

ISSN 2307-5732

DOI 10.31891/2307-5732

НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ

5.2019

ВІСНИК

Хмельницького

національного

університету

Технічні науки

Technical sciences

SCIENTIFIC JOURNAL

HERALD OF KHMELNYTSKYI NATIONAL UNIVERSITY

2019, Issue 5, Volume 277

Хмельницький

**ВІСНИК
ХМЕЛЬНИЦЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
серія: Технічні науки**

Затверджений як фахове видання (перереєстрація)
Наказ МОН 04.07.2014 № 793

Засновано в липні 1997 р.

Виходить 6 разів на рік

Хмельницький, 2019, № 5 (277)

**Засновник і видавець: Хмельницький національний університет
(до 2005 р. – Технологічний університет Поділля, м. Хмельницький)**

Включено до науково-метричних баз:

Google Scholar	http://scholar.google.com.ua/citations?hl=uk&user=aIUP9OYAAAAAJ
Index Copernicus	http://jml2012.indexcopernicus.com/passport.php?id=4538&id_lang=3
РИНЦ	http://elibrary.ru/title_about.asp?id=37650
Polish Scholarly Bibliography	https://pbn.nauka.gov.pl/journals/46221

Головний редактор	Скиба М. Є. , д.т.н., професор, заслужений працівник народної освіти України, член-кореспондент Національної академії педагогічних наук України, ректор Хмельницького національного університету
Заступник головного редактора	Синюк О. М. , д.т.н., професор кафедри машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем Хмельницького національного університету
Голова редакційної колегії серії "Технічні науки"	Бойко Ю.М. , д.т.н., професор кафедри телекомунікацій та радіотехніки, начальник науково-дослідної частини Хмельницького національного університету
Відповідальний секретар	Гуляєва В. О. , завідувач відділом інтелектуальної власності і трансферу технологій Хмельницького національного університету

Ч л е н и р е д к о л е г і ї

Технічні науки

Березненко С.М., д.т.н., **Бойко Ю.М.**, д.т.н., **Говорущенко Т.О.**, д.т.н., **Гордєєв А.І.**, д.т.н., **Грабко В.В.**, д.т.н., **Диха О.В.**, д.т.н., **Захаркевич О.В.**, д.т.н., **Злотенко Б.М.**, д.т.н., **Зубков А.М.**, д.т.н., **Каплун П.В.**, д.т.н., **Карташов В.М.**, д.т.н., **Кичак В.М.**, д.т.н., **Мазур М.П.**, д.т.н., **Мандзюк І.А.**, д.т.н., **Мартинюк В.В.**, д.т.н., **Мельничук П.П.**, д.т.н., **Місяць В.П.**, д.т.н., **Мясіщев О.А.**, д.т.н., **Нелін Є.А.**, д.т.н., **Павлов С.В.**, д.т.н., **Параска О.А.**, к.т.н., **Прохорова І.А.**, д.т.н., **Рогатинський Р.М.**, д.т.н., **Горошко А.В.**, д.т.н., **Сарібекова Д.Г.**, д.т.н., **Семенко А.І.**, д.т.н., **Славінська А.Л.**, д.т.н., **Сорокати Р.В.**, д.т.н., **Харжевський В.О.**, д.т.н., **Шинкарук О.М.**, д.т.н., **Шклярський В.І.**, д.т.н., **Щербань Ю.Ю.**, д.т.н., **Ясній П.В.**, д.т.н., професор, **Бубулєс Альгімантас**, доктор наук (Литва), **Елсаєд Ахмед Ельнашар**, доктор наук (Єгипет), **Кальчинські Томаш**, доктор наук (Польща), **Коробко Євгенія Вікторівна**, д.т.н. (Білорусія), **Лунтовський Андрій Олегович**, д.т.н. (Німеччина), **Матушевський Мацей**, доктор наук (Польща), **Мушлевський Лукаш**, доктор наук (Польща), **Мушял Януш**, доктор наук (Польща), **Натріашвілі Тамаз Мамієвич**, д.т.н., (Грузія), **Попов Валентин**, доктор природничих наук (Німеччина)

<i>Технічний редактор</i>	Горященко К. Л., к.т.н.
<i>Редактор-коректор</i>	Броженко В. О.

**Рекомендовано до друку рішенням вченої ради Хмельницького національного університету,
протокол № 12 від 26.06.2019 р.**

Адреса редакції: редакція журналу "Вісник Хмельницького національного університету"
Хмельницький національний університет
вул. Інститутська, 11, м. Хмельницький, Україна, 29016

☎	(038-2) 67-51-08	web:	http://journals.khnu.km.ua/vestnik
e-mail:	visnyk.khnu@gmail.com		http://lib.khnu.km.ua/visnyk_tup.htm

Зареєстровано Міністерством України у справах преси та інформації.
Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації
Серія КВ № 9722 від 29 березня 2005 року

© Хмельницький національний університет, 2019
© Редакція журналу "Вісник Хмельницького національного університету", 2019

ЗМІСТ

МАШИНОЗНАВСТВО ТА ОБРОБКА МАТЕРІАЛІВ В МАШИНОБУДУВАННІ

М. Є. СКИБА, Н. М. СТЕЧИШИНА, Н. К. МЕДВЕДЧУК, М. С. СТЕЧИШИН, В. В. ЛЮХОВЕЦЬ БЕЗВОДНЕВЕ АЗОТУВАННЯ У ТЛЮЧОМУ РОЗРЯДІ ЯК МЕТОД ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ КОНСТРУКЦІЙНИХ СТАЛЕЙ	7
Ю. В. БАТЫГИН, С. А. ШИНДЕРУК, Е. А. ЧАПЛЫГИН, А. А. КОРЯК, А. В. ДОВГИЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКАЯ ИНДУКТОРНАЯ СИСТЕМА С ВНЕШНИМ БИФИЛЯРНЫМ СОЛЕНОИДОМ. РАСЧЁТНЫЕ СООТНОШЕНИЯ	13
Ю. В. САВИЦЬКИЙ ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ГЛИБОКОГО ХОЛОДНОГО ВИДАВЛЮВАННЯ ДЛЯ ОТРИМАННЯ ТОЧНИХ ЗАГОТОВОК ДЕТАЛЕЙ ТИПУ «СТАКАН». ЧАСТИНА 1	19
Р. В. АМБАРЦУМЯНЦ, С. А. РОМАШКЕВИЧ, А. П. ЛИПИН КИНЕТОСТАТИКА ГРУППЫ АССУРА ЧЕТВЕРТОГО КЛАССА ВТОРОГО ПОРЯДКА С ОДНОЙ ПОСТУПАТЕЛЬНОЙ ПАРОЙ	24
О. І. МАЛАКОВ, С. А. БУРЛАКА, Ю. О. МИХАЛЬОВА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОСНОВИ КОНСТРУЮВАННЯ ВІБРАЦІЙНИХ ЗМІШУВАЧІВ	30

ТЕХНОЛОГІЇ ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

А. Л. СЛАВІНСЬКА ПІВСТОЛІТТЯ ОСВІТНЬО-НАУКОВОЇ ДІЯЛЬНОСТІ КАФЕДРИ ТЕХНОЛОГІЇ І КОНСТРУЮВАННЯ ШВЕЙНИХ ВИРОБІВ ХМЕЛЬНИЦЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ	34
С. Г. КУЛЕШОВА ПЕРЦЕПТИВНИЙ ПІДХІД ДО ОЗНАК ВІЗУАЛІЗАЦІЇ В МОДЕЛЮВАННІ ПРОЕКТНОГО РІШЕННЯ ОДЯГУ	40
О. М. ЛУЩЕВСЬКА, Л. В. БУХАНЦОВА, Л. В. КРАСНЮК, О. М. ТРОЯН, О. Й. ЯНЦАЛОВСЬКИЙ УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСУ ПРОЕКТУВАННЯ АДАПТИВНОГО БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНОГО ОДЯГУ	47
А. Л. СЛАВІНСЬКА О. П. СИРОТЕНКО ЗАСТОСУВАННЯ ФРАКТАЛЬНОЇ СТРУКТУРИ В ОРНАМЕНТАХ УКРАЇНСЬКОЇ НАЦІОНАЛЬНОЇ ВИШИВКИ	57
І. О. ЗАСОРНОВА, О. С. ЗАСОРНОВ, В. С. КОСТЮК ВИБІР ВИДІВ АПЛІКАЦІЙ ДЛЯ ОЗДОБЛЕННЯ КОЛЕКЦІЇ «READY TO RAIN», ВИКОНАНОЇ В СТИЛІ SPORTCASUAL	64
Е. А. ЕЛЬНАШАР, О. В. ЗАХАРКЕВИЧ, А. В. СЕЛЕЗНЬОВА, С. Г. КУЛЕШОВА ОСОБЛИВОСТІ РОЗРОБКИ БАЗИ ДАНИХ ОДЯГУ МЕДИЧНОГО ПЕРСОНАЛУ	70
О. М. ДОМБРОВСЬКА, В. В. МИЦА ПЕРЕДПРОЕКТНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ФОРМЕНОГО ОДЯГУ КУХАРІВ ДЛЯ ЗАКЛАДІВ РЕСТОРАННОГО ГОСПОДАРСТВА	77
Л. В. КРАСНЮК, О. М. ТРОЯН, О. О. ЮЗЮК ПРОЕКТУВАННЯ ОДЯГУ З РУКАВОМ ПОКРОЮ РЕГЛАН З ПІДВИЩЕНИМ РІВНЕМ СТАТИЧНОЇ ВІДПОВІДНОСТІ	81

А. Л. СЛАВІНСЬКА, О. П. СИРОТЕНКО, Т. В. ПАШКО ФОРМУВАННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ УНІВЕРСАЛЬНОЇ КОНСТРУКЦІЇ ШТАНІВ НА ОСНОВІ АНТРОПОМЕТРИЧНОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ КОНСТРУКТИВНИХ ЗОН	88
О. А. ДІТКОВСЬКА АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД РИНКУ ДИТЯЧОГО ЗИМОВОГО ОДЯГУ ВІДОМИХ БРЕНДІВ	92
М. О. КУЩЕВСЬКИЙ, Ю. В. КОШЕВКО ВПЛИВ РІДИННО-АКТИВНОГО СЕРЕДОВИЩА НА ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ	99
О. П. КИЗИМЧУК, Л. М. МЕЛЬНИК, М. Ю. ГУСАР, А. А. ЛАТИШОВА ВЛАСТИВОСТІ ТРИКОТАЖНИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ КОМПРЕСІЙНИХ ВИРОБІВ	103
О. В. ПАХОЛЮК, Г. О. ПУШКАР, І. С. ГАЛИК, Б. Д. СЕМАК ПРОБЛЕМИ ФОРМУВАННЯ ТА ОЦІНЮВАННЯ БІОСТІЙКОСТІ ТЕКСТИЛЬНИХ ЦЕЛЮЛОЗОВІСНИХ МАТЕРІАЛІВ	109
Т. А. НАДОПТА, І. Т. СОЛТИК, О. А. МИХАЙЛОВСЬКА ПРИНЦИПИ АНАЛІТИЧНОГО ПРОЕКТУВАННЯ БАЗОВОЇ ОСНОВИ ДЕТАЛЕЙ ВЕРХУ ВЗУТТЯ	114
Т. М. ЛИПСЬКИЙ ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ПРОГРЕСИВНИХ 3D ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ПРОЕКТУВАННЯ ВЗУТТЯ ЗА ІНДИВІДУАЛЬНИМ ЗАМОВЛЕННЯМ	120
Н. В. ПЕРВАЯ, О. А. АНДРЕЄВА, І. І. ЛОШКАРЬОВА СУЧАСНІ ТРЕНДИ ВДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСІВ РІДИННОГО ОЗДОБЛЕННЯ ШКІРИ	126
С. О. БУЗИНА, І. О. СІДАК ДОСЛІДЖЕННЯ ЯКОСТІ КОСМЕТИЧНИХ МИЙНИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ ВОЛОССЯ ПІД ЧАС ПРОВЕДЕННЯ СУДОВО-ТОВАРОЗНАВЧИХ ЕКСПЕРТИЗ	134
Т. В. ІВАНІШЕНА, О. О. ІВАНІШЕНА ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ БЕЗПЕЧНОСТІ ПАКУВАЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ	142
РАДІОТЕХНІКА, ЕЛЕКТРОНІКА ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ	
О. С. ПИВОВАР, В. Д. БИДЮК, Я. В. ВЕРЖБИЦЬКИЙ МОДЕЛЮВАННЯ МЕТОДУ НЕЛІНІЙНОЇ РЕАКЦІЇ У СЕГМЕНТОВАНИХ КАБЕЛЬНИХ ЛІНІЯХ	147
І. І. ЧЕСАНОВСЬКИЙ, А. В. ТКАЧУК ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ КОГЕРЕНТНО-ІМПУЛЬСНИХ СИГНАЛІВ НА ОСНОВІ ЗАСТОСУВАННЯ КОМПЛЕМЕНТАРНИХ КОДІВ	152
Т. М. МАНСУРОВ, Г. И. ГУЛИЕВА, Э. Т. МАНСУРОВ РАЗРАБОТКА ФОТОННОГО ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛЯ НАПРАВЛЕНИЯ ПОТОКА КВАНТОВ И МЕТОДА РАСЧЕТА ЕГО ПАРАМЕТРОВ	159
О. В. ОСАДЧУК, В. В. МАРТИНЮК, Т. І. СИДОРУК, М. В. ЄВСЄЄВА СЕНСОР НА ОСНОВІ ГЕТЕРОМЕТАЛІЧНОЇ КОМПЛЕКСНОЇ СПОЛУКИ КУПРУМУ(II) З N,N'-БІС(САЛЦИЛІДЕН)ТІОСЕМИКАРБАЗИДОМ	169
О. О. РУБАНЕНКО, В. П. ЯНОВИЧ, І. О. ГУНЬКО ДОСЛІДЖЕННЯ ПРИЧИН ПОШКОДЖЕННЯ СИНХРОННИХ ГЕНЕРАТОРІВ	176
Л. В. КАРПОВА1, О. О. БОЙКО, І. І. ЧЕСАНОВСЬКИЙ МОДЕЛЮВАННЯ НВЧ ПРИСТРОЇВ І АНТЕН В ЗАДАЧАХ ЇХ АНАЛІЗУ, СИНТЕЗУ ТА ОПТИМІЗАЦІЇ	180

О. В. МАЗУРЕЦЬ МЕТОД АВТОМАТИЗОВАНОГО ФОРМУВАННЯ ТЕСТОВИХ ЗАВДАНЬ	189
О. В. ОСАДЧУК, Л. В. КРИЛИК, О. О. СЕЛЕЦЬКА МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ МІКРОЕЛЕКТРОННОГО ВИМІРЮВАЧА ВОЛОГОСТІ З ЧАСТОТНИМ ВИХОДОМ	195
В. І. ЛУЖАНСЬКИЙ, Л. В. КАРПОВА, Т. С. ШЕВЧУК ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ ПОТУЖНОСТІ СИГНАЛУ НА ВХОДІ ПРИЙМАЧА МОБІЛЬНОЇ СТАНЦІЇ ВІД ПАРАМЕТРІВ БАЗОВОЇ СТАНЦІЇ ТА ВИЗНАЧЕННЯ МАКСИМАЛЬНО МОЖЛИВОГО РАДІУСА ЗОНИ ВПЕВНЕНОГО ПРИЙОМУ В МЕРЕЖІ LTE	199
О. В. МАЗУРЕЦЬ, О. Ю. ТИМУШ, А. П. ФЕДОРКО ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ТЕМАТИЧНОЇ КЛАСИФІКАЦІЇ ТЕКСТОВИХ ПОВІДОМЛЕНЬ	203
І. С. ПЯТІН, В. В. МІШАН, О. О. КУХАРЕЦЬ СИСТЕМА ЗВ'ЯЗКУ З QPSK МОДУЛЯЦІЄЮ І СИНХРОНІЗАЦІЄЮ НЕСУЧОЇ	211
В. Т. КОНДРАТОВ ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ МЕТРОЛОГИЯ: МАГНИТОПОЛЕВАЯ ТЕОРИЯ ИЗМЕРЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЯВЛЕНИЯ ПЕРЕНОСА ЭНЕРГИИ И ИНФОРМАЦИИ СКВОЗЬ МАТЕРИАЛ ИЛИ ВЕЩЕСТВО. ЧАСТЬ 8. ИЗМЕРЕНИЕ УДЕЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ ПРОВОДЯЩИХ И СЛАБО ПРОВОДЯЩИХ МАТЕРИАЛОВ	218
В. С. ПЕТРУШАК РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАСОБУ ПОШУКУ МАКСИМАЛЬНИХ ЗНАЧЕНЬ ДЛЯ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ	230
В. І. СТЕЦЮК, В. В. МЕДВЕДЬ ПРОЕКТУВАННЯ СУЧАСНИХ ШИРОКОСМУГОВИХ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖ	235
В. О. ПАРХОМЕНКО, В. П. РОЙЗМАН, А. В. ГОРОШКО АКУСТИКО-ЕМІСІЙНИЙ МЕТОД НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ І ПРОГНОЗУВАННЯ МІЦНОСТІ КОМПАУНДОВАНИХ КОНДЕНСАТОРІВ	239
Д. Ю. ЗУБЕНКО, О. Н. ПЕТРЕНКО, В. О. ОРЛОВ ТЕПЛОПЕРЕДАЧА ЗОВНІШНЬОГО ВЕНТИЛЯТОРА ОХОЛОДЖЕННЯ В ЕЛЕКТРОДВИГУНІ ВИСОКОЇ НАПРУГИ	243
Л. О. КОВТУН, Р. ФРАНЧУК, В. М. ТКАЧУК ВИБІР АРХІТЕКТУРИ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ НАВЧАЛЬНОЇ СИСТЕМИ	248
А. С. СВЕРСТЮК, О. А. БАГРІЙ-ЗАЯЦЬ, А. Б. ГОРКУНЕНКО, З. В. МАЙХРУК, О. В. МОЙСЕЄНКО РОЗРОБКА КІБЕРФІЗИЧНИХ БІОСЕНСОРНИХ СИСТЕМ ДЛЯ МЕДИКО-БІОЛОГІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	252
К. Л. ГОРЯЩЕНКО, О. В. ШЕВЧУК ВИКОРИСТАННЯ ПРОГРАМНО-КОНФІГУРОВАНИХ МЕРЕЖ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ МЕРЕЖ В СТАНДАРТІ TMN	258
ОБМІН ПРАКТИЧНИМ ДОСВІДОМ, ТЕХНОЛОГІЯМИ ТА ОБГОВОРЕННЯ	
О. О. РУБАНЕНКО, В. П. ЯНОВИЧ, А. А. ВИДМИШ АНАЛІЗ РОБОТИ ВДЕ В РОЗПОДІЛЬНИХ МЕРЕЖАХ ТА ШЛЯХИ КОМПЕНСАЦІЇ ЇХ НЕСТАБІЛЬНОСТІ	264

О. В. BURYKIN, J. V. MALOHULKO, K. O. POVSTIANKO OPTIMIZATION OF CONNECTION SCHEMES AND OPERATING MODES FOR RENEWABLE ENERGY SOURCES IN LOCAL ELECTRIC SYSTEMS	270
Р. В. ХИНЕВИЧ, Д. Є. ЄРМОЛЕНКО, О. Л. ЯВОРСЬКИЙ ВІЗУАЛЬНІ ПЛАТФОРМИ ЯК СПОСІБ ПРОСУВАННЯ ВЛАСНОЇ ФОТОТВОРЧОСТІ ТА ВЗАЄМОДІЇ З АУДИТОРІЄЮ	275
С. Л. БУКОЄМСЬКИЙ АЛГОРИТМ ФУНКЦІОНУВАННЯ АДАПТИВНОЇ СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОЇ ПІДТРИМКИ ПАРКІВ ТЕХНІКИ ДПСУ	281
Ю. П. ЗАСПА СИЛЬНА, СЛАБКА ТА ЕЛЕКТРОМАГНІТНА СКЛАДОВІ МАСИ ЕЛЕКТРОНА, ПРОТОНА ТА НЕЙТРОНА, РОЗРАХОВАНІ ЗА УМОВИ ВИРІВНЮВАННЯ ВІДПОВІДНИХ ЕЛЕКТРОЗАРЯДОВИХ ТА МАГНІТНОЗАРЯДОВИХ РАДІУСІВ ЦИХ ПСЕВДОЕЛЕМЕНТАРНИХ ЧАСТИНОК	288
О. І. ХИЖАН, В. К. БУХТІЯРОВ, Л. О. КОВШУН МЕТОДОЛОГІЯ ФОРМУВАННЯ ЕЛЕКТРОННОГО НАВЧАЛЬНОГО КУРСУ З ДИСЦИПЛІНИ ФІЗИЧНА І КОЛОЇДНА ХІМІЯ	291
В. І. БУЛЬБА, С. В. МИХАЛКІВ МОДЕЛЮВАННЯ ПОШКОДЖЕНЬ ЕЛЕМЕНТІВ ПІДШИПНИКІВ КОЧЕННЯ ТЯГОВОГО РЕДУКТОРА ЕЛЕКТРОПОЇЗДІВ	296

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.

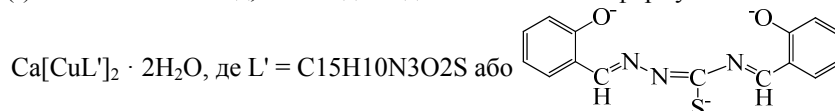
Сучасна координаційна хімія дозволяє синтезувати різноманітні гетерометалічні комплексні сполуки з широким спектром фізико-хімічних властивостей та практичним їх застосуванням в різних галузях. Зокрема інтерес до гетерометалічних координаційних сполук зумовлений об'єднанням в їх молекулі двох металів 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 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]:

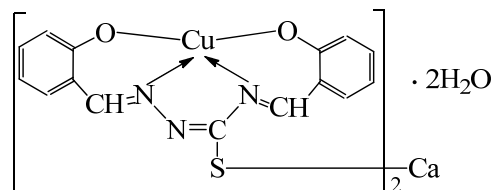


Рис. 1. Схема координації катіонів металів в сполуці I

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.

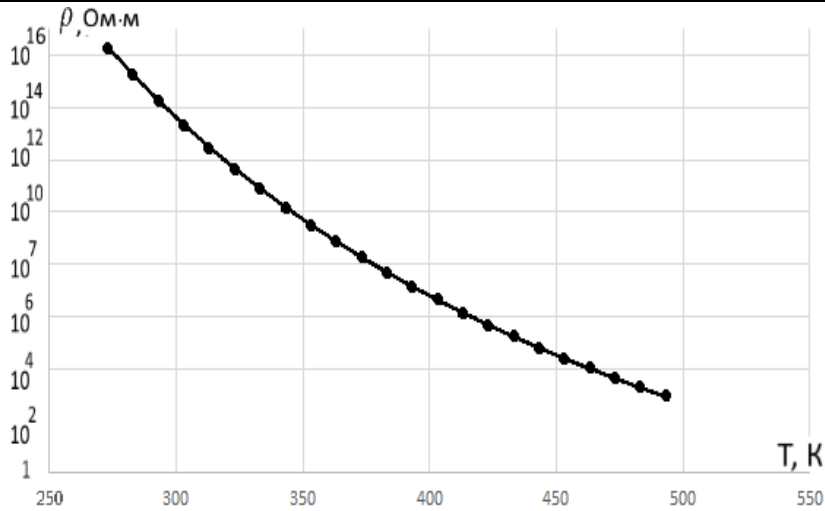


Рис. 2. Логарифмічна залежність питомого опору кальцій ди[N,N'-біс(саліциліден)гіоємікарбазидатокупрату(II)] від температури

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.

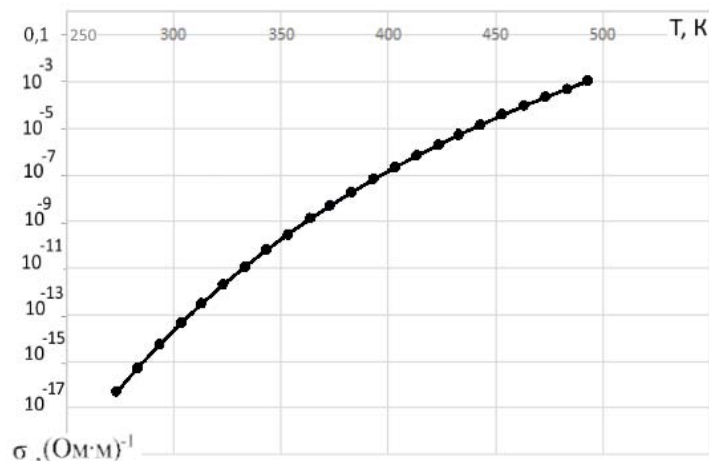


Рис. 3. Логарифмічна залежність питомої провідності напівпровідникового матеріалу від температури

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; σ – 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.

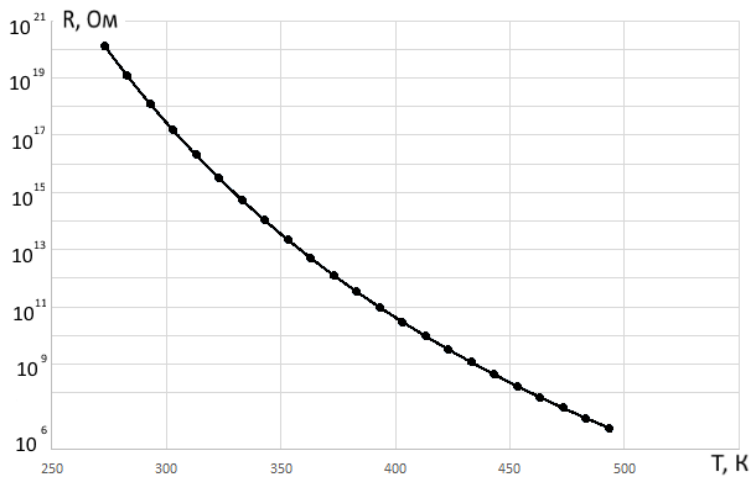


Рис. 4. Логарифмічна залежність опору матеріалу від температури

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.

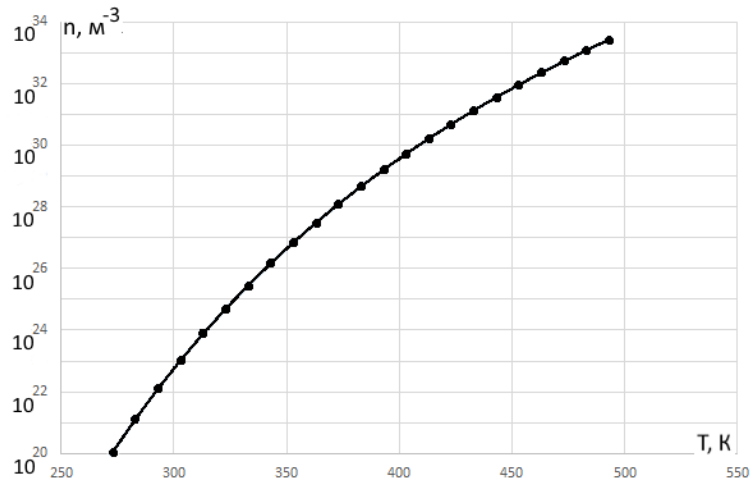


Рис. 5. Логарифмічна залежність концентрації носіїв заряду від температури

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

Розрахунок рухливості носіїв заряду, показав що вона не залежить від температури, тобто є сталою величиною $\mu = 3,22 \cdot 10^{-18}$ м²/(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.

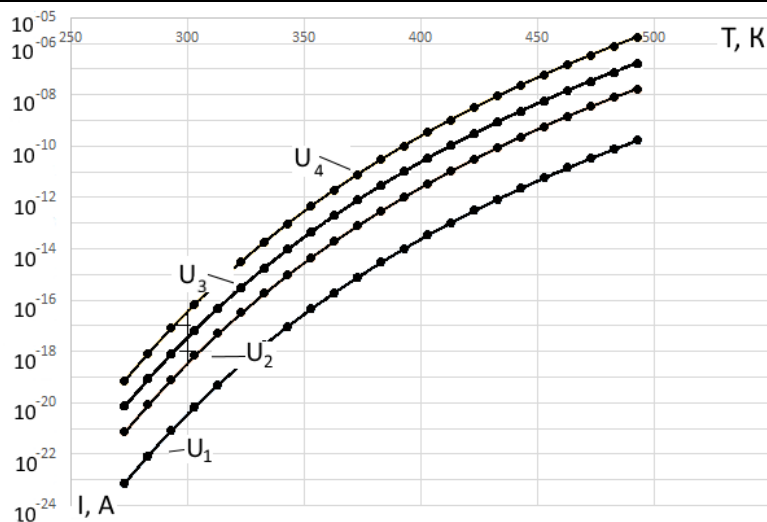


Рис. 6. Логарифмічна залежність сили струму від температури при напругах $U_1 = 0,001$ В; $U_2 = 0,1$ В; $U_3 = 1$ В; $U_4 = 10$ В

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.

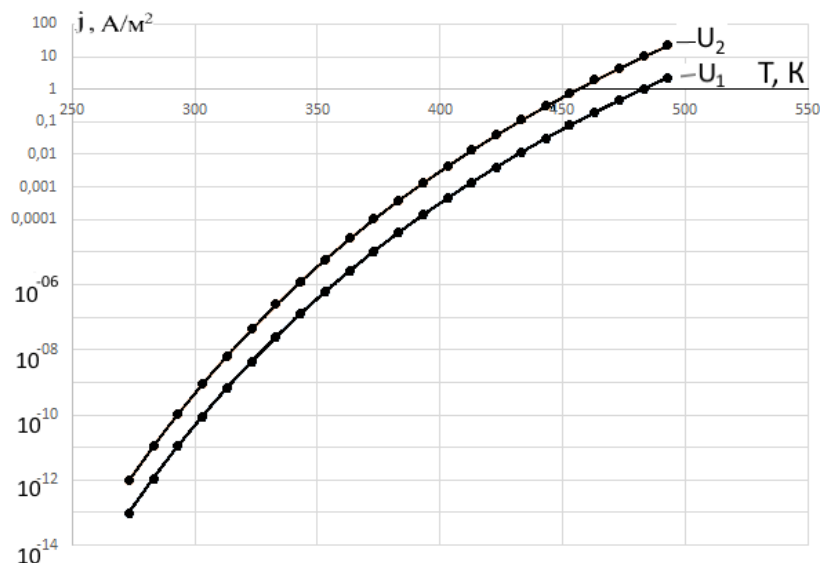


Рис. 7. Логарифмічна залежність густини струму від температури при напругах $U_1 = 1$ В; $U_2 = 10$ В

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/м² до 2,29 А/м², при напрузі живлення $U_1 = 1$ В; та від $9,8 \cdot 10^{-13}$ А/м² до 22,93 А/м², 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.

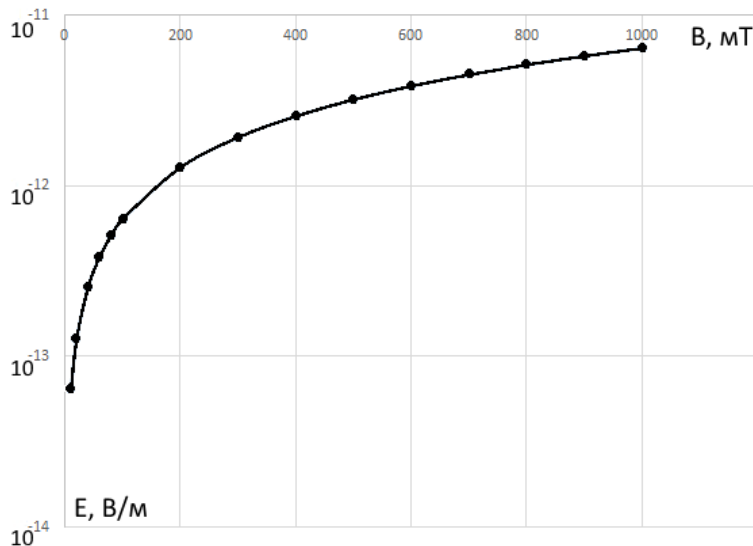


Рис. 8. Логарифмічна залежність Холлівської напруженості електричного поля в середині напівпровідника при дії на нього магнітного поля при різних температурах

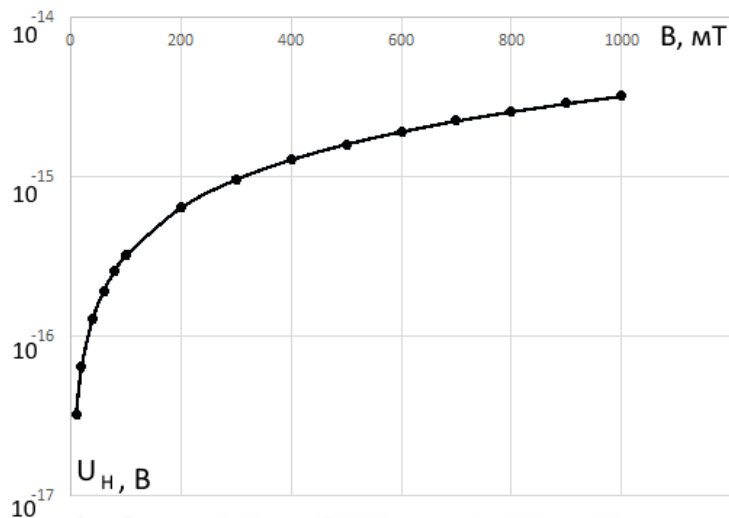


Рис. 9. Логарифмічна залежність напруги Холла напівпровідника при дії на нього магнітного поля при різних температурах

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 ρ 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 heterometalvoi 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. khymiya. – 2010 – Том 36, № 4. – С. 298–303.

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

8. Ranskiy A. P. Syntez i vlastyivosty heterometallevykh koordynatsiinykh spoluk kuprumu(II), nikolu(II) abo kobaltu(II) i luzhnozemelnykh elementiv z N,N-bis(salicylidene)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.