

УДК 535.37

ЕЛЕКТРИЧНІ ТА ОПТИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОНДЕНСАТОРІВ НА ОСНОВІ НАНОКОМПЗИТНОГО МАТЕРІАЛУ GaSe<KNO₃>

З.Д. КовалюкДоктор фізико-математичних наук, професор, керівник
відділення***В.В. Нетяга**Кандидат фізико-математичних наук, старший науковий
співробітник***Д.Ю. Коноплянко**

Аспірант*

А.П. БахтіновКандидат фізико-математичних наук, старший науковий
співробітник*

*Чернівецьке відділення

Інститут проблем матеріалознавства НАН України ім. І.Н.
Францевича

вул. Ірини Вільде, 5 м. Чернівці, Україна, 58001

Контактний тел.: (3722) 52-51-55

E-mail: chimsp@ukrpost.ua

Досліджено вплив освітлення на імпедансні спектри наноструктур GaSe<KNO₃>. Встановлено, що процеси акумуляції і переносу заряду обумовлені протіканням квантово-розмірних процесів в високих електричних полях. Виявлено значне збільшення електричної ємності при освітленні конденсаторів

Ключові слова: інтеркаляція, сегнетоелектрик, конденсатор, наноструктура

Исследовано влияние освещения на импедансные спектры наноструктур GaSe<KNO₃>. Установлено, что процессы аккумуляции и переноса заряда обусловлены протеканием квантово-размерных процессов в сильных электрических полях. Обнаружено значительное увеличение электрической емкости при освещении конденсаторов

Ключевые слова: интеркаляция, сегнетоелектрик, конденсатор, наноструктура

Impedance spectra of the GaSe<KNO₃> nanostructures are investigated under illumination. It is established that the processes of accumulation and transport of charge carriers in these structures are due to quantum-dimensional processes in high electrical fields. We have found an essential increase of the capacity of capacitors under their illumination

Key words: intercalation, ferroelectric, capacitor, nanostructure

1. Вступ

Шаруваті кристали відносяться до матеріалів зі значною анізотропією сил хімічного зв'язку. Молекулярний характер зв'язку між сусідніми шарами дозволяє шляхом інтеркаляції заповнювати міжшарові щілини сторонніми атомами, іонами чи молекулами, кількість яких може бути порівняною або й перевищувати число молекул основної речовини. Процеси самоорганізації наноструктур інтеркалянту в Ван-дер-Ваальсівських щілинах визначаються взаємодією інтеркальованих наночастинок між собою, а також з поверхніми шарів. Така взаємодія залежить від способу інтеркаляції (електролітичного, з парової фази, з розплаву тощо), типу інтеркалянта

і наявності нанорозмірних дефектів в площинах аніонів на поверхнях шарів. Вона визначає морфологію нанорозмірних утворень інтеркалянту, які можуть існувати в вигляді двовимірних (2D) суцільних молекулярних шарів, тривимірних (3D) молекулярних (Ван-дер-Ваальсівських) кластерів і нанострівців з різною структурою матеріалу, вбудованих в шарувату матрицю.

Для наночастинок в умовах обмеженої геометрії слід очікувати зміни фізичних властивостей (температури фазових переходів, діелектричних властивостей тощо) [1]. Величина ефективної діелектричної проникливості композитних наноструктур, отриманих способом інтеркаляції, залежить як від діелектричних властивостей наночастинок інтеркалянта,

так і від різниці між діелектричними параметрами інтеркалянта і матриці. Квантоворозмірні ефекти, які мають місце в таких структурах, визначаються їх морфологією і типом інтеркалянта. Вони визначають механізми накопичення і протікання зарядів через міжфазні границі, тобто частотні і температурні характеристики конденсаторів на основі таких структур.

Нанорозмірні дефекти на Ван-дер-Ваальсівських поверхнях шарів кристалів матриці можна створювати шляхом самоорганізації точкових дефектів в площинах халькогена з використанням технології їх термічної обробки в вакуумі [2] і в різних атмосферах [3]. Використання таких кристалів для подальшого інтеркалювання відкриває можливість для селективного росту нанорозмірних 3D утворень в нанопорожнинах на поверхнях шарів в Ван-дер-Ваальсівських щілинах і для формування багатослоєвих наноструктур на основі шаруватого напівпровідника з сегнетоелектричними включеннями. Композитні наноструктури, які складаються з послідовно упакованих в стопу шарів “метал-сегнетоелектрик-метал”, де застосовуються сегнетоелектричні матеріали з високими значеннями відносної діелектричної проникливості, характеризуються великими значеннями питомої ємності ($\sim 5 \cdot 10^{-7}$ Ф/мм²) і використовуються для створення високочастотних конденсаторів [4]. Композитні структури, сформовані на основі напівпровідників і сегнетоелектриків, представляють інтерес для практичного використання, оскільки на їх електричні властивості можна впливати оптичним випромінюванням [5]. Ці наноструктури представляють інтерес для використання в інформаційних технологіях в оптичних системах пам'яті з високою густиною (FeRAMs), де використовується явище переключення поляризації зовнішнім електричним полем, а також в фотоелектричних сенсорах, конденсаторах і накопичувачах електричної енергії [6].

Електричні властивості композитних напівпровідникових наноструктур з нанорозмірними сегнетоелектричними 3D включеннями практично не досліджені. Залишається також невивченим вплив оптичного випромінювання на характеристики конденсаторів, створених на основі цих структур. В даній роботі приводяться результати дослідження електричних характеристик конденсаторів, створених на основі шаруватого напівпровідника GaSe і сегнетоелектрика KNO₃, а також впливу на них оптичного випромінювання.

Експериментальна частина

Для виготовлення конденсаторів використовувались вирощені методом Бріджмена монокристали GaSe р-типу провідності (ε-політін). Вони мали питомий опір при T=300 К $\sim 10^3 \div 10^4$ Ом·см. Концентрація дірок для них складала $\rho \sim 10^{14}$ см⁻³. Процес впровадження KNO₃ в простір між шарами кристалів проводили з рідкої фази (розплаву) при температурі $335 \pm 0.5^\circ\text{C}$ [7]. Рентгеноструктурний аналіз проводили до виготовлення структур і після їх виготовлення за допомогою рентгенівського дифрак-

тометру ДРОН-3 в Cu-Kα випромінюванні ($\lambda = 1.5418$ Å). В якості омичних контактів до досліджуваних структур при електричних вимірах використовували контакти In-Ga. Для зразків, які опромінювались світлом, на фронтальну поверхню конденсаторної структури вакуумним напыленням осаджувався тонкий (з товщиною ~десятків нм) шар In, який мав високий коефіцієнт пропускання для падаючих на цю поверхню фотонів в області фундаментального поглинання GaSe. Цей метал є акцептором в GaSe [8] і не створює випрямляючого бар'єра на його поверхні. Для запобігання окисленню цього шару на його поверхню наносився тонкий шар Au. Ці зразки під час вимірювання засвічувались білим світлом від вольфрамової лампи розжарювання потужністю ~100Вт. Площа зразків в базисній площині кристалу не перевищувала $\sim 0.2 \times 0.3$ см², товщина ~ 0.1 см. Темнові і світлові характеристики конденсаторів і імпедансні спектри композитних наноструктур досліджувались за допомогою частотного аналізатора Solartron FRA 1255 в діапазоні частот $10^{-1} \div 4 \cdot 10^6$ Гц в інтервалі температур $-25 \div +50^\circ\text{C}$. Дослідження поперечного ас- імпедансу проводились при амплитуді змінної напруги ~ 10 мВ і різних значеннях постійної напруги зміщення, яка прикладалась до розташованих вздовж вісі С кристалу на площинах (0001) GaSe контактів In-Ga. Для запобігання впливу атмосфери зразки покривались герметичним компаундом (рис. 1).

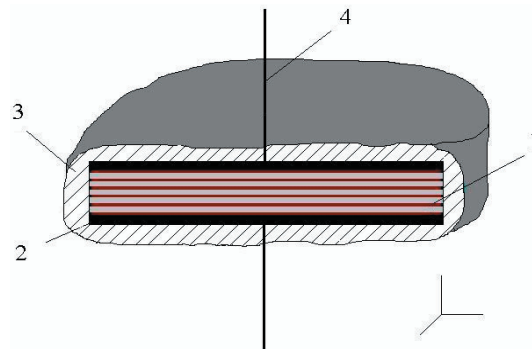


Рис. 1. Конструкція конденсатора GaSe<KNO₃> для вимірювання темнових характеристик:
1- енергонакопичувачий матеріал, 2 - струмопровідні контакти, 3 - герметична оболонка, 4 - струмовиводи

Результати досліджень і їх обговорення

В результаті проведених досліджень структури і морфології композитних наноструктур, проведених методами рентгенівської дифракції і атомної силової мікроскопії встановлено, що композитний матеріал GaSe<KNO₃> представляє собою монокристалічну матрицю GaSe, в яку вбудовані сегнетоелектричні включення. Латеральні розміри для більшості цих включень не перевищують ~ 20 нм, а вертикальні розміри менше 2,5 нм, що значно більше ніж відстань між шарами для GaSe (~ 0.38 нм). Вони мають пірамідальну форму, яка обумовлена особливостями формування наноструктур в процесі їх самоорганізації на дефектній Ван-дер-Ваальсівській поверхні [2,3],

і охоплюють декілька шарів кристалу. Висока поверхнева густина цих включень в базисній площині (0001) кристалу знаходиться в межах $(10^9 \div 10^{10}) \text{ см}^{-2}$. Ці включення впорядковано розташовані вздовж кристалографічної вісі симетрії гексагонального шаруватого кристалу, на що також вказує стабільність процесу впровадження сегнетоелектрика в цей кристал [7].

На рис. 2, 3, 4 представлені частотні залежності електричних характеристик конденсаторів, виготовлених на основі композитного матеріалу $\text{GaSe} \langle \text{KNO}_3 \rangle$, які вимірювались в темноті.

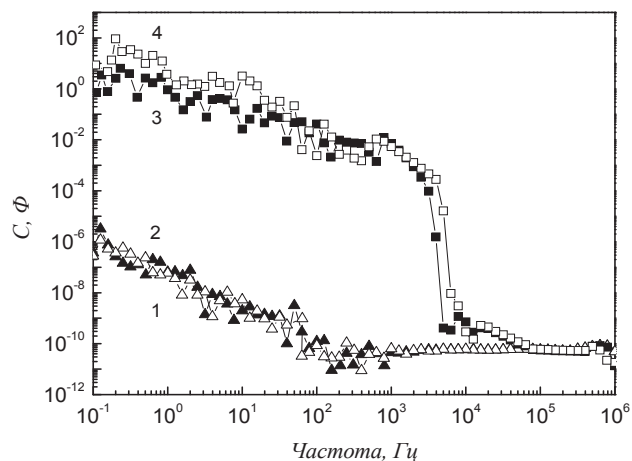


Рис. 2. Частотна залежність електричної ємності C конденсаторів на основі нанокompозитного матеріалу $\text{GaSe} \langle \text{KNO}_3 \rangle$ при різних значеннях прикладеної постійної напруги зміщення V : криві 1,2, $V = 0 \text{ В}$; криві 3,4, $V = 5 \div 10 \text{ В}$. Вимірювання проводились в темноті

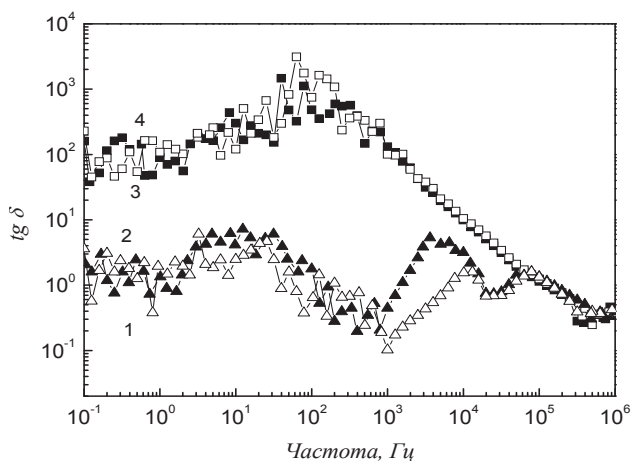


Рис. 3. Частотна залежність тангенсу кута $\text{tg} \delta$ втрат конденсаторів на основі нанокompозитного матеріалу $\text{GaSe} \langle \text{KNO}_3 \rangle$ при різних значеннях прикладеної постійної напруги зміщення V : криві 1,2, $V = 0 \text{ В}$; криві 3,4, $V = 5 \div 10 \text{ В}$. Вимірювання проводились в темноті

Звертає на себе увагу різке збільшення електричної ємності цих конденсаторів в низькочастотній області імпульсного спектру спектру ($f < 3000 \text{ Гц}$) при прикладанні до них певної величини постійної напруги зміщення. Встановлено, що величина цього зміщення залежить від геометричних розмірів нанорозмірних включень.

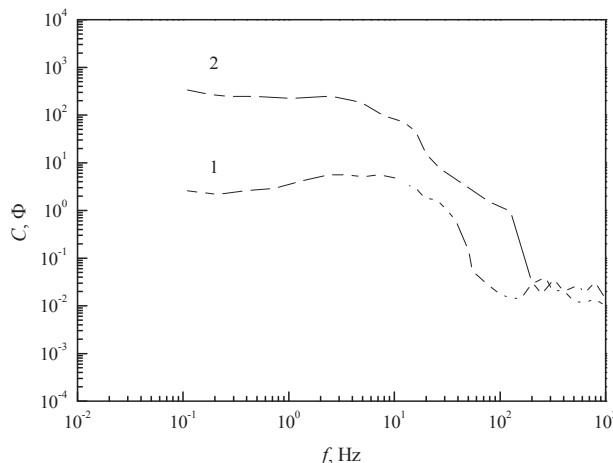


Рис. 4. Частотна залежність ємності конденсаторів на основі нанокompозитного матеріалу $\text{GaSe} \langle \text{KNO}_3 \rangle$: 1-без освітлення, 2-при освітленні

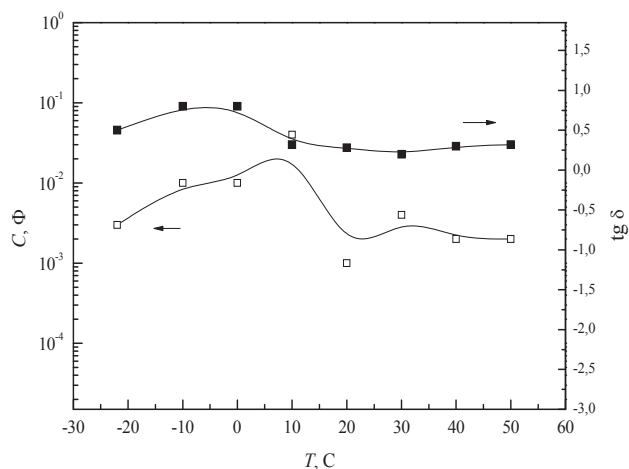


Рис. 5. Температурні залежності ємності C і тангенсу кута втрат $\text{tg} \delta$ конденсаторів на основі нанокompозитного матеріалу $\text{GaSe} \langle \text{KNO}_3 \rangle$ при частоті 10^2 Гц . Вимірювання проводились в темноті

В досліджуваних структурах з омичними контактами цей ефект також залежить від полярності прикладеної напруги. На основі результатів дослідження імпедансу в зразках з різною морфологією сегнетоелектричних включень в нанокompозитному матеріалі, можна вважати, що сильне зростання ємності в конденсаторах при певному значенні прикладеної постійної напруги має місце після переключення електричної поляризації в масиві цих включень. Цей процес носить колективний характер і залежить від геометричних розмірів включень і від статистичних характеристик цього масиву [9]. Залежність переключення електричної поляризації в ансамблі включень від полярності прикладеної напруги пов'язано з проявом флексоелектричного ефекту в сегнетоелектричних включеннях, в основі якого лежить виникнення поляризації (електричного поля) спричиненої градієнтом пружних напруж або деформацій, які мають місце на границі розділу між пірамідальними нанорозмірними включеннями і шаруватою матрицею [1]. Ці включення в композит-

них структурах сформовані на Ван-дер-Ваальсівських поверхнях в пірамідальних нанопорожнинах, вершина яких направлена в глибину кристалу (паралельно вісі симетрії С кристалу) [3,4]. Як видно з частотних характеристик композитних структур (рис. 2, рис. 5), переключення поляризації викликає різке збільшення ємності наноструктур в низькочастотній області спектра ($10 \text{ Гц} < f < 3000 \text{ Гц}$). Ємність структур монотонно збільшується в цій області спектра зі зменшенням частоти. Така поведінка ємності обумовлена ефектом Максвелла-Вагнера, який має місце в впорядкованих сегнетоактивних структурах. Для невпорядкованих композитних структур (керамік, пресованих порошкових матеріалів, гранульованих систем), провідність має перколяційний поріг, а пов'язані з ефектом Максвелла-Вагнера особливості в імпульсних спектрах проявляються в вигляді широких максимумів [10]. Ефект Максвелла-Вагнера пов'язаний з накопиченням електричного заряду на границі розділу різних матеріалів, які характеризуються різними часами релаксації заряду. Накопичення зарядів на границі розділу двох середовищ, одна з яких має сегнетоелектричні властивості, залежить від електричної поляризації сегнетоелектрика. При контакті сегнетоелектрика й напівпровідника можливе виникнення великого «власного» поверхневого поля, що призводить до сильного викривлення зон поблизу поверхні напівпровідника й до виникнення області акумуляції/збіднення просторового заряду на границі розділу [5]. Ємність конденсаторів на основі тонких плівок BiFeO_3 [11], для яких спостерігається ефект Максвелла-Вагнера на границях розділу між кристалітами й збідненими шарами Шотткі, монотонно зменшується при збільшенні напруги і частоти в широкому діапазоні частот 10^4 - 10^6 Гц, що пов'язано зі зміною ширини області збіднення поблизу границі розділу. Резонансний характер зміни ємності і провідності впорядкованої композитної наноструктури $\text{GaSe} < \text{KNO}_3 >$ має квантово-механічну природу. Переключення електричної поляризації і проявлення оберненого п'єзоефекту в нанорозмірних сегнетоелектричних включеннях призводять до виникнення сильного електричного поля і до деформації шарів напівпровідникової матриці в місцях локалізації цих включень. Ці процеси проходять на ділянках шаруватої матриці між включеннями, які мають малі розміри (\sim декількох нм), що обумовлює сильне просторове обмеження руху носіїв. Сильна пружна деформація змінює геометричну форму цих ділянок і призводить до зміни зонних параметрів напівпровідника в цих областях матриці. Електричне поле впливає на електронний спектр і на хвильові функції носіїв заряду в областях шаруватого кристалу, де має місце просторове обмеження руху носіїв (в квантових ямах), і змінює форму квантових ям. Сильне розділення квантових рівнів в глибоких квантових ямах, яке обумовлено сильним просторовим обмеженням, дозволяє проявлятися квантово-розмірним ефектам при високій (кімнатній) температурі. Вертикальний перенос носіїв в таких структурах з багатьма квантовими ямами вздовж вісі симетрії С гексагонального кристалу здійснюється шляхом тунелювання носіїв

між сусідніми ямами. Це визначає вигляд частотної (рис. 3) і температурної (рис. 5) характеристик тангенса кута втрат композитних наноструктур, які визначаються процесами акумуляції і переносу носіїв заряду в цих структурах і залежать від їх морфології. На відміну від конденсаторів, в яких використовуються сегнетоелектричні матеріали з високими значеннями діелектричної проникливості в околі температури сегнетоелектричного фазового переходу, для цих структур спостерігається слабка залежність ємності і $\text{tg}\delta$ від температури.

При освітленні композитних наноструктур спостерігається сильне (більше ніж на порядок) збільшення електричної ємності в області низьких частот (рис. 5), що значно більше ніж для бар'єрних структур-фотоварикапів, наприклад Ni-GeO-GaSe [12]. В структурах [12] зростання низькочастотної ємності при освітленні пов'язане з зміною концентрації носіїв в області поверхні GaSe і внаслідок цього з зміною ємності просторового заряду, а також з прилипанням носіїв на поверхневих рівнях на границі "окисел-напівпровідник". Питома ємність структур [12] на низьких частотах складала $\sim (1-4) \cdot 10^{-10} \text{ Ф/см}^2$ і змінювалась при освітленні в $1,5 \pm 2$ рази. В нанокондитивних конденсаторах $\text{GaSe} < \text{KNO}_3 >$ ця величина на частоті 10^2 Гц при освітленні зростає від $\sim 3 \cdot 10^{-3} \text{ Ф/см}^2$ до $2 \cdot 10^{-1} \text{ Ф/см}^2$ (рис. 5). Ємність макроскопічних бар'єрних структур "напівпровідник-сегнетоелектрик" при освітленні залежить від властивостей сегнетоелектрика (напівпровідникових або діелектричних) і від екранування спонтанної електричної поляризації в сегнетоелектрику [5]. В досліджуваних наноструктурах розміри сегнетоелектричних включень не перевищують ~ 100 нм, тобто їх можна вважати монодоменими. Поверхнєве екранування поля деполіризації робить монодомений стан для таких частинок енергетично вигідним [1]. Флексоелектричні сили локалізовані в приповерхневій області наночастинок. Вони призводять до зміщення полярно активних іонів і стабілізують їх нецентральне положення в кристалічній ґратці нанорозмірного сегнетоелектричного включення. В результаті такого процесу змінюється зарядовий стан границі розділу між наночастиною і матрицею. Відомо, що сегнетоелектрик KNO_3 прозорий для оптичного випромінювання з енергією квантів менших 5 eV [13]. Тому в результаті освітлення структур світлом нерівноважні носії заряду генеруються в напівпровіднику GaSe . Генеровані світлом пари "електрон-дірка" знаходяться в області локалізації сильного електричного поля. Про це свідчить зсув максимуму на спектральних характеристиках композитних наноструктур в області міжзонних переходів в низько енергетичну область спектру, що пов'язано з проявом ефекту Франца-Келдиша [14]. Сильне внутрішнє електричне поле в композитних наноструктурах створює умови для акумуляції між'ямних (непрямих) екситонів в квантових ямах. Такі екситони характеризуються великим часом життя внаслідок локалізації електронів і дірок в різних квантових ямах і слабого перекриття їх хвильових функцій. З дисоціацією непрямих екситонів в області об'ємного заряду гетероструктур In_2O_3 - InSe пов'язана значна фотопровідність, яка спостеріга-

лась в області екситонного поглинання шаруватого кристалу при низькій частоті модуляції оптичного випромінювання [15]. Вона спостерігалась при кімнатній температурі в наноструктурах з впорядкованим масивом нанорозмірних оксидних утворень, сформованих в результаті окислення і протікання деформаційних процесів в пірамідальних площинах шаруватого кристалу [15]. Значна зміна ємності при освітленні композитних наноструктур свідчить про те, світло поглинається не тільки на поверхні цих структур, як це зазвичай має місце для об'ємних структур при падінні на них фотонів з енергією більшою ніж ширина забороненої зони GaSe (-2 eV при $T=300$ K), а також в об'ємі наноструктури. Про це свідчать значне збільшення фотопровідності в GaSe, інтеркальованому сегнетоелектриком, в порівнянні з неінтеркальованими кристалами, а також зменшення поверхневої рекомбінації в цих структурах [14]. Електричний заряд, який виникає в напівпровіднику після фотогенерації нерівноважних носіїв в GaSe і дисоціації непрямих екситонів в області просторового заряду на границях розділу між сегнетоелектричними включеннями і шаруватою напівпровідниковою матрицею, екранує сегнетоелектричну поляризацію в включеннях. В результаті екранування сегнетоелектричної поляризації в областях локалізації включень виникає подвійний заряджений шар, який утворений іонами сегнетоелектрика і носіями заряду напівпровідника і має велику ємність. Це еквівалентно створенню в наноконденсаторному матеріалі великої кількості "наноконденсаторів", які дають вклад в загальну ємність структури. Вклад в ємність наноконденсаторних структур при освітленні значно більший, ніж для фотоварикапів, сформованих на основі бар'єрних напівпровідникових МОН структур, принцип дії яких ґрунтується на зміні області при поверхневого просторового заряду під дією світла [16].

Висновки

Методом інтеркаляції шаруватих кристалів сегнетоелектричними матеріалами з рідкої фази (з розплаву) створений новий наноконденсаторний матеріал на основі шаруватого кристалу GaSe і сегнетоелектрика KNO_3 . Він являє собою кристалічну матрицю, яка містить в собі велику кількість кристалічних нанорозмірних пірамідальних сегнетоелектричних включень впорядковано розташованих вздовж кристалографічної гексагональної вісі симетрії С шаруватого кристалу. Результати дослідження структури, морфології і імпедансних характеристик цього матеріалу показують, що електричні властивості таких структур відрізняються від електричних властивостей невпорядкованих наноконденсаторних структур. Процеси акумуляції і переносу заряду в конденсаторах, створених на основі наноконденсаторного матеріалу $\text{GaSe} < \text{KNO}_3 >$, обумовлені квантово-розмірними ефектами, які спостерігаються при високій (кімнатній) температурі. Такі умови створені внаслідок сильного просторового обмеження (конфайменту) руху носіїв в напрямку вісі С кристалу в сильних електричних полях,

локалізованих в шаруватому кристалі в областях сегнетоелектричних включень. Ці умови створюються в наноконденсаторному матеріалі в результаті переключення електричної поляризації в масивах сегнетоелектричних нанорозмірних включень і внаслідок проявлення в них оберненого п'єзоелектричного ефекту при прикладанні до матеріалу постійної напруги, величина якої не перевищує ~ 10 В. Конденсатори, створені на основі цього матеріалу, мають високу питому електричну ємність, максимальне значення якої складає $\sim 0,5$ Ф/г в діапазоні частот менших ніж 3 кГц, і можуть бути використані в якості фільтрових конденсаторів. Електрична ємність цих конденсаторів збільшується більше ніж на порядок при їх освітленні, що значно більше ніж для традиційних фотоварикапів на основі бар'єрних МОН структур, в яких використовується явище зміни області просторового заряду в приповерхневій області напівпровідників при їх освітленні. Ефект збільшення ємності конденсаторів на основі наноконденсаторного матеріалу $\text{GaSe} < \text{KNO}_3 >$ пов'язаний з ефектом Максвелла-Вагнера і з вертикальним переносом носіїв між багаточисельними квантовими ямами, розташованими вздовж вісі С кристалу, в умовах екранування сегнетоелектричної поляризації нанорозмірних включень нерівноважними носіями, які збуджуються при освітленні напівпровідника. Отримані результати відкривають можливість створення на основі наноконденсаторного матеріалу $\text{GaSe} < \text{KNO}_3 >$ фільтрових конденсаторів для кіл змінного струму з високою питомою електричною ємністю, на яку можна впливати світлом.

Література

1. М.Д. Глинчук, Є.А.Єлісеєв, Г.М.Морозовська. Розмірні ефекти в сегнетоелектричних наноматеріалах. УФЖ.- 2009.- Т.5.- №1.- С.34-60.
2. Бахтинов А.П., Водоп'янов В.Н., Слин'ко Е.И., Ковалюк З.Д., Литвин О.С. Самоорганізація наноструктур теллуридов свинця і олова на Ван-дер-Ваальсовій поверхні селеніда галія (0001) // Письма в ЖТФ. 2007. -Т. 33.- №2.- С.80-88.
3. Z.D.Kovalyuk, A.P. Bakhtinov, V.N.Vodop'yanov, A.V.Zaslonskin, V.V.Netyaga. Hydrogen sorption in layered nanoporous GaSe crystals // Carbon nanomaterials in clean energy hydrogen systems / Ed. by Baranowski B., Zaginichenko S.Yu., Schur D.V., Skorokhod V.V., Veziroglu A. Springer Netherlands. 2009. P.765-777.
4. B. Tuttle, G.L. Brenecka, C.M. Parish, L.M. Brewer, J.G. Ekerdt, J. Wheeler. Multilayer ultrathin film PLZT capacitors: Nanoscale Materials Issues. Mater. Res. Soc. Symp. Pros. V.1034E, K6.1(2008)
5. В.М.Фридкин. Сегнетоелектрики – полупроводники -М.: Наука, 1976.-408с.
6. S.V.Kalinin, A.N.Morozovska, L.Q.Chen, B.J.Rodriguez. Local polarization dynamics in ferroelectric materials. Rep. Prog. Phys., 73, P. 056502 (2010).
7. Григорчак И. И., Нетяга В. В., Козьмик И. Д., Товстюк К. Д., Ковалюк З. Д., Бахматюк Б. П., Голуб С. Я. Новые аспекты интеркаляции // Письма в ЖТФ. - 1989. - Т. 15.- №24. - С. 87 - 90.

8. Y.Cui, R.Dupere, A.Burger, D. Johnstone, K.C. Mandal, S.A. Payne. Acceptor levels in GaSe:In crystals investigation by deep-level transient spectroscopy and photoluminescence. J. Appl.Phys., 103,P. 013710 (2008).
9. R. Ahluwalia, Nathaniel Ng, D.J. Srolovitz. Surface morphology effects on polarization switching in nanoscale ferroelectrics. Nanotechnology, 20, P. 445709 (2009).
10. Турик А.В, Радченко Г.С, Чернобабов А.И, Турик С.А, Супрунов В.В.Диэлектрические спектры неупорядоченных сегнетоактивных систем: поликристаллы и композиты. ФТТ.-2006.-Т. 48.-В.6.-С.1088-1090.
11. G.Z.Liu, C. Wang, C.-C.Wang, J.Qiu, M.He, J.Xing, K.-J.Jin, H.-B.Lu, G.-Z.Yang. Effects of interfacial polarization on the dielectric properties of BiFeO₃ thin film capacitors Appl.Phys. Lett., 92,P. 122903 (2008).
12. Меджидов А.Б., Мурадов Р.М., Мехтиева С.И., Алиев И.М. Емкостные характеристики Ni-GeO-GaSe структур при освещении. Изв.АН Азерб., сер. ФТМН .-2003.-Т.23.-№ 2.-С.128-134.
13. V.Erdinc, H. Akkus. Ab-initio study of the electronic structure and optical properties of KNO₃ in the ferroelectric phase.Phys.Scr. 79 ,P. 025601(2009).
14. I.I.Grigorchak, V.V. Netyaga, Z.D.Kovalyuk. J. Phys.: Condens. Matter, 9, L191 (1997).
15. Бахтинов А.П., Ковалок З.Д., Сидор О.Н., Катеринчук В.Н., Литвин О.С.Формирование нанобразований на поверхности слоистого полупроводника InSe в процессе термического окисления // ФТТ.- 2007.-Т.49.- В.8.- С.1497–1503.
16. В.А.Зуев, В.Г.Попов. Фотоэлектрические МДП-приборы.-М.:Сов. радио.,1983.-175с.

Представлені результати просторового гармонічного аналізу магнітного поля датчика нейтрального компонента плазми, на основі якого проведена оцінка створеної їм магнітної завади в зоні установки бортового магнітометра космічного апарата Січ-2

Ключові слова: магнітний момент, просторова гармоніка, сигнатура магнітного потоку

Представлены результаты пространственного гармонического анализа магнитного поля датчика нейтрального компонента плазмы, на основе которого проведена оценка создаваемой им магнитной помехи в зоне установки бортового магнитометра космического аппарата Сич-2

Ключевые слова: магнитный момент, пространственная гармоника, сигнатура магнитного потока

The results of a spatial harmonic analysis of a magnetic field of a sensor a neutral component of plasma are represent, on the basis of which the magnetic disturbance, created by it, in a place of installation of board's magnetometer of a space craft Сич-2 is appraise

Key words: magnetic moment, spatial harmonic, signature of magnetic flux

УДК 621.317.4

ПРОСТРАНСТВЕННЫЙ ГАРМОНИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ДАТЧИКА НЕЙТРАЛЬНОГО КОМПОНЕНТА ПЛАЗМЫ

А. В. Гетьман

Кандидат технических наук

Заведующий отделом №20

Научно-технический центр магнетизма технических

объектов НАН Украины

ул. Индустриальная, 19, г. Харьков, Украина, 61109

Контактный тел.: (0572) 99-11-75

E-mail: ntcmt@ukrpost.ua

1. Введение

Современной тенденцией создания космических аппаратов для дистанционного зондирования Земли является минимизация их массогабаритных характеристик. Это достигается за счет повышения плотности компоновки и минимизации габаритов аппаратуры

спутника. В свою очередь повышение плотности компоновки обостряет проблему магнитной совместимости «начинки» космического аппарата (КА). Кроме того, в плане обеспечения точности ориентации спутника на орбите важной задачей является минимизация магнитной помехи, создаваемой аппаратурой