

# Применение термических и плазменных обработок для модификации свойств тонких пленок SnO<sub>2</sub>

Д. М. Мухамедшина, Н. Б. Бейсенханов, К. А. Мить,  
Е. А. Дмитриева, Н. А. Медетов

---

Синтезированы прозрачные (90%), пористые и газочувствительные наноразмерные пленки SnO<sub>2</sub> золь-гель методом на стеклянной подложке. Показано влияние изотермического отжига и обработки водородной (H) и кислородной (O) плазмами тлеющего разряда на микроструктуру, оптические и электрофизические свойства пленок SnO<sub>2</sub>. Значительный рост чувствительности к парам этанола наблюдается как после отжига, так и после обработки H- или O-плазмами. Выявлен оптимальный режим термического отжига (400°C, 6 ч) пленки SnO<sub>2</sub>, синтезированной золь-гель методом, позволяющий достигать максимальной газочувствительности и минимального времени отклика (2 с), улучшения структуры кристаллитов при сохранении малых размеров (6 нм). Обработка H- или O-плазмой пленок SnO<sub>2</sub>, полученных золь-гель методом, не изменяет их фазовый состав, вследствие чего рост газочувствительности не зависит от вида плазмы.

**Ключевые слова:** пленки диоксида олова, золь-гель метод, обработка плазмой.

---

Transparent (90%), nanostructured and gas-sensitive SnO<sub>2</sub> films were synthesized by sol-gel technique on glass substrate. An influence of annealing and processing by hydrogen and oxygen glow discharge plasma on the microstructure, optical and electrical properties of SnO<sub>2</sub> films is shown. A significant increase in sensitivity to ethanol is observed both after annealing and after treatment by H- or O-plasma. Optimal regime of thermal annealing (400°C, 6 h) of the synthesized by sol-gel technique SnO<sub>2</sub> film is determined, allowing to achieve a maximum of gas sensitivity and a minimum of response time (2 s), improving the structure of the crystallites, while maintaining their small sizes (6 nm). Processing by H- or O-plasma of SnO<sub>2</sub> films, prepared by the sol-gel technique, does not alter their phase composition, resulting in the growth of gas sensitivity is independent of the plasma type.

**Keywords:** tin dioxide films, sol-gel method, plasma processing.

## Введение

Особые физико-химические свойства диоксида олова стимулировали его широкое применение в микроэлектронике [1]. Прозрачность нелегированных проводящих пленок SnO<sub>2</sub> в видимой области длин волн делает возможным его использование в качестве прозрачных проводящих покрытий при изготовлении фотопреобразователей и оптоэлектрических приборов [2].

Диоксид олова является широкозонным полупроводником *n*-типа, электропроводность которого чрезвычайно чувствительна к состоянию поверхности в области температур (300 – 800 К), при которых на его поверхности идут окислительно-восстановительные реакции. Поверхность SnO<sub>2</sub> обладает высокими

абсорбционными свойствами и реакционной способностью, что обусловлено наличием в зоне проводимости SnO<sub>2</sub> свободных электронов, а также кислородных вакансий и активного хемосорбированного кислорода. Вследствие этого нанокристаллические пленки диоксида олова селективно чувствительны к присутствию в окружающей атмосфере токсичных газов, органических и некоторых биологических молекул. Это свойство стало основой широкого применения тонких пленок SnO<sub>2</sub> в качестве чувствительных слоев сенсоров токсичных и взрывоопасных газов [3].

Среди большого количества перспективных физических и химических методов получения тонких пленок SnO<sub>2</sub> интенсивно развивающаяся в последние годы золь-гель технология выделяется возможностью

получения пленок с однородным составом, контролируемым введением примесей, микропористостью и малыми размерами кристаллитов [4]. Кроме того, золь-гель технология является экономичным методом получения пленок, не требующим дорогостоящего оборудования, отличается высокой степенью очистки уже на стадии исходного сырья, низкой температурой обработки, минимальными отходами и т.д.

В последние годы для модификации свойств пленок  $\text{SnO}_2$  широко используется плазменная обработка [5].

Цель работы — синтез и исследование свойств наноструктурированных многослойных пленок  $\text{SnO}_2$ , полученных золь-гель технологией, оценка влияния термической и плазменной обработок на их структуру, оптические и электрофизические свойства.

### Экспериментальная часть

Пленки  $\text{SnO}_x$  были получены золь-гель методом. Коллоидный раствор для получения наноструктурированных пленок диоксида олова изготовлен из тетрахлорида олова путем растворения в этаноле высокой очистки. Раствор наносили на стеклянную подложку, расположенную на специально разработанном столике ротора стандартной центрифуги. Скорость вращения центрифуги составила 3800 об./мин. Время центрифугирования составляло от 3 до 5 с. Подложки с нанесенной пленкой высушивали с помощью инфракрасного излучателя при температуре  $80^\circ\text{C}$  в течение 3 – 5 минут с целью предотвращения появления трещин на пленках  $\text{SnO}_2$  [6]. Затем образцы подвергали сушке в муфельной печи при температуре  $400^\circ\text{C}$  в течение 15 мин. Количество осажденных слоев  $\text{SnO}_2$  составило 15. Толщина осажденной пленки (оценивали из веса пленки) составила около 300 нм.

Электрические характеристики и газочувствительность нелегированных пленок диоксида олова изучали при различных концентрациях газов в диапазоне температур от комнатной до  $300^\circ\text{C}$  на экспериментальной установке, позволяющей контролировать температуру подложки с точностью  $\pm 1^\circ\text{C}$ .

Оптические параметры пленок оценивали из спектров пропускания, измеренных на двулучевых спектрофотометрах СФ-256 УВИ (190 – 1200 нм) и СФ-256 (1100 – 2500 нм) (ЛМО, Россия).

Структуру осажденных пленок изучали методом рентгеновской дифракции с использованием узкоколлимированного ( $0,05 \times 1,5 \text{ мм}^2$ ) монохроматического ( $\text{CuK}\alpha$ ) пучка рентгеновских лучей, направленного под углом  $5^\circ$  к поверхности образца. Средний размер

кристаллитов рассчитывали по методу Джонса из полуширины рентгеновских линий [7, 8]. Исследование топографии пленок проводили на атомно-силовом микроскопе JSPM-5200, JEOL (Япония) полуконтактным методом.

Обработку в Н- или О-плазме тлеющего разряда проводили при давлении 6,5 Па. Мощность плазмы была около 12,5 Вт. Частота колебаний, создаваемых генератором, —  $27,12 \text{ МГц} \pm 0,6\%$ . Температура образцов при обработке не превышала  $100^\circ\text{C}$ . Время обработки составляло 5 минут.

### Результаты и обсуждение

#### Оптические свойства, структура и фазовый состав

Измерены спектры оптического пропускания пленок диоксида олова после отжига при  $400^\circ\text{C}$  в течение 15 мин, 3, 6 и 12 часов (рис. 1) и обработки в плазме (рис. 2). Полученные пленки обладают

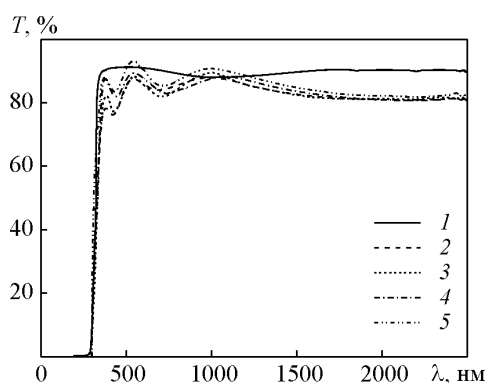


Рис. 1. Оптические спектры пропускания пленок  $\text{SnO}_2$  после изотермического отжига при  $400^\circ\text{C}$ : 1 — подложка из стекла, 2 — пленка после осаждения и отжига в течение 15 мин, 3 — 3 ч отжига, 4 — 6 ч отжига, 5 — 12 ч отжига.

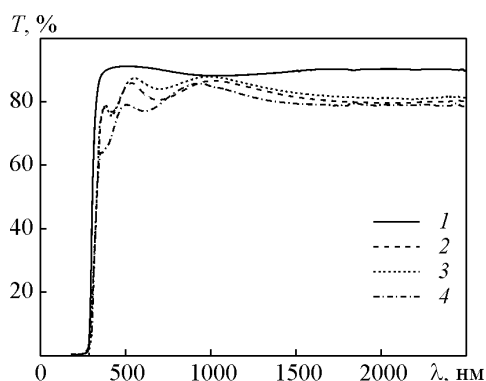


Рис. 2. Оптические спектры пропускания пленок  $\text{SnO}_2$  после обработки плазмой: 1 — подложка, 2 — пленка после осаждения, 3 — после обработки кислородной плазмой, 4 — после обработки водородной плазмой.

Таблица 1

Оптические и структурные параметры пленок, полученных при разных термических обработках. Показатель преломления ( $n$ ), толщина пленки ( $D$ ), ширина запрещенной зоны ( $E_g$ ), плотность ( $\rho$ ), коэффициент поглощения ( $k$ ), пористость ( $V$ ), средний размер кристаллитов  $\text{SnO}_2$  ( $\epsilon$ )

Оптические и структурные параметры	Изотермический отжиг				Плазменная обработка		
	400°C, 15 мин	400°C, 3 ч	400°C, 6 ч	400°C, 12 ч	400°C, 15 мин	О-плазма	Н-плазма
$n$	1,72	1,76	1,81	1,81	1,74	1,82	1,73
$D$ , нм	319	312	304	304	316	297	288
$E_g$ , эВ	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	4,0
$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	5,29	5,53	5,76	5,76	5,40	5,80	5,36
$k$ , 1/см	$2,4 \cdot 10^3$	$2,3 \cdot 10^3$	$1,6 \cdot 10^3$	$0,6 \cdot 10^3$	$2,5 \cdot 10^3$	$3,0 \cdot 10^3$	$5,9 \cdot 10^3$
$V$ , %	23,9	20,5	17,2	17,1	22,3	16,5	22,8
$\epsilon$ , нм	(110)	5	7,5	6	8	5	6,5
	(101)	6,5	7	6,5	10	6,5	9,5
	(211)	6	6	6	14,5	6	10
						4,5	

высокой прозрачностью (~90%). После отжига прозрачность увеличивается в области коротких длин волн, что указывает на улучшение стехиометрии состава пленок диоксида олова и устранение остатков растворителя и органических соединений.

Оптические постоянные пленок оксида олова рассчитывали методом огибающих из спектров пропускания [2, 7]. Оптическая ширина запрещенной зоны была определена из выражения для разрешенных прямых переходов. Пористость и плотность определены из выражения Лорентц-Лоренца [9]. Параметры определены для 2-х серий образцов (табл. 1), подвергнутых изотермическому отжигу либо плазменной обработке. Как видно из табл. 1, полученные золь-гель методом пленки обладают хорошей пористостью, способствующей росту их газочувствительности [8].

Увеличение времени отжига до 6 и 12 ч приводит к уплотнению пленки, уменьшению ее толщины, пористости и коэффициента поглощения.

Исследование структуры тонких пленок  $\text{SnO}_2$  после отжига в течение 15 мин при температуре 400°C методом рентгеновской дифракции показало, что пленки имеют поликристаллическую структуру. Структура кристаллитов  $\text{SnO}_2$  оказалась достаточно хорошо сформированной, что способствовало регистрации рентгеновских отражений от 6 плоскостей с индексами Миллера (110), (101), (200), (211), (220), (112) (рис. 3). Как видно из табл. 1, средний размер кристаллитов в пленках составил около 6 нм после отжига в течение 15 мин, 3 и 6 ч и более 10 нм после отжига в течение 12 ч.

Как было показано ранее [10], рост поглощения в ближней инфракрасной области после обработки в плазме может происходить в результате увеличения концентрации свободных носителей заряда вследствие присутствия нанокластеров или кристаллитов

$\text{Sn}$ . Слабое влияние изотермического отжига и обработки в плазме свидетельствует о низкой концентрации нанокластеров  $\text{Sn}$  ввиду хорошей стехиометрии пленки  $\text{SnO}_2$ . Действительно, как можно увидеть на дебаграмме пленки (рис. 3), выращенной золь-гель методом, наблюдаются только линии поликристаллической фазы  $\text{SnO}_2$  без заметных включений  $\beta\text{-Sn}$ ,  $\text{SnO}$  и  $\text{Sn}_2\text{O}_3$ .

Обработка О-плазмой пленок, полученных золь-гель методом, приводит к слабому уменьшению прозрачности (1 – 5%) в видимой области длин волн вследствие нарушения структуры кристаллитов  $\text{SnO}_2$ ,

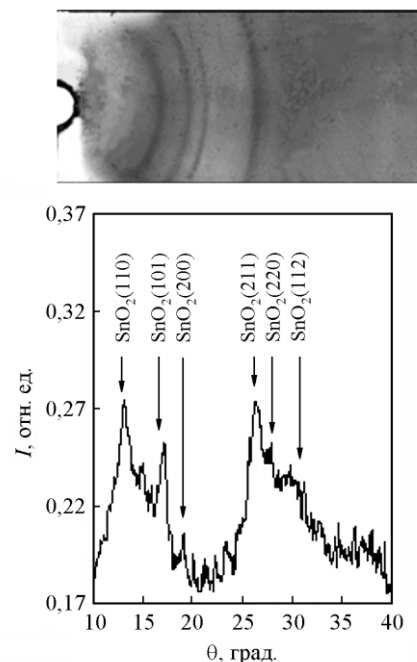


Рис. 3. Дебаграмма и кривая интенсивности рентгеновских отражений пленки  $\text{SnO}_x$ , осажденной на стеклянной подложке золь-гель методом.

в то время как обработка Н-плазмой приводит к уменьшению прозрачности в пределах 3–15% в связи с образованием непрозрачных соединений SnO. Действительно, обработка Н-плазмой может вызвать образование и десорбцию молекул H<sub>2</sub>O, уменьшение плотности, образование кислородных вакансий и уменьшение сопротивления пленок, формирование кластеров SnO и, как следствие, наблюдавшееся увеличение коэффициента поглощения с 2,5·10<sup>3</sup> до 5,9·10<sup>3</sup> см<sup>-1</sup> и снижение прозрачности в видимой области спектра на 3–15%.

Обработка в О-плазме ведет к уменьшению размеров кристаллитов, в то время как обработка в Н-плазме ведет к их увеличению (табл. 1). Таким образом, установлен следующий важный технологический эффект: недостижимые термической обработкой в едином процессе одновременно кластеризация и окисление пленки SnO<sub>x</sub> могут быть достигнуты обработкой в О-плазме.

#### Электрические свойства пленок

На рис. 4 представлены температурные зависимости сопротивления пленок после изотермического отжига и обработки в Н- и О-плазмах. Сопротивление пленок после осаждения (рис.4, кривые 1) быстро уменьшается с температурой. Увеличение длительности изотермического отжига оказывает слабое влияние на температурную зависимость. После обработки в Н-плазме абсолютные значения сопротивления оказались существенно ниже, по-видимому, вследствие увеличения количества вакансий кислорода. В результате этого с ростом температуры относительное сопротивление уменьшается незначительно (рис. 4б, кривая 3). После обработки в О-плазме абсолютные значения сопротивления оказались значительно выше, вероятно, из-за избытка кислорода в пленке. С ростом температуры имеет место десорбция избыточного кислорода, в результате чего относительное сопротивление быстро уменьшается (рис. 4б, кривая 2).

#### Исследование газочувствительных характеристик

Исследования газочувствительности осажденных пленок проводили в два этапа. На первом этапе измеряли температурную зависимость сопротивления пленки в чистом воздухе и при заданной концентрации исследуемого газа в атмосфере. Определяли температуру, при которой наблюдали максимальную чувствительность пленки к исследуемому газу. На втором этапе при найденной температуре

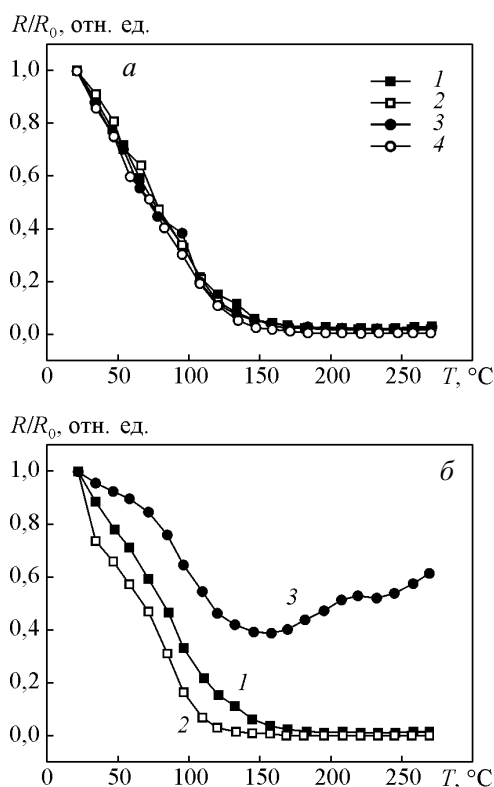


Рис. 4. Температурная зависимость сопротивления пленки SnO<sub>2</sub>: а – после осаждения и изотермического отжига при 400°C в течение 15 минут (1), 3 часов (2), 6 часов (3) и 12 часов (4); б – пленка после осаждения и отжига при 400°C в течение 15 минут (1), обработки в кислородной (2) и водородной (3) плазме в течение 5 минут.

проводили измерения при воздействии различных концентраций газа.

Газочувствительность определяли как отношение

$$\gamma = \frac{R_0}{R},$$

где  $R_0$ ,  $R$  — сопротивление газочувствительного слоя в чистом воздухе и в смеси воздуха с детектируемым газом, соответственно.

На рис. 5 приведены кривые зависимости чувствительности от температуры для пленок, синтезированных золь-гель методом при концентрации этанола 1 мг/л после изотермического отжига и обработки в плазме. Максимум чувствительности золь-гель пленок к парам этанола наблюдается при температуре 235°C (рис. 5, кривые 1). Наблюдается значительный рост чувствительности полученных пленок как после отжига, так и после обработки в плазме. Максимальная чувствительность пленок наблюдается после отжига при 400°C в течение 6 ч, приводящему к улучшению структуры кристаллитов

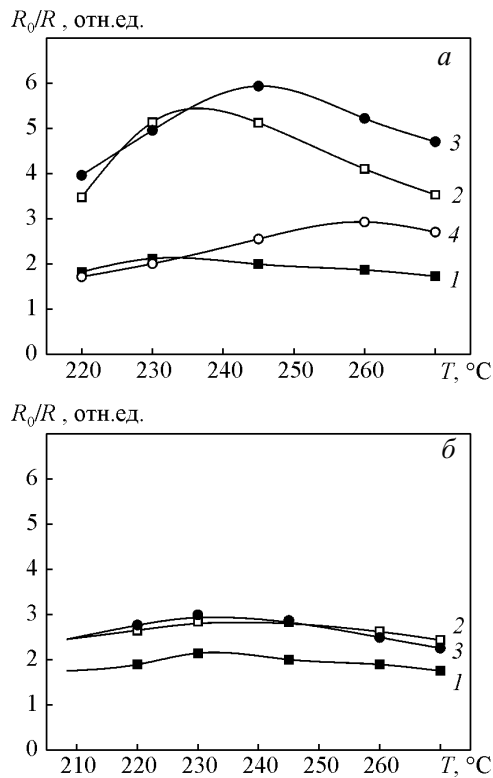


Рис. 5. Температурная зависимость чувствительности к парам этанола (1 мг/л) пленок SnO<sub>2</sub>: а) после изотермического отжига при 400°С в течение 15 минут (1), 3 часов (2), 6 часов (3) и 12 часов (4); б) пленка после отжига при 400°С в течение 15 минут (1), обработки в кислородной (2) и водородной (3) плазме в течение 5 минут.

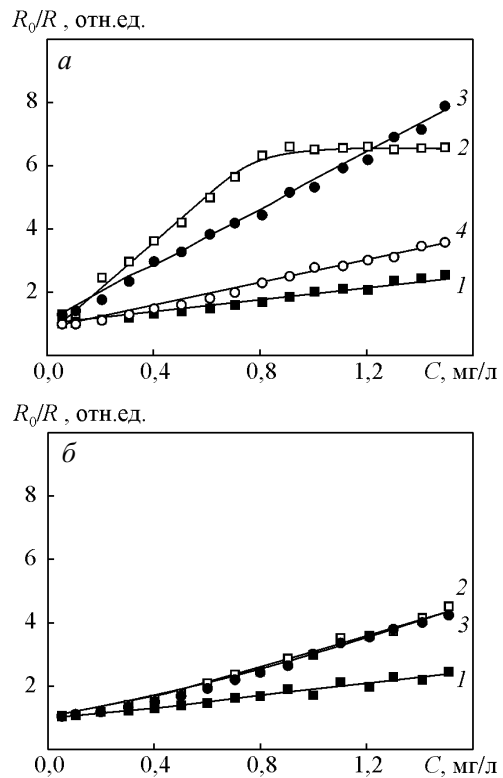


Рис. 6. Зависимость чувствительности от концентрации паров этанола пленок SnO<sub>2</sub>: а) отжиг при 400°С: 1 – в течение 15 минут, 2 – 3 часов, 3 – 6 часов и 4 – 12 часов; б) обработка плазмой: 1 – после осаждения, 2 – О-плазмой и 3 – Н-плазмой.

при сохранении их малых размеров (6 нм) (табл. 1). После обработки в плазме рост чувствительности происходит без увеличения рабочей температуры.

С ростом концентрации паров этанола (рис. 6) чувствительность пленок линейно растёт до 0,8–1,5 мг/л, после чего происходит насыщение. Рост чувствительности идет более интенсивно после отжига и обработки в плазме. Наиболее интенсивный рост для концентраций паров этанола до 0,8 мг/л наблюдается после отжига в течение 6 ч.

Заметная чувствительность пленки проявляется даже при концентрации паров этанола меньше 0,05 мг/л. Линейность чувствительности в области низких концентраций позволяет использовать эти

пленки для создания сенсоров чувствительных к парам этанола в выдохе человека [11].

Для изучения быстродействия газочувствительной пленки в объем реактора за время порядка десятых долей секунды вводили известное количество идентифицируемого газа. В табл. 2 представлены значения времени отклика сенсора на концентрацию этанола, равной 1 мг/л. За время отклика брали время, за которое сопротивление пленки падало на 90%. Как видно из табл. 2, время отклика сокращается с увеличением длительности отжига, а также при воздействии плазмы, с 5 до 2 с. Время восстановления, напротив, увеличивается с 90 до 140 с, за исключением 12-часового отжига (75 с).

Таблица 2

Параметры чувствительности пленок SnO<sub>2</sub>: время отклика и восстановления

Параметры чувствительности	Изотермический отжиг				Плазменная обработка		
	400°С, 15 мин	400°С, 3 ч	400°С, 6 ч	400°С, 12 ч	400°С, 15 мин	О-плазма	Н-плазма
Время отклика, с	5	3	2	2	5	2	3
время восстановления, с	90	140	130	75	90	110	100

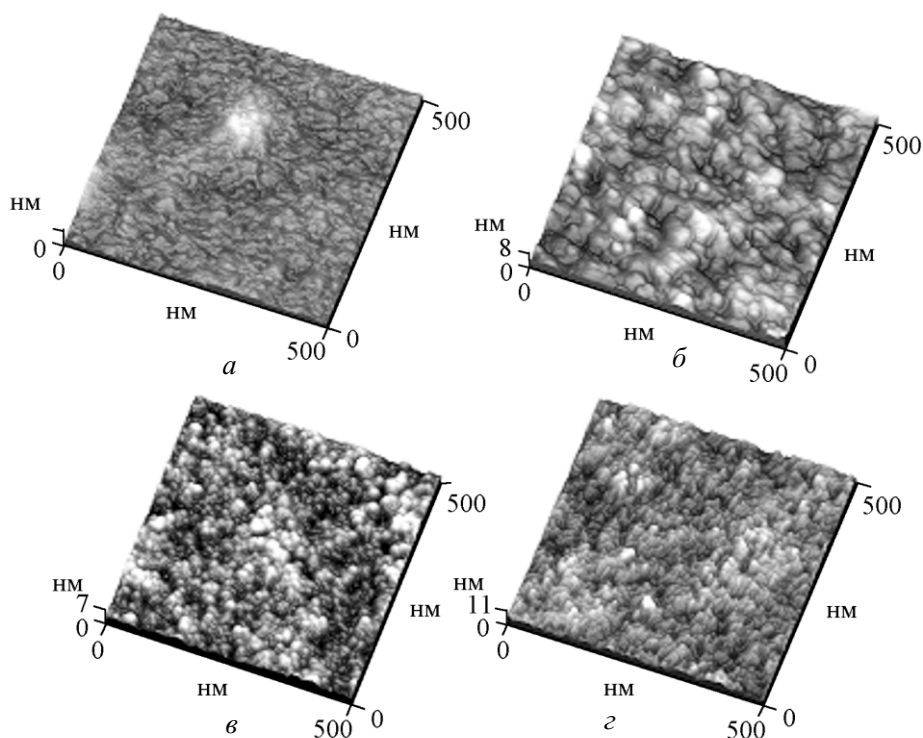


Рис. 7. Топография поверхности пленок диоксида олова размером  $500 \times 500$  нм после отжига при температуре  $400^\circ\text{C}$  в течение: а — 15 мин, б — 3 ч, в — 6 ч, г — 12 ч.

### Исследование топографии на атомно-силовом микроскопе

На рис. 7 показана топография поверхности многослойных пленок диоксида олова размером  $500 \times 500$  нм, отожженных при температуре  $400^\circ\text{C}$  в течение 15 мин, 3, 6 и 12 ч. Пленки имеют мелкозернистую структуру поверхности.

Были проанализированы изменения неровностей поверхности в процессе термического отжига. Для пленки, отожженной в течение 15 минут при температуре  $400^\circ\text{C}$ , получено, что 80% участков ее

поверхности лежит в интервале высот 1,8–3,7 нм, для пленки, отожженной 3 часа — в интервале высот 2,4–4,9 нм, в течение 6 часов — в интервале высот 2,7–4,9 нм и 12 часов — в интервале высот 3,2–6,4 нм.

Исследования топографии поверхности пленок  $\text{SnO}_x$  до и после обработки в плазме показывают, что обработка в кислородной плазме приводит к распаду гранулярной структуры пленки, способствуя кластеризации структуры после обработки.

В табл. 3 приведены данные по структуре поверхности, полученные с использованием программ обработки к атомно-силовому микроскопу. Шероховатость увеличивается после обработки пленок  $\text{SnO}_x$  как Н-, так и О-плазмой. Это способствует увеличению газочувствительности пленки (рис. 5б и 6б, кривые 2 и 3).

Таблица 3

Анализ топографии поверхности подложки и пленок  $\text{SnO}_2$  ( $500 \times 500$  нм)

Образцы	$R_s$ , нм	$R_{zjis}$ , нм	$R_z$ , нм	$R_q$ , нм
Стеклоподложка	2,31	17,7	19,0	2,92
Пленка ( $400^\circ\text{C}$ , 15 мин)	0,66	5,67	7,02	0,84
Плазменная обработка				
О-плазма	1,15	12,3	13,6	1,58
Н-плазма	2,04	16,5	19,7	2,61

$R_q$  — средняя шероховатость;  $R_{zjis}$  — средняя шероховатость по 10 точкам; S — площадь изображения;  $R_q$  — корень квадратный из квадрата шероховатости;  $R_z$  — разность между максимумом и минимумом высоты анализируемого изображения.

### Заключение

Синтезированы наноструктурированные, прозрачные, и газочувствительные пленки  $\text{SnO}_2$  золь-гель методом на стеклянной подложке. Прозрачность полученных пленок в диапазоне  $0,190 - 2,5$  мкм составила  $\sim 90\%$ . Структура кристаллитов  $\text{SnO}_2$  хорошо сформирована. Показано влияние изотер-

мического отжига и обработки в Н- и О-плазмах тлеющего разряда на микроструктуру, оптические и электрофизические свойства пленок SnO<sub>x</sub>.

Установлено низкое содержание нанокластеров Sn ввиду хорошей стехиометрии пленки SnO<sub>2</sub>. Выявлено, что обработка в О-плазме ведет к уменьшению размеров кристаллитов, к частичной кластеризации и распаду гранулярной структуры поверхности. Установлен важный технологический эффект: недостижимые термической обработкой кластеризация и окисление пленки SnO<sub>x</sub> в едином процессе могут быть достигнуты обработкой в кислородной плазме.

Показано, что увеличение длительности изотермического отжига оказывает слабое влияние на температурную зависимость сопротивления. Сопротивление пленок уменьшается после обработки Н-плазмой и увеличивается после обработки О-плазмой ввиду десорбции и адсорбции кислорода, соответственно. Это оказывает влияние на последующее изменение относительного сопротивления с ростом температуры.

Увеличение чувствительности и сокращение времени отклика может быть достигнуто как изотермическим отжигом, так и обработкой в плазме. Выявлены оптимальные режимы термического отжига (400°C, 6 ч) синтезированной золь-гель методом пленки SnO<sub>2</sub>, позволяющие достигать максимальной газочувствительности и минимального времени отклика (2 с), улучшения структуры кристаллитов при сохранении малых размеров (6 нм). После обработки в плазме рост чувствительности происходит без увеличения рабочей температуры. Обработка Н- или О-плазмой пленок SnO<sub>2</sub>, полученных золь-гель методом, не изменяет их фазовый состав, вследствие чего рост газочувствительности не зависит от вида плазмы. Шероховатость пленок SnO<sub>x</sub> увеличивается после обработки как Н-, так и О-плазмой, способствуя увеличению их газочувствительности. Показано, что линейность чувствительности в области низких концентраций позволяет использовать эти пленки для создания сенсоров чувствительных к парам этанола в выдохе человека.

## Литература

1. Zang G., Liu M. Preparation of nanostructured tin oxide using a sol-gel process based on tin tetrachloride and ethylene glycol. *Journal of material science*, 1999, v. 34, p. 3213 – 3219.
2. Seok-Kyun Song. Characteristics of SnO<sub>x</sub> films deposited by reactive-ion-assisted deposition. *Phys. Rev.*, 1999, v. 60, p. 11137 – 11148.
3. Gorley P.M., Khomyak V.V., Bilichuk S.V., Orletsky L.G., Horley P.P. and Grechko V.O. SnO<sub>2</sub> Films: formation, electrical and optical properties. *Materials Science and Engineering*, 2005, v. 118, p. 160 – 163.
4. Васильев А., Олихов И., Соколов А. *Электроника. Наука, Технология, Бизнес*. 2005, № 2, с. 24 – 27.
5. Jiang J.C., Lian K., Meletis E.I. Influence of oxygen plasma treatment on the microstructure of SnO<sub>x</sub> thin films. *Thin Solid Films*, 2002, v. 411, p. 203 – 210.
6. Chatelon J.P., Terrier C., Roger J.A. Influence of elaboration parameters on the properties of tin oxide films obtained by the sol-gel process. *Journal of Sol-Gel Science and Technology*, 1997, v. 10, p. 55 – 65.
7. Karapatnitski I.A., Mit' K.A., Mukhamedshina D.M., Beisenkhanov N.B. Optical, structural and electrical properties of tin oxide films prepared by magnetron sputtering. *Surface and Coat. Technol.*, 2002, v. 151 – 152, p. 76 – 81.
8. Mukhamedshina D.M., Beisenkhanov N.B., Mit' K.A., Valitova I.V., Botvin V.A. Investigation of properties of thin oxide films SnO<sub>x</sub> annealed in various atmospheres. *Thin Solid Films*, 2006, v. 495, no. 1 – 2, p. 316 – 320.
9. Mukhamedshina D.M., Beisenkhanov N.B., Mit' K.A., Valitova I.V., Botvin V.A. Influence of hydrogen plasma treatment on the structure and optical properties of tin oxides thin film produced by magnetron sputtering. *Journal of High Temperature Material Processes*, 2005, v. 9, iss. 2, p. 323 – 333.
10. 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 in SnO<sub>x</sub> thin films. *Journal of High Temperature Material Processes*, 2006, v. 10, iss. 4, p. 603 – 616.
11. Sunita Mishra, Ghanshyam C., Nathal Ram, Satinder Singh, Bajpai R.P., Bedi R.K. Alcohol sensing of tin oxide thin film prepared by sol-gel process. *Bull.Mater.Sci.*, 2002, v. 25, no. 3, p. 231 – 234.

*Мухамедшина Дания Махмудовна — Физико-технический институт (г. Алматы, Казахстан), кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник. Специалист в области синтеза и исследования тонких металлооксидных пленок. E-mail: dmm@sci.kz.*

**Бейсенханов Нуржан Бейсенханович** — Физико-технический институт (г. Алматы, Казахстан), кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник. Специалист в области исследования структуры и физических свойств тонких металлооксидных пленок. E-mail: [beisen@sci.kz](mailto:beisen@sci.kz), [beisen@mail.ru](mailto:beisen@mail.ru).

**Мить Константин Александрович** — Физико-технический институт (г. Алматы, Казахстан), кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник. Специалист в области исследования оптических свойств и топографии поверхности металлооксидных пленок. E-mail: [mit@sci.kz](mailto:mit@sci.kz).

**Дмитриева Елена Анатольевна** — Физико-технический институт (г. Алматы, Казахстан), кандидат физико-математических наук, научный сотрудник. Специалист в области синтеза и исследования физических свойств тонких пленок. E-mail: [lana\\_inpr@mail.ru](mailto:lana_inpr@mail.ru)

**Медетов Нурлан Амирович** — Московский государственный институт электронной техники (технический университет) (г. Москва, г. Зеленоград), кандидат физико-математических наук, докторант Научно-исследовательской лаборатории радиационных методов, технологий и анализа. Специалист в области исследования структур и физических свойств тонких пленок. E-mail: [medetov@rambler.ru](mailto:medetov@rambler.ru).