

**МОДИФІКАЦІЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ
КЛАТРАТО/КАВИТАНДНИХ КОМПЛЕКСІВ
InSe<CS(NH₂)₂> ТА GaSe<CS(NH₂)₂>
ПРИ ЇХ СИНТЕЗІ В МАГНІТНОМУ ПОЛІ**

Ф. О. Іващишин, О. В. Балабан, І. І. Григорчак
*Національний університет «Львівська політехніка»,
Львів, Україна,*

Надійшла до редакції 03.02.2016

У роботі запропоновано новий технологічний підхід до синтезу мультипошарових наноструктур, який дає можливість підсилення їх сенсорних властивостей та застосування для високоефективного неелектрохімічного акумулювання електричної енергії. Показано, що синтез наноструктури InSe<CS(NH₂)₂> в постійному магнітному полі призводить до зміни магніторезистивного ефекту з від'ємного на додатній. Для наноструктури GaSe<CS(NH₂)₂>, синтезованої в постійному магнітному полі, зростає індуктивний відгук та діелектрична проникність більше, ніж на два порядки, також зареєстровано колосальний магнітоємнісний ефект. Синтез наноструктури GaSe<CS(NH₂)₂> у постійному магнітному полі забезпечує поєднання значення тангенса кута електричних втрат (меншого від одиниці) у інфранизькочастотному діапазоні з надвисоким значенням діелектричної проникності. Це є перспективним для накопичення електричної енергії на квантовому рівні.

Ключові слова: GaSe, InSe, CS(NH₂)₂, інтеркаляція, клатрат, кавітанд, імпедансна спектроскопія, магнітоємнісний ефект, квантовий акумулятор.

**МОДИФИКАЦИЯ СВОЙСТВ
КЛАТРАТО/КАВИТАНДНЫХ КОМПЛЕКСОВ
InSe<CS(NH₂)₂> И GaSe<CS(NH₂)₂>
ПРИ ИХ СИНТЕЗЕ В МАГНИТНОМ ПОЛЕ**

Ф. О. Иващишин, О. В. Балабан, И. И. Григорчак

В работе предложен новый технологический подход к синтезу мультислоистых наноструктур, который дает возможность усиления их сенсорных свойств и применения для высокоэффективного неэлектрохимического аккумуляирования электрической энергии. Показано, что синтез наноструктуры InSe<CS(NH₂)₂> в постоянном магнитном поле приводит к изменению магниторезистивного эффекта с отрицательного на положительный. Для наноструктуры GaSe<CS(NH₂)₂>, синтезированной в постоянном магнитном поле, растет индуктивный отклик и диэлектрическая проницаемость больше, чем на два порядка, также зарегистрирован колоссальный магнитоемкостный эффект. Синтез наноструктуры GaSe<CS(NH₂)₂> в постоянном магнитном поле обеспечивает сочетание меньшего единицы значения тангенса угла электрических потерь в инфранизкочастотном диапазоне со сверхвысоким значением диэлектрической проницаемости, является перспективным для накопления электрической энергии на квантовом уровне.

Ключевые слова: GaSe, InSe, CS(NH₂)₂, интеркаляция, клатрат, кавитанд, импедансная спектроскопия, магнитноемкостный эффект, квантовый аккумулятор.

**PROPERTIES MODIFICATION
OF CLATHRATE/KAVITAND SYSTEMS
InSe<CS(NH₂)₂> AND GaSe<CS(NH₂)₂>
AT THEIR SYNTHESIS IN MAGNETIC FIELD**

F. O. Ivashchyn, O. V. Balaban, I. I. Grygorchak

In this paper, new technological approach to the synthesis of multi layered nanostructures was proposed. It increased sensory properties of these nanostructures and used for highly efficient nonelectrochemical accumulation of electrical energy. It was shown, that the synthesis of InSe<CS(NH₂)₂> nanostructures in the constant magnetic field led to changes in magnetoresistive

effect from negative to positive. For nanostructure $\text{GaSe}<\text{CS}(\text{NH}_2)_2>$, synthesized in a constant magnetic field, the inductive response and dielectric permittivity increased by more than two orders of magnitude. Also for this nanostructure huge magnetic capacitive effect was registered. Synthesis of $\text{GaSe}<\text{CS}(\text{NH}_2)_2>$ nanostructure in constant magnetic field provided the combination (in the infra low frequency range) of loss tangent value (less than 1) with ultrahigh dielectric constant. This combination was promising for the accumulation of electrical energy on the quantum level.

Keywords: GaSe, InSe, $\text{CS}(\text{NH}_2)_2$, intercalation, clathrate, kavitand, impedance spectroscopy, magnetic capacitive effect, quantum battery.

ВСТУП

Уже більш як десятиліття підвищену увагу приковує формування наногібридизованих неорганічно/органічних композитів як спосіб отримання структур з широким спектром нових, невідомих досі властивостей [1, 2]. Проте успіхи, досягнуті на шляху їх практичного застосування, ще не можна вважати вражаючими, адже поки що накопичений лише незначний досвід і зроблені тільки перші кроки [3, 4, 5]. Видається, що подальшого прогресу в комплексному дослідженні таких наногібридів, спрямованому на розширення сфер їх практичного застосування, можна досягнути застосуванням в якості гостьового контенту супрамолекулярних об'єктів, з якими часто пов'язують реалізацію унікальних фізико-хімічних властивостей, які часто є парадоксальними [6, 7]. У них рецептор («господар») містить молекулярні центри налаштовані на селективне зв'язування певного визначеного субстрата («гостя») за так званим принципом «замок-ключ». Власне один з їх різновидностей вирізнув новий принцип організації речовини – клатратний. Очевидно, що такий підхід відкриває можливість формування супрамолекулярних ансамблів ієрархічної архітектури субгосподар<господар<гість>>. Очікується, що останні зможуть зробити вагомий внесок в розвиток наноінженерії.

Так, нами в роботах [8, 9] в якості гостьових кавітантів були використані відповідно 18-краун-ефір-6 та тіосечовина (тіокарбамід- $\text{CS}(\text{NH}_2)_2$). Наприклад, останній може діяти як проміжний господар завдяки сильним міжмолекулярним водневим зв'язкам між кислотними протонами NH_2 -груп і атомами кисню або сірки сусідніх молекул. В результаті утворюється хірально спіральна порожниста трубка з молекул сечовини з мінімальним ван-дер-ваальсовим діаметром 5,5–5,8 Å, в яку може ввійти гість з відповідним

поперечним перерізом. В результаті було доведено, що синтезовані клатрато/кавітантні ансамблі першого типу перспективні для розвитку супрамолекулярної фотоелектроніки, а другого – для підвищення ефективності Li^+ -інтеркаляційного струмоутворення.

На жаль, сьогодні поза увагою залишилася ще одна можливість підвищення варіабельності потрібних властивостей отримуваних неорганічно/органічних наногібридів. Це — їхній синтез у зовнішніх фізичних полях, наприклад, магнітному. Оскільки інформація щодо такого напрямку досліджень взагалі відсутня, то метою даної роботи якраз і є заповнення в певній мірі зазначеної прогалини в цій галузі знань.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

В експериментах матеріалами — «субгосподарями» служили шаруваті напівпровідники селенід галію (GaSe) та селенід індію (InSe). Вирощені методом Бріджмена-Стокбаргера монокристали володіли яскраво вираженою шаруватою структурою та p- і n-типом провідності, відповідно. Ширина забороненої зони (за оптичними даними) складала 2,02 eV для першого виду монокристалів та 1,22 eV — для другого. Відомо [10], що вони характеризуються наявністю так званих «гостьових» позицій (областей дій слабких ван-дер-ваальсових сил), орієнтованих перпендикулярно до кристалографічної осі C. Впровадження в означені внутрішньокристалічні проміжки чужорідних іонів, атомів чи молекул відоме як явище інтеркаляції [11].

В якості гостьового кавітанту застосовувалася тіосечовина. Оскільки вона безпосередньо ні в InSe , ні в GaSe не впроваджується, то для формування наноструктур $\text{InSe}(\text{GaSe})<\text{CS}(\text{NH}_2)_2>$ була застосована тристадійна схема кристалоінженерії, детально описана в [12]. Розширення ґратки

уздовж кристалографічної осі С становило двократне значення. З метою дослідження впливу постійного магнітного поля, прикладеного в процесі формування наногібридів, на струмопроходження та поляризаційні властивості частина структур формувалася у постійному магнітному полі (МП), напруженістю 2,75 кОе і напрямленому перпендикулярно до нанопрошарків.

Дослідження кінетичних і поляризаційних властивостей синтезованих наноструктур проводили методом імпедансної спектроскопії в частотному діапазоні 10^{-3} – 10^6 Гц за допомогою вимірювального комплексу «AUTOLAB» фірми «ECO CHEMIE» (Нідерланди), укомплектованого комп'ютерними програмами FRA-2 та GPES. Комп'ютерна параметрична ідентифікація отриманих імпедансних залежностей проводилася в середовищі програмного пакету ZView 2.3 (Scribner Associates). Вимірювання проводилися за нормальних умов (НУ) та в постійному МП напруженістю 2,75 кОе. Постійне магнітне поле при вимірюваннях було колінеарним (перпендикулярним до нанопрошарків) зі струмом, щоб можна було абстрагуватися від сили Лоренца.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

На рис. 1 наведені частотні залежності дійсної складової питомого комплексного імпедансу ($\text{Re}Z(\omega)$) до (1–2) і після впровадження тіосечовини за НУ (3–4) та в МП (5–6) у двократно розширений InSe. Насамперед видно, що інтеркаляція тіосечовини призводить до зростання $\text{Re}Z(\omega)$ за обох умов синтезу. При цьому вплив магнітного поля, накладеного в процесі формування наногібриду, за величиною хоч і є слабким, проте, з точки зору частотної дисперсії дійсної складової комплексного імпедансу, є істотним — проявляються осциляції в частотному інтервалі 1–350 Гц (вставка на рис. 1). Причину таких осциляцій мабуть можна було б пов'язати з модифікацією домішкового спектру за рахунок залишкового «квантового підсилення» гостьовим контентом зеєманівського розщеплення. Зникнення цих осциляцій при вимірюванні у МП (крива 6 на рис. 1) свідчить про трансформацію у магнітному полі смугастого спектру у квазінеперервний за рахунок

того ж зеєманівського розщеплення. Те, що власне цей механізм є відповідальним за спостережувані ефекти можна бачити з рис. 1, на якому добре видно перехід від від'ємного магнітоопору для наноструктури, синтезованої за НУ, до додатнього — у разі синтезу в МП. Це означає, що накладання МП в процесі синтезу забезпечує інверсію асиметрії густини станів над і під рівнем Фермі.

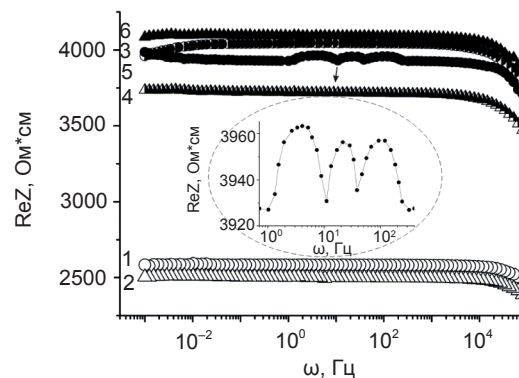


Рис. 1. Частотні залежності дійсної складової питомого комплексного імпедансу InSe до (1–2) і після впровадження тіосечовини за НУ (3–4) та в МП (5–6). Вимірювання проводилося за НУ (1, 3, 5) та у МП (2, 4, 6)

Постійне магнітне поле, накладене в процесі синтезу змінює і поляризаційні процеси. Підтвердження цього можна бачити на рис. 2. Видно, що низькочастотні вітки годографів імпедансу мають протилежний частотний генезис (вставка до рис. 2). Якщо для

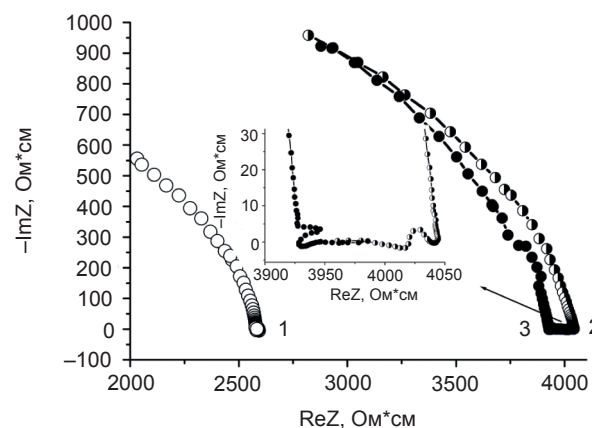


Рис. 2. Діаграми Найквіста двократно розширеного InSe (1) та InSe<CS(NH₂)₂>, синтезованого за НУ (2) та в МП (3)

наноструктури, синтезованої за НУ, можна запропонувати еквівалентну електричну схему (рис. 3а), що містить квантову ємність Лурі [13] дискретизованих станів у напрямку, перпендикулярному до нанопрошарків,

то у випадку синтезу в МП вона описується схемою (рис. 3б), в якій елемент ВСР [14] відображає струмопроходження в просторово-обмеженій області з комплексною електропровідністю, а СРЕ з малим показником фазового відхилення ($n \leq 0,1$) в даному разі моделює фракталізований бар'єрний потенціал. Зазначимо, що незавершеність дуг годографу імпедансу у височастотній області пов'язана лише з тим, що використований імпедансний комплекс обмежений скануванням частотного діапазону до 1 МГц.

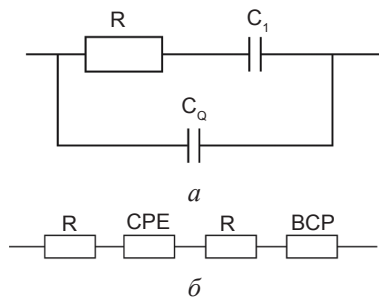


Рис. 3. Еквівалентні електричні схеми для годографів імпедансу синтезованих наноструктур

Впровадження тіосечовини в еквідистантно розширену матрицю *p*-типу GaSe за НУ веде до зменшення дійсної складової питомого комплексного імпедансу майже на порядок (рис. 4), засвідчуючи акцептор-

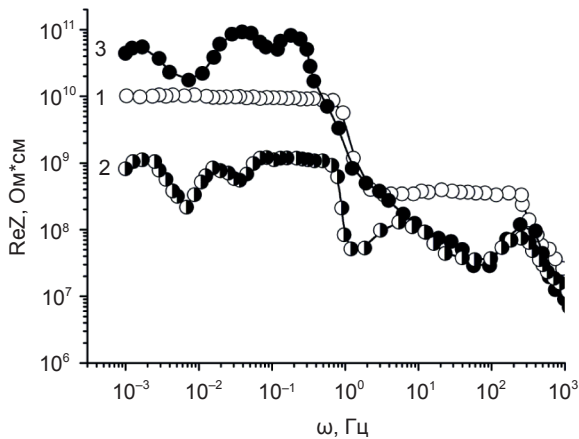


Рис. 4. Частотні залежності дійсної складової питомого імпедансу GaSe до (1) і після впровадження тіосичовини за НУ (2) та в МП (3). Вимірювання проводилося за НУ

ні властивості гостьового контенту. Синтез у МП навпаки — викликає ріст $\text{Re}Z$. Однак, за обох умов синтезу бачимо сильно немонотонну частотну дисперсію низькочастотної вітки $\text{Re}Z$, що вказує на появу індуктивного відгуку наноструктури, зумовленого,

захопленням і утримуванням інжекттованих носіїв пастковими центрами упродовж часу співмірного з півперіодом вимірювального сигналу [15, 16]. Це добре видно з діаграм Найквіста — відображення залежності $\text{Im}(Z) = f(\text{Re}Z)$ у площині комплексного імпедансу: відповідні вітки переходять у IV індуктивний квадрант (рис. 5).

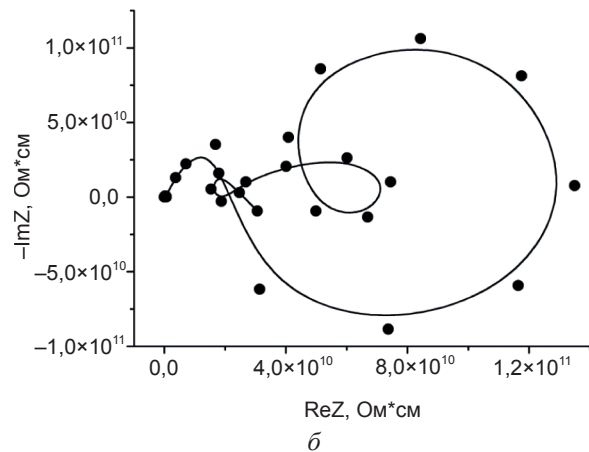
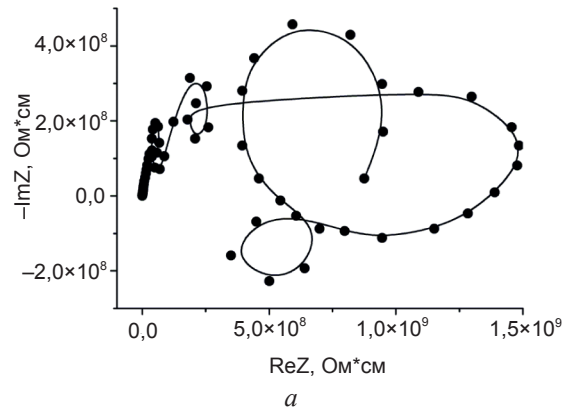


Рис. 5. Діаграми Найквіста наноструктури $\text{GaSe}<\text{CS}(\text{NH}_2)_2>$ сформованої за НУ (а) та в МП (б). Вимірювання проводилося за НУ

Для синтезованої структури $\text{GaSe}<\text{CS}(\text{NH}_2)_2>$ за НУ спостерігається гігантський додатний магніторезистивний ефект: $\text{Re}Z$ зростає практично у 5 разів в широкому інфранизькочастотному діапазоні (10^{-3} –1 Гц). Магнітне поле, накладене при синтезі практично нівелює зміну $\text{Re}Z$ під час вимірювання у МП.

Володіючи низькою електронною провідністю (зумовленою власними дефектами) наногібриди $\text{GaSe}<\text{CS}(\text{NH}_2)_2>$ можуть виявитися цікавими, для Діелектроніки. Оскільки для неї важливим параметром є, зокрема, добротність структур, то розглядатимемо, найперше умови, при яких тангенс кута

електричних втрат ($\text{tg}\delta$) є меншим від одиниці. Як видно з рис. 6а, це область 10^2 – 10^6 Гц для наногібриду $\text{GaSe}<\text{CS}(\text{NH}_2)_2>$, синтезованого за НУ, та 10^{-3} – 10^{-1} Гц — синтезованого в МП. Загалом, інтеркаляція тіосечовини за НУ забезпечує менше значення $\text{tg}\delta$, порівняно з вихідною матрицею тільки у частотному інтервалі $3 \cdot 10^4$ – 10^6 Гц. Натомість синтез у МП розширює низькочастотну межу зазначеного зменшення $\text{tg}\delta$ практично до 10^2 Гц (рис. 6а). Під час вимірювань у МП тангенс кута електричних втрат зменшується як для структури, синтезованої у магнітному полі, так і за нормальних умов.

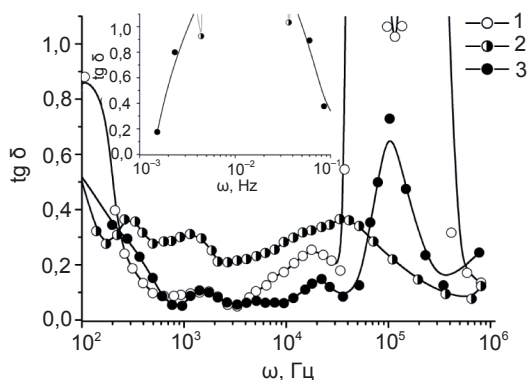


Рис. 6а. Частотні залежності $\text{tg}\delta$ у GaSe до (1) та після впровадження $\text{CS}(\text{NH}_2)_2$ за НУ (2), у МП (3). Вимірювання проводилося за НУ. На вставці — інфранизькочастотна область

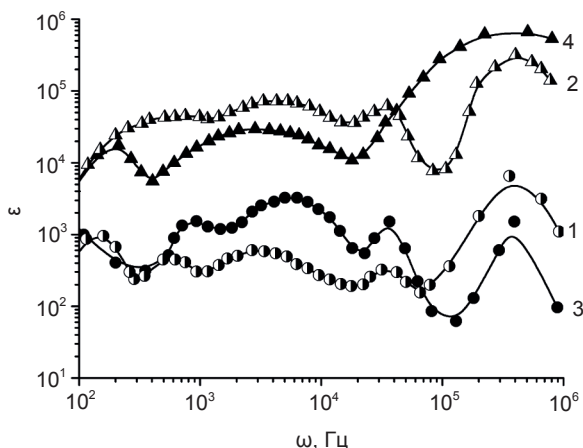


Рис. 6б. Частотні залежності дійсної складової ϵ' GaSe після впровадження $\text{CS}(\text{NH}_2)_2$ за НУ (1, 2) та в МП (3, 4). Вимірювання проводилося за НУ (1, 3) і у МП (2, 4)

Діелектрична проникність (ϵ) в частотному інтервалі 10^2 – 10^5 Гц практично не змінюється після впровадження тіосечовини за НУ у двократно розширений GaSe . Проте при синтезі $\text{GaSe}<\text{CS}(\text{NH}_2)_2>$ в МП вона росте у частотному інтервалі $3 \cdot 10^3$ – 10^6 Гц

(рис. 6б). В залежності від значення частоти її ріст може складати два порядки.

Як видно з рис. 6б для синтезованих структур виявлено колосальний магнітоємнісний ефект: у магнітному полі діелектрична проникність сильно зростає. При цьому, величина зазначеного росту залежить від умов синтезу. Так синтез за НУ забезпечує ріст ϵ практично у 100 разів в частотному інтервалі 10^2 – $4 \cdot 10^4$ Гц, що перевищує відповідний ріст для наноструктур, синтезованих у МП. Натомість, останні умови синтезу забезпечують сильний ріст ϵ у високочастотному діапазоні $4 \cdot 10^4$ – 10^6 Гц.

З наведених частотних залежностей діелектричної проникності видно частотні інтервали її аномальної частотної дисперсії — ріст ϵ зі збільшенням частоти. Її природа має електронне походження і, найімовірніше, пов'язана з додатковою поляризацією, що виникає при перескоках носіїв по локалізованих станах під рівнем Фермі.

З вище наведених результатів впливають два важливі напрямки практичного застосування синтезованих клатрато/кавітандних структур:

- поєднання колосальних значень ϵ з низькими значеннями $\text{tg}\delta$ у високочастотній області забезпечує використання досліджуваних наноструктур в якості високочастотних конденсаторних структур з надвеликою ємністю для радіочастотного діапазону;
- сильне зменшення $\text{tg}\delta$ та ріст ϵ з даного частотного діапазону при накладанні магнітного поля відкриває широкі перспективи використання як високочутливих ємнісних сенсорів магнітного поля та магнетоварікапів.

При цьому в більшості випадків технічного застосування, власне накладання МП в процесі синтезу забезпечує покращені функціональні можливості. І не тільки. Особливо варто звернути увагу на той факт, що синтез наногібриду $\text{GaSe}<\text{CS}(\text{NH}_2)_2>$ саме у МП забезпечує поєднання у інфранизькочастотному діапазоні (10^{-3} – 10^{-1} Гц) значення $\text{tg}\delta$ меншого від одиниці із надвисоким значенням діелектричної проникності (10^5 – 10^4), що дозволяє надвисокоємне накопичення енергії на квантовому рівні, придатне для

створення квантових акумуляторів — нової альтернативи хімічним джерелам струму. Поки можна тільки допустити, що природа цього ефекту пов'язана з накопиченням зарядів на межах фаз «субгосподаря» і «господаря» при умові спряження інтерференційної блокади резонансного електронного тунелювання з великим радіусом екранування Тома-са-Фермі підбар'єрних носіїв.

ВИСНОВКИ

1. Синтез наноструктури $\text{InSe}<\text{CS}(\text{NH}_2)_2>$ у постійному магнітному полі призводить до зміни магніторезистивного ефекту з від'ємного на додатній та кардинально змінює природу поляризаційних властивостей, про що свідчить протилежний частотний генезис низькочастотних віток діаграм Найквіста.
2. Для наноструктури $\text{GaSe}<\text{CS}(\text{NH}_2)_2>$, синтезованої за нормальних умов, спостерігається явище «від'ємної ємності» та колосальний магнітоємнісний ефект, які суттєво зростають, якщо її синтезувати у постійному магнітному полі.
3. Мультипошарові наногібриди $\text{GaSe}<\text{CS}(\text{NH}_2)_2>$ є високодобротними у радіочастотному діапазоні. У інфранизькочастотній області поєднання меншого від одиниці значення $\text{tg}\delta$ з надвисоким значенням ϵ досягається тільки в результаті накладання при їх синтезі постійного магнітного поля перпендикулярно до нанопрошарків. Останнє призводить до надвисокоємного накопичення електричної енергії на квантовому рівні.

ЛІТЕРАТУРА

1. Choy J. H. Intercalative route to heterostructured nanohybrids / J. H. Choy, S. J. Kwon, G. S. Park // *Science*. — 1998. — Vol. 280. — P. 1589–1592.
2. Choy J. H. Intercalative nanohybrids of nucleoside monophosphates and DNA in layered metal hydroxide / J. H. Choy, S. Y. Kwak, J. S. Park, Y. J. Jeong, J. Portier // *J. Am. Chem. Soc.* — 1999. — Vol. 121. — P. 1399–1400.
3. Grygorchak I. I. High frequency capacitor nanostructure formation by intercalation / I. I. Grygorchak, B. O. Seredyuk, K. D. Tovstyuk, B. P. Bakhmatyuk // *New Trends in*

Intercalation Compounds for Energy Storage. — Paris: Kluwer acad. publ. — 2002. — P. 543–545.

4. Voitovych S. A. Lateral semiconductive and polymer conductive nanolayered structures: preparation, properties and application / S. A. Voitovych, I. I. Grygorchak, O. I. Aksimentyeva // *Mol. Cryst. Liq. Cryst.* — 2008. — Vol. 497. — P. 55–64.
5. Choy J. H. Intercalative route to heterostructured nanohybrids / J. H. Choy, S. M. Peak, J. M. Oh, E. S. Jang // *Curr. Appl. Phys.* — 2002. — Vol. 2(6). — P. 489–495.
6. Стив, Дж. В. Супрамолекулярная химия / Дж. В. Стив, Дж. Л. Этвуд. — М.: Академкнига, 2007. — 480 с.
7. Elhabiri M. Supramolecular edifices and switches based on metal / M. Elhabiri, A-M. Albrecht-Gary // *Coord. Chem. Rev.* — 2008. — Vol. 252(10–11). — P. 1079–1092.
8. Біщанюк Т. М. Термодинамічні і кінетичні особливості Li^+ -інтеркаляційного струмоутворення у супрамолекулярних ансамблях ієрархічної архітектури на базі МСМ-41 і розширеного графіту з карбамідним кавітандом / Т. М. Біщанюк, Р. Я. Швець, І. І. Григорчак, С. І. Будзуляк, Л. С. Яблонь, І. А. Климишин // *ФХТТ*. — 2013. — Т. 14, № 1. — С. 190–196.
9. Григорчак, І. І. Інтеркалатні наноструктури з ієрархічною супрамолекулярною архітектурою: отримання, властивості, застосування / І. І. Григорчак, Ф. О. Іващишин, О. І. Григорчак, Д. В. Матулка // *Фізична інженерія поверхні*. — 2010. — Т. 8, № 4. — С. 284–292.
10. Kuhn, A. Crystal structure and interatomic distance in GaSe / A. Kuhn, A. Chevy, R. Chevalier // *Phys. Status Sol.* — 1975. — Vol. A31. — P. 469–475.
11. Grygorchak, I. I. Intercalation: achievements, problems, outlook (Review) / I. I. Grygorchak // *PCSS*. — 2001. — Vol. 2, No. 1. — P. 7–57.
12. Иващишин Ф. О. Интеркалатные гетероструктурированные наногибриды конфигурации полупроводник-нематик: формирование, свойства, применение / Ф. О. Иващишин, И. И. Григорчак // *ФТТ*. — 2010. — Т. 52, № 10. — С. 1891–1986.
13. Luryi S. Quantum capacitance devices // *Appl. Phys. Lett.* — 1988. — Vol. 52(6). — P. 501–503.

14. Стойнов З. Б. Электрохимический импеданс / З. Б. Стойнов, Б. М. Графов, Б. Савова-Стойнова, В. В. Елкин. — М.: Наука, 1991. — 336 с.
15. Bishchaniuk T. M. Electronic processes and energy storage in inorganic/organic nano-hybrids / T. M. Bishchaniuk, O. V. Balaban, R. Ya. Shvets, I. I. Grygorchak, A. V. Fechan, B. A. Lukiyanets, F. O. Ivashchyshyn // *Mol. Cryst. Liq. Cryst.* — 2014. — Vol. 589, No. 3. — P. 132–140.
16. Grygorchak I. I. New materials for «quantum» storage of electric power / I. I. Grygorchak, B. A. Lukiyanets, O. V. Balaban, T. M. Bishchaniuk, R. Ya. Shvets // *Mat. Sci. Semicon. Proc.* — 2014. — Vol. 26. — P. 690–694.
8. Bischanyuk T. M. Termodinamichni i kinetichni osoblivosti Li⁺-interkalyacijnogo strumovtvorennja u supramolekulyarnih ansamblyah ierarhichnoї arhitekturi na bazi MSM-41 i rozshirenogo grafitu z karbamidnim kavitandom / T. M. Bischanyuk, R. Ya. Shvec', I. I. Grigorchak, S. I. Budzulyak, L. S. Yablon', I. A. Klimishin // *FHTT.* — 2013. — Vol. 14, No. 1. — P. 190–196.
9. Grigorchak, I. I. Interkalatni nanostrukturi z ierarhichnoyu supramolekulyarnoyu arhitekturoyu: otrimannya, vlastivosti, zastosuvannya / I. I. Grigorchak, F. O. Ivaschishin, O. I. Grigorchak, D. V. Matulka // *Fizichna inzheneriya poverhni.* — 2010. — Vol. 8, No. 4. — P. 284–292.

LITERATURA

1. Choy J. H. Intercalative route to heterostructured nanohybrids / J. H. Choy, S. J. Kwon, G. S. Park // *Science.* — 1998. — Vol. 280. — P. 1589–1592.
2. Choy J. H. Intercalative nanohybrids of nucleoside monophosphates and DNA in layered metal hydroxide / J. H. Choy, S. Y. Kwak, J. S. Park, Y. J. Jeong, J. Portier // *J. Am. Chem. Soc.* — 1999. — Vol. 121. — P. 1399–1400.
3. Grygorchak I. I. High frequency capacitor nanostructure formation by intercalation / I. I. Grygorchak, B. O. Seredyuk, K. D. Tovstyuk, B. P. Bakhmatyuk // *New Trends in Intercalation Compounds for Energy Storage.* — Paris: Kluwer acad. publ. — 2002. — P. 543–545.
4. Voitovych S. A. Lateral semiconductive and polymer conductive nanolayered structures: preparation, properties and application / S. A. Voitovych, I. I. Grygorchak, O. I. Aksimentyeva // *Mol. Cryst. Liq. Cryst.* — 2008. — Vol. 497. — P. 55–64.
5. Choy J.H. Intercalative route to heterostructured nanohybrids / J. H. Choy, S. M. Peak, J. M. Oh, E. S. Jang // *Curr. Appl. Phys.* — 2002. — Vol. 2(6). — P. 489–495.
6. Stid, Dzh. V. Supramolekulyarnaya himiya / Dzh. V. Stid, Dzh. L. Etvud. — М.: Akademkniga, 2007. — 480 p.
7. Elhabiri M. Supramolecular edifices and switches based on metal / M. Elhabiri, A-M. Albrecht-Gary // *Coord. Chem. Rev.* — 2008. — Vol. 252(10–11). — P. 1079–1092.
10. Kuhn, A. Crystal structure and interatomic distance in GaSe / A. Kuhn, A. Chevy, R. Chevalier // *Phys. Status Sol.* — 1975. — Vol. A31. — P. 469–475.
11. Grygorchak, I. I. Intercalation: achievements, problems, outlook (Review) / I. I. Grygorchak // *PCSS.* — 2001. — Vol. 2, No. 1. — P. 7–57.
12. Ivaschishin F. O. Interkalatnye geterostrukturirovannye nanogibridy konfiguracii poluprovodnik-nematik: formirovanie, svojstva, primenenie / F. O. Ivaschishin, I. I. Grigorchak // *FTT.* — 2010. — Vol. 52, No. 10. — P. 1891–1986.
13. Luryi S. Quantum capacitance devices // *Appl. Phys. Lett.* — 1988. — Vol. 52(6). — P. 501–503.
14. Stojnov Z. B. Elektrohimicheskij impedans / Z. B. Stojnov, B. M. Grafov B. Savova-Stojnova V. V. Elkin. — М.: Nauka, 1991. — 336 p.
15. Bishchaniuk T. M. Electronic processes and energy storage in inorganic/organic nano-hybrids / T. M. Bishchaniuk, O. V. Balaban, R. Ya. Shvets, I. I. Grygorchak, A. V. Fechan, B. A. Lukiyanets, F. O. Ivashchyshyn // *Mol. Cryst. Liq. Cryst.* — 2014. — Vol. 589, No. 3. — P. 132–140.
16. Grygorchak I. I. New materials for «quantum» storage of electric power / I. I. Grygorchak, B. A. Lukiyanets, O. V. Balaban, T. M. Bishchaniuk, R. Ya. Shvets // *Mat. Sci. Semicon. Proc.* — 2014. — Vol. 26. — P. 690–694.