**УДК 621.315.562**

**Т.М. Біщанюк, О.В. Балабан, І.І. Григорчак**
*Національний університет "Львівська політехніка",*
*м. Львів, Україна*

# ФОРМУВАННЯ ТА ВЛАСТИВОСТІ ІНТЕРКАЛАТКНИХ НАНОСТРУКТУР КОНФІГУРАЦІЇ НЕОРГАНІЧНИЙ НАППВІПРОВІДНИК/СЕГНЕТОЕЛЕКТРИЧНИЙ РІДКИЙ КРИСТАЛ

Принципові суперечності між функціональними можливостями традиційних наноматеріалів і наноструктур на їхній основі та бурхливим розвитком наноінженерії (квантова когерентна спінтроніка, нанофотоніка), а також сучасними задачами автономної енергетики (створення надвисокоємких наногенераторів та іоністорів) привертають все більшу увагу до супрамолекулярних структур як об’єктів з якими часто пов’язують можливість реалізації унікальних фізико-хімічних властивостей, почасти - парадоксальних. Власне один із їх різновидностей вирізнив новий принцип організації речовини - клатратний. Вагомим кроком в розвиненні даного напрямку досліджень може послужити запропонована нами інтеркаляційна концепція формування супрамолекулярних ансамблів, що, як очікується, дасть змогу розширити варіабельність їхніх архітектур.

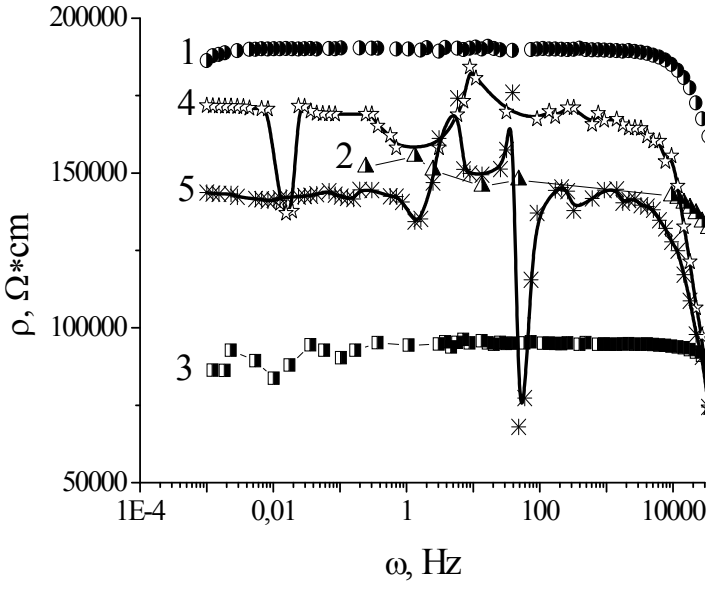


Рисунок 1 - Частотні залежності реальної складової комплексного питомого імпедансу, перпендикулярного до шарів наноструктури GaSe<segnRK>, виміряні без прикладання напруги зміщення (1), при напрузі зміщення *U*=1 В (2), після ультразвукового опромінення при напрузі зміщення *U*=1 В (3), а також при температурах 310 К (4) та 320 К (5) без напруги зміщення

З цією метою в даній роботі була сформована наноструктура неорганічний напівпровідник *GaSe* <сегнетоелектричний рідкий кристал>. Впровадження сегнетоелектричного рідкого кристалу (segnRK) між шари *GaSe* проводилось із застосуванням тристадійної схеми “кристалоінженерії”. На першій стадії у вихідну матрицю впроваджували нітрит натрію при температурі 300°С впродовж 5÷10 хвилин. На другій стадії відбувалась деінтеркаляція нітриту натрію з кристалу шляхом його екстрагування впродовж п’ятикратного 24-годинного циклу та висушування при температурі 110°С і пониженому тиску. На завершальній

стадії проводили інтеркаляцію сегнетоелектричного рідкого кристалу в розширену кристалічну ґратку протягом 2 годин при температурі 80°С. Після цього його піддавали впливу ультразвуку протягом 5хв та 15 хв при постійній частоті 20 кГц.

На рис. 1 наведені частотні залежності дійсної складової питомого імпедансу, перпендикулярного до площин нанопрошарків *GaSe*<segnRK> ($\rho(\omega)$), при різних температурах, значеннях прикладеної постійної напруги зміщення вздовж кристалографічної осі *C* а також після ультразвукового опромінення. Видно, що при кімнатній температурі $\rho(\omega)$ веде себе звиклим чином: низькочастотна вітка переходять у низспадаючу при високих частотах за рахунок вкладу перескокової провідності по локалізованих станах поблизу рівня Фермі, або процесів збудження – захоплення їх у хвости зон чи в зони делокалізованих станів. Однак, підвищення температури викликає неординарну поведінку дійсної складової питомого імпедансу - сильні деформації її низькочастотної вітки з одночасним з одночасним зменшенням за абсолютним значенням.

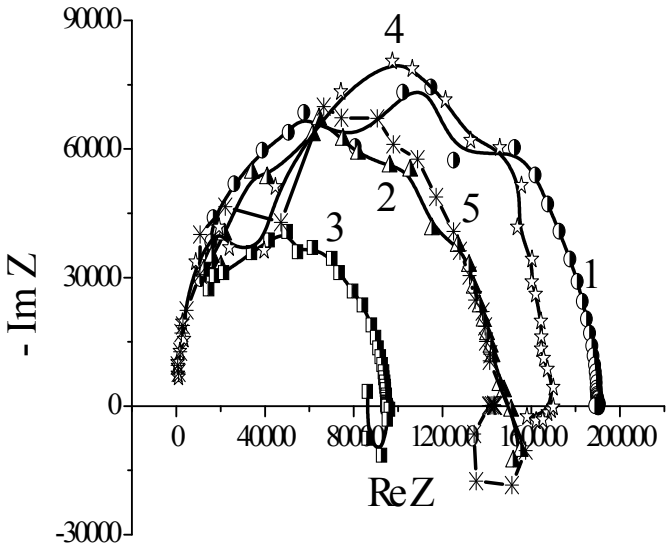


Рисунок 2 - Діаграми Найквіста для напрямку, перпендикулярного до шарів наноструктури GaSe<segnRK>, виміряні без прикладання напруги зміщення (1), при напрузі зміщення *U*=1 В (2), після ультразвукового опромінення при напрузі зміщення *U*=1 В (3), а також при температурах 310 К (4) та 320 К (5) без напруги зміщення

Деформуюча спектр $\rho_{\perp}(\omega)$ дія підвищеного температурного поля, як і акустичної хвилі пояснюється появою індуктивного відгуку при дії зазначених чинників. Наявність елемента індуктивності у побудованій відповідній заступній електричній схемі при певних співвідношеннях значень її параметрів може візуалізувати індуктивний відгук системи, або прояв так званого явища «від’ємної» ємності. Підтвердження цього отримуємо при відображенні повного імпедансу в комплексній площині з координатними осями його дійсної і уявної частин - *ReZ* - *ImZ* (рис. 2). Видно, що при підвищенні температури та після ультразвукового опромінення *GaSe*<segnRK> низькочастотна вітка діаграми Найквіста – побудованої у означеній площині залежності уявної частини повного імпедансу від його реальної частини, переходить у IV- «індуктивний» квадрант комплексної площини. Водночас характер годографів імпедансу відображає процеси перенесення заряду відповідно через прошарки матриці, сегнетоелектричного кристалу та міжфазну межу між ними. В роботі розглядається природа

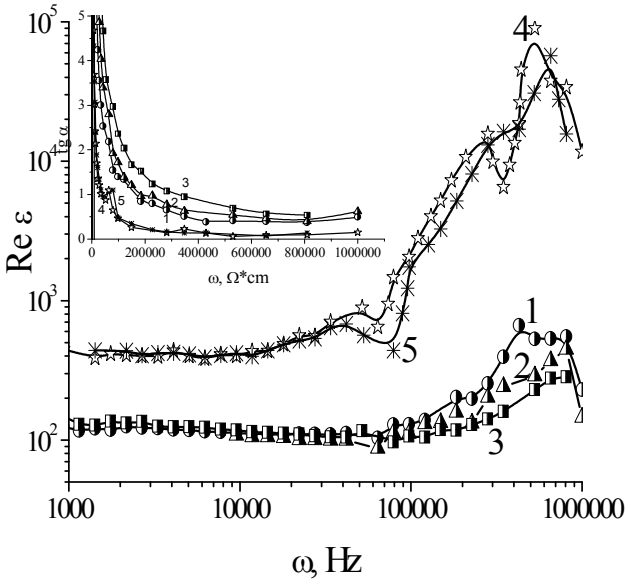


Рисунок 3 - Частотні залежності реальної складової діелектричної проникності, перпендикулярної до шарів наноструктури GaSe<segnRK>, виміряні без прикладання напруги зміщення (1), при напрузі зміщення *U*=1В (2), після ультразвукового опромінення при напрузі зміщення *U*=1 В (3), а також при температурах 310 К (4) та 320 К (5) без напруги зміщення. На вставці – відповідні криві для тангенса кута електричних втрат

виникнення явища «від’ємної» ємності з позицій інжекції і утримання носіїв заряду в шарах надмалих розмірів, тобто, діапазону декількох нанометрів, а також пропонується модель, яка здатна пояснити спостережуваний факт сильнішого впливу на процес струмопроходження в *GaSe*<segnRK> ультразвукового опромінення, ніж підвищення температури на $25^0$C.

Цікавим є те, що на відміну від струмопроходження ультразвукове опромінення слабо міняє поляризаційні процеси (рис. 3). Натомість підвищення температури лише на $15^0$C значно підвищує діелектричну проникність, перпендикулярну до нанопрошарків. Особливу зацікавленість з практичної точки зору приковує до себе частотний діапазон $10^5 \div 10^6$ Гц, в якому діелектрична проникність сягає гігантських значень при низьких (<1) величинах тангенса кута електричних втрат. Механізми, які спричиняються до цього можуть бути застосовані до створення квантових конденсаторів – новітньої альтернативи хімічним джерелам струму. У всякому разі незаперечним є позитивний практичний аспект для технології радіочастотних конденсаторів – поєднання високого значення діелектричної провідності з низьким значенням тангенса кута втрат у радіочастотному діапазоні.