

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника**  
**Фізико-хімічний інститут**  
Бердянський державний педагогічний університет  
Державний фонд фундаментальних досліджень  
**НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ**  
Інститут фізики напівпровідників імені В.Є. Лашкарьова  
Інститут металофізики імені Г.В. Курдюмова  
Інститут загальної і неорганічної хімії імені В.І. Вернадського  
Інститут хімії поверхні  
Інститут термоелектрики  
УКРАЇНСЬКЕ ФІЗИЧНЕ ТОВАРИСТВО  
АСОЦІАЦІЯ "ВЧЕНІ ПРИКАРПАТТЯ"  
ЛЮБЛІНСЬКИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ (ПОЛЬЩА)

# **ФІЗИКА І ТЕХНОЛОГІЯ ТОНКИХ ПЛІВОК ТА НАНОСИСТЕМ**

**Матеріали XI Міжнародної конференції**

**МКФТТПН-ХІ**

**Т О М 2**

*7-12 травня, 2007 р.*

Івано-Франківськ  
Україна

**ББК 22.373.1**

**Ф 83**

**УДК 539.2**

**Фізика і технологія тонких плівок та наносистем. Матеріали XI Міжнародної конференції:** У 2 т. – Т. 2. / За заг. ред. заслуженого діяча науки і техніки України, д.х.н., проф. **Фреїка Д.М.** – Івано-Франківськ: Видавничо-дизайнерський відділ ЦІТ Прикарпатського національного університету імені Василя Стефаника, 2007. – 276 с.

Представлено результати теоретичних і експериментальних досліджень з питань: технологія тонких плівок (метали, напівпровідники, діелектрики, провідні полімери) і методи їх дослідження; фізико-хімічні властивості плівок; нанотехнології і наноматеріали, квантово-розмірні структури; тонкоплівкові елементи електронних пристроїв.

Матеріали підготовлено до друку Організаційним комітетом та Редакційною колегією конференції і подано в авторській редакції.

Для наукових та інженерних працівників з проблем тонкоплівкового матеріалознавства та мікроелектроніки.

Рекомендована до друку науково-технічною радою Фізико-хімічного інституту Прикарпатського національного університету імені Василя Стефаника.

**Рецензенти:**

**Литовченко В.Г.**

*чл.-кор. НАН України, доктор фізико-математичних наук, професор.*

**Ковтун Г.О.**

*чл.-кор. НАН України, доктор хімічних наук, професор.*

**Точицький Е.І.**

*чл.-кор. НАН Білорусі, доктор технічних наук, професор.*

© Прикарпатський  
національний університет  
імені Василя Стефаника  
вул. Шевченка, 57,  
м. Івано-Франківськ,  
76000, Україна  
Тел. (0342) 503752  
Факс (03422) 31574  
E-mail: [freik@pu.if.ua](mailto:freik@pu.if.ua)

**MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF UKRAINE**  
**‘Vasyl Stefanyk’ Precarpathian National University**  
**Physical-Chemical Institute**  
Berdiansk State Pedagogical University  
State Fund of Fundamental Researches

**NATIONAL ACADEMY OF SCIENCE OF UKRAINE**  
‘V.E. Lashkarev’ Institute of Semiconductor Physics  
‘G.V. Kurdyumov’ Institute of the Physics of Metals  
‘V.I. Vernadsky’ Institute of General and Inorganic Chemistry  
Institute of Surface Chemistry  
Institute of Thermal-Electricity

**LUBLIN TECHNICAL UNIVERSITY (POLAND)**  
“SCIENTISTS OF THE PRECARPATHIAN” ASSOCIATION  
UKRAINE PHYSICS SOCIETY

## **PHYSICS AND TECHNOLOGY OF THIN FILMS AND NANOSYSTEMS**

***XI INTERNATIONAL CONFERENCE***

**Materials**

7-12, May, 2007  
Ivano-Frankivsk, Ukraine

---

---

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ**  
Прикарпатский национальный университет имени Василия Стефаника  
Физико-химический институт  
Бердянский государственный педагогический университет  
Государственный фонд фундаментальных исследований

**НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНЫ**  
Институт физики полупроводников имени В.Е. Лашкарева  
Институт металлофизики имени Г.В. Курдюмова  
Институт общей и неорганической химии имени В.И. Вернадского  
Институт химии поверхности

УКРАИНСКОЕ ФИЗИЧЕСКОЕ ОБЩЕСТВО  
АССОЦИАЦИЯ "УЧЕНЫЕ ПРИКАРПАТЬЯ"  
**ЛЮБЛИНСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

## **ФИЗИКА И ТЕХНОЛОГИЯ ТОНКИХ ПЛЁНОК И НАНОСИСТЕМ**

***XI МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ***

**Материалы**

7-12 мая 2007 года  
Ивано-Франковск, Украина

**Physics and Technology of Thin Films and Nanosystems. Materials of XI International Conference:** On 2 V. – V. 2. / Ed by Honored engineer and techniques of Ukraine, Dr.Chem.Sci., Prof. **Freik D.M.** – Ivano-Frankivsk: Published-Design Centre of ‘Vasyl Stefanyk’ Precarpathian National University, 2007. – 276 c.

The results of theoretical and experimental researches in directions are submitted: technology of thin films (metals, semiconductors, dielectrics, and carrying out polymers) and methods of their investigation; physicochemical properties of thin films; nanotechnology and nanomaterials, quantum-size structures; thin-film devices of electronics.

The materials preformed for printing by Organizational Committee and Editorial Board of Conference, are conveyed in authoring edition.

For the scientific and engineering workers on thin-film material sciences and microelectronics.

It is recommended for printing by Scientific and Technical Advice of Physical-Chemical Institute at the ‘Vasyl Stefanyk’ Precarpathian National University.

---

---

**Физика и технология тонких пленок и наносистем. Материалы XI Международной конференции:** В 2 т. – Т. 2. / Под общ. ред. Заслуженного деятеля науки и техники Украины, д.х.н., проф. **Фрейка Д.М.** – Ивано-Франковск: Издательско-дизайнерский отдел ЦИТ Прикарпатского национального университета имени Василия Стефаника, 2007. – 276 с.

Представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований в направлениях: технология тонких пленок (металлы, полупроводники, диэлектрики, проводящие полимеры) и методы их исследования; физико-химические свойства пленок; нанотехнологии и наноматериалы, квантово-размерные структуры; тонкопленочные элементы электронных приборов.

Материалы подготовлены к печати Организационным комитетом и редакционной коллегией конференции, поданы в авторской редакции.

Для научных и инженерных работников по вопросам тонкопленочного материаловедения и микроэлектроники.

Рекомендовано к печати научно-техническим советом Физико-химического института Прикарпатского национального университета имени Василия Стефаника.

## ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ

### Бюро

Миронюк І.Ф., Остафійчук Б.К., Фреїк Д.М.

### Міжнародний

Анатичук Л. (Україна), Бабанли М (Азербайджан), Власенко О. (Україна), Волков С. (Україна), Вуйцік В. (Польща), Гасанов К. (Азербайджан), Горбик П. (Україна), Грігоніс А. (Литва), Гуревич Ю. (Мексика), Гуржій А. (Україна), Жуковські П. (Польща) Зломанов В. (Росія), Калінкін І. (Росія), Кияк Б. (Україна), Кікінеші О. (Угорщина), Ковтун Г (Україна), Комаров Ф. (Білорусь), Кучмій С. (Україна), Литовченко В. (Україна), Мазуренко Є. (Україна), Мачулін В. (Україна), Мігтова І. (Росія), Мовчан Б. (Україна), Наумовець А. (Україна), Новиков М. (Україна), Огородник Я. (США), Панасюк В (Україна), Раренко І. (Україна), Свечніков С. (Україна), Сизов Ф. (Україна), Сукач Г. (Україна), Стасюк І. (Україна), Тагаев М. (Узбекистан), Тодоран Р. (Румунія), Точицький Е. (Білорусь), Фірстов С. (Україна), Фістуль В. (Росія), Шпак А. (Україна), Шпілевський Е. (Білорусь)

### Національний

Бойко Б. (Харків), Бойчук В. (Дрогобич), Галушак М. (Івано-Франківськ), Гасюк І. (Івано-Франківськ), Гладких М. (Харків), Давидюк Г. (Луцьк), Дмитрук М. (Київ), Дружинін А. (Львів), Зауличний Я. (Київ), Зінченко В. (Одеса), Ігнатенко П. (Донецьк), Кідалов В. (Бердянськ), Кланічка В. (Івано-Франківськ), Корбутяк Д. (Київ), Куницький Ю. (Київ), Лашкарьов Г. (Київ), Лепіх Я. (Одеса), Матвєєва Л. (Київ), Миколайчук О. (Львів), Никируй Л. (Івано-Франківськ), Панченко О. (Київ), Похмурський В. (Львів), Прокопів В. (Івано-Франківськ) Проценко І. (Суми), Прокопенко І. (Київ), Птащенко О. (Одеса), Рогачова О. (Харків), Рувінський М. (Івано-Франківськ), Середа Б. (Запоріжжя), Смертенко П. (Київ), Стасюк З. (Львів), Стронський О (Київ), Ткач М. (Чернівці), Томашик В. (Київ), Уваров В. (Київ), Чуйко Г. (Херсон)

### Секретаріат

Межиловська Л.Й. – вчений секретар конференції

Бабушак Г.Я., Борик В.В., Дзундза Б.С., Соколов О.Л. – секретарі

- structures // *Phys. Rev. B.* **47**(11), pp. 6776 – 6779 (1993).
2. Parkin S.S.P. Giant magnetoresistance in magnetic nanostructures // *Annu. Rev. Mater. Sci.*, **25**, pp. 357-388 (1995).

### **Вплив хімічного складу халькогенідів кадмію на параметри газодинамічного потоку пари при осадженні нанокристалів**

Лоп'яно М.А., Никируй Р.І., Школьній А.К.

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

В останні роки особлива увага приділена вирощуванню, та синтезу напівпровідників CdS, CdSe та CdTe через їх широке використання у приладових структурах сучасної електроніки.

Метою роботи є розрахунок параметрів пари газодинамічного потоку напівпровідникових сполук CdSe, CdS та CdTe для прогнозованого керування технологічними процесами вирощування та аналіз цих параметрів залежно від хімічного складу матеріалів.

Нанокристали напівпровідників CdS, CdSe та CdTe отримували шляхом осадження пари із газодинамічного потоку у камері циліндричної форми (діаметр  $D = 0,05$  м, довжина  $L = 0,08$  м, температура випаровування  $T_s = 923$  К, градієнт температури вздовж стінок камери  $dT_c/dx = -3 \cdot 10^3$  град·м<sup>-1</sup>).

Встановлено відмінність розподілу параметрів рухомої пари по довжині камери, яку автори пояснюють різною по величині енергією випаровування  $E_s$ : найбільшою величиною енергії випаровування володіє сульфід кадмію, тому внесок ревіпаровування в масообмін на стінках для нього є найменшим, що обумовило найбільші значення результуючої швидкості конденсації. При цьому, в міру збільшення енергії випаровування  $E_s$ , спостережувані максимуми в залежностях швидкості конденсації  $\omega^*(\xi)$  зміщуються в область менших значень безрозмірної координати  $\xi$  від CdTe до CdS. Суттєва відмінність базових параметрів енергії випаровування  $E_s$ , тиску  $p_h$  і густини  $\rho_h$  насиченої пари CdS від CdSe та CdTe визначає різку залежність швидкості конденсації сульфідів кадмію від градієнта температури.

Оптимальним фізико-хімічним умовам росту плівок відповідають низькі значення ступеня пересичення парової фази  $\psi$  і значні швидкості конденсації  $\omega^*$  в умовах інтенсивного ревіпарування. Для телуриду кадмію цим вимогам краще всього задовольняє інтервал зміни безрозмірної координати  $0,15 \leq \xi \leq 0,45$ . При градієнті температури  $dT_c/dx = 3 \cdot 10^3$  К/см відстань від випарника, що відповідає осадженню найбільш досконаліших шарів на підкладках, складає  $x \approx 2,7$  см. Аналогічно, для сульфідів і селенідів кадмію ці значення складають

$0,18 \leq \xi \leq 0,3$  і  $x \approx 2,0$  см;  $0,15 \leq \xi \leq 0,35$  і  $x \approx 1,8$  см, відповідно.

### **Механізми формування нанокристалів у методі газодинамічного потоку пари**

Лоп'янко М.А., Никируй Р.І., Насипайко О.В., Гридчук М.Я.

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

Бінарні напівпровідникові матеріали  $A^{II}B^{VI}$  та  $A^{IV}B^{VI}$  стали добре відомими завдяки інтенсивному їх використанню в якості активних елементів сучасної електроніки. Поряд із дослідженнями монокристалів та тонких плівок розглядуваних сполук, в останні роки все більша увага акцентується на наноматеріалах на їх основі.

У роботі розглянуто самоорганізацію епітаксійних острівків сполук  $A^{II}B^{VI}$  та  $A^{IV}B^{VI}$  при осадженні газодинамічного потоку пари на монокристалічні підкладки слюди.

Важливими термодинамічними параметрами, які обумовлюють формування структури конденсатів та їх основні характеристики є ступінь пересичення пари  $\psi$ , коефіцієнт конденсації  $a$  та швидкість результуючої конденсації  $\omega^*$ . На підкладках слюди, які розміщені у напрямку руху пари, в області критичного перерізу ( $x = x_{кр}$ ) при  $\psi = 1,8 \dots 6,2$ ;  $a = 0,1 \dots 0,2$ ;  $\omega^* = 0,2 \dots 0,4$ , не дивлячись на існування переважаючих напрямків газового потоку, відбувається ріст окремих структурно-досконалих тривимірних частинок-тетраєдрів. В умовах росту, близьких до нормальних, не спостерігається викривлення ребер, що обмежують форми кристалітів; грані, ребра та вершини переміщуються узгоджено.

На гранях  $\{111\}$  кристалів-зародків при значних збільшеннях спостерігається пошарова будова. В ряді випадків утворюються піраміди  $3m$  симетрії, але із зрізаними вершинами. При віддаленні від поверхні випарника вздовж осі камери та росту пересичення пари значно зростає густина кристалів-зародків, зменшуються їх лінійні розміри. За таких умов кристалізації змінюється топологія пірамід росту, їх симетрія понижується від  $3m$  до  $m$  і до  $1$ . Найчастіше відбувається трансформація основ пірамід. Причиною цього може бути те, що піраміди заступають одна одну від напрямлених потоків збагачення речовиною.

Тривимірні кристаліти отримують при незначному пересиченні, коли адшар надзвичайно розріджений, що спостерігається при механізмі слабкої адгезії, яка обумовлює виражений зв'язок орієнтацій кристалу-конденсату з підкладкою.

Наведені результати відображають загальну закономірність процесів росту епітаксійних шарів, отриманих у квазізамкненому об'ємі з температурно-градієнтними стінками.

Слід зазначити, що якщо на слюді спостерігається епітаксійний ріст

кристалів, то на аморфній підкладці має місце неорієнтоване наростання конденсату.

Робота частково фінансується ДФФД МОН України (проект № 14.1/028)

## **Термічна стійкість та електропровідність аморфних плівок системи GaSb-Sn**

Луцик Н.Ю., Миколайчук О.Г.

*Львівський національний університет імені Івана Франка, Львів, Україна*

Методами електроннографії та просвічуючої електронної мікроскопії вивчалась термічна стійкість аморфних плівок системи GaSb-Sn. Плівки товщиною біля 500Å отримували методом дискретного випаровування у вакуумі. Електропровідність аморфних плівок системи GaSb-Sn досліджувалась в температурному діапазоні 100-600К.

Як показали електроннографічні дослідження, з ростом концентрації Sn термічна стійкість аморфних плівок знижується. Причому, найбільш різкий спад термічної стійкості спостерігається при високих концентраціях Sn. В системі GaSb-Sn аморфні плівки, осаджені при кімнатній температурі, формуються лише в концентраційному діапазоні 0 – 50 ат.% Sn (0 – 33 моль.% Sn<sub>2</sub>). Первинною фазою кристалізації в системі GaSb-Sn є кристаліти β-Sn. При цьому на електроннограмах на фоні дифузних “гало” чітко фіксуються найбільш інтенсивні лінії β-Sn ( $d_{200}=2,916\text{Å}$ ;  $d_{101}=2,793\text{Å}$ ;  $d_{211}=2,017\text{Å}$ ).

На залежностях статичної електропровідності аморфних плівок системи GaSb-Sn від оберненої температури лише при високих температурах спостерігаються лінійні ділянки. Лінійна залежність питомої електропровідності в моттівських координатах в доволі широкому температурному інтервалі вказує на стрибкову провідність по локалізованих станах навколо рівня Фермі. Для аморфних плівок системи GaSb-Sn мінімальна густина локалізованих станів  $N(E_F)=4,08 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3} \text{ eV}^{-1}$  спостерігається для плівок GaSb. Зі збільшенням вмісту Sn в аморфних плівках спостерігається значне збільшення густини локалізованих станів на рівні Фермі ( $8,51 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3} \text{ eV}^{-1}$  для  $(\text{GaSb})_{0,75}(\text{Sn}_2)_{0,25}$ ). В цій системі температурна границя переходу від стрибкового механізму провідності по локалізованих станах навколо рівня Фермі до активаційного механізму провідності зміщується в область більш низьких температур зі збільшенням концентрації Sn в аморфних плівках. Енергії активації процесу електропровідності аморфних плівок GaSb-Sn змінюється зі складом від 0.32 eV для GaSb до 0.26 eV для  $(\text{GaSb})_{0,75}(\text{Sn}_2)_{0,25}$ . У зв'язку з високою концентрацією локалізованих станів навколо рівня Фермі, з ростом температури проходить безпосередній перехід від механізму