

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Томиной Елены Викторовны «Хемостимулированное оксидирование GaAs и InP под воздействием d-металлов (Ni, Co, V), их оксидов и композиций оксидов», представленную к защите на соискание ученой степени доктора химических наук по специальности 02.00.01 – неорганическая химия.

Диссертация Е.В. Томиной посвящена исследованию химических процессов, протекающих в твердых фазах при формировании пассивных, оптически- и электронно-активных пленок на поверхности и на границах полупроводниковых слоев GaAs и InP, перспективных для высокочастотных интегральных устройств. Актуальность поставленной задачи заключается в том, что исторически принятая схема решения подобных задач, основанная на оксидировании полупроводниковой матрицы с формированием диэлектрических слоев, ограничивается химической природой рассматриваемых соединений. Прежде всего, газофазное оксидирование соединений GaAs и InP не дает возможности получить однородные слои в связи с различной скоростью оксидирования элементов III и IV групп, что сопровождается образованием летучих продуктов, фаз переменного состава и промежуточных метастабильных фаз. Кроме того, «самооксидирование» этих соединений относительно длительный процесс, что определяется заторможенной кинетикой процесса из-за больших энергий активации элементарных реакций и диффузии. Естественным подходом решения подобных проблем является химическое стимулирование ускорения реакций за счет ускорения диффузионных процессов передачи кислорода и/или использования каталитических реагентов. Изучение функций хемостимуляторов в процессах синтеза оксидных слоев на основе d-переходных металлов и анализ совокупности факторов, определяющих характеристики наноразмерных полупроводниковых и диэлектрических пленок на GaAs и InP, как показано в настоящей работе, позволяет решить фундаментальную научную проблему формирования функциональных наноразмерных оксидных пленок на полупроводниках  $A^{III}B^V$ .

Для достижения поставленных целей были проведены детальные исследования систем ряда d-элементов, их оксидов и монокристаллических матриц GaAs и InP, а именно:

- исследование кинетики термического оксидирования гетероструктур Me (Me = Ni, Co, V)/InP (GaAs), MeO (Me = Ni, Co, V)/InP (GaAs), композиции оксидов ( $V_2O_5+PbO$ , NiO+PbO)/InP;
- установление влияния физико-химической природы, толщины и метода нанесения слоя хемостимулятора (термический, магнетронный и

электровзрывом), а также состава композиции оксидов-хемостимуляторов (для  $(V_2O_5+PbO)/InP$  и  $(NiO+PbO)/InP$ ) на кинетику оксидирования  $InP$  и  $GaAs$ , состав, морфологию и свойства пленок, сформированных термооксидированием;

- исследование воздействия сформированных электровзрывным синтезом на поверхности  $InP$  наноразмерных островков  $V_2O_5$ , выполняющих роль активных центров, на кинетику термооксидирования полупроводника на начальном этапе процесса и установление динамики изменения состава, морфологии поверхности и свойств синтезируемых пленок;

- выявление роли взаимодействий на границе раздела при формировании гетероструктур  $Me$  ( $Me = Ni, Co, V$ )/ $InP$  ( $GaAs$ ) в процессах их термооксидирования;

- установление механизма формирования многокомпонентных пленок при термооксидировании  $InP$  и  $GaAs$  с нанесенными наноразмерными слоями d-металлов ( $Ni, Co, V$ ) и их оксидов, а также nanoостровковых гетероструктур  $V_2O_5/InP$ .

Как ясно из поставленных задач, исследуемые процессы являются многопараметрическими, и выявление взаимосвязей и корреляций протекающих элементарных реакций является очень сложной, но необходимой процедурой исследования, что автор продемонстрировал последовательно и основательно в 7 главах работы.

К наиболее значимым достижениям можно отнести решение проблемы эффективного блокирования отрицательного канала связи процессов собственного термооксидирования  $InP$  и  $GaAs$  в ходе ступенчатого хемостимулированного синтеза, что предотвращает диффузию неокисленного индия в пленки (0,3-0,5 %  $In$  против 17% для собственного оксида), сегрегацию мышьяка на внутренней границе раздела (в 2-5 раз возрастает содержание мышьяка в виде  $As_2O_3, As_2O_5, [AsO_4]^{3-}$ ) и обеспечивает формирование наноразмерных слабопоглощающих ( $k = 0,02-0,06$ ) пленок с полупроводниковыми и диэлектрическими характеристиками (электрическая прочность до  $7 \times 10^6$  В/см).

Большой набор физических методов исследования структурного и химического составов формируемых пленок, в том числе с послойным анализом по толщине, дают основание считать полученные результаты достоверными и рекомендовать их для использования в учебных и научных монографиях и справочниках. Вместе с тем, необходимо иметь в виду, что большинство установленных промежуточных фаз являются метастабильными, и для воспроизведения результатов требуется строгий подход к алгоритму проведения экспериментов.

Заключительная часть автореферата посвящена систематизации полученных результатов, что представлено детальными схемами (рис. 9 и 12), табл. 7, а также схемами химических превращений (рис. 10 и 11).

Диссертация завершена выводами, которые свидетельствуют о том, что поставленные задачи исследования выполнены в полном объеме.

Как и всякая комплексная работа, настоящая диссертация не лишена логических недостатков, смысловых неопределенностей, стилистических неточностей, грамматических ошибок и описок:

1. Стр. 6. .... с собственными центрами интенсивного роста .....  
*надо* ..... с собственными центрами интенсивного роста ...

2. Не очень чистые исходные реагенты для формирования каталитически активных стимуляторов реакций:  
... содержанием основного вещества: V – 99,8%, Ni – 99,35%, Co – 99,8%,  
и Pb – 98,70%.

3. Некорректный стиль стр. 12:  
..... Для определения степени окисленности подложки....

4. В таблицах 1 и далее не расшифровано появление дробных величин:

.... 190/635..., ...205/336 ... ,

Табл. 2. .... 60/870 ...

5. Стр. 20. Пропуски частей слов после переноса:  
... этой величины с чением концентрации оксида ...  
... два раза по нению с собственным ....

6. При ограниченности допустимого объема текста автореферата имеется дублирование материала – рис. 6 и табл. 5.

7. Стр. 24. Схема (рис. 6.) содержит набор ячеек имеющих серый фон, но что это означает из автореферата не ясно.

8. Пункты 5 и 6 раздела «Цель работы» фактически повторяют предыдущие пункты.

9. Предложение первого абзаца на стр. 7 явно не закончено стилистически и по смыслу.

Отмеченные замечания не отражаются на представленных к защите положениях и не входят в противоречие с заключительными выводами, и, следовательно, не снижают общей положительной оценки диссертации. В целом диссертация является законченной исследовательской работой и удовлетворяет требованиям ВАК, предъявляемым к докторским диссертациям, а также п.п. 9-14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденным Постановлением Правительства РФ №

842 от 24.09.2013 г., в том числе и в отношении публикаций в соответствующих научных изданиях.

Работа широко представлена на различных российских и международных форумах. Автор диссертационной работы Томина Елена Викторовна заслуживает присуждения ей ученой степени доктора химических наук по специальности 02.00.01 – неорганическая химия.

Доктор химических наук,  
Главный научный сотрудник  
лаборатории Синтеза и роста кристаллов РЗЭ ИНХ СО РАН

Баковец Владимир Викторович



25.02.2017 г.  
630090, г. Новосибирск,  
Пр. Ак. Лаврентьева, 3;  
Тел. +7 (383) 330 8465  
e-mail: [becambe@niic.nsc.ru](mailto:becambe@niic.nsc.ru)

Подпись Баковца В.В. заверяю  
Ученый секретарь ИНХ СО РАН  
Доктор химических наук  
Герасько О.А.

