

УДК 669.621.315.592:54–165

Михайло Лоп’янку, Ростислав Никируй

*Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника,
м. Івано-Франківськ, Україна*

ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ВИРОЩУВАННЯ ТОНКОПЛІВКОВИХ СТРУКТУР ZnS МЕТОДОМ ГАЗОДИНАМІЧНОГО ПОТОКУ ПАРИ

Халькогеніди металів 2-ї та 4-ї групи Періодичної таблиці хімічних елементів зарекомендували себе чудовими матеріалами для практичного використання в сучасних пристроях електроніки та термоелектрики. Зокрема напівпровідникові сполуки ZnS розповсюджені в якості люмінофорів, сонячних елементів а також як матеріал для напівпровідникових лазерів, а також в термоелектриці [1-3]. Спосіб та умови отримання матеріалу є основним чинником, що впливає на його властивості та подальше використання. Для отримання нових матеріалів з потрібними властивостями необхідно вдосконалювати вже відомі та розробляти нові методи отримання напівпровідникових матеріалів. Метод газодинамічного потоку пари дозволяє отримати тонкі плівки та нанокристаліти з добре прогнозованими властивостями. Широкі межі керування процесом дають можливість отримувати різні за властивостями матеріали з однотипного технологічного процесу.

В даній роботі досліджено основні параметри процесу осадження ZnS із газодинамічного потоку пари. Встановлено залежність параметрів осадженого матеріалу від технологічних умов та проведено їх оптимізацію для отримання наноструктур та плівок. Описано можливості ефективного підбору технологічних параметрів для отримання матеріалів із прогнозованими властивостями.

Використовуючи методику обчислення параметрів газодинамічного потоку пари, визначено профілі термодинамічних параметрів пари (довжини ділянки конденсуючої підкладки $x_{кр}$, коефіцієнта конденсації α , швидкості результуючої конденсації ω^* , ступеня пересичення парової фази $\ln\psi$) від безрозмірної координати ξ , температури випаровування T_v і градієнта температури dT/dx , а також від їх комплексної дії [4]. Отримані залежності дають можливість встановити важливі висновки для отримання матеріалів прогнозованої структури.

Зростання значень коефіцієнта конденсації α та наближення їх до одиниці вказує на переважання процесів конденсації над ревіпаровуванням часток матеріалу з поверхонь стінок в області високих значень ξ (рис. 1). Цей процес також ілюструє, що при $\xi \approx 0,6$ крива швидкості конденсації зазнає зламу. Залежність розрахованих значень результуючої швидкості конденсації ω^* від безрозмірної координати ξ вказує на те, що при $\xi \approx 0,35$ (що відповідає максимуму ω^*) отримуємо плівки найбільшої товщини. Оцінка процесу ревіпаровування матеріалу дає можливість вказати область з більш структурно

досконалим матеріалом знаходиться до максимуму результуючої швидкості конденсації. Подальше зменшення відносної густини ρ/ρ_1 та зростання ступеня пересичення парової фази із зростанням ξ можна пояснити тим, що за наявності у камері витратної дії (конденсації) тиск пари по мірі віддалення його від поверхні випаровування зменшується, що призводить до зростання довжини вільного пробігу молекул.

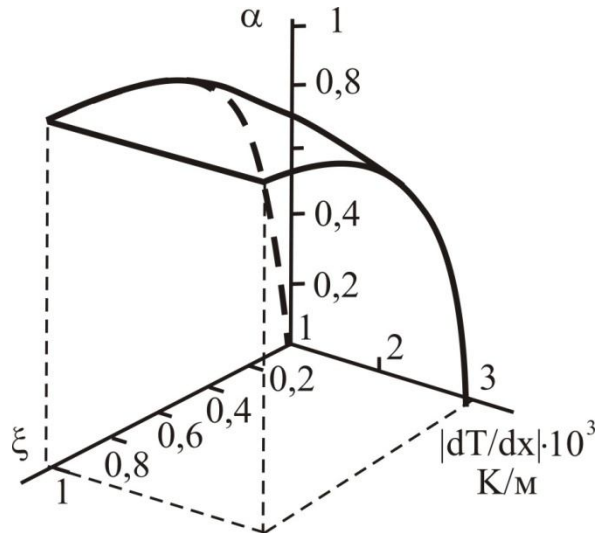


Рисунок 1 - Залежність розрахованих значень коефіцієнта конденсації α від градієнта температури $\frac{dT_c}{dx}$ та безрозмірної координати ξ (при фіксованих технологічних режимах: $T_s = 923$ К, $L = 0,08$ м, $d = 0,05$ м).

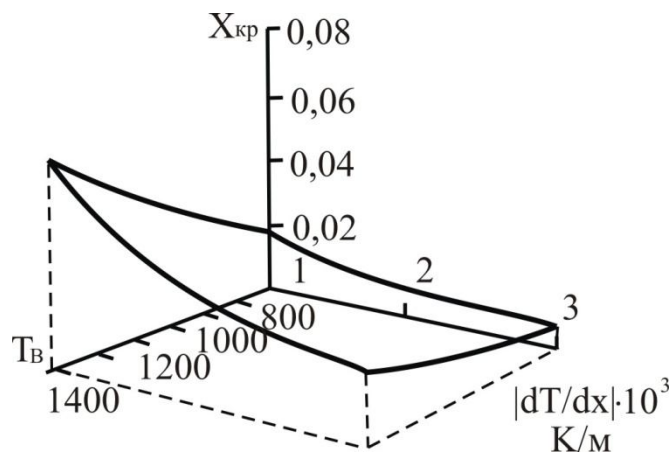


Рисунок 2 - Залежність розрахованих значень критичного перерізу $x_{кр}$ від температури випарування T_s , градієнта температури $\frac{dT_c}{dx}$ (при фіксованих технологічних режимах: $L = 0,08$ м, $d = 0,05$ м).

Довжина ділянки підкладки, на якій відсутній шар конденсату $x_{кр}$ зростає із збільшенням температури випаровування T_v та зменшенням градієнта температури (рис. 2). Причому, більш різкому зростанню $x_{кр}$ сприяє насамперед зменшення градієнта $\frac{dT_c}{dx}$, ніж зростання температури T_v . Також залежність

параметрів пари ZnS від температурних факторів вказує, що при постійному градієнті температури вздовж стінок камери ступінь пересичення зростає із зменшенням T_v . Коефіцієнт конденсації α , навпаки, зростає при збільшенні температури випаровування T_v . Зменшення dT/dx діє на параметри подібно збільшенню T_v (рис. 1). Довжина ділянки підкладки, на якій відсутній шар конденсату $x_{кр}$ зростає із збільшенням температури випаровування T_v та зменшенням градієнта температури.

Варіювання геометричними параметрами камери (довжиною L , діаметром d) дає змогу отримати зміну параметрів осадження без зміни температурних факторів. Збільшення діаметра камери d , і зменшення її довжини L призводять до більш плавної зміни ступеня пересичення пари та обумовлює більш різке збільшення результуючої швидкості конденсації. Також спостерігається зменшення ω^* при зменшенні довжини камери L .

Оптимальні фізико-технічним умовам росту плівок, яким відповідають максимальні значення $\omega^*(\xi)$ і низькі значення ступеня пересичення ψ , які на пряму пов'язані із густиною потоку пари. В наших умовах найбільш якісні плівки ZnS можна отримати при розміщенні підкладки конденсації в значенні безрозмірної координати $\xi = 0,15$ та $x = 0,02$ м.

1. C. Ricolleau, L. Audinet, M. Gandais, T. Gacoin, J.P. Boilot, *Journal of Crystal Growth* **203**, 486 (1999).
2. Р.А. Андриевский, *Рос.хим.ж.* **XLVI (5)**, 50 (2002).
3. W.T. Tsang, in: *Semiconductors and Semimetals*, Eds. R.K. Willardson, A.C. Beer (Academic Press, New York, 1990), p. 24.
4. Ю.З. Бубнов, М.С. Лурье, Ф.Г. Старос, Г.А. Филаретов, *Вакуумное нанесение пленок в квазизамкнутом объеме* (Ленинград, 1975).