

Я.П. Салій, О.І. Наливайчук, М.В. Рейкало

Кінетика процесів росту наноструктур РbТе:Ві на слюді

Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника, вул. Шевченка, 57,
Івано-Франківськ, 76018, Україна, E-mail: saliyyaroslav@gmail.com

У роботі проаналізовано результати досліджень атомно-силовою мікроскопією топології поверхні епітаксійних наноструктур плюмбум телуриду легованого бісмутом, вирощених із парової фази методом гарячої стінки на сколах (0001) слюди - мусковіт марки СТА. Встановлено особливості кінетики процесу формування поверхневих нанокристалічних пірамід, визначено температурні умови переважання вагнерівського мономолекулярного механізму росту. Встановлено, що епітаксійний ріст поверхневих нанокластерів РbТе:Ві за температур осадження 150 – 200 °С здійснюється за вагнерівським механізмом якщо час осадження менший 15 хв.

Ключові слова: розподіл, наноструктури, телурид свинцю, кінетика процесу росту.

Стаття постуила до редакції 12.12.2014; прийнята до друку 15.03.2015.

Вступ

Плюмбум телурид відносяться до вузькощілинних напівпровідників із двосторонньою областю гомогенності, є перспективним матеріалами для створення на їх основі активних елементів, що функціонують в інфрачервоній області оптичного спектру [1]. Крім того, велике величина відношення рухливості носіїв заряду до ґраткової теплопровідності у плюмбум телуриді робить його ефективним термоелектричним матеріалом для середньої області температур.

Метою цієї роботи є вивчення процесів росту епітаксійних наноструктур плюмбум телуриду легованого бісмутом на сколах слюди, осаджених із газодинамічного потоку пари. Для контрольованого вирощування наноструктур із заданим спектром властивостей необхідна інформація про закономірності стадій їх формування і росту.

I. Методика експерименту

Нанокристалічні епітаксійні структури РbТе:Ві отримували осадженням газодинамічного потоку пари на свіжі сколи слюди-мусковіт марки СТА. Зауважимо, що проведено експерименти для різних температур росту конденсату 150 і 200 °С. Температура стінок камери складала 260 С, а випаровування наважки 700 С.

Морфологія поверхні наноструктур досліджувалася на атомно-силовому мікроскопі (АСМ) Nanoscope Dimension 3000 в режимі періодичного контакту. Вимірювання проведені в

центральної зоні зразка з використанням серійних кремнієвих зондів NSG-11 із номінальним радіусом закруглення віскеря до 10 нм.

II. Кінетика процесів росту нанокристалів

Зображення поверхонь наноструктур одержані методом АСМ представлено на рис. 1. Аналіз цих зображень дає можливість встановити певні закономірності у формуванні епітаксійних наноструктур у залежності від температури та часу осадження. Так, зокрема, збільшення часу осадження сприяє формуванню нанокристалів із переважанням росту у латеральному напрямку до поверхні підкладки.

На початкових етапах осадження до 10 хв. має місце утворення окремих зародків у вигляді перед-пірамід без чітко вираженої огранки. На наступних етапах осадження пари має місце розростання і зрощування трьохвимірних пірамід {100}, грані яких не несуть електричного заряду (особливість кристалів із структурою типу NaCl), без їх злиття з утворенням каналів і меж неузгодженості переважно у напрямках $\langle 1\bar{1}0 \rangle$. Це пов'язано з тим, що у площина (0001) слюди сприяє рівно-ймовірному зародженню і росту окремих кристалографічних форм.

На рис. 2 зображено густину розподілу висот нанооб'єктів ρ для 5 зразків, осаджених на слюдяну підкладку при 200 °С. Зі збільшенням часу осадження найбільш ймовірна висота і дисперсія розподілу

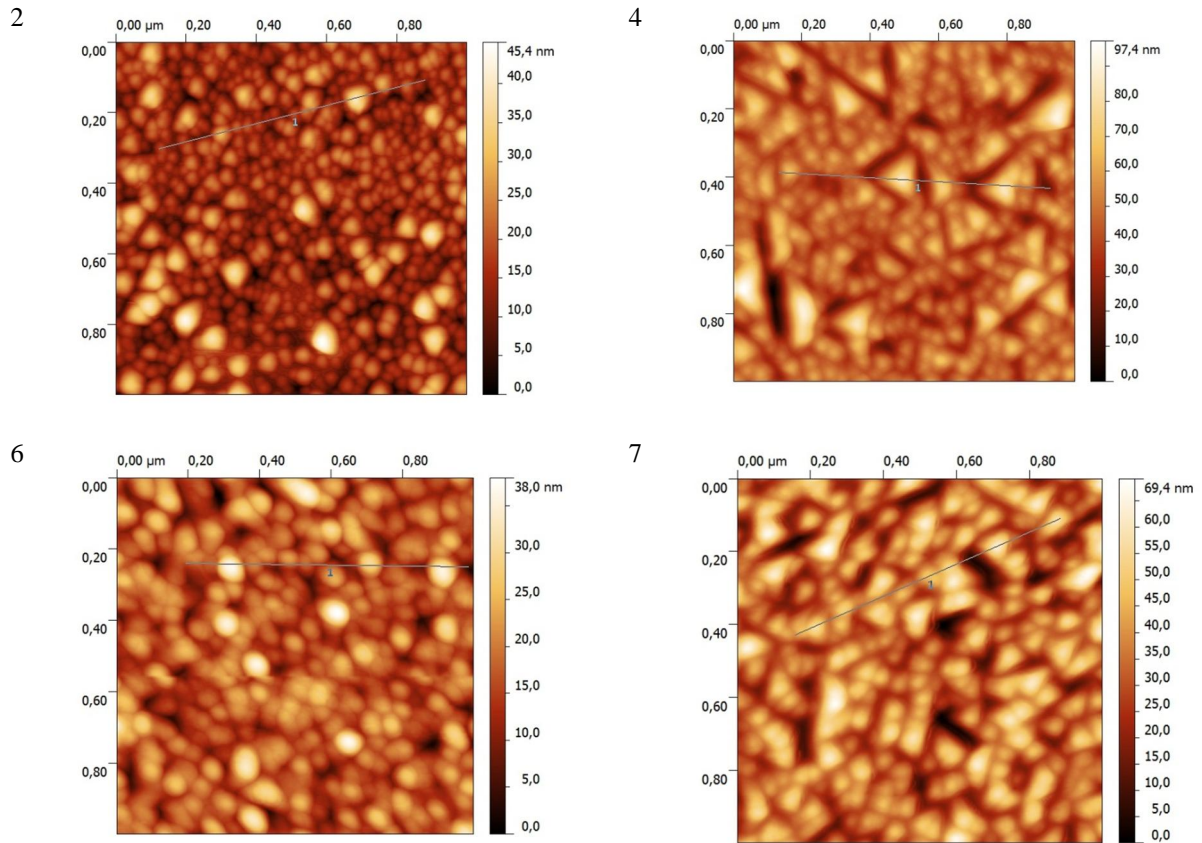


Рис. 1. АСМ зображення поверхні РbТе: осаджених на слоюдяну підкладку за час 5 і 15 хв. при температурі $T_{\text{п}}$, $^{\circ}\text{C}$: 200 (2 і 4) і 150 (6 і 7).

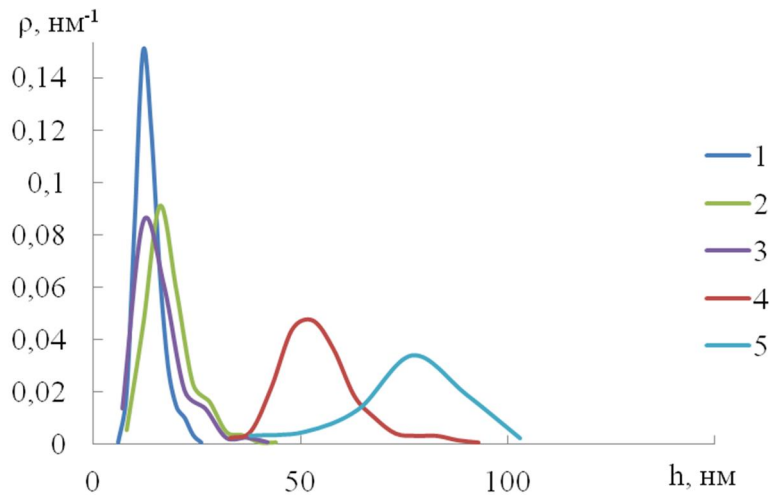


Рис. 2. Густина розподілу висот нанооб'єктів ρ для плівок РbТе:Ві осаджених на слоюдяну підкладку при 200°C за час t , хв.: 4 (1), 5 (2), 8 (3), 15 (4) і 20 (6).

висот нанооб'єктів зростають. Аналогічна залежність спостерігається і для зразків 6, 7 осаджених при температурі підкладки 150°C (рис. 3).

Зауважимо, що зміна температури не однаково впливає на розподіл висот нанооб'єктів, що

осаджувались 5 і 15 хвилин (рис. 3). У зразках 2 і 6, що осаджувались 5 хв. зменшення температури підкладки призводить до зростання найбільш ймовірної висоти, а у зразках 4 і 7, що осаджувались 15 хв. – до зменшення.

На рис. 4 показані розподіли нормовані на максимальне значення $g = \rho/\rho_{\max}$ від висоти нормованої на максимальну $u = h/h_{\max}$ для зразків 1 - 5. При збільшенні часу осадження розподіл спочатку

зміщується до лівого краю, а потім до правого. Згідно теорії [2] розподіли з максимумами розташованими ближче до лівого краю $g \approx 0,5$ описують процеси росту куполоподібних нанооб'єктів з переважанням

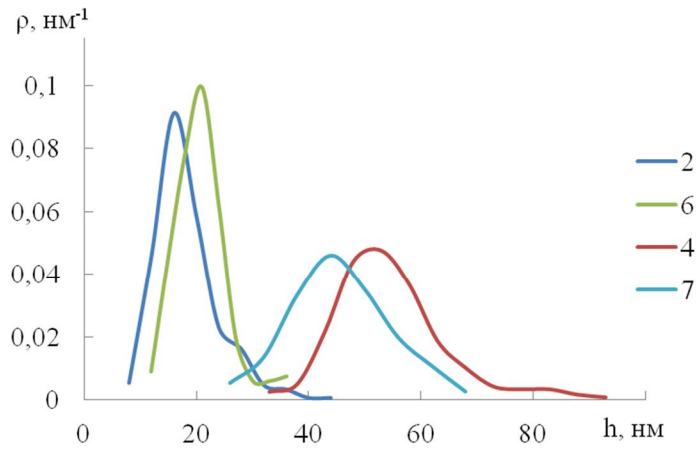


Рис. 3. Густина розподілу висот нанооб'єктів ρ для плівок PbTe:Bi осаджених на слюдяну підкладку за час 5 і 15 хв. при температурі $T_{\text{п}}$, $^{\circ}\text{C}$: 200 (2 і 4) і 150 (6 і 7).

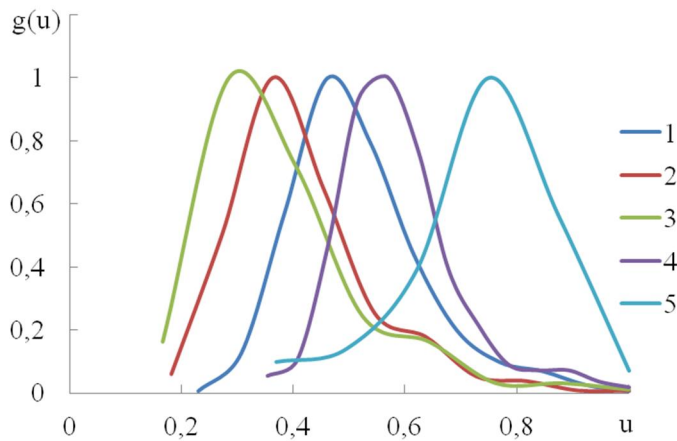


Рис. 4. Густина розподілу висот нанооб'єктів нормовані на максимальне значення g від нормованої на максимальне значення висоти u для плівок PbTe:Bi осаджених на слюдяну підкладку при 200°C за час t , хв.: 4 (1), 5 (2), 8 (3), 15 (4) і 20 (5) хв. Відповідно.

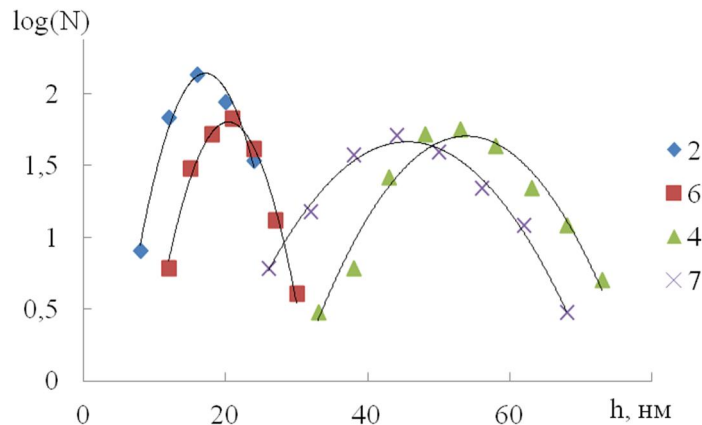


Рис. 5. Кількість висот h нанооб'єктів N для плівок PbTe:Bi осаджених на слюдяну підкладку за час 5 і 15 хв. при температурі $T_{\text{п}}$, $^{\circ}\text{C}$: 200 (2 і 4) і 150 (6 і 7).

вагнерівського механізму над дифузійним, і якщо максимуми зміщені до правого краю $g \approx 0,75$ то переважає дифузійний механізм над вагнерівським. Отже для часу осадження 4 - 8 хв. суттєвим є вклад хімічної взаємодії, а потім для часу 15 – 20 хв. починає переважати дифузійний механізм росту. Дійсно з рис. 1 видно відмінність у сформованих об'єктах, при великих часах на поверхні плівки формуються правильні піраміди зразки 4 і 7 (молекули кріпляться у визначених місцях об'єкта після міграції по поверхні), а при малих часах куполоподібні об'єкти з овальним перерізом зразки 2 і 6 (молекули кріпляться до об'єкта без значних блукань).

Рис. 5 ілюструє розподіл числа об'єктів даної висоти. З кривих поданих у логарифмічному масштабі по осі ординат видно, що розподіли у своїх вершинах добре апроксимуються квадратичною параболою і отже вони мають гаусів вигляд. Нормальний розподіл нанооб'єктів за висотою свідчить про їх незалежний ріст.

Таким чином описаний характер росту нанокристалів на слюді характерний для механізму епітаксії Фольмера-Вебера [3]. Трьохвимірні кристали зароджуються при незначному перенасиченні, коли адшар надзвичайно розріджений, що характерно для слабкої адгезії, яка обумовлює

виражений орієнтаційно зв'язок конденсату із підкладкою. Після утворення суцільного шару із нанокристалів виникають нові центри зародження (рис. 1).

Висновки

Зі збільшенням часу осадження з 5 до 15 хв. для температур слюдяної підкладки 150 і 200 °С найбільш ймовірна висота і середньоквадратичне відхилення висот поверхневих нанооб'єктів PbTe:Bi зростають у ~ 2 рази.

Зменшення температури не однаково впливає на розподіл висот нанооб'єктів, що осаджувались 5 і 15 хвилин. У зразках 2 і 6, що осаджувались 5 хвилин зменшення температури підкладки призводить до зростання найбільш ймовірної висоти, а у зразках 4 і 7, що осаджувались 15 хвилин – до зменшення.

При збільшенні часу осадження нормований розподіл спочатку зміщується до лівого краю, а потім до правого, це вказує на те що при малих часах домінує хімічний зв'язок при формуванні нанооб'єкта, а при великих дифузійний.

Об'єкти на поверхні ростуть незалежно.

- [1] Н.Х. Абрикосов, Л.Е. Шелимова,. Полупроводниковые материалы на основе соединений $A^{IV}B^{VI}$ (Наука, Москва, 1975).
- [2] Р.Д. Венгреневич, Б.В. Іванський, А.В. Москалюк, Фізика і хімія твердого тіла 10(1), 19 (2009).
- [3] Л.С. Палатник, М.Я. Фукс, В.М. Косевич, Механизм образования и субструктура конденсированных пленок (Наука, Москва, 1972).

Ya.P. Saliy, O.I. Nalyvaychuk, M.V. Reykalo

Kinetic of Growth Processes of PbTe:Bi Nanocrystalline Structures on Mica-Muscovite Cleavages Substrate

'Vasyl Stefanyk' Precarpathian National University, E-mail: saliyyaroslav@gmail.com

The results of investigation of formation plumbum telluride epitaxial films by atomic force microscopy are presented. The surface topology of PbTe films grown by hot wall method on micas-muscovite fresh cleavages substrates for 350 - 630 K condensation temperatures range and thickness up to 10 μm are given. This indicated the presence of the vapour - crystal growth processes of a films without a coalescence.