text{OCH}_3)_4\text{CH}_3\text{OH}]$ (I); k – стала Больцмана; T – абсолютна температура; σ – питома провідність матеріалу.

Розрахунки підтверджують, що даний матеріал є дійсно напівпровідником, причому з носіями струму обох знаків.

Для використання даної сполуки у якості термочутливого елемента, досліджуваний зразок було перепресовано у вигляді SMD терморезистора, типу 0402, з геометричними розмірами $1 \cdot 10^{-3} \text{ м} \times 0,5 \cdot 10^{-3} \text{ м} \times 0,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}$.

Знаючи ширину забороненої зони напівпровідника та використавши формулу залежності концентрації носіїв заряду від температури, отримали графічну залежність концентрації носіїв заряду від температури, яку подано на рис.2.

Як видно з рис. 2 концентрація носіїв заряду в температурному діапазоні в $273 \div 493 \text{ К}$ зростає від $3,53 \cdot 10^{12} \text{ м}^{-3}$ до $6,61 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-3}$.

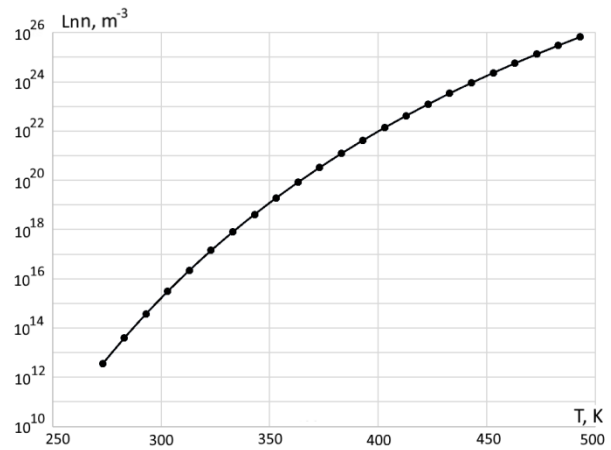


Рис. 2. Залежність концентрації носіїв заряду від температури.

Проведені розрахунки, для отриманої комплексної сполуки (I), та дослідження впливу температури на електричні параметри даної речовини, показують наступні результати.

Як видно з рисунка 3, в діапазоні температур від 273 К до 493 К питомий опір змінюється від $1,76 \cdot 10^{13} \text{ Ом}\cdot\text{м}$ до $0,94 \text{ Ом}\cdot\text{м}$.

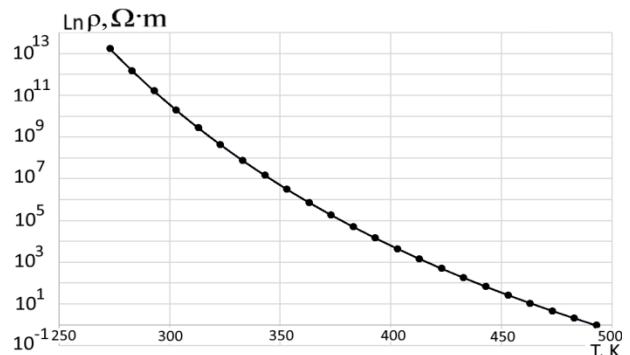


Рис. 3. Залежність питомого опору від температури.

Графік залежності питомої провідності від температури подано на рис. 4.

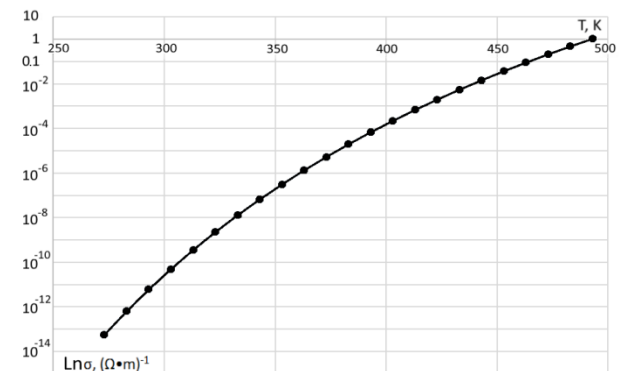


Рис. 4. Залежність питомої провідності напівпровідникового матеріалу від температури.

З графіка видно, що при 273 К питома провідність становила $5,67 \cdot 10^{-14} (\text{Ом}\cdot\text{м})^{-1}$, а при 493 К – $1,063 (\text{Ом}\cdot\text{м})^{-1}$.

Графік залежності зміни опору досліджуваного матеріалу від температури подано на рис. 5.

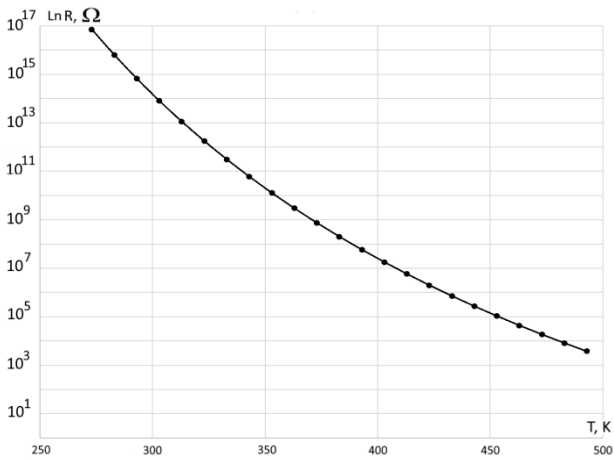


Рис. 5. Залежність опору матеріалу, з геометричними розмірами зразка $1 \cdot 10^{-3} \text{ м} \times 0,5 \cdot 10^{-3} \text{ м} \times 0,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}$, від температури.

Як видно з рисунка 5, опір зразка стрімко падає: так при температурі 273 К він рівний $7,04 \cdot 10^{16} \text{ Ом}$, а при 303 К – $7,99 \cdot 10^{13} \text{ Ом}$, тоді як при 493 К – $3763,02 \text{ Ом}$. Перепад у 13 порядків свідчить про те, що даний матеріал можна використовувати для створення термочувливих резисторів, або на його основі створювати більш складні прилади, які будуть працювати в широкому температурному режимі.

Використавши закон залежності опору матеріалу та концентрації носіїв заряду від температури, отримано залежність величини струму, що проходить через досліджуваний зразок, від температури. Графічну залежність сили струму від температури при напрузі $U = 10 \text{ В}$ подано на рисунку 6.

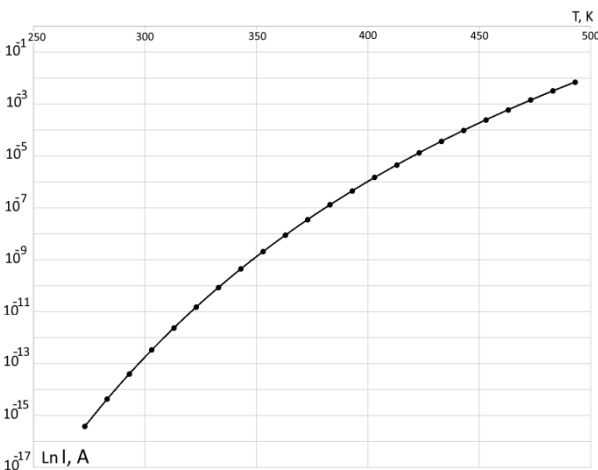


Рис. 6. Залежність сили струму від температури, при напрузі $U = 10 \text{ В}$.

З графіка видно, що при напрузі живлення 10 В та при температурі 273 К величина струму становить $I = 1,42 \cdot 10^{-16} \text{ А}$, а при температурі 493 К – $I = 2,65 \cdot 10^{-3} \text{ А}$.

Отже, номінальна напруга живлення для такого матеріалу становитиме одиниці-десятки вольт.

Логарифмічну залежність густини струму від температури при напругах живлення 1 В та 10 В , подано на рис. 7.

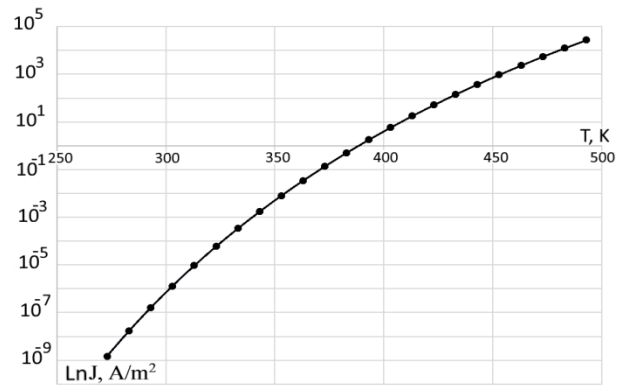


Рис. 7. Залежність густини струму від температури, при напрузі $U = 10 \text{ В}$.

З наведеного графіка (рис. 7) видно, що нульового значення густини струму досягає за температури 333 К. Значення густини струму змінюється від $1,9 \cdot 10^{-19} \text{ А/м}^2$ до $35432,5 \text{ А/м}^2$, при зміні температури від 273 К до 493 К.

На основі отриманих залежностей можна сказати, що використання синтезованого матеріалу для створення термочувливих елементів доволі перспективне.

Розрахунок сталої Холла при 30°C дає такі результати:

$$R_H = 1/nq = 2009,6 \text{ м}^3 \cdot \text{Кл}^{-1}, \quad (6)$$

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

Обчислення квантової сталої Холла проведено за формулою (7):

$$R_{\text{кв}H} = -3\pi/8nq = -2366,39 \text{ м}^3 \cdot \text{Кл}^{-1}, \quad (7)$$

При використанні формули (7) та рівняння залежності концентрації носіїв заряду від температури, отримано формулу (8), яка показує залежність сталої Холла від температури:

$$R_{\text{кв}H} = -\frac{3\pi}{8nq_0} \cdot e^{\frac{\Delta E}{kT}}. \quad (8)$$

За даною формулою (8) побудовано логарифмічну залежність квантової сталої Холла від температури, яку подано на рис. 8

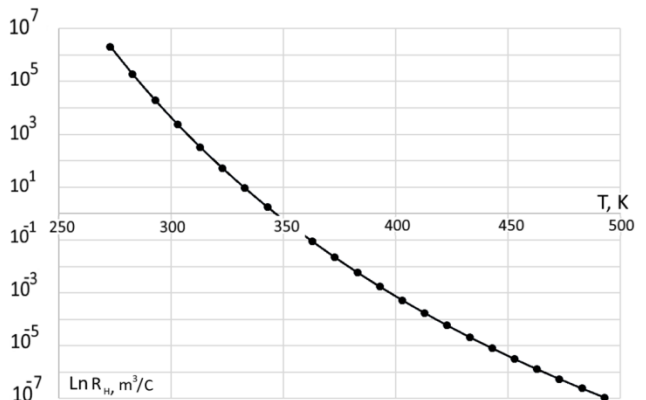


Рис. 8. Залежність квантової сталої Холла від температури.

Як видно з рис. 8 величина квантової сталої Холла для такого матеріалу при збільшенні температури від 273 К до 493 К зменшується від $2,08 \cdot 10^6 \text{ м}^3 \cdot \text{Кл}^{-1}$ до $1,1 \cdot 10^{-7} \text{ м}^3 \cdot \text{Кл}^{-1}$.

Для знаходження рухливості носіїв заряду з експериментальних даних питомого опору, при 303 К, $\rho = 2 \cdot 10^{12} \text{ Ом} \cdot \text{см}$, була розрахована питома провідність $\sigma = 5,0 \cdot 10^{-11} \text{ сім/м}$.

$$\mu_n = R_H \cdot \sigma. \quad (9)$$

Визначимо рухливість носіїв заряду для квантового випадку:

$$\mu_n = R_{\text{кв}} H \cdot \sigma = 1,183 \cdot 10^{-7} \text{ м}^3 \cdot (\text{В} \cdot \text{с})^{-1}. \quad (10)$$

При підстановці залежностей сталої Холла від температури та питомої провідності від температури було визначено, що рухливість носіїв заряду є величина стала $\mu = 1,183 \times 10^{-7} \text{ м}^3 / (\text{В} \cdot \text{с})$ і не залежить від температури.

Висновки

Розроблено новий термочутливий елемент на основі синтезованого напівпровідникового матеріалу. Дослідження електропровідних властивостей гетерометалічного (купрум, неодим) вмісного ацетилацетонату в спресованому вигляді в інтервалі температур 273 – 493 К показало, що при підвищенні

температури його питомий опір різко зменшується від $1,76 \cdot 10^{13}$ до $0,94 \text{ Ом} \cdot \text{м}$, що є типовим для напівпровідникових матеріалів опір зразка стрімко падає: так при температурі 273 К він рівний $7,04 \cdot 10^{16} \text{ Ом}$, а при 303 К – $7,99 \cdot 10^{13} \text{ Ом}$, тоді як при 493 К – $3763,02 \text{ Ом}$, при 273 К питома провідність становила $5,67 \cdot 10^{-14} (\text{Ом} \cdot \text{м})^{-1}$, а при 493 К – $1,063 (\text{Ом} \cdot \text{м})^{-1}$. При напрузі живлення 10 В та при температурі 273 К величина струму становить $I = 1,42 \cdot 10^{-16} \text{ А}$, а при температурі 493 К – $I = 2,65 \cdot 10^{-3} \text{ А}$. Значення густини струму змінюється від $1,9 \cdot 10^{-19} \text{ А/м}^2$ до $35432,5 \text{ А/м}^2$, при зміні температури від 273 К до 493 К. Інтервал робочих температур складає від $+30$ до $+220^\circ\text{C}$, причому розкладання хімічної сполуки відбувається з 250°C , концентрація носіїв заряду зростає від $3,11 \cdot 10^{15} \text{ м}^{-3}$ при 30°C до $6,61 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-3}$ при 220°C , при цьому стала Холла при збільшенні температури від 30 до 220°C зменшується від $2366,39 \text{ м}^3 \cdot \text{Кл}^{-1}$ до $1,11 \cdot 10^{-7} \text{ м}^3 \cdot \text{Кл}^{-1}$.

Осадчук О.В. – д.т.н., професор, зав.кафедри Радіотехніки, ВНТУ;

Мартинюк В.В. – к.т.н, доцент каф. загальної фізики, ВНТУ;

Євсєєва М.В. – к.х.н, доцент каф. фармацевтичної хімії, ВНМУ ім. М. І. Пирогова;

Осадчук Я.О. – к.т.н, доцент каф. радіотехніки, ВНТУ;

Аврамчук О.Е. – к.п.н, доцент каф. фундаментальних наук, Житомирський військовий інститут імені С.П.Корольова.

- [1] I.T. Sheftel, Thermistors. Electrical conductivity of 3d-oxides parameters, characteristics and areas of application (Nauka, M., 1973).
- [2] Yu. V. Zaitsev, A. N. Marchenko, I. I. Vashchenko, Semiconductor resistors in electrical engineering (Energoatomizdat, M., 1988).
- [3] V.Vuitsik, Z.Yu. Hotra, V.V. Hrygoriev, V. Kalita, O.M. Melnyk, Ye. Potentski, Microelectronic sensors of physical quantities Vol 1 (Liha-Pres, Lviv, 2003).
- [4] V. Vuitsik, Z.Yu. Hotra, O.Z. Hotra, V. V. Hrygoriev, V. Kalita, O.M. Melnyk, Ye.Potentski, Microelectronic sensors of physical quantities. Vol. 2 (Liha-Pres, Lviv, 2003).
- [5] O.Z. Hotra, Microelectronic elements and devices for thermometry (Liha-Pres, Lviv, 2001).
- [6] V. P. Romanov, *Prospects for the development of semiconductor sensors and temperature gages*, Electronic components and systems, 4, 7 (2001).
- [7] N. V. Zolotareva, V V Semenov, *β -Diketones and their derivatives in sol–gel processes*, Russ chem rev, 82(10), 964 (2013); <https://doi.org/10.1070/RC2013v082n10ABEH004364>.
- [8] R.A. Layfield, *Organometallic Single-Molecule Magnets*, Organometallics, 33, 1084 (2014); <https://doi.org/10.1021/om401107f>.
- [9] L.B.L. Escobar, G.P. Guedes, S. Soriano, R.A.A. Cassaro, J. Marbey, S. Hill, M.A. Novak, M. Andruh, and M.G.F. Vaz, *Synthesis, Crystal Structures, and EPR Studies of First Mn Ln Hetero-binuclear Complexes*, Inorganic Chemistry, 57(1), 326 (2018); <https://doi.org/10.1021/acs.inorgchem.7b02575>.
- [10] V. V. Krisyuk, S. Urkasym kyzy, I. A. Baidina, G. V. Romanenko, I. V. Korolkov, T. P. Koretskaya, N. I. Petrova, A. E. Turgambaeva, *Structure and thermal properties of heterometallic complexes for gas-phase deposition of CU-PD films*, Journal of Structural Chemistry, 58(8), 1573 (2017); <https://doi.org/10.26902/JSC20170807>.
- [11] V.V. Krisyuk, S.V. Tkachev, I.A. Baidina, I.V. Korolkov, A.E. Turgambaeva and I.K. Igumenov, *Volatile Pd–Pb and Cu–Pb heterometallic complexes: structure, properties, and trans-to-cis isomerization under cocrystallization of Pd and Cu β -diketonates with Pb hexafluoroacetylacetone*, Journal of Coordination Chemistry, 68(11), 1890 (2015); <https://doi.org/10.1080/00958972.2015.1035653>.
- [12] I.V. Shabanova, T. P. Storozhenko, V.I. Zelenov, et al. *Heteronuclear coordination complexes of iron(III) and neodymium(III) with hydroxy acids as starting materials for the synthesis of nanomaterials*, Ecological Bulletin of Research Centers of the Black Sea Economic Cooperation, 3, 91 (2004).

- [13] J. H. Thurston, D. Trahan, T. Ould-Ely, K. H. Whitmire, *Toward a General Strategy for the Synthesis of Heterobimetallic Coordination Complexes for Use as Precursors to Metal Oxide Materials: Synthesis, Characterization, and Thermal Decomposition of $Bi_2(Hsal)_6M(Acac)_3$ ($M = Al, Co, V, Fe, Cr$)*, Inorg. Chem, 43(10), P. 3299 (2004); <https://doi.org/10.1021/ic035284d>.
- [14] L. I. Sliusarchuk, L. I. Zheleznova., T. V. Pavlenko, S. V. Schastlivtsev, *Synthesis of complex oxides from heteronuclear β -diketonate complexes of 3d-4f-metals*, Abstracts of the XX Ukrainian Conference on Inorganic Chemistry, Dnipro, 74 (2018).
- [15] O.V. Osadchuk, V.V. Martyniuk, M.V. Yevseeva, O.O. Seletska, *Magnetically sensitive sensor based on heterometallic coordination complex*, Herald of Khmelnytskyi National University, 3, 97 (2019); <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2019-273-3-97-101>.
- [16] O.V. Osadchuk, V.V. Martyniuk, M.V. Yevseeva, O.O. Seletska, *Research on the effect of temperature on physical parameters of the semiconductor μ -methoxo(copper (II), bismuth(III)) acetylacetonate*, Visnyk of Vinnytsia Polytechnical Institute, 4, 80 (2019); <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2019-145-4-80-86>.
- [17] N.M. Samus, M.V. Handzii, V.I. Tsapkov, *Heteronuclear μ -methoxo (copper, yttrium or lanthanide) acetylacetonate*, Journal of General Chemistry, 62(3), 510 (1992).

A.V. Osadchuk¹, V.V. Martyniuk¹, M. V. Evseeva², Ya. A Osadchuk¹, O.Ye. Avramchuk³

Thermoresistive properties of (Copper, Neodymium) Acetylacetonate

¹Vinnytsia National Technical University, Vinntsia, martyniuk.v.v@vntu.edu.ua

²National Pirogov Memorial Medical University, Vinnytsya, Ukraine,

³Zhytomyr Korolov Military Institute, Zhytomyr, Ukraine

A new material tetrakis- μ_3 -(methoxo) (methanol)-pentakis (acetylacetonate) (tricuprum (II), neodymium (III)) methanol (I) was synthesized as $[Cu_3Nd(AA)_5(OCH_3)_4CH_3OH] \cdot CH_3OH$, where HAA = $H_3C-C(O)-CH_2-C(O)-CH_3$. Based on the data of elemental analysis and physical-chemical research methods, it was found that the obtained coordination complex (I) contains atoms of Copper (II) and Neodymium (III) in the ratio Cu:Nd = 3:1, and its composition corresponds to the gross formula: $Cu_3NdO_{16}C_{31}H_{55}$. The measurement of electrical conductivity of the obtained material was performed in the compressed form. For the coordination complex (I), the number of valence electrons in one molecule was calculated to be 270; the mass of one molecule was calculated to be $163,65 \cdot 10^{-20}$ kg; the total number of molecules in the volume of a cylindrical sample weighing 0.125 g and having volume of $17,74 \cdot 10^{-9}$ m³ was calculated to be $7,638 \cdot 10^{13}$ molec; and the total number of valence electrons as $20,6232 \cdot 10^{15}$. In the temperature range of 303 – 423 K, the specific resistance of the compressed sample decreases from $2 \cdot 10^{12}$ to $5 \cdot 10^4$ Ohm·cm, which confirms that the isolated compound is a semiconductor with a band gap of 1,6125 eV. The electrical conductivity properties of the coordination complex as a thermosensitive element were studied; for this purpose we used an experimental sample of compressed material with geometric dimensions of $1 \cdot 10^{-3}$ m \times $0,5 \cdot 10^{-3}$ m \times $0,5 \cdot 10^{-3}$ m.

Keywords: temperature, thermistor, concentration, semiconductor, electrical conductivity properties, coordination complex.