

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ,  
КРЕМЕНЧУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ

ISSN 2222 - 4386

ІМЕНІ МИХАЙЛА ОСТРОГРАДСЬКОГО  
НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ ІНСТИТУТ ТЕХНОЛОГІЙ  
НАПІВПРОВІДНИКІВ ТА ІНФОРМАЦІЙНО-КЕРУЮЧИХ  
СИСТЕМ

НАУКОВА РАДА НАН УКРАЇНИ З ПРОБЛЕМ ФІЗИКИ  
НАПІВПРОВІДНИКІВ  
ІНСТИТУТ ФІЗИКИ НАПІВПРОВІДНИКІВ  
ІМ. В.С.ЛАШКАРЬОВА  
ЦІЛІНСЬКИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
(КИТАЙСЬКА НАРОДНА РЕСПУБЛІКА)



**IV МІЖДУНАРОДНА  
НАУКОВО-ПРАКТИЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ**

**НАПІВПРОВІДНИКОВІ МАТЕРІАЛИ,  
ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ  
ТА ФОТОВОЛЬТАЇКА  
(НМІТФ-2016)**

**ТЕЗИ ДОПОВІДЕЙ**

Кременчук - 2016

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
КРЕМЕНЧУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ МИХАЙЛА ОСТРОГРАДСЬКОГО**

*IV Міжнародна науково-практична конференція*

**Напівпровідникові матеріали,  
інформаційні технології  
та фотовольтаїка**

**ТЕЗИ ДОПОВІДЕЙ**

**26–28 травня 2016 р.**

**Кременчук**

<b>УВЕЛИЧЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ ФОТО-ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ ГЕТЕРОСТРУКТУРЫ <math>Cu(In,Ga)Se_2</math> С КВАНТОВЫМИ ТОЧКАМИ <math>InAs</math> .....</b>	<b>63</b>
<i>Вельченко А.А., Мирончук В.И., Пелещак Р.М.</i>	
<b>ВПЛИВ ОБРОБКИ ПОВЕРХНІ НА РАДІАЦІЙНУ СТІЙКІСТЬ КРЕМНІЄВОГО ФОТОЕЛЕКТРИЧНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА КОСМІЧНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ .....</b>	<b>65</b>
<i>Гетьман А.В., Душейко М.Г., Іващук А.В.</i>	
<b>СЕНСОРИ КУТОВИХ КООРДИНАТ СОНЦЯ СТУДЕНТСЬКОГО НАНОСУПУТНИКА POLYUTAN-2 .....</b>	<b>67</b>
<i>Фадєєв М.С., Душейко М.Г., Іващук А.В.</i>	
<b>ЦИФРОВИЙ СЕНСОР КУТОВИХ КООРДИНАТ СОНЦЯ ДЛЯ СУПУТНИКІВ СТАНДАРТУ CUBESAT .....</b>	<b>69</b>
<i>Душейко М.Г., Точковий В.О., Іващук А.В.</i>	
<b>ВПЛИВ ТОВЩИНИ ЕЛЕКТРОДІВ НА ВНУТРІШНІЙ ОПІР СУПЕРКОНДЕНСАТОРІВ .....</b>	<b>71</b>
<i>Ізотов В.Ю., Ключі М.І., Вей Хан, Ші Лун Лю, Селіхова А.В., Гавриков Д.С.</i>	
<b>ВЛИЯНИЕ КОМПЕНСИРУЮЩЕЙ ПРИМЕСИ НА ДЕТЕКТОРНЫЕ СВОЙСТВА МОНОКРИСТАЛЛОВ <math>CdTe</math>.....</b>	<b>73</b>
<i>Беляев С.В., Гнатюк В.А., Левицкий С.Н.</i>	
<b>ІНДУКОВАНА МЕТАЛОМ КРИСТАЛІЗАЦІЯ АМОРФНОГО КРЕМНІЮ: ПЕРСПЕКТИВИ І ПРОБЛЕМИ ЗАСТОСУВАННЯ У СОНЯЧНІЙ ЕНЕРГЕТИЦІ .....</b>	<b>75</b>
<i>Неймаи В.Б.</i>	
<b>МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ОКСИДНО- НАПІВПРОВІДНИКОВИХ КОНДЕНСАТОРІВ .....</b>	<b>77</b>
<i>Лепіх Я.І., Лавренова Т.І.</i>	
<b>МАТЕРІАЛ ДЛЯ ТОВСТОПЛІВКОВИХ ЕЛЕМЕНТІВ ГІС НА БАЗІ НАПІВПРОВІДНИКОВИХ НАНОКОМПОЗИТІВ "СКЛО – ОКСИДИ МЕТАЛІВ" .....</b>	<b>78</b>
<i>Лепіх Я.І., Лавренова Т.І.</i>	
<b>ПЛЕНКИ <math>Zn_xCd_{1-x}S</math>, ПОЛУЧЕННІ МЕТОДОМ СПРЕЙ-ПИРОЛІЗА, ДЛЯ ОКОН ТОНКОПЛЕНОЧНИХ ФОТОПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ.....</b>	<b>79</b>
<i>Ерєменко Ю.С., Демиденко М.Г., Опанасюк А.С., Салогуб А.О., Курбатов Д.И.</i>	
<b>ВПЛИВ ПРУЖНОЇ ДЕФОРМАЦІЇ ТА МАГНІТНОГО ПОЛЯ НА ЕЛЕКТРОПРОВІДНІСТЬ КРИСТАЛІВ <math>p-Si</math>.....</b>	<b>81</b>
<i>Лис Р.М., Павлик Б.В., Дідик Р.І., Шикоряк Й.А.</i>	
<b>ВПЛИВ ПРЕСУВАННЯ НА ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ НАПІВПРОВІДНИКОВИХ ТВЕРДИХ РОЗЧИНІВ <math>Sb_2Te_3 - Bi_2Te_3</math>.....</b>	<b>83</b>
<i>Мартинова К.В., Рогачова О.І.</i>	
<b>STAND ALONE THERMO-PHOTOVOLTAIC POWER PLANT WITH SOLAR RADIATION CONCENTRATOR .....</b>	<b>84</b>
<i>Kirichenko M.V., Zaitsev R.V., Khrypunov G.S.</i>	
<b>HIGH-VOLTAGE POWER TAKE-OFF SYSTEM FOR PHOTOVOLTAIC STATION .....</b>	<b>86</b>
<i>Zaitsev R.V., Kirichenko M.V., Khrypunov G.S., Prokopenko D.S.</i>	
<b>ВПЛИВ ГРАФЕНУ НА ОПТИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ СИСТЕМИ <math>Cu-HfO_2</math>, НАНЕСЕНОЇ НА СКЛЯНУ ПІДКЛАДКУ .....</b>	<b>88</b>
<i>Негруб М.М., Кравець В.Г., Лопатинська О.Г., Юргелевич І.В., Поперенко Л.В.</i>	
<b>ABSORPTION CHARACTERISTICS of <math>SiO_2</math>, <math>CaO</math> and SOFTWARE "KERN-DP" OF ANISOTROPY AUTOMATED SYSTEM.....</b>	<b>89</b>
<i>Onanko A.P., Kulish M.P., Dmytrenko O.P., Prodayvoda G.T., Vyzhva S.A., Onanko Y. A., Kolendo A. Y., Kutsevòl N. V.</i>	

<b>ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТОНКИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ФАКТОРІВ НА ПАРАМЕТРИ БАР'ЄРНИХ ПЕРЕХОДІВ НА GaAs .....</b>	<b>119</b>
<i>Дмитрієв В.С., Дмитрієва Л.Б.</i>	
<b>ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ РІВНЯ ІНЖЕКЦІЇ БАР'ЄРНИХ ПЕРЕХОДІВ МЕТАЛ-АРСЕНІД ГАЛІЮ ВІД ТЕХНОЛОГІЇ ЇХ ВИГОТОВЛЕННЯ .....</b>	<b>120</b>
<i>Дмитрієв В.С., Дмитрієва Л.Б.</i>	
<b>СТРУКТУРА, ХІМІЧНИЙ СКЛАД ТА ОПТИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЛІВОК <math>Zn_2SnO_4</math>, ОТРИМАНИХ МЕТОДОМ ПУЛЬСУЮЧОГО СПРЕЙ-ПРОЛІЗУ .....</b>	<b>121</b>
<i>Салогуб А.О., Климов О.В., Возний А.А., Опанасюк А.С., Манжос О.П.</i>	
<b>As<sub>2</sub>S<sub>3</sub> CHALCOGENIDE GLASSES DOPED WITH Mn FOR THE VIS &amp; IR-TRANSMITTING APPLICATIONS AND FABRICATION OF OPTICAL ELEMENTS .....</b>	<b>123</b>
<i>Paiuk O., Meshalkin A., Stronski A., Achimova E., Abashkin V., Prisacar A., Triduh G., Lytvyn P., Oleksenko P., Kryskov Ts.</i>	
<b>МЕХАНИЗМ РОСТА ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ НИТЕВИДНЫХ НАНОКРИСТАЛЛОВ, УЧИТЫВАЮЩИЙ ДИФУЗИЮ ГОРЯЧИХ АТОМОВ ПО ПОВЕРХНОСТИ .....</b>	<b>124</b>
<i>Гранкин Д.В., Гранкин М.В.</i>	
<b>МЕХАНИЗМ РАСТВОРЕНИЯ КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ РЕШЕТКИ МОНОКРИСТАЛЛОВ ZnSe В РАСТВОРЕ БРОМА .....</b>	<b>125</b>
<i>Беляев С.В., Гнатюк Д.В., Левицкий С.Н.</i>	
<b>ОСОБЕННОСТИ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ЗАВИСИМОСТИ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ СТЕКЛОКЕРАМИКИ СИСТЕМЫ VO<sub>2</sub>-V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-SnO<sub>2</sub>-Cu.....</b>	<b>127</b>
<i>Колбунов В.Р., Ивон А.И.</i>	
<b>ВЛИЯНИЕ АТОМАРНОГО ВОДОРОДА НА ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ ВАРИСТОРНОЙ ОКСИДНО-ЦИНКОВОЙ КЕРАМИКИ .....</b>	<b>129</b>
<i>Лавров Р.И., Ивон А.И.</i>	
<b>ФОНОННІ СПЕКТРИ СПОЛУК Cu<sub>2</sub>ZnSnSe<sub>4</sub> ІЗ ЗАМІНОЮ Sn НА Ge АБО Si .....</b>	<b>131</b>
<i>Бабічук І.С., Гаврилюк Є.О., Лемішко І.С., Джаган В.М., Юхимчук В.О., Валах М.Я., Боднар І.В., Гус М.</i>	
<b>ТЕХНОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ РОСТУ ГЕТЕРОНАНОВІСКЕРІВ GaAs/In<sub>1-x</sub>Ga<sub>x</sub>As/GaAs ПРИ НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНОМУ CVD-МЕТОДІ.....</b>	<b>134</b>
<i>Губа С.К., Пелешак Р.М., Гуменюк Д.В.</i>	
<b>СТВОРЕННЯ ГЕТЕРОСТРУКТУРИ InSe – ГРАФІТ .....</b>	<b>135</b>
<i>Ткачук І.Г., Поцілуйко Р.Л.</i>	
<b>МУЛЬТИФРАКТАЛЬНЫЕ СПЕКТРЫ ПЛОЩАДИ ПОВЕРХНОСТИ ГЕТЕРОКОМПОЗИЦИЙ Zn<sub>x</sub>Cd<sub>1-x</sub>Te-Si (111), СИНТЕЗИРОВАННЫХ ВАКУУМНЫМ АНОДНЫМ НАПЫЛЕНИЕМ .....</b>	<b>136</b>
<i>Москвин П.П., Крыжановский В.Б., Литвин П.М., Рашковецкий Л.В., Рудницкий В.А.</i>	
<b>СПЕКТРАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗРАЗКІВ GaSe, ІНТЕРКАЛЬОВАНИХ ГІДРООКСИДОМ КАЛІЮ.....</b>	<b>137</b>
<i>Цибуленко Ю.М.</i>	
<b>ДОСЛІДЖЕННЯ ПЛІВОК Mg<sub>x</sub>Zn<sub>1-x</sub>O НА ДІЕЛЕКТРИЧНИХ ПІДКЛАДКАХ Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ІЧ-СПЕКТРОСКОПІЇ .....</b>	<b>138</b>
<i>Венгер Є.Ф., Мельничук Л.Ю., Мельничук О.В., Борковська Л.В., Хоменкова Л.Ю., Корсунська Н.О.</i>	
<b>DOPING OF PbI<sub>2</sub> MONOCRYSTALS BY Fe AND Ni IN THE PROCESS OF GROWTH FROM VAPOUR PHASE .....</b>	<b>139</b>
<i>Рубак О.В.</i>	
<b>АНАЛІЗ СПЕКТРІВ СКАНУЮЧОЇ ТУНЕЛЬНОЇ СПЕКТРОСКОПІЇ ДЛЯ СИСТЕМИ МЕТАЛ-НАПІВПРОВІДНИК InSe(Ni).....</b>	<b>140</b>
<i>Галій П.В., Ненчук Т.М., Мазур П., Ціжєвський А., Яровець І.Р.</i>	
<b>ОДЕРЖАННЯ СКЛОКЕРАМІЧНИХ ЕЛЕКТРОДНИХ МАТЕРІАЛІВ НА ОСНОВІ Na<sub>4</sub>M<sup>II</sup><sub>3</sub>P<sub>4</sub>O<sub>15</sub> (M<sup>II</sup> – Co, Ni) .....</b>	<b>142</b>
<i>Одинець Є.В., Затовський І.В.</i>	

## ПЛЕНКИ $Zn_xCd_{1-x}S$ , ПОЛУЧЕННЫЕ МЕТОДОМ СПРЕЙ-ПИРОЛИЗА, ДЛЯ ОКОН ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ ФОТОПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Ерёмченко Ю.С., Демиденко М.Г., Опанасюк А.С., Салогуб А.О., Курбатов Д.И.  
Сумский государственный университет, ул. Римского-Корсакова 2, г. Сумы, 40007, Украина  
e-mail: yurieremenko1991@gmail.com

Сегодня в сфере солнечной энергетики происходит активный поиск новых материалов для производства солнечных преобразователей третьего поколения. При этом большой интерес представляет изготовление солнечных элементов (СЭ) на основе гетеропереходов (ГП). Сложностью создания таких СЭ является выбор полупроводниковых слоев имеющих одновременно большую разницу ширины запрещенной зоны и хорошо согласованные кристаллические решетки. Ряд материалов оконных слоев, таких как ZnS, CdS, ZnSe и другие, могут быть использованы в комбинации с поглощающими слоями CdTe[1]. Наиболее изученным среди них является CdS, поэтому весьма широкое распространение получили СЭ на основе ГПn-CdS/p-CdTe. В последнее время рассматривают возможность замены традиционного оконного слоя таких фотопреобразователей на твердый раствор  $Zn_xCd_{1-x}S$ , использование которого позволяет увеличить ширину запрещенной данного слоя (от 2,42 eV у CdS до 3,68eV у ZnS) и соответственно напряжение холостого хода фотопреобразователей, а также уменьшить количество рекомбинационных центров на границе раздела материалов благодаря лучшему согласованию их параметров решетки. В связи с этим  $Zn_xCd_{1-x}S$  имеют хорошие перспективы использования в качестве оконного слоя СЭ [2].

Тонкие пленки твердого раствора  $Zn_xCd_{1-x}S$  в настоящее время наносят с помощью следующих методов: вакуумное испарение, химическое осаждение из раствора, спрей-пиролиз и другие. Метод пульсирующего спрей-пиролиза является достаточно простым, относительно дешевым методом, позволяющим без использования вакуума наносить наноструктурированные химически чистые пленки с управляемым составом и заданной площадью на подложках из разных материалов. Свойства тонких слоев, полученных спрей-пиролизом, главным образом зависят от выбора прекурсоров и физико-технологических параметров нанесения. В частности, существенное влияние на свойства таких пленок оказывает температура подложки. Поэтому целью данной работы являлось исследование влияния температуры подложки на спектры отражения, пропускания и другие оптические характеристики пленок  $Zn_xCd_{1-x}S$ , полученных спрей-пиролизом, для их оптимизации, а также оценка перспектив использования таких пленок в качестве оконного слоя СЭ.

Для получения слоев  $Zn_xCd_{1-x}S$  была использована лабораторная установка, описанная в [3]. В качестве прекурсора был взят раствор, содержащий 0,125 М тетрагидрата нитрата кадмия, 0,125 М хлорида цинка и 0,125 М тиомочевины, которые служили источниками Cd, Zn и S соответственно. Нанесение пленок проводилось на стеклянные подложки размером 25×25×1мм предварительно очищенные с помощью изопропанола. Температура подложки варьировалась в диапазоне 523-773 К с шагом  $\Delta T = 50$  К. Расстояние между соплом и поверхностью подложки составляло 25см. Перенос диспергированных частиц прекурсора производился с использованием потока воздуха под давлением 0,2 МПа. Скорость нанесения пленок составляла 2 мл/мин при объеме распыленного раствора на один образец 10 мл.

Оптические исследования тонких слоев проводились на спектрофотометре ShimadzuSolidSpec 3700 в диапазоне длин волн:  $\lambda = (300-800)$  нм шагом 0,5 нм при режиме сканирования «mediumspeed». Измерения проводились с учетом спектральных характеристик подложки (сначала проводилось снятие базового спектра пропускания чистого стекла, который затем автоматически вычитался от спектра образцов), что обеспечивало максимальную точность определения оптических параметров пленки.

Спектральные зависимости коэффициентов пропускания и отражения для образцов, полученных в интервале температуры подложки  $T_s = (523-773)$  К приведены на рис. 1.

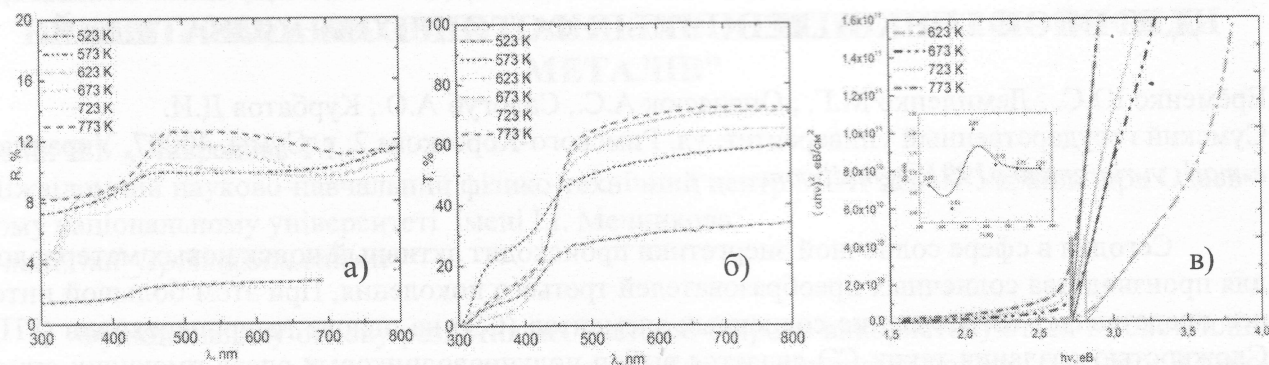


Рис. 1. Спектры отражения (а), пропускания (б) и  $(ahv)^2 - hv$  зависимости (в) для пленок  $Zn_xCd_{1-x}S$ , полученных при температурах подложки  $T_s = (523-773)$  К

Как видно из представленных рисунков, полученные пленки твердого раствора  $Zn_xCd_{1-x}S$  имеют достаточно низкие показатели коэффициента отражения от поверхности (в пределах 1,5 – 12,5%). При этом отмечается рост значения  $R$  при увеличении длины волны  $\lambda$ . Также легко заметить, что коэффициент пропускания данных пленок достигает значения порядка 70%. При этом для конденсатов, полученных при более высоких температурах подложек, характерны более высокие значения коэффициентов отражения и пропускания. Так как здесь представлены результаты измерений, полученные при освещении образцов со стороны пленки твердого раствора, то, скорее всего, такие показатели связаны с влиянием структурного качества пленок и ярко выраженным рельефом их поверхности. На зависимостях  $R(\lambda)$  и  $T(\lambda)$  наблюдаются максимумы и минимумы интенсивности, связанные с интерференцией света в тонких слоях. Наличие интерференционных пиков свидетельствуют об однородности исследованных пленок по площади.

Также были построены зависимости  $(ahv)^2 - hv$  (рис. 1, в) из которых была определена ширина запрещенной зоны материала, она составляла (2,61-2,81) эВ. Эти значения хорошо согласуются с литературными данными.

В результате исследований было установлено, что благодаря высоким значениям коэффициентов пропускания и достаточно низким значениям коэффициента отражения света от поверхности в широком диапазоне длин волн, полученные пленки  $Zn_xCd_{1-x}S$  имеют хорошие перспективы применения в сфере гелиоэнергетики в качестве оконных слоев СЕ с поглощающей пленкой CdTe.

Список использованной литературы

1. Kurbatov D. I. Structural and electrical properties of ZnS/CdTe and ZnTe/CdTe heterostructures / D. I. Kurbatov, V. V. Kosyak, M. M. Kolesnyk [et al.] // Materials Chemistry and Physics. – 2013. – V. 138, №2-3. – P. 731–736.
2. Kartopu G. Effect of window layer composition in  $Cd_{1-x}Zn_xS/CdTe$  solar cells / G. Kartopu, A. J. Clayton, W. S. M. Brooks [et al.] // Progress in Photovoltaics: Research and Applications. – 2012. – V. 20, №1. – P. 6–11.
3. Dobrozhan O., Opanasyuk A., Kolesnyk M., Demydenko M., Cheong H. Substructural investigations, Raman and FTIR spectroscopies of nanocrystalline ZnO films deposited by pulsed spray pyrolysis // Phys. Status Solidi A – 2015. – V. 1-7. – P. 2915–2921.

( $N_d = 10^{16} \text{ см}^{-3}$ ), малою концентрацією  $n_i$  (при  $n_{i\text{GaAs}} = 1,79 \cdot 10^6 \text{ см}^{-3}$ ,  $\gamma_{\text{Ag/n-GaAs}} \sim 10^{-10} \dots 10^{-11}$ ), яка відповідає більшій ширині забороненої зони, більшим значенням щільності струму насичення  $I_s$  (що відповідає малій висоті бар'єру).

#### Список використаної літератури

1. Дмитриев В. С. Исследование инжекционных свойств контактов металл-полупроводник / В. С. Дмитриев, Е. Я. Швец, Л. Б. Дмитриева // Матеріали міжнародної науково-практичної конференції «Україна-Польща: діалог культур в контексті євроінтеграції». – Запоріжжя. : ЗДІА. – 2014. – Т. 2. – С. 226-228.
2. Швец Е. Я. Исследование влияния структуры переходного слоя на качество барьера Шоттки / Е. Я. Швец, В. С. Дмитриев: Сб. науч. тр. // Материалы V международной научной конференции «Функциональная база нанoeлектроники» – Харьков-Кацивели : ХНУРЭ. – 2012. – С. 169-172.

УДК 538.975:539.23

## СТРУКТУРА, ХІМІЧНИЙ СКЛАД ТА ОПТИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЛІВОК $\text{Zn}_2\text{SnO}_4$ , ОТРИМАНИХ МЕТОДОМ ПУЛЬСУЮЧОГО СПРЕЙ-ПІРОЛІЗУ

Салогуб А.О., Климов О.В., Возний А.А., Опанасюк А.С., Манжос О.П.  
Сумський державний університет, вул. Римського-Корсакова, 2, Суми, 40007, Україна.  
E-mail: annkasalohub@gmail.com, opanasyuk\_sumdu@ukr.net

Станат цинку ( $\text{Zn}_2\text{SnO}_4$  або ZTO) з атомною структурою шпінелю  $\text{AB}_2\text{O}_4$  через високу радіаційну, хімічну та механічну стійкість є перспективним матеріалом сучасної електроніки. Завдяки унікальному поєднанню оптичних та електричних властивостей він знаходить широке використання для виготовлення газових сенсорів, літій-іонних батарей, енергозберігаючих вікон, фотодетекторів, фільтрів випромінювання, фотоелектричних перетворювачів сонячної енергії тощо [1]. Слід відзначити, що майже всі тонкоплівкові сонячні елементи з рекордними параметрами на основі поглинаючих шарів CdTe та CIGS як прозорий струмопровідний контактний матеріал містять шари ZTO [2].

Для широкомасштабного застосування плівок ZTO ключовим моментом є розробка простих та ефективних методів їх нанесення на різноманітні підкладки великої площі. На сьогоднішній день існує велика кількість методів отримання плівок станату цинку: магнетронне розпилення, метод хімічного осадження з газової фази, хімічне осадження з водного розчину, спрей-піроліз, золь-гель метод та ін. Однак метод пульсуючого спрей-піролізу, займає серед них ключове місце, адже є більш простим, економічним та зручним методом нанесення тонких плівок при низьких температурах у відсутності вакууму.

Для осадження тонких плівок методом пульсуючого спрей-піролізу в ролі початкового прекурсору нами використовувалися наступні водні розчини: 2,5 М –  $\text{SnCl}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ , 5 М –  $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  та декілька крапель  $\text{HNO}_3$ . Під час розпилювання, дисперсні частинки прекурсора при наближенні до нагрітої поверхні підкладки піддавалися піролітичним (ендотермічним) процесам розкладання, у результаті чого відбувалося подальше утворення плівок ZTO.

Для нанесення зразків, скляні підкладки були очищені та обезжирені ультразвуком протягом 16 хвилин, після чого промиті чистою водою й етанолом. У подальшому прекурсор розпоршували на нагріту до необхідної температури підкладку. Швидкість розпилення становила 0,2 мл/хв, а об'єм розчину, необхідний для отримання зразка, – 6 мл. Відстань між соплом і поверхнею підкладки складала 23 см. Для транспорту диспергованих частинок ви-

користовувався потік повітря під тиском 0,2 МПа. Діапазон температур підкладки, що використовувалася при синтезі плівок, становив  $T_s = (250 - 450)^\circ\text{C}$  з кроком  $\Delta 50^\circ\text{C}$ . Більш детально технологія отримання плівок оксидів методом пульсуючого спреї-піролізу описана в [3].

Структурні дослідження нанесених шарів були виконані на автоматизованому рентгенодифрактометрі ДРОН-4-07 у Ni-фільтрованому  $K\alpha$  випромінюванні мідного анода. Морфологія поверхні плівок, їх фрактограми, а також хімічний склад досліджувалися за допомогою скануючого електронного мікроскопу Hitachi S-4800, що має детектор зворотного розсіювання рентгенівських променів Bruker та програму для мікроаналізу QUANTAX 400.

Оптичні дослідження напівпровідникових плівок проводилися на спектрофотометрі Solid Spec-3700 UV-VIS-NIR в інтервалі довжин хвиль  $\lambda = (300-1500)$  нм. Знімалися спектральні залежності коефіцієнта відбиття  $R(\lambda)$  та пропускання  $T(\lambda)$ . Для вимірювання спектрів відбиття світла використовувалась спеціальна приставка. Вона забезпечувала подвійне відбиття світла від поверхні експериментальних зразків при зніманні, з урахуванням його відбиття від контрольного зразка.

Рентгенівський аналіз показав, що отримані плівки мають полікристалічну структуру кубічної модифікації. Зі збільшенням температури підкладки, розмір кристалітів в зразках збільшувався.

За результатами аналізу елементного складу зразків нами знаходилися відношення атомних концентрацій компонентів  $C_{Zn}/C_{Sn}$ ,  $C_{Zn}/C_{Co}$ ,  $C_{Sn}/C_{Co}$ ,  $C_{Zn+Sn}/C_{Co}$  у тонких шарах. Результати розрахунків наведені у таблиці 1.

Таблиця 1 Хімічний склад отриманих плівок

$T_s,$ $^\circ\text{C}$	Відношення атомних концентрацій компонентів сполуки			
	$\gamma_1 = C_{Zn}/C_{Sn}$	$\gamma_2 = C_{Zn}/C_{Co}$	$\gamma_3 = C_{Sn}/C_{Co}$	$\gamma_4 = C_{Zn+Sn}/C_{Co}$
250	0,632	0,072	0,114	0,187
300	0,515	0,013	0,026	0,039
350	0,431	0,014	0,031	0,045
400	0,309	0,009	0,028	0,037
450	0,356	0,013	0,036	0,049
-	0,275	1,022	3,712	4,734

Результати дослідження показали, що зі збільшенням  $T_s$  атомна концентрація Sn у шарах зменшується від  $\gamma_1 = C_{Zn}/C_{Sn} = 0,632$  ( $250^\circ\text{C}$ ) до  $\gamma_1 = 0,356$  ( $450^\circ\text{C}$ ). В той же час відношення  $\gamma_4 = C_{Zn+Sn}/C_{Co}$  (відомо, що Sn заміщує Zn у кристалічній ґратці) при низьких температурах ( $T_s = 250^\circ\text{C}$ ) становить 0,19 і зменшується до 0,37-0,49 при подальшому зростанні  $T_s$ . Цей результат може означати, що зразки перенасичені киснем або при дослідженні елементного складу електронний промінь, пройшовши плівку, дійшов до скляної підкладки, яка містить кисень.

Оптичні дослідження дозволили встановити, що при довжині хвилі більшій ніж та, що відповідає краю полоси поглинання матеріалу ( $\lambda = 390$  нм), досліджені плівки мають високий коефіцієнт пропускання світла  $T = 78-89\%$ ; щодо коефіцієнту відбивання випромінювання від тонких шарів, то він сягає значень  $R = 6,7-14,4\%$ . Зі збільшенням температури отримання коефіцієнт відбивання дещо збільшується.

Для визначення ширини забороненої зони матеріалу будувалися залежності  $(\alpha h\nu)^2 - h\nu$ . Встановлено, що  $E_g$  змінюється в інтервалі 4,04-4,20 еВ. При цьому спостерігалася тенденція до зменшення ширини забороненої зони напівпровідника при збільшенні температури отримання плівок, що можна пояснити збільшенням розміру зерен у шарах від нано- до мікрокристалічних при підвищенні температури їх нанесення.



Завдяки високій пропускній здатності та ширині забороненої зони, отримані шари можуть бути використані як вікна та струмопровідні шари тонкоплівкових сонячних елементів на основі різних поглинаючих матеріалів.

*Список використаної літератури*

1. Saafi I., Dridi R., Mhamdi A. et al. Study of thickness effects on structural and optical properties of sprayed Zn<sub>2</sub>SnO<sub>4</sub> thin films // *Optik-International Journal for Light and Electron Optics*. – 2015. – V.128. – P. 4382-4386.
2. Scheer R., Schock H.-W. *Chalcogenide Photovoltaics. Physics, Technologies and Thin Films Devices*. – Wiley-VCH, 2011. – 368 p.
3. Dobrozhan O., Opanasyuk A., Kolesnyk M. et al. Substructural investigations, Raman and FTIR spectroscopies of nanocrystalline ZnO films deposited by pulsed spray pyrolysis // *Phys. Status Solidi A* – 2015. – V. 1-7. – P. 2915–2921.

UDC 538.22; 535.421

## As<sub>2</sub>S<sub>3</sub> CHALCOGENIDE GLASSES DOPED WITH Mn FOR THE VIS & IR-TRANSMITTING APPLICATIONS AND FABRICATION OF OPTICAL ELEMENTS

Paiuk O.<sup>1</sup>, Meshalkin A.<sup>2</sup>, Stronski A.<sup>1</sup>, Achimova E.<sup>2</sup>, Abashkin V.<sup>2</sup>, Prisacar A.<sup>2</sup>, Triduh G.<sup>2</sup>, Lytvyn P.<sup>1</sup>, Oleksenko P.<sup>1</sup>, Kryskov Ts<sup>3</sup>.

<sup>1</sup> V. Lashkaryov Institute of Semiconductor Physics NAS of Ukraine, 41 Nauky ave., 03028 Kyiv, Ukraine, e-mail: stronski@isp.kiev.ua, paiuk@ua.fm

<sup>2</sup> Institute of Applied Physics AS of Moldova, 5 Academiei str., 2028 Chisinau, Moldova.

<sup>3</sup> Kamianets-Podilsky National University, 61 I.Ogienko str., 32300 Kamianets-Podilsky, Ukraine.

Chalcogenide glasses are of considerable interest for use as optical elements in IR-transmitting applications because of their transparency over a wide wavelength range in the IR region, and a variety of possible applications can be envisaged depending on the wavelength of the light involved. Doping of chalcogenide glasses by transitional elements changes their thermal, optical, structural and magnetic properties. Pure chalcogenide glasses As<sub>2</sub>S<sub>3</sub> are diamagnetics. Measurements of mass magnetization M in the field 6 T and the temperature range from 1 to 350 K give values for As<sub>2</sub>S<sub>3</sub>: M<sub>mid</sub> = - 1,11 × 10<sup>-6</sup> A m<sup>2</sup>/kg. Introduction of Mn with concentrations – 2 weight % changes magnetic properties of investigated chalcogenide glasses. In DC magnetic field (B = 6 T) dependence of mass magnetization M=M(T), is observed which is characteristic for paramagnetics and ferromagnetics in paramagnetic region of temperatures and described by Curie-Weiss law. The dc magnetization measurements were performed with the SQUID magnetometer. Magnetization temperature (M-T) curves were measured from 5 K to 300 K in the ZFC, the FC modes with an applied magnetic field B from 0.0005 T to 6 T. In the ZFC measurements, the sample was cooled from room temperature to 5 K in a zero magnetic field, then a field was applied at 5 K, and the M<sub>ZFC</sub> was measured in the warming cycle, then the M<sub>FC</sub> was performed in the cooling cycle. Through the analysis of the M-T curves of As<sub>2</sub>S<sub>3</sub>:Mn 2 weight % under different value B, we found that difference between M (T) dependences for ZFC and FC curves remains up to the value of the external field B=0.0468 T and disappears in the field 0.197 T. This gives possibility to consider that influence of the external field on the orientation of the intrinsic magnetic moments of the dopant atoms on the energy value exceeds the energy of their thermal movement.

Chalcogenide nanomultilayer structures based on As<sub>2</sub>S<sub>3</sub>:Mn – Se systems have potential in production of surface-relief optical elements and have been investigated as amplitude-phase optical recording media for optical information recording applications such as diffraction gratings, holograms, etc. Amorphous As<sub>40</sub>S<sub>60</sub>:Mn–Se nanomultilayer structures were prepared by cyclic thermal vacuum deposi-