

О.В. ОСАДЧУК, В.В. МАРТИНЮК, Т.І. СИДОРУК

Вінницький національний технічний університет

М.В. ЄВСЄВА

Вінницький національний медичний університет ім. М. І. Пирогова

## СЕНСОР НА ОСНОВІ ГЕТЕРОМЕТАЛІЧНОЇ КОМПЛЕКСНОЇ СПОЛУКИ КУПРУМУ(II) З N,N'-БІС(САЛІЦИЛІДЕН)ТІОСЕМИКАРБАЗИДОМ

Синтезовано матеріал гетерометалічний кальцій  $di[N,N'$ -біс(саліциліден)тіосемикарбазидатокупрат(II)] дигідрат, такого складу:  $Ca[CuL]_2 \cdot 2H_2O$ , де  $L' = C_{15}H_{10}N_3O_2S$ , проведено експериментальні вимірювання та теоретичні розрахунки основних фізичних параметрів даного матеріалу. Доведено, що даний матеріал є напівпровідником, причому з носіями заряду обох знаків. Отримано залежності питомого опору, питомої провідності, опору, концентрації носіїв заряду та сталої Холла від температури. В діапазоні температур від 273 К до 493 К концентрація носіїв заряду зростає від  $1,11 \cdot 10^{20} \text{ м}^{-3}$  до  $2,61 \cdot 10^{33} \text{ м}^{-3}$ , а стала Холла змінюється від  $0,065 \text{ м}^3 \cdot \text{ Кл}^{-1}$  до  $2,8 \cdot 10^{-15} \text{ м}^3 \cdot \text{ Кл}^{-1}$ . Отримано залежності напруги Холла та напруженості електричного поля, всередині пластини розмірами  $0,5 \times 0,5 \times 0,15 \text{ мм}$ , від індукції магнітного поля.

Ключові слова: індукція, магнітне поле, концентрація, напівпровідник, гетерометалічні комплексні сполуки.

O. V. OSADCHUK, V. V. MARTYNYUK, T. I. SYDORUK

Vinnytsia National Technical University

M. V. EVSEVA

National Pirogov Memorial Medical University, Vinnytsya

## SENSOR BASED ON HETEROMETALLIC COMPLEX COMPOUND COPPER(II) WITH N,N'-BIS(SALICYLIDENE)THIOSEMICARBAZIDE

The creation of new materials with specific physical properties that are used for making the sensors of temperature or magnetic field exists for a long time. From this point of view, of special interest are materials created based on heterometallic complex compounds. The synthesized material heterometallic Calcium  $di[N,N'$ -bis(salicylidene)thiosemicarbazidatocuprate(II)] dihydride, such a composition:  $Ca[CuL]_2 \cdot 2H_2O$ , where  $L' = C_{15}H_{10}N_3O_2S$ , experimental measurements and theoretical calculations of the basic physical parameters of this material are carried out. For a dedicated and dehydrated Ca complex compound  $[Cu(C_{15}H_{10}N_3O_2S)]_2$  calculated molar weight, which is equal to 759,829 g/mol and the number of valence electrons in one molecule – 210. For conducting experimental studies used a cylindrical specimen with a mass of 0.08 g and the amount  $17,67 \cdot 10^{-9} \text{ м}^3$ , which were made from dehydrated compound (S) by pressing. Based on these data, we calculated the density of matter:  $\rho = 4,527 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$ . It is proved that the material is a semiconductor, and charge carriers of both signs. The dependences of resistivity, conductivity, resistance, concentration of charge carriers and the Hall constant on temperature. In the temperature range from 273 K to 493 K, the resistivity varied from  $2,04 \cdot 10^{16} \Omega \cdot \text{ м}$  to  $872,13 \Omega \cdot \text{ м}$ , the resistance of the sample at a temperature of 273 K it is equal to  $1,36 \cdot 10^{20} \Omega$ , at 313 K –  $2,02 \cdot 10^{16} \Omega$ , and at 493 K –  $5,8 \cdot 10^6 \Omega$ , the concentration of charge carriers grows to  $1,11 \cdot 10^{20} \text{ м}^{-3}$  to  $2,61 \cdot 10^{33} \text{ м}^{-3}$ , and the Hall was changed from  $0,065 \text{ м}^3 \cdot \text{ Кл}^{-1}$ ;  $2,8 \cdot 10^{-15} \text{ м}^3 \cdot \text{ Кл}^{-1}$ . The dependences of the Hall voltage and electric field strength inside a plate with dimensions  $0,5 \times 0,5 \times 0,15 \text{ mm}$ , from the magnetic field induction. In the range from 0 to 100 mT Hall the voltage increases from  $3,22 \cdot 10^{-17} \text{ V}$  to  $3,22 \cdot 10^{-16} \text{ V}$ , from 100 mT to 1000 mT – Hall the voltage increases from  $3,22 \cdot 10^{-16}$  to  $3,22 \cdot 10^{-15} \text{ V}$ .

Key words: induction, magnetic field, concentration, semiconductor, heterometallic complex compounds.

### Вступ

Вимірювання величини температури та магнітного поля в наш час є актуальною науково-технічною задачею. Сенсори цих величин виготовляють з великої різноманітності матеріалів. Але найбільш застосовувані це напівпровідники. Первинні перетворювачі (сенсори) відрізняються як за робочими параметрами так і за принципом дії [1–3].

Створення нових матеріалів зі специфічними електрофізичними властивостями, з яких виготовляють сенсори температури або магнітного поля, існує досить давно. З цієї точки зору особливий інтерес викликають матеріали створені на основі гетерометалічних комплексних сполук, які, з одного боку, володіють можливістю їх хімічного модифікування, а з іншого – значно більшою різноманітністю структурних і фізико-хімічних властивостей в порівнянні з традиційними неорганічними напівпровідниками і металами. Виділимо спосіб модифікації таких сполук, що пов'язаний зі створенням композиційних матеріалів на їх основі, оскільки він дозволяє в потрібному напрямку плавно змінювати електрофізичні та механічні характеристики цих речовин.

Розробка та дослідження нових напівпровідникових матеріалів дозволяє реалізувати все нові і нові фізичні принципи, що, в свою чергу, повинно підвищити надійність, якість, ефективність і значно знизити матеріаломісткість багатьох виробів.

### Теоретичні та експериментальні дослідження

Метою дослідження є встановлення фізичних властивостей синтезованого напівпровідникового матеріалу при дії на нього температури та магнітного поля.

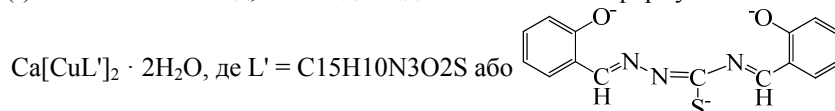
Сучасна координаційна хімія дозволяє синтезувати різноманітні гетерометалічні комплексні сполуки з широким спектром фізико-хімічних властивостей та практичним їх застосуванням в різних галузях. Зокрема інтерес до гетерометалічних координаційних сполук зумовлений об'єднанням в їх молекулі двох металів різної природи, що важливо для отримання перспективних матеріалів для електронної

техніки. З літератури відомо [4–8], що гетерометалічні комплексні сполуки в твердому спресованому стані володіють широким спектром електропровідних властивостей, які залежать від природи металів та лігандів і змінюються в широкому інтервалі від діелектрика до низькоомного напівпровідника. На напівпровідникові характеристики та інтервал робочих температур гетерометалічних комплексних сполук впливає природа центрального атома, гетероатома та хелатуючого і місткового лігандів. На практиці такі сполуки можуть бути використані як напівпровідниковий матеріал для виготовлення терморезисторів.

З метою пошуку нових гетерометалічних комплексних сполук, які володіють напівпровідниковими властивостями була розроблена методика синтезу гетерометалічного кальцій *ди[N,N'-біс(саліциліден)тіосемикарбазидатокупрату(II)] дигідрату* (I), такого складу  $\text{Ca}[\text{CuL}']_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , де  $\text{H}_3\text{L} = \text{N,N}'$ -біс(саліци-ліден)тіосемикарбазид.

*Кальцій ди[N,N'-біс(саліциліден)тіосемикарбазидатокупрат(II)] дигідрат* (I) синтезували за такою методикою: наважку тіосемикарбазону саліцилового альдегіду 1,95 г (10 ммоль) розчиняли в 20 мл водно-етанольної суміші (1 : 1) на водяній бані ( $T \sim 343 \text{ K}$ ). До отриманої суміші порціями додавали водний розчин  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  до  $\text{pH} = 8$ , а потім ще 1,22 г (10 ммоль) саліцилового альдегіду. В нагріту до 343 K реакційну суміш вносили 1,71 г (10 ммоль)  $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  розчиненого в 20 мл етанолу. Після утворення прозорого розчину при постійному перемішуванні і нагріванні ( $T = 333\text{--}343 \text{ K}$ ) продовжували додавати водний розчин кальцій гідроксиду до  $\text{pH} = 9 - 10$ . При цьому спостерігали утворення дрібнокристалічного осаду спочатку зеленого, а потім коричневого кольору. Реакційну суміш витримували на водяній бані впродовж години, далі охолоджували. Осад залишали на ніч під маточним розчином, а потім фільтрували на фільтрі Шотта. Утворений осад коричневого кольору промивали холодним етанолом та етером і сушили в ексікаторі над  $\text{CaCl}_2$  до постійної маси. Практичний вихід дорівнює 2,35 г, що складає 59 % від теоретично розрахованого. Виділена гетеро металічна комплексна сполука (I), являє собою дрібнокристалічний порошок, який добре розчинний в ДМФА та ДМСО, гірше – етанолі, ацетоні, практично нерозчинний в воді, хлороформі, ацетонітрилі та тетрагидрометані.

На основі даних елементного аналізу, ІЧ-спектроскопічного, магнетохімічного, термогравіметричного досліджень і даних молярної електропровідності для синтезованої гетерометалічної комплексної сполуки (I) встановлено склад, який відповідає такій хімічній формулі:



Детальний аналіз отриманих експериментальних даних елементного аналізу та фізико-хімічних досліджень для виділеної гетерометалічної сполуки (I) дозволив констатувати, що вона має у своєму складі два різних за хімічною природою метали (s-, d-) та три хелатних цикли такого типу (рис. 1) [9]:

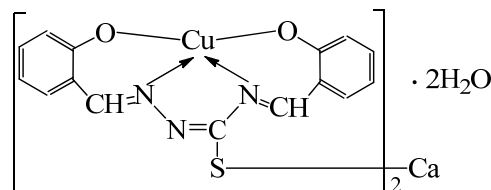


Рис. 1. Схема координації катіонів металів в сполуці I

Оскільки синтезована гетерометалічна координаційна сполука купруму(II) і кальцію з N,N'-біс(саліци-ліден)тіосемикарбазидом містить у своєму складі кристалізаційні молекули води, то вимірювання електропровідних властивостей проводили після витримання її в сушильній шафі при 378 °K до постійної маси.

Для виділеної та зневодненої комплексної сполуки  $\text{Ca}[\text{Cu}(\text{C}_{15}\text{H}_{10}\text{N}_3\text{O}_2\text{S})]_2$  розраховано молярну масу, яка дорівнює 759,829 г/моль та кількість валентних електронів в одній молекулі – 210.

Для проведення експериментальних досліджень використовували циліндричний зразок масою 0,08 г та об'ємом  $17,67 \cdot 10^{-9} \text{ м}^3$ , який виготовляли з зневодненої комплексної сполуки (I) методом пресування. Виходячи з цих даних було розраховано густину речовини:  $\rho = 4,527 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ .

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

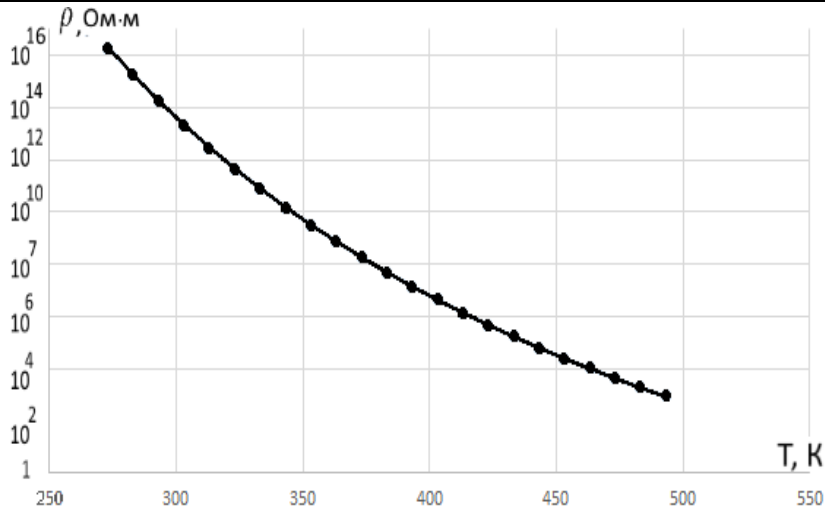


Рис. 2. Логарифмічна залежність питомого опору кальцій ди[N,N'-біс(саліциліден)тіосемікарбазидатокупрату(II)] від температури

Експериментальне дослідження електропровідних властивостей зневодненої сполуки I при зміні температури від 313 до 403 К показало, що при підвищенні температури його питомий опір різко зменшується, це є типовим для напівпровідникових матеріалів. Графік залежності питомого опору від температури подано на рис. 2. Як видно з рисунка, в діапазоні температур від 273 К до 493 К питомий опір змінився від  $2,04 \cdot 10^{16}$  Ом·м до 872,13 Ом·м.

Для даної сполуки  $\text{Ca}[\text{Cu}(\text{C}_{15}\text{H}_{10}\text{N}_3\text{O}_2\text{S})_2]$  розраховано кількість валентних електронів в одній молекулі – 210 та молярну масу (759,829 г/моль).

Враховуючи те, що один моль речовини має масу 759,829 г/моль, було розраховано масу однієї молекули досліджуваної та зневодненої сполуки (I):  $m_0 = 126,175 \cdot 10^{-20}$  кг.

Загальну кількість молекул в об'ємі досліджуваного циліндричного зразка, заповненого сполукою (I) знайшли як відношення загальної маси до маси однієї молекули:  $N_{\text{мол}} = 6,34 \cdot 10^{13}$  молекул. Загальну кількість валентних електронів розраховали як добуток числа валентних електронів однієї молекули на кількість молекул в речовині:  $N = 13,314 \cdot 10^{15}$ , що дало можливість розрахувати концентрацію носіїв заряду при температурі 313 К:  $n = 75,348 \cdot 10^{22} \text{ м}^{-3}$ .

Розрахунок ширини забороненої зони вівся з експериментальних вимірювань питомого опору матеріалу, з якого визначалася питома провідність. При абсолютній температурі  $T_1 = 313$  К питома провідність складала

$\sigma_1 = 3,3 \cdot 10^{-13} (\text{Ом} \cdot \text{м})^{-1}$ , а при  $T_2 = 403$  К -  $\sigma_2 = 2,27 \cdot 10^{-7} (\text{Ом} \cdot \text{м})^{-1}$ . Графік залежності питомої провідності від температури надано на рис. 3.

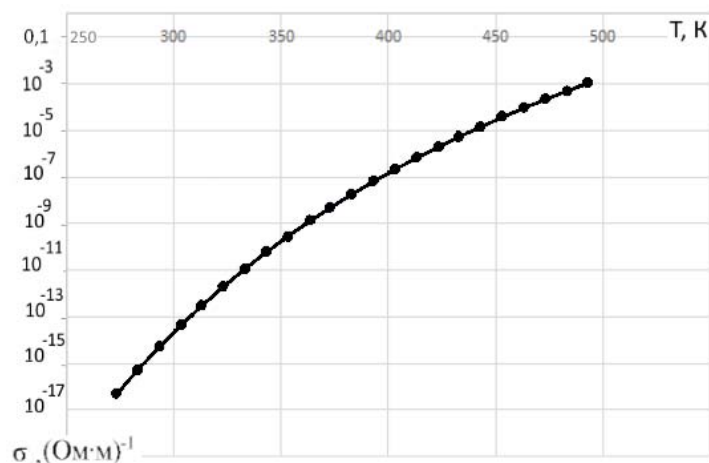


Рис. 3. Логарифмічна залежність питомої провідності напівпровідникового матеріалу від температури

З цих даних була визначена ширина забороненої зони:

$$\Delta E = \frac{k \ln \frac{\sigma_1}{\sigma_2}}{\left( \frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right)} = 2,599 \cdot 10^{-19} \text{ Дж} = 1,624 \text{ eV},$$

де  $k$ - стала Больцмана;  $\sigma$  – питома провідність матеріалу при різних температурах;  $T$  – абсолютна

температура.

З розрахунків видно, що даний матеріал є напівпровідником з носіями струму обох знаків.

Для проведення експериментальних вимірювань з синтезованого матеріалу кальцій ди[N,N'-біс(саліци-ліден)тіосемикарбазидатокупрату(II)] виготовили пластину розмірами 0,5×0,5×0,15 мм, та дослідили залежність опору пластини від температури. Графік залежності зміни опору від температури надано на рис. 4.

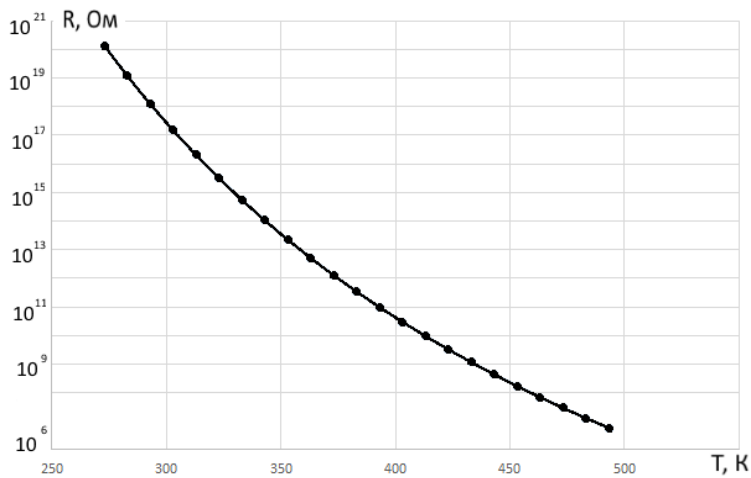


Рис. 4. Логарифмічна залежність опору матеріалу від температури

Як видно з рисунка 4, опір зразка стрімко падає: так при температурі 273 К він рівний  $1,36 \cdot 10^{20}$  Ом, а при 313 К –  $2,02 \cdot 10^{16}$  Ом, тоді як при 493 К –  $5,8 \cdot 10^6$  Ом. Перепад у 14 порядків свідчить про те, що даний матеріал можна використовувати для створення термочутливих резисторів, або на його основі створювати більш складні прилади, які будуть працювати в широкому температурному режимі з температурною чутливістю, в температурному діапазоні від 313 до 403 К, - 18823 К.

Дослідження залежності концентрації носіїв заряду  $\text{Ca}[\text{Cu}(\text{C}_{15}\text{H}_{10}\text{N}_3\text{O}_2\text{S})]_2$  від температури, надані у вигляді графічної залежності на рис. 5.

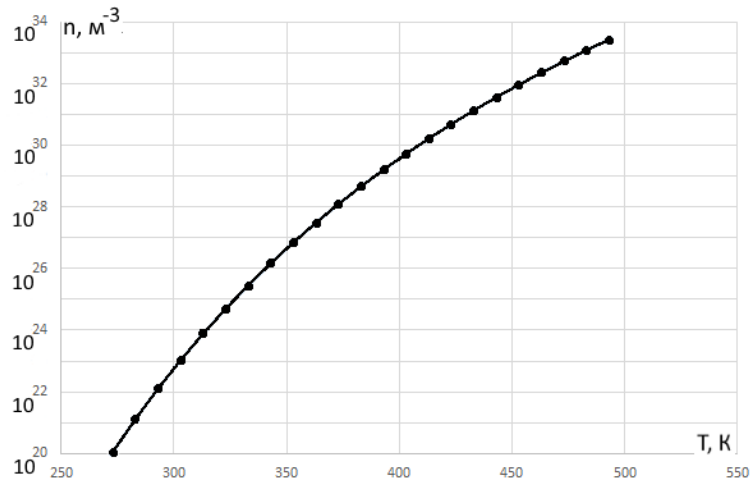


Рис. 5. Логарифмічна залежність концентрації носіїв заряду від температури

Отже, при температурі 273 К даний матеріал містить  $1,11 \cdot 10^{20}$  м<sup>-3</sup> носіїв заряду, при 313 К –  $7,53 \cdot 10^{23}$  м<sup>-3</sup>, а при температурі 493 К концентрація носіїв становить  $2,618 \cdot 10^{33}$  м<sup>-3</sup>.

Розрахунок рухливості носіїв заряду, показав що вона не залежить від температури, тобто є сталою величиною  $\mu = 3,22 \cdot 10^{-18}$  м<sup>2</sup>/(В·с).

Використавши закон залежності опору матеріалу та концентрації носіїв заряду від температури, отримано зміну величини струму, що проходить через досліджувану пластинку, від температури, при різних напругах живлення. Графіки залежностей, надано у вигляді графічної залежності на рис. 6.

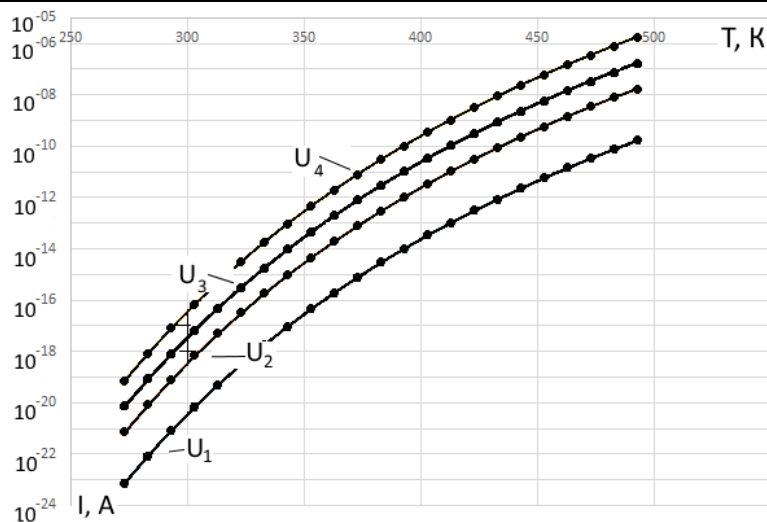


Рис. 6. Логарифмічна залежність сили струму від температури при напругах  $U_1 = 0,001$  В;  $U_2 = 0,1$  В;  $U_3 = 1$  В;  $U_4 = 10$  В

Зрозуміло, що чим більша величина напруги живлення, тим вище розміщена крива залежності сили струму від температури. Так при 273 К, при напрузі живлення  $U_1 = 0,001$  В величина струму становить  $I = 7,34 \cdot 10^{-24}$  А, при  $U_2 = 0,1$  В –  $I = 7,34 \cdot 10^{-22}$  А, при  $U_3 = 1$  В –  $I = 7,34 \cdot 10^{-21}$  А, при  $U_4 = 10$  В –  $I = 7,34 \cdot 10^{-20}$  А. Максимальне значення сили струму досягається при температурі 493 К:  $U_1 = 0,001$  В величина струму  $I = 1,72 \cdot 10^{-10}$  А, при  $U_2 = 0,1$  В –  $I = 1,72 \cdot 10^{-8}$  А, при  $U_3 = 1$  В –  $I = 1,72 \cdot 10^{-7}$  А, при  $U_4 = 10$  В –  $I = 1,72 \cdot 10^{-6}$  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, надано на рис. 7.

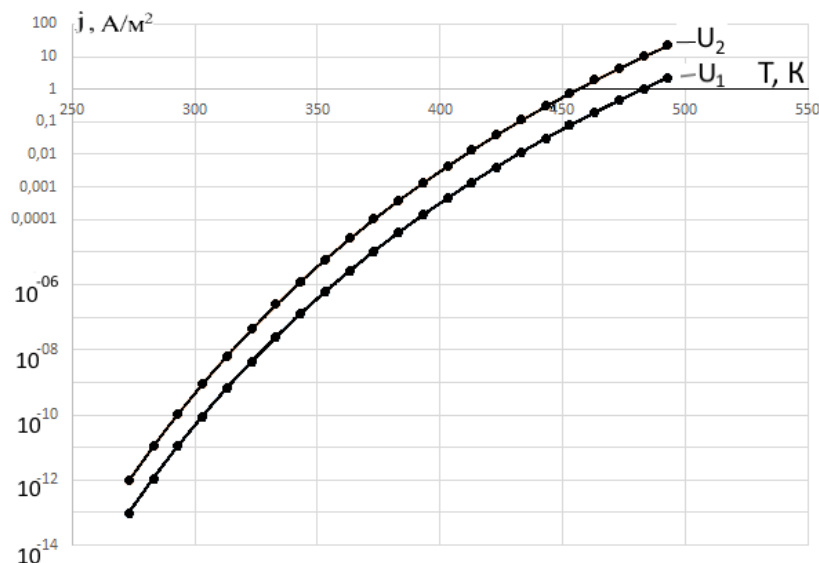


Рис. 7. Логарифмічна залежність густини струму від температури при напругах  $U_1 = 1$  В;  $U_2 = 10$  В

З наведеного графіка (рис. 7) видно, що нульового значення густина струму досягає за температур 393 К та 383 К, відповідно, залежно від величини напруги живлення. Значення густини струму змінюється від

$9,8 \cdot 10^{-14}$  А/м<sup>2</sup> до 2,29 А/м<sup>2</sup>, при напрузі живлення  $U_1 = 1$  В; та від  $9,8 \cdot 10^{-13}$  А/м<sup>2</sup> до 22,93 А/м<sup>2</sup>, при напрузі живлення  $U_2 = 10$  В.

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

Графічні залежності напруженості Холлівського поля в середині напівпровідника від індукції магнітного поля при різних температурах (рис. 8), та напруги Холла (рис. 9) показують, що дані величини не залежать від температури і збігаються в одну лінію.

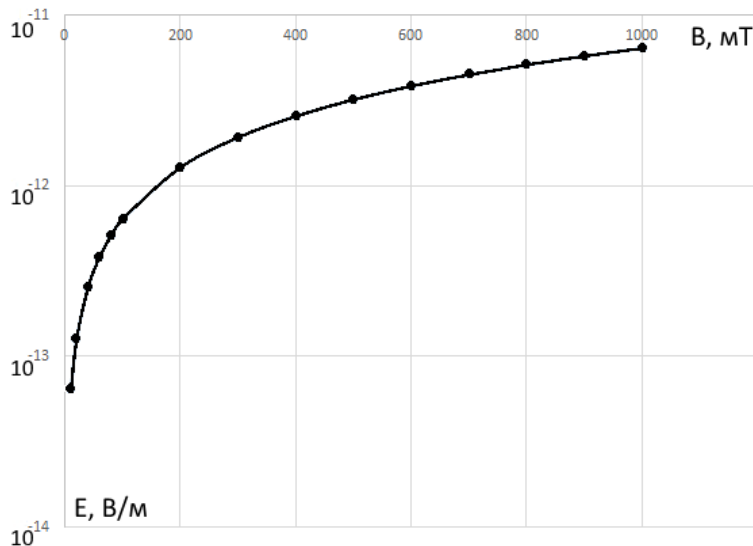


Рис. 8. Логарифмічна залежність Холлівської напруженості електричного поля в середині напівпровідника при дії на нього магнітного поля при різних температурах

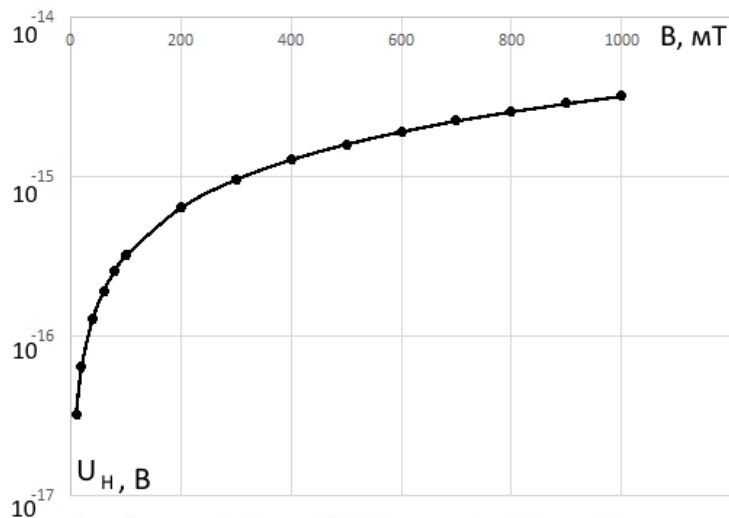


Рис. 9. Логарифмічна залежність напруги Холла напівпровідника при дії на нього магнітного поля при різних температурах

Як видно з графіка (рис. 9) в діапазоні від 0 до 100 мТ Холлівська напруга зростає від  $3,22 \cdot 10^{-17}$  до  $3,22 \cdot 10^{-16}$  В, від 100 мТ до 1000 мТ – Холлівська напруга зростає від  $3,22 \cdot 10^{-16}$  до  $3,22 \cdot 10^{-15}$  В.

### Висновки

Експериментальні дослідження температурної залежності фізичних параметрів  $\text{Ca}[\text{Cu}(\text{C}_{15}\text{H}_{10}\text{N}_3\text{O}_2\text{S})_2]$  підготовленого спресованого зразка в інтервалі температур 313–403 К та теоретичні дослідження в інтервалі 273–493 К показали, що для нього має місце пряmlinійна залежність між  $\rho$  і  $T$ , типова для напівпровідникових матеріалів. Розраховані напівпровідникові характеристики (ТКО при 333 К  $\alpha = 16,97$  %/К,  $B$  – чутливість 18823 К) свідчать про те, що він є високочутливим напівпровідниковим матеріалом і може бути використаний для виготовлення термочутливих елементів таких, наприклад, як терморезистори.

### Література

1. Осадчук В.С. Сенсори тиску і магнітного поля / В. С. Осадчук, О. В. Осадчук. – Вінниця : Універсум-Вінниця, 2005. – 207 с.
2. Осадчук О. В. Перетворювач магнітного поля на основі магніточутливого діода та активно-індуктивного елемента / О. В. Осадчук, В. В. Мартинюк, О. М. Жагловська, Л. В. Крилик // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2017. – № 1. – С. 93–98.
3. Осадчук О. В. Магніточутливий сенсор на основі гетерометалевої комплексної сполуки / О. В. Осадчук, В. В. Мартинюк, М. В. Євсєєва, О. О. Селецька // Вісник Хмельницького національного університету. – 2019. – № 3. – С. 97–101.
4. Самусь Н. М. Гетерометаллические (лантаноид или иттрий,  $p$ - или  $d$ -элементсодержащие  $N, N'$ -этилен-бис-салицилидениминаты / Н. М. Самусь, И. В. Хорошун, И. В. Сеница, М. В. Гандзий // Коорд.

химия. – 1993. – Т. 19, № 9. – С. 729–732.

5. Koksharova T. V. Solid State Conductivity and Catalytic Activity of Hexacyanoferrate(II)–Thiosemicarbazide Complexes of 3d-Metals / T. V. Koksharova, N. V. Masleeva, A. A. Ptashchenko, S.V. Fel'dman // Theoretical and Experimental Chemistry. – 2002. – Vol. 38, No 4. – P. 263–267.

6. Pardhi A. V. Synthesis, Characterization, Electrical Conductivity, and Catalytic Studies of Some Coordination Polymers of Salen-Type Schiff Base / A. V. Pardhi, A. D. Bansod, A. R. Yaul, A. S. Aswar // Координац. химия. – 2010 – Том 36, № 4. – С. 298–303.

7. Шабанова И. В. Гетероядерные комплексные соединения железа(III) и неодима(III) с оксикислотами как исходные вещества для синтеза наноматериалов / И. В. Шабанова, Т. П. Стороженко, В. И. Зеленов // Экологический вестник научных центров ЧЭС. – 2004. – № 3. – С. 91–94.

8. Ранський А. П. Синтез і властивості гетерометалевих координаційних сполук купруму(II), ніколу(II) або кобальту(II) і лужноземельних елементів з N,N'-біс(саліциліден)семикарбазидом / А. П. Ранський, М. В. Євсєєва, Т. І. Панченко, О. А. Гордієнко // Укр. хім. журнал. – 2013. – Т. 79, № 2. – С. 74–79.

9. Panchenko T. Copper(II) and nickel(II) with N,N'-bis(salicylidene)thiosemicarbazide heterometal complex compounds / T. Panchenko, M. Evseeva, A. Ranskiy // Chem. & Chem. Technology. – 2014. – Vol 8, № 3. – P. 243–248.

#### References

1. Osadchuk V.S. Sensory tysku i mahnitnoho polia / V. S. Osadchuk, O. V. Osadchuk. – Vinnytsia : Universum-Vinnytsia, 2005. – 207 s.

2. Osadchuk O. V. Peretvoriuvach mahnitnoho polia na osnovi mahnitochutlyvoho dioda ta aktyvno-induktyvnoho elementa / O.V. Osadchuk, V. V. Martyniuk, O. M. Zhahlovska, L. V. Krylyk // Vymiriuvalna ta obchysliuvalna tekhnika v tekhnolohichnykh protsesakh. – 2017. – № 1. – S. 93–98.

3. Osadchuk O. V. Mahnitochutlyvyi sensor na osnovi heterometalevoi kompleksnoi spoluky / O. V. Osadchuk, V. V. Martyniuk, M.V. Yevsieieva, O. O. Seletska // Herald of Khmelnytskyi National University. – 2019. – № 3. – S. 97–101.

4. Samus N. M. Geterometallicheskie (lantanoid ili ittrij, p- ili d-elementsoderzhashie N,N'-etilen-bis-salicylidenediminaty / N.M. Samus, I. V. Horoshun, I. V. Sinica, M. V. Gandzij // Koord. himiya. – 1993. – Т. 19, № 9. – С. 729–732.

5. Koksharova T. V. Solid State Conductivity and Catalytic Activity of Hexacyanoferrate(II)–Thiosemicarbazide Complexes of 3d-Metals / T. V. Koksharova, N. V. Masleeva, A. A. Ptashchenko, S. V. Feldman // Theoretical and Experimental Chemistry. – 2002. – Vol. 38, No 4. – P. 263–267.

6. Pardhi A. V. Synthesis, Characterization, Electrical Conductivity, and Catalytic Studies of Some Coordination Polymers of Salen-Type Schiff Base / A. V. Pardhi, A. D. Bansod, A. R. Yaul, A. S. Aswar // Koordynats. khymia. – 2010 – Том 36, № 4. – С. 298–303.

7. Shabanova I. V. Geteroyadernye kompleksnye soedineniya zheleza(III) i neodima(III) s oksikislottami kak ishodnye veshstva dlya sinteza nanomaterialov / I. V. Shabanova, T. P. Storozhenko, V. I. Zelenov // Ekologicheskij vestnik nauchnykh centrov ChES. – 2004. – № 3. – С. 91–94.

8. Ranskiy A. P. Syntez i vlastyivosty heterometalevykh koordynatsiinykh spoluk kuprumu(II), nikolu(II) abo kobaltu(II) i luzhnozemelnykh elementiv z N,N-bis(sali-tsyliden)semykarbazydom / A. P. Ranskiy, M. V. Yevsieieva, T. I. Panchenko, O. A. Hordiienko // Ukr. khim. zhurnal. – 2013. – Т. 79, № 2. – С. 74–79.

9. Panchenko T. Copper(II) and nickel(II) with N,N-bis(salicylidene)thiosemicarbazide heterometal complex compounds / T. Panchenko, M. Evseeva, A. Ranskiy // Chem. & Chem. Technology. – 2014. – Vol 8, № 3. – P. 243–248.

Рецензія/Peer review : 05.06.2019 р.

Надрукована/Printed : 23.07.2019 р.  
Рецензент: д.т.н., проф. Петрук В. Г.