ФІЗИКА І ХІМІЯ ТВЕРДОГО ТІЛА
Т. 9, № 3 (2008) С. 529-533

PHYSICS AND CHEMISTRY OF SOLID STATE
V. 9, № 3 (2008) P. 529-533

УДК 621.315.592. ISSN1729-4428

Д.М. Фреїк[1], Г.Е. Малашкевич[2], Б.С. Дзундза[1], І.М. Ліщинський[1], Р.І. Никируй[1]

Топологія поверхні і оптичні властивості наногранульованих плівок телуриду свинцю

[1]*Фізико-хімічний інститут*
Прикарпатського національного університету імені Василя Стефаника,
вул. Шевченка, 57, Івано-Франківськ, 76000, Україна, E-mail: fcss@pu.if.ua
[2]*Інститут фізики Національної академії наук Білорусі, Мінськ, Білорусь*

Наведено результати дослідження топологічних типів наноструктур телуриду свинцю, осаджених із газодинамічного потоку пари на поліровані скляні підкладки.

Методами статистичної теорії багатократного розсіяння хвиль виконано чисельні розрахунки спектрів послаблення і поглинання, а також кутового розподілу інтенсивності світла, розсіяного наногранульованими плівками. Виявлено спектрально-селективний характер послаблення випромінювання видимого діапазону.

Ключові слова: наноструктури, телурид свинцю, оптичні властивості.

Стаття поступила до редакції 07.02.2008; прийнята до друку 15.06.2008.

Вступ

Нанокристалічні структури на основі халькогенідів свинцю – перспективні нові матеріали для термоелектрики із підвищеною термоелектричною добротністю, а також для створення функціональних пристроїв опто- і наноелектроніки, що функціонують в інфрачервоній області оптичного спектру [1].

У попередніх роботах [2,3] нами проведено детальні дослідження технологічних аспектів отримання наноструктур із парової фази методом газодинамічного потоку пари, проведено розрахунки основних термодинамічних параметрів для телуриду свинцю. На порядку денному стоять питання, пов'язані із дослідженням структури і властивостей цих наноматеріалів.

Мета цієї роботи – отримання нанокристалічних структур телуриду свинцю із розвиннутою топологією поверхні і розрахунок спектральних характеристик розсіяння і поглинання електромагнітного випромінювання.

I. Отримання наноструктур і їх топологія

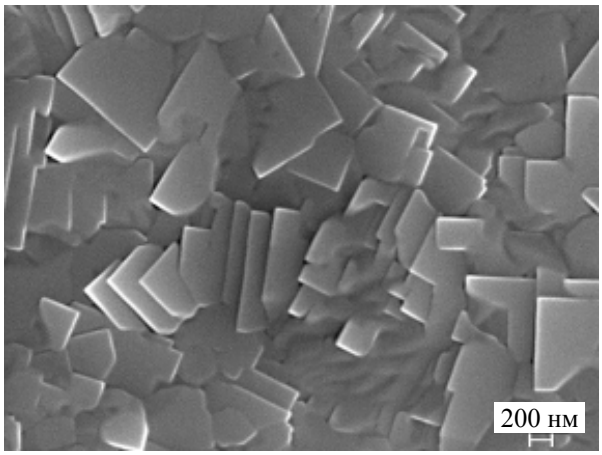
Нанокристалічні структури телуриду свинцю отримували осадженням газодинамічного потоку пари на скляні поліровані підкладки при різних температурах.

Як випливає з аналізу мікрофотографій експериментальних зразків (рис. 1), плівки телуриду свинцю на поверхні полірованого скла є щільноупакованими шарами тонких (< 100 нм) пластинок, поперечні розміри яких у міру зростання температури осадження $T_п = (100\text{-}225)^oC$ збільшуються з 0,1-1,5 мкм до 5-10 мкм, а краї обплавляються. При цьому контури нанокристалів втрачають відносно правильну прямокутну форму (рис. 1, в). При теоретичному моделюванні найадекватніше такі структури можуть бути апроксимовані дисками для випадку якщо висота і діаметр пластинок близькі за величиною, може також розглядатися їх апроксимація частинками сферичної форми.

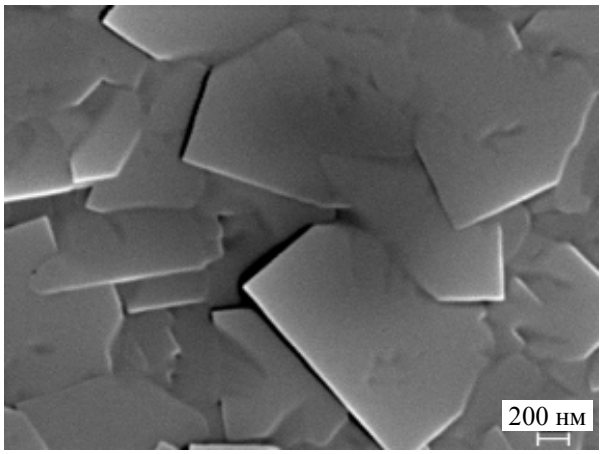
Крім того, як видно із збільшеного фрагмента мікрофотографії (рис. 1, в), пластинки субмікронних і мікронних розмірів мають додаткові неоднорідності нанометрових розмірів, положення яких на поверхні є позиційно розупорядкованими. Таким чином, при моделюванні оптичних властивостей таких плівок потрібно враховувати наявність двох характерних масштабів неоднорідностей.

II. Оптичні моделі наногранульованих плівок

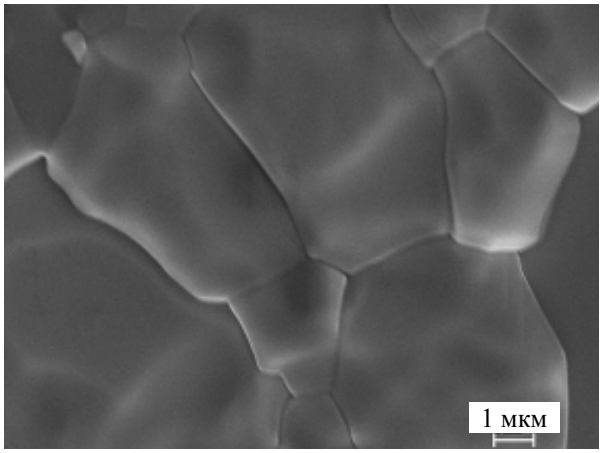
Зважаючи на наявну щільну упаковку наночастинок телуриду свинцю на скляних підкладках двох масштабів (рис. 1) при моделюванні оптичних властивостей плівок необхідно враховувати



а



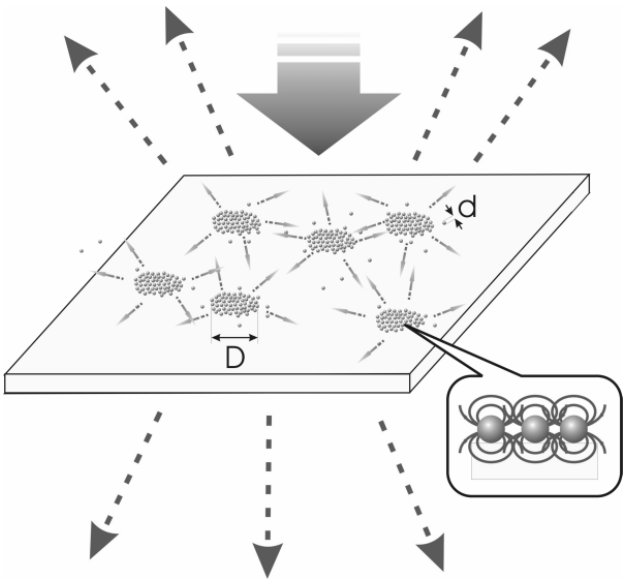
б



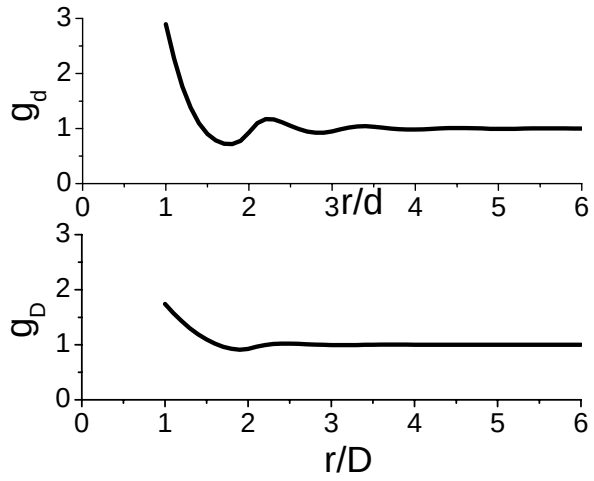
в

Рис. 1. Топологія нанокристалічних структур PbTe, осаджених із парової фази методом газодинамічного потоку пари на склі при температурі $T_п$=100 ^oC (а), $T_п$=135 ^oC (б), $T_п$=225 ^oC (в).

когерентні ефекти колективної природи. З цією метою запропоновано використовувати розроблене білоруською стороною інтерференційне наближення для двомасштабних планарних структур. В рамках цієї моделі крупні мікропластинки моделюються дисками (рис. 2, а), яким приписується ефективний комплексний показник заломлення, що розраховується з урахуванням концентрації первинних наночасток телуриду свинцю в цій структурі. Потім, з використанням формалізму об'ємного інтегрування, розраховуються параметри послаблення, поглинання, розсіяння і амплітудні функції розсіяння таких модельних дисків. Для врахування корельованості розташування кристалів-дисків на підкладці використовується радіальна функція розподілу, розрахована в наближенні твердих окремих частинок (рис. 2, б).



а



б

Рис. 2. Схематичне зображення двомасштабної дисперсної структури (а) і радіальних функцій розподілу (б) неоднорідностей для двох масштабів відповідно.

Основними параметрами двомасштабної дисперсної структури, що визначають вигляд радіальної функції розподілу, є діаметр окремої наночастки (d); діаметр агрегату (D); поверхнева концентрація наночасток в агрегаті і поверхнева концентрація агрегатів.

Розроблений метод тестований на прикладі моношарів наночасток PbTe. З використанням цього методу досліджувався вплив основних структурних параметрів гранульованої плівки телуриду свинцю на спектральну залежність пропускання і форму індикатриси розсіяння. При цьому

використовувалися оптичні сталі телуриду свинцю, приведені в роботі [4].

III. Оптичні властивості наногрaгнульованих плівок

Як видно з рис. 3, телурид свинцю характеризується у видимій області спектру значною дисперсією показника заломлення (n) і істотним збільшенням коефіцієнта поглинання (к) в довгохвильовому діапазоні. Проте розрахунки дисперсних шарів PbTe, що складаються із сфер різного діаметру *d,* показують зменшення нормованої оптичної густини цих шарів при збільшенні довжини хвилі падаючого світла (рис. 4). Цей ефект пов'язаний із збільшенням внеску розсіяння, яке зростає внаслідок збільшення показника заломлення частинок і дифракційного параметра $\rho=\pi d/\lambda$. Виявлена спектральна залежність пропускання плівок телуриду свинцю свідчить про можливість їх

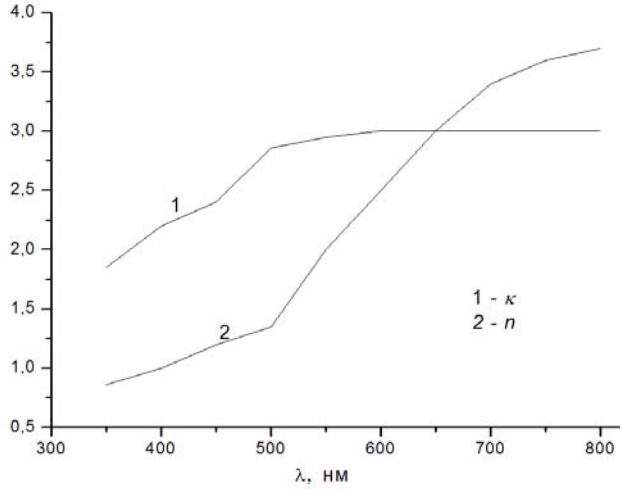


Рис. 3. Спектральні залежності показника заломлення (n) і коефіцієнта поглинання (к) плівок телуриду свинцю.

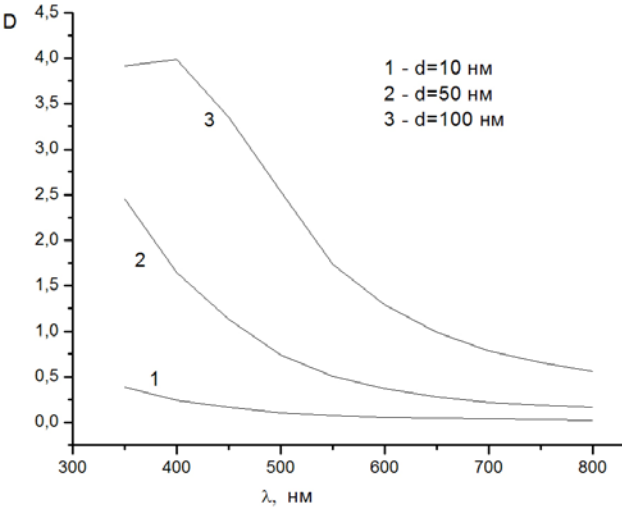


Рис. 4. Спектральна залежність нормованої оптичної густини дисперсних шарів PbTe, що складаються з сфер різного діаметру *d.*

використовування для фільтрування випромінювання короткохвильового діапазону видимої області спектру.

На рис. 5 для наночасток телуриду свинцю різних розмірів приведені результати розрахунку параметра виживання, який визначається як відношення чинника ефективності поглинання до чинника ефективності послаблення частинки. Як видно з рис. 5, у всій дослідженій спектральній області значення параметра виживання зростає при зменшенні розмірів частинок. Так, практично все послаблення для частинок з діаметром d=10 нм визначається поглинанням, тоді як для частинок з діаметром d=100 нм у короткохвильовій області поглинання і розсіюваннчя порівнянні по величині. Разом з тим, цікаво порівняти не тільки абсолютні значення, але і спектральну поведінку параметра виживання для частинок різних розмірів. Так, для крупніших частинок (d = 50 нм і d = 100 нм) параметр виживання монотонно зростає із збільшенням довжини хвилі, повторюючи спектральну залежність коефіцієнта послаблення телуриду свинцю (порівняй з даними рис. 3). В той же час для малих частинок (d=10 нм) спостерігається немонотонна спектральна залежність параметра виживання, що пов'язане з конкуренцією двох чинників – зростанням коефіцієнта поглинання і зменшенням параметра дифракції при переході з короткохвильової в довгохвильову область спектру.

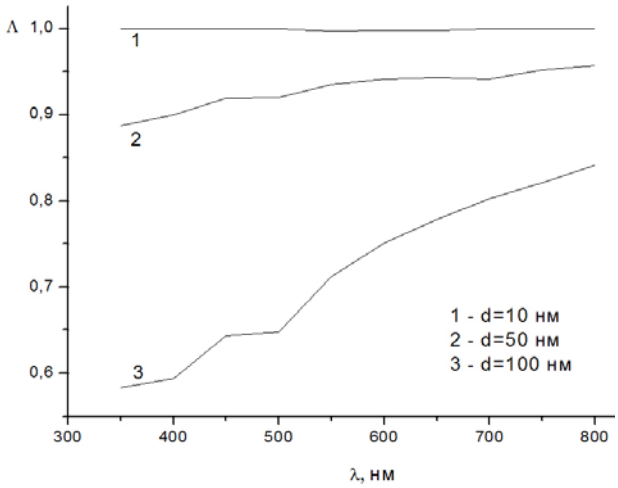


Рис. 5. Спектральна залежність параметра виживання для наносфер телуриду свинцю різного розміру.

Як показали проведені дослідження, спектри пропускання гранульованих плівок і кутового розподілу інтенсивності розсіяного ними випромінювання сильно залежать від густини упаковки частинок. Результати розрахунку кутової залежності приведені на рис. 6. Показано, що для випадку, коли розміри первинних наночасток малі (складають десятки нанометрів) при малій поверхневій концентрації пластинок кутова залежність інтенсивності випромінювання, розсіяного двомасштабною гранульованою плівкою, близька до релеєвської залежності. Із збільшенням розмірів первинних наночасток спостерігається лише

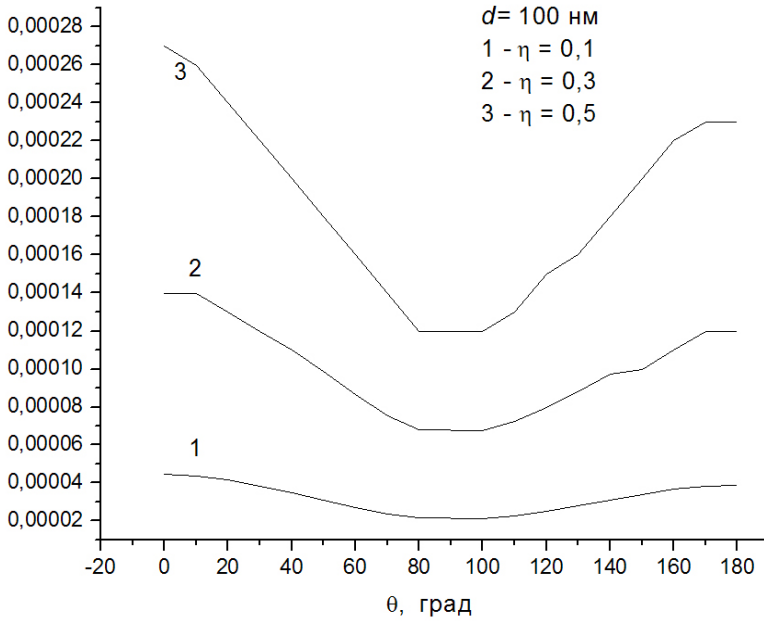


Рис. 6. Вплив концентрації нанокристалів на кутову залежність випромінювання, розсіяного дисперсним шаром наносфер PbTe.

загальне збільшення інтенсивності розсіяного випромінювання, без зміни характеру кутового розподілу (рис. 6). У разі значних поверхневих концентрацій кристалів-дисків із збільшенням їх розмірів релеєвська залежність кутового розподілу порушується. Виявляються додаткові кутові резонанси, що виникають за рахунок інтерференції хвиль, розсіяних високовпорядкованим ансамблем окремих субмікронних частинок.

Висновки

1. Показано, що гранульовані плівки телуриду свинцю на підкладках із полірованого скла є щільноупакованими шарами тонких (< 100 нм) пластинок, поперечні розміри яких у міру зростання температури осадження збільшуються.

2. Визначено, що значне збільшення оптичної густини тонких наногранульованих плівок телуриду свинцю в короткохвильовій області оптичного спектру визначається зростанням в цій спектральній області дифракційного параметра і пов'язаним з цим значним посиленням розсіювання світла, яке компенсується короткохвильовим зменшенням коефіцієнта поглинання телуриду свинцю.

Робота частково фінансується МОН України (державний реєстраційний номер 0106U00220) та ДФФД МОН України (державний реєстраційний номер 0107U006769).

Фреїк Д.М. – заслужений діяч науки і техніки України, академік Академії наук вищої школи України, доктор хімічних наук, професор, директор Фізико-хімічного інституту, завідувач кафедри фізики і хімії твердого тіла;
Малашкевич Г.Е. – доктор фізико-математичних наук, професор;
Дзундза Б.С. – науковий співробітник;
Ліщинський І.М. – кандидат фізико-математичних наук, доцент;
Никируй Р.І. – аспірант.

[1] Р.А. Андриевский. Наноматериалы: концепция и современные проблемы // Рос. хим. ж., **56**(5), сс. 50-56 (2002).
[2] Д.М. Фреїк, В.М. Чобанюк, Л.І. Никируй. Напівпровідникові тонкі плівки – сучасний стан (огляд) // Фізика і хімія твердого тіла, **7**(3), сс. 405-417 (2006).
[3] Д.М. Фреїк, М.А. Лоп'янка, А.К. Школьний, Р.І. Никируй. Нанокристали сполук IV-VI, осаджені із газодинамічного потоку пари // Фізика і хімія твердого тіла, **8**(3), сс. 451-456 (2007).
[4] E.D. Palik, Handbook of optical constants of solids, Washington, Academic Press, (1985).

D.M. Freik[1], G.E. Malashkevich[2], B.S. Dzundza[1], I.M. Lishchynskyy[1], R.I. Nykyruy[1]

Surface Topology and Optical Properties of Lead Telluride Nano-Grain Films

[1]*Physical-chemical institute*
at the Vasyl Stefanyk PreCarpathian National University
57, Shevchenko Str., Ivano-Frankivsk, 76025, Ukraine, E-mail: fcss@pu.if.ua
[2]*Institute of Physics of the National Academy of Sciences of Belarusj, Minsk, Belarusj*

The research results of the lead telluride nanostructures topology types, that deposited from the gas-dynamical steam of stream on polished glass substrates.

Software for the calculation of optical descriptions of nano-grain lead telluride films on the base of statistical theory of frequent of waves dispersion methods is developed. There are executed the numeral researches of spectrums of weakening and absorption, and also angular division of light intensity, dissipated by nano-grain films.

The spectral selective character of radiation loosening of visible range by lead telluride thin nano-grain films was found.