

Секція: Хімія

Назва пріоритетного напрямку розвитку науки і техніки згідно з Законом України:

Фундаментальні наукові дослідження з найбільш важливих проблем розвитку науково-технічного, соціально-економічного, суспільно-політичного, людського потенціалу для забезпечення конкурентоспроможності України у світі та сталого розвитку суспільства і держави

Назва напрямку секції: Неорганічна хімія

Назва піднаправу секції: Фізико-технічні та хімічні проблеми матеріалознавства

ЗВІТ ЗА ЕТАПОМ 2015 РОКУ

за науково-дослідною роботою

(Характер НДР: **фундаментальне дослідження**)

- 1. Тема НДР:** Структурні, оптичні та електричні характеристики тонких і товстих плівок твердих розчинів CdTe з ізовалентними домішками (Mn, Zn) для високоефективних детекторів іонізуючого випромінювання та сонячних елементів
- 2. Керівник НДР:** доктор фіз.-мат. наук, професор А.С. Опанасюк
- 3. Номер державної реєстрації НДР:** 0115U000665с
- 4. Назва вищого навчального закладу:** Сумський державний університет
- 5. Терміни виконання:** початок - 2015, закінчення - 2017.
- 6. Наукові результати**

В роботі проведено комплексне вивчення плівок твердих розчинів Cd(1-x)Zn(x)Te, отриманих випаровуванням у КЗО на неорієнтованих підкладках.

Дослідження плівок Cd(1-x)Zn(x)Te методами рентгенівської дифракції, фотолюмінесценції та раманівської спектроскопії показало, що метод квазізамкненого об'єма (КЗО) дозволяє отримувати достатньо однорідні та високоякісні плівки з концентрацією цинку до $x=0.3$. Вперше встановлено, що зростання концентрації цинку призводить до монотонного погіршення кристалічної якості плівок. Зокрема, загальноприйнята для Cd(1-x)Zn(x)Te параболічна форма залежності кристалічної якості від концентрації цинку, де x змінюється від 0 до 1 з максимумом біля $x=0,5$, не була підтверджена методами фотолюмінесценції та рентгенівської дифракції. Це пояснюється тим, що плівки з низькою концентрацією цинку були отримані в умовах більш рівноважних, ніж плівки з високою концентрацією. Таким чином, окрім залежності між деформацією кристалічної ґратки та концентрацією цинку, ми виявили вплив умов вирощування плівок Cd(1-x)Zn(x)Te на їх кристалічну якість.

Наявність на спектрах фотолюмінесценції плівок CdTe, ZnTe та CZT1 і CZT2 інтенсивних екситонних ліній A(0)X свідчить про достатньо гарну оптичну якість цих зразків. У випадку плівок Cd(1-x)Zn(x)Te з високою концентрацією цинку широкі піки фотолюмінесценції, спричинені дислокаціями, стають домінуючими в той час як відносна інтенсивність піку A(0)X суттєво зменшилась. Ці результати свідчать про зниження кристалічної якості зразків при підвищенні концентрації цинку. Показано, що зміна положення мод CdTe та ZnTe на раманівських спектрах має добру кореляцію з загальноприйнятою теорією оптичних фононів в твердих розчинах Cd(1-x)Zn(x)Te. Сканування поверхні зразків з допомогою мікро-раманівської спектроскопії показало, що метод КЗО дозволяє отримувати високоякісні плівки Cd(1-x)Zn(x)Te без включень телуру.

Для нанесення плівок Cd(1-x)Mn(x)Te з контрольованим складом розраховані тиски компонентів сполуки та оцінені температури випаровування, необхідні для отримання шарів з малим (декілька відсотків) та великим вмістом марганцю. Досліджені спектральні залежності коефіцієнта відбиття $R(\lambda)$ та пропускання $T(\lambda)$ отриманих плівок та визначена ширина ЗЗ матеріалу, що дорівнює $E_g = (1,46 \div 1,57)$ eV. З використанням літературних даних про залежність ширини ЗЗ сполуки Cd(1-x)Mn(x)Te від вмісту марганцю визначена концентрація

цього елементу у зразках. Встановлено, що вміст марганцю у плівках становить $x = 0,02 \div 0,04$, збільшуючись зі збільшенням температури випаровування шихти. Ці данні підтверджені результатами дослідження складу плівок методом EDAX.

7. Результати етапів (відповідно до технічного завдання):

Номер етапу	Назва етапу згідно з технічним завданням.	Заплановані результати етапу	Отримані результати етапу
1.	Вивчення механізмів структуроутворення конденсатів Cd(1-x)Mn(x)Te, Cd(1-x)Zn(x)Te на неорієнтованих, металізованих підкладках та підкладках з підшаром ІТО. Вдосконалення експериментальних установок. Вибір фізико-технічних режимів отримання тонких та товстих плівок сполук. Дослідження структурних та субструктурних характеристик шарів Cd(1-x)Mn(x)Te, Cd(1-x)Zn(x)Te різними методами.		
1.1	Розробка технологій отримання плівок сполук CdTe, ZnTe, та твердих розчинів Cd(1-x)Mn(x)Te (Cd(1-x)Zn(x)Te)	Обладнання для отримання тонких та товстих плівок CdTe, ZnTe та твердих розчинів Cd(1-x)Mn(x)Te (Cd(1-x)Zn(x)Te)	Створене обладнання для отримання тонких та товстих плівок CdTe, ZnTe, плівок твердих розчинів Cd(1-x)Mn(x)Te (Cd(1-x)Zn(x)Te) методом співвипаровування компонентів у вакуумі
1.2	Вдосконалення експериментальних установок. Вибір фізико-технічних режимів отримання плівок сполук та твердих розчинів Cd(1-x)Mn(x)Te (Cd(1-x)Zn(x)Te)	Серії плівок CdTe, ZnTe, які синтезовані у різних фізико-технічних режимах конденсації. Результати досліджень структурних характеристик таких плівок.	Отримані плівки CdTe, ZnTe, синтезовані у різних фізико-технічних режимах конденсації. Результати досліджень структурних характеристик таких плівок. Показано, що збільшення температури підкладки та різниці температур підкладки та випарника приводить до покращення структури плівок.
1.3	Механізми структуроутворення та структурно-фазовий стан тонких та товстих плівок сполук A2B6 та твердих розчинів Cd(1-x)Mn(x)Te (Cd(1-x)Zn(x)Te)	Серії плівок Cd(1-x)Mn(x)Te (Cd(1-x)Zn(x)Te), які синтезовані у різних фізико-технічних режимах конденсації. Результати досліджень структурних характеристик таких плівок.	Отримані плівки твердих розчинів Cd(1-x)Mn(x)Te (Cd(1-x)Zn(x)Te), синтезовані у різних фізико-технічних режимах конденсації. Результати досліджень структурних характеристик таких плівок. Встановлено, що зростання концентрації цинку призводить до моно тонкого погіршення кристалічної якості плівок
1.4	Механізми структуроутворення та структурно-	Схеми формування структурно-фазового стану	Схеми формування структурно-фазового

фазовий стан тонких та товстих плівок сполук A_2B_6 та твердих розчинів $Cd(1-x)Mn(x)Te$ ($Cd(1-x)Zn(x)Te$)	тонких та товстих плівкових систем, що містять цинк і марганець.	стану тонких та товстих плівкових систем, що містять цинк і марганець. Показало, що метод КЗО дозволяє отримувати високоякісні плівки $Cd(1-x)Zn(x)Te$ без включень телуру
---	--	--

8. Результативність виконання науково-дослідної роботи

	Показники	Виконано (за результатами НДР)
		кількість
1.	Публікації виконавців за тематикою НДР:	
	1.1. Статті у журналах, що входять до наукометричних баз даних Scopus, Web of Science та/або Index Coperricus (для соціо-гуманітарних наук).	3
	1.2. Публікації в матеріалах конференцій, що входять до наукометричних баз даних, які вказані у п. 1.1.	0
	1.3. Статті у журналах, що включені до переліку наукових фахових видань України та, які не зазначені у а. 1.1.	1
	1.4. Публікації у матеріалах конференцій та виданнях, що не включені до переліку наукових фахових видань України.	5
	1.5. Монографії, опубліковані за рішенням Вченої ради ВНЗ.	0
	1.6. Підручники, навчальні посібники.	2
2.	Підготовка наукових кадрів:	
	2.1. Захищено докторських дисертацій за тематикою НДР.	0
	2.2. Подано до розгляду спеціалізовану вчену раду докторських дисертацій за тематикою НДР.	0
	2.3. Захищено кандидатських дисертацій за тематикою НДР.	0
	2.4. Подано до розгляду у спеціалізовану вчену раду кандидатських дисертацій за тематикою НДР.	0
	2.5. Захищено магістерських робіт за тематикою НДР.	1
3.	Охоронні документи на об'єкти права інтелектуальної власності створені за тематикою НДР:	
	3.1. Отримано патентів (свідоцтв авторського права) України.	0
	3.2. Подано заявок на отримання патенту України.	0
	3.3. Отримано патентів (свідоцтв авторського права) інших держав.	0
	3.4. Подано заявок на отримання патенту інших держав.	0
4.	Участь з оплатою у виконанні НДР:	
	4.1. Студентів.	3
	4.2. Молодих учених та аспірантів.	4

9. Бібліографічний перелік монографій, підручників, посібників, наукових статей, інших публікацій; подані заявки та отримані патенти; теми захищених та поданих до розгляду у спеціалізовану вчену раду дисертацій (за матеріалами досліджень за звітний період).

1. Кобяков О.М. Мікросхемотехніка: конспект лекцій для студ. / О.М. Кобяков, А.С. Опанасюк, І.Є. Бражник, О.А. Любивий - Електронне вид. каф. Електроніки і комп'ютерної техніки.

2. Кобяков О.М. Мікросхемотехніка: конспект лекцій для студ. / О.М. Кобяков, А.С. Опанасюк, І.Є. Бражник, О.А. Любивий - Суми: СумДУ, 2015. - 109 с.

3. Medvid A. Laser ablation in CdZnTe crystal due to thermal self-focusing: Secondary phase hydrodynamic expansion / A. Medvid, A. Mychko, E. Dauksta, V. Kosyak, L. Grase // Applied Surface Science. – 2015. 10.1016/j.apsusc.2015.09.225. (Scopus; IF=2,71).

4. Kosyak V. Photoluminescence of CdZnTe thick films obtained by close-spaced vacuum sublimation / V. Kosyak, Y. Znamenshchykov, A. Čerškus, L. Grase, A.S. Opanasyuk, Y.P. Gnatenko [et al] // Journal of Luminescence. – 2016. – V. 171. – P. 176-182. (Scopus; IF=2,719).

5. Никонюк Є. С. Оптичне пропускання і електрофізичні властивості твердих розчинів $Cd_{1-x}Mn_xTe$ / Є.С. Никонюк, З.І. Захарук, Г.І. Раренко, А.С. Опанасюк, В.В. Гриненко, П. М. Фочук // J. Nano- Electron. Phys. – 2015. – Т.7, №2. – С.02037. (Scopus; фахове видання).

6. Znamenshchykov Y.V. Effect of Laser Annealing on the Properties of the Surface of Polycrystalline CdZnTe Thick Film / Y.V. Znamenshchykov, V.V. Kosyak, A.S. Opanasyuk, P.M. Fochuk // Proceedings of the International Conference Nanomaterials: Applications and Properties. – Sumy State University Publishing, 2016. – V.4, № 1. – P. 01NTF16.

7. Знаменщиков Я.В. Структурні та субструктурні характеристики плівок $Cd(1-x)Zn(x)Te$ зі змінною концентрацією цинку/ Я.В. Знаменщиков, Я. Шергін, А.С. Опанасюк, П.М. Фочук // Науково-технічна конференція «Фізика, електроніка, електротехніка» (ФЕЕ-2015), Суми, 20-25 квітня 2015 р. С.167.

8. Знаменщиков Я.В. Структурні, субструктурні та електрофізичні властивості плівок $Cd_xZn_{1-x}Te$ зі змінною концентрацією цинку / Я.В. Знаменщиков, В.В. Косяк, А.С. Опанасюк // Конференція молодих вчених з фізики напівпровідників "Лашкарьовські читання 2015", Київ, 1-3 квітня 2015, С.83.

9. Опанасюк А.С. Електричні властивості кристалів $Cd(1-x)Mn(x)Te$ / П. М. Фочук, Є.С. Никонюк, А.С. Опанасюк [та ін.] // П'ятнадцята наукова конференція "Львівські хімічні читання – 2015" Львів, Україна 24-27 травня 2015

10. Grase L., Znamenshchykov Y., Kosyak V., Medvids A., Opanasyuk A., Mežinskis, G. Energy Dispersive X-ray Analysis of the Graded Band Gap CdZnTe Films. In: The 14th International Conference on Global Research and Education "Inter-Academia 2015": Abstracts Book, Japan, Hamamatsu, 28-30 September, 2015. Shizuoka: Shizuoka University, 2015, pp.156-157.

10. Використання результатів НДР у навчальному процесі та/або в промисловості (інших галузях):

На основі отриманих товстих і тонких плівок сполук A_2B_6 та твердих розчинів $Cd(1-x)Mn(x)Te$ ($Cd(1-x)Zn(x)Te$) можуть бути створені дешеві детектори жорсткого випромінювання та сонячні елементи з підвищеною ефективністю.

Отримані наукові результати використовуються при підготовці дисертацій аспірантів кафедри ЕКТ Климова О.В., Коваля П.В., Знаменщикова Я.В., Єрмоєнка Ю.С. та докторанта Косяка В.В.

Матеріали теми використовувалися для наукової роботи зі студентами. За темою досліджень захищено 1 дипломна робота студента денного відділення, підготовлено 1 роботу на конкурс студентських наукових робіт.

Результати досліджень, як спеціальні підрозділи, використовуються при викладанні курсів: «Твердотільна електроніка», «Фізико-технічні основи перетворення сонячної енергії»,

«Технологічні основи електроніки», «Нові досягнення науки і техніки» для студентів та викладачів університету;

11. Опис інших видів діяльності у рамках НДР.

З використанням отриманих результатів був поданий науковий проект на конкурс проектів HORIZON 2020 на секцію «Сучасні ідеї для радикально нових технологій, присвячений розробці тонкоплівкових сонячних перетворювачів».

Цей проект був поданий спільно з університетами:

Ризький технічний університет (Латвія)

Університет м. Валенсії (Іспанія)

Інститут електронних структур та лазерів (м. Геракліон, Греція)

Вільнюський університет (Литва)

Був поданий науково-освітній проект у рамках програми HORIZON 2020 ім. Марії Кюрі по створенню інноваційної навчальної мережі з підготовки кандидатів наук з напрямку фотovoltaїка. Серед організацій що увійшли до консорціуму:

Науковий центр м. Юліх (Німеччина)

Молдовський державний університет (Молдова)

Ризький технічний університет (Латвія)

Інститут фізики (Братислава, Словачія)

Вільнюський університет (Литва)

Інститут макро-молекулярної хімії (Ясси, Румунія)

12. Кількість штатних співробітників 0 , кількість сумісників 1 , молодих учених з оплатою 4 , кількість студентів з оплатою 3 , які брали участь у виконанні НДР

13. Рішення наукової ради від 26.11.2015 протокол № 3 про затвердження звіту

Керівник роботи:

_____ А.С. Опанасюк
підпис

Проректор із наукової роботи:

_____ А.М. Черноус
підпис

МП