

УДК 621.38

ЧАСТОТНИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ ІНДУКЦІЇ МАГНІТНОГО ПОЛЯ НА ОСНОВІ ГЕТЕРОМЕТАЛЕВОЇ КОМПЛЕКСНОЇ СПОЛУКИ

DOI 10.36994/2707-4110-2020-1-28-05

Осадчук О. В., д.т.н., проф., Вінницький національний технічний університет,
Вінниця, Україна. osadchuk.av69@gmail.com

Мартинюк В. В., к.т.н., доц., Вінницький національний технічний університет,
Вінниця, Україна. gyravl6@gmail.com

Євсєєва М. В., к.х.н., доц., Вінницький національний медичний університет імені
М.І.Пирогова. evseevamv359@gmail.com

Осадчук Я. О., к.т.н., доц., Вінницький національний технічний університет,
Вінниця, Україна. osadchuk.j93@gmail.com

Анотація. В роботі досліджено можливості використання нанокompозитного матеріалу μ -метоксо (купрум(II), бісмут(III)) ацетилацетонату (I), такого складу: $\text{Cu}_3\text{Bi}(\text{AA})_4(\text{OCH}_3)_5$, де $\text{HAA} = \text{H}_3\text{C}-\text{C}(\text{O})-\text{CH}_2-\text{C}(\text{O})-\text{CH}_3$, в якості магніторезистивного чутливого елемента, в частотному перетворювачі магнітного поля. Розглянуто модель частотного магнітного перетворювача, на основі автогенератора з біполярним та польовим транзисторами. На основі даної моделі отримано ВАХ магнітного перетворювача, залежності величини струму, напруги та частоти вихідного сигналу при зміні опору магніточутливого резистора. Отримано графічну залежність частоти вихідного сигналу від індукції магнітного поля, на основі якої визначено чутливість магнітного перетворювача.

Ключові слова: нанокompозитний матеріал, напівпровідниковий матеріал, магнітне поле, індукція, магніторезистор, від'ємний опір, частотний перетворювач.

FREQUENCY TRANSDUCER OF MAGNETIC FIELD INDUCTION BASED ON HETEROMETALLIC COMPLEX COMPOUND

Osadchuk O. V., Dr. habil., prof., Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia,
Ukraine. osadchuk.av69@gmail.com

Martyniuk V. V., Ph.D., As. prof., Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia,
Ukraine. osadchuk.av69@gmail.com

Evseeva M. V., Ph.D., As. prof., Vinnytsia National Pirogov Memorial Medical
University. gyravl6@gmail.com

Osadchuk I. O., Ph.D., As. prof., Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia,
Ukraine. osadchuk.j93@gmail.com

Abstract. The possibilities of using nanocomposite material μ -methoxo (copper (II), bismuth (III)) acetylacetonate (I), the following composition: $\text{Cu}_3\text{Bi}(\text{AA})_4(\text{OCH}_3)_5$, de HAA = $\text{H}_3\text{C}-\text{C}(\text{O})-\text{CH}_2-\text{C}(\text{O})-\text{CH}_3$, as a magnetoresistive sensitive element, in a frequency transducer of a magnetic field. In order to create a suitable heterometallic complex compound, a method for its synthesis was developed. The structure, composition and physicochemical properties of the synthesized nanocomposite material were confirmed on the basis of elemental, X-ray phase analyzes, magnetochemical, IR spectroscopic and thermogravimetric studies. According to research, the density of the corresponding material $\rho = 5,659 \cdot 10^3 \text{ g/m}^3$, the mass of one molecule $m_0 = 157,837 \cdot 10^{-26} \text{ kg}$, the number of valence electrons $N = 1450,715 \cdot 10^{19}$, which made it possible to calculate the concentration of charge carriers at a temperature of 323 K: $n = 82.1 \cdot 10^{28} \text{ m}^{-3}$. The study of the electrical properties of μ -methoxo (copper (II), bismuth (III)) acetylacetonate in compressed form in the temperature range 323 - 393 K showed that with increasing temperature, its resistivity drops sharply from $8 \cdot 10^7$ to $70 \text{ Ohm}\cdot\text{cm}$, which is typical for semiconductor materials. Based on these data, the band gap $\Delta E = 2.18 \text{ eV}$ was determined. Calculations have shown that this material is a semiconductor, with current carriers of both signs. The dependence of the concentration of charge carriers on the temperature is obtained.

The model of the frequency transducer, on the basis of the autogenerator from bipolar to field-effect transistors is considered. Simulation of this scheme was performed in the program LTspice XVIII. Based on this model, the $I - V$ characteristics of this transducer, the dependence of the current, voltage and frequency of the output signal when changing the resistance of the magnetically sensitive resistor. The graph of dependence of frequency of an output signal on induction of a magnetic field on the basis of which sensitivity of the given transducer is defined is received.

Keywords: nanocomposite material, semiconductor material, magnetic field, induction, magnetoresistor, negative resistance, frequency transducer.

Вступ

Застосування нанокompозитних матеріалів для вимірювання таких неелектричних величин, як температура, величина світлового потоку, вологість та індукція магнітного поля є актуальною науково-технічною задачею. На сьогоднішній день промисловістю серійно виготовляються велике розмаїття первинних перетворювачів магнітного поля (сенсорів). Вони відрізняються як за принципом дії, так і за робочими параметрами [1-3]. Проте застосування гетерометалевих комплексних сполук в якості чутливих елементів частотних вимірювачів магнітного поля, досліджено на недостатньому рівні.

Проблема створення нових нанокompозитних матеріалів зі спеціальними, наперед запланованими, властивостями, для створення сенсорів магнітного поля, існує певний час. Створення таких електропровідних матеріалів дозволяє реалізувати нові фізичні принципи. Це дає можливість використовувати їх як первинні сенсори в частотних перетворювачах магнітного поля, що дозволить підвищити надійність та ефективність таких виробів.

В даній роботі проведено дослідження основних параметричних характеристик перетворювача магнітного поля з частотним виходом на основі

гетерометалевого μ -метоксо (купрум(II), бісмут(III)) ацетилацетонату (I) магніточутливого резистора.

Теоретичні та експериментальні дослідження

Як відомо з літературних джерел [4 – 7], гетерометалеві комплексні сполуки володіють напівпровідниковим типом провідності, причому інтервал робочих температур залежить від природи центральних атомів, стереохімії метал-лігандного оточення, місткових лігандів і, можуть бути використані як напівпровідниковий матеріал для виготовлення первинних сенсорів.

З метою створення відповідної гетерометалевої комплексної сполуки, була розроблена методика синтезу μ -метоксо(купрум(II), бісмут(III)) ацетилацетонату (I), такого складу: $\text{Cu}_3\text{Bi}(\text{AA})_4(\text{OCH}_3)_5$, де $\text{HAA} = \text{H}_3\text{C}-\text{C}(\text{O})-\text{CH}_2-\text{C}(\text{O})-\text{CH}_3$. Будова, склад та фізико-хімічні властивості синтезованого нанокompозитного матеріалу підтверджено на основі даних елементного, рентгенофазового аналізів, магнетохімічного, ІЧ-спектроскопічного і термогравіметричного досліджень [8]. Для отриманої комплексної сполуки запропоновано таку схему розміщення хімічних зв'язків (рис. 1) [8]:

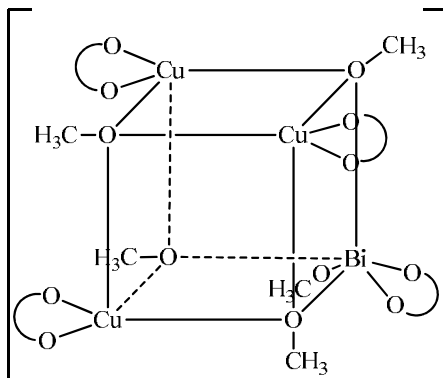


Рис. 1. Схема розміщення хімічних зв'язків $\text{Cu}_3\text{Bi}(\text{AA})_4(\text{OCH}_3)_5$

За даними досліджень розраховано густину відповідного матеріалу $\rho = 5,659 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$, масу однієї молекули $m_0 = 157,837 \cdot 10^{-26} \text{ кг}$, кількість валентних електронів $N = 1450,715 \cdot 10^{19}$, що дало можливість розрахувати концентрацію носіїв заряду при температурі 323 K: $n = 82,1 \cdot 10^{28} \text{ м}^{-3}$.

Дослідження електричних властивостей μ -метоксо(купрум (II), бісмут (III)) ацетилацетонату в спресованому вигляді в інтервалі температур 323 – 393 K показало, що при зростанні температури його питомий опір різко спадає від $8 \cdot 10^7 \text{ Ом}\cdot\text{см}$ до $70 \text{ Ом}\cdot\text{см}$, що є типовим для напівпровідникових матеріалів.

На основі цих даних була визначена ширина забороненої зони $\Delta E = 2,18 \text{ еВ}$. Розрахунки показують, що даний матеріал є дійсно напівпровідником, причому з носіями струму обох знаків. Залежність концентрації носіїв заряду від температури, в логарифмічному вигляді, подано на рис.2.

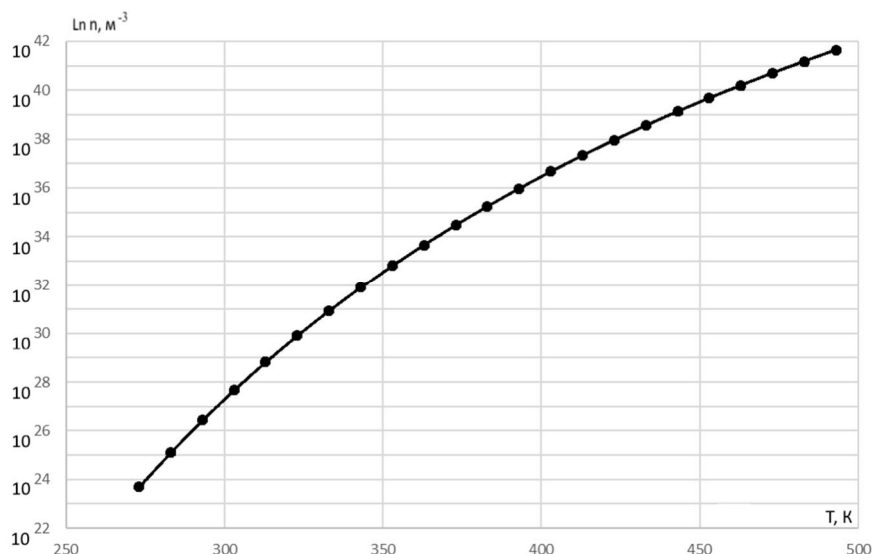


Рис. 2. Логарифмічна залежність концентрації носіїв заряду від температури

Як видно з рис.2, концентрація носіїв заряду зростає від $4,85 \times 10^{23}$ до $4,36 \times 10^{41}$, при зростанні температури від 273 до 493 K. При температурі 523 K починається розпадання даної хімічної структури.

Як видно, даний матеріал сильно змінює свої електрофізичні характеристики при дії на нього температури. Дослідимо на можливість використання μ -метоксо (купрум (II), бісмут (III)) ацетилацетонату, як чутливого елемента, в перетворювачах індукції магнітного поля. Для цього розглянемо схему представлену на рис.3., в якій магніточутливий резистор виготовлено з вище згаданого нанокompозитного матеріалу.

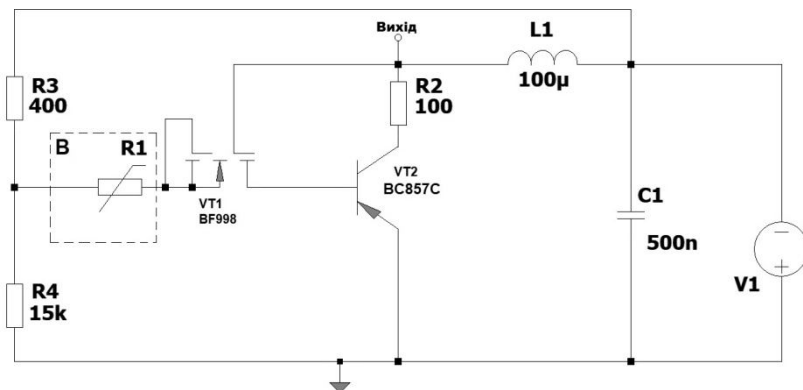


Рис. 3. Електрична схема частотного перетворювача з магніточутливим резистором на основі нанокompозитного матеріалу

На рис. 3 представлена схема магнітного частотного перетворювача з чутливим елементом – магніторезистором R1, яка складається з МДН-транзистора VT1 та біполярного транзистора VT2, живлення яких здійснюють

джерелом напруги V1. Коливальний контур утворено ємнісною складовою повного опору на електродах емітер-стік транзисторів VT2 та VT1 та індуктивністю L1.

Моделювання роботи даної схеми проводилося в програмі LTspice XVIII. Для визначення вольт-амперної характеристики перетворювача магнітної індукції, подільники напруги R3 та R4 замінили джерелом V2, напруга на якому змінювалася в діапазоні від 2 до 5 В з кроком 0,5 В. Напруга ж на джерелі V1 змінювалася від 0 до 10 В, з кроком 0,1 В (рис.4).

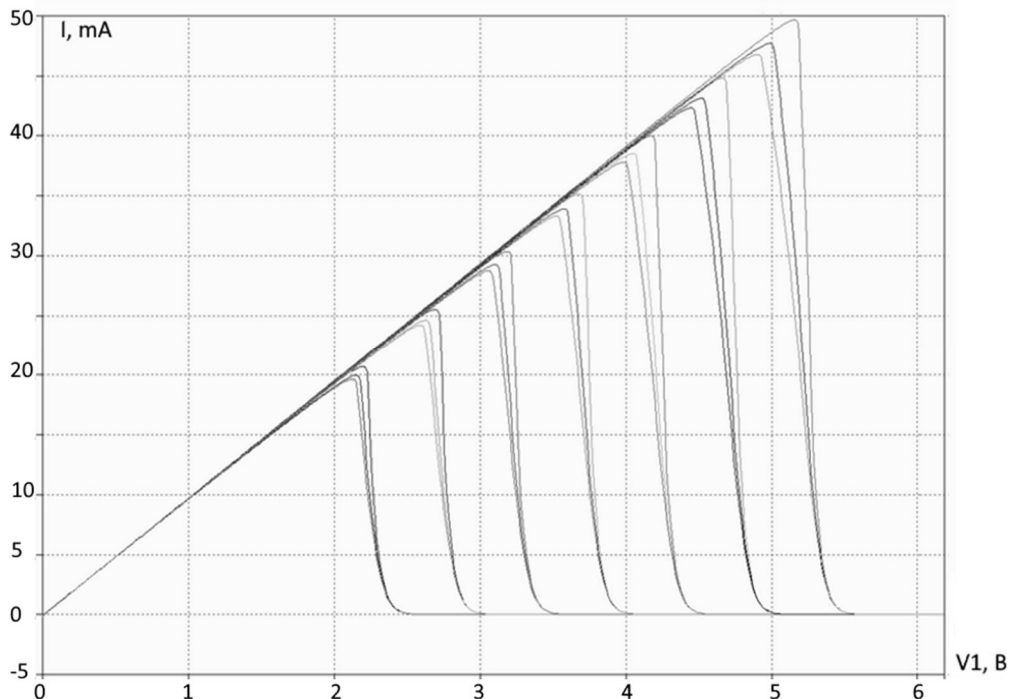


Рис. 4. Вольт-амперна характеристика частотного перетворювача на основі μ -метоксо (купрум (II), бісмут (III)) ацетилацетонату

Як видно з графіка ВАХ має n-подібний характер, що дає можливість використовувати дану схему, як схему з від'ємним диференційним опором.

Оскільки в програмі LTspice XVIII відсутня модель необхідного нам магніточутливого елемента, тому вона була замінена на декілька стаціонарних значень резистора R1: 100 Ом, 1000 Ом, 1500 Ом, які відповідають значенню індукції магнітного поля 0 Тл, 0,8 Тл та 1,5 Тл. Це дало можливість визначення величини струму та напруги вихідного сигналу. На рис. 5 подано значення величини струму від зміни опору магніторезистора.

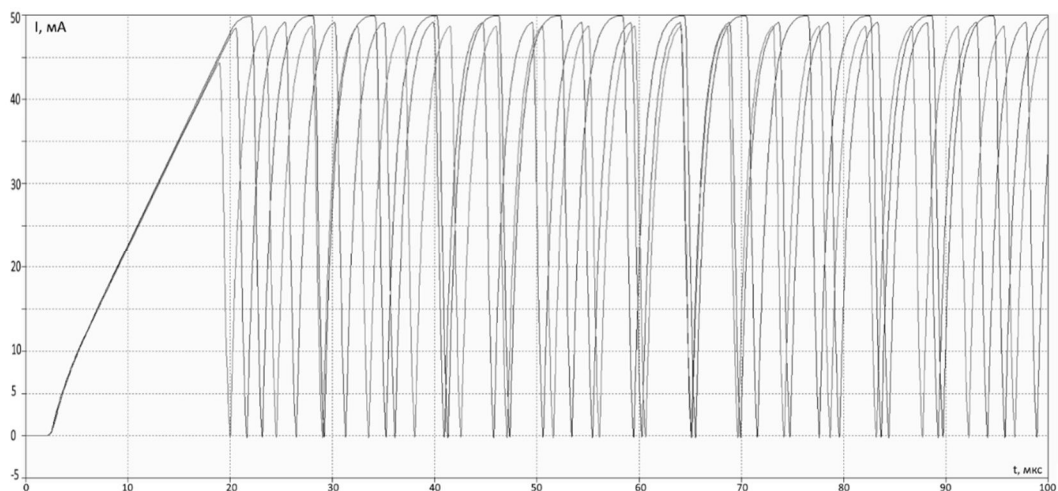


Рис. 5. Залежність величини вихідного струму від зміни опору магніточутливого нанокompозитного резистора

Як видно з графіка максимальна амплітуда вихідного сигналу становить 50 мА. Залежність амплітудного значення напруги вихідного сигналу від зміни опору чутливого елемента, подано на рис. 6

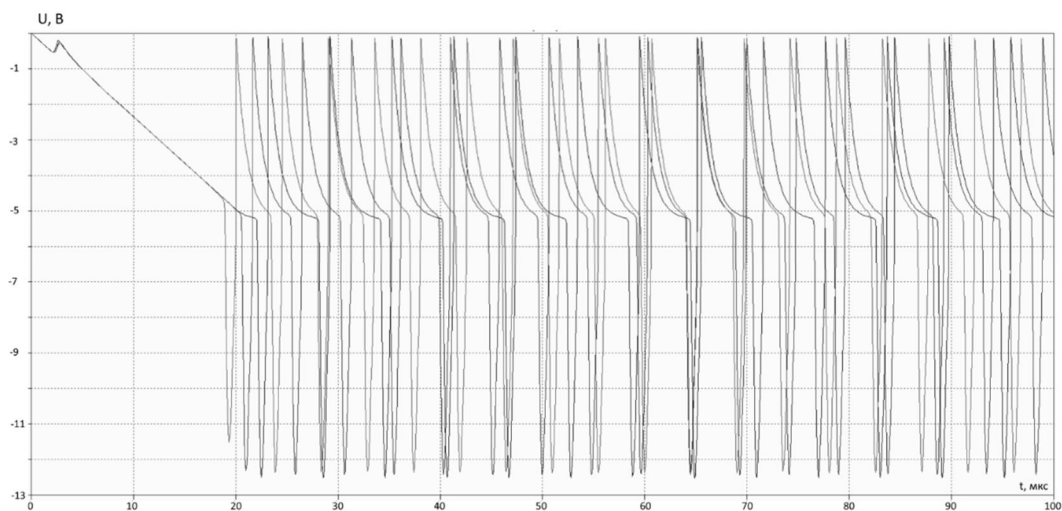


Рис. 6. Залежність величини вихідної напруги від зміни опору магніторезистора

Як видно з рисунку 6 середня амплітуда вихідного сигналу становить 12,5 В. При зростанні опору резистора R_1 , що еквівалентно зростанню величини індукції магнітного поля, що діє на напівпровідник, зростає і величина вихідного частотного сигналу з перетворювача індукції магнітного поля. Так при $R_1 = 100$ Ом частота становила 166,7 кГц, при $R_1 = 1000$ Ом частота була рівна 200,1 кГц. Максимальна частота становить 248,2 кГц, що відповідає опору 1500 Ом або індукції магнітного поля 1,5 Тл. Графічне підтвердження комп'ютерного моделювання представлено на рис.7.

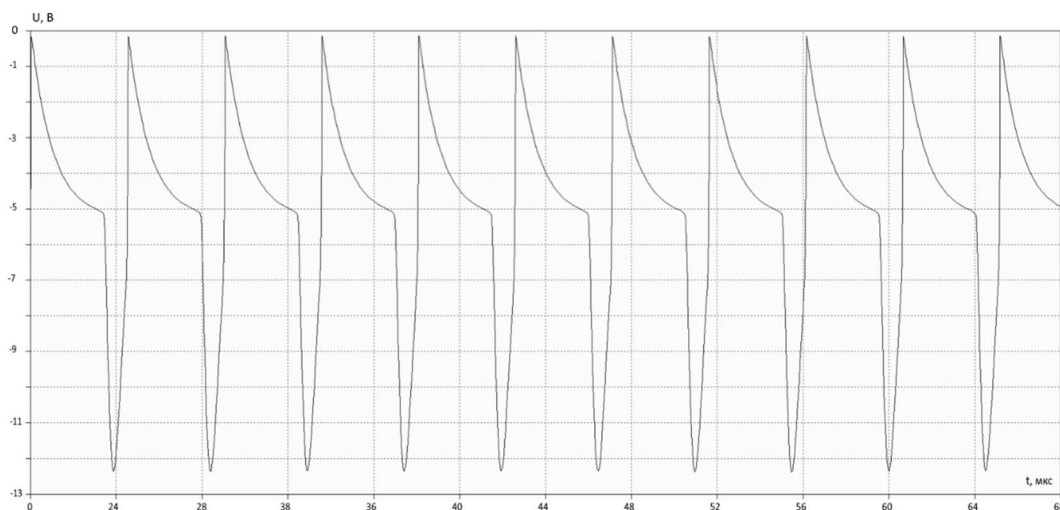


Рис. 7. Графік частоти вихідного сигналу при опорі магніточутливого резистора $R_1 = 1500 \text{ Ом}$

На основі проведеного математичного моделювання було отримано залежність частоти вихідного сигналу перетворювача від величини індукції магнітного поля (рис.8).

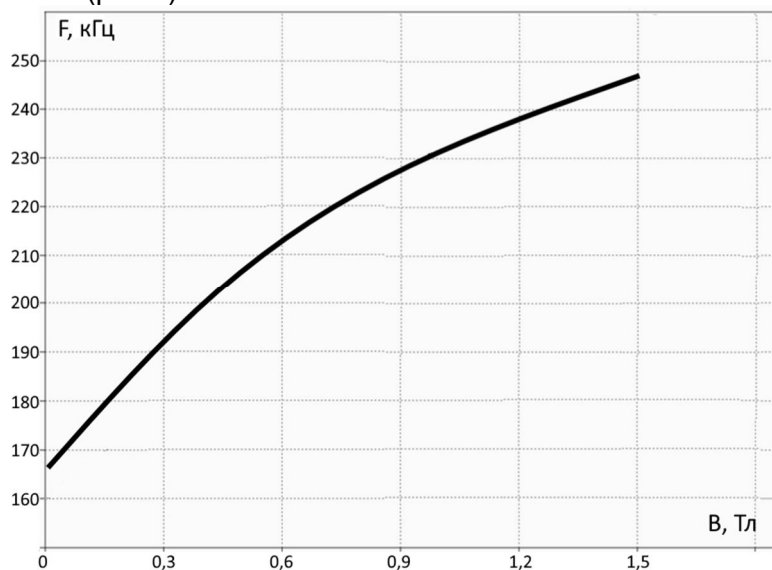


Рис. 8. Графік частоти вихідного сигналу від індукції магнітного поля

Як видно з рис. 8 при відсутності магнітного поля величина частоти вихідного сигналу становить $166,7 \text{ кГц}$, зі зростанням величини індукції частота зростає і сягає свого максимуму при $B = 1,5 \text{ Тл}$, становить $248,2 \text{ кГц}$. Отже, чутливість даного перетворювача становить $54,3 \text{ кГц/Тл}$, що є доволі перспективним для використання останнього як вимірювача індукції магнітного поля.

Висновки

Розглянуто модель частотного перетворювача, на основі автогенератора з біполярного та польового транзисторів з магніторезистором в якості чутливого елементу, який виготовлено з гетерометалевого μ -метоксо (купрум(II), бісмут(III)) ацетилацетонату (I). На основі розробленої моделі отримано ВАХ даного перетворювача, залежності величини струму, напруги та частоти вихідного сигналу при зміні опору магніточутливого резистора. Отримано графік залежності частоти вихідного сигналу від індукції магнітного поля, на основі якого визначено чутливість розробленого перетворювача магнітної індукції.

Література

1. Новицкий П.В. Цифровые приборы с частотными датчиками/ П. В. Новицкий, В. Г. Кноринг, В. С. Гутников // Л.: Энергия, 1970. – 424 с.
2. Осадчук О.В. Мікроелектронні частотні перетворювачі на основі транзисторних структур з від'ємним опором / О. В. Осадчук –Вінниця: «Універсум-Вінниця», 2000. – 303 с.
3. The Impact of Temperature and Magnetic Field on Physical Field on Physical Parameters of the Strontium-Containing Heterometallic Coordination Compound of Copper (II) / [O. Osadchuk, V. Martyniuk, I. Osadchuk et al.] // 2020 IEEE 15th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET), Lviv-Slavske, Ukraine, 2020, pp. 511-515, doi: 10.1109/TCSET49122.2020.235485.
4. 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.
5. Осадчук О. В. Дослідження впливу температури на фізичні параметри напівпровідника μ -метоксо(купрум(II), бісмут(III)) ацетилацетонату / [О. В. Осадчук, В. В. Мартинюк, М. В. Євсєєва, О. О. Селецька] // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2019 – №4 (145). – С.80–86.
6. Осадчук О. В. Сенсор на основі гетерометалевої комплексної сполуки купрум (II) з біс(саліциліден)тіосемикарбазидом / [О. В. Осадчук, В. В. Мартинюк, М. В. Євсєєва, Т. І. Сидорук] // Вісник Хмельницького національного університету. – 2019 – №5. – С. 169–175.
7. 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. журн. – 2013. – Т. 79, № 2. – С. 74-79.
8. Самусь Н. М. Гетерометаллические μ -алкоко(медь, висмут)содержащие ацетилацетонаты / [Н. М. Самусь, В. И. Цапков, М. В. Гандзий] // Журнал общей химии.– 1993. – Т. 63, № 1. – С. 177-182.

References

1. Novitsky P.V. Digital devices with frequency sensors / P.V. Novitsky, V.G. Knoring, V.S. Gutnikov // L.: Energy, 1970. - 424 p.
2. Osadchuk O.V. Microelectronic frequency converters based on transistor structures with negative resistance / O.V. Osadchuk - Vinnytsia: "Universum-Vinnytsia", 2000. - 303 p.
3. The Impact of Temperature and Magnetic Field on Physical Field on Physical Parameters of the Strontium-Containing Heterometallic Coordination Compound of Copper (II) / [O. Osadchuk, V. Martyniuk, I. Osadchuk et al.] // 2020 IEEE 15th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET), Lviv-Slavske, Ukraine, 2020, pp. 511-515, doi: 10.1109 / TCSET49122.2020.235485.

4. Osadchuk O.V. Magnetically sensitive sensor based on heterometallic complex compounds / [O. V. Osadchuk, V.V. Martyniuk, M.V. Evseeva, O.O. Seletskaya] // Bulletin of Khmelnytsky National University. - 2019 - №3. - P. 97–101.
5. Osadchuk O.V. Investigation of the effect of temperature on the physical parameters of the semiconductor μ -methoxy (copper (II), bismuth (III)) acetylacetonate / [O. V. Osadchuk, V.V. Martyniuk, M.V. Evseeva, O.O. Seletskaya] // Bulletin of Vinnytsia Polytechnic Institute. - 2019 - №4 (145). - P.80–86.
6. Osadchuk O.V. Sensor based on heterometallic complex compound of copper (II) with bis (salicylidene) thiosemicarbazide / [O. V. Osadchuk, V.V. Martyniuk, M.V. Evseeva, TI Sidoruk] // Bulletin of Khmelnytsky National University. - 2019 - №5. - P. 169–175.
7. Ransky A.P. Synthesis and properties of heterometal coordination compounds of copper (II), Nickel (II) or cobalt (II) and alkaline earth elements with N, N'-bis (salicylidene) semicarbazide / A.P. Ransky, M. V. Evseeva, T.I. Panchenko, O.A. Gordienko // Ukr. chem. magazine. - 2013. - Vol. 79, № 2. - P. 74-79.
8. Samus N.M. Heterometallic μ -alkoxy (copper, bismuth) containing acetylacetonate / [N. M. Samus, V.I. Tsapkov, M.V. Gandziy] // Journal of General Chemistry.– 1993. - Vol. 63, № 1. - P. 177-182.