**Звіт про науково-дослідну роботу: „ Нанокомпозитні матеріали на основі шаруватих кристалів А3В6, вузькозонних напівпровідників А4В6, наноструктурованого вуглецю і твердих електролітів MeNO3     (Me = K, Na, Rb, Cs) для виготовлення фотоперетворювачів і накопичувачів електричної енергії”**

**Мета роботи** - одержання нанокомпозитних матеріалів для накопичувачів і перетворювачів електричної енергії з характеристиками, що кращі за існуючі аналоги.

Терміни виконання наукової роботи: початок І кв. 2016 р.

закінчення IV кв. 2018 р.

**Керівник роботи**: Ковалюк Захар Дмитрович, д.ф.-м.н., ( Email: [chimsp@ukrpost.ua](mailto:chimsp@ukrpost.ua))

**Скорочений зміст висновків рецензентів.**

Виконання роботи базується на великому обсязі проведених технологічних процесів різними технологічними методами і широкому спектрі дослідницьких методик. Використовуючи ці технологічні методи були сформовані і досліджені наноструктури різної розмірності з матеріалів різної кристалічної структури і типів хімічного зв’язку (металів, напівпровідників, вуглецю, діелектриків) на Ван-дер-Ваальсових поверхнях шаруватих кристалів. Оригінальні результати досліджень морфологічних досліджень, структурних особливостей і хімічного складу вищеназваних нанокомпозитних матеріалів, сформованих на атомарно чистих, окислених і нанопористих поверхнях шаруватих кристалів були отримані з використанням сучасних методів досліджень. Встановлена можливість створення ефективних оптичних випромінювачів і фотоприймачів (Ван-дер-Ваальсових гетероструктур) на основі 2D матеріалів, отриманих шляхом механічного відлущування (шарів кристалів GaSe, InSe, графену), досліджено механізми випромінювальної рекомбінації збуджених світлом носіїв в 2D шарах InSe і час життя екситонів в цьому матеріалі*.* Отримані результати опубліковані у високо-рейтингових журналах та представлені на престижних міжнародних конференція і представляють собою певну сходинку у розвитку сучасної матеріалознавчої науки в області вирощування нанокомпозитних матеріалів та наноструктур.

**Пропозиції про подальше використання результатів роботи**.

На основі отриманих результатів продовжити експериментальні і теоретичні дослідження нанокомпозитних матеріалів на основі шаруватих кристалів А3В6, вузькозонних напівпровідників А4В6, наноструктурованого вуглецю і твердих електролітів MeNO3, з метою покращення їх характеристик та виготовлення електронних пристроїв на їх основі.

Дані про реєстрацію роботи: № 0116U003513

**РЕФЕРАТ**

**Об’єкт дослідження** – нанокомпозитні матеріали на основі А3В6, А4В6, вуглецю і твердих електролітів.

**Мета роботи** – одержання нанокомпозитних матеріалів для накопичувачів і перетворювачів електричної енергії з характеристиками, що кращі за існуючі аналоги.

**Методи дослідження** – рентгенівський аналіз, атомно-силова мікроскопія, електричні та оптичні вимірювання, теоретичне моделювання. На основі гексагональних шаруватих кристалів A3B6, нанорозмірних включень кубічних кристалів вузькозонних напівпровідникових сполук A4B6, наноструктурованого вуглецю і твердих електролітів отримані нанокомпозитні матеріали, придатні для використання у фотоперетворювачах і накопичувачах електричного заряду. Досліджено їх хімічний склад, морфологію, електричні та оптичні властивості. Приведені приклади практичного використання отриманих матеріалів (бар’єри Шоткі, фотоконденсатор, фотодетектор на основі β-In2Se3). Прогнозні припущення щодо розвитку об’єкта дослідження – пошук оптимальної технології виробництва нанокомпозитних матеріалів та виготовлення електронних пристроїв на їх основі.

**Ключові слова**: ШАРУВАТІ КРИСТАЛИ, НАНОКОМПОЗИТНІ МАТЕРІАЛИ, ПЛІВКИ, ТВЕРДІ ЕЛЕКТРОЛІТИ, СЕЛЕНІД ІНДІЮ, ГРАФІТ, БАР’ЄР ШОТКІ.

**Публікації**

1. Ковалюк З.Д. Створення гетероструктури *n-*InSe–графіт / З.Д. Ковалюк, І.Г. Ткачук, Р.Л. Поцілуйко, В.М. Катеринчук, В.В. Нетяга, В.М. Камінський // Журнал фізики та інженерії поверхні. – 2016. – Т. 1, № 3. – C. 251–254.
2. Боледзюк В.Б. Оптичні властивості GaSe, інтеркальованого гідрооксидом калію / В.Б. Боледзюк, З.Д. Ковалюк, М.М. Пирля, Ю.М. Цибуленко, В.В. Нетяга, В.М. Камінський // Журнал нано- та електронної фізики. – 2016. – Т. 8, № 2. – С. 04065-1–04065-4.
3. Balakrishnan N. Quantum confinement and photoresponsivity of β-In2Se3 nanosheets grown by physical vapour transport / N. Balakrishnan, C.R. Staddon, E.F. Smith, J. Stec, D. Gay, G.W. Mudd, O. Makarovsky, Z.R. Kudrynskyi, Z.D. Kovalyuk, L. Eaves, A. Patanè, P.H. Beton // 2D Materials. – 2016. – V. 3, N 2. – P. 025030-1–025030-8.
4. Tonndorf P. On-chip waveguide coupling of a layered semiconductor single-photon source / P. Tonndorf, O. Del Pozo-Zamudio, N. Gruhler, J. Kern, R. Schmidt, A.I. Dmitriev, A.P. Bakhtinov, A.I. Tartakovskii, W. Pernice, S.M.d e Vasconcellos, R. Bratschitsch // Nano Lett. – 2017. – V. 17, N 9. – P. 5446–5451.
5. Tonndorf P. Single-photon emitters in GaSe / P. Tonndorf, S. Schwarz, J. Kern, I. Niehues, O.D. Pozo-Zamudio, A.I. Dmitriev, A.P Bakhtinov, D.N. Borisenko, N.N. Kolesnikov, A.I. Tartakovskii, S.M. de Vasconcellos, R. Bratschitsch // 2D Mater. – 2017. V. 4, N 2. – P. 021010-1–021010-6.
6. Бахтінов А.П. Нові нанокомпозитні сеґнетоелектричні матеріали – шаруваті кристали *n*-InSe<RbNO3> та *p*-GaSe<RbNO3>/ А.П. Бахтінов, В.М. Водоп’янов, З.Д. Ковалюк, В.В. Нетяга, І.Г. Ткачук // Наносистеми, наноматеріали, нанотехнології. – 2017. – N. 15, № 1. – C. 83–90.
7. Бахтінов А.П. Хемічний склад і морфологія поверхні йонотронних наноструктур, сформованих на основі 2D-шаруватих кристалів InSe і йонної солі RbNO3 / А.П. Бахтінов, В.М. Водопʼянов, В.І. Іванов, В.Л. Карбівський, З.Д. Ковалюк, В.В. Нетяга, О.С. Литвин // Металлофизика и новейшие технологи. – 2017. – T. 39, № 11. – C. 1573–1587.
8. Zhirko Y. Characterization of layered GaSe crystals intercalated with RbNO3 ferroelectric salt and their application for electric capacitors / Y. Zhirko, V. Grekhov, Z. Kovalyuk, V. Netyaga // International Journal of Engineering Research & Science. – 2017. – V. 3, № 8. – P. 12–19.
9. Balakrishnan N. Epitaxial growth of γ-InSe and α, β, and γ-In2Se3 on ε-GaSe / N. Balakrishnan, E.D. Steer, E.F. Smith, Z.R. Kudrynskyi, Z.D. Kovalyuk, L. Eaves, A. Patanè, P.H. Beton // 2D Materials. – 2018. – V. 5, N 3. – P. 035026-1–035026-9.
10. Нетяга В.В. Фотоконденсатор на основе нанокомпозита *n*-InSe<RbNO₃> / В.В. Нетяга, В.Н. Водопьянов, В.И. Иванов, И.Г. Ткачук, З.Д. Ковалюк // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. – 2018. – № 2. – С. 3–8.
11. Бахтінов А.П. Фотоелектричні властивості нанокомпозитних іонотронних структур, сформованих на основі 2D шаруватого напівпровідника InSe та іонної солі RbNO3 / А.П. Бахтінов, В.М. Водоп’янов, В.І. Іванов, З.Д. Ковалюк, І.Г. Ткачук, В.В. Нетяга, О.С. Литвин // Журнал нано- та електронної фізики. – 2018. – Т. 10, № 1. – P. 01020-1–01020-7.
12. Impedance and Photosensitivity Spectra of Nanocomposite Structures Based on Layered Semiconductor InSe and Ionic Salt RbNO3 / A.P. Bakhtinov, V.M. Vodopyanov, V.I. Ivanov, I.G. Tkachuk, V.V. Netyaga, P.I. Savitskii, Z.D. Kovalyuk // Phys. Status Solidi A (https://doi.org/10.1002/ pssa.201800460).
13. Кудринський З.Р. Спосіб виготовлення іонотронних нанокомпозитних матеріалів на основі 2D наночастинок шаруватих напівпровідників А3В6 і іонних солей MeNO3 (Me = K, Na, Rb, CS) / З.Р. Кудринський, А.П. Бахтінов, В.М. Водоп&apos;янов, З.Д. Ковалюк, В.В. Нетяга // Номер патенту: 116894. Опубл. 12.06.2017, Бюл. № 11.
14. Бахтінов А.П. Спосіб виготовлення поляриметричних фотоприймачів на основі анізотропного шаруватого напівпровідника InSe і наноструктурованого графіту / А.П. Бахтінов, В.М. Водоп’янов, В.І. Іванов, З.Д. Ковалюк, З.Р. Кудринський, І.Г. Ткачук // Номер патенту: 124981. Опубл. 25.04.2018, Бюл. № 8.