

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ВІСНИК ВІННИЦЬКОГО ПОЛІТЕХНІЧНОГО ІНСТИТУТУ

Науковий журнал

Засновник і видавець: Вінницький національний технічний університет

Виходить 6 разів на рік

Заснований у грудні 1993 року

№ 4 (145) 2019

Схвалено Вченою радою
Вінницького національного технічного університету,
протокол № 1 від 30.08.2019 р.

© Вінницький національний технічний університет, 2019

Вінниця • ВНТУ • 2019

Журнал «Вісник Вінницького політехнічного інституту» є виданням, яке входить до Переліку наукових фахових видань України у галузях технічних наук (наказ Міністерства освіти і науки України від 29.09.2014 р., № 1081) та педагогічних наук (наказ Міністерства освіти і науки України від 13.07.2015 р., № 747).

Журнал входить у міжнародні наукометричні бази Index Copernicus International та Google Scholar і реферується в Українському реферативному журналі «Джерело».

Журнал публікує статті, які містять нові теоретичні та практичні результати в галузях технічних, економічних, природничих та гуманітарних наук. Публікуються також огляди сучасного стану розробки важливих наукових проблем, огляди наукових та методичних конференцій, які відбулися у ВНТУ, статті з педагогіки вищої освіти.

Розділи журналу:

- ☒ автоматика та інформаційно-вимірювальна техніка;
- ☒ будівництво;
- ☒ гуманізація і гуманітаризація технічної освіти;
- ☒ застосування результатів досліджень;
- ☒ екологія та екологічна безпека;
- ☒ економіка та менеджмент;
- ☒ енергетика, електротехніка та електромеханіка;
- ☒ інформаційні технології та комп'ютерна техніка;
- ☒ машинобудування і транспорт;
- ☒ радіоелектроніка та радіоелектронне апаратобудування;
- ☒ стратегія, зміст та нові технології підготовки спеціалістів з вищою технічною освітою;
- ☒ рецензії;
- ☒ ювілеї і ювіляри.

Сайт журналу <http://visnyk.vntu.edu.ua/>

DOI журналу <https://doi.org/10.31649/1997-9266>

Адреса редакції:
ВНТУ, к. 204 ГНК,
вул. Хмельницьке шосе, 95,
м. Вінниця, Україна, 21021

Контакти:
Тел.: (0432) 65-18-06
E-mail: visnykvpi@gmail.com

Головний редактор

Мокін Б. І., академік НАПН України, д-р техн. наук, професор (ВНТУ).

Заступники головного редактора

Грабко В. В., д-р техн. наук, професор (ВНТУ); **Васілевський О. М.**, д-р техн. наук, професор (ВНТУ).

Відповідальний секретар редколегії

Дерібо О. В., канд. техн. наук, доцент (ВНТУ).

Члени редакційної колегії

технічні науки:

Азаров О. Д., д-р техн. наук, професор, (ВНТУ); **Багацький В. О.**, д-р техн. наук, професор (ІК); **Білінський Й. Й.**, д-р техн. наук, професор (ВНТУ); **Біліченко В. В.**, д-р техн. наук, професор (ВНТУ); **Біскало О. В.**, д-р техн. наук, професор (ВНТУ); **Боровська Т. М.**, д-р техн. наук, професор (ВНТУ); **Василенко В. Б.**, д-р філософії, професор (Новий університет Лісабона, Португалія); **Войцек В.**, д-р техн. наук, професор (Державний університет «Люблінська Політехніка», Польща); **Григорова К.**, д-р філософії (Русенський університет «Ангел Кинчев», Болгарія); **Грушко О. В.**, д-р техн. наук, професор (ВНТУ); **Губінський М. В.**, д-р техн. наук, професор (НМетАУ); **Данилов В. Я.**, д-р техн. наук, професор (НТУУ «КПІ»); **Дінь Тхань Вьет**, д-р філософії, доцент, (Університет м. Дананг, В'єтнам); **Друкований М. Ф.**, д-р техн. наук, професор (ВНТУ); **Дубовой В. М.**, д-р техн. наук, професор (ВНТУ); **Злепко С. М.**, д-р техн. наук, професор (ВНТУ); **Іскович-Лотоцький Р. Д.**, д-р техн. наук, професор (ВНТУ); **Квстний Р. Н.**, член-кор. НАПН України, д-р техн. наук, професор (ВНТУ); **Кичак В. М.**, д-р техн. наук, професор (ВНТУ); **Козлов Л. Г.**, д-р техн. наук, доцент (ВНТУ); **Кулик В. В.**, д-р техн. наук, доцент (ВНТУ); **Кучерук В. Ю.**, д-р техн. наук, професор (ВНТУ); **Кухарчук В. В.**, д-р техн. наук, професор (ВНТУ); **Лежнюк П. Д.**, д-р техн. наук, професор (ВНТУ); **Луژهцький В. А.**, д-р техн. наук, професор (ВНТУ); **Майер Г.**, д-р наук хабілітований, професор, (Інститут Макса Планка (структури і динаміки матерії), Гамбург, Німеччина); **Мартинюк Т. Б.**, д-р техн. наук, професор (ВНТУ); **Михалевич В. М.**, д-р техн. наук, професор (ВНТУ); **Мокін В. Б.**, д-р техн. наук, професор (ВНТУ); **Мокін О. Б.**, д-р техн. наук, професор (ВНТУ); **Моргун А. С.**, д-р техн. наук, професор (ВНТУ); **Огородніков В. А.**, д-р техн. наук, професор (ВНТУ); **Осадчук В. С.**, д-р техн. наук, професор (ВНТУ); **Осадчук О. В.**, д-р техн. наук, професор (ВНТУ); **Павлов С. В.**, д-р техн. наук, професор (ВНТУ); **Петрук В. Г.**, д-р техн. наук, професор (ВНТУ); **Поліщук Л. К.**, д-р техн. наук, доцент, (ВНТУ); **Поляков А. П.**, д-р техн. наук, професор, (ВНТУ); **Постолатій В. М.**, академік АН Молдови, д-р техн. наук (Інститут енергетики АН Молдови, Молдова); **Ранський А. П.**, д-р хім. наук, професор (ВНТУ); **Романюк О. Н.**, д-р техн. наук, професор (ВНТУ); **Русу Іоан**, д-р інженерії, професор (Технічний університет ім. Георге Асакі, м. Ясси, Румунія); **Савуляк В. І.**, д-р техн. наук, професор (ВНТУ); **Стратан Іон**, д-р техн. наук, професор (Технічний університет Молдови, Молдова); **Ткаченко С. Й.**, д-р техн. наук, професор (ВНТУ); **Трофимчук О. М.**, член-кор. НАН України, д-р техн. наук, професор (ІТГП); **Штовба С. Д.**, д-р техн. наук, професор (ВНТУ), **Яремчук Ю. Є.**, д-р техн. наук, професор (ВНТУ).

педагогічні науки:

Денисюк С. Г., д-р політ. наук, професор (ВНТУ); **Джеджула О. М.**, д-р пед. наук, професор (ВНАУ); **Клочко В. І.**, д-р пед. наук, професор (ВНТУ); **Корнієнко В. О.**, д-р політ. наук, професор (ВНТУ); **Куцевол О. М.**, д-р пед. наук, професор (ВДПУ); **Петрук В. А.**, д-р пед. наук, професор (ВНТУ); **Ратніков В. С.**, філос. наук, професор (ВНТУ); **Хома О. І.**, д-р філос. наук, професор (ВНТУ); **Хом'юк І. В.**, д-р пед. наук, професор (ВНТУ).

економічні науки:

Карачина Н. П., д-р екон. наук, професор (ВНТУ); **Мороз О. В.**, д-р екон. наук, професор (ВНТУ); **Мороз О. О.**, д-р екон. наук, професор (ВНТУ).

Використані скорочення:

ВДПУ — Вінницький державний педагогічний університет імені Михайла Коцюбинського, Україна;
ВНАУ — Вінницький національний аграрний університет, Україна;
ВНТУ — Вінницький національний технічний університет, Україна;
ІК — Інститут кібернетики імені В. М. Глушкова НАН України, м. Київ, Україна;
ІТГП — Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України, м. Київ, Україна.
НМетАУ — Національна металургійна академія України, м. Дніпро, Україна.
НТУУ «КПІ» — Національний технічний університет України «КПІ ім. І. Сікорського», м. Київ, Україна;

Відповідальний за випуск О. В. Дерібо

ЗМІСТ

DOI випуску <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2019-145-4>

ЮВІЛЕЇ І ЮВІЛЯРИ

Факультету інфокомунікацій, радіоелектроніки та наносистем Вінницького національного технічного університету – 50 років	7
Привітання ректора Вінницького національного технічного університету	14
Привітання проректора з наукової роботи Вінницького національного технічного університету	15
Привітання від радіотехнічного факультету Національного технічного університету «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»	16
Привітання від факультету інформаційних радіотехнологій і технічного захисту інформації Харківського національного університету радіоелектроніки	16
Привітання від Одеської національної академії зв'язку імені О. С. Попова	17
Привітання від Хмельницького національного університету	17
Привітання від факультету машинобудування та транспорту ВНТУ	18

АВТОМАТИКА ТА ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНА ТЕХНІКА

Білинський Й. Й., Городецька О. С., Новицький Д. В. Розробка математичної моделі двоканального НВЧ вимірювального перетворювача вологості природного газу	19
Огородник К. В., Лазарєв О. О., Кравченко Ю. С. Ультразвукові автогенераторні вимірювачі параметрів середовищ	25
Лазарєв О. О., Войцеховська О. В., Коцур С. А., Паламарчук Р. П. Автогенераторні сенсори на базі RLC-негатронів	33
Осадчук О. В., Осадчук В. С., Осадчук Я. О. Вплив ємності просторового заряду на газореактивний ефект в напівпровідникових сенсорах газу	41

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА КОМП'ЮТЕРНА ТЕХНІКА

Мокін Б. І., Войцеховська О. О. Удосконалення ймовірнісної математичної моделі процесу забування інформації, отриманої студентом на лекції	49
Книш Б. П., Алексєєв М. А. Оцінювання стану об'єктів безпілотними літальними апаратами	58
Семенова О. О., Семенов А. О. Застосування нейронних мереж для визначення місцеположення мобільної станції	66
Білинський Й. Й., Нікольський О. І., Гуральник А. Б. Фільтрація ультразвукових зображень на основі морфологічних операцій	71

РАДІОЕЛЕКТРОНІКА ТА РАДІОЕЛЕКТРОННЕ АПАРАТОБУДУВАННЯ

Осадчук О. В., Мартинюк В. В., Євсєєва М. В., Селецька О. О. Дослідження впливу температури на фізичні параметри напівпровідника μ -метоксо(купрум(II)), бісмут(III) ацетилацетонату	80
Бортник Г. Г., Васильківський М. В., Вітер Р. М. Цифровий пристрій запам'ятовування та відтворення радіосигналів	87
Барась С. Т., Войцеховська О. В., Щербатюк Г. М. Флуктуації частоти доплерівського сигналу	94
Гаврілов Д. В., Воловик А. Ю., Звягін О. С., Яровий Д. В. Реверсивний генератор кодових послідовностей на FPGA	100
Воловик А. Ю., Гаврілов Д. В. Апроксимація розширеного фільтра Калмана паралельною двокаскадною структурою	107
Кичак В. М., Слободян І. В., Вовк В. Л. Підвищення радіаційної стійкості енергонезалежних запам'ятовувальних пристроїв на базі халькогенідних склоподібних напівпровідників	116
Кононов С. П., Білик О. Б. Частотні перетворювачі СВПП-генератора на основі ЗІГ-резонатора	124

О. В. Осадчук¹
В. В. Мартинюк¹
М. В. Євсєєва¹
О. О. Селецька¹

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТЕМПЕРАТУРИ НА ФІЗИЧНІ ПАРАМЕТРИ НАПІВПРОВІДНИКА μ-МЕТОКСО(КУПРУМ(II), БІСМУТ(III)) АЦЕТИЛАЦЕТОНАТУ

¹Вінницький національний технічний університет

Гетерометалевим комплексним сполукам притаманний напівпровідниковий тип провідності, інтервал робочих температур яких залежить від природи центральних атомів металів, місткових лігандів, стереохімії метал-лігандного оточення, і можуть бути використані як напівпровідниковий матеріал.

Розроблена методика синтезу гетерометалевого μ-метоксо(купрум(II), бісмут(III)) ацетилацетонату(I). Синтезовано напівпровідниковий матеріал μ-метоксо(купрум(II), бісмут(III)) ацетилацетонат, такого складу: $Cu_3Bi(AA)_4(OCH_3)_5$, де НАА = $H_3C-C(O)-CH_2-C(O)-CH_3$.

Метою дослідження є дослідження впливу температури на фізичні параметри синтезованого напівпровідникового матеріалу.

Проведено експериментальні вимірювання та теоретичні розрахунки залежностей основних фізичних параметрів цього матеріалу від температури та магнітного поля. Так, в діапазоні температур від 273 К до 493 К питомий опір зразків досліджуваного матеріалу зменшився з $1,35 \cdot 10^{14}$ Ом·м до $1,5 \cdot 10^4$ Ом·м; опір зразка, розмірами 0,5×0,5×0,15 мм, за 273 К рівний $9,01 \cdot 10^{17}$ Ом, а за 493 К — 1 Ом; концентрація носіїв заряду за температури 273 К становить $4,9 \cdot 10^{17}$ м⁻³, за 323 К — $8,2 \cdot 10^{23}$ м⁻³, тоді як за температури 493 К концентрація носіїв вже становить $4,4 \cdot 10^{35}$ м⁻³; величина струму за напруги живлення 1 В та температури 273 К — $I = 1,1 \cdot 10^{-18}$ А, максимальне значення струму досягається за температури 493 К — $I = 0,99$ А. Залежності напруженості Холлівського поля в середині напівпровідника від індукції магнітного поля за різних температур, та напруги Холла показують, що дані величини не залежать від температури і, збігаються в одну лінію. В діапазоні від 0 до 200 мТ Холлівська напруга зростає від $1,12 \cdot 10^{-11}$ до $2,24 \cdot 10^{-10}$ В, від 200 до 600 мТ — від $2,24 \cdot 10^{-10}$ В до $6,73 \cdot 10^{-10}$ В і від 600 мТ до 1000 мТ — Холлівська напруга зростає від $6,73 \cdot 10^{-10}$ до $1,12 \cdot 10^{-9}$ В. Доведено, що цей матеріал є напівпровідником, причому з носіями заряду обох знаків.

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

Вступ

Вимірювання параметрів неелектричних величин є актуальною науково-технічною задачею. Первинними сенсорами таких величин, в більшості випадків, є елементи, створені на основі напівпровідникового матеріалу [1]—[3]. Проте, які б параметри не вимірював цей сенсор, впливом температури на такий елемент нехтувати не варто.

Елемент, параметри якого значно змінюються під дією температури, називають термочутливим. У промисловості [4] для створення таких датчиків в основному використовують напівпровідникові матеріали на основі оксидів перехідних металів. Технологія виробництва цих матеріалів досить трудомістка, складна і багатостадійна. Недоліком відомих матеріалів, які використовуються на практиці є те що виготовлені на їх основі терморезистори мають невисоку чутливість і тем-

пературний коефіцієнт опору. Це потребує розробки нових термочутливих матеріалів. Перспективними матеріалами з цієї точки зору є гетерометалеві комплексні сполуки, які містять у своєму складі два або більше атомів різних металів, з'єднаних між собою за допомогою різноманітних місткових молекул або іонів.

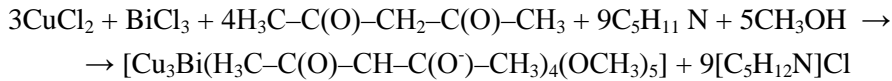
Метою дослідження є встановлення впливу температури на фізичні параметри синтезованого напівпровідникового матеріалу.

Результати дослідження

В роботах [5]—[8] показано, що гетерометалевим комплексним сполукам притаманний напівпровідниковий тип провідності, інтервал робочих температур яких залежить від природи центральних атомів металів, місткових лігандів, стереохімії метал-лігандного оточення, і можуть бути використані як напівпровідниковий матеріал для виготовлення терморезисторів.

З метою пошуку нових гетерометалевих координаційних сполук, яким притаманні напівпровідникові властивості, розроблена методика синтезу гетерометалевого μ -метоксо(купрум(II), бісмут(III)) ацетилацетонату(I), такого складу: $\text{Cu}_3\text{Bi}(\text{AA})_4(\text{OCH}_3)_5$, де $\text{AA} = \text{H}_3\text{C}-\text{C}(\text{O})-\text{CH}_2-\text{C}(\text{O})-\text{CH}_3$.

Гетерометалеву комплексну сполуку (I) отримано при взаємодії метанольних розчинів безводних солей купрум (II) хлориду, бісмут (III) хлориду з ацетилацетоном і піперидином, які брали у співвідношенні 3:1:4:9 за такою реакцією:



Синтез проводили у конічній колбі з оборотним водяним холодильником за такою методикою: до суміші 2,02 г (15 ммоль) безводних солей купрум (II) хлориду і 1,58 г (5 ммоль) бісмут(III) хлориду додавали 80 мл абсолютного метилового спирту, який містив 1,02 мл (20 ммоль) ацетилацетону. За безперервного перемішування нагрівали на водяній бані ($\sim 50^\circ\text{C}$) до розчинення вихідних речовин і після цього в реакційну суміш вводили невеликими порціями піперидин до $\text{pH} = 8$. Далі реакційну масу продовжували нагрівати на водяній бані ($\sim 50^\circ\text{C}$) за безперервного перемішування впродовж двох годин. Після охолодження утворювався однорідний дрібнокристалічний осад блакитного кольору, який фільтрували на скляному фільтрі, промивали невеликою кількістю абсолютного метанолу а потім діетилового етеру і висушували у вакуум-ексикаторі над

силікагелем. Практичний вихід дорівнює 3,90 г, що складає 82% від теоретичного. Виділена гетерометалева комплексна сполука — це дрібнокристалічний порошок, розчинний в суміші диметилформаміду з хлороформом (1:1), важко розчинний в спиртах, етері, краще розчиняється в диметилсульфоксиді, диметилформаміді, у воді руйнується.

Склад, будова та фізико-хімічні властивості синтезованого гетерометалевого μ -метоксо(купрум(II), бісмут(III)) ацетилацетонату доведено на основі даних елементного, рентгенофазового аналізів, магнетохімічного, ІЧ-спектроскопічного і термогравіметричного досліджень [9]. Для виділеної комплексної сполуки (I) на основі проведених досліджень встановлений склад та запропоновано схему розміщення хімічних зв'язків (рис. 1) [9].

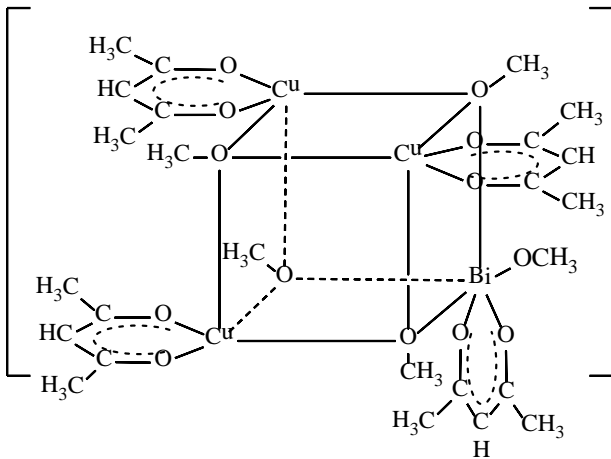


Рис. 1. Схема розміщення хімічних зв'язків в μ -метоксо(купрум(II), бісмут(III)) ацетилацетонаті

В експериментальних дослідженнях використовували циліндричний зразок масою 0,1 г та об'ємом $17,67 \cdot 10^{-9} \text{ м}^3$, який виготовляли з синтезованої гетерометалевої комплексної сполуки (I) методом пресування за допомогою спеціального пристрою. За цими даними розраховано густину речовини $\rho = 5,659 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$.

Проведемо розрахунки, для отриманої комплексної сполуки (I) та розглянемо як впливає зміна температури на електричні параметри цієї речовини.

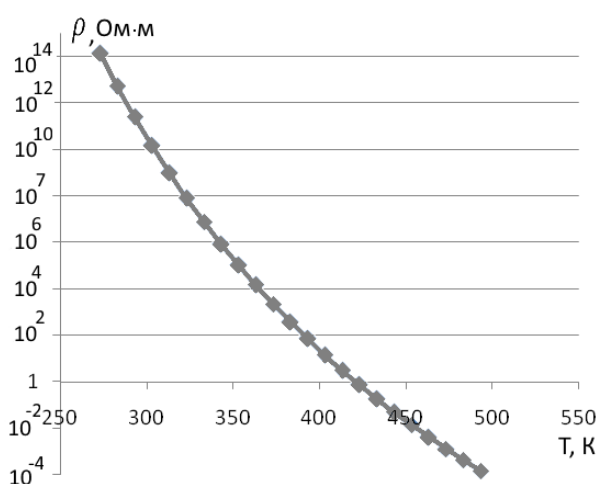


Рис. 2. Логарифмічна залежність питомого опору μ -метоксо(купрум(II), бісмут(III)) ацетилацетонату від температури

Загальну кількість молекул в об'ємі досліджуваного циліндричного зразка, заповненого сполукою (I) знайшли як відношення загальної маси до маси однієї молекули: $N_{\text{мол}} = 6,335 \cdot 10^{13}$ молекул. Загальну кількість валентних електронів розраховували як добуток кількості молекул в речовині на

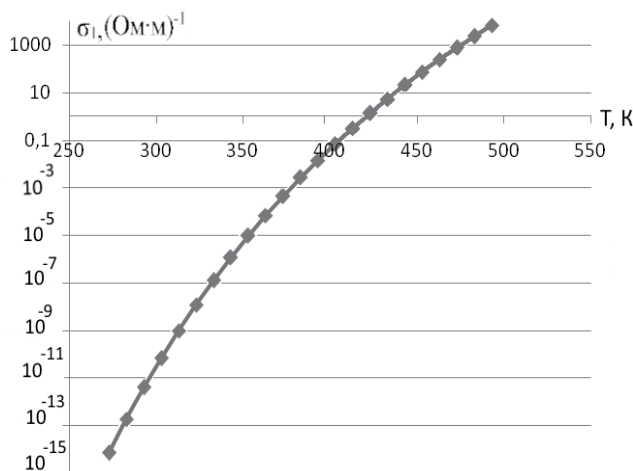


Рис. 3. Логарифмічна залежність питомої провідності напівпровідникового матеріалу від температури

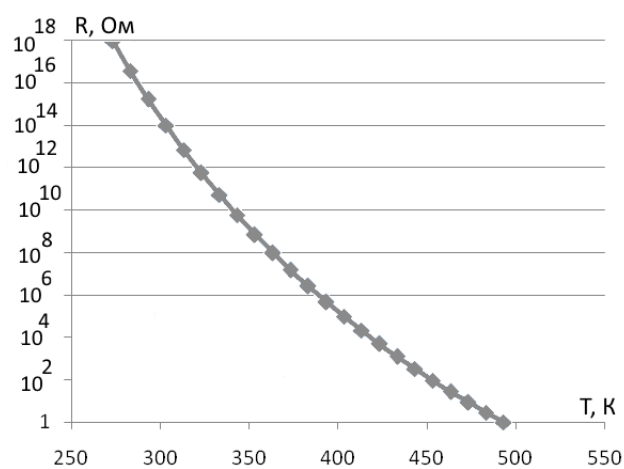


Рис. 4. Логарифмічна залежність опору матеріалу від температури

Дослідження електропровідних властивостей μ -метоксо(купрум(II), бісмут(III)) ацетилацетонату в спресованому вигляді в інтервалі температур 323...393 К показало, що з підвищенням температури його питомий опір різко зменшується, що є типовим для напівпровідникових матеріалів. Графічну залежність питомого опору від температури подано на рис. 2, з якого випливає, що, в діапазоні температур від 273 К до 493 К питомий опір зменшився з $1,35 \cdot 10^{14}$ Ом·м до $1,5 \cdot 10^{-4}$ Ом·м.

Для цієї сполуки $\text{Cu}_3\text{Bi}(\text{AA})_4(\text{OCH}_3)_5$ розраховано молярну масу (950,5 г/моль) та кількість валентних електронів в одній молекулі — 229.

З урахуванням того, що один моль речовини містить $6,02 \cdot 10^{23}$ структурних одиниць і має масу 950,5 г/моль, розраховували масу однієї молекули досліджуваної гетерометалевої сполуки (I), вона дорівнює $m_0 = 157,837 \cdot 10^{-20}$ кг.

число валентних електронів однієї молекули $N = 1450,715 \cdot 10^{13}$. Це дало можливість розрахувати концентрацію носіїв заряду за температури 323 К $n = 82,1 \cdot 10^{22} \text{ м}^{-3}$.

Для розрахунку ширини забороненої зони досліджуваного матеріалу за експериментальними вимірюваннями розраховано питому провідність матеріалу. За абсолютної температури $T_1 = 323$ К питома провідність складала $\sigma_1 = 1,25 \cdot 10^{-8} (\text{Ом}\cdot\text{м})^{-1}$, а за $T_2 = 393$ К — $\sigma_2 = 1,4 \cdot 10^{-2} (\text{Ом}\cdot\text{м})^{-1}$. Графічну залежність питомої провідності від температури показано на рис 3.

На основі цих даних визначена ширина забороненої зони

$$\Delta E = \frac{k \ln \frac{\sigma_1}{\sigma_2}}{\left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1}\right)} = 3,49 \cdot 10^{-19} \text{ Дж} = 2,18 \text{ eV},$$

де k — стала Больцмана; σ — питома провідність матеріалу за різних температур; T — абсолютна температура.

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

Для проведення експериментальних вимірювань з синтезованого матеріалу комплексної сполуки (I) виготовили пластину розмірами $0,5 \times 0,5 \times 0,15$ мм, та дослідили залежність опору пластини від температури. Графічну залежність зміни опору напівпровідникової пластини від температури показано на рис. 4.

Як видно з рис. 4, опір зразка стрімко падає: так, за температури 273 К він складає

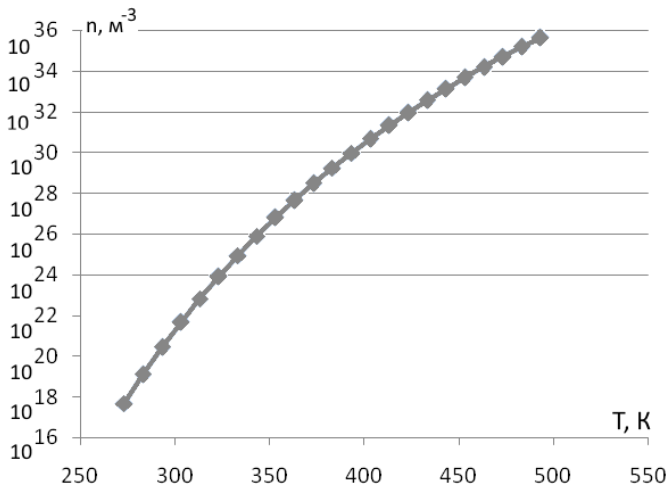


Рис. 5. Логарифмічна залежність концентрації носіїв заряду від температури

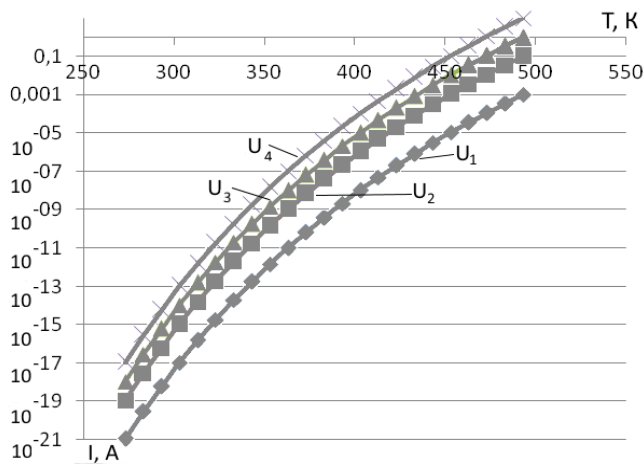


Рис. 6. Логарифмічна залежність сили струму від температури з напругами $U_1 = 0,001$ В; $U_2 = 0,1$ В; $U_3 = 1$ В; $U_4 = 10$ В

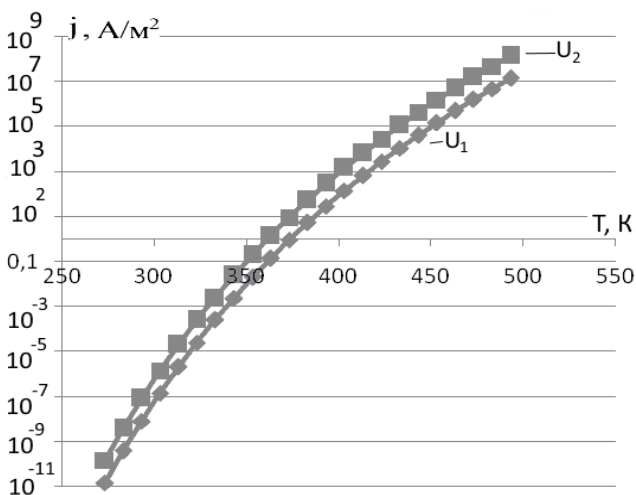


Рис. 7. Логарифмічна залежність густини струму від температури з напругами $U_1 = 1$ В; $U_2 = 10$ В

пругою живлення $U_1 = 1$ В до $1,5 \cdot 10^{-10}$ А/м², за напруги живлення $U_1 = 10$ В. За температури 493 К отримано такі дані: $j = 1,3 \cdot 10^7$ А/м² ($U = 1$ В), та $j = 1,3 \cdot 10^8$ А/м² ($U = 10$ В).

$9,01 \cdot 10^{17}$ Ом, а за 323 К — 80 МОм, тоді як за 493 К — 1 Ом. Це свідчить про те, що цей матеріал можна використовувати для створення термочутливих резисторів, або на основі гетерометалевого μ -метоксо (купрум(II), бісмут(III)) ацетилацетонату створювати складніші прилади, які будуть працювати в широкому температурному режимі з чутливістю $4 \cdot 10^{15}$ Ом/К.

Проведено дослідження залежності концентрації носіїв заряду цього напівпровідникового матеріалу від температури, результати якого подані у вигляді графічної залежності на рис. 5. Отже, за температури 273 К цей матеріал містить $4,9 \cdot 10^{17}$ м⁻³ носіїв заряду, за 323 К — $8,2 \cdot 10^{23}$ м⁻³, тоді як за температури 493 К концентрація носіїв вже становить $4,4 \cdot 10^{35}$ м⁻³.

Для досліджуваного матеріалу проведено розрахунок рухливості носіїв заряду, який показав що вона є сталою величиною і дорівнює $\mu = 1,12 \cdot 10^{-13}$ м²/(В·с), та не залежить від температури.

На основі закону залежності концентрації носіїв заряду та опору матеріалу від температури, визначено зміну величини струму, який проходить через досліджувану пластинку від температури, за різних напруг живлення. Отримані результати показано у вигляді графічної залежності на рис. 6.

З графіка (рис. 6) випливає, що чим більша величина напруги живлення, тим вище розміщена крива залежності сили струму від температури. Так за 273 К, з напругою живлення $U_1 = 0,001$ В величина струму становить $I = 1,1 \cdot 10^{-21}$ А, за $U_2 = 0,1$ В — $I = 1,1 \cdot 10^{-19}$ А, за $U_3 = 1$ В — $I = 1,1 \cdot 10^{-18}$ А, за $U_4 = 10$ В — $I = 1,1 \cdot 10^{-17}$ А. Максимальне значення сили струму досягається за температури 493 К: $U_1 = 0,001$ В величина струму становить $I = 9,9 \cdot 10^{-4}$ А, з $U_2 = 0,1$ В — $I = 9,9 \cdot 10^{-2}$ А, з $U_3 = 1$ В — $I = 0,99$ А, з $U_4 = 10$ В — $I = 9,9$ А.

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

Логарифмічну залежність густини струму від температури з напругами живлення 1 В та 10 В, показано на рис. 7. З графіка (рис. 7) випливає, що нульового значення густини струму досягає за температур 373 К та 363 К, відповідно, в залежності від величини напруги живлення. Значення густини струму змінюється від $1,5 \cdot 10^{-11}$ А/м², з на-

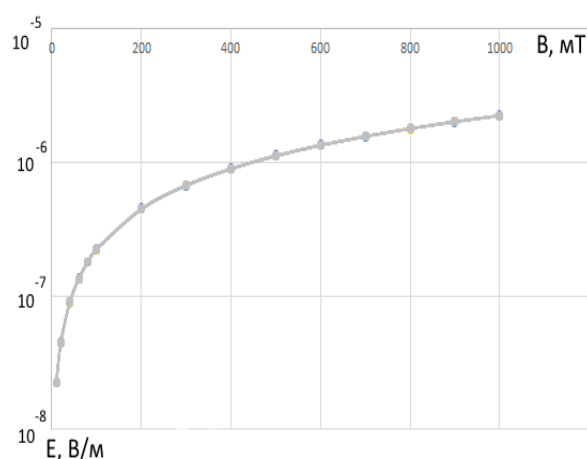


Рис. 8. Логарифмічна залежність Холлівської напруженості електричного поля в середині напівпровідника у разі дії на нього магнітного поля за різних температур

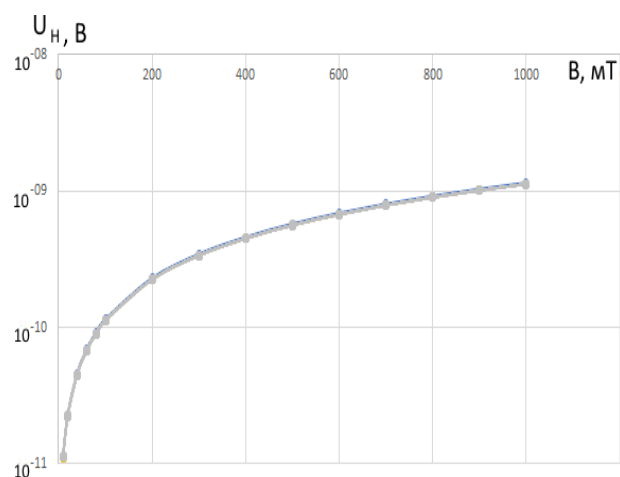


Рис. 9. Логарифмічна залежність напруги Холла напівпровідника у разі дії на нього магнітного поля за різних температур

На основі отриманих залежностей можна однозначно сказати, що використання досліджуваного матеріалу для створення термочутливих елементів досить перспективне.

Графічні залежності напруженості Холлівського поля в середині напівпровідника від індукції магнітного поля за різних температур (рис. 8), та напруги Холла (рис. 9) свідчать, що ці величини не залежать від температури і збігаються в одну лінію.

Як видно з графіка, в діапазоні від 0 до 200 мТ Холлівська напруга зростає від $1,12 \cdot 10^{-11}$ до $2,24 \cdot 10^{-10}$ В, від 200 до 600 мТ — від $2,24 \cdot 10^{-10}$ В до $6,73 \cdot 10^{-10}$ В і від 600 мТ до 1000 мТ — Холлівська напруга зростає від $6,73 \cdot 10^{-10}$ до $1,12 \cdot 10^{-9}$ В.

Висновки

Експериментальні дослідження температурної залежності фізичних параметрів гетерометалевого μ -метоксо(купрум(II), бісмут(III)) ацетилацетонату підготовлених спресованих зразків в інтервалі температур 50...120 °С та теоретичні дослідження в інтервалі 0...220 °С показали, що для них залежність між ρ і T прямує лінійна, типова для напівпровідникових матеріалів. Розраховані напівпровідникові характеристики (ТКО за 343 К $\alpha = 21,5\%/K$; B — чутливість 25295 К) свідчать про те, що вони є високочутливими напівпровідниковими матеріалами і можуть бути використані для виготовлення термочутливих елементів таких, наприклад, як терморезистори.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] В. С. Осадчук, О. В. Осадчук, та В. В. Мартинюк, «Дослідження мікроелектронного частотного перетворювача магнітного поля», *Вісник Хмельницького національного університету*, № 2, т. 1, с. 139-143, 2006.
- [2] Пат. 115960 Україна. «Вимірювач оптичного випромінювання», *МПК G01K 7/01 (2006.01)*, № u 2016 04577; заявл. 25.04.2016; опубл. 10.05.2017, Бюл. № 9.
- [3] О. В. Осадчук, В. В. Мартинюк, та О. М. Жагловська, «Перетворювач магнітного поля на основі магнітодіода та активно-індуктивного елемента», *Вісник Хмельницького національного університету*, ВОТТІ, № 1, с. 75-78, 2016.
- [4] И. Т. Шефтель, *Терморезисторы. Электропроводность 3d-окислов. Параметры, характеристики и области применения*. М.: Наука, 1973, 416 с.
- [5] А. П. Ранський, М. В. Євсєєва, Т. І. Панченко, та О. А. Гордієнко, «Синтез і властивості гетерометалевих координаційних сполук купруму(II), ніколу(II) або кобальту(II) і лужноземельних елементів з N, N'-біс(саліциліден)семикарбазидом», *Укр. хім. журнал*, т. 79, № 2, с. 74-79, 2013.
- [6] T. Panchenko, M. Evseeva, and A. Ranskiy, "Copper(II) and nickel(II) with N,N'-bis(salicylidene)thiosemicarbazide heterometal complex compounds," *J. Chem. & Chem. Technology*, v. 8, № 3, pp. 243-248, 2014.
- [7] Н. М. Самусь, И. В. Хорошун, И. В. Сеница, и М. В. Гандзий, «Гетерометаллические (лантаноид или иттрий, р- или d-элемент)содержащие N, N'-этилен-бис-салицилидениминаты», *Коорд. химия*, т. 19, № 9, с. 729-732, 1993.
- [8] Н. М. Самусь, М. В. Гандзий, и В. И. Цапков, «Гетероядерные μ -метоксо(медь-, иттрий) или лантаноид ацетилацетонаты», *Журнал общей химии*, т. 62, № 3, с. 510-515, 1992.
- [9] Н. М. Самусь, В. И. Цапков, и М. В. Гандзий, «Гетерометаллические μ -алкокси(медь, висмут)содержащие ацетилацетонаты», *Журнал общей химии*, т. 63, № 1, с. 177-182, 1993.

Рекомендована кафедрою радіотехніки ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 10.05.2019

Осадчук Олександр Володимирович — д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри радіотехніки, e-mail: osadchuk.av69@gmail.com ;

Мартинюк Володимир Валерійович — канд. техн. наук, доцент кафедри електроніки та наносистем, e-mail: gyraavl6@gmail.com ;

Євсєєва Марія Василівна — канд. хім. наук, доцент кафедри хімії та хімічної технології, e-mail: evseevamv359@gmail.com ;

Селецька Олена Олександрівна — канд. техн. наук, старший викладач кафедри електроніки та наносистем, e-mail: seletska84@gmail.com .

Вінницький національний технічний університет, Вінниця

O. V. Osadchuk¹
V. V. Martyniuk¹
M. V. Yevsieieva¹
O. O. Seletska¹

Investigation of Temperature Influence on Physical Parameters of Semiconductor μ -Methoxo(Cuprum(II), Bismut(III)) Acetylacetonate

¹Vinnitsa National Technical University

Heterrometal complex compounds have a semiconductor type of conductivity, the operating temperature range of which depends on the nature of the central metal atoms, bridge ligands, stereochemistry of the metal-ligand environment, and can be used as a semiconductor material.

The method of synthesis of heterometal μ -methoxone (cuprum (II), bismuth (III)) acetylacetonate (I) has been developed. An acetylacetonate of the composition $Cu_3Bi(AA)_4(OCH_3)_5$, where HAA = $H_3C-C(O)-CH_2-C(O)-CH_3$, is synthesized in the semiconductor material μ -methoxy (cupram (II), bismuth (III)). The purpose of the study is to study the influence of temperature on the physical parameters of the synthesized semiconductor material. Experimental measurements and theoretical calculations of dependencies of the basic physical parameters of this material on temperature and magnetic field are carried out. Thus, in the temperature range from 273 K to 493 K, the specific resistance decreased from $1,35 \cdot 10^{14}$ Ohm to $1,5 \cdot 10^{-4}$ Ohm; the resistance of the sample, in the dimensions $0,5 \times 0,5 \times 0,15$ mm, at 273 K is equal to $9,01 \cdot 10^{17}$ Ohm, and at 493 K — 1 Ohm; the concentration of charge carriers at a temperature of 273 K is $4,9 \cdot 10^{17} m^{-3}$, at 323 K — $8,2 \cdot 10^{23} m^{-3}$, whereas at a temperature of 493 K the carrier concentration is already $4,4 \cdot 10^{35} m^{-3}$; the current value at a voltage of 1 V and a temperature of 273 K — $I = 1,1 \cdot 10^{-18}$ A, the maximum value of current is achieved at a temperature of 493 K — $I = 0,99$ A. The dependence of the Hallfield field intensity in the middle of the semiconductor on the induction of a magnetic field at different temperatures, and Voltage Volts show that the given values are not temperature dependent and coincide in one line. In the range from 0 to 200 mT, the Hall effect increases from $1,12 \cdot 10^{-11}$ to $2,24 \cdot 10^{-10}$ V, from 200 to 600 mT — from $2,24 \cdot 10^{-10}$ V to $6,73 \cdot 10^{-10}$ V and from 600 mT to 1000 mT — Hall's voltage rises from $6,73 \cdot 10^{-10}$ to $1,12 \cdot 10^{-9}$ V. It is proved that this material is a semiconductor, and with the carriers of the charge of both signs.

Keywords: induction, magnetic field, concentration, semiconductor, heterometal complex compounds.

Osadchuk Oleksandr V. — Dr. Sc. (Eng.), Professor, Head of the Chair of Radio Engineering, e-mail: osadchuk.av69@gmail.com ;

Martyniuk Volodymyr V. — Cand. Sc. (Eng.), Associate Professor of the Chair of Electronics and Nanosystems, e-mail: gyraavl6@gmail.com ;

Yevsieieva Mariia V. — Cand. Sc. (Chemistry), Associate Professor, Associate Professor of the Chair of Chemistry and Chemical Technology, e-mail: evseevamv359@gmail.com ;

Seletska Olena O. — Cand. Sc. (Eng.), Senior Lecturer of the Chair of Electronics and Nanosystems, e-mail: seletska84@gmail.com

А. В. Осадчук¹
 В. В. Мартинюк¹
 М. В. Евсеєва¹
 А. А. Селецька¹

Исследование влияния температуры на физические параметры полупроводника μ -метоксо(медь(II), висмут(III)) ацетилацетоната

¹Вінницький національний технічний університет

Гетерометаллические комплексные соединения обладают полупроводниковым типом проводимости, интервал рабочих температур которых зависит от природы центральных атомов металлов, мостиковых лигандов, стереохимии металл-лигандного окружения, и могут быть использованы как полупроводниковый материал.

Разработана методика синтеза гетерометаллевого μ -метокси(медь(II), висмут(III)) ацетилацетоната(I). Синтезирован полупроводниковый материал μ -метокси(медь(II), висмут(III)) ацетилацетонат, такого состава: $\text{Cu}_3\text{Bi}(\text{AA})_4(\text{OCH}_3)_5$, где $\text{NAA} = \text{H}_3\text{C}-\text{C}(\text{O})-\text{CH}_2-\text{C}(\text{O})-\text{CH}_3$.

Целью исследования является исследование влияния температуры на физические параметры синтезированного полупроводникового материала.

Проведены экспериментальные измерения и теоретические расчеты зависимостей основных физических параметров этого материала от температуры и магнитного поля. Так, в диапазоне температур от 273 К до 493 К удельное сопротивление образцов исследуемого материала уменьшилось с $1,35 \cdot 10^{14} \text{ Ом} \cdot \text{м}$ до $1,5 \cdot 10^{-4} \text{ Ом} \cdot \text{м}$; сопротивление образца, размерами $0,5 \times 0,5 \times 0,15 \text{ мм}$, при 273 К равен $9,01 \cdot 10^{17} \text{ Ом}$, а при 493 К — 1 Ом ; концентрация носителей заряда при температуре 273 К составляет $4,9 \cdot 10^{17} \text{ м}^{-3}$, а при 323 К — $8,2 \cdot 10^{23} \text{ м}^{-3}$, тогда как при температуре 493 К концентрация носителей уже составляет $4,4 \cdot 10^{35} \text{ м}^{-3}$; величина тока при напряжении питания 1 В и температуре 273 К — $I = 1,1 \cdot 10^{-18} \text{ А}$, максимальное значение тока достигается при температуре 493 К — $I = 0,99 \text{ А}$. Зависимости напряженности Холловского поля в середине полупроводника от индукции магнитного поля при различных температурах, и напряжении Холла показывают, что эти величины не зависят от температуры и, сходясь в одну линию. В диапазоне от 0 до 200 мТ Холловское напряжение возрастает от $1,12 \cdot 10^{-11} \text{ В}$ до $2,24 \cdot 10^{-10} \text{ В}$, от 200 до 600 мТ — от $2,24 \cdot 10^{-10} \text{ В}$ до $6,73 \cdot 10^{-10} \text{ В}$ и от 600 мТ до 1000 мТ — Холловское напряжение возрастает от $6,73 \cdot 10^{-10} \text{ В}$ до $1,12 \cdot 10^{-9} \text{ В}$. Доказано, что исследуемый материал является полупроводником, причем с носителями заряда обоих знаков.

Ключевые слова: индукция, магнитное поле, концентрация, полупроводник, гетерометаллические комплексные соединения.

Осадчук Александр Владимирович — д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой радиотехники, e-mail: osadchuk.av69@gmail.com ;

Мартинюк Владимир Валерьевич — канд. техн. наук, доцент кафедры электроники и наносистем, e-mail: gyraavl6@gmail.com ;

Евсеєва Мария Васильевна — канд. хим. наук, доцент кафедры химии и химической технологии, e-mail: evseevamv359@gmail.com ;

Селецька Елена Александровна — канд. техн. наук, старший преподаватель кафедры электроники и наносистем, e-mail: seletska84@gmail.com