

## Отзыв

официального оппонента на диссертацию " СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ТОНКОПЛЕНОЧНОГО ДИОКСИДА ТИТАНА, МОДИФИЦИРОВАННОГО НИОБИЕМ, ИНДИЕМ И ОЛОВОМ», представленную Лобановым Михаилом Викторовичем на соискание ученой степени кандидата химических наук по специальности 02.00.21 – химия твердого тела.

**Актуальность работы** связана с развитием физико- химических основ синтеза прозрачных проводящих покрытий на основе пленок оксида титана для приборов оптоэлектроники, а также с выявлением взаимосвязи между условиями их синтеза, составом, структурой и необходимыми функциональными свойствами.

В работе получены следующие основные результаты:

- 1) Разработан способ магнетронного распыления, позволяющий воспроизводимо формировать оксидные пленки сложного состава в диапазоне толщин от 5 до 800 нм с параметром однородности не хуже 1%.
- 2) Изготовлен трехпозиционный магнетронный источник, сконструированный на базе оригинального магнитного блока.
- 3) Изучены особенности фазового состава и оптических свойств оксидных пленок, полученных в процессе термического оксидирования титана.
- 4) Установлена взаимосвязь между условиями синтеза, составом, структурой и необходимыми оптическими и электрофизическими свойствами пленок на основе оксида титана .
- 5) изучено влияние примесей ниобия, индия и олова на микроструктуру, состав, оптические и электрофизические свойства пленок на основе оксида титана.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, выводов, списка литературы.

**В первой главе** рассматриваются этапы роста тонких пленок, химия процессов их оксидирования, оптические и электрофизические свойства пленок. Показываются возможности легирования пленок оксида титана различными примесями, а также их практического применения в качестве прозрачных проводящих покрытий.

**Во второй главе** описываются основные способы формирования тонких пленок - метод магнетронного распыления металлов в аргоне с последующим термическим оксидированием и метод реактивного магнетронного распыления. Важное внимание

уделяется физико-химическим методам диагностики состава, структуры и свойств пленок. Для реализации методов формирования пленок создана полуавтоматическая установка с трехпозиционным источником. Использование саморегулирующейся системы подачи газов и современных источников питания позволило в рамках одного цикла воспроизводимо формировать гладкие и равномерные по толщине пленки.

**Третья глава** посвящена изучению состава, структуры и свойств нелегированных пленок диоксида титана, сформированных методами магнетронного распыления в аргоне с последующим термическим оксидированием, а также реактивного магнетронного распыления. Изучена зависимость толщины получаемых структур от времени распыления при постоянных значениях силы тока и напряжения разряда. Оценена стабильность модификации анатаза в процессе термической обработки, а также установлена температура, при которой она переходит в высокотемпературную фазу рутила,

**В четвертой главе** диссертационной работы описываются результаты исследования структуры и свойств пленок диоксида титана, легированных ниобием, индием и оловом. Легирование происходило непосредственно в процессе формирования пленок. Поверхность пленки титана, модифицированной ниобием, была гладкой и равномерной по толщине. В пленках же, легированных индием и/или оловом наблюдались островковые образования, которые могли возникнуть из-за высокой скорости распыления и низкой температуры плавления In и Sn.

В отличие от пленок, полученных методом магнетронного распыления в среде аргона с последующим оксидированием, пленки, полученные реактивным магнетронным распылением, обладали гладкой поверхностью. При термическом окислении легированные пленки кристаллизуются в структуре рутила. Легированные пленки, сформированные методом реактивного напыления, имеют аморфную структуру. Однако рентгенограммы пленок диоксида титана, легированного одновременно оловом и ниобием имеет ярко выраженное гало с дифракционными отражениями соответствующими диоксиду титана в структуре анатаза. Результаты определения оптических свойств и температурной зависимости сопротивления показали, что введение индия, ниобия и олова позволяет регулировать зонную структуру оксида титана в структуре анатаза, сохраняя высокий коэффициент прозрачности в видимом диапазоне спектра.

Качество использованного оборудования и материалов, разумная организация эксперимента, высокий уровень обработки и анализа данных, соответствие результатов

эксперимента литературным данным свидетельствуют о достоверности полученных в диссертации результатов и выводов.

**Практическая значимость диссертационной работы** состоит в том, что полученные результаты позволяют разработать низкотемпературный синтез нового поколения прозрачных проводящих покрытий на основе оксидов титана. Предложенная конструкция магнетронного распылительного источника может быть использована для формирования однородных по толщине тонкопленочных покрытий. Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России в рамках государственного задания ВУЗам в сфере научной деятельности на 2014-2016 годы. (Задание №3.130.2014/К) и гранта РФФИ (госконтракт № 13-03-97501). Получен Патент на изобретение (№ 2528536 RU МПК C23C14/35, H05H1/10).

По содержанию диссертации хотелось бы сделать **следующие замечания.**

- а) Не рассмотрен механизм легирования диоксида титана ниобием, индием и оловом, а также особенности взаимодействия  $TiO_2 + In(Nb,Sn)$  и соответствующие фазовые диаграммы.
- б) Недостаточно четко объяснено влияние условий синтеза на образование модификаций диоксида титана- анатаза или рутила.
- в) Для доказательства образования оксида титана  $Ti_3O$  полезно было бы более подробно представить результаты рентгенофазового анализа.

Работа Лобанова Михаила Викторовича вносит серьезный вклад в развитие химии твердого тела и материаловедение, Диссертация является законченной квалификационной работой, решающей важную научную задачу развития физико- химических основ синтеза прозрачных проводящих покрытий на основе пленок оксида титана для приборов оптоэлектроники, а также задачу выявления взаимосвязи между условиями синтеза, составом, структурой и необходимыми функциональными свойствами.

Считаю, что по новизне и актуальности полученных результатов, уровню их обсуждения и практической значимости диссертация Лобанова Михаила Викторовича в полной мере соответствует критериям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, установленным в п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением правительства РФ (от 24 сентября 2013 г. N 842). Ее автор

- Лобанов Михаил Викторович - заслуживает присуждения ученой степени кандидата химических наук по специальности 02.00.21 – химия твердого тела.

Результаты исследований автора опубликованы в ведущих научных российских журналах, доложены на отечественных конференциях.

Текст диссертации соответствует автореферату. Результаты работы следует рекомендовать использовать в ИМЕТ РАН, ИКАН РАН, ИНХ РАН, ИХТТ УрО РАН и других заинтересованных организациях.

Официальный оппонент доктор химических наук,  
профессор химического факультета Московского государственного  
университета имени М.В. Ломоносова, Лауреат Государственной премии  
в области науки и техники,

*В. Зломанов*

В.П. Зломанов

Декан химического факультета МГУ  
имени М.В. Ломоносова,  
академик РАН



*В.В. Лунин*

06 мая 2015 года

*Контактная информация: официальный оппонент - Зломанов Владимир Павлович;  
место работы: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования «Московский государственный университет имени М.В.  
Ломоносова», адрес: 119991, Российская Федерация, г. Москва, Ленинские горы, д. 1;  
телефон: 8 (495) 939-20-86; адрес электронной почты: zlomanov@inorg.chem.msu.ru*