

ОТЗЫВ

официального оппонента, Яценко Елены Альфредовны,
на диссертационную работу Минкина Александра Михайловича
«Технологические основы формообразования чувствительного элемента из
кварцевого стекла методом химического травления через текстурированное
молибденовое покрытие», представленную на соискание ученой степени кандидата
технических наук по специальности 05.17.01 – Технология неорганических веществ

Диссертационная работа Минкина Александра Михайловича «Технологические основы формообразования чувствительного элемента из кварцевого стекла методом химического травления через текстурированное молибденовое покрытие» выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет». Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы из 104 наименований, 1 приложения. Объем диссертации составляет 116 страниц, включая 51 рисунок и 15 таблиц.

Во введении изложены актуальность работы; степень разработанности темы исследования; актуальность задачи и научно-практическая ценность; цель и задачи; научная новизна; теоретическая и практическая значимость работы; методология и методы исследования; положения диссертации, выносимые на защиту; достоверность полученных результатов. Автор кратко излагает результаты внедрения результатов, апробации результатов исследования и публикации по теме диссертации.

В первой главе приводится литературный обзор по теме диссертационной работы. Автор подробно рассматривает существующие технологии формообразования деталей из кварцевого стекла, вопросы взаимодействия кварцевого стекла с защитными покрытиями и травильными реагентами, вопросы роста металлических защитных пленок и их свойства при различных технологических решениях. По результатам проведенного рассмотрения автор ставит задачи исследования.

Во второй главе описаны материалы, оборудование и методы исследования. Автор останавливается на вопросах подготовки подложек, нанесения защитных покрытий, использованных аналитических и численных методах исследования. Следует отметить соответствие инструментального оборудования, методологии исследований и численных методов мировому уровню.

Третья глава диссертации Минкина А.М. посвящена исследованиям формирования защитных пленок из молибдена методом магнетронного напыления на поверхности кварцевого стекла. Автор рассматривает в качестве модели адсорбцию атомов молибдена на поверхности (001) α -кварца после чего переходит к

вопросу роста пленок молибдена с определенной кристаллографической ориентацией на аморфной подложке из оксида кремния. Далее автор рассматривает свойства полученных молибденовых покрытий, необходимых для решения конкретных прикладных задач создания кварцевых деталей определенной формы методом травления. Так исследованы размеры областей когерентного рассеяния и микродеформаций, механические свойства, образование точечных дефектов на поверхности подложки из кварцевого стекла. В результате автор делает выводы о возможных технических решениях для создания технологии формообразования изделий из кварцевого стекла предложенным методом.

Четвертая глава диссертации посвящена практической реализации полученных результатов исследования, а именно вопросам технологии формообразования структур кварцевого чувствительного элемента методом химического травления. Автор предлагает групповую технологию глубокого объемного травления деталей из стекла и приводит технико-экономическую оценку эффективности результатов внедрения групповой технологии получения деталей из кварцевого стекла.

В заключении автор приводит выводы и дает рекомендации по результатам проведенной исследовательской работы и практического результата проведенных исследований. Далее в диссертации приводится список сокращений и условных обозначений, дан список использованной литературы и в приложении представлен акт внедрения.

На основании изучения диссертации и опубликованных Минкиным А.М. работ по теме диссертации можно считать, что тема диссертационной работы обладает актуальностью вследствие освоения нового направления технологии неорганических веществ по точному и качественному формообразованию из высокочистых неорганических продуктов. Обоснованность научных положений и достоверность результатов обусловлена применением адекватного научной практике исследовательского и аналитического аппарата, а также практической реализацией полученных результатов на реальном производстве. Достоверность полученных результатов обеспечивается применением современного оборудования и апробированных методов исследования, а также воспроизводимостью экспериментальных результатов. Научная новизна работы заключается в обосновании условий получения молибденовых покрытий определенной ориентации, в частности текстур зарождения (110) и роста (211), а также выявлении свойств полученных покрытий, применительно к вопросам травления. Значимость полученных автором диссертации результатов для развития направлений современной науки, связанных с формообразованием изделий из кварцевого стекла методом химического травления, подтверждается полученными в ходе исследований данными о закономерностях формирования ориентированных пленок молибдена в процессе магнетронного распыления.

Тема и содержание диссертации соответствуют формуле паспорта специальности 05.17.01 – Технология неорганических веществ в части пункта 1 «Производственные процессы получения неорганических продуктов: ... высокочистые неорганические продукты...» и пункта 2 «Технологические процессы изменения состава, состояния, свойств, формы сырья, материала в производстве неорганических продуктов», а также соответствуют области исследований в части пункта 2 «Явления переноса тепла и вещества в связи с химическими превращениями в технологических процессах» и пункта 4 «Способы и последовательность технологических операций и процессов переработки сырья, промежуточных и побочных продуктов... в неорганические продукты».

Содержание диссертационной работы Минкина А.М. соответствует пп. 10-11 Постановления «О порядке присуждения ученых степеней»: внутреннее единство и стиль диссертации свидетельствуют о написании автором работы самостоятельно. Новые научные результаты и положения, выдвигаемые для публичной защиты, касающиеся разрабатываемой автором технологии формообразования изделия из кварцевого стекла методом химического травления, свидетельствуют о личном вкладе автора диссертации в науку.

Диссертация носит прикладной характер и полученные автором научные результаты используются на реальном производстве на предприятии ПАО «Пермская научно-производственная приборостроительная компания» (г. Пермь) в групповой технологии глубокого объемного травления деталей из высокочистых неорганических материалов.

Количество и полнота публикаций соответствует предъявляемым требованиям. Основные научные результаты диссертации опубликованы в рецензируемых научных изданиях.

Результаты, полученные в диссертационной работе, могут быть интересны для специалистов в области технологии неорганических веществ и рекомендованы к использованию на производствах для направленного изготовления высокочистых неорганических продуктов сложной формы.

Тем не менее, по диссертации Минкина А.М. имеется ряд замечаний.

1. Не рассмотрена возможность кристаллизации кварцевых стекол в процессе нанесения молибденовых покрытий методом магнетронного напыления, несмотря на тот факт, что особенно в процессах адсорбции, кристаллические образования на поверхности кварцевого стекла могут служить центрами кристаллизации для формирования в массиве подложки зон со структурой кварца или кристобалита.

2. При обсуждении реакции вытеснения атомарного водорода атомами молибдена на гидроксильной поверхности автор не учитывает возможность замещения одним атомом молибдена нескольких атомарных водородов, что существенно изменит энергию адсорбции атомов молибдена (пункт диссертации

3.1.2. Энергия адсорбции атомов молибдена). Насколько, по мнению автора, возможен такой механизм и как сильно он повлияет на процесс адсорбции?

3. Как автор объяснит пилообразный характер зависимости величины свободной энергии образования двухслойного зародыша $\Delta G_{(100)}$ на Рисунке 3.9, несмотря на аналитический вид соответствующей формулы 3.2, предполагающий монотонный характер зависимости?

4. В области практического применения результатов исследования автор описывает технологию формообразования структуры кварцевого многослойного элемента с индивидуальными элементами размерами 20-25 мкм. Какая, по мнению автора, «разрешающая способность» предложенной технологии, какие формы минимального размера можно получить и возможно ли дальнейшее снижение размеров элементов изготавливаемых форм?

5. При оформлении диссертации автору следовало бы обращать внимание на оформление рисунков. Например, на микрофотографиях (Рисунок 3.6) следовало бы более контрастно изображать масштабный отрезок, а на Рисунке 4.2 вообще отсутствует масштабная шкала.

6. Автор рассматривал различные способы повышения скорости травления кварцевого стекла во фторсодержащем травителе, например, за счет введения полярных и протогенных растворителей т.к. длительное время травления, может привести к образованию точечных дефектов (пинголов) на поверхности стекла, однако в технологии предлагается использовать концентрированный раствор фтороводородной кислоты (46-49 масс.%). Чем был обусловлен выбор автора?

Имеются и другие замечания, не носящие принципиального характера. Сделанные замечания не изменяют общей высокой оценки проведенных исследований. Рецензируемая работа представляет собой законченное в рамках поставленных задач научное исследование, в котором изложены новые научно обоснованные технические и технологические решения и разработки, имеющие существенное значение для развития страны в области технологии неорганических веществ и соответствует паспорту специальности 05.17.01.

Хотелось бы отметить, что недостатки и замечания теоретического плана в полной мере компенсируются практической значимостью полученных результатов исследования.

Заключение.

В целом, диссертация Минкина Александра Михайловича соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям «Порядком присуждения ученых степеней в ПНИПУ», как научно-квалификационная работа, в части п. 9, в которой изложены новые научно обоснованные технические и технологические решения, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие страны. Диссертация написана самостоятельно обладает внутренним

единством, содержит новые научные результаты и положения, свидетельствует о личном вкладе автора в науку, в диссертации приводятся сведения о практическом использовании научных результатов. Автор диссертации, Минкин Александр Михайлович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.17.01 – Технология неорганических веществ.

Официальный оппонент:

доктор технических наук, профессор,
ФГБОУ ВО «Южно-Российский государственный
политехнический университет (НПИ)
имени М.И. Платова», заведующая
кафедрой «Общая химия и
технология силикатов»

«29 июля 2020



Яценко
Елена Альфредовна

Подпись профессора Яценко Е.А. заверяю



Ученый секретарь Совета

Холодкова
Нина Николаевна

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова»

Адрес университета: 346428, Россия, Ростовская обл., г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132.

Тел.: 8 (86352) 55-1-35

E-mail: e_yatsenko@mail.ru