

**Наукові основи та закономірності електрохімічних процесів формування упорядкованих нанорозмірних та мікрорівневих матеріалів хемотроники**

**Научные основы и закономерности электрохимических процессов формирования упорядоченных наноразмерных и микроуровневых материалов хемотроники**

**Scientific principles and patterns of electrochemical processes of formation of ordered nanoscale and microlevel chemotronic materials**

1. **Номер державної реєстрації теми - 0116U003761, КПШ ім. Ігоря Сікорського - 2920-ф.**
2. **Науковий керівник -** д.т.н., проф. Лінючева О.В., Линючева О.В., Linyucheva Olga V.
3. **Суть розробки, основні результати.**

**(укр.)**

Створені наукові основи електрохімічного формування упорядкованих нано- та мікрорівневих матеріалів хемотроники базуються на розмежуванні впливу механізму транспорту заряду електрохімічного процесу на стратифікацію структури поверхневих фаз електрода, яке для напівпровідникових фаз керується відношенням градієнтів електричного поля і носіїв заряду у рідкій та в твердій фазах. Нанорівневе структурування потребує контролю градієнтами поля у напівпровідниковій фазі і пов'язане з переносом заряду на межі електрод-електроліт. Мікрорівневе структурування потребує контролю градієнтами концентрації у розчині й регулює масообмін в 3D-електродах. Напрямок росту твердої фази відповідає переважному вектору електричного поля, тангенціальні спотворення якого нівелюють величинами градієнтів поля, досяжними в імпульсному режимі. Високочастотний імпульсно-реверсний режим дає контроль над транспортом зарядів у напівпровіднику на частоті 10 кГц завдяки усуненню впливу переносу на межі напівпровідник-розчин та у розчині. При частоті 100 кГц досягається критичне відставання перебудови градієнту стехіометрії TiO<sub>2</sub> від градієнту електричного поля, що сприяє дробленню й ущільненню фази TiO<sub>2</sub>. Тому формування металевих фаз заданого розміру можливо лише на мікрорівні, а напівпровідникові структури з характерним розміром 10 нм неможливо сформувати методами електрохімії водних розчинів. Створені наукові основи обґрунтовують нові методи захисту від корозії вентиляльних металів в елементах хемотроники і системах катодного захисту, метода покращення технічних характеристик 3D-електродів газових сенсорів. Вперше показана можливість створення електрохімічних діодів з одним чи обома титановими електродами.

**(рос.)**

Созданные научные основы и закономерности электрохимического формирования упорядоченных наноразмерных и микроуровневых материалов хемотроники базируются на четком разграничении влияния механизма транспорта заряда лимитирующей стадии электрохимического процесса на стратификацию структуры поверхностных оксидных и металлических фаз электрода. Структурирование полупроводниковых фаз руководствуется отношением градиентов электрического поля и носителей заряда в жидкой и в твердой фазах. Наноразмерное структурирование требует контроля градиентами в полупроводниковой фазе и имеет обратную связь со стадией переноса заряда через границу раздела электрод-электролит. Микроуровневое структурирование требует контроля градиентами в растворе и регулирует массообмен в 3D-электродах. Направление роста твердой фазы соответствует преобладающему вектору электрического поля, нивелировать тангенциальные искажения которого можно лишь при величинах градиентов, достижимых импульсным режимом. Гарантировать контроль транспортом зарядов в полупроводнике можно в высокочастотном импульсно-реверсном режиме, поскольку на частоте от 10 кГц нивелируется влияние переноса на границе полупроводник-раствор и в растворе. А при частотах около 100 кГц достигается

критическое отставание перестройки градиента стехиометрии диоксида титана от градиента электрического поля, следствием чего является дробление и уплотнение полупроводниковой фазы. Из названных причин формирования металлических фаз заданного размера возможно только на микроуровне, а полупроводниковые структуры с характерным размером менее 10 нм невозможно сформировать методами электрохимии водных растворов. Созданные научные основы позволили теоретически обосновать новый метод защиты от коррозии электродов из вентильных металлов, предназначенных для замены благородных металлов в элементах хемотроники и системах катодной защиты, методы улучшения технических характеристик 3D-электродов газовых сенсоров. Впервые показана возможность создания электрохимических диодов с одним или обоими титановыми электродами.

**(англ.)**

The created scientific bases and regularities of electrochemical formation of ordered nano- and micro-level materials of hemotronics are based on a clear separation of the influence of the charge transport mechanism of the limiting stage of the electrochemical process on the stratification of the structure of the surface oxide and metal phases of the electrode. The structuring of semiconductor phases is governed by the ratio of gradients of the electric field and charge carriers in liquid and solid phases. Nano-level structuring requires control of gradients in the semiconductor phase and has an inverse relationship with the stage of charge transfer through the separation line "electrode-electrolyte". Micro-level structuring requires gradient control in solution and regulates mass transfer in 3D electrodes. The direction of growth of the solid phase corresponds to the predominant vector of the electric field, leveling tangential distortions which can be only for the magnitudes of gradients, achievable impulse regime. It is possible to guarantee control of transport of charges in a semiconductor in high-frequency pulse-reverse mode, since at the frequency of 10 kHz the effect of transfer on the edge of the semiconductor-solution and in the solution is leveled. And at frequencies of about 100 kHz it is achieved a critical delay of the gradient of stoichiometry of titanium dioxide from the gradient of an electric field, which results in the crushing and sealing of the semiconductor phase. For these reasons, the formation of metal phases of a given size is possible only on the micro level, and semiconductor structures with a characteristic size of less than 10 nm can not be formed by methods of electrochemistry of aqueous solutions. The created scientific bases allowed theoretically to substantiate the new method of protection against corrosion of electrodes from valve metals intended for replacement of noble metals in the elements of hemotronics and cathodic protection systems, methods of improving the technical characteristics of 3D-electrodes of gas sensors. For the first time it was shown the possibility of creating electrochemical diodes with one or both titanium electrodes.

#### **4. Наявність охоронних документів на об'єкти права інтелектуальної власності.**

- Заявка на патент № u201605409. Комірка електрохімічного джерела мікропотуку сірководню / Лінючева О.В., Кушмирук А.І., Мірошніченко Ю.С., Косогін О.В. - Заявл. 19.05.2016;
- Патент на корисну модель №104298 «Спосіб комплексної переробки багатих на мідь окислених та карбонатних руд» Ущиповський Д.Ю., Лінючева О.В., Донченко М.І., Бик М.В. опубл. 25.01.2016. бюл. №2;
- Подана 18.12.2018 заявка на патент «Електрохімічний випрямляч змінного струму на основі титанового електроду» авторів Букета О.І., Ганіча Д.В.

#### **5. Порівняння зі світовими аналогами.**

Створені наукові основи електрохімічного формування упорядкованих нанорозмірних та мікрорівневих матеріалів хемотроники **перевищують або відповідають світовому рівню**, оскільки не мають відповідних аналогів внаслідок того, що стосуються процесів і явищ, які до сьогодні або лишалися поза увагою, або були невідомі. Вперше теоретично обґрунтовано й експериментально доведено існування коливальних редокс-процесів, що сприяють формуванню й стабілізації поверхневих гідратованих напівпровідникових

наноструктур, стеричні параметри яких визначаються співвідношенням подвійних електричних шарів у розчині й напівпровіднику, а також залежать від активності води. Теоретично обґрунтовано й практично виявлено умови формування нанорозмірних і мікрорівневих структур. Одержані теоретичні напрацювання дозволили розробити принципи зниження перехідного опору на межі напівпровідник-розчин при одночасному регулюванні селективності електрода шляхом надання певного поляризаційного опору окремим групам електрохімічних процесів, у т.ч. за рахунок імітації процесу допування зовнішніх гідратованих шарів напівпровідника гідратованими іонами з розчину, що дозволило розробити принципи вдосконалення кількох електрохімічних технологічних процесів та новий спосіб протикорозійного захисту.

#### **6. Економічна привабливість для просування на ринок**

Застосування створених наукових основ та закономірностей дозволить швидше й з меншими витратами розробити методи підготовки поверхні вентильних металів, а також металів і сплавів схильних до пасивації, які дозволять збільшити їх захист від корозії та покращити комплекс інших технічних характеристик, пов'язаних з тривалістю перехідних процесів та перехідним опором, що важливо для широкого спектру хемотронних пристроїв, включаючи електрохімічні сенсори, хімічні джерела струму, електрохімічні аналоги радіоелектронних елементів тощо.

Потрібний обсяг інвестицій 10 млн. грн.. Вартість реалізації проекту 100 млн. грн.. Термін окупності 5 років.

#### **7. Потенційні користувачі (галузі, міністерства, підприємства, організації).**

Потенційними користувачами є приладобудівні підприємства України різного профілю, які можуть вдосконалити свою продукцію розробленими методами протикорозійного захисту та впровадити виробництво електрохімічних діодів, новизна яких буде захищена патентом, заявка на який подана 18.12.2018. Потенційними споживачами, із якими встановлено госпдоговірні відносини, є ПрАТ “Украналіт” (Київ), НВП “Оріон” (Харків), ТОВ “АГАТ” (м. Харків).

Наукові результати впроваджено у навчальний процес КПІ ім. Ігоря Сікорського та може бути впроваджено в інші організації, що підпорядковані МОН України. Результати роботи будуть використані в наступних прикладних дослідженнях в КПІ ім. Ігоря Сікорського.

#### **8. Стан готовності розробки.**

Створені наукові основи електрохімічних процесів формування упорядкованих нанорозмірних та мікрорівневих матеріалів хемотроніки дозволили запропонувати вдосконалення для технологій гідрометалургії, протикорозійного захисту, підготовки поверхні вентильних металів під різні задачі використання в елементах хемотроніки, що сприятиме підвищенню необхідних технічних характеристик. Запропоновані методи структурування поверхневих оксидів сприяють скороченню тривалості перехідних процесів, зниженню фонових струмів і підвищенню селективності електрохімічних сенсорів, підвищенню коефіцієнту випрямлення електрохімічного діода вперше запропонованої системи, а загалом здатні підвищити протикорозійну стійкість й подовжити термін служби та стабільність характеристик вже названих і будь-яких хемотонних пристроїв.

#### **9. Існуючі результати впровадження.**

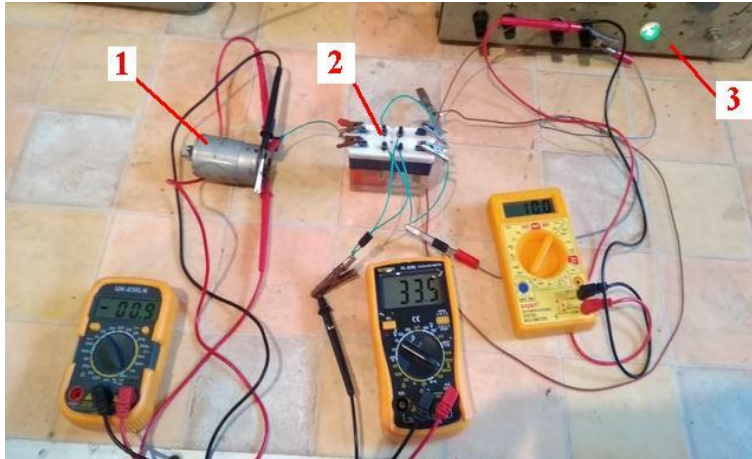
Одержані наукові результати вже впроваджені на кафедрі ТЕХВ КПІ ім. Ігоря Сікорського для підвищення селективності, стабільності, а також зниження фонового струму й тривалості перехідних процесів сенсорів уніфікованої серії КПІ ім. Ігоря Сікорського. Також результати роботи впроваджено в навчальний процес в лекційних курсах з дисциплін «Прилади і методи досліджень електрохімічних процесів», «Нові електрохімічні системи і технології в промисловості, охороні довкілля та енергетиці», «Нанотехніка та нанотехнології». За матеріалами роботи захищена 1 кандидатська

дисертація й підготована 1 докторська дисертація, а також захищено 12 магістерських дисертацій.

#### 10. Назва організації, телефон, E-mail

КПІ ім. Ігоря Сікорського, хіміко-технологічних факультет, кафедра технології електрохімічних виробництв, 406-82-06, [o\\_lin@xtf.kpi.ua](mailto:olin@xtf.kpi.ua)

#### 11. Фото реалізації розробки в лабораторних умовах



1 – двигун постійного струму; 2 – діодний місток; 3 – джерело змінної напруги.

Рисунок – Випробовування моста з чотирьох електрохімічних діодів з титановими робочими і вугільними допоміжними електродами у процесі випрямлення змінного струму для роботи електродвигуна постійного струму

#### 12. Перелік публікацій за матеріалами досліджень за період виконання розробки

##### Монографії

1. Перехідні процеси та електрокінетичні явища в газодифузійних електродах сенсорних систем: / Лінючева О.В., Букет О.І., Кушмирук А.І., Косогін О.В., Лінючев О.Г. – К.: Інтерсервіс, 2017. – 142с.
2. Promising Materials and Processes in Technical Electrochemistry: Monograph/ V.Z. Barsukov, Yu.V. Borysenko, O.I. Buket, V.G. Khomenko; editor-in-chief V.Z. Barsukov. Kyiv.: KNUTD, 2016. – 284 p. (колективна монографія під егідою Міжнародного Електрохімічного Товариства (ISE)).
3. Promising materials and processes in applied electrochemistry: Monograph; editor-in-chief V.Z. Barsukov and O.V. Linyucheva. – Kyiv: KNUTD, 2017. – 270 p. (колективна монографія під егідою Міжнародного Електрохімічного Товариства (ISE))

##### Навчальні посібники з грифом університету:

1. Теоретична електрохімія: Рівноважні і нерівноважні явища в розчинах електролітів: Лабораторний практикум (Частина 1) [Електронний ресурс]: навч.посіб. для студ. спеціальності 161 «Хімічні технології та інженерія», спеціалізації «Електрохімічні технології неорганічних та органічних матеріалів» / О.В.Лінючева, С.В. Фроленкова, Ю.С. Мірошніченко; ; КПІ ім. Ігоря Сікорського.– Електронні текстові дані (1 файл: 8,12 Мбайт). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 49 с.  
[http://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/25215/1/Teoretichna\\_elektrokhimiiia\\_Prakt1.doc](http://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/25215/1/Teoretichna_elektrokhimiiia_Prakt1.doc)
2. Теоретична електрохімія: Рівноважні і нерівноважні явища в розчинах електролітів: Лабораторний практикум (Частина 2) [Електронний ресурс]: навч.посіб. для студ. спеціальності 161 «Хімічні технології та інженерія», спеціалізації «Електрохімічні технології неорганічних та органічних матеріалів» / О.В.Лінючева, С.В. Фроленкова,

Ю.С. Мірошніченко; ; КПІ ім. Ігоря Сікорського.– Електронні текстові дані (1 файл: 8,12 Мбайт). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 57 с.

[http://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/25216/1/Teoretychna\\_elektrokhimiia\\_Prakt2.doc](http://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/25216/1/Teoretychna_elektrokhimiia_Prakt2.doc)

#### **Підручники:**

1. Технологія нанесення неметалевих покриттів та виробництво плат друкованого монтажу [Електронний ресурс] : підручник для студ. спеціальності 161 «Хімічні технології та інженерія», спеціалізації «Електрохімічні технології неорганічних і органічних матеріалів» / Л. А. Яцюк, О. В. Косогін, Д. Ю. Ушаповський, О. В. Лінючева, Ю. Ф. Фатєєв; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 6,7 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 330 с. українською мовою; Ухвалено Вченою радою № 7; дата 25.06.2018
2. Електроліз іонних розплавів [Електронний ресурс]: для студентів спеціальності 161 “Хімічні технології та інженерія” спеціалізації «Електрохімічні технології неорганічних та органічних матеріалів» / С.В. Фроленкова, О.В.Лінючева, Т.І.Мотронюк; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 7 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 130 с.  
[http://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/24937/1/Elektroliz\\_ionnykh\\_rozplaviv.doc](http://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/24937/1/Elektroliz_ionnykh_rozplaviv.doc)

#### **Статті у виданнях, що входять до наукометричних баз даних :**

(Scopus або Web of Science)

1. Yanushevskaya, E., Suprunchuk, V., Buket, A., Ivanyuk, O. Features of formation and identification of sparingly soluble and coordination compounds of polyhexametyleneguanidine with Pb(II), Cd(II), Cu(II), Zn(II) in aqueous solutions // East European Scientific Journal 2016– №3 (6(81)). P. 4-8
2. Linyucheva O.V., Gulian R.I., Byk M.V. Electrochemical synthesis of aluminum oxide at high voltages // East European Scientific Journal. – 2017 –№7(23), part 2. – P. 30-34.
3. Linyucheva O.V., Gulian R.I., Byk M.V., Migas S.V. Electrochemical aluminum alloy oxidation in chromic acid solution // East European Scientific Journal. – 2017.– №11(27), 2017 part 1. – P. 70-73.
4. Ushchapovskiy D.Yu. Effect of saccharin on corrosion resistance of bright Ni coatings under conditions simulating a wet tropical climate / Ushchapovskiy D.Yu., Frolenkova S.V., Byk M.V., Linyucheva O.V., Motronyuk T.I., Klus V.V. // Materials Today: Proceedings. MATPR6754  
<http://authors.elsevier.com/authorforms/MATPR6754/78794912e88ed7beece96a100d772cdd>
5. Yunlong Xi, Guodong Wei, Xilong Liu, Mingjun Pang, Liangbao Liu, Yu Yang , Yuan Ji, V.Yu. Izotov, N.I. Klyui, Wei Han. Enhancing the cycling stability of the polyaniline hybrids benefited from the hollow manganese dioxide/acetylene black skeleton //Chem. Engin. J – 2016 – V. 290 – P. 361-370.
6. N.I.Klyui, V.B.Loizinskii, A.I.Liptuga, V.Yu.Izotov, WeiHan, BingbingLiu. Improvement of radiation stability of semi-insulating gallium arsenide crystals by deposition of diamond-like carbon films // Optical Materials – 2016 – V.62. – P. 372-377.
7. Shuaikai Xu, Guodong Wei, Junzhi Li, Yuan Ji, Nickolai Klyui, Vladimir Izotov, Wei Han Binder-free Ti3C2TxMXene electrode film for supercapacitor produced by electrophoretic deposition method. // Chem. Engin. J. – 2017 – V. 317. – P. 1026-1036.
8. Tingting Yang, Yunlong Xi, Yukun Zhu, Junzhi Li, Xuexue Pan, V. Yu. Izotov, Qing Guo, Wei Han. Black aspergillus-derived highly porous carbon fibers for capacitive applications // J Mater Sci: Mater Electron. – DOI 10.1007/s10854-017-7696-6.
9. Xilong Liu, Xiaohang Dai, Guodong Wei, Yunlong Xi, Mingjun Pang, Volodymyr Izotov Nickolai Klyui, Dmytro Havrykov, Yuan Ji, Qing Guo & Wei Han Experimental and theoretical studies of nonlinear dependence of the internal resistance and electrode thickness for high performance supercapacitor // Scientific RepoRts | 7:45934 | DOI: 10.1038/srep45
10. YunlongXi, GuodongWei, JunzhiLi, XilongLiu, MingjunPang, YuYang, YuanJi, V.Yu.Izotov, QingGuo, WeiHan. Facile synthesis of MnO2-Ni(OH)2 3D Ridge-like Porous

Electrode Materials by Seed-Induce Method for High-performance Asymmetric Supercapacitor // *Electrochimica Acta.* – Volume 233, 2017, P. 26-35.  
<https://doi.org/10.1016/j.electacta.2017.02.038>.

**Статті у вітчизняних фахових виданнях:**

1. Букет О., Леонова О., Черниш Д. Електрохімічне ущільнення пасивних плівок титану // *Фізико-хімічна механіка матеріалів.* 2018 - Спец. випуск: Проблеми корозії та протикорозійного захисту матеріалів. - № 12. - Львів: ФМІ ім. Г.В. Карпенка НАН України – 346 с. - С. 108-112
2. Ущাপовський Д.Ю., Лінючева О.В., Донченко М.І., Бик М.В., Цимбалюк А.С. Спосіб керування морфологією катодного осаду на основі визначення електрохімічного опору процесу електроосадження міді // *Наукові вісті НТУУ “КПІ”.* – 2016. – № 2 – С. 114-121;
3. Воробец В.С., Колбасова И.Г., Лінючева О.В., Карпенко С.В., Алонцева В.В. Синтез и электрокаталитические свойства наноструктурных пленок на основе TiO<sub>2</sub>-Nd // *Хімія, фізика та технологія поверхні,* 2016. - Т.6, №1. - С.59-64
4. Кушмирук А. І., Лінючева О. В., Косогін О. В., Мірошніченко Ю. С., Кушмирук Т. С. Електрохімічна поведінка пористих титанових структур у фосфатній кислоті за наявності іонів купруму (II) // *Фізико-хімічна механіка матеріалів.* – 2016. – №5 (52). – С.66-71.
5. В.Ю. Ізотов, Д.С. Гавриков, , І.В. Кольцов, А.В. Селихова, М.І. Ключ, О.Є. Беляєв, І.М. Бурлака, Д. О. Ярмоленко. Технологія отримання вуглецевого матеріалу з оптимальним розподілом пор за розмірами для електродів суперконденсаторів // *Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського.* Випуск 2/2017 (103). Частина 1. С.27-32.
6. Linyucheva O.V., Redko R.M., Migas S.V., Braichenko S.S., Byk M.V. Electrochemical protective coating for aluminum heat-exchanger // *Scientific-researches №7/2017.* P. 17-20.
7. Linyucheva O.V., Doronkina L.A., Poet O.E., Byk M.V. Metallic copper electrowinning from wastes // *Austria -science.* – N 6. – 2017. P. 27-30.
8. Miroshnychenko Iu.S., Kosohin O.V., Linyuchev O.G. Electrochemical device for environmental safety monitoring // *Promising Materials and Processes in Applied Electrochemistry: Monograph / editor-in-chief V.Z. Barsukov.* – Kyiv: KNUTD, 2017. – 270 p. – P. 144-151
9. Ushchapovskiy D.Yu., Linyucheva O.V., Motronyuk T.I., Tsymbaliuk A.S. The intensification of compact copper electrowinning process by increasing vertical current density and distribution uniformity / *Promising materials and processes in applied electrochemistry: Monograph; editor-in-chief V.Z. Barsukov.* – Kyiv: KNUTD, 2017. – P.81 – 88.
10. Zinchuk O.V., Buket O.I. Decrease of electrochemical noise of titanium electrode // *Promising Materials and Processes in Applied Electrochemistry.* – Kyiv: KNUTD, 2017. – 270 p. – P. 163-168.
11. Ущাপовський Д.Ю., Лінючева О.В., Редько Р.М., Лавріненко В.І., Ущাপовський Ю.П. Удосконалення технології виробництва алмазного інструменту на основі моделювання розподілу металу при електроформуванні метал-композиційних шарів // *Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения.* – Вып. 20. – Киев: ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2017. – С.446 – 451. ISSN 2223-3938.
12. Безуглий М., Лінючева О., Безугла Н., Бик М., Костюк С. Контроль форми еліпсоїдальних рефлекторів біометричних фотометрів // *Вісник НТУУ "КПІ". Серія Приладобудування.* - 2017. - Вип.53(1). - С.62-69.

**Міжнародні конференції:**

1. Д.Ю. Ущাপовський, А.С. Цимбалюк, О.В. Лінючева, М.І. Донченко Дослідження впливу іонів заліза на процес електроекстракції міді. // VI Міжнародна конференція студентів, аспірантів та молодих вчених з хімії та хімічної технології. – Київ, 22 квітня 2016. – С.116.

2. Мигас С.В., Брайченко С.С., Лінючева О.В., Бик М.В., Биба Є.Г. Спосіб нанесення електролітичного залізного покриття // Міжнародна наукова конференція “Матеріали для роботи в екстремальних умовах – 6”. – Київ, НТУУ “КПІ ім. Ігоря Сікорського”, 1-2 грудня 2016. – С.230-231.
3. Чигиринец Э.А., Лінючева О.В., Бик М.В. О возможности электроосаждения алюминия из неводных электролитов // Международная научно-техническая конференция «Современные электрохимические технологии и оборудование». – Минск, БГТУ: 24-25 ноября 2016. – С.210-213.
4. Лінючева О.В., Ущাপовский Д.Ю., Бик М.В., Цимбалюк А.С. Коррозионная стойкость легированных покрытий // Сб.трудов Международной научно-технической конференции «Современные электрохимические технологии и оборудование» - Минск: БГТУ, 2016.-172-174 с.
5. Гулян Р.І., Лінючева О.В. Бик М.В. Електрохімічний синтез напівпровідникових матеріалів для електронних пристроїв // VI міжнародна конференція студентів, аспірантів та молодих вчених з хімії та хімічної технології. Місце проведення – Київ. Дата проведення: 20.04.2016;
6. Pershina K.D., Linyucheva O.V., Kosogin O.V., Liniuchev O.G., Kazdobin K.A.The electrochemical properties of TiO<sub>2</sub>/RuO<sub>2</sub>/O<sub>2</sub> systems // 8th International conference on materials science and condensed matter physics; Місце проведення – Молдова: Дата проведення: вересень 2016.
7. Лінючева О.В. Электрохимические сенсорные системы для электрохимических производств. Международная научно-техническая конференция «Современные электрохимические технологии и оборудование» Місце проведення – Минск: БГТУ.; Дата проведення: 24-25 листопада 2016.
8. Buket O.I., Butenko O.S. Effect of dehydration process of manganese nitrate on the quality manganese dioxide coating of titanium anode // ISE Satellite Student Regional Symposium on Electrochemistry - 1st ISE Regional Student Meeting in Ukraine; Місце проведення: Київ – травень 2016.
9. Buket O.I., Polyanychko O.O. Cathodic reduction of nitrogen dioxide with help of mediator catalysis // ISE Satellite Student Regional Symposium on Electrochemistry - 1st ISE Regional Student Meeting in Ukraine; Місце проведення: Київ – травень 2016.
10. Матвеев О. М., Мазанка В.М., Косогін О.В. Генератор діоксиду вуглецю для калібрування електрохімічних сенсорів; ISE Satellite Student Regional Symposium on Electrochemistry - 1st ISE Regional Student Meeting in Ukraine; Місце проведення: Київ – травень 2016.
11. Ущাপовський Д.Ю., Лінючев О.Г., Цимбалюк А.С. Моніторинг викидів хлору при електроекстракційному отриманні міді з розчинів вилуговування карбонатних руд ISE Satellite Student Regional Symposium on Electrochemistry - 1st ISE Regional Student Meeting in Ukraine; Місце проведення: Київ – травень 2016.
12. Лапа М.О., Нагорний А.А., Ущাপовський Д.Ю., Лінючева О.В. Визначення фотоструму недопованого кремнію та шляхи його підвищення / Другий том збірника тез доповідей VIII Міжнародної науково-технічної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Хімія та сучасні технології». Дніпро. – 2017. С. 39 – 40.
13. Гаркуша А. М., Алабут О. Г., Ущাপовський Д.Ю., Букет О. І., Лінючева О. В. Вплив складу сульфатного електроліту на процес електроосадження міді на недопований кремній / Другий том збірника тез доповідей VIII Міжнародної науково-технічної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Хімія та сучасні технології». Дніпро. – 2017. С. 46 – 47.
14. Ущাপовський Д.Ю., Лінючева О. В., Мотронюк Т.І., Коноваленко О.О. Особливості процесів електроекстракції міді та цинку в умовах вимушеної конвекції / Другий том збірника тез доповідей VIII Міжнародної науково-технічної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Хімія та сучасні технології». Дніпро. – 2017. С.75.
15. Леонова О.І, Черниш Д.М, Букет О.І. Катодне травлення поверхні титанових електродів // Другий том збірника тез доповідей VIII Міжнародної науково-технічної

- конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Хімія та сучасні технології». Дніпро. – 2017. С.61.
16. Зінчук О.В., Букет О.І. Корозійна природа електрохімічного шуму та спосіб його зниження // Другий том збірника тез доповідей VIII Міжнародної науково-технічної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Хімія та сучасні технології». Дніпро. – 2017. С.68-69.
  17. D Ushcharovskiy, S Frolenkova, M Byk, O Linyucheva, T Motronyuk, V Klus. Effect of saccharin on corrosion resistance of bright Ni coatings under conditions simulating a wet tropical climate. // 3-rd ISE Satellite Student Regional Symposium on Electrochemistry "Promising materials and Processes in Applied Electrochemistry" – Kyiv: KNUTD, 18.04.2018.
  18. Черниш Д.М., Букет О.І. Контрастне маркування пробоїв пасивної плівки титану. // VI Міжнародна конференція студентів, аспірантів та молодих вчених з хімії та хімічної технології. – Київ (КПІ ім. Ігоря Сікорського), 12.04.2018. – С.116.
  19. Пиццолла Б.І., Сорока М.О., Букет О.І. Вплив геометрії електродів на роботу електрохімічного випрямляча. // VI Міжнародна конференція студентів, аспірантів та молодих вчених з хімії та хімічної технології. – Київ (КПІ ім. Ігоря Сікорського), 12.04.2018 С.111
  20. Леонова О.І., Букет О.І. Підвищення корозійної стійкості титану електрохімічною обробкою. // VI Міжнародна конференція студентів, аспірантів та молодих вчених з хімії та хімічної технології. – Київ (КПІ ім. Ігоря Сікорського), 12.04.2018. С. 117

#### **Всеукраїнські конференції:**

1. Бутенко О.С., Букет О.І. Підвищення надійності діоксидно-манганових анодів з титановою основою // II Всеукраїнська наукова конференція. – Дніпропетровськ: УДХТУ, 2016. – С. 83-87
2. Полянничко О. А., Букет О. І. Кінетика катодного відновлення діоксиду азоту // II Всеукраїнська наукова конференція. – Дніпропетровськ: УДХТУ, 2016. – С. 131-134
3. Зінчук О.В., Букет О.І. Зниження електрохімічного шуму титанового катода амперометричної комірки // Всеукраїнська наукова конференція «Актуальні задачі хімії: дослідження та перспективи». – Житомир: ЖДУ ім. І. Франка, 17.05.2017. – 258 с. – С. 96-98.
4. Ганич Д. В., Букет О. І. Електрохімічний діод: переваги і недоліки // VIII Укр. з'їзд з електрохімії. – Львів: ЛНУ ім. І.Франка, 06.06.2018.
5. Підбуртний М.О., Кохановський Я.В., Ущаровський Д.Ю., Лінючева О.В. Технологічні основи електроосадження нікелевих покриттів з підвищеною корозійною стійкістю в умовах тропічного вологого клімату – Підсумкова науково-практична конференція II туру Всеукраїнського конкурсу студентських наукових робіт зі спеціальності «Хімічні технології та інженерія» (м.Дніпро; Дата проведення: 22.03.2018).

#### **Патенти:**

1. Заявка на патент № u201605409. Комірка електрохімічного джерела мікропоту сірководню / Лінючева О.В., Кушмирук А.І., Мірошніченко Ю.С., Косогін О.В. - Заявл. 19.05.2016.
2. Патент на корисну модель №104298 «Спосіб комплексної переробки багатих на мідь окислених та карбонатних руд» Ущаровський Д.Ю., Лінючева О.В., Донченко М.І., Бик М.В. опубл. 25.01.2016. бюл. №2.
3. Подана заявка на патент «Електрохімічний випрямляч змінного струму на основі титанового електроду» авторів Букета О.І., Ганича Д.В.

#### **13. Ключові слова:**

ЕЛЕКТРОХІМІЧНЕ ФОРМУВАННЯ, ХЕМОТРОНІКА, НАНОСТРУКТУРА, МІКРОСТРУКТУРА, НАПІВРОВІДНИКИ, ВЕНТИЛЬНІ МЕТАЛИ