

<https://doi.org/10.30857/2786-5371.2023.4.8>

УДК 544.2

МАКЄЄВА І. С., СМІРНОВ М. О., ГАЙДАЙ І. О.

Київський національний університет технологій та дизайну, Україна

ФОТОКАТАЛІЗАТОР НА ОСНОВІ КУПРУМ ОКСИДІВ, ОТРИМАНИХ ЕЛЕКТРОЛІЗОМ

Мета. Одержання електрохімічним синтезом високодисперсних оксидних матеріалів на основі купрум оксидів та дослідження їх фотокаталітичних властивостей.

Методика. Електроліз здійснювали при різних температурах у термостійких скляних електролізерах. Катод і анод були виготовлені з мідних пластин. В якості електроліту використовували розчин NaCl із вмістом 280 г/л. Отриманий у електролізері продукт відфільтровували, промивали дистильованою водою. Осад висушували (40–75°C) у вакуумній шафі. Отриманий сухий продукт досліджували хімічним та рентгенофлуоресцентним (прилад EDX8000) аналізами. Адсорбційні виміри проводили за допомогою комбінованого приладу ASAP 2400 Micromeritics. Перевірку фотокаталітичних властивостей досліджували на прикладі реакції розкладу барвника метилового оранжевого у водному розчині. Спектрофотометричні виміри проводили на спектрофотометрі SHUMADZU UV-2450.

Результати. Електролізом одержано порошкоподібний оксидний матеріал на основі оксидів купруму. Дослідженні параметри впливу на швидкість утворення оксидів. Продукт електросинтезу складається з суміші оксидів купруму (I) та (II), співвідношення фаз залежить від режимів проведення процесу. Продукт має розвинену площину питомої поверхні. Фотокаталітичну деградацію метилоранжу розглянуто як модельну систему функціоналізації одержаного порошкового матеріалу щодо деградації екологічно небезпечних речовин.

Наукова новизна складається в отриманні нового ефективного продукту на основі купрум оксидів. Визначено оптимальні умови синтезу продукту. Показано, що електроліз дозволяє впливати на розмір і форму часток отриманого продукту, робить вільну поверхню оксидів купруму для участі у реакціях.

Практична значимість. Продукт на основі купрум оксидів може бути застосовано в якості ефективного фотокаталізатору. За рахунок своєї стабільності та підвищеної фотокаталітичної активності порошкоподібний продукт можливо застосувати в установках водоочищення хімічних, фармацевтичних, нафтохімічних та інших виробництв.

Ключові слова: електроліз; оксид купруму; фотокаталізатор; фотокаталітична активність; деградація; водоочищення.

Вступ. Протягом багатьох років розроблено багато напівпровідників, які розглядають у якості фотокаталізаторів. Гетерогенний каталіз з використанням ZnO, TiO₂, WO₃, SnO₂, ZrO₂, CeO₂, CdS та ZnS у якості фотокаталізаторів у присутності ультрафіолету та видимого світла застосовують для мінералізації токсичних забруднюючих речовин стічних вод [1].

Серед різних напівпровідників TiO₂ є кращим фотокаталізатором завдяки термічній стабільності, нетоксичності й дешевизні [2]. Його широко застосовують для детоксикації води від ряду органічних забруднювачів. Однак він має деякі недоліки: значна ширина забороненої зони, поглинання лише в ультрафіолетовій області спектра, недостатньо високий квантовий вихід реакції, високу швидкість електронно-діркової рекомбінації. Тому актуальною проблемою є необхідність розширити діапазон поглинання або знайти альтернативу TiO₂.

Наприклад, у [3–8] були продемонстровані оксиди купруму для отримання протимікробних та фотокаталітичних властивостей. Такі оксиди можливо застосувати для зниження забруднення довкілля, а саме для очищення стічних вод. Також оксиди купруму інтенсивно досліджуються для перетворення сонячної енергії в електричну. Теоретично ефективність цього процесу складає біля 10%.

Постановка завдання. Оксиди купруму являють собою напівпровідники р-типу з вузькою забороненою зоною (1,7–2,2 eV), є широко розповсюдженими та відносно дешевими.

Такі оксиди можуть поглинати значну частину сонячного спектру [9]. Положення зони провідності та валентної зони теоретично підходять для полегшення реакції відновлення CO₂ та реакції розщеплення води.

Методи синтезу та умови формування матеріалу суттєво впливають на морфологію, фазовий склад та каталітичні властивості оксидних композиційних матеріалів. Електрохімічний синтез дозволяє одержати високодисперсні оксидні системи. Також, електроліз дозволяє синтезувати частки різного розміру і тому можливо управляти шириною забороненої зони та створювати фотокаталізатори з чутливістю до різних довжин хвиль світла.

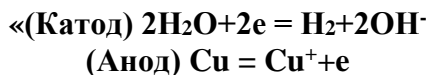
Метою роботи було одержання електрохімічним методом високодисперсних оксидних матеріалів на основі оксидів купруму та дослідження їх фотокаталітичних властивостей.

Результати дослідження. Електроліз здійснювали при різних температурах у термостійких скляних електролізерах місткістю 250–500 мл. Катод і анод були виготовлені з мідних пластин, мали однаковий розмір та були прикріплені до кришки електролізера з оргскла. Для термостатування електроліту електролізери розміщували у термостаті. Як електроліт використовували розчин NaCl із вмістом 280 г/л. Склавши схему, зважували електроди, заливали електроліт в електролізери і вмикали струм. Сила струму визначалась величиною густини струму, та площею зануреної частини електродів і підтримувалась постійною. Тривалість електролізу визначалась кількістю оксиду міді, яку необхідно отримати. Отриманий у електролізері продукт відфільтровували, промивали дистильованою водою. Осад висушували при слабкому нагріванні під вакуумом (40–75°C) у вакуумній шафі.

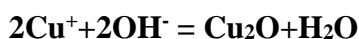
Отриманий сухий продукт аналізували на вміст оксиду купруму, діоксиду купруму та металеві міді за методикою [10]. Зразки піддавались рентгенівському випромінюванню при рентгенофлуоресцентному аналізі (РФА) за допомогою приладу EDX8000. Вимір та розрахунок питомої площі поверхні зразків проводили в інтервалі рівноважних відносних тисків парів азоту $P/P_0 = 0,05...0,33$ за ізотермою адсорбції. При розрахунках величина молекулярної посадкової площини азоту у заповненому моношарі приймалась рівною 0,162 нм². Похибка виміру величини $S_{\text{пит}}$ складала $\pm 2,8$ від. %.

Дослідження фотокаталітичних властивостей проводили на прикладі реакції фотокаталітичного розкладу барвника метилового оранжевого у водному розчині. У якості джерела ультрафіолетового опромінювання використовували ртутно-кварцеву лампу (ДРТ-100). За зміною концентрації барвника сліdkували за допомогою спектрофотометру по зміні інтенсивності піка поглинання барвника. Спектрофотометричні виміри проводили на спектрофотометрі SHUMADZU UV-2450 з приставкою ISR-240A.

На катоді при електролізі проходить реакція утворення водню, на аноді відбувається розчинення міді:

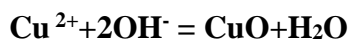


Іони купруму (I) накопичуються поблизу катоду та реагують з іонами OH⁻.

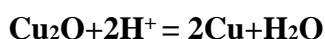


Утворений продукт випадає в осад у вигляді дисперсного порошку» [11].

На аноді, також можливе утворення іонів купруму (II), яке відбувається одночасно з утворенням іонів купруму (I). В такому випадку додатково в осад випадає нерозчинний діоксиду купруму:



Поблизу катоду оксид купруму (I) може відновлюватись гідрогеном. За рахунок цього продукт вміщує металеву мідь:



Металева мідь може додатково з'являтися при механічному руйнуванні аноду. При високій густині струму спостерігається нерівномірне розчинення електроду.

Склад та концентрація електроліту впливає на процес електролізу. При використанні розбавленого розчину NaCl відбувається забруднення продукту та зменшується його вихід за струмом.

Таким чином, властивості та вихід за струмом отриманого продукту залежать від умов електролізу: складу та концентрації електроліту, температури, густини струму. Перемішування електроліту сприятливо діє на процес утворення продукту. З цією метою при електролізі через визначені проміжки часу проводили зміну полярності електродів.

У роботі проводили дослідження встановлення деяких закономірностей електрохімічного окиснення міді. На рис. 1 наведено залежність швидкості окиснення мідних електродів від густини струму при різних температурах. Графік показує, що підвищення густини струму збільшує швидкість процесу, підвищення температури приводить до зменшення швидкості електролізу.

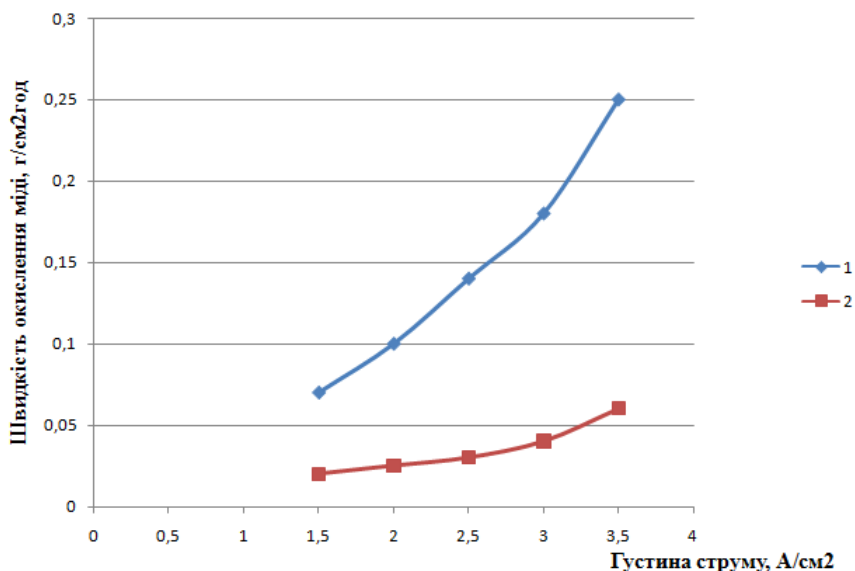


Рис. 1. Залежність швидкості окиснення міді при електролізі від густини струму при різних температурах, °C: 1) 20; 2) 70.

Електролітичним синтезом при різних температурах електроліту отримано продукт, у склад якого входять оксиди купруму (I), (II) та металева мідь. В таблиці 1 представлені результати хімічного аналізу продукту.

Таблиця 1

Результати хімічного аналізу продукту електролізу

№ зразка	Температура, °C	Вихід за струмом продукту, %	Складові продукту, %		
			CuO	Cu ₂ O	Cu
1	20	46,15	31,95	32,95	35,10
2	70	96,25	43,85	27,30	28,85

Виходячи з хімічного аналізу продукту (табл. 1) при електролізі проходять паралельні реакції утворення Cu₂O та CuO. «При електросинтезі утворюється Cu₂O з дефектною структурою решітки, яка характеризується надлишком іонів кисню. У цьому випадку частину місць у решітці, вільних від Cu⁺, компенсують іони Cu²⁺. Дифузія іонів Cu⁺ до зовнішньої поверхні оксиду та обмін електронами між Cu⁺ та Cu²⁺ створюють умови для утворення суміші

купрум оксидів (I) та (II), що підтверджується результатами хімічного аналізу. Присутність металевої міді пояснюється тим, що при електролізі використовують мідні електроди» [11].

Співвідношення оксидів змінюється в залежності від умов електролізу. При збільшенні густини переміщення потенціалу у позитивну область сприяє протіканню нових електродних процесів при електролізі. Завдяки таким процесам утворюються іони більш високої валентності, підвищується рухомість поверхневих атомів металу. Всі ці явища знижують дифузійне затримання та полегшують обмін іонів у решітці, сприяють переходу іонів у розчин.

Згідно результатів РФА продукти електролізу міді у розчині натрію хлориду після сушки складаються з суміші оксидів купруму (I) та (II) з різним співвідношенням фаз. Встановлено, що з збільшенням температури електролізу кількість CuO у продукті збільшується (рис. 2).

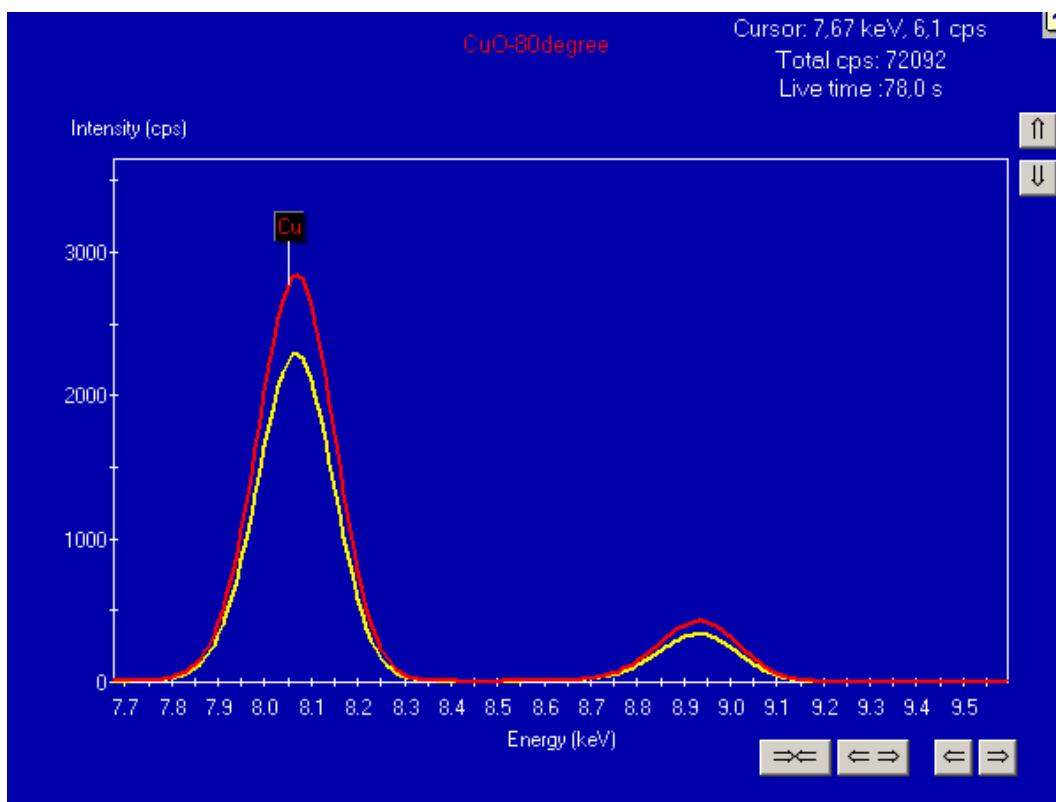


Рис. 2. Результати РФА (спектр продукту, отриманого при 70°C показано червоним кольором; спектр продукту отриманого при 20°C – жовтим)

Зразок, який одержано при 70°C має більше купруму в оксиді, так як інтенсивність піку вища. Це співпадає з даними хімічного аналізу.

У зразках в основному спостерігається наявність купруму. Є сліди кальцію, хлору та феруму (рис. 3).

Досліджували вплив зміни густини струму при електролізі на фізико-хімічні властивості продукту. Отримані дані показують, що продукт електролізу має розвинену площину питомої поверхні. В таблиці 2 наведено залежність питомої площі поверхні від складу зразків, синтезованих при різних густинах струму.

Питома площа поверхні залежить від складу утворених продуктів (табл. 2). Склад продукту визначається умовами синтезу. При підвищенні густини струму збільшується питома площа поверхні оксидів купруму. Структура продуктів починає мати більшу дефектність, більш високі значення поверхневої енергії і підвищення густини струму створює більш нерівноважні умови проходження процесу.

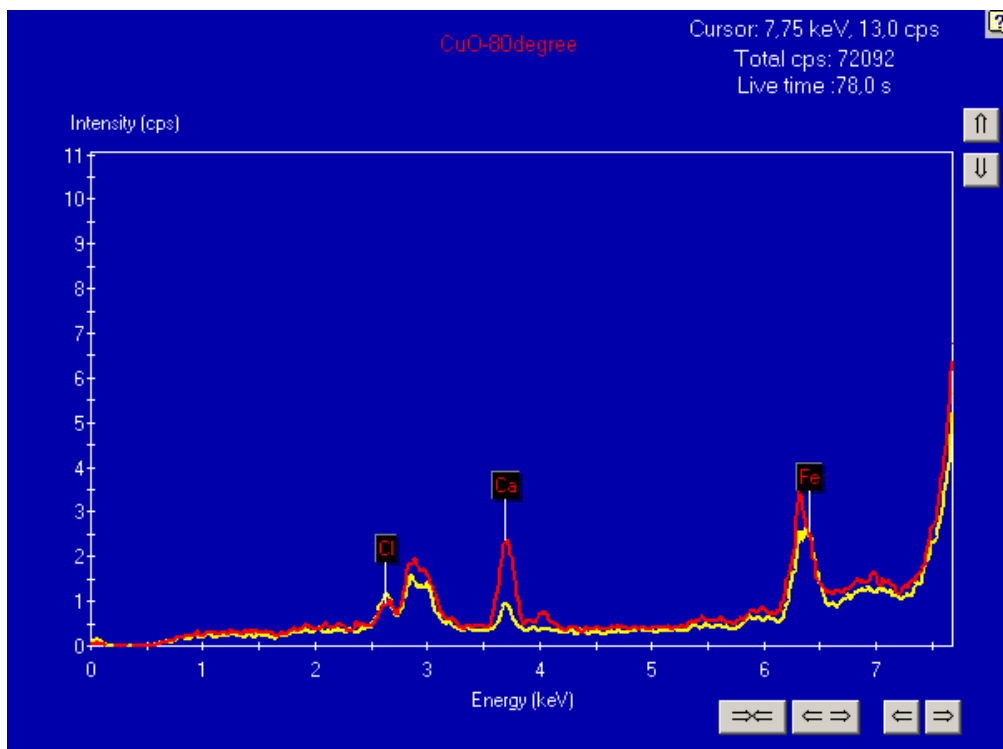


Рис. 3. Результати РФА (спектр продукту, отриманого при 70⁰С показано червоним кольором; спектр продукту отриманого при 20⁰С – жовтим)

Таблиця 2

Фізико-хімічні властивості продуктів в залежності від умов електролізу

Температура, °С	Густина струму, А/см ²	Питома площа поверхні продукту, м ² /г	Основні складові продукту, %	
			CuO	Cu ₂ O
20	1,0	3	30,05	28,10
	1,5	8	31,10	33,25
	2,0	20	31,95	32,95
	2,5	28	31,95	32,95
70	1,0	11	34,0	20,21
	1,5	18	39,10	25,10
	2,0	24	43,85	27,30
	2,5	30	54,60	36,44

Для використання купрум оксидів у процесах гетерогенного фотокаталізу необхідним є отримання його у вигляді нанорозмірних частинок. Такі частинки приводять до збільшення фотокаталітичної активності продукту. Нанорозмірні частинки дають можливість для імовірності виходу зарядів на поверхню каталізатора. Глибина проникнення ультрафіолетового світла в частинки оксидів обмежена (~100 нм). Таким чином, активною є тільки зовнішня поверхня продукту [12]. Сприяння для поглинання світла у всьому об'ємі продукту допомагає зменшення розмірів частинок до нанорозмірних значень.

Отримані спектри поглинання продуктів електролізу, які вміщують частки оксидів купруму розрізняються положенням піку максимуму поглинання. Різне положення максимуму поглинання вказує на різний розмір часток. «Частинки продукту мають різну форму: одні з них округлої форми та зібрані у агрегати, інші представляють голки. Розмір округлих часток суттєво менше, ніж голок та складає 300...500 нм. Форма часток визначається

їх складом: частки округлої форми належать оксиду купруму – Cu_2O , а голки діоксиду купруму – CuO » [11].

Для оцінки фотокаталітичної активності наночастинок оксидів купруму використовували реакцію фотокаталітичного розкладу барвника метилового оранжевого у водному розчині. Пік на спектрі поглинання барвника – метилового оранжевого спостерігали при довжині хвилі 440 нм при його окисненні у присутності порошку з оксидів купруму та пероксиду водню під дією ультрафіолетового опромінення. Залежність висоти піку (значення оптичної густини) від часу окислення приведено на рис. 4.

Практично повне окислення барвника відбувається через 2 години опромінення. Час повного знебарвлення метилового оранжевого у присутності порошку з оксидів купруму складає 10 годин.

Також проводили експеримент при відсутності порошку оксидів купруму. Було досліджено, що розпад молекул барвника при цьому не відбувається.

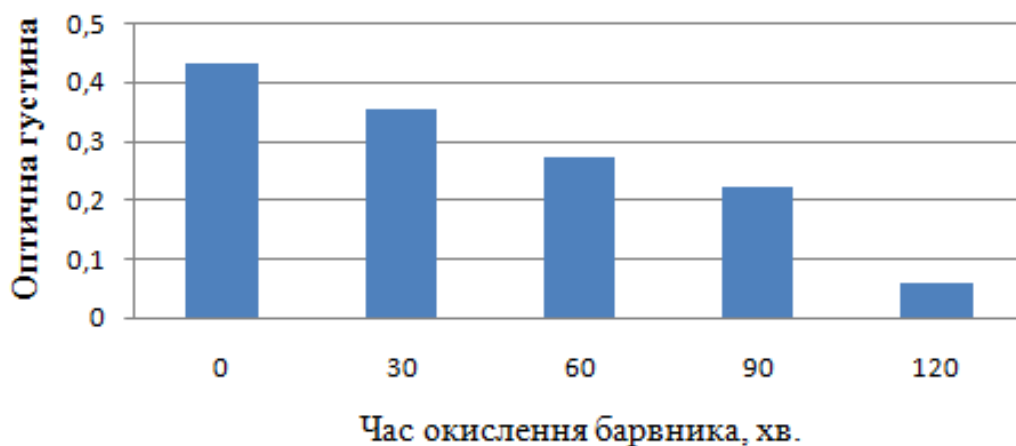


Рис. 4. Значення оптичної густини розчину барвника залежно від часу його окислення у присутності оксидів купруму під дією УФ – опромінення

Таким чином ми спостерігаємо ефект розкладання барвника – метилового оранжевого у присутності отриманого порошку з оксидів купруму, які синтезовані електролізом. Електроліз є економічним та зручним, має простоту у виконанні та можливість регулювати дисперсність одержаних продуктів, змінюючи умови електролізу, час, температуру, густину струму та інші параметри процесу.

Висновки. Досліджена можливість синтезу оксидів купруму методом анодного окислення металічної міді. Швидкість електролізу збільшується з збільшенням густини струму та зменшується з підвищенням температури. Продукт електросинтезу складається з суміші оксидів купруму (I) та (II), співвідношення фаз залежить від режимів проведення процесу. Продукт має розвинену площину питомої поверхні. Електроліз дозволяє впливати на розмір і форму часток отриманого продукту, робить вільну поверхню оксидів купруму для участі у реакціях. По результатам фотокаталітичної активності отриманого порошку оксидів купруму продукт можливо застосувати в якості фотокаталізатору щодо деструкції екологічно небезпечних речовин.

References

1. Kadiyals, U., Kotov, N. A., VanEpps, J. S. (2018). Antibacterial Metal Oxide Nanoparticles: Challenges in Interpreting the Literature. *Curr Pharm Des.*, Vol. 24 (8), P. 896–903. <https://doi.org/10.2174/1381612824666180219130659>.

Література

1. Kadiyals U., Kotov N. A., VanEpps J. S. Antibacterial Metal Oxide Nanoparticles: Challenges in Interpreting the Literature. *Curr Pharm Des.* 2018. Vol. 24 (8). P. 896–903. <https://doi.org/10.2174/1381612824666180219130659>.

2. Gupta, V. K., Jain, R., Nayak, A., Agarwal, S., Shrivastava, M. (2011). Removal of the hazardous dye – Tartrazine by photodegradation on titanium dioxide surface. *Mater Sci Eng C.*, 31(5), P. 1062–1067. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2011.03.006>.
3. Udaabhanu, P. C., Nethravathi, M. A., Pavan Kumar, D., Suresh, D., Lingaraju, K., Rajanaiks, H., Nagabhushans, H., Sharms, S. C. (2015). Tinospora cordifolia mediated facile green synthesis of cupric oxide nanoparticles and their photocatalytic, antioxidant and antibacterial properties. *Mater Sci Semicond Process*, 33, P. 81–88. <https://doi.org/10.1016/j.mssp.2015.01.034>.
4. Djuriscic, A. B., Leung, Y. H., Ng, A. M., Xu, X. Y., Lee, P. K., Degger, N., Wu, R. S. S. (2015). Toxicity of Metal Oxide Nanoparticles: Mechanisms, Characterization, and Avoiding Experimental Artefacts. *Nano. Micro. Small*, 11 (1), P. 26–44. <https://doi.org/10.1002/sml.201303947>.
5. Rangayasami, A., Kannan, K., Subban, M., Radhika, D. (2021). Review of Photocatalytic and Antimicrobial Properties of Metal Oxide Nanoparticles. *Physics and Chemistry of Solid State*, 22(1). P. 5–15. <https://doi.org/10.15330/pcss.22.1.5-15>.
6. Ramskova, T., Croteaub, M. N., Forbesc, V. E., Selck, H. (2015). Biokinetics of different-shaped copper oxide nanoparticles in the freshwater gastropod, *Potamopyrgus antipodarum*. *Aquatic Toxicology*, 163, P. 71–80. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2015.03.020>.
7. Jing, X., Park, J. H., Peters, T. M., Thorne, P. S. (2015). Toxicity of copper oxide nanoparticles in lung epithelial cells exposed at the air–liquid interface compared with in vivo assessment. *Toxicology in Vitro*, 29, P. 502–511. <https://doi.org/10.1016/j.tiv.2014.12.023>.
8. Ananth, A., Dharaneedharan, S., Heo, M.-S., Mok, Y. S. (2015). Copper oxide nanomaterials: Synthesis, characterization and structure-specific anti-bacterial performance. *Chem. Eng. Jour.*, 262, P. 179–188. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2014.09.083>.
9. Huang, L., Peng, F., Yu, H., Wang, H. (2009). Preparation of cuprous oxides with different sizes and their behaviors of adsorption, visible-light driven photocatalysis and photocorrosion. *Solid State Sciences*, 11(1), P. 129–138. <https://doi.org/10.1016/j.solidstatesciences.2008.04.013>.
10. Mourya, A., Mazumdar, B., Sinha, S. (2019). Determination and quantification of heavy metal ion by electrochemical method. *J. of Environmental Chem. Engineering*, 7(6), P. 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2019.103459>.
2. Gupta V. K., Jain R., Nayak A., Agarwal S., Shrivastava M. Removal of the hazardous dye – Tartrazine by photodegradation on titanium dioxide surface. *Mater Sci Eng C.* 2011. 31(5). P. 1062–1067. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2011.03.006>.
3. Udaabhanu P. C., Nethravathi M. A., Pavan Kumar D., Suresh D., Lingaraju K., Rajanaiks H., Nagabhushans H., Sharms S. C. Tinospora cordifolia mediated facile green synthesis of cupric oxide nanoparticles and their photocatalytic, antioxidant and antibacterial properties. *Mater Sci Semicond Process*. 2015. 33. P. 81–88. <https://doi.org/10.1016/j.mssp.2015.01.034>.
4. Djuriscic A. B., Leung Y. H., Ng A. M., Xu X. Y., Lee P. K., Degger N., Wu R. S. S. Toxicity of Metal Oxide Nanoparticles: Mechanisms, Characterization, and Avoiding Experimental Artefacts. *Nano. Micro. Small*. 2015. Vol. 11, Iss. 1. P. 26–44. <https://doi.org/10.1002/sml.201303947>.
5. Rangayasami A., Kannan K., Subban M., Radhika D. Review of Photocatalytic and Antimicrobial Properties of Metal Oxide Nanoparticles. *Physics and Chemistry of Solid State*. 2021. 22(1). P. 5–15. <https://doi.org/10.15330/pcss.22.1.5-15>.
6. Ramskova T., Croteaub M. N., Forbesc V. E., Selck H. Biokinetics of different-shaped copper oxide nanoparticles in the freshwater gastro-pod, *Potamopyrgus antipodarum*. *Aquatic Toxicology*. 2015. 163. P. 71–80. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2015.03.020>.
7. Jing X., Park J.H., Peters T.M., Thorne P.S. Toxicity of copper oxide nanoparticles in lung epithelial cells exposed at the air–liquid interface compared with in vivo assessment. *Toxicology in Vitro*. 2015. 29. P. 502–511. <https://doi.org/10.1016/j.tiv.2014.12.023>.
8. Ananth A., Dharaneedharan S., Heo M.-S., Mok Y. S. Copper oxide nanomaterials: Synthesis, characterization and structure-specific anti-bacterial performance. *Chem. Eng. Jour.* 2015. 262. P. 179–188. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2014.09.083>.
9. Huang L., Peng F., Yu H., Wang H. Preparation of cuprous oxides with different sizes and their behaviors of adsorption, visible-light driven photocatalysis and photocorrosion. *Solid State Sciences*. 2009. 11(1). P. 129–138. <https://doi.org/10.1016/j.solidstatesciences.2008.04.013>.
10. Mourya A., Mazumdar B., Sinha S. Determination and quantification of heavy metal ion by electrochemical method. *J. of Environmental Chem. Engineering*. 2019. 7(6). P. 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2019.103459>.

11. Khodykin, A. O., Makyeyeva, I. S. (2022). Syntez kuprum oksydів elektrolizom [The synthesis of copper oxides by electrolysis]. *Materialy III Vseukrayins'koyi konferentsiyi zdobuvachiv vyshchoi osvity i molodykh uchenykh "Inovatyka v osviti, nautsi ta biznesi: vyklyky ta mozhlyvosti"*, KNUTD, Vol. I, P. 251–255 [in Ukrainian].
12. Mills, A., Hunte, S. L. (1997). An overview of semiconductor photocatalysis. *J. Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 108 (1), P. 1–35. [https://doi.org/10.1016/s1010-6030\(97\)00118-4](https://doi.org/10.1016/s1010-6030(97)00118-4).
11. Ходикін А. О., Макеева І. С. Синтез купрум оксидів електролізом. *Матеріали III Всеукраїнської конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених "Іноватика в освіті, науці та бізнесі: виклики та можливості"*, КНУТД, 2022. Том I, С. 251–255.
12. Mills A., Hunte S. L. An overview of semiconductor photocatalysis. *J. Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*. 1997. 108(1). P. 1–35. [https://doi.org/10.1016/s10106030\(97\)00118-4](https://doi.org/10.1016/s10106030(97)00118-4).

MAKYEYeva IRYNA

PhD, Associate professor,

Department of Chemical Technologies and Resource Saving,
Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine

<https://orcid.org/0000-0001-5672-3097>

Scopus Author ID: 7003994762

Researcher ID: X-2580-2018

E-mail: makyeyeva.is@knutd.com.ua

SMIRNOV MAXIM

Master's student

Department of Chemical Technologies and
Resource Saving, Kyiv National University of
Technologies and Design, Ukraine

E-mail: fkca.lci16.cmo@gmail.com

GAIDAI IVAN

Master's student

Department of Chemical Technologies and Resource Saving, Kyiv National
University of Technologies and Design, Ukraine

E-mail: lubzerik@gmail.com

MAKYEYeva I. S., SMIRNOV M. A., GAIDAI I. A

Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine

THE PHOTOCATALYST BASED ON COPPER OXIDES OBTAINED BY ELECTROLYSIS

Purpose. Production of highly dispersed oxide materials based on copper oxides by electrochemical synthesis and investigation of their photocatalytic properties.

Methodology. Electrolysis was carried out at different temperatures in heat-resistant glass electrolyzers. The cathode and anode were made of copper. A NaCl solution with a content of 280 g/l was used as an electrolyte. The obtained dry product was investigated by chemical and X-ray fluorescence analyses. The verification of photocatalytic properties was carried out on the example of the reaction of the decomposition of the methyl orange dye in an aqueous solution.

Findings. A powdery oxide material based on copper oxides was obtained by electrolysis. The parameters of influence on the rate of formation of oxides were studied. The product of electrolysis consists of a mixture of copper oxides (I) and (II), the phase ratio depends on the modes of the process. The photocatalytic degradation of methyl orange is considered as a model system for the functionalization of the obtained powder material for the destruction of environmentally hazardous substances.

Originality. A new effective product obtained on the basis of copper oxides. The optimal conditions for product synthesis have been determined. It is shown that electrolysis allows influencing the size and shape of the particles of the obtained product, making a free surface for participation in reactions.

Practical value. A product based on copper oxides can be used as an effective photocatalyst. Due to its stability and increased photocatalytic activity, the powdered product can be used for water purification after chemical, pharmaceutical, petrochemical and other industries.

Keywords: electrolysis; copper oxide; photocatalyst; photocatalytic efficiency; degradation; water purification.