

## ОТЗЫВ

Петухова Дмитрия Игоревича на автореферат диссертации  
Минкина Александра Михайловича  
«ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНОГО  
ЭЛЕМЕНТА ИЗ КВАРЦЕВОГО СТЕКЛА МЕТОДОМ ХИМИЧЕСКОГО  
ТРАВЛЕНИЯ ЧЕРЕЗ ТЕКСТУРИРОВАННОЕ МОЛИБДЕНОВОЕ ПОКРЫТИЕ»

представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.17.01 – Технология неорганических веществ

Целью работы А.М. Минкина является разработка технологических основ получения кварцевого чувствительного элемента (ЧЭ) акселерометра методом химического травления во фтороводородной кислоте через текстурированное защитное молибденовое покрытие. Актуальность выбора цели данной работы обусловлена необходимостью повышения технологичности, улучшения точности и качества микрообработки конструкционных неорганических материалов, используемых в микро-/нано-электромеханических системах, а также датчиков приборов контроля и мониторинга. Кроме того, совершенствование способа прецизионной обработки неорганических материалов будет способствовать расширению круга практического применения химического травления в жидких средах.

Для достижения поставленной цели автором разработаны технологические основы формообразования структур кварцевого ЧЭ методом химического травления через текстурированное защитное молибденовое покрытие, оценено влияние кристаллографической текстуры и микроструктуры пленок молибдена на формирование точечных дефектов на поверхности кварцевой подложки, исследованы особенности зарождения ориентированных кристаллитов молибдена на аморфной подложке, установлены зависимости структуры и текстуры от технологических параметров процесса магнетронного распыления на постоянном токе.

Научная новизна проведенного исследования заключается в установлении факта, что независимо от уровня пересыщения в системе, кристаллиты, сформированные на начальном этапе, имеют ориентацию  $(1\ 1\ 0)$ . Выявлено, что снижение количества точечных дефектов удается добиться за счет использования защитных покрытий с низким уровнем микродеформаций, а также текстурой роста  $(2\ 1\ 1)$ , формирующейся в результате перестройки структуры зарождения. Установлено, что повышение давления рабочего газа в процессе магнетронного напыления снижает на 30-40% толщину пленки молибдена при которой происходит смена ориентации начальной текстуры  $(1\ 1\ 0)$  на текстуру роста  $(2\ 1\ 1)$ .

Практическая значимость данной работы заключается в практической реализации оригинальной технологии изготовления чувствительного элемента акселерометра, определение технологических режимов и предпочтительной ориентации текстурированной молибденовой маски, разработке методики оценки уровня пересыщения процесса магнетронного напыления с учетом влияния различных технологических параметров. Произведены теоретические расчеты энергии адсорбции атома молибдена на различных поверхностных, которые могут быть использованы для предсказания тенденций зародышеобразования молибдена на поверхности  $\text{SiO}_2$ . Личный вклад автора и оригинальность полученных результатов подтверждены апробацией на всероссийских и международных конференциях, а также публикациями в высокорейтинговых научных журналах.

По тексту автореферата необходимо сделать следующие замечание:

На рисунке 1 значения текстурных коэффициентов и степени преимущественной ориентации приведены без указания доверительного интервала определения данных значений, что не позволяет корректно оценить полученные зависимости

В тексте автореферата отсутствует объяснение причин изменения ориентации пленки молибдена от (1 1 0) к (2 1 1) с увеличением толщины напыленного слоя.

Несмотря на сделанные частные замечания, работа Александра Михайловича Минкина является законченным научным трудом с новыми и оригинальными результатами. Она удовлетворяет требованиям положения ВАК о присуждении ученых степеней, а её соискатель заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.17.01 – Технология неорганических веществ.

Старший научный сотрудник  
Кафедры неорганической химии  
Химического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова  
к.х.н.

Петухов Д.И.

Отзыв и подпись Петухова Д.И. заверяю  
Декан Химического Факультета  
МГУ имени М.В.Ломоносова  
Член-корр. РАН

Кальков С.Н.

Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова»  
Адрес: 119991, Москва, ГСП-1, Ленинские горы  
Тел: +7 (495) 939-16-71  
Дата 3 августа 2020



»