

УДК 542.943:516.682'18+546.74+546.881

И.Я. МИТТОВА\*, Е.В. ТОМИНА\*, А.В. ЗАБОЛОТСКАЯ\*\*, А.А. САМСОНОВ\*, Б.В. СЛАДКОПЕВЦЕВ\*,  
Н.Н. ТРЕТЬЯКОВ\*

## ФАЗОВЫЙ СОСТАВ И МОРФОЛОГИЯ ПОВЕРХНОСТИ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПЛЕНОК, СФОРМИРОВАННЫХ ТЕРМООКСИДИРОВАНИЕМ ГЕТЕРОСТРУКТУР $(V_2O_5+PbO)/InP$ И $(NiO+PbO)/InP$ <sup>1</sup>

Модифицирование поверхности InP оксидами переходных металлов в виде наноразмерных слоёв приводит к улучшению электрофизических характеристик плёнок, выращенных при термоокислении гетероструктур оксид металла/InP. Процесс окисления сформированных методом магнетронного распыления гетероструктур  $V_2O_5/InP$  характеризуется практически полной блокировкой диффузии неокисленного индия в плёнку. Использование композиций оксидов для модифицирования InP позволяет установить эффекты их совместного воздействия на механизм процесса. Цель работы – установление воздействия магнетронно нанесенных на поверхность фосфида индия наноразмерных слоев композиций  $V_2O_5 + PbO$  и  $NiO + PbO$  на фазовый состав и морфологию оксидных пленок, образующихся в процессе термоокисления сформированных гетероструктур. Согласно данным РФА для композиции  $(NiO+PbO)/InP$  (86 и 52 мол.% PbO) наблюдается расходование NiO и PbO при термоокислении. Это свидетельствует о передаче кислорода этими оксидами компонентам полупроводниковой подложки и реализации транзитного механизма термоокисления. Для гетероструктур  $(V_2O_5+PbO)/InP$  (70 и 56 мол. % PbO) наличие в плёнках  $V_2O_5$  и  $VO_2$  фиксируется в течение всего процесса окисления. Это подтверждает регенерацию  $V_2O_5$  за счёт лёгкого перехода  $V^{+4} \leftrightarrow V^{+5}$ , являющегося атрибутом каталитического механизма окисления. Полученные при термоокислении гетероструктур  $(V_2O_5+PbO)/InP$  оксидно-фосфатные плёнки имеют более регулярную поверхность (данные АСМ) по сравнению с  $(NiO + PbO)/InP$ , при этом размеры отдельных кристаллитов лежат в пределах 100–150 нм и 150–200 нм соответственно.

**Ключевые слова:** фосфид индия, оксид ванадия(V), реактивное магнетронное распыление, окисление.

### Введение

Модифицирование поверхности InP оксидами переходных металлов позволяет минимизировать включение металлического индия в растущие при окислении полупроводника пленки (является следствием самого механизма окисления InP [1, 2]), что значительно улучшает их характеристики. В случае магнетронного напыления на поверхность полупроводника наноразмерных слоев оксида ванадия (V) практически блокируется диффузия неокисленного индия в пленку при последующем окислении сформированной гетероструктуры  $V_2O_5/InP$  [3] с реализацией синхронного каталитического механизма [4, 5]. Переход от индивидуальных оксидов к их композициям  $NiO + PbO$  (два транзистора) и  $V_2O_5 + PbO$  (катализатор и транзистор), магнетронно нанесенных на поверхность InP, позволяет проследить смену механизмов окисления полупроводника с каталитического на транзитный (для  $V_2O_5 + PbO$ ) и выявить нелинейные эффекты совместного воздействия оксидов при термоокислении гетероструктур [6, 7].

Таким образом, целью данной работы являлось установление воздействия магнетронно нанесенных наноразмерных слоев композиций  $V_2O_5 + PbO$  и  $NiO + PbO$  на фазовый состав и морфологию оксидных пленок, образующихся в процессе термоокисления сформированных гетероструктур.

### Экспериментальная часть

Слои композиций хемостимуляторов наносили на полированные пластины InP марки ФИЭ-1А ориентации (100), легированные оловом (концентрация основных носителей заряда при 300 К не менее  $5 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$ ), обработанные полирующим травителем состава  $H_2SO_4$  (ХЧ ГОСТ-4204-77, 92.80 %) :  $H_2O_2$  (ОСЧ ТУ 6-02-570-750, 56 %) :  $H_2O = 2:1:1$  в течение 10 мин и промытые в бидистиллированной воде. Распыление составных ванадиево(никелево)-свинцовых мишеней (металлические пластины диаметром 55 мм и толщиной 8 мм с содержанием основного вещества: V – 99.8 %, Ni – 99.35 % и Pb – 98.70 %) на модернизированной установке УВН-2М осуществляли в соответствующих эмпирически подобранных оптимальных режимах. Состав напыленных слоев

<sup>1</sup> Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России в рамках государственного задания ВУЗам в сфере научной деятельности на 2014–2016 годы (проект № 225) и поддержана грантом РФФИ № 13-03-00705-а.

определяли методом локального рентгеноспектрального микроанализа (ЛРСМА, JXA-840), а их толщину, как и толщину сформированных термоокислированными пленок, контролировали методами лазерной эллипсометрии (ЛЭФ-3М, ЛЭФ-754,  $\pm 1$  нм) и спектральной эллипсометрии («Эллипс-1891»).

Для окисливания образцов кислородом (скорость потока – 30 л/ч) в температурном диапазоне 400–550 °С в течение 70 мин использовали проточный кварцевый реактор горизонтальной трубчатой печи МТП-2МР с точностью регулировки температуры  $\pm 1$  °С (ПИД-регулятор ОВЕН ТРМ10).

Фазовый состав всех сформированных пленок определяли методами рентгенофазового анализа (РФА) при малых углах и в режиме усреднения по поверхности для увеличения нижнего порога обнаружения фаз (РФА, Termo-scientific ARL X'tra). Морфологию поверхности контролировали методом атомно-силовой микроскопии (АСМ, сканирующий зондовый микроскоп Solver P47 Pro).

### Результаты и их обсуждение

Согласно [6], при всех температурах окисливания гетероструктур (NiO + PbO)/InP наблюдается положительное отклонение относительной интегральной толщины оксидной пленки от аддитивной и максимально оно в интервале составов композиции хемостимуляторов 52–68 мол. % PbO. На дифрактограмме образца (PbO+NiO)/InP (52 мол. % PbO), окисливанного при 500 °С в течение 20 мин, обнаружены рефлексы фосфатов индия, никеля и свинца, причем, помимо InPO<sub>4</sub>, присутствует и In<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> (см. рис. 1 и табл. 1). При данном времени окисливания в состав пленки входит NiO, а также фосфиды никеля NiP<sub>2</sub> и Ni<sub>3</sub>P<sub>2</sub> (на дифрактограмме рефлексы, соответствующие данным соединениям, отмечены меткой Ni<sub>x</sub>P<sub>y</sub>).

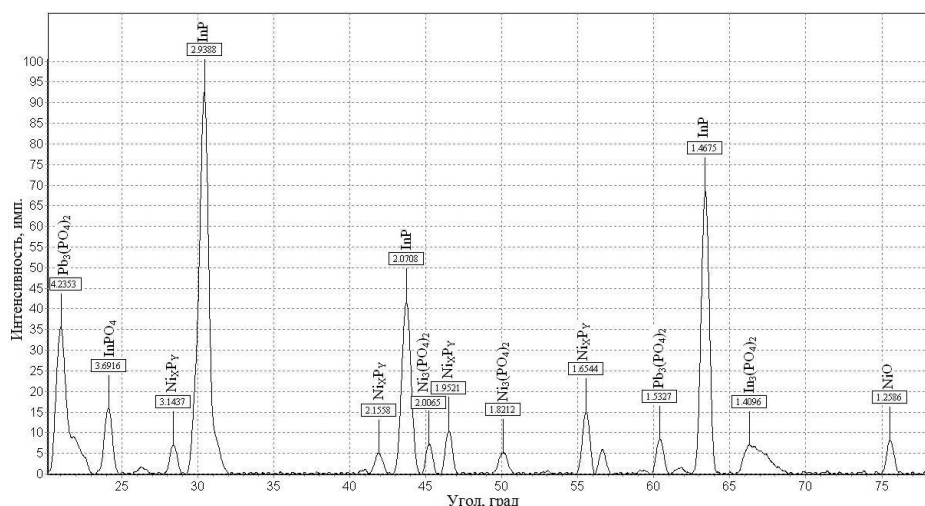


Рис. 1. Дифрактограмма образца (NiO + PbO)/InP (52 мол. % PbO), окисливанного в режиме 500 °С, 20 мин

При увеличении времени окисливания до 70 мин (табл. 1) на дифрактограмме отсутствуют рефлексы, отвечающие оксиду никеля, что обусловлено его практически полным связыванием с образованием фосфатов. Появляется достаточно широкая область рефлексов малой интенсивности (от 65 до 67°), которая помимо In<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>, по-видимому, соответствует различным полифосфатам индия. Таким образом, именно разнообразные фосфатные фазы вносят основной вклад в наблюдающееся при окисливании гетероструктур (NiO + PbO)/InP (52 мол. % PbO) максимальное положительное отклонение относительной интегральной толщины ( $d^R$ ) от аддитивной прямой [6].

В случае гетероструктуры, обогащенной PbO (86 мол. % PbO), после 20 мин окисливания при температуре 500 °С не было обнаружено рефлексов, отвечающих NiO, однако был идентифицирован оксид свинца, который исчезал при увеличении времени окисливания до 70 мин (табл. 1). Таким образом, данные РФА о расходе оксидов NiO и PbO, являющихся транзисторами кислорода, подтверждают транзитный характер механизма термоокисливания магнетронно сформированных гетероструктур (NiO + PbO)/InP [8].

Максимальное положительное отклонение относительной интегральной толщины ( $d^R$ ) от аддитивной прямой для гетероструктуры (V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>+PbO)/InP при всех режимах окисливания имеет место для состава композиции оксидов, содержащей 75 мол. % V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> [7]. Именно этому составу

отвечает наибольший вклад каталитической составляющей в механизм оксидирования, о чем свидетельствуют наименьшее значение эффективной энергии активации (32 кДж/моль) и наибольшая величина относительного ускорения прироста толщины оксидной пленки (150–170 %) [7].

Таблица 1

**Значения межплоскостных расстояний и их интерпретация для дифрактограмм оксидированных гетероструктур (NiO+PbO)/InP различных составов**

| Гетероструктура                   | Параметры оксидирования |              | Определяемая фаза                               | Межплоскостные расстояния, $d$ , нм |
|-----------------------------------|-------------------------|--------------|-------------------------------------------------|-------------------------------------|
|                                   | $t$ , °C                | $\tau$ , мин |                                                 |                                     |
| (NiO +PbO)/InP<br>(86 мол. % PbO) | 500                     | 20           | InP                                             | 2.938; 2.07; 1.467                  |
|                                   |                         |              | PbO                                             | 1.689                               |
|                                   |                         |              | Ni <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> | 2.006; 1.821                        |
|                                   |                         |              | Pb <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> | 4.235; 1.532                        |
|                                   |                         |              | In <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> | 1.409                               |
|                                   |                         |              | InPO <sub>4</sub>                               | 3.691                               |
|                                   |                         |              | N <sub>x</sub> P <sub>y</sub>                   | 3.143; 2.155; 1.952; 1.654          |
|                                   | 500                     | 70           | InP                                             | 2.931; 2.069; 1.466                 |
|                                   |                         |              | Ni <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> | 2.428; 1.825;                       |
|                                   |                         |              | Pb <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> | 4.282; 1.532                        |
|                                   |                         |              | In <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> | 1.418                               |
|                                   |                         |              | InPO <sub>4</sub>                               | 3.688                               |
|                                   |                         |              | N <sub>x</sub> P <sub>y</sub>                   | 2.622; 1.645; 1.573;                |
|                                   |                         |              | InP                                             | 2.938; 2.07; 1.467                  |
| (NiO +PbO)/InP<br>(52 мол. % PbO) | 500                     | 20           | NiO                                             | 1.258                               |
|                                   |                         |              | Ni <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> | 2.006; 1.821                        |
|                                   |                         |              | Pb <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> | 4.235; 1.532                        |
|                                   |                         |              | In <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> | 1.409                               |
|                                   |                         |              | InPO <sub>4</sub>                               | 3.691                               |
|                                   |                         |              | N <sub>x</sub> P <sub>y</sub>                   | 3.143; 2.155; 1.952; 1.654          |
|                                   |                         |              | InP                                             | 2.931; 2.069; 1.466                 |
|                                   | 500                     | 70           | Ni <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> | 2.428; 1.825;                       |
|                                   |                         |              | Pb <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> | 4.282; 1.532                        |
|                                   |                         |              | In <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> | 1.418                               |
|                                   |                         |              | InPO <sub>4</sub>                               | 3.688                               |
|                                   |                         |              | N <sub>x</sub> P <sub>y</sub>                   | 2.622; 1.645; 1.573;                |
|                                   |                         |              | InP                                             | 2.938; 2.07; 1.467                  |

Для всех оксидированных образцов (V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>+PbO)/InP на дифрактограммах наблюдаются рефлексы оксидов ванадия V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> и VO<sub>2</sub> (см. рис. 2 и табл. 2). Именно такая осцилляция степеней окисления является необходимым условием проявления каталитических свойств V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> [9]. Площадь пиков, отвечающих упомянутым оксидам, не меняется со временем, что косвенно указывает на постоянство концентраций этих соединений в пленках. Таким образом, практическое отсутствие расхода оксида ванадия подтверждает наличие в процессе термооксидирования гетероструктур (V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>+PbO)/InP цикла регенерации катализатора V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Оксид свинца фиксируется лишь на ранних стадиях процесса оксидирования (20 мин) при малом содержании V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> в композиции, например, для гетероструктур (V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>+PbO)/InP (30 мол. % V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) (см. табл. 2), что свидетельствует о расходе транзистора PbO в процессе оксидирования InP. Методом РФА для оксидированной гетероструктуры (V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>+PbO)/InP (30 мол. % V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) также был зафиксирован ванадат свинца Pb<sub>3</sub>(VO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>.

Для гетероструктур, обогащенных оксидом ванадия, при малых временах термооксидирования в пленках присутствует фосфид ванадия VP (на дифрактограмме рефлексы, соответствующие данному соединению, отмечены меткой V<sub>x</sub>P<sub>y</sub>). Этот факт указывает на блокирование фосфора на начальном этапе оксидирования, что может положительно сказаться на свойствах сформированных пленок. Однако для структуры (V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>+PbO)/InP (44 мол. % V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) с ростом времени оксидирования рефлексы, отвечающие межплоскостным расстояниям данного соединения, полностью исчезают (см. табл. 2). После 70 мин термооксидирования V<sub>x</sub>P<sub>y</sub> обнаружен только у структуры (V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>+PbO)/InP (65 мол. % V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>). Интересен факт уширения пика, отвечающего InP (в диапазоне углов от 62 до 65°), с увеличением концентрации V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> в нанесенном слое и появления в нем отчет-

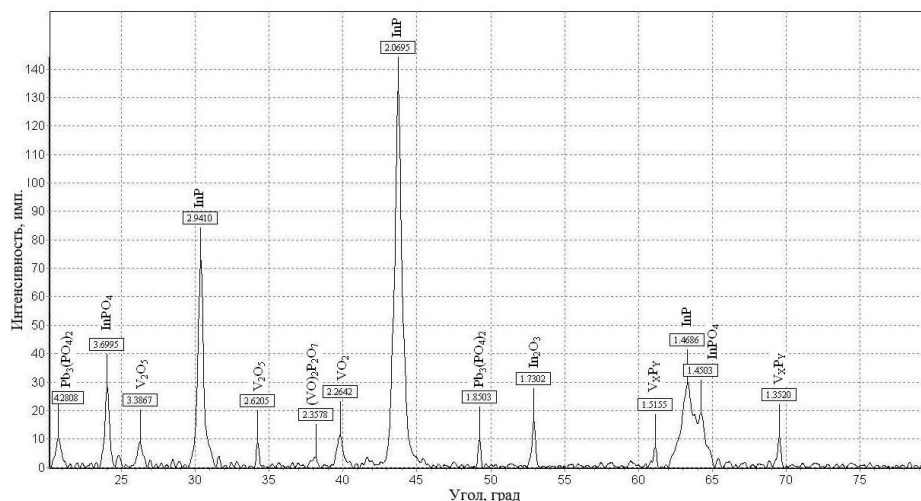


Рис. 2. Дифрактограмма гетероструктуры  $(V_2O_5+PbO)/InP$  (65 мол. %  $V_2O_5$ ), оксидированной в режиме 500 °C, 70 мин

ливого рефлекса  $InPO_4$  у гетероструктуры  $(V_2O_5+PbO)/InP$  (65 мол. %  $V_2O_5$ ) (см. рис. 2). Таким образом, появление в упомянутом диапазоне рефлекса  $InPO_4$  указывает на увеличение концентрации данной фазы в процессе оксидирования  $InP$  и, как следствие, на возрастание степени окисленности компонентов полупроводниковой подложки [1, 2].

Таблица 2

Значения межплоскостных расстояний и их интерпретация для дифрактограмм оксидированных гетероструктур  $(V_2O_5+PbO)/InP$  различных составов

| Гетероструктура                       | $t$ , °C | $\tau$ , мин | Определяемая фаза | Межплоскостные расстояния, $d$ , нм |
|---------------------------------------|----------|--------------|-------------------|-------------------------------------|
| $(V_2O_5+PbO)/InP$<br>(70 мол. % PbO) | 500      | 20           | InP               | 2.938; 2.07; 1.467                  |
|                                       |          |              | PbO               | 1.691                               |
|                                       |          |              | $Pb_3(VO_4)_2$    | 2.804; 1.416                        |
|                                       |          |              | $Pb_3(PO_4)_2$    | 4.291; 1.532                        |
|                                       |          |              | $InPO_4$          | 3.706                               |
|                                       |          |              | $V_2O_5$          | 3.382                               |
|                                       |          |              | $VO_2$            | 2.253                               |
|                                       |          |              | $In_2O_3$         | 1.729                               |
|                                       | 500      | 70           | InP               | 2.941; 2.069; 1.468                 |
|                                       |          |              | $Pb_3(VO_4)_2$    | 2.801; 1.419                        |
|                                       |          |              | $Pb_3(PO_4)_2$    | 4.289; 1.533                        |
|                                       |          |              | $InPO_4$          | 3.709                               |
|                                       |          |              | $V_2O_5$          | 3.379                               |
|                                       |          |              | $VO_2$            | 2.255                               |
| $(V_2O_5+PbO)/InP$<br>(56 мол. % PbO) | 500      | 20           | InP               | 2.941; 2.074; 1.469                 |
|                                       |          |              | $(VO)_2P_2O_7$    | 2.361                               |
|                                       |          |              | $Pb_3(PO_4)_2$    | 4.283; 1.85                         |
|                                       |          |              | $InPO_4$          | 3.701; 1.451                        |
|                                       |          |              | $In_2O_3$         | 1.73                                |
|                                       |          |              | $V_xP_y$          | 1.517; 1.349                        |
|                                       |          |              | $V_2O_5$          | 3.386; 2.261                        |
|                                       |          |              | $VO_2$            | 2.261                               |
|                                       | 500      | 70           | InP               | 2.936; 2.071; 1.474                 |
|                                       |          |              | $(VO)_2P_2O_7$    | 2.359                               |
|                                       |          |              | $Pb_3(PO_4)_2$    | 4.282; 1.849                        |
|                                       |          |              | $InPO_4$          | 3.701; 1.451                        |
|                                       |          |              | $In_2O_3$         | 1.73                                |
|                                       |          |              | $V_2O_5$          | 3.386; 2.261                        |
|                                       |          |              | $VO_2$            | 2.261                               |

В [6] установлено, что при оксидировании гетероструктур  $(\text{NiO} + \text{PbO})/\text{InP}$  формируются достаточно однородные по своей морфологии пленки – размер отдельного кристаллического агломерата, в зависимости от состава исходного композита и режима оксидирования, варьируется от 150 до 200 нм. Термооксидирование гетероструктур  $(\text{V}_2\text{O}_5 + \text{PbO})/\text{InP}$  приводит к формированию более регулярных поверхностей оксидно-фосфатных пленок по сравнению с гетероструктурой  $(\text{NiO} + \text{PbO})/\text{InP}$  – размер отдельного кристаллического агломерата составляет порядка 100–150 нм (рис. 3).

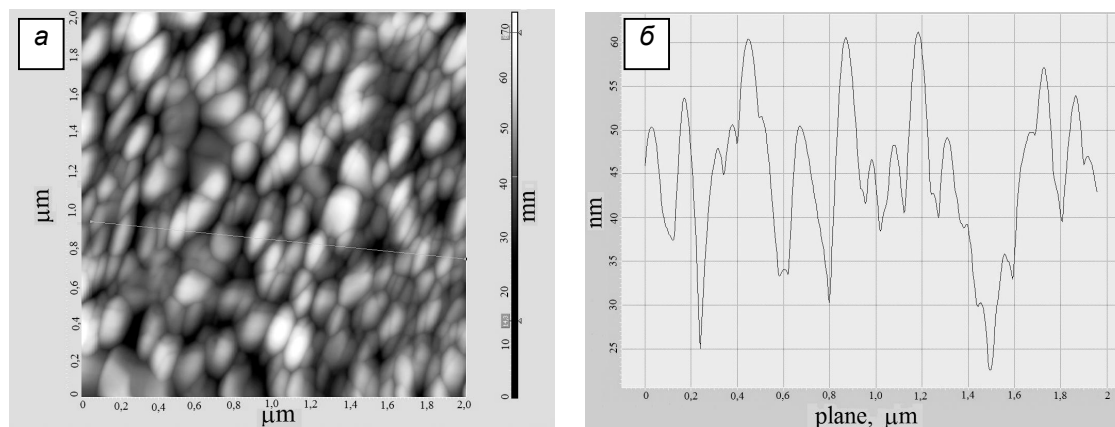


Рис. 3. АСМ-изображение и профиль поверхности образца  $(\text{V}_2\text{O}_5 + \text{PbO})/\text{InP}$  (40 мол. %  $\text{V}_2\text{O}_5$ ) после оксидирования в режиме 500 °С, 60 мин

### Заключение

Для магнетронно сформированных гетероструктур  $(\text{NiO} + \text{PbO})/\text{InP}$  при термооксидировании установлено расхождение оксидов-транзисторов  $\text{NiO}$  и  $\text{PbO}$ , обусловленное передачей кислорода компонентам полупроводниковой подложки, что свидетельствует о реализации транзитного механизма. Согласно данным РФА, в состав плёнок после термооксидирования входят разнообразные фосфатные фазы. Для гетероструктур  $(\text{V}_2\text{O}_5 + \text{PbO})/\text{InP}$  подтверждена возможность реализации синхронного каталитического механизма термооксидирования при одновременном присутствии катализатора ( $\text{V}_2\text{O}_5$ ) и транзистора ( $\text{PbO}$ ) в слое, нанесенном на поверхности  $\text{InP}$ . Данный механизм подтверждается наличием в плёнке  $\text{V}_2\text{O}_5$  и  $\text{VO}_2$  (РФА), обеспечивающих лёгкость перехода  $\text{V}^{+4} \leftrightarrow \text{V}^{+5}$ . Плёнки, сформированные при термооксидировании гетероструктур  $(\text{V}_2\text{O}_5 + \text{PbO})/\text{InP}$ , имеют более регулярную поверхность, при этом размеры отдельных кристаллитов лежат в пределах 100–150 нм (АСМ).

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Wager J.F., Wilmsen C.W. // J. Appl. Phys. – 1980. – V. 51. – No. 1. – P. 812–814.
2. Yamaguchi M., Ando K. // J. Appl. Phys. – 1980. – V. 51. – No. 9. – P. 5007–5012.
3. Mittova I.Ya., Tomina E.V., Samsonov A.A., Sladkopevtsev B.V., Tret'yakov N.N., Shvets V.A. // Inorganic Materials. – 2013. – V. 49. – No. 10. – P. 963–970.
4. Lapenko A.A., Tomina E.V., Mittova I.Ya., Lisitsyn S.V., Valyukhov D.P. // Inorganic Materials. – 2008. – V. 44. – No. 11. – P. 1163–1168.
5. Mittova I.Ya., Tomina E.V., Lapenko A.A., Sladkopevtsev B.V. // Glass Physics and Chemistry. – 2011. – V. 37. – No. 2. – P. 230–234.
6. Mittova I.Ya., Tomina E.V., Samsonov A.A., Lukin A.N., Simonov S.P. // Inorganic Materials. – 2005. – V. 41. – No. 4. – P. 323–330.
7. Ievlev V.M., Mittova I.Ya., Samsonov A.A., Tomina E.V., Kashkarov V.M. // Doklady chemistry. – 2007. – V. 417. – No. 2. – P. 277–281.
8. Tomina E.V., Mittova I.Ya., Sukhochev A.S., Sladkopevtsev B.V. // Glass Physics and Chemistry. – 2010. – V. 36. – No. 2. – P. 238–246.
9. Крылов О.В., Шуб Б.Р. Неравновесные процессы в катализе. – М.: Химия, 1990. – 284 с.

\*Воронежский государственный университет, г. Воронеж, Россия

Поступила в редакцию 05.08.14.

\*\*Национальный исследовательский Томский государственный университет,  
г. Томск, Россия

E-mail: dp-kmins@yandex.ru, samsonjr@mail.ru

Миттова Ирина Яковлевна, д.х.н., профессор;  
Томина Елена Викторовна, к.х.н., доцент;  
Заболотская Анастасия Владимировна, к.т.н., ст. науч. сотр.;  
Самсонов Алексей Алексеевич, ассистент;  
Сладкопцев Борис Владимирович, к.х.н., преподаватель;  
Третьяков Никита Николаевич, аспирант.

*I.Ya. MITTOVA, E.V. TOMINA, A.V. ZABOLOTSKAYA, A.A. SAMSONOV, B.V. SLADKOPEVTCEV, N.N. TRET'YAKOV*

## THE PHASE COMPOSITION & SURFACE MORPHOLOGY OF DIELECTRIC & SEMICONDUCTING FILMS CREATED BY THERMAL OXIDATION OF (V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>+PbO)/INP & (NiO+PbO)/INP HETEROSTRUCTURES

The modification of the InP surface by nanoscale layers of transition metal oxides leads to an improvement in the electrophysical characteristics of films grown during thermal oxidation of “metal oxide/InP” heterostructures. The oxidation process of V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/InP heterostructures formed by magnetron sputtering are characterized almost complete blockage diffusion of unoxidized indium into the films. The use of the oxide compositions for modifying InP surfaces allows to set the effects of their joint action on the mechanism of the process. The goal of the work is to establish the impact of deposits on the surface of indium phosphide by magnetron sputtering methods with nanoscale layers of compositions V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> + PbO and NiO + PbO on the phase composition and morphology of the oxide films which formed during thermal oxidation of heterostructures. XRD data indicates the spending NiO and PbO during thermal oxidation of heterostructures (NiO + PbO)/InP (86 and 52 mol. % PbO). This indicates the transfer of oxygen from the oxide to the components of the semiconductor substrate and the implementation of the transit mechanism of thermal oxidation. V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> and VO<sub>2</sub> are detected in the growing film during the process of oxidation of heterostructures (V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> + PbO)/InP (70 and 56 mol. % PbO). This fact confirms the regeneration of V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> due to the easy transition  $V^{+4} \leftrightarrow V^{+5}$ , which is an attribute of the catalytic mechanism of oxidation. The thin films obtained by thermal oxidation of heterostructures (V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> + PbO)/InP has a more regular surface (AFM data) compared with (NiO + PbO)/InP. The sizes of individual crystallites are in the range of 100–150 nm and 150–200 nm respectively.

**Keywords:** thermal oxidation, chemostimulator, catalysis, transit, indium phosphide, vanadium oxide(V), magnetron sputtering.

### REFERENCES

1. Wager J.F., Wilmsen C.W. *J. Appl. Phys.*, 1980, vol. 51, no. 1, pp. 812–814.
2. Yamaguchi M., Ando K. *J. Appl. Phys.*, 1980, vol. 51, no. 9, pp. 5007–5012.
3. Mittova I.Ya., Tomina E.V., Samsonov A.A., Sladkopevtsev B.V., Tret'yakov N.N., Shvets V.A. *Inorganic Materials*, 2013, vol. 49, no. 10, pp. 963–970.
4. Lapenko A.A., Tomina E.V., Mittova I.Ya., Lisitsyn S.V., Valyukhov D.P. *Inorganic Materials*, 2008, vol. 44, no. 11, pp. 1163–1168.
5. Mittova I.Ya., Tomina E.V., Lapenko A.A., Sladkopevtsev B.V. *Glass Physics and Chemistry*, 2011, vol. 37, no. 2, pp. 230–234.
6. Mittova I.Ya., Tomina E.V., Samsonov A.A., Lukin A.N., Simonov S.P. *Inorganic Materials*, 2005, vol. 41, no. 4, pp. 323–330.
7. Ievlev V.M., Mittova I.Ya., Samsonov A.A., Tomina E.V., Kashkarov V.M. *Doklady chemistry*, 2007, vol. 417, no. 2, pp. 277–281.
8. Tomina E.V., Mittova I.Ya., Sukhochev A.S., Sladkopevtsev B.V. *Glass Physics and Chemistry*, 2010, vol. 36, No 2, pp. 238–246.
9. Krylov O.V., Shub B.R. *Neravnovesnie processi v katalize*. Moscow, Chimia Publ., 1990, 284 p.