

<https://doi.org/10.15407/dopovidi2021.04.077>

УДК 538.9 533.9

О.М. Кордубан¹, <https://orcid.org/0000-0003-4401-0203>

Т.В. Крищук¹, <https://orcid.org/0000-0001-6527-2021>

М.М. Медведський²

¹ Інститут загальної та неорганічної хімії ім. В.І. Вернадського НАН України, Київ

² Головна астрономічна обсерваторія НАН України, Київ

E-mail: akord.imp@gmail.com

Новий метод синтезу наноматеріалів для потреб нанотехнологій

Представлено членом-кореспондентом НАН України В. М. Огенком

Розроблено новий метод синтезу наноматеріалів з використанням електричного вибуху провідників (ЕВП), в якому синтез нанопорошків ЕВП суміщено в часі з іншими синтезами та процесами з метою використання в них синтезованих нанопорошків у реальному часі як надактивних прекурсорів. Вперше безпосередньо з нанопорошків отримано нові типи каталітичних плазмових нанопокриттів WO_{3-x} /нержавіюча сталь та мезопоруватих фото- та електрокаталітичних нанодисперсних плівок TiO_{2-x} , TiO_{2-x}/Ag . У наноматеріалах нового типу повністю збережено нанодисперсну структуру, а для їх синтезу не використовуються органічні складові. Зменшено температуру проведення реакції $WO_{3-x} + 3H_2S \rightarrow WS_2 + S + 3H_2O$ синтезу WS_2 з 800 до 450 °С з використанням ЕВП нанопорошків WO_{3-x} як надактивних прекурсорів. Розроблений метод синтезу наноматеріалів є новим інструментом вирішення задач в області нанотехнологій.

Ключові слова: електричний вибух провідників, нанопорошки, плазмові нанопокриття, нанодисперсні плівки, рентгенівська фотоелектронна спектроскопія.

Електричний вибух провідників (ЕВП) у газовому середовищі — це процес, в якому за дуже короткий час високовольтним імпульсом ($U = 20 \div 30$ кВ, $t = 10^{-5} \div 10^{-8}$ с) з густиною струму $10^4 - 10^6$ А/мм² у металевий провідник вводиться енергія, яка може в кілька разів перевищувати його енергію сублимації. В результаті метал вибухає і розширюється з швидкістю $5 \cdot 10^3$ м/с з утворенням вибухової хвилі та перетворюється на золь наночастинок 10–100 нм. Швидкість охолодження продуктів вибуху в газовому середовищі на початковому етапі ($T = 10^5$ °С) становить 10^7 °С/с, на кінцевому етапі ($T = 4 \cdot 10^3$ °С) — 10^3 °С/с. Це призводить до часткового блокування дисипативних процесів і формування кристалічної ґратки в нерівноважних умовах та надлишку енергії з появою двійникової структури, ва-

Цитування: Кордубан О.М., Крищук Т.В., Медведський М.М. Новий метод синтезу наноматеріалів для потреб нанотехнологій. *Допов. Нац. акад. наук Укр.* 2021. № 4. С. 77–85. <https://doi.org/10.15407/dopovidi2021.04.077>

кансій, розірваних зв'язків [1–3]. Але обумовлена цим висока хімічна активність нанопорошків на практиці не використовується.

Останні 20 років метод ЕВП застосовується для синтезу нанопорошків металів та їх сполук, зокрема, в газовому середовищі. Продуктивність синтезу становить 0,1–0,3 кг/год. Принцип дії всіх установок однаковий — металевий провідник з постійною лінійною швидкістю вводиться у вибухову камеру з газовою атмосферою і з визначеною частотою комується до батареї конденсаторів. Синтезований нанопорошок виводиться з камери газовим потоком і збирається фільтрами в приймальний бункер. Під час подальшого зберігання в результаті релаксації дефектної структури і пасивації киснем відбувається агломерація та окиснення наночастинок з втратою хімічно активних центрів їх поверхні.

Перевагами методу синтезу нанопорошків із застосуванням ЕВП є відсутність домішок від контактів з розчинниками, прекурсорами, хімічним обладнанням і т. п., відсутність тиглів і використання енергії тільки для нагрівання дроту, відсутність проміжних етапів під час синтезу. Метод отримав розвиток в Росії, Європі, США, Індії, Китаї.

Основним недоліком методу є невикористання високої початкової хімічної активності нанопорошків, яка обумовлена нерівноважними умовами їх синтезу і швидко зникає під дією релаксаційних процесів.

Нами вперше розроблено та реалізовано новий метод синтезу з використанням ЕВП, в якому процес синтезу нанопорошків суміщено в часі з зовнішніми синтезами і процесами з метою використання в них синтезованих нанопорошків як надактивних прекурсорів, при цьому забезпечено доставку цих нанопорошків у інертному середовищі назовні, в зону реакцій, протягом кількох десятків секунд або миттєво. Якщо в класичному синтезі з використанням ЕВП кінцевим продуктом є нанопорошки, то в новому методі синтезу нанопорошків є проміжним етапом, а кінцевим етапом є синтез наноматеріалів.

Розроблений метод синтезу наноматеріалів з використанням ЕВП є новим інструментом для вирішення задач в області нанотехнологій. У науковій літературі аналогічних рішень немає.

У результаті реалізації нового методу синтезу отримано наноматеріали нових типів: плазмові нанопокриття для каталітичних застосувань і наноплівки для виготовлення активних та фотоактивних елементів сенсорів, у яких повністю збережено нанодисперсну структуру і які вільні від органічних зв'язуючих, карбідних і гідроксидних фаз, хлору та фтору. Також показана можливість зниження температури класичних хімічних реакцій з використанням у них як надактивних прекурсорів ЕВП нанопорошків.

Для реалізації задач дослідження було розроблено та створено оригінальне обладнання: установку із синтезу нанопорошків ЕВП, яка складалася з вибухової камери, високовольтного блока живлення, систем напуску та очищення газів, форвакуумної системи; електротермічний плазмовий прискорювач з високовольтним блоком живлення для наплення покриттів спрямованим електричним вибухом; установку для наплення нанопорошків з використанням мікроплазмотрона. Рентгенівська фотоелектронна спектроскопія (РФС) використовувалась як один з елементів процесу керованого синтезу [4]. Методом РФС проводився контроль зарядових станів поверхні, які відповідали максимальному ступеню дефектності нанопорошків, з метою визначення в реальному часі оптимальних енергетичних режимів електричного вибуху. В цілому, методика експерименту була спрямована на

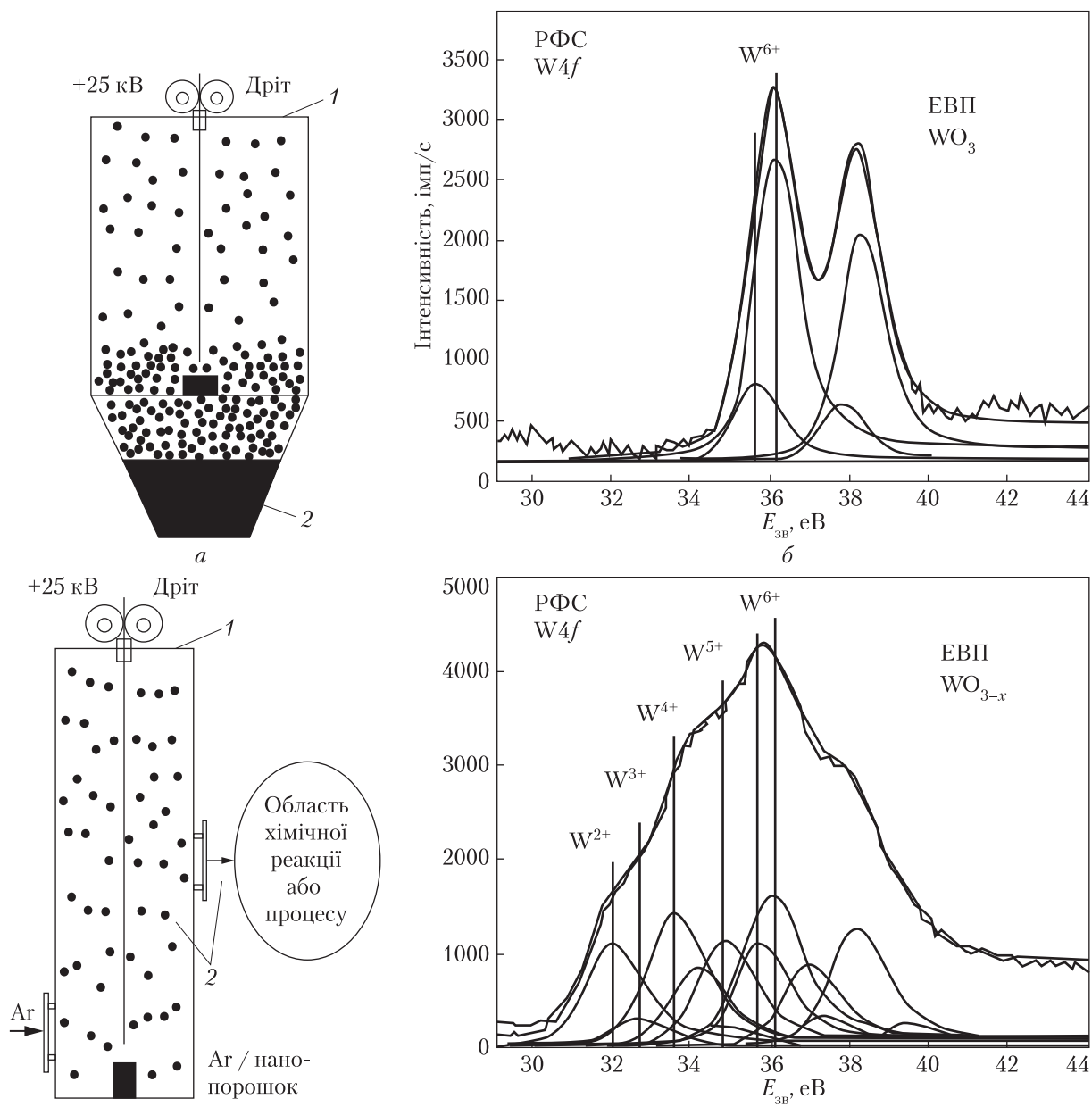


Рис. 1. Класична схема синтезу нанопорошків з використанням ЕВП (*a*: 1 – вибухова камера, 2 – бункер з нанопорошком) та РФС $W4f_{7/2}$ -спектри нанопорошку вольфраму після пасивації киснем (*б*) і нова схема синтезу наноматеріалів з використанням ЕВП (*в*: 1 – вибухова камера, 2 – аерозоль нанопорошку в аргоні) та РФС $W4f_{7/2}$ -спектри нанопорошку вольфраму після його доставки в область реакції (*г*)

дослідження методами РФС, ПЕМ та СЕМ щойно синтезованих ЕВП нанопорошків на основі вольфраму та титану, визначення зарядових станів атомів і морфології поверхні.

На рис. 1, *a* проілюстровано класичну схему синтезу нанопорошків з використанням ЕВП, в якій після вибуху синтезований нанопорошок збирається в бункер 2 вибухової камери 1. При цьому в результаті релаксації дефектної структури і контакту наночастинок з

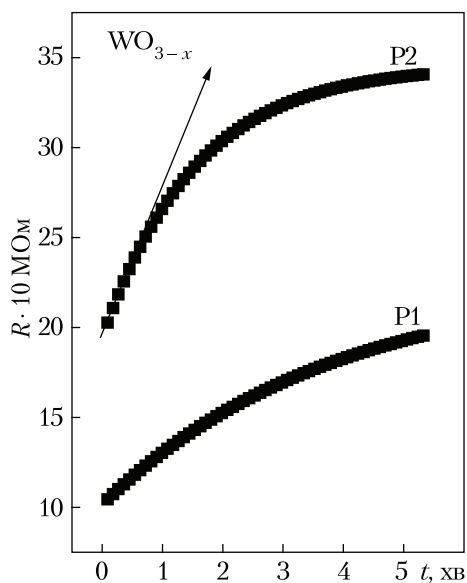


Рис. 2. Залежності електричного опору нанопорошку WO_{3-x} фракцій P1 та P2 від часу їх контакту з повітрям

спектрометра. З аналізу рис. 1, з випливає, що поверхня наночастинок містить значний внесок іонів металу зі зниженими ступенями окислення у вигляді W^{2+} -, W^{3+} -, W^{4+} -, W^{5+} -станів вольфраму, які є хімічно активними центрами.

На рис. 2 наведено залежності електричного опору щойно синтезованих в аргоні ЕВП нанопорошків WO_{3-x} різних за розмірами фракцій від часу їх контакту з повітрям. Збільшення початкового опору фракції P2 пояснюється більшим питомим числом контактів між дрібними частинками. Зростання електроопору нанопорошків з часом відбувається внаслідок формування у наночастинок оксидної оболонки. Залежності мають експоненціальний характер внаслідок гальмування дифузії кисню в об'єм, що обумовлено збільшенням товщини оксидної оболонки. Видно (див. рис. 2), що вже за хвилину залежність опору для фракції P2 починає відхилятися від лінійної, що вказує на формування початкової оксидної оболонки наночастинок і, відповідно, початок втрати їх поверхнею хімічно активних центрів. Саме тому використання синтезованих ЕВП нанопорошків в інших синтезах як надактивних прекурсорів хімічних реакцій необхідно проводити в реальному часі.

Таким чином, нанопорошки металів, синтезовані методом ЕВП в аргоні, які фактично є пірофорними, можуть бути використані як надактивні прекурсори в зовнішніх хімічних реакціях або процесах тільки в реальному часі – протягом кількох десятків секунд, без контакту між наночастинками для запобігання їх агломерації і без контакту з киснем. Це можливо, якщо їх доставка відбувається у вигляді стійкого аерозолу нанопорошків у інертному газі.

Із застосуванням нового методу синтезу наноматеріалів з використанням ЕВП вперше отримано новий тип плазмових нанодисперсних покриттів WO_{3-x} /нержавіюча сталь [5]. На рис. 3, а–г наведено СЕМ-зображення WO_{3-x} /нержавіюча сталь покриттів. Для їх формування аерозоль щойно синтезованих ЕВП нанопорошків WO_{3-x} в аргоні було дос-

киснем відбуваються агломерація та окислення нанопорошків з втратою хімічно активних центрів поверхні. На рис. 1, б зображено $W4f_{7/2}$ -спектри нанопорошку вольфраму, синтезованого ЕВП в аргоні. Видно, що поверхня нанопорошку після пасивації киснем і кількох годин зберігання сформована виключно W^{6+} -станами WO_3 , що характерно для триоксиду вольфраму, отриманого в рівноважних умовах хімічного синтезу.

На рис. 1, в проілюстровано нову схему синтезу наноматеріалів з використанням ЕВП, яка відрізняється тим, що синтезований нанопорошок, який після вибуху заповнює вибухову камеру (1) у вигляді аерозолу (2), доставляється в інертному газі в область зовнішнього синтезу протягом кількох десятків секунд або миттєво. На рис. 1, з зображено $W4f_{7/2}$ -спектри нанопорошку вольфраму, який після синтезу ЕВП в аргоні було доставлено в реальному часі в бокс з інертним газом і далі – у вакуумну камеру РФС-

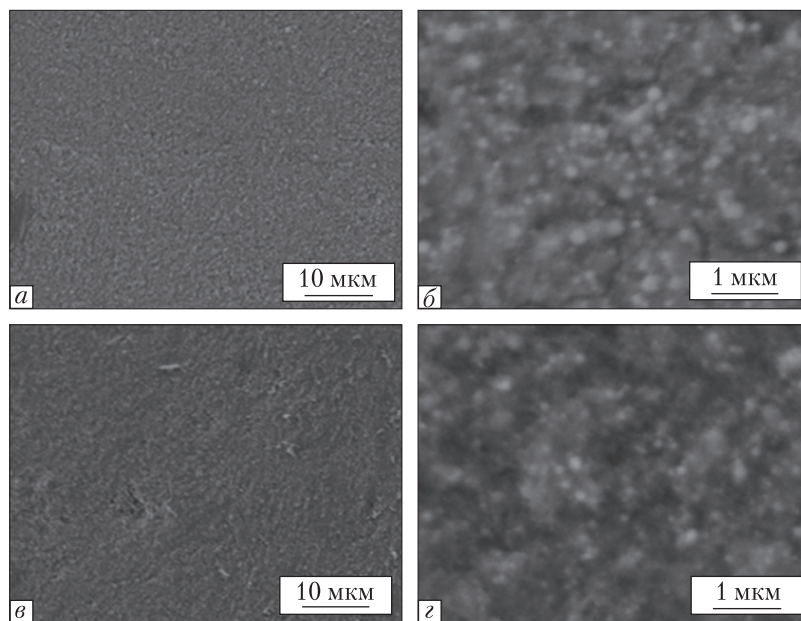


Рис. 3. СЕМ-зображення поверхні покриття WO_{3-x} /нержавіюча сталь; режим Ag/H_2 , $I = 24$ А, відстань під час наплення: $L = 30$ мм (а, б), $L = 40$ мм (в, г)

тавлено в область електричної дуги мікроплазмотрона. Видно, що в усіх випадках вдалося зберегти нанодисперсну структуру покриттів, які сформовано виключно з нанопорошку WO_{3-x} . Це неможливо за класичними плазмовими технологіями, в яких для рівномірної доставки агломерованих нанопорошків в область дуги з нанопорошків формуються мікрогранули діаметром 20–100 мкм з використанням органічних зв'язуючих і проводиться їх подальший відпал при 1200–1400 °С для видалення органічної складової [6–9]. При цьому відбувається агломерація наночастинок зі значною втратою наноструктури, їх забруднення карбідними фазами. У разі використання органічних розчинників, води або рідких прекурсорів покриття забруднюються гідроксидними сполуками, хлором і фтором. Все це істотно впливає на якість, зокрема, каталітичних покриттів.

Таким чином, вперше отримано плазмові оксидні каталітичні нанопокриття нового типу, без сторонніх домішок і зі збереженою в покриттях нанодисперсною структурою. За даними РФС поверхня покриттів WO_{3-x} /нержавіюча сталь містить активні центри у вигляді іонів металу зі зниженим ступенем окиснення та кисневі вакансії [5].

У цілому, за такою схемою використання ЕВП можна отримувати каталітично активні наноматеріали нового типу для розробки фотокаталізаторів, сенсорів, антимікробних покриттів, касетних каталізаторів на металевій гнучкій основі. Перспективним є формування нанодисперсних плазмових керамічних покриттів, які мають більш високі механічні характеристики внаслідок пластичності і є новим напрямком формування керамічних захисних покриттів.

Також із застосуванням нового методу синтезу наноматеріалів з використанням ЕВП вперше отримано нанодисперсні мезопоруваті плівки нового типу. Для формування наноплівки аерозоль щойно синтезованих ЕВП нанопорошків TiO_{2-x} або $\text{TiO}_{2-x}/\text{Ag}$ в ат-

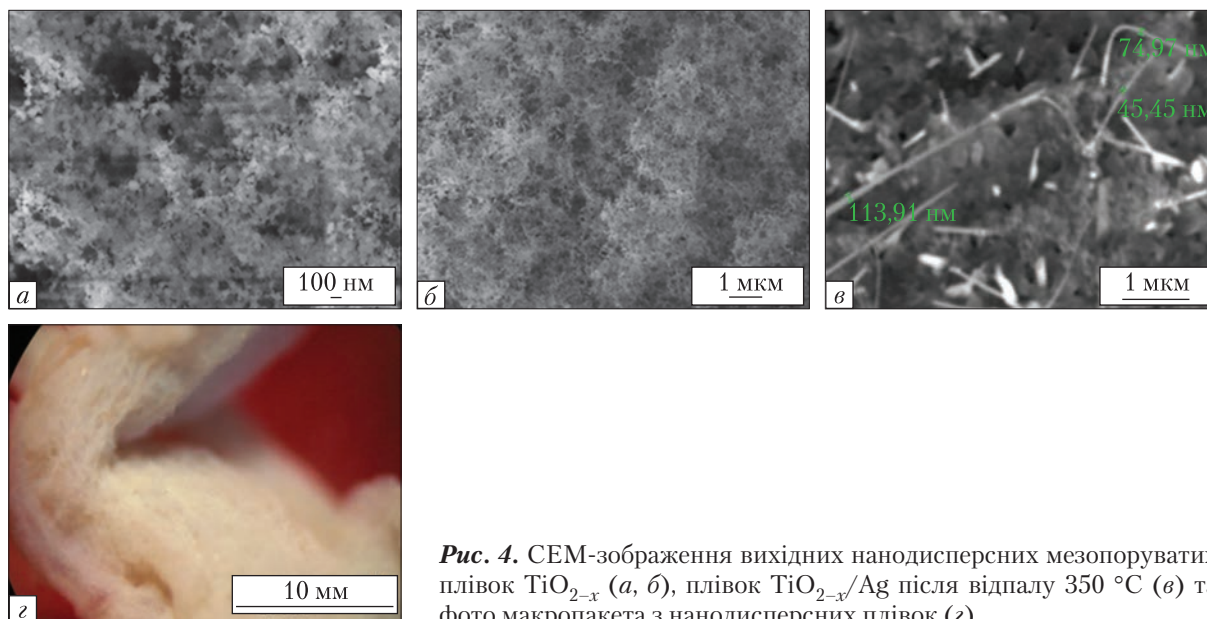


Рис. 4. СЕМ-зображення вихідних нанодисперсних мезопоруватих плівок TiO_{2-x} (а, б), плівок $\text{TiO}_{2-x}/\text{Ag}$ після відпалу $350\text{ }^\circ\text{C}$ та фото макропакета з нанодисперсних плівок (з)

мосфері сухого повітря було подано в область електростатичного зазору. На рис. 4, а–в наведено СЕМ-зображення нанодисперсних мезопоруватих плівок, сформованих з TiO_{2-x} та $\text{TiO}_{2-x}/\text{Ag}$. Нанодисперсна структура в плівках збереглася (рис. 4, а, б), вони складаються виключно зі з'єднаних між собою наночастинок TiO_{2-x} (30–60 нм) і одночасно це є однорідні за структурою макрооб'єкти (див. рис. 4, з). Такі наноматеріали неможливо отримати хімічними методами внаслідок наявності поверхневого натягу рідини в золях.

Формування плівок відбувається внаслідок самоорганізації заряджених наночастинок оксиду титану під дією електростатики через контакти між атомно-чистими поверхнями. Отримані наноматеріали не містять в собі шкідливих домішок, їх синтез відбувається без використання органічних та неорганічних зв'язуючих. У результаті формування з них активного елементу газового сенсора значно збільшується його питома поверхня зі збереженням заданого хімічного складу. Утворення плівок можливе як в електростатичному зазорі, так і на пласкій зарядженій поверхні.

На рис. 4, в наведено СЕМ-зображення плівки $\text{TiO}_{2-x}/\text{Ag}$ після відпалу при $350\text{ }^\circ\text{C}$. Видно появу нановіскерів діаметром 45–110 нм, які можуть бути наслідком релаксації нерівноважної системи $\text{TiO}_{2-x}-\text{Ag}$. Приклади синтезу аналогічних наноплівків у літературі відсутні. Новий метод синтезу наноматеріалів дає можливість повністю зберегти в плівках нанодисперсну структуру, контролювати їх хімічний склад і скоротити кількість проміжних етапів синтезу порівняно з класичними методами [10].

Синтез нового типу наноплівків є перспективним для розробки активних елементів сенсорів, фотокаталізаторів та фотокаталітичних фільтрів.

За допомогою нового методу вдалося зменшити температуру проведення реакції синтезу WS_2 , завдяки використанню нанопорошків WO_{3-x} як надактивних прекурсорів.

Під час проведення реакції синтезу WS_2 нанопорошок WO_{3-x} в аерозолі з аргоном було подано в область реакції на керамічну підкладку, розташовану в кварцовій трубці. Також

в область реакції було подано H_2S при $450\text{ }^\circ\text{C}$ протягом 40 хв. Після синтезу зразок для видалення вільної сірки був очищений УЗ в бензолі.

За даними РФС у синтезованому WS_2 зафіксовано три окремі фази, в яких значення енергії зв'язку $W4f$ -, $S2p$ -рівнів поверхневих атомів збігаються зі значеннями для нанокристалічних фаз модельного WS_2 [11].

У результаті проведено низькотемпературний синтез дисульфиду вольфраму WS_2 :



Температуру реакції (1) зменшено з 800 до $450\text{ }^\circ\text{C}$. Низькотемпературний синтез WS_2 в умовах вакууму ($500\text{ }^\circ\text{C}$, 1 год) описано в [12].

Таким чином, розроблено новий метод синтезу наноматеріалів, в якому синтез нанопорошків методом ЕВП суміщено в часі з іншими синтезами та процесами з метою використання в них синтезованих нанопорошків у реальному часі як надактивних прекурсорів.

Вперше безпосередньо з нанопорошків отримано нові типи наноматеріалів: нанодисперсні каталітичні плазмові нанопокриття та мезопоруваті нанодисперсні плівки, в яких відсутні карбідні фази і домішки від органічних наповнювачів та прекурсорів. Доведено можливість використання синтезованих методом ЕВП нанопорошків як надактивних прекурсорів хімічних реакцій.

Розроблено і виготовлено оригінальне обладнання ЕВП, на основі якого можливе створення компактних установок із синтезу нових типів наноматеріалів для профільних інститутів НАН України.

Новий метод синтезу наноматеріалів з використанням ЕВП, на відміну від класичного, можна включати в неперервні промислові ланцюги.

Показано, що розроблений метод синтезу наноматеріалів є новим інструментом вирішення задач в області нанотехнологій і може бути використаний для розвитку інноваційних секторів економіки України.

ЦИТОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Гусев А.И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии. Москва: Физматлит. 2005. 410 с.
2. Kotov Yu.A. Electric explosion of wires as a method for preparation of nanopowders. *J. Nanoparticle Res.* 2003. **5**. P. 539–550. <https://doi.org/10.1023/B:NANO.0000006069.45073.0b>
3. Nazarenko O. Nanopowders produced by electrical explosion of wires. Proceedings of European Congress of Chemical Engineering (ECCE-6) (Copenhagen, 16-20 Sept. 2007). Copenhagen, 2007.
4. Кордубан О.М., Огенко В.М., Кришук Т.В. Проблеми розвитку методу рентгенівської фотоелектронної спектроскопії в Україні. *Укр. хім. журн.* 2021. **87**, № 1. С. 41–50. <https://doi.org/10.33609/2708-129X.87.01.2021.41-50>
5. Кордубан О.М., Кришук Т.В., Трачевський В.В., Медведський М.М. Формування плазмових нанодисперсних покриттів на основі електровибухових нанопорошків оксиду вольфраму. *Металофіз. новітні технол.* 2021. **43**, № 1. С. 47–58. <https://doi.org/10.15407/mfint.43.01.0047>
6. Yang J., Jia J., Li X., Lu C., Feng X. Synergistic lubrication of Ag and Ag_2MoO_4 nanoparticles anchored in plasma-sprayed YSZ coatings: Remarkably-durable lubricating performance at $800\text{ }^\circ\text{C}$. *Tribol. Int.* 2021. **153**. 106670. <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2020.106670>
7. Xie S., Song C., Yu Z., Liu S., Lapostolle F., Klein D., Deng C., Liu M., Liao H. Effect of environmental pressure on the microstructure of YSZ thermal barrier coating via suspension plasma spraying. *J. Eur. Ceram. Soc.* 2021. **41**, Iss. 1. P. 535–543. <https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2020.08.022>

8. Song C., Wang Y., Fan X., Xie S., Liu M., Zhou K., Deng C., Deng C., Liao H. Microstructure and mechanical property of dense yttria-stabilized zirconia coating fabricated by an axial bi-cathode plasma torch under very low pressure. *Ceram. Int.* 2020. **46**. P. 9507–9511. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2019.12.212>
9. Huang H., An Y., Hu X., Wu D., Cao H., Zhang X., Qiao J., Liu H. A plasma sprayed superhydrophobic coating prepared with Al@WO₃ core-shell powder and photocatalytic degradation performance. *Surface and Coatings Technology*. 2019. **369**. P. 105–115. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2019.04.055>
10. Петрик І.С., Келип О.О., Воробець В.С., Смірнова Н.П., Фролова О.К., Оранська О.І., Колбасов Г.Я., Єременко А.М. Синтез, оптичні, фото- та електрокаталітичні властивості нанорозмірних плівок TiO₂, модифікованих іонами перехідних металів. *Хімія, фізика та технологія поверхні*. 2011. **2**, № 4. С. 436–442.
11. Shpak A.P., Korduban A.M., Kulikov L.M., Kryshchuk T.V., Konig N.B., Kandyba V.O. XPS studies of the surface of nanocrystalline tungsten disulfide. *J. Electron Spectrosc. Rel. Phenom.* 2010. **181**, Iss. 2–3. P. 234–238. <https://doi.org/10.1016/j.elspec.2010.05.030>
12. Morrish R., Haak T., Wolden C.A. Low temperature synthesis of *n*-type WS₂ thin films via H₂S plasma sulfurization of WO₃. *Chem. Mater.* 2014. **26**, № 13. P. 3986-3992. <https://doi.org/10.1021/cm501566h>

Надійшло до редакції 02.06.2021

REFERENCES

1. Gusev, A. L. (2005). *Nanomaterials, nanostructures, nanotechnologies*. Moscow: Fizmatlit (in Russian).
2. Kotov, Yu. A. (2003). Electric explosion of wires as a method for preparation of nanopowders. *J. Nanoparticle Res.*, 5, pp. 539-550. <https://doi.org/10.1023/B:NANO.0000006069.45073.0b>
3. Nazarenko, O. (2007, September). Nanopowders produced by electrical explosion of wires. *Proceedings of European Congress of Chemical Engineering (ECCE-6), Copenhagen*.
4. Korduban, O. M., Ogenko, V. M. & Kryshchuk, T. V. (2021). Problems of development of the method of X-ray photoelectron spectroscopy in Ukraine. *Ukr. Chem. J.*, 87, No. 1, pp. 41-50 (in Ukrainian). <https://doi.org/10.33609/2708-129X.87.01.2021.41-50>
5. Korduban, A. M., Kryshchuk, T. V., Trachevskii, V. V. & Medvedskij, M. M. (2021). Formation of plasma nanodisperse coatings based on electric explosive nanopowders of tungsten oxide. *Metallofiz. Noveishie Tekhnol.*, 43, No. 1, pp. 47-58 (in Ukrainian). <https://doi.org/10.15407/mfint.43.01.0047>
6. Yang, J., Jia, J., Li, X., Lu, C. & Feng, X. (2021). Synergistic lubrication of Ag and Ag₂MoO₄ nanoparticles anchored in plasma-sprayed YSZ coatings: Remarkably - durable lubricating performance at 800 °C. *Tribol. Int.*, 153, 106670. <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2020.106670>
7. Xie, S., Song, C., Yu, Z., Liu, S., Lapostolle, F., Klein, D., Deng, C., Liu, M. & Liao, H. (2021). Effect of environmental pressure on the microstructure of YSZ thermal barrier coating via suspension plasma spraying. *J. Eur. Ceram. Soc.*, 41, Iss. 1, pp. 535-543. <https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2020.08.022>
8. Song, C., Wang, Y., Fan, X., Xie, S., Liu, M., Zhou, K., Deng, C., Deng, C. & Liao, H. (2020). Microstructure and mechanical property of dense yttria-stabilized zirconia coating fabricated by an axial bi-cathode plasma torch under very low pressure. *Ceram. Int.*, 46, pp. 9507-9511. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2019.12.212>
9. Huang, H., An, Y., Hu, X., Wu, D., Cao, H., Zhang, X., Qiao, J. & Liu, H. (2019). A plasma sprayed superhydrophobic coating prepared with Al@WO₃ core-shell powder and photocatalytic degradation performance. *Surface and Coatings Technology*, 369, pp. 105-115. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2019.04.055>
10. Petrik, I., Kelyp, O., Vorobets, V., Smirnova, N., Frolova, O., Oranska, O., Kolbasov, G. & Eremenko, A. (2011). Synthesis, optical, photo- and electrocatalytic properties of nanosized TiO₂ films modified with transition metal ions. *Him., Fiz., Tehnol. Poverhni*, 2, No. 4, pp. 436-442 (in Ukrainian).
11. Shpak, A. P., Korduban, A. M., Kulikov, L. M., Kryshchuk, T. V., Konig, N. B. & Kandyba, V. O. (2010). XPS studies of the surface of nanocrystalline tungsten disulfide. *J. Electron Spectrosc. Rel. Phenom.*, 181, Iss. 2–3, pp. 234-238. <https://doi.org/10.1016/j.elspec.2010.05.030>
12. Morrish, R., Haak, T. & Wolden, C. A. (2014). Low temperature synthesis of *n*-type WS₂ thin films via H₂S plasma sulfurization of WO₃. *Chem. Mater.*, 26, No. 13, pp. 3986-3992. <https://doi.org/10.1021/cm501566h>

Received 02.06.2021

O.M. Korduban¹, <https://orcid.org/0000-0003-4401-0203>

T.V. Kryshchuk¹, <https://orcid.org/0000-0001-6527-2021>

M.M. Medvedskij²

¹ V.I. Vernadsky Institute of General and Inorganic Chemistry
of the NAS of Ukraine, Kyiv

² Main Astronomical Observatory of the NAS of Ukraine, Kyiv

E-mail: akord.imp@gmail.com

A NEW METHOD FOR THE SYNTHESIS OF NANOMATERIALS FOR THE NEEDS OF NANOTECHNOLOGIES

A new method for the synthesis of nanomaterials using the an electric explosion of wires (EEW) has been developed. In it, the process of nanopowder synthesis is combined in time with other syntheses in order to use EEW nanopowders as superactive precursors of real-time reactions.

For the first time, new types of catalytic plasma nanocoatings WO_{3-x} /stainless steel were obtained directly from nanopowders. steel and mesoporous photo- and electrocatalytic nanodisperse films TiO_{2-x} , TiO_{2-x}/Ag . In nanomaterials of a new type, the nanodisperse structure is completely preserved, and organic components are not used in their production. Due to the use of EEW of WO_{3-x} nanopowders as superactive precursors, the reaction temperature of the WS_2 synthesis $WO_{3-x} + 3H_2S \rightarrow WS_2 + S + 3H_2O$ was reduced from 800 to 450 °C. It is shown that the proposed method of synthesis of nanomaterials is a new tool for solving the problems in the field of nanotechnologies.

Keywords: *electric explosion of wires, EEW, nanopowders, plasma nanocoatings, nanodisperse films, XPS.*