

ОТЗЫВ

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

Актуальность работы. В последние годы у нас в стране и за рубежом интенсивно развиваются технологии создания материалов, структур и изделий функциональной электроники нового поколения. Для современной функциональной электроники актуальны ПДП и МДП-структуры на основе полупроводников $A^{III}B^V$, а именно фосфида индия (InP) и арсенида галлия (GaAs), которые по целому ряду характеристик превосходят изделия на основе кремниевых технологий, но тем не менее близки к параметрам монокристаллического кремния, что дает возможность изготавливать на их основе гибридные приборы интегральной электроники, совместимые с кремнием. Полупроводниковые соединения типа $A^{III}B^V$ и гетероструктуры на их основе являются объектами для реализации одного из приоритетных направлений современной науки «Индустрия наносистем», способствуют развитию современных представлений неорганической химии, химии твердого тела и полупроводников на уровне наноразмеров, термодинамики и кинетики сложных гетерогенных процессов. Можно с уверенностью сказать, что к настоящему времени в научной и технической литературе отсутствуют предложенные автором комплексные исследования процессов и механизмов формирования МДП-структур на основе арсенида галлия и фосфида индия, включающие в себя создание физико-химических и технологических принципов получения и комплексное использование в виде наноструктурированных гетероструктур. В целом это позволяет создать возможности научного прогнозирования и целенаправленного получения структур и приборов со стабильными эксплуатационными характеристиками.

Научная значимость и научная новизна работы. Диссертантом реализован единый системный подход, включающий прогнозирование, синтез и технологическую реализацию научной разработки, учитывающей свойства тонкопленочного состояния вещества, что может стать основой целенаправленного создания тонкопленочных функциональных гетероструктур (в том числе и МДП, и ПДП) на полупроводниках $A^{III}B^V$, получения на них качественных полупроводниковых, диэлектрических пленок, улучшения свойств границ раздела полупроводник – диэлектрик (полупроводник) и диэлектрик (полупроводник) – окружающая среда, создания наноструктурированных композиционных материалов для современной микроэлектроники.

В работе диссертантом обоснован и реализован недорогой и технологически простой способ формирования МДП структур за счет изменения механизма процесса термооксидирования полупроводника $A^{III}B^V$ с собственного на хемостимулированный, где за счет хемостимуляторов направленно подавляются отрицательные каналы связи процессов собственного оксидирования $A^{III}B^V$

вследствие протекания новых реакций с кинетически сопряженными и гетерогенно-каталитическими стадиями.

Большой объем выполненных исследований и глубокий анализ полученных результатов позволили Томиной Е.В. выявить особенности влияния хемостимуляторов на термоокисдование полупроводников $A^{III}B^V$, установить механизмы воздействия и функциональные возможности хемостимуляторов, определяющих характеристики итогового продукта, в процессах ступенчатого синтеза полупроводниковых и диэлектрических пленок термическим окисдированием GaAs и InP с нанесенными наноразмерными слоями d- металлов Ni, Co, V и их оксидов.

Диссертантом установлено влияние совокупности взаимосвязанных факторов - природы хемостимулятора, способа его введения в систему и метода нанесения на поверхность полупроводника, природы полупроводниковой подложки - на механизм ступенчатого хемостимулированного синтеза, состав, структуру и свойства формируемых наноразмерных полупроводниковых и диэлектрических пленок. Установлен каталитический механизм термоокисдования гетероструктур V/InP и V_2O_5/InP (GaAs). Показано, что интенсивный рост оксидной пленки на начальном этапе окисдования InP осуществляется на островках V_2O_5 . Доказано эффективное кинетическое и химическое блокирование неокисленного индия в пленки, формирующиеся при окисдовании гетероструктур V_2O_5/InP и V_2O_5+PbO/InP , определяемое природой наносимого хемостимулятора. Термоокисдование гетероструктур V_2O_5+PbO/InP с увеличивающимся вкладом каталитической составляющей по мере возрастания содержания V_2O_5 в композиции протекает по транзитно-каталитическому механизму. Выявлены синергетические эффекты совместного воздействия оксидов в композициях V_2O_5+PbO и $NiO+PbO$ в процессах хемостимулированного окисдования фосфида индия.

Практическая значимость работы. Разработаны и предложены схемы процессов термоокисдования гетероструктур Me (Me = Ni,Co,V)/InP (GaAs), MeO (Me = Ni,Co,V)/InP (GaAs), (V_2O_5+PbO , $NiO+PbO$)/InP с идентификацией стадий по конечному продукту, отражающие транзитный и каталитический характер взаимодействия хемостимуляторов с компонентами полупроводников.

Предложены условия синтеза функциональных пленок на GaAs и InP, где выбор последовательности ступенчатого хемостимулированного играет определяющую роль в управлении составом и свойствами образующихся тонкопленочных гетероструктур и достижении целевых характеристик итогового продукта.

Научные результаты, представленные диссертантом на защиту, обоснованы теоретически и подтверждены большим количеством экспериментальных данных, что представляет интерес для неорганической химии, функционального материаловедения, электронного материаловедения, будут полезны для электронной техники, радиотехнических изделий, электротехнической и светотехнической промышленности, космической техники.

Выводы и результаты работы интерпретированы на высоком теоретическом уровне, ясно и четко изложены и доказывают обоснованность выдвинутых диссертантом на защиту положений.

Достоверность полученных результатов и их обоснованность не вызывают сомнений, так как доказаны применением широкого круга современных методов исследования: лазерной и спектральной эллипсометрии (ЛЭ, СЭ), рентгенофазового анализа (РФА), Оже-электронной спектроскопии (ОЭС), ультрамягкой рентгеновской эмиссионной спектроскопии (УМРЭС), рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (РФЭС), ИК спектроскопии (ИКС), локального рентгеноспектрального микроанализа (ЛРСМА), атомно-силовой (АСМ) и сканирующей туннельной микроскопии (СТМ), растровой электронной микроскопии (РЭМ).

Результаты работы имеют высокую степень апробации. Основные результаты работы представлены на международных и всероссийских съездах, конференциях, совещаниях, семинарах, опубликовано 30 статей в реферируемых журналах из Перечня ВАК, при этом 20 статей входит в базу данных Web of Science, а 3 статьи – в базу данных Scopus.

По материалу, представленному в автореферате, можно сделать некоторые замечания:

1. В седьмой главе автор утверждает, что физико-химическая природа хемостимулятора является одним из основополагающих факторов, определяющих механизм хемостимулированного оксидирования полупроводника. Приводит как пример разветвление процессов оксидирования при использовании d-элементов, проявляющих различную степень окисления и т.д. На рисунках 11, а и 11, б приведены реакции, которые протекают при оксидировании. Однако не сказано, какие из них являются лимитирующими в случае транзитного механизма и транзитно-каталитического.

2. За счет чего предотвращается деградация пленок в случае хемостимулированного термооксидирования полупроводников $A^{III}B^V$ по сравнению с собственным окислением подложек.

3. Хотелось бы пояснения к предложению «Доказательством легкости и обратимости перехода $V^{5+} \leftrightarrow V^{4+}$ является обнаружение методом РФА кислородных соединений ванадия V_3O_7 и V_4O_9 , выступающих участниками серии фазовых превращений: $V_2O_5 \rightarrow V_3O_7 \rightarrow V_4O_9 \rightarrow V_6O_{13} \rightarrow VO_2$. Обнаружение фаз не может являться доказательством «легкости» перехода.

4. Чем обусловлена активность nanoостровков V_2O_5 на поверхности InP?

5. Последний пункт научной новизны больше подходит к практической реализации работы.

Однако сделанные замечания не снижают достоверности полученных результатов и сделанных выводов, а также общего хорошего впечатления от автореферата.

Проведенные диссертантом фундаментальные исследования по установлению функций хемостимуляторов в процессах ступенчатого хемостимулированного синтеза и совокупность факторов, определяющих характеристики наноразмерных

полупроводниковых и диэлектрических пленок на GaAs и InP, позволили при формировании оксидных пленок детализировать корреляцию «способ синтеза – состав – структура – свойство» в тонкопленочных гетероструктурах.

Работа является научно-квалификационной, в которой на основании выполненных автором исследований разработаны теоретические положения, совокупность которых можно квалифицировать как научное достижение, позволяющее решить фундаментальную научную проблему и создать научную основу целенаправленного формирования функциональных наноразмерных пленок на полупроводниках $A^{III}B^V$.

Работа соответствует основным направлениям развития науки и техники РФ и перечню критических технологий, что подтверждает ее актуальность по специальности неорганическая химия. Проведенные исследования соответствуют паспорту специальности.

На основании вышеизложенного считаем, что по объему, актуальности, научной новизне и практической значимости результатов диссертационная работа Томиной Елены Викторовны соответствует критериям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора химических наук, изложенным в п. 9 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, вносит вклад в неорганическую химию развивая научные основы создания функциональных наноструктурированных материалов и структур для функциональной электроники и современной микроэлектроники, а соискатель заслуживает присуждения ей степени доктора химических наук по специальности 02.00.01 – неорганическая химия.

Профессор кафедры неорганической химии
Федерального государственного автономного
образовательного учреждения высшего
образования «Национальный исследовательский
Томский государственный университет», д.т.н.

Борило Людмила Павловна
17.02.2017

Почтовый адрес: 634040 г.Томск, прп.Ленина,36,
химический факультет,
Телефон: 83822529824 (раб.);
+79138205407(моб.);
e-mail: borilo@mail.ru

