

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ  
БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН



**ҚазҰТЗУ ХАБАРШЫСЫ** \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ **ВЕСТНИК КазНУ**

**VESTNIK KazNRTU** \_\_\_\_\_

**№ 3 (133)**

## Chemical and metallurgical sciences

<i>Zholdasbay E.E., Dosmukhamedov N.K., Ahmedzhan Zh.S.</i> TO THE QUESTION OF IMPROVEMENT OF TECHNICAL AND ECONOMIC INDICATORS OF THE MINE CONTRACTILE SMELTING.....	616
<i>Dzhakipbekova N.O., Echshenko L.S., Issayeva A.N., Issayeva A.B.</i> ECOLOGICAL RESEARCH OF MODIFIED POLYMER REAGENTS AND THEIR PHYSICAL AND CHEMICAL, COLLOID-MECHANICAL METHODS.....	622
<i>Ussipbekova Ye.Zh., Seilkhanova G.A., Kurbatov A.P., Askarova G.S., Salhaiy A.K.</i> POLYMER ELECTROLYTES WITH HIGH ION CONDUCTIVITY.....	627
<i>Beysenbayev O.K., Issa A.B., Omarbekova L.Y., Yesirkepova M., Issayeva A.B.</i> THE STUDY OF AND OBTAINING THE PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES OF POLYELECTROLYTE SORBENTS AT THE SULFUROUS GASES TREATMENT.....	635
<i>Mikhailova S.L., Prikhodko O. Yu., Mukhametkarimov Ye. S., Dautkhan K., Doseke U.A.</i> EFFECT OF ANNEALING ON THE STRUCTURE OF a-C:H<Ag+TiO <sub>2</sub> > NANOCOMPOSITES FILMS..	640
<i>Puzikova D.S., Dergacheva M.B., Khussurova G.M.</i> STUDY OF SEMICONDUCTOR CuBi <sub>2</sub> O <sub>4</sub> FILMS APPLIED BY THE SPIN COATING METHOD.....	645
<i>Niyazbekova A. B., Shakirov T. A.</i> INVESTIGATION OF THE INHIBITOR ABILITIES OF LINEAR AND CYCLIC PHOSPHATES IN THE PRESENCE OF SURFACE-ACTIVE SUBSTANCES.....	652
<i>Arystanova S.D., Bekbulatova G.A., Poshaeva G.S., Sabit A.E.</i> THE CURRENT TECHNOLOGICAL STATE OF PROCESSING PHOSPHATE SLUDGE.....	656
<i>Arystanova S.D., Alshynbayev O. A., Zhumadilova Zh.T., Isabekova S.A.</i> THE KINETIC REGULARITIES OF SEPERATION PROCESS OF PHOSPHORUS PHOSPHORUS SLUDGE USING VERMICULITES.....	663
<i>Arystanova S.D., Kurbanbayeva S.N., Ikramova E.Z.</i> MATHEMATICAL MODELING OF ALUMOSILICATE SORBENTS PROCESS FOR PHOSPHORUS EXTRACTION FROM PHOSPHORUS SLUDGE.....	667
<i>Abdrashit A.M., Kelamanov B.S., Zhumagaliyev Y.U., Abilberikova A.A., Turganbai Zh.A.</i> METALLOGRAPHIC ANALYSIS OF STEEL REFINED BY COMPLEX ALLOY.....	674
<i>Kelamanov B.S., Zhumagaliyev Ye.U., Akuov A.M., Samuratov Ye.K., Aldiyar M.K.</i> RESEARCH OF Ti-Fe-Zr-Al SYSTEM BY METHOD THERMODYNAMIC-DIAGRAM ANALYSIS	678
<i>Myltykbayeva Zh.K., Kazhdenbek A.O., Saylauova Zh.M.</i> OXIDATING DISULFURIZATION OF DIESEL FUEL.....	684
<i>Zhetpisbayev K., Kumekov S.</i> OBTAINING HTSC MATERIALS WITH NANOSCALE ADDITIVES CO <sub>0.5</sub> ZN <sub>0.5</sub> FE <sub>2</sub> O <sub>4</sub> .....	690
<i>Dosmukhamedov N.K., Zholdasbai E.E., Omarova S.A.</i> THERMODYNAMICS OF SULPHATIZING BURNING CHROMIUM-CONTAINING SLUDGE IN THE PRESENCE OF THE RESTORER.....	693
<i>Shautenov M.R., Peregudov B.B., Tretyakov A.B., Akkazina N.T.</i> ISSUES OF GOLD-BEARING COAL AND THEIR PRODUCTS OF COMBUSTION.....	699
<i>Yesmaganbetova A., Dautkanova D., Duisenbekova O., Myrzhykbayeva A.</i> IMPROVING THE QUALITY OF MANAGEMENT DECISIONS DURING DEVELOPMENT OF HUMAN SETTLEMENTS.....	705

Тазартуға дейінгі зауыттық газдардың құрамы (Висбрекинг E-601 кейінгі газ коллекторы)

ГОСТ 14920

	Компоненттік құрам, % көл.													
	Сутегі, H <sub>2</sub>	Оттегі, O <sub>2</sub>	Азол, N <sub>2</sub>	Күкіртсутек, H <sub>2</sub> S	Метан, C <sub>1</sub>	Этан, C <sub>2</sub>	Этилен, C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	Пропан, C <sub>3</sub>	Пропилен, C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>	Изобутан, iC <sub>4</sub>	n-Бутан, nC <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> N Соммасы	C <sub>3</sub> Соммасы	Кемірсутектер соммасы
Тазалаудан алдын														
E-601	2.9	0	0.1	1.6	29.3	21.4	3.1	16.3	10.3	1.8	6.7	6.5	0	95.4
Тазалаудан кейін														
МДЭА	3,1	0	0,5	0.01	31,1	21,7	3,2	16,1	10,3	1,4	6,3	6,2	0,1	96,4
ГА-1 (1%)	3,1	0	0,3	0.01	31,1	22,5	3,3	16,3	10,5	1,2	5,9	5,8	0	96,6

УДК 669.018; 621.315.392

S.L. Mikhailova, O. Yu. Prikhodko, Ye. S. Mukhametkarimov, K. Dautkhan, U.A. Doseke

(Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

E-mail: svetik.mikhailova@gmail.com)

### EFFECT OF ANNEALING ON THE STRUCTURE OF a-C:H<Ag+TiO<sub>2</sub>> NANOCOMPOSITES FILMS

**Abstract.** In this work, annealing effect on the a-C:H films, a-C:H<Ag> and a-C:H<Ag+TiO<sub>2</sub>> nanocomposites films structure was studied using the Raman spectroscopy. The films were obtained by ion-plasma magnetron sputtering of a combined target of graphite and metals in a mixture of argon and methane gases. The films were annealed in argon for 1 hour in the temperature range from 100 to 350°C with a 50°C pace. It was found that among all the films, the a-C:H<Ag+TiO<sub>2</sub>> nanocomposites have the most thermally stable structure. The greater thermal stability of the a-C:H<Ag+TiO<sub>2</sub>> nanocomposites structure compared to the a-C:H films and a-C:H<Ag> nanocomposites may be due to the greater number of sp<sup>3</sup> hybridized carbon bonds in their matrix due to the presence of stable TiO<sub>2</sub> nanoparticles in their structure.

**Key word:** amorphous diamond-like carbon, silver nanoparticles, TiO<sub>2</sub> nanoparticles, nanocomposite structure.

С.Л. Михайлова, О.Ю. Приходько, Е.С. Мухаметкаримов, К. Даутхан, У.А. Досеке

(Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан

E-mail: svetik.mikhailova@gmail.com)

### ВЛИЯНИЕ ОТЖИГА НА СТРУКТУРУ НАНОКОПОЗИТНЫХ ПЛЕНОК a-C:H<Ag+TiO<sub>2</sub>>

**Аннотация.** В работе методом рамановской спектроскопии изучено влияние отжига на структуру пленок a-C:H и нанокмполитов a-C:H<Ag> и a-C:H<Ag+TiO<sub>2</sub>>. Исследуемые пленки получали методом ионно-плазменного магнетронного распыления комбинированной мишени из графита и металлов в смеси газов аргона и метана. Отжиг пленок проводился в аргоне в течение 1 часа в диапазоне температур от 100 до 350°C с шагом 50 °C. Установлено, что среди всех исследуемых пленок наиболее термически стабильной структурой обладают нанокмполиты a-C:H<Ag+TiO<sub>2</sub>>. Большая термическая стабильность структуры нанокмполитов a-C:H<Ag+TiO<sub>2</sub>> по сравнению со структурой пленок a-C:H и нанокмполитов a-C:H<Ag> может быть связана с большей долей sp<sup>3</sup> гибрилизированных связей углерода в их матрице за счёт наличия в их структуре стабильных наночастиц TiO<sub>2</sub>.

**Ключевые слова:** аморфный алмазоподобный углерод, наночастицы серебра, наночастицы TiO<sub>2</sub>, структура нанокмполитов.

**Введение.**

Нанокompозитные тонкие пленки с диэлектрической или полупроводниковой матрицей и металлом в качестве армирующего компонента, обладают рядом уникальных физико-химических свойств. Эти свойства включают в себя проявление поверхностного плазмонного резонанса (ППР), SERS-эффект, повышенную механическую прочность, гигантское магнитосопротивление, сильный магнитооптический отклик, аномальный эффект Холла и т.д. [1-5]. Структура таких нанокompозитов в первую очередь определяется свойствами, которые зависят от отношения концентраций металла-наполнителя и диэлектрика-матрицы в нанокompозитной пленке [6]. Важным для практического применения является термическая стабильность структуры нанокompозитов и, как следствие, их свойств. Один из способов стабилизации структуры пленок является термический отжиг [1-3].

Из большого многообразия нанокompозитных материалов выделяются нанокompозиты на основе матрицы аморфного алмазоподобного углерода (a-C:H), модифицированного наночастицами металлов и их соединений. В частности, в таких нанокompозитах, как a-C:H<Ag> и a-C:H<Ag+TiO<sub>2</sub>> наблюдаются ярко выраженные ППР и SERS- эффект.

Однако, влияние отжига на структуру этих нанокompозитных пленок осталось не изученным. Таким образом, целью данного исследования было изучение влияния отжига на структуру нанокompозитных пленок a-C:H, a-C:H<Ag> и a-C:H<Ag+TiO<sub>2</sub>>.

**Методика эксперимента.**

Нанокompозитные пленки a-C:H, a-C:H<Ag> и a-C:H<Ag+TiO<sub>2</sub>> получали ионно-плазменным магнетронным распылением мишеней из пиролитического графита, серебра и титана в атмосфере смеси газов аргона и метана. Температура осаждения нанокompозитных пленок на подложки из кварца и кремния составляла 100 °С.

Пленки нанокompозитов осаждались со скоростью 2,7-3,3 нм/мин. Толщина нанокompозитных пленок составляла от 80 до 100 нм. Толщину плёнок определяли при сканировании скола структур c-Si/нанокompозит на сканирующем электронном микроскопе (SEM) Quanta 3D 200i.

Для контроля состава и морфологии нанокompозитных пленок использовали методы EDS и SEM, соответственно. Из анализа энергодисперсионных спектров и морфологии нанокompозитных пленок a-C:H<Ag+TiO<sub>2</sub>> и a-C:H<Ag>, представленных на рисунке 1, было установлено, что они содержат примесь вводимых металлов, являются сплошными и не содержат дефектов микронных размеров.

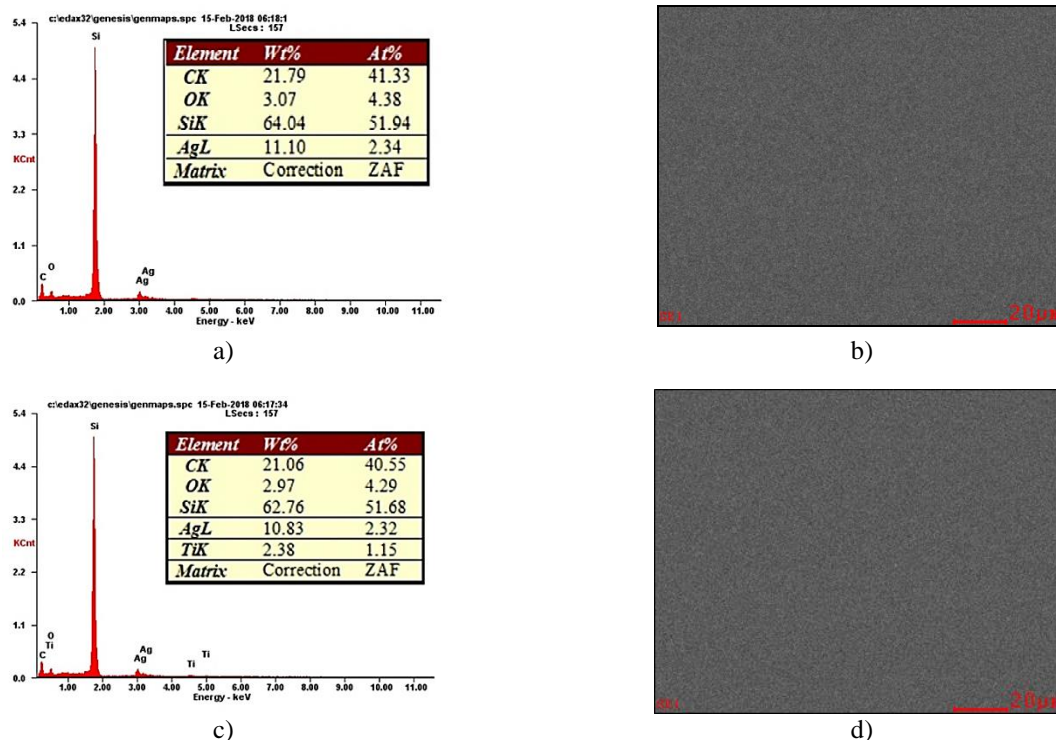


Рис. 1 - Энергодисперсионный спектр (a, c) и морфология (b, d) пленок a-C:H<Ag> (a, b) и a-C:H<Ag+TiO<sub>2</sub>> (c, d)

Варьирование концентрации примесей в пленках нанокompозитов осуществлялось путем изменения соотношения площадей мишеней из металлов и графита. В пленках а-С:Н<Ag> и а-С:Н<Ag+TiO<sub>2</sub>> концентрация серебра изменялась от 0 до 19 ат.%, а в пленках а-С:Н<Ag+TiO<sub>2</sub>> концентрация диоксида титана - от 0 до 5 ат.%.

Структура нанокompозитных пленок изучалась методом рамановской спектроскопии на установке Ntegra Spectra с использованием лазера с длиной волны 473 нм мощностью до 15 мВт. Спектры регистрировались при рассеянии на 180°, время экспозиции составляло 30 секунд. Погрешность при регистрации спектров не превышала  $\pm 1 \text{ см}^{-1}$ .

Отжиг нанокompозитов а-С:Н<Ag> и а-С:Н<Ag+TiO<sub>2</sub>> проводили в течение 1 часа в камере, заполненной аргоном, в интервале температур от 100°C до 450°C с шагом 50°C. Охлаждение пленок происходило в течение 10 часов.

Следует отметить, что при получении нанокompозитов состава а-С:Н<Ag+TiO<sub>2</sub>> несмотря на то, что распыляли составную мишень из Ti, Ag и C, в их структуре вместо наночастиц Ti формировались частицы TiO<sub>2</sub>. Это может быть связано с взаимодействием титана с кислородом после контакта пленок с атмосферой.

#### Результаты и их обсуждение.

На рисунке 2 показано влияние отжига на рамановские спектры пленок а-С:Н (Рисунок 2 а), нанокompозитных пленок а-С:Н<Ag> (Рисунок 2 б) и а-С:Н<Ag+TiO<sub>2</sub>> (Рисунок 2 с) в диапазоне от 400 до 1900  $\text{см}^{-1}$ .

Известно [7,8], что рамановские спектры пленок а-С:Н в области 1000-2000  $\text{см}^{-1}$ , характеризуются пиками *G* (Graphite-like) и *D* (Disordered), максимумы которых лежат в области 1560 и 1360  $\text{см}^{-1}$ .

Пик *G* обусловлен колебаниями связей всех пар  $sp^2$ -гибридизированных атомов углерода в ароматических кольцах и цепочках. Появление *G* пика обусловлено  $E^{2g}$ -симметрией растягивающих колебаний гексагональных углеродных колец [9]. Положение пика *G* для одной и той же пленки зависит от длины волны возбуждающего лазера. Для алмазоподобных пленок положение пика *G* может варьироваться от 1500 до 1600  $\text{см}^{-1}$  в зависимости от длины волны лазера [10]. Другой важный параметр рамановского спектра пленок - это отношение интенсивностей пиков *D* и *G* ( $I_D/I_G$ ). В аморфных пленках углерода отношение интенсивностей  $I_D/I_G$  является мерой  $sp^2$ -связей, которые образуют ароматические кольца. Если величина отношения ( $I_D/I_G$ ) незначительна, это свидетельствует о  $sp^2$ -связях, главным образом, составляющих цепочки [7]. С другой стороны, чем меньше отношение интенсивностей  $I_D/I_G$ , тем больше в пленке содержится  $sp^3$ -гибридизированных атомов углерода.

Из рисунка 2 можно видеть, что спектры всех пленок являются характерными для некристаллической структуры. Следовательно, модифицирование пленок а-С:Н титаном, серебром и совместно серебром и титаном не приводит к кристаллизации их матрицы в области исследуемых концентраций [10-12]. Кроме того, рамановские спектры свежеприготовленных пленок а-С:Н и а-С:Н<Ag>, полученных при температуре осаждения 100°C, имеют вид, характерный для структуры алмазоподобного углерода [13-16].

Рассмотрим рамановские спектры свежесаженных нанокompозитных пленок (Рисунок 2). Из рисунка 2 (а) и (б) следует, что рамановские спектры пленок а-С:Н и а-С:Н<Ag> состоят из двух основных пиков: *D* при 1400  $\text{см}^{-1}$  и *G* при 1555  $\text{см}^{-1}$ . Общий вид спектров и положение пиков *D* и *G* свидетельствуют об их алмазоподобной структуре [7]. Рамановские спектры нанокompозитных пленок а-С:Н<Ag+TiO<sub>2</sub>>, так же имеют вид, характерный для структуры алмазоподобного углерода. Кроме этого в этих спектрах наблюдается новый дополнительный широкий пик области от 400 до 800  $\text{см}^{-1}$  связанный с наличием колебательных мод от наночастиц TiO<sub>2</sub> [13].

Отжиг пленок приводит к изменению положения *D* и *G* пиков и их интенсивности  $I_D/I_G$  (Рисунок 3). Из анализа изменения рамановских спектров пленок (положение пика *G*, *D* и отношение интенсивностей  $I_D/I_G$ ) в результате термического воздействия следует, что отжиг пленок а-С:Н, а-С:Н<Ag> и а-С:Н<Ag+TiO<sub>2</sub>> приводит к небольшому смещению пика *G* в область меньших энергий без значительного изменения его интенсивности (Рисунок 3 а).

Исходя из данных, представленных на рисунке 3 (а), изменение положения пика *G* с температурой можно разделить на три области: *I* - область соответствует температурному диапазону от 100 до 200°C, *II* - область от 200 до 300°C и *III* - область от 300 до 350°C. Для областей *I* и *III* характерны скачкообразные изменения положений пика *G*, что по-видимому связано с графитизацией структуры матрицы пленок а-С:Н, а-С:Н<Ag> и а-С:Н<Ag+TiO<sub>2</sub>>. В области *II* наблюдается незначительные изменения положения пиков *G*, лежащим в пределах погрешности. Можно предположить, что в диапазоне температур от 200 до 300°C, соответствующих области *II*, происходит стабилизация структуры изучаемых пленок. Отметим, что у нанокompозитных пленок а-С:Н<Ag+TiO<sub>2</sub>> при отжиге выше

300°C наблюдается более плавное изменение положения пика  $G$ , что свидетельствует о более стабильной структуре их матрицы.

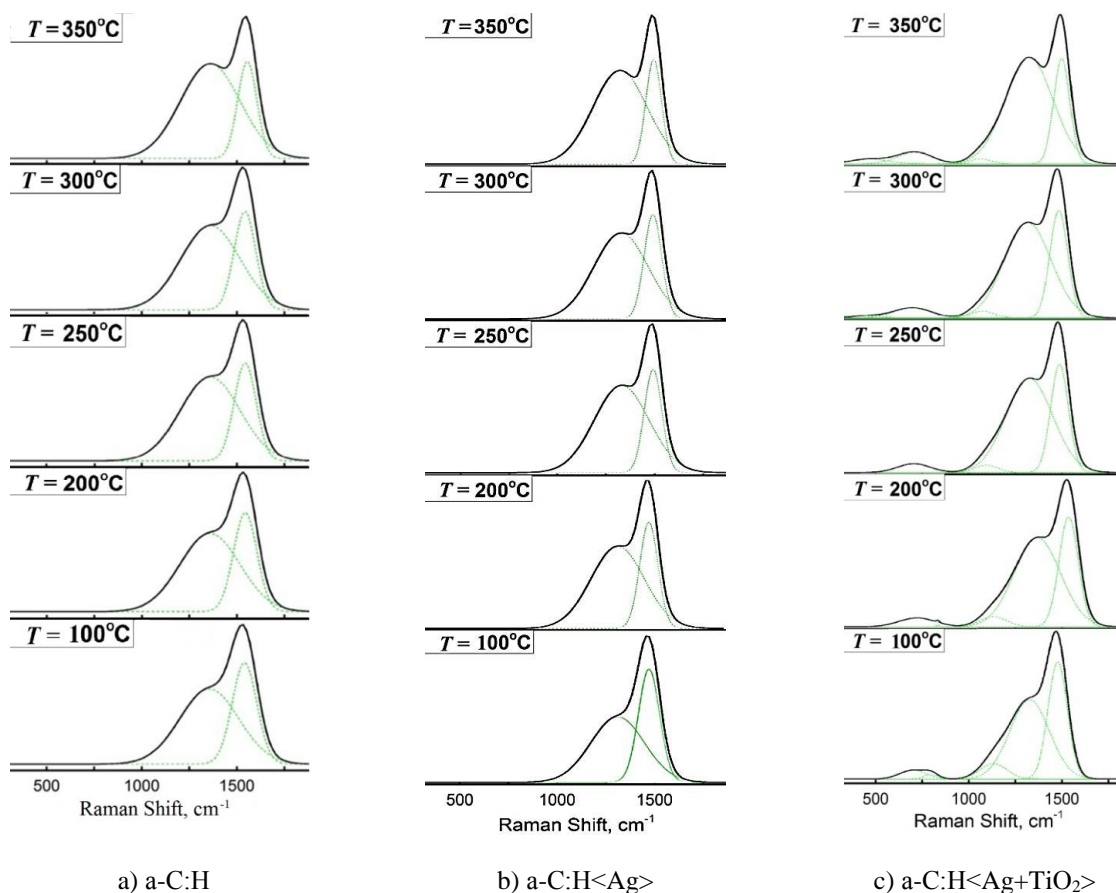


Рис. 2. Рамановские спектры нанокomпозитных пленок, отожженных при разных температурах

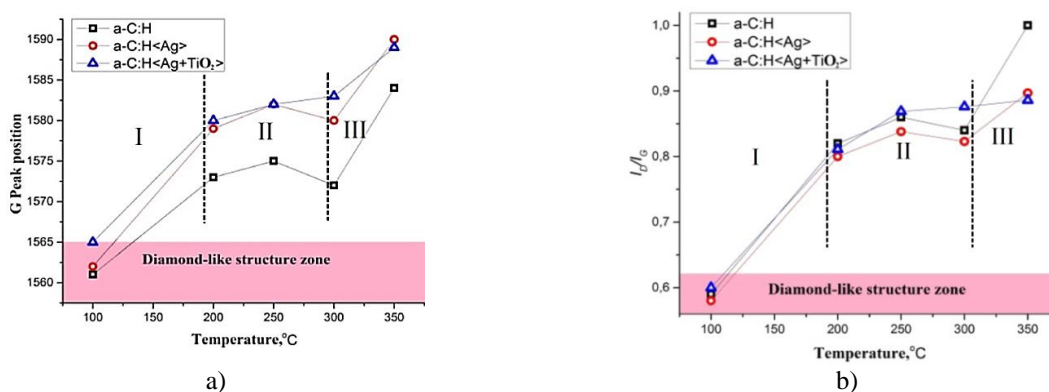


Рис. 3. Изменения положения пика  $G$  (a) и отношение интенсивностей  $I_D/I_G$  (b) в пленках  $a-C:H$ ,  $a-C:H<Ag>$  и  $a-C:H<Ag+TiO_2>$

Интенсивность пика  $D$  у пленок  $a-C:H$ , и нанокomпозитов  $a-C:H<Ag>$  и  $a-C:H<Ag+TiO_2>$  после термического воздействия увеличивается, и этот пик смещается в высокоэнергетическую область спектра, что также свидетельствует о графитизации их структуры.

Рассмотрим изменение отношения интенсивностей пиков  $I_D/I_G$  с увеличением температуры отжига для исследованных пленок (Рисунок 3 б). На рисунке 3 (b), так же как и на рисунке 3 (a), можно выделить три области с соответствующими интервалами температур:  $I$  - от 100 до 200°C,  $II$  - от 200 до 300°C и  $III$  - от 300 до 350°C. Закономерность изменения отношения  $I_D/I_G$  хорошо коррелирует с закономерностью изменений положения пика  $G$ , за исключением области  $III$  для нанокomпозита  $a-C:H<Ag+TiO_2>$ . В этом случае стабилизация структуры нанокomпозитов наблюдается после 250°C, и

не меняется вплоть до 350 °С.

Исходя из анализа по изменению положения пика *G* и соотношения интенсивностей пиков  $I_D/I_G$  изучаемых пленок можно сделать вывод, что матрица пленок а-С:Н<Ag+TiO<sub>2</sub>> является наиболее устойчивой к температурному воздействию. По мере достижения температуры отжига 350 °С параметры рамановского спектра пленок а-С:Н<Ag+TiO<sub>2</sub>>, такие как положение пика *G* и соотношение интенсивностей пиков *G* и *D*,  $I_D/I_G$ , соответствуют большей доле  $sp^3$ -гибридизированных связей углерода в их структуре по сравнению со структурой пленок а-С:Н<Ag>.

Следует отметить, что в рамановских спектрах не выявляется заметное влияние наночастиц серебра, что свидетельствует о слабом взаимодействии наночастиц этого металла с матрицей пленок.

Таким образом, на основании проведенных исследований установлено, что из всех пленок а-С:Н и нанокompозитов а-С:Н<Ag> и а-С:Н<Ag+TiO<sub>2</sub>> наиболее термически стабильной структурой обладают нанокompозиты а-С:Н<Ag+TiO<sub>2</sub>>. Одной из вероятных причин большей термической стабильности структуры нанокompозитов а-С:Н<Ag+TiO<sub>2</sub>> по сравнению со структурой пленок а-С:Н и нанокompозитов а-С:Н<Ag> может являться большая доля  $sp^3$ -гибридизированных связей углерода в их матрице, которая возникает за счёт наличия в их структуре стабильных наночастиц TiO<sub>2</sub>.

### Заключение.

Методом ионно-плазменного магнетронного распыления в атмосфере смеси газов аргона и метана получены пленки а-С:Н и нанокompозитные пленки а-С:Н<Ag> и а-С:Н<Ag+TiO<sub>2</sub>>.

Отжиг пленок проводился в аргона в течение 1 часа в диапазоне температур от 100 до 350 °С с шагом 50 °С.

Установлено, что из всех исследуемых пленок а-С:Н, а-С:Н<Ag> и а-С:Н<Ag+TiO<sub>2</sub>> наиболее термически стабильной структурой обладают нанокompозиты а-С:Н<Ag+TiO<sub>2</sub>>. Одной из вероятных причин большей термической стабильности структуры нанокompозитов а-С:Н<Ag+TiO<sub>2</sub>> по сравнению со структурой пленок а-С:Н и нанокompозитов а-С:Н<Ag> может являться большая доля  $sp^3$  гибридизированных связей углерода в их матрице, возникающая, по-видимому, за счёт наличия в их структуре стабильных наночастиц TiO<sub>2</sub>.

*Работа выполнена в рамках гранта AP05132897 Комитета науки МОН РК*

### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Котов Л.Н., Турков В.К., Власов В.С. и др. Магнитные и релаксационные свойства тонких композитных пленок // ЖММ. - 2007. - Т. 316. - № 2. - С. 20-22.
- [2] Котов Л.Н., Ефимец Ю.Ю., Власов В.С. и др. Магнитные и релаксационные свойства тонких пленок (Co<sub>45</sub>Fe<sub>45</sub>Zr<sub>10</sub>)<sub>x</sub>(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)<sub>1-x</sub> // Adv. Mater. Res. -2008. -Т. 47-50. - С. 706-709.
- [3] Котов Л.Н., Власов В.С., Турков В.К. и другие. Влияние отжига на магнитные, релаксационные и структурные свойства композиционных и многослойных пленок // J. Nano Sci. Nanotechnol. -2012. -Т. 12. - № 2. - С. 1696-1699.
- [4] Хаяши С., Окамото Т., Плазмоника: посетите прошлое, чтобы узнать будущее // Journal of Physics D: Applied Physics. - 2012. - Т. 45, - № 43. - С. 433001 - 433025.
- [5] Сарсембинов С., Приходько О., Рязузов А., и др. Электронные свойства алмазоподобных углеродных пленок, модифицированных нанокластерами серебра // Physica Status Solidi (C). - 2010. - Т. 7. - № 3 - 4. - Р. 805 - 807.
- [6] Сай В., Чакравадханула К. и др. Микроструктурные и плазмонные модификации в нанокompозитах Ag – TiO<sub>2</sub> и Au – TiO<sub>2</sub> при облучении ионным пучком // Beilstein J. Nanotechnol. - 2014, - Т. 5, - С. 1419-1431.
- [7] Казираги С., Феррари А., Робертсон Дж. Рамановская спектроскопия гидрированных аморфных углеродов // Physical Review B - Condensed Matter and Materials Physics. - 2005. - Т. 72, -№ 8. - С. 805401 1 - 14.
- [8] Тамор М., Васселл В., Рамановская «дактилоскопия» аморфных углеродных пленок // Journal of Applied Physics. - 1994. - Т. 76, -№ 6. - С. 3823 - 3830.
- [9] Феррари А.С., Робертсон Дж., Интерпретация спектров комбинационного рассеяния неупорядоченного и аморфного углерода // Physical Review B. - 2000. - Т. 61, -№ 20. - С. 14095 - 14107.
- [10] Феррари А., Робертсон Дж., Рамановская спектроскопия аморфного, наноструктурного, алмазоподобного углерода и наноалмаза // Philosophical transactions. Series A, Mathematical, physical, and engineering sciences. - 2004. - Т. 362, - № 1824. - С. 2477 - 2512.
- [11] Кумар М., Кумар Т., Авастия Д. К. Исследование термического отжига, вызванного плазмонным отбеливанием в нанокompозитных тонких пленках Ag:TiO<sub>2</sub> // Scripta Materialia –2015. –Т. 105.– С.46.
- [12] Приходько О. Ю., Михайлова С. Л., Мухаметкаримов Е. С. и др. Оптические свойства тонких пленок а-С: Н, модифицированных Ti и Ag // Proc. of SPIE. Nanostructured Thin Films IX. Сан-Диего, Калифорния, США. - 2016. -Т. 9929. -С. 99291G-1 – 9929G-6.
- [13] Приходько О., Михайлова С., Мухаметкаримов Е. и др. Структура и фазовый состав тонких пленок

a-C:H, модифицированных Ag и Ti // Optics and spectroscopy. - 2017. - Т. 123, - № 3. - С. 383 - 387.

[14] Михайлова С., Приходько О., Мухаметкаримов Е. и др. О термостабильности тонких пленок a-C:H<Ag> // Bulletin of L.N. Gumilyov Eurasian National University - 2016. - Т. 113, - № 4. - С. 424 - 431.

[15] Приходько О. Ю., Михайлова С. Л., Мухаметкаримов Е. С. и др. Термостабильность поверхностного плазмонного резонансного поглощения в нанокompозитных пленках a-C:H<Ag+TiO<sub>2</sub>> // Optics and spectroscopy. - 2018. - Т. 125, - № 6. - С. 864 - 869.

[16] Михайлова С.Л., Структура и электронные свойства пленок аморфного алмазоподобного углерода (a-C:H), модифицированного нанокластерами металлов: PhD диссертация. КазНУ им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан 2017

Михайлова С.Л., Приходько О.Ю., Мухаметкаримов Е.С., Даутхан К., Досеке У.А.

#### **A-c:h<ag+tio<sub>2</sub>> нанокompозитті қабықшалардың құрылымына жасығудың әсері**

**Түйіндеме.** Бұл жұмыста Раман спектроскопия әдісімен a-C:H қабықшалары және a-C:H<Ag> мен a-C:H<Ag+TiO<sub>2</sub>> нанокompозиттер құрылымына жасығудың әсері зерттелген. Зерттелген қабықшалар аргон мен метан газдар қоспасында графит пен металдардан тұратын аралас нысанды ионды-плазмалы магнетронды тозаңдандыру әдісінің көмегімен алынған. Қабықшаларды жасығу аргон атмосферасында 1 сағат көлемінде қадамы 50 °C болған 100 ден 350°C-ке дейінгі температура диапазонында жүргізілген. Барлық зерттелген қабықшалар арасында аса термиялық тұрақты құрылымға ие a-C:H<Ag+TiO<sub>2</sub>> нанокompозиттер екені анықталды. a-C:H<Ag+TiO<sub>2</sub>> нанокompозиттер құрылымының термиялық тұрақтылығының a-C:H қабықшалары мен a-C:H<Ag> нанокompозиттерімен салыстырғанда жоғары болуы, олардың матрицасында көміртегінің sp<sup>3</sup> гибридтелген байланыстарының көп үлесімен байланысты болуы мүмкін, сонымен қатар құрылымында TiO<sub>2</sub> тұрақты нанобөлшектерінің болуымен түсіндіруге болады.

**Түйінді сөздер:** аморфты алмазтекес көміртегі, күміс нанобөлшектері, TiO<sub>2</sub> нанобөлшектері, нанокompозиттер құрылымы.

УДК 621.315.592.4

<sup>1,2\*</sup>**D.S. Puzikova, <sup>1</sup>M.B. Dergacheva, <sup>1</sup>G.M. Khussurova**

<sup>(1)</sup> «D.V. Sokolsky Institute of Fuel, Catalysis and Electrochemistry» JSC, Almaty, Kazakhstan

<sup>(2)</sup> Al-Farabi Kazakh National University, Faculty of Physics and Technology, Almaty, Kazakhstan

E-mail: d.s.puzikova@mail.ru)

### **STUDY OF SEMICONDUCTOR CuBi<sub>2</sub>O<sub>4</sub> FILMS APPLIED BY THE SPIN COATING METHOD**

**Abstract:** The paper presents the results of studies of thin semiconductor films of the copper-bismuth complex oxide system (CuBi<sub>2</sub>O<sub>4</sub>) obtained by the spin coating method. Based on the physicochemical characterization of the samples using SEM, AFM, XRD, PEC, a comparative analysis of films deposited from various solutions was made. The positive effect of the introduction of the solution for the deposition of polyethylene glycol is confirmed by reducing the surface roughness by 1.5 times, as well as by increasing the generated photocurrent by 2 times. The data obtained can be used in the manufacture of electrodes for photocatalytic processes.

**Key words:** solar energy materials, spin coating, complex oxide system, polyethylene glycol

<sup>1, 2\*</sup>**Д.С. Пузикова, <sup>1</sup>М.Б. Дергачева, <sup>1</sup>Г.М. Хусурова**

<sup>(1)</sup> АО «Институт топлива, катализа и электрохимии им. Д.В.Сокольского», Казахстан, Алматы

<sup>(2)</sup> Казахский национальный университет им. Аль-Фараби, Казахстан, Алматы

E-mail: d.s.puzikova@mail.ru)

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПЛЕНОК CuBi<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, НАНЕСЕННЫХ МЕТОДОМ SPIN COATING**

**Аннотация:** В работе представлены результаты исследований тонких полупроводниковых пленок сложной оксидной системы медь-висмут (CuBi<sub>2</sub>O<sub>4</sub>), полученных методом spin coating. На основе проведенной физико-химической характеристики образцов методами SEM, AFM, XRD, PEC сделан сравнительный анализ пленок, нанесенных из различных растворов. Положительное влияние введения в состав раствора для осаждения полиэтиленгликоля подтверждается снижением шероховатости поверхности в 1,5 раза, а также увеличением генерируемого фототока в 2 раза. Полученные данные могут быть использованы при изготовлении электродов для фотокаталитических процессов.