

**Н.М. Томпакова, Е.А. Дмитриева, Е.А. Грушевская,  
И.А. Лебедев, А.С. Серикканов, Мухамедшина Д.М., Мить К.А.**

Сатпаев Университет, Физико-технический институт,  
Казахстан, г. Алматы, e-mail: grushevskaiya@bk.ru

## **ВЛИЯНИЕ ТРЕХМИНУТНОЙ ОБРАБОТКИ ВОДОРОДНОЙ ПЛАЗМОЙ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ТОНКИХ ПЛЕНОК SnO<sub>2</sub>**

**Аннотация.** Тонкие пленки оксида олова получали из пятиводного тетраоксида олова растворением в 97% этаноле. Концентрация ионов олова в пленкообразующей системе была 0,12 моль/л, 0,16 моль/л, 0,2 моль/л. Пленкообразующую систему SnCl<sub>4</sub>/EtOH наносили на поверхность стеклянных подложек модифицированным методом окунания. Сушили на воздухе и затем отжигали при 400°C. Было нанесено 4 слоя. Обработка водородной плазмой проводилась при давлении 6,5 Па, мощности 20 Ватт, частоте колебаний создаваемых генератором 27,12 МГц±0,6%. Обнаружено уменьшение прозрачности, в пределах точности измерений, пленок, полученных из пленкообразующей системы с концентрацией ионов олова 0,12 моль/л и 0,2 моль/л. Прозрачность пленок, полученных из пленкообразующей системы с концентрацией ионов олова 0,16 моль/л уменьшилось на 3%. Сопротивление пленок уменьшилось в 1,5 раз. Рентгеноструктурный анализ показал рост интенсивности дифракционных пиков от плоскостей кристаллитов SnO<sub>2</sub>. Получен важный технический результат: уменьшение сопротивления тонких пленок SnO<sub>2</sub> без значительного уменьшения прозрачности, при использовании пленкообразующей системы с концентрацией ионов олова 0,12 моль/л и 0,2 моль/л после обработки в течение 3 минут в водородной плазме.

**Ключевые слова:** тонкие пленки, диоксид олова SnO<sub>2</sub>, обработка плазмой, водородная плазма, сопротивление пленок, коэффициент пропускания.

N.M. Tompakova, E.A. Dmitriyeva, E.A. Grushevskaya,  
I.A. Lebedev, A.S. Serikkanov, D.M. Mukhamedshina, K.A. Mit'

Satpayev University, Institute of Physics and Technology,  
Kazakhstan, Almaty, e-mail: grushevskaiya@bk.ru

### **Effect of three-minute hydrogen plasma treatment on the structure and properties of SnO<sub>2</sub> thin films**

**Abstract.** Thin films of tin dioxide were obtained from five-water tin tetrachloride by dissolution in 97% ethanol. The concentration of tin ions in the film-forming solution was 0.12 mol/l, 0.16 mol/l, 0.2 mol/l. The film-forming solution SnCl<sub>4</sub>/EtOH was applied to the surface of glass substrates by a modified dipping method. Substrates were dried in the air and then annealed at 400°C. Just 4 layers were applied. Hydrogen plasma treatment was carried out at a pressure of 6.5 Pa, power of 20 Watts, oscillation frequency generated by the equipment 27.12 MHz±0.6%. The decrease of transparency, within the limits of accuracy of measurement of the films obtained from film-forming system with a concentration of tin ions of 0.12 mol/l and 0.2 mol/l were observed. The transparency of the films obtained from film-forming systems with tin ion concentration 0.16 mol/l decreased by 3%. The resistance of the films decreased by 1.5 times. X-ray diffraction analysis showed an increase in the intensity of diffraction peaks from the planes of SnO<sub>2</sub> crystallites. An important technical result was obtained: a decrease in the resistance of SnO<sub>2</sub> thin films without a significant decrease in transparency, using a film-forming solution with a tin ion concentration of 0.12 mol/l and 0.2 mol/l after treatment for 3 minutes in hydrogen plasma.

**Key words:** thin films, tin dioxide SnO<sub>2</sub>, plasma treatment, hydrogen plasma, film resistance, transmittance coefficient.

Н.М. Томпакова, Е.А. Дмитриева, Е.А. Грушевская,  
И.А. Лебедев, А.С. Серикканов, Мухамедшина Д. М., Мить К. А.

Сәтбаев Университеті, Физика-техникалық институты,  
Қазақстан, Алматы қ., e-mail: grushevskaiya@bk.ru

### Сутегі плазмасымен үш-минутты өңдеудің SnO<sub>2</sub> жұқа қабықшаларының құрылымы мен қасиеттеріне әсері

**Аңдатпа.** 4-валентті қалайы оксидінің жұқа қабықшалары судың бестікқалайы тетрахло-ридтің 97%-ті этанолда ерітуімен алынған. Қабықша құраушы ерітінді жүйесінде қалайы иондарының концентрациясы 0,12 моль/л, 0,16 моль/л, 0,2 моль/л болды. Олар ауада кептіріліп, одан кейін 400<sup>0</sup> С температурасында муфельді пешке жағылды. Барлығы 4 қабатты қабықшалар болды. Сутекті плазмамен өңдеу қысымы 6,5 Па, қуаты 20 Ватт, генератордың жұмыс істеу тербеліс жиілігі 27,12 МГц± 0,6% кезінде жүргізілді. Қалайы иондарының концентрациясы 0,16 моль/л болатын қабықша құраушы ерітіндіден алынған қабықшалардың мөлдірлігі 3%-ға азайды. Қабықшалардың кедергісі 1.5 есе азайды. Рентгенқұрылымдық талдау SnO<sub>2</sub> кристаллдарының жазықтығынан дифракциялық шыңдардың қарқындылығын көрсетті. Соңында маңызды техникалық нәтиже алынды: мөлдірлікті айтарлықтай азайтпай, қалайы иондарының концентрациясы 0,12 моль/л және 0,2 моль/л болатын қабықша құраушы ерітіндіден алынған қабықшалардың сутегі плазмасында 3 минут ішінде өңдегеннен кейін SnO<sub>2</sub> жұқа қабықшаларының кедергісі азайтылды.

**Түйін сөздер:** жұқа қабықшалар, SnO<sub>2</sub> қалайы диоксиді, плазмалық өңдеу, сутегі плазмасы, қабықшаның кедергісі, өткізгіштік коэффициенті.

#### Введение

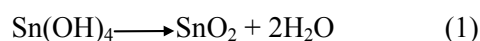
Тонкие пленки диоксида олова наиболее широко применяют в трехобластях: 1) прозрачные электроды; 2) катализаторы; 3) твердотельные сенсоры газов. [1-3] Применение в качестве прозрачных электродов связано с высоким коэффициентом пропускания слоев диоксида олова в оптическом диапазоне и их низким удельным сопротивлением. Прозрачные электроды на основе оксида олова применяются в солнечных батареях, светодиодах, дисплеях и т.д. [4-6]

Методика получения пленок диоксида олова существенно влияет на их характеристики [7]. Отличительными характеристиками пленок, полученных с использованием различных методов, являются состав синтезированной пленки и ее стехиометрия, которые оказывают заметное влияние на свойства пленки как после осаждения, так и после обработки. Среди различных методов, используемых для повышения функциональных свойств слоев оксидов металлов, особый интерес представляет обработка в плазме [8-10]. Обработка в плазме водорода наиболее привлекательна для увеличения проводимости оксидных пленок [11-13]. Анализ изменений, наблюдаемых в оптических параметрах и структурных характеристиках диоксида олова после плазменной обработки, позволяет лучше понять динамику изменений

физических и структурных свойств тонких пленок диоксида олова.

#### Эксперимент

Пленки SnO<sub>2</sub> были получены золь-гель методом. Пятиводный тетрахлорид олова растворяли в 97% этаноле, при этом происходит взаимодействие тетрахлорида олова с водой с образованием гидроксида олова и соляной кислоты. Образующаяся во время реакции соляная кислота препятствует выпадению гидроксида олова. При удалении HCl или другом изменении кислотности пленкообразующей системы равновесие смещается в сторону образования Sn(OH)<sub>4</sub>. Гидроксид олова, в момент образования, имеет гелеобразную структуру. Нестабильный Sn(OH)<sub>4</sub> разлагается с образованием воды и желаемого оксида олова по реакции [14,15]:



Были приготовлены пленкообразующие системы SnCl<sub>4</sub>/EtOH с концентрацией ионов олова 0,12 моль/л, 0,16 моль/л и 0,2 моль/л. Пленкообразующие системы наносились на подложки (предметные стекла) модифицированным методом окунания. После нанесения образцы сушились на воздухе не менее 30 минут, затем отжигались в муфельной печи при 400<sup>0</sup>С

в течении 15 минут. Было нанесено три слоя. Толщина пленки определялась методом микро взвешивания [16-17]. После нанесения трех слоев толщина пленок составила  $101,2 \pm 7$  нм, при концентрации 0,12 моль/л,  $120,7 \pm 7$  нм – при 0,16 моль/л и  $151,8 \pm 7$  нм – при 0,2 моль/л.

Обработку в водородной плазме тонких пленок SnO<sub>2</sub> проводили в кварцевой трубе. Водород получали путем электролиза воды. Для очистки от паров воды водород пропускали через нагретый платиновый фильтр. Обработка водородной плазмой проводилась при давлении 6,5 Па, мощности около 20 Ватт. Частота колебаний, создаваемых генератором  $27,12$  МГц  $\pm 0,6\%$ . Температура образцов при обработке не превышала 100°C. Время обработки составляло 3 минуты.

Спектры пропускания измерялись на двухлучевых спектрофотометрах СФ-256 УВИ (длина волны 190-1100 нм) и СФ-256 БИК (длина волны 1000-2500 нм.). Структуру пленок изучали с помощью оптического микроскопа МПЭ-11. Для вывода данных на персональный компьютер использовалась телевизионная камера для микроскопа VEC-535. Состав пленок определялся с помощью рентгеноструктурного анализа на дифрактометре ДРОН-6.

## Результаты и обсуждение

### Оптические свойства пленок

После нанесения и обработки водородной плазмой снимались спектры пропускания. Спектры пропускания представлены на рисунке 1.

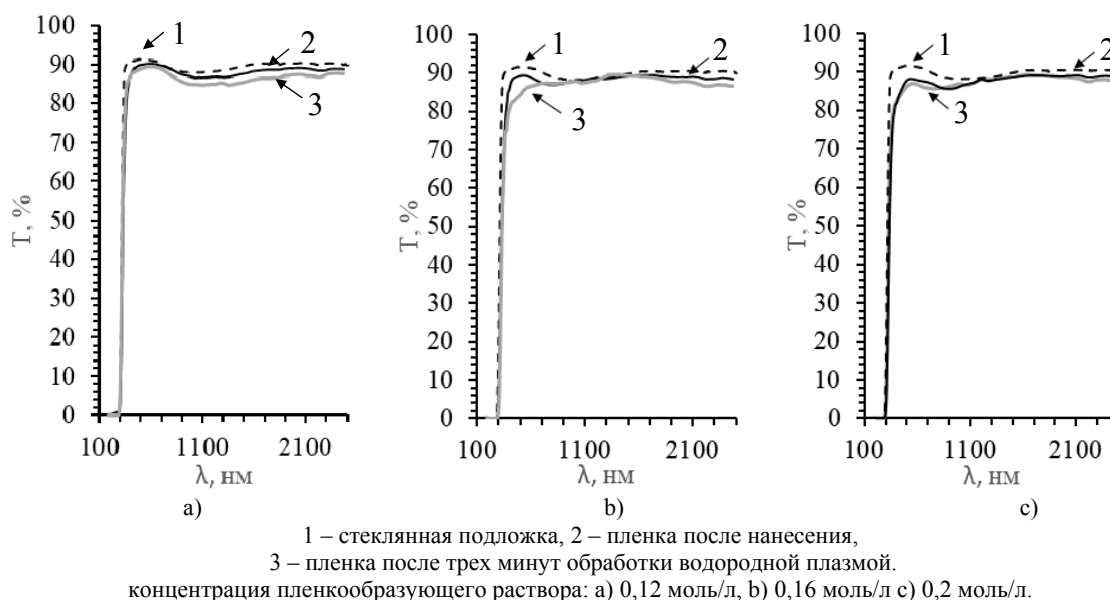


Рисунок 1 – Спектры пропускания тонких пленок SnO<sub>2</sub>

Как видно из рисунка 1 на спектрах пропускания пленок, полученных из пленкообразующих систем с концентрацией ионов олова 0,12 моль/л, 0,16 моль/л и 0,2 моль/л (рис. 3.1а, б, кривая 1) присутствуют слабо выраженные и далеко стоящие интерференционные пики. Подобное расположение интерференционных пиков связано с малой толщиной пленок [18]. Прозрачность образцов в видимой области спектра 85-90%. Обработка тонких пленок SnO<sub>2</sub> водородной плазмой в течение трех минут приводит к уменьшению прозрачности на 0,5-2% образцов полученных из пленкообразующих

систем с концентрацией ионов олова 0,12 и 0,2 моль/л. Прозрачность образца, полученного из пленкообразующей системы с концентрацией ионов олова 0,16 моль/л, уменьшилась на 3 % в видимой области спектра.

На спектрах пропускания тонких пленок, полученных из пленкообразующей системы с концентрацией ионов олова 0,2 моль/л, наблюдаются далеко стоящие друг от друга интерференционные полосы как до обработки плазмой, так и после.

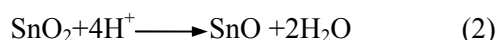
По имеющимся интерференционным пикам были рассчитаны: толщина пленки, коэффи-

циент экстинкции, коэффициент преломления пленки и коэффициент поглощения. Результаты расчетов представлены в таблице 1.

**Таблица 1** – Параметры пленок, рассчитанные из спектров пропускания

	Без обработки	3 минуты в H <sup>+</sup> плазме
Толщина пленки, нм.	158,8	168,5
Коэффициент экстинкции	0,021	0,024
Коэффициент преломления пленки	1,669	1,632
Коэффициент поглощения пленки	4,978·10 <sup>3</sup>	5,402·10 <sup>3</sup>

Как видно из таблицы 1 после обработки водородной плазмой в течение трех минут толщина пленки увеличилась, предположительно из-за уменьшения плотности. Произошло увеличение коэффициента поглощения. Как отмечалось ранее [19-21], водород, являясь восстановителем и находящийся в химически активном (ионизированном) состоянии, восстанавливает часть молекул SnO<sub>2</sub> до SnO.



Образующийся в результате реакции оксид олова (II) (SnO) обладает черно-синим или коричневато-чёрным цветом. То есть, погло-

щает в видимой области спектра. Образование молекул SnO приводит к снижению прозрачности пленок в видимой области спектра.

#### Сопротивление пленок

Чистый стехиометрический диоксид олова – диэлектрик. Его проводимость связана с наличием собственных дефектов – вакансий кислорода, образующих мелкие донорные уровни. Энергия образования вакансий кислорода зависит от положения уровня Ферми. Когда уровень Ферми находится вблизи потолка валентной зоны, энергия образования вакансий кислорода отрицательна и составляет порядка -0,3 эВ. Это приводит к спонтанному генерированию дефектов [22]. Поэтому чистый, но не стехиометрический, диоксид олова является полупроводником n-типа.

Сопротивление пленок поределалось по 10 измерениям на разных участках образцов. Коэффициент Стьюдента для 10 измерений при надежности 0,95 = 2.262. Погрешность высчитывалась по формуле:

$$\Delta \bar{A} = t_{\gamma, n-1} \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (A_i - \bar{A})^2}{n-1}}}{\sqrt{n}}$$

где  $\Delta \bar{A}$  – абсолютная погрешность измерений,  $t_{\gamma, n-1}$  – коэффициент Стьюдента,  $A_i$  – значение i-го измерения,  $\bar{A}$  – среднеарифметическое значение,  $n$  – число измерений.

В таблице 1 приведены средние значения сопротивления исследуемых пленок.

**Таблица 1** – Сопротивление исследуемых пленок

Концентрация пленкообразующего раствора	Сопротивление, МΩ	
	Без обработки	3 минуты в H-плазме
0,12 моль/л	7,15±1,89	4,78±0,71
0,16 моль/л	1,74±0,63	1,26±0,24
0,2 моль/л	1,81±0,80	1,00±0,22

Как видно из таблицы 1 сопротивление пленок без обработки зависит от концентрации пленкообразующей системы. Пленки полученные из пленкообразующей системы с меньшей концентрацией обладают меньшей толщиной. Что приводит к увеличению сопротивления образца.

Трех минутная обработка водородной плазмой привела к уменьшению сопротивления образцов, примерно в 1,5 раз, за счет увеличения кислородных вакансий под воздействием водо-

родной плазмы. В данном случае, приведенная выше реакция (2) идет не полностью и будет иметь вид:



Таким образом происходит дополнительное образование вакансий кислорода.

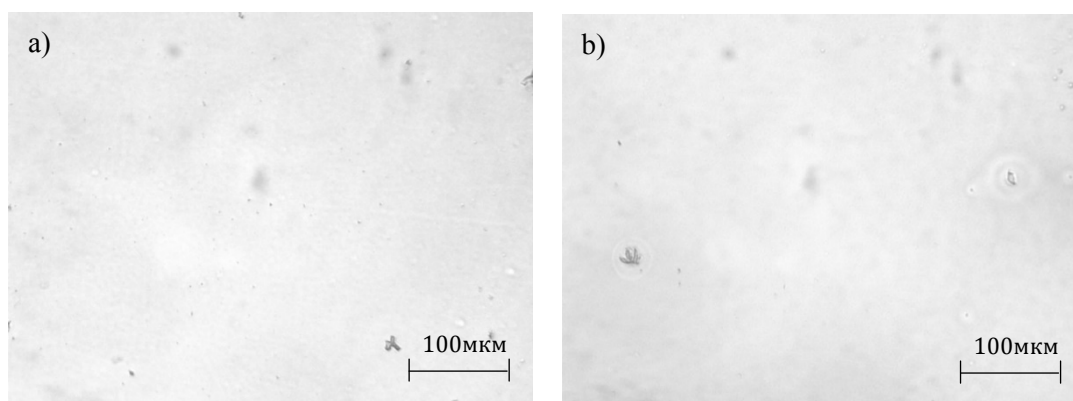
Уменьшение сопротивления тонких пленок SnO<sub>2</sub> без значительного уменьшения прозрачности является важным техническим результа-

том. Необходимым при применении слоев диоксида олова в качестве прозрачных электродов.

#### Структура пленок

Структуру пленок изучали с помощью оптического микроскопа МПЭ-11. Для вывода данных на персональный компьютер исполь-

зовалась телевизионная камера для микроскопа ВЕС-535. Состав пленок – рентгеноструктурный анализ (ДРОН). Фотографии поверхности тонкой пленки  $\text{SnO}_2$ , полученной из пленкообразующего раствора с концентрацией 0,16 моль/л до и после обработки в Н-плазме представлены на рисунке 2.

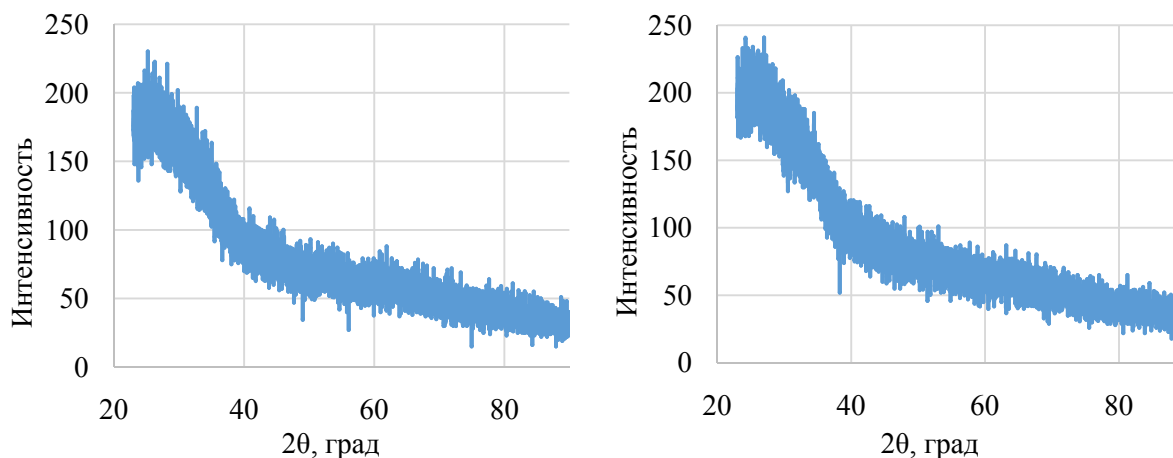


**Рисунок 2** – Фотография поверхности пленки  $\text{SnO}_2$   
а) без обработки, б) после 3-х минут обработки в Н-плазме.

Как видно из рисунка 2 заметных, при данном увеличении, изменений не наблюдается. Аналогичные результаты для пленок, полученных из растворов с концентрацией 0,12 и 0,2 моль/л.

#### Рентгеноструктурный анализ

На рисунке 3 представлен исходный сигнал от тонкой пленки  $\text{SnO}_2$ , полученной из пленкообразующей системы с концентрацией ионов олова 0,16 моль/л, до и после обработки в плазме.



а) После получения б) После обработки плазмой

**Рисунок 3** – Исходный сигнал от тонкой пленки  $\text{SnO}_2$  на стеклянной подложке

Из рисунка 3 видно, что полученный спектр имеет высокий уровень шума. Наблюдается один широкий пик с вершиной на 20-25° соответствующий аморфной составляющей.

Для уменьшения белого шума использовался метод накопления вдоль спектра [23] в соответствии с правилом  $S_i = \frac{1}{(2n+1)} \sum_{i-n}^{i+n} X_j$ .

При этом белый шум уменьшается в  $\sqrt{2n+1}$  раз. Параметр порядка, в данном случае, составлял  $n = 50$ . Для выделения сигнала тонкой пленки от накопленного сигнала подложки с тонкой пленкой вычитался накопленный сигнал подложки.

На рисунке 4 представлены результаты математической обработки исходных данных.

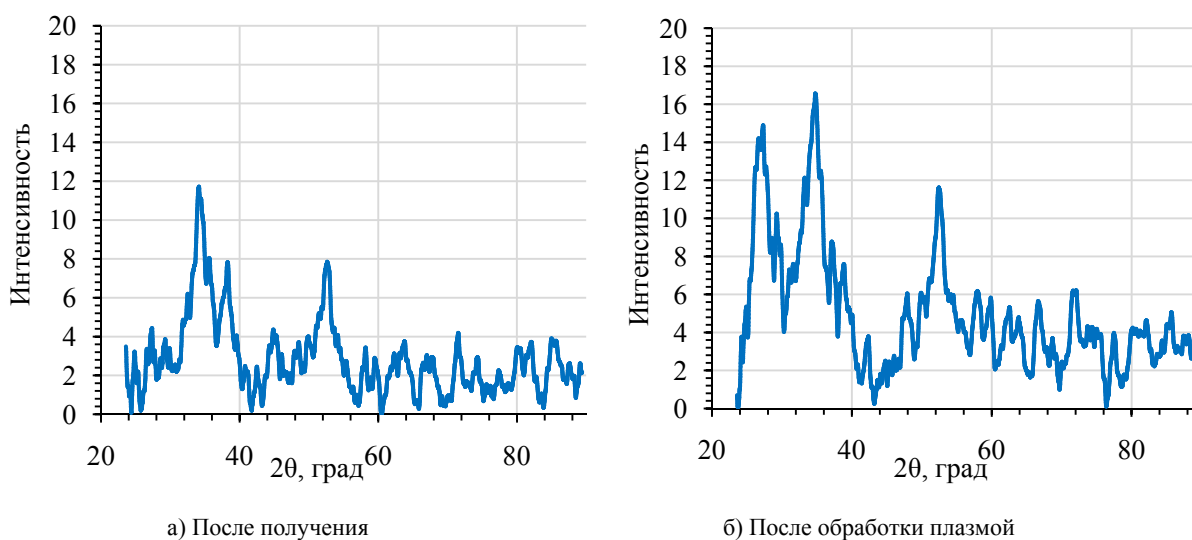


Рисунок 4 – Результат математической обработки

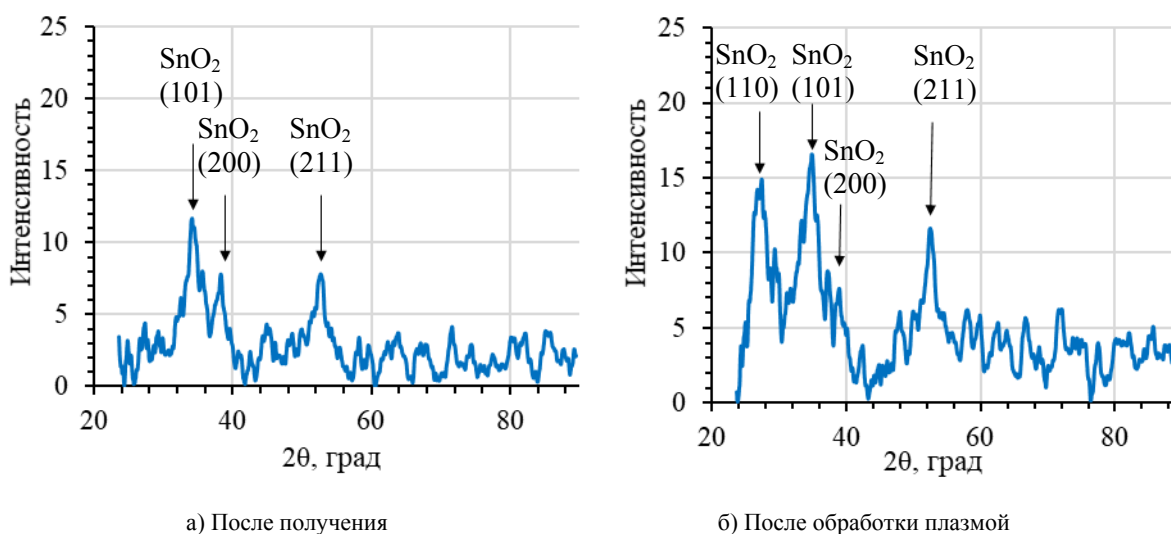


Рисунок 5 – Анализ сигнала от тонкой пленки SnO<sub>2</sub>

Как видно из рисунка 4 сигнал от тонкой пленки SnO<sub>2</sub> выделен в достаточной мере и может быть проанализирован. На рисунке 5 представлен анализ сигнала от тонкой пленки SnO<sub>2</sub> на стеклянной подложке. Согласно литературным данным [24-26], пики на углах  $2\theta = 26,6^\circ; 33,9^\circ; 37,8^\circ$  и  $51,7^\circ$  соответствуют отражениям от кристаллографических плоскостей SnO<sub>2</sub> (110), SnO<sub>2</sub> (101), SnO<sub>2</sub> (200) и SnO<sub>2</sub> (211).

Из рисунка 5 а видно, что пленка, полученная из пленкообразующей системы SnCl<sub>4</sub>/EtOH с концентрацией ионов олова 0,16 моль/л, состоит из поликристаллической фазы SnO<sub>2</sub>. Наблюдаются три дифракционных пика от плоскостей SnO<sub>2</sub> (101), SnO<sub>2</sub> (200) и SnO<sub>2</sub> (211).

Из рисунка 5б видно, что после обработки водородной плазмой в течении 3-х минут появилось отражение от плоскости SnO<sub>2</sub> с индексами Миллера (110). Произошло увеличение интенсивности пиков SnO<sub>2</sub> (101) и SnO<sub>2</sub> (211). Это связано с ростом кристаллитов SnO<sub>2</sub>, произошедшем за счет нагревания образца до 100°C при обработке плазмой. Отражений от кристаллографических плоскостей других оксидов олова (SnO и Sn<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) обнаружено не было.

### Заключение

Три минуты обработки в водородной плазме приводит к образованию дополнительных кислородных вакансий, что приводит к снижению сопротивления образцов. В то же время, не

образуются кристаллиты оксидов SnO и Sn<sub>2</sub>O<sub>3</sub> уменьшающие прозрачность пленок. Наблюдаемое снижение коэффициента пропускания связано с образованием аморфных структур SnO.

Уменьшение сопротивления тонких пленок SnO<sub>2</sub> без значительного уменьшения прозрачности, является важным техническим результатом, необходимым при применении слоев диоксида олова в качестве прозрачных электродов.

### Благодарность

Работа выполнена при финансовой поддержки Министерства Образования и Науки по теме BR05236404.

### Литература

- 1 Yin X.T., Zhou W.D., Li J., Wang Q., Wu F.Y., Dastan D., Wang D., Garmestani H., Wang X.M., Talu S. A highly sensitivity and selectivity Pt-SnO<sub>2</sub> nanoparticles for sensing applications at extremely low level hydrogen gas detection //Journal of alloys and compounds. –2019. – Vol.805. – P.229-236.
- 2 Javanmardi S., Nasresfahani S., Sheikhi M.H. Facile synthesis of PdO/SnO<sub>2</sub>/CuO nanocomposite with enhanced carbon monoxide gas sensing performance at low operating temperature //Materials research bulletin. – 2019. – Vol.118. – N110496.
- 3 Li H.K., Zhu D.C., Yang Z.Y., Lu W.R., Pu Y. The ethanol-sensitive property of hierarchical MoO<sub>3</sub>-mixed SnO<sub>2</sub> aerogels via facile ambient pressure drying //Applied surface science. – 2019. – Vol.489. – P.384-391.
- 4 Lee S.Y., Cho S.H., Cho Y.S., Kim S.J., Kim S.H. Carbon black and titanium interlayers between zinc oxide photo electrode and fluorine-doped tin oxide dye-sensitized solar cells //Journal of Nanoscience And Nanotechnology. – 2019. – Vol.19(7). – P.4260-4264.
- 5 Yilmaz N., Aydin E.B., Sezginurk M.K. An epoxy silane modified indium tin oxide electrode for the determination of PAK 2: Application in human serum samples //Analytica Chimica Acta. – 2019. – Vol.1062. – P.68-77.
- 6 Demir E., Aydin M., Arie A.A., Demir-Cakan R. Apricot shell derived hard carbons and their tin oxide composites as anode materials for sodium-ion batteries //Journal of Alloys and Compounds. – 2019. – Vol.788. – P.1093-1102.
- 7 Park B.E., Park J., Lee S., Lee S., Kim W.H., Kim H. Phase-controlled synthesis of SnO<sub>x</sub> thin films by atomic layer deposition and post-treatment //Applied Surface Science. – 2019. – Vol.480. – P.472-477.
- 8 Somjaijaroen N., Sakdanuphab R., Chanlek N., Chirawatkul P., Sakulalavek A. Simultaneous O<sup>-2</sup> plasma and thermal treatment for improved surface conductivity of Cu-Doped SnO<sub>2</sub> films //Vacuum. – 2019. – Vol.166. – P.212-217.
- 9 Stuckert E.P., Fisher E.R. Ar/O<sup>-2</sup> and H<sub>2</sub>O plasma surface modification of SnO<sub>2</sub> nanomaterials to increase surface oxidation //Sensors and Actuators B-chemical. – 2015. – Vol. 208. – P.379-388.
- 10 Seo H.B., Bae B.S., Bang H.I., Yun E.J. Effects of plasma treatment on the composition and phase changes of sputter-deposited SnO<sub>x</sub> thin films //Journal of nanoscience and nanotechnology. – 2020. – Vol.20. – P.197-205.
- 11 Gu T., Hu E.T., Guo S., Wu Y., Wang J., Wang Z.Y., Yu K.H., Wei W., Zheng Y.X., Wang S.Y. Ellipsometric study on optical properties of hydrogen plasma-treated aluminum-doped ZnO thin film //Vacuum. – 2019. – Vol.163. – P.69-74.
- 12 Mukhamedshina D.M., Fedosimova A.I., Dmitriyeva E.A., Lebedev I.A., Grushevskaya E.A., Ibraimova S.A., Mit' K.A., Serikkanov A.S. Influence of Plasma Treatment on Physical Properties of Thin SnO<sub>2</sub> Films Obtained from SnCl<sub>4</sub> Solutions with Additions of NH<sub>4</sub>F and NH<sub>4</sub>OH //Eurasian Chemico-Technological Journal. – 2019. – Vol.21(1). – P.57-61.
- 13 Gu T., Hu ET, Guo S., Wu Y., Wang J., Wang Z.Y., Yu K.H., Wei W., Zheng Y.X., Wang S.Y. etc. Ellipsometric study on optical properties of hydrogen plasma-treated aluminum-doped ZnO thin film //Vacuum. – 2019. – Vol.163. – P.69-74.
- 14 Neeraj K. Mishra, Chaitanya Kumar, Amit Kumar, Manish Kumar, Pratibha Chaudhary, Rajeev Singh, Structural and optical properties of SnO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanocomposite synthesized via sol-gel route //Materials Science-Poland. – 2015. – Vol.33(4). – P.714-718.
- 15 Ярмонов А.Н., Ларионов Д.Д., Яхиханов Р.Р., Получение оптически прозрачных токопроводящих покрытий термическим испарением //Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2015. – №2(4). – С. 17.
- 16 Dmitriyeva E.A., Mukhamedshina D.M., Beisenkhanov N.B., Mit' K.A. The effect of NH<sub>4</sub>F and NH<sub>4</sub>OH on the structure and physical properties of thin SnO<sub>2</sub> films synthesized by the sol-gel method //Glass Physics and Chemistry. – 2014. – Vol.40(1). – P.31-36.
- 17 Dmitriyeva E.A., Mukhamedshina D.M., Mit' K.A., Lebedev I.A., Girina I.I., Fedosimova A.I., Grushevskaja E.A. Doping of fluorine of tin dioxide films synthesized by sol-gel method //News of The National Academy of Sciences of The Republic of Kazakhstan-Series of Geology and Technical Sciences. – 2019. – Vol.1. – P.73-79.

18 Kondrashin V.I. Determination of SnO<sub>2</sub> thin optically transparent films' thickness by the envelope method //Engineering sciences. Electronics, measuring equipment and radio engineering. – 2016. – Vol.2(38). – P.93-101.

19 Mukhamedshina D.M., Beisenkhanov N.B., Mit' K.A., Botvin V.A., Valitova I.V., Dmitrieva E.A. Influence of plasma treatments on the properties of SnO<sub>x</sub> thin films //High Temperature Material Processes. – 2006. – Vol.10(4). – P.603-615.

20 Mukhamedshina D.M., Mit' K.A., Beisenkhanov N.B., Dmitriyeva E.A., Valitova I.V. Influence of plasma treatments on the microstructure and electrophysical properties of SnO<sub>x</sub> thin films synthesized by magnetron sputtering and sol-gel technique //Journal of Materials Science-Materials in Electronics. – 2008. – Vol.19. – P.382-387.

21 Мухамедшина Д.М., Бейсенханов Н.Б., Мить К.А., Дмитриева Е.А., Медетов Н.А. ПрименениетермическихплазменныхобработокдлямодификациисвойствтонкихпленокSnO<sub>2</sub> //Перспективныематериалы. – 2012. –No.1. – P.35-42.

22 Kiliç C., Zunger A. Origins of coexistence of conductivity and transparency in SnO<sub>2</sub>//Physical Review Letters. – 2002. – Vol.88(9). – P.1-4.

23 Рябикин Ю.А., Лебедев И.А.,Способ увеличения отношения сигнал/шум в спектроскопии //Предварительный патент № 12779, Республика Казахстан: МПК G01N 24/00 – 2001.

24 Seo H.B., Bae B.S., Bang H.I., Yun E.J., Effects of plasma treatment on the composition and phase changes of sputter-deposited SnO<sub>x</sub> thin films //Journal of nanoscience and nanotechnology. – 2020. – Vol.20(1). – P.197-205.

25 Бейсенханов Н.Б., Влияние обработки в (O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>) плазме на структуру и физические свойства пленок SnO<sub>x</sub> //Physics of the Solid State. – 2011. – Vol.53(2). – P.390-397.

26 Sagadevan S., Chowdhury Z.Z., Bin Johan M.R., Aziz F.A., Roselin L.S., Podder J., Lett J.A., Selvin R. Cu-Doped SnO<sub>2</sub> Nanoparticles: Synthesis and Properties //Journal of nanoscience and nanotechnology. – 2019. – Vol.19 (11). – P.7139-7148.

### References

1 X.T. Yin, W.D. Zhou, J. Li, Q. Wang, F.Y. Wu, D.Dastan, D. Wang, H.Garmestani, X.M. Wang, S.Talu, Journal of alloys and compounds 805, 229-236 (2019).

2 S. Javanmardi, S.Nasresfahani, M.H.Sheikhi, Materials research bulletin, 118, N110496 (2019).

3 H.K. Li, D.C. Zhu, Yang Z.Y., Lu W.R., Pu Y., Applied surface science 489, 384-391, (2019).

4 S.Y.Lee, S.H.Cho, Y.S. Cho, S.J.Kim, S.H.Kim, Journal of Nanoscience And Nanotechnology 19(7), 4260-4264 (2019).

5 N.Yilmaz, E.B.Aydin and M.K.Sezginturk, Analytica Chimica Acta. 1062, 68-77(2019).

6 E.Demir, M.Aydin, A.A.Arie and R. Demir-Cakan, Journal of Alloys And Compounds 788, 1093-1102(2019).

7 B.E.Park, J. Park, S. Lee, S.Lee, W.H.Kim and H. Kim, Applied Surface Science 480, 472-477(2019).

8 N. Somjaijaroen, R. Sakdanuphab, N. Chanlek, P. Chirawatkul, A. Sakulkalavek, Vacuum 166, 212-217 (2019).

9 E.P. Stuckert, E.R. Fisher, Sensors and Actuators B-chemical 208, 379-388 (2015).

10 H.B.Seo, B.S. Bae, H.I. Bang, E.J. Yun, Journal of nanoscience and nanotechnology 20, 197-205 (2020).

11 T.Gu, E.T.Hu, S.Guo, Y.Wu, J.Wang, Z.Y.Wang, K.H.Yu, W.We, Y.X.Zheng and S.Y.Wang, Vacuum 163, 69-74(2019).

12 D.M. Mukhamedshina, A.I. Fedosimova, E.A. Dmitriyeva, I.A. Lebedev, E.A. Grushevskaya, S.A. Ibrahimova, K.A. Mit' and A.S. Serikkanov, Eurasian Chemico-Technological Journal 21(1), 57-61 (2019).

13 T. Gu, E.T. Hu, S. Guo, Y. Wu, J. Wang, Z.Y. Wang, K.H. Yu, W. Wei, Y.X. Zheng, S.Y. Wang, etc., Vacuum 163, 69-74 (2019).

14 Neeraj K. Mishra, Chaitanya Kumar, Amit Kumar, Manish Kumar, Pratibha Chaudhary and Rajeev Singh, Materials Science-Poland 33(4), 714-718 (2015).

15 A.N.Jarmonov, D.D. Larionov and R.R.Jahihanov, Izvestija Samarskogonauchnogocentra Rossijskoj akademii nauk 17, N2(4) (2015). (in Russ)

16 E.A.Dmitrieva, D.M.Mukhamedshina, N.B. Beisenkhanov and K.A.Mit', Glass Physics and Chemistry 40(1), 31-36(2014).

17 E.A.Dmitriyeva, D.M.Mukhamedshina, K.A.Mit', I.A.Lebedev, I.I.Girina, A.I. Fedosimova and E.A.Grushevskaja, News of The National Academy of Sciences of The Republic of Kazakhstan-Series of Geology and Technical Sciences 1, 73-79 (2019).

18 V.I.Kondrashin, Engineering sciences. Electronics, measuring equipment and radio engineering 2(38), 93-101 (2016).

19 D.M.Mukhamedshina, N.B.Beisenkhanov, K.A.Mit', V.A.Botvin, I.V. Valitova and E.A.Dmitrieva, High Temperature Material Processes 10(4), 603-615(2006).

20 D.M.Mukhamedshina, K.A.Mit', N.B.Beisenkhanov, E.A. Dmitriyeva and I.V.Valitova, Journal of Materials Science-Materials in Electronics 19, 382-387 (2008).

21 D.M. Mukhamedshina, N.B. Beisenhanov, K.A. Mit', E.A. Dmitrieva, N.A. Medetov, Perspektivnyy materialy N1, 35-42 (2012). (in Russ.)

22 C. Kiliç and A.Zunger, Physical Review Letters 88(9), 1-4 (2002).

23 Ju.A. Rjabikin and I.A.Lebedev, Sposobувеличениjaotnoshenija signal/shum v spektroskopii, Predvaritel'nyj patent N12779, Kazakhstan: MPK G01N 24/00 – 2001. (in Russ)

24 H.B. Seo, B.S. Bae, H.I. Bang, and E.J. Yun, Journal of nanoscience and nanotechnology 20(1), 197-205 (2020).

25 N.B.Beisenhanov, Physics of the Solid State 53(2), 390-397 (2011). (in Russ)

26 S. Sagadevan, Z.Z. Chowdhury, M.R. Bin Johan, F.A. Aziz, L.S. Roselin, J. Podder, J.A.Lett and R. Selvin, Journal of nanoscience and nanotechnology 19 (11), 7139-7148 (2019).