**Звіт про науково-дослідну роботу: „ Одержання методом CVD мікро - та нановолокон тугоплавких сполук, а також композитних і просторово-розподілених структур на їх основі"**

**Мета роботи** - дослідження особливостей синтезу методом CVD мікро- та нановолокон тугоплавких сполук (SiC, TiC, TiN) на каркасних металевих та керамічних структурах (стільникові структури та піноматеріали), N-допованого нановуглецю та допованих киснем нітридів вуглецю.

**Терміни виконання наукової роботи**: початок І кв. 2017р.

закінчення IV кв. 2019 р.

**Керівник роботи**: Солонін Юрій Михайлович, чл.- кор. НАНУ,( Email: solonin@ipms.kiev.ua )

**Скорочений зміст висновків рецензентів.**

Створення матеріалів з підвищеними характеристиками є важливою проблемою сучасного матеріалознавства.  Авторами роботи вперше проведені дослідження синтезу мікро- та нановолокон SiC на підкладці із пінонікелю. В результаті таких досліджень  автори запропонували заповнені волокнами SiC пластини використовувати як армуючі компоненти при створенні новітніх композитів. Були проведені попередні дослідження та виготовлені експериментальні зразки нанокомпозитного матеріалу на основі фторопласту з використанням  пластин пінонікелю, заповнених мікро- та нановолокнами SiC які показали високі значення мікротвердості. В ході виконання НДР розроблено, досліджено та оптимізовано CVD метод синтезу з піридину оніон-подібного N-допованого нановуглецю з підвищеним

 вмістом азоту (не менше 10%),  який може застосовуватися у якості сорбента, каталізатора, носія каталізаторів та компонента композитних матеріалів.

Результати роботи заслуговують на високу оцінку та доцільність її продовження.

**Пропозиції про подальше використання результатів роботи.**

Напрямок роботи є перспективним, а отримані в роботі  результати можуть бути використані в машинобудівній та енергетичній галузях.

Дані про реєстрацію роботи: № 0117U002202

**РЕФЕРАТ**

**Об’єкти досліджень** – мікро – та нановолокна карбідів кремнію та титану (SiC, TiC), нітриду титану (TiN) синтезовані методом хімічного газофазного осадження з метилтрихлорсилану на підкладках із кордієриту та пінонікелю, нанокомпозити, армовані пластинами із пінонікелю, наповненого волокнами SiC, N-допований нановуглець та допований киснем нітрид вуглецю.

**Мета роботи** – дослідження особливостей синтезу методом CVD мікро- та нановолокон тугоплавких сполук (SiC, TiC, TiN) на каркасних металевих та керамічних структурах (стільникові структури та піноматеріали), N-допованого нановуглецю та допованих киснем нітридів вуглецю.

Синтез мікро- та нановолокон SiC на підкладках із стільникового кордієриту показав, що його питома поверхня збільшується в 2,5 рази, що може суттєво збільшити ефективність каталізаторів розкладу СО в викидних газах двигунів внутрішнього згоряння. Виготовлено та досліджено зразки нанокомпозиту на основі фторопласту з використанням  пінонікелю, заповненого волокнами SiC. Показано, що плівки із SiC, TiC та TiN, осаджені на пінонікель методом СVD, перетворюють пінонікель в пінокераміку.

Розроблено CVD метод синтезу оніон-подібного N-нановуглецю з підвищеним вмістом азоту (10%), запроновано одностадійний метод синтезу допованого киснем (до 8% О) нітриду вуглецю О-g-C3N4 як чутливого до сонячного світла фотокаталізатора для відновлювальній енергетики.

**Ключові слова**: МЕТОД CVD, КАТАЛІЗАТОР, КАРБІД КРЕМНІЮ, НАНОВОЛОКНО, ПІНОНІКЕЛЬ, НАНОКОМПОЗИТ, НАНОВУГЛЕЦЬ, НІТРИД ВУГЛЕЦЮ.

**Публікації**

 M.E. Bondarenko, P.M. Silenko, Yu.M. Solonin, N.I. Gubareni, O.Yu. Khyzhun, N.Yu.  Ostapovskaya. Synthesis O-g-C3N4/TiO2 rutile composite material for photocatalytic application. Chemistry, Physics and Technology of Surface. 2019. V. 10. N 4. P. 398-409.

 Sylenko P.M., Shlapak A.M., Solonin Yu.M., Oleinik G.S.,   Kotko A.V., Andrushchenko D.I., Tomila T.V. Hydrogen  influence on structural characteristics of micro- and nano SiC fibers obtained by CVD. Электронная микроскопия и прочность материалов, 2019, № 12.

Sylenko P.M., Shlapak A.M., Solonin Yu.M., Oleinik G.S., Kotko A. V., Andrushchenko D.I., Graivoronska K. O., Tomila T.V. Hydrogen influence on structural characteristics of micro- and nano SiC fibers obtained by CVD -  6-та міжнародна конференція HighMatTech, 28 – 30 жовтня 2019, Київ, Україна, с. 112.

 M. Bondarenko, P. Silenko, Yu. Solonin, N. Gubareni, O. Khyzhun, N. Ostapovskaya. Synthesis O-g-C3N4/TiO2 rutile composite material for photocatalytic application - Ukrainian Conference with International Participation. Chemistry, Physics and Technology of surface and workshop metal-based biocompatible nanoparticles: Synthesis and Applications, 15-17 May 2019, Kyiv Ukraine, Р. 38.

M. Bondarenko, P. Silenko, Yu. Solonin, N. Gubareni, O. Khyzhun, N. Ostapovskaya. Optical properties of carbon nitride oxide (g-C3N4)O and O-doped carbon nitride O-g-C3N4 as perspective photocatalytic materials - Там же, Р. 39.

M. Bondarenko, P. Silenko, Yu. Solonin, N. Gubareni, O. Khyzhun, N. Ostapovskaya. Preparation of g-C3N4/TiO2 binary films on Ti surface by CVD approach for hydrogen evolution photoelectrodes - Там же, Р. 40.

M. Bondarenko, P. Silenko, Yu. Solonin, N. Gubareni, O. Khyzhun, N. Ostapovskaya. Deposition of O-doped g-C3N4 films on Ti surface for hydrogen evolution electrodes - European Materials Research Society (E-MRS) Spring Meeting, Symposium N: Nano-engineered coatings and thin films: from design to applications. 27-31 May, 2019, Nice, France, N.PIII.66.

Marina Bondarenko, Maksim Zahornyi (48), Andrey Ragulya (48), Peter Silenko, Yuri Solonin, Nadezhda Gubareni, Oleg Khyzhun(47) , Natalia Ostapovskaya. Optical Properties and EPR Investigations of Carbon Nitride Oxide (g-C3N4)O as Perspective Material for Photocatalytic Application - The 9th International Symposium on Energy (Energy9), Bryden Session: Renewable energy technologies, 12-15 August 2019, Liverpool, England, UK, A1286.

Bondarenko M.E., Silenko P.M., Solonin Yu.M., Gubareni N.I., Khyzhun O.Y., Ostapovskaya N.Y., Frolova M.A. Deposition O-doped carbon nitride on rutile nanopowder by thermal cvd melamine. - 3-a Всеукраїнська наукова конференція «Aктуальні задачі хімії: дослідження та перспективи», м. Житомир, 17 квітня 2019 р., С. 93-94.

Bondarenko M.E., Silenko P.M., Solonin Yu.M., Gubareni N.I., Khyzhun O.Y., Ostapovskaya N.Y., Frolova M.A. Optical properties of carbon nitride oxide and o-doped carbon nitride as perspective materials for photocatalytic application - Там же. С. 95-97.

Bondarenko M.E., Silenko P.M., Solonin Yu.M., Gubareni N.I., Khyzhun O.Y., Ostapovskaya N.Y., Frolova M.A. Simultaneously synthesis g-C3N4/TiO2 composite films on titanium substrate for hydrogen evolution photoelectrodes application - Там же. С. 97-99.

14. Marina Bondarenko, Peter Silenko, Yuri Solonin, Nadezhda Gubareni, Oleg Khyzhun, Natalia Ostapovskaya. Simultaneously Obtaining of g-C3N4/TiO2 Binary Films on Ti Surface by CVD Method - The 9th International Symposium on Energy (Energy9), Joule Session: Energy storage and conversion, 12-15 August 2019, Liverpool, England, UK, A1287.

M.E. Bondarenko, P.M. Silenko, N.I. Gubareni, O.Yu. Khyzhun, N.Yu. Ostapovskaya, Yu.M. Solonin. Synthesis of multilayer azagraphene and carbon nitride oxide. Chemistry, Physics and Technology of Surface. 2018. V. 9. N 4. P. 393-403.

Kharlamov O., Bondarenko M., Kharlamova G., Silenko P., Khyzhun O., Gubareni N. Carbon Nitride Oxide (g-C3N4)O and Heteroatomic N-Graphene (Azagraphene) as Perspective New Materials in CBRN Defense. // In: Bonča J., Kruchinin S. (eds) Nanostructured Materials for the Detection of CBRN. NATO Science for Peace and Security Series A: Chemistry and Biology. Springer, Dordrecht, Chapter 20, 2018. – P. 279-292.

Kharlamova G., Kharlamov O., Bondarenko M., Silenko P., Khyzhun O., Gubareni N. Toxicology of Heterocarbon and Application of Nanoheterocarbon Materials for CBRN Defense. // In: Bonča J., Kruchinin S. (eds) Nanostructured Materials for the Detection of CBRN. NATO Science for Peace and Security Series A: Chemistry and Biology. Springer, Dordrecht, Chapter 19, 2018. – P. 245-277.

 Олейник Г.С. Силенко П.М., Шлапак А.Н.  Котко А.В. Особенности микротруктуры кристаллизации покрытия карбида кремния  на вольфрамовой нити. - Труды Институроблем материалове-дения НАН Украины «Электронная микро-скопия  и прочность материалов», 2018, выпуск 24. с.  72-80.

Силенко П.М., Шлапак А.Н., Андрущенко Д.И., Солонин Ю.М., Рево С.Л., Теселько П.А., Копань В.С. Особенности синтеза микро- и нановолокон SiC на углеродной ткани / VI-я Международная Самсоновская конференция “Материаловедение тугоплавких соединений”, 22 – 24 мая 2018 г. Киев, Украина, с. 171.

 Бондаренко M.Э., Силенко П.М., Губарени Н.И., Хижун О.Ю., Остаповская Н.Ю., Фролова М.А., Совместный синтез O-допированного нитрида углерода и водорастворимого оксида нитрида углерода из смеси циануровой кислоты и мочевины. VI-я Международная Самсоновская конференция “Материаловедение тугоплавких соединений”, 22 – 24 мая 2018 г. Киев, Украина, с. 163.

Бондаренко M.Э., Силенко П.М., Губарени Н.И., Хижун О.Ю., Остаповская Н.Ю., Получение пленок нитрида углерода на титановой подложке путем термической конденсации меламина. VI-я Международная Самсоновская конференция “Материаловедение тугоплавких соединений”, 22 – 24 мая 2018 г. Киев, Украина, с. 123.

M. Bondarenko, P. Silenko, N. Gubareni, O. Khyzhun, N. Ostapovskaya. Synthesis of multilayer azagraphene and carbon nitride oxide. Proceedings of Ukrainian Conference with International participation "Chemistry, Physics and Technology of Surface" – 23-24 May 2018, Kyiv, Ukraine. – p. 31.

M. Bondarenko, P. Silenko, N. Gubareni, O. Khyzhun, N. Ostapovskaya. Synthesis carbon nitride films onto Ti substrate by thermal CVD melamine. Proceedings of Ukrainian Conference with International participation "Chemistry, Physics and Technology of Surface" – 23-24 May 2018, Kyiv, Ukraine. – p. 32.

Yu. Solonin, Р. Sylenko, А. Shlapak.  Synthesis, structure, properties and  applications of ceramic 1-d micro-and nanostructures / 10-th International conference “Advanced Materials and Technologies: from Idea to Market” 24-26 October, 2018, Ningbo, China.

P. Silenko, А. Shlapak, D. Andrushchenko, S.Revo, Yu. Solonin.  Synthesis, structure, properties and applications of ceramic 1-d micro-and nanostructures / 10-th International conference “Advanced Materials and Technologies: from Idea to Market” 24-26 October, 2018, Ningbo, China.

 Marina Bondarenko, Peter Silenko, Nadezhda Gubareni, Oleg Khyzhun, Natalia Ostapovskaya. Production of Multilayer Azagraphene by Reduction of Carbon Nitride Oxide

Synthesized from Cyanuric Acid and Urea Mixture. 1st International Symposium on Quantum Technology, Aberdeen, Scotland, United Kingdom, 24-27 June 2018. Published online

<https://conferences-nscj.co.uk/abstract/files/11/abstract/qt01_A0807.pdf>.

Marina Bondarenko, Peter Silenko, Nadezhda Gubareni, Oleg Khyzhun, Natalia Ostapovskaya. Deposition of Carbon Nitride Films on Titanium Surface for Hydrogen Evolution Electrodes. The 8th International Symposium on Energy, Aberdeen, Scotland, United Kingdom, 6-9 August 2018. Published online <https://conferences-nscj.co.uk/abstract/files/8/abstract/en08_A0999.pdf>.

Bondarenko M., Silenko P., Khyzhun O., Gubareni N., Synthesis of azagraphene and water-soluble carbon nitride oxide. Advanced Materials World Congress 2018 (AMWC 2018), Published online by the VBRI Press, Singapore, 4–8 February 2018, AMWC-4234, Published online www.vbripress.com/amwc17, DOI: [10.5185/amwc.2018](http://dx.doi.org/10.5185/amwc.2018).

Bondarenko M.E., Khyzhun O.Y., Gubareni N.I., Synthesis of heteroatomic N-graphene (azagraphene) and carbon nitride oxide as its precursor, ACNS-2017 Book of Abstracts, 13th International Conference "Advanced Carbon NanoStructures", Saint-Petersburg, Russia, July 3-7, 2017, P. 212.

Рево С.Л., Мельниченко М.М., Силенко П.М., Іваненко К.О., Шевченко І.П. Визначення напруження початку пластичної течії нанокомпозиційних матеріалів методом мікроіндентування. - Вісник Київського університету, Серія: фіз.-мат. науки. – 2017. –  №3   – С.189-192.

 Oleksii Kharlamov, Marina Bondarenko, Ganna Kharlamova, Peter Silenko, Oleg Khyzhun, Nadezhda Gubareni, Carbon Nitride Oxide (g-C3N4)O and Heteroatomic N-graphene (Azagraphene) as Perspective New Materials in CBRN defense, NATO Advanced Research Workshop (ARW), Detection of CBRN - Nanostructured Materials, Kyiv, Ukraine, August 14 – 17, 2017, Ref. no.:985212.

 Ganna Kharlamova, Oleksii Kharlamov, Marina Bondarenko, Peter Silenko, Oleg Khyzhun, Nadezhda Gubareni, Toxicology of Heterocarbon and Application of Nanoheterocarbon Materials for CBRN defense, NATO Advanced Research Workshop (ARW), Detection of CBRN - Nanostructured Materials, Kyiv, Ukraine, August 14 – 17, 2017, Ref. no.:985212.

 Revo S.L., Avramenko T.G., Melnichenko M.M., Ivanenko K.O., Korolik A.S., Sylenko P.M. Microhardness of composite materials based on fluoropolymer and thermaly expanded graphite- Eighteenth International Young Scientists Conference Devoted to 95 th Anniversary of Proffesor M.U.Bilyi Optics&High Technology Material Science SPO 2017 October 26-29, 2017, Kyiv, Ukraine, pp. 51-52.

1. Дані про реєстрацію роботи – 0117U002202