

**ОТЗЫВ**  
**на автореферат диссертации Максумовой Абай Маликовны**  
**«Молекулярное наслаивание тонких пленок оксида молибдена, смешанных**  
**титан-молибденовых и алюминий-молибденовых оксидных пленок и их**  
**характеризация», представленной на соискание ученой степени кандидата**  
**химических наук по специальности:**  
**1.4.15 Химия твердого тела**

Диссертационная работа Максумовой Абай Маликовны посвящена синтезу тонких пленок на основе оксидов молибдена, титана и алюминия методом термоактивированного атомно-слоевого осаждения (молекулярного наслаивания). Кроме того, в данной работе исследована возможность получения молибденсодержащих оксидных покрытий ( $\text{MoO}_x$ ,  $\text{Ti}_x\text{Mo}_y\text{O}_z$  и  $\text{Al}_x\text{Mo}_y\text{O}_z$ ) с использованием в качестве источников молибдена галогенидных прекурсоров  $\text{MoOCl}_4$  и  $\text{MoO}_2\text{Cl}_2$ . Важно отметить, что создаваемые и исследуемые оксидные покрытия обладают высоким потенциалом применения, в частности, при изготовлении литий-ионных аккумуляторов, газовых сенсоров, устройств фотодетектирования. При этом, применяемый для синтеза оксидных пленок метод атомно-слоевого осаждения позволяет получать однородные покрытия с прецизионным контролем толщины вплоть до монослоя, что позволяет решать широкий спектр научно-прикладных задач. Таким образом актуальность данной диссертационной работы не вызывает сомнений.

Степень достоверности результатов работы подтверждается воспроизводимостью экспериментов, использованием современных методов исследования и комплексным анализом полученных данных. Основные результаты диссертационной работы неоднократно обсуждались на всероссийских и международных конференциях.

По результатам диссертации опубликовано 5 статей в рецензируемых журналах, входящих в список ВАК по специальности, и одновременно, индексируемых в WoS и Scopus; получен патент на изобретение.

К содержанию автореферата имеется ряд замечаний и пожеланий.

1. Чем обусловлен выбор температурного диапазона 115-180°C и его крайних значений для проведения всех экспериментов по синтезу оксидных пленок? В частности, на стр. 9 в третьем абзаце сообщается: «При 150°C и 180°C наблюдали линейный рост пленки с количеством МН циклов...». При этом, не совсем понятно был ли определен температурный диапазон реализации роста оксидных покрытий в режиме самоограничения?

2. На страницах 9 (третий абзац), 11 (четвертый абзац), 15 (первый абзац) для случаев синтеза различных оксидных покрытий сообщается: «Поверхностные реакции имели самоограничивающийся характер». Из представленных в тексте автореферата данных не понятно, проводились ли эксперименты, направленные на установление оптимальных длительностей подачи прекурсоров и последующих продувок реактора после подачи прекурсоров, при которых протекали полные химические превращения исходных реагентов в материал пленок, а также реализовывался режим самоограниченного роста?



3. На рисунках 1а, 5а и 5б в случае синтеза покрытий  $\text{MoO}_3$  и  $\text{Ti}_x\text{Mo}_y\text{O}_z$  заметно снижение массы в течение длительности последующей продувки до стадии подачи второго прекурсора, в то же время на рисунке 6 для случая синтеза пленок  $\text{Al}_x\text{Mo}_y\text{O}_z$  наблюдалось сохранение величины массы на протяжении практически всего времени цикла. С чем связано это обстоятельство?

4. На странице 12 в третьем абзаце сообщается: «Присутствие примесей углерода обусловлено загрязнением поверхности образцов при контакте с воздухом в промежутке между МН и РФЭС анализом». Согласно данным РФЭС анализа, были получены большие величины содержания примесей углерода. Так, в покрытиях  $\text{Ti}_x\text{Mo}_y\text{O}_z$  концентрация углерода составляла ~20 ат. % (страница 12), а для  $\text{Al}_x\text{Mo}_y\text{O}_z$  порядка ~25.74-31.32 ат. % (страница 15). При этом увеличение концентрации углерода в  $\text{Al}_x\text{Mo}_y\text{O}_z$  по сравнению с  $\text{Ti}_x\text{Mo}_y\text{O}_z$ , очевидно, связано с использованием металлоорганического прекурсора ТМА. В связи с этим, для более детального определения природы примесей углерода, хотелось бы увидеть результаты элементного анализа эталонных подложек кремния без покрытий.

5. В тексте автореферата присутствуют стилистические и синтаксические ошибки.

Вышеперечисленные замечания и пожелания ни в коем случае не снижают общую положительную оценку диссертационной работы Максумовой А.М. Диссертация «Молекулярное напыление тонких пленок оксида молибдена, смешанных титан-молибденовых и алюминий-молибденовых оксидных пленок и их характеристика» является завершенной научной работой, выполненной на высоком уровне. Содержание автореферата отвечает всем требованиям п. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Правительством РФ от 24 сентября 2013 г. № 842 (в действующей редакции), а её автор Максумова Абай Маликовна заслуживает присуждения ученой степени кандидата химических наук по специальности 1.4.15 Химия твердого тела

Кандидат технических наук

(05.27.06 – Технология и оборудование для производства полупроводников, материалов и приборов электронной техники)

Амбарцумов Михаил Георгиевич

Тел. +7-919-751-25-32

E-mail: mambartcumov@ncfu.ru

355017, г. Ставрополь, ул. Пушкина, 1

ФГАОУ ВО Северо-Кавказский федеральный университет.

Ведущий научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории технологии тонких пленок и наногетероструктур научно-лабораторного комплекса чистых зон Физико-технического факультета

31.01.2024

