

ОТЗЫВ

официального оппонента
на диссертацию Аль Хайлани Хассан Исмаил Дамбоса
«Влияние условий формирования на особенности атомного строения и
оптических свойств широкозонных полупроводниковых микро- и
наноструктур MoO_3 и MoS_2 »,
представленную на соискание ученой степени кандидата физико-
математических наук по специальности
01.04.10 – физика полупроводников

Актуальность и ценность работы для практики. Объектами исследования диссертации Аль Хайлани Хассан Исмаил Дамбоса являются конденсаты MoO_3 и MoS_2 , полученные методом газофазного синтеза в проточном реакторе. Данные соединения являются полупроводниками и обладают большим потенциалом практического применения. Пленки оксида молибдена в силу оптической прозрачности перспективны в качестве интеллектуальных покрытий на окнах и устройствах отображения. Сульфид молибдена может быть получен в виде двумерных слоёв, аналогичных графеновым, при этом, обладая полупроводниковыми свойствами, способен наряду с графеном стать основой для создания нового типа нанoeлектронных устройств. Важно то, что как структура, так и физические свойства данных соединений чувствительны к условиям и режимам их получения. Поэтому тема диссертации, посвященной исследованию влияния условий формирования на структуру, морфологию и оптические свойства конденсатов MoO_3 и MoS_2 , является, без сомнения, важной и актуальной.

Тема диссертации соответствует перечню "приоритетных направлений развития науки, технологий и техники в Российской Федерации", раздел 2 – "Индустрия наносистем", и перечню "критических технологий Российской Федерации", раздел 11 - "Технологии диагностики наноматериалов и наноустройств" и 17 – "Технологии получения и обработки функциональных наноматериалов". Работа выполнена как часть комплексных исследований, проводимых в ВГУ при выполнении гранта Минобрнауки России в рамках государственного задания ВУЗам в сфере научной деятельности на 2017-2019 годы (проекты № 3.6263.2017/ВУ и № 16.8158.2017/8.9).

Научная новизна. В диссертации Аль Хайлани Хассан Исмаил Дамбоса получены результаты, обладающие научной новизной. К таким результатам можно отнести следующее:

- показано, что при газотранспортном синтезе MoO_3 , проводимом при 1100°C примеси водорода и кислорода из паров воды H_2O или азота и кислорода из N_2O не изменяют основную слоистую орторомбическую структуру микрокристаллов $\alpha\text{-MoO}_3$ (Pbnm), но уменьшают значение ширины запрещенной зоны до 2.95 eV и 2.86 eV , соответственно;

- обнаружено, что после механического воздействия в виде растирания в порошках из микрокристаллов MoO_3 , синтезированных при температуре 1100°C с добавлением паров воды или закиси азота к газу-носителю аргону, наряду с основной орторомбической α -фазой Pbnm появляется вторая моноклинная β -фаза $\text{P}2_1/\text{n}$;

- установлено, что структурная модификация дисульфида молибдена MoS_2 , формирующегося при газотранспортном переносе паров серы на металлические пластины молибдена, зависит от температуры процесса: при 800°C формируется гексагональный MoS_2 ($\text{P6}_3/\text{mmc}$), при 1000°C образуется ромбоэдрической (тригональной) дисульфат молибдена (R3m);

- с помощью газотранспортного метода получены фракталоподобные структуры MoS_2 , характеризующиеся минимальным значением частоты моды внутрислоевых колебаний $E_{2g}^1 = 377.5\text{ cm}^{-1}$ по сравнению со всеми ранее известными значениями для этой моды.

Практическая значимость. Полученные в работе результаты позволяют определять режимы и условия формирования MoO_3 и MoS_2 для создания требуемой морфологии у конденсатов и влияния на ширину запрещенной зоны образующихся структур. Для получения исследованных наноструктурированных объектов использован метод газотранспортного синтеза, позволяющий масштабировать полученные в диссертации результаты и наносить материал с заданными свойствами на большие по площади поверхности, что делает практическое применение результатов работы вполне реальным.

Обоснованность научных положений и выводов, сформулированных в диссертации.

Достоверность полученных в диссертации данных обусловлена использованием высокоточных современных приборов, применением независимых методов обработки данных, воспроизведении обнаруженных эффектов и использовании современного программного обеспечения для их анализа. Численные оценки, сделанные на основе анализа оптических спектров и результатов Рамановской спектроскопии хорошо согласуются с литературными данными, полученными на похожих объектах.

Все выводы и научные положения, сформулированные в работе, обоснованы, подтверждены прямыми и косвенными исследованиями, согласуются с полученными экспериментальными результатами и литературными данными.

Результаты диссертации прошли апробацию на Всероссийских конференциях. Основные научные результаты достаточно полно отражены в публикациях, в том числе, в трех статьях опубликованных в журналах, рекомендованных ВАК РФ, в числе которых две статьи опубликованы в академических журналах, рецензируемых в системах WoS и SCOPUS.

Вместе с тем, имеются следующие замечания:

1. Приводя описание метода получения образцов оксида молибдена автор не указывает на каких именно подложках происходила окончательная конденсация материала (молибден, слюда или какой-либо другой материал, например стекло). В связи с этим можно лишь предполагать, что дифрактограммы от образцов MoO_3 , находящихся в исходном состоянии, "сняты" на объектах, отделенных от подложки. Кроме того, на дифрактограммах от исходных образцов (рис. 19-22) отчетливо проявляется гало в области 20-24 градусов. После растирания образцов это гало частично или полностью исчезает. В работе никак не обсуждается этот момент.

2. В работе не приводится мотивация для чего происходило растирание образцов и последующее изучение их структуры.

3. По данным рентгеноструктурного анализа образцы сульфида молибдена, сформированные в результате газотранспортного синтеза при температу-

рах 900 °С и 1000 °С, содержат оксид молибдена. Из текста работы не ясно, что могло быть источником кислорода в реакторе.

4. На рисунках 37-40 приводятся данные АСМ по исследованию морфологии поверхности тонких конденсатов сульфида молибдена. В тексте сказано, что морфология чувствительна к температуре синтеза и времени конденсации. Однако лишь для одного типа морфологии приводится температура синтеза - 600 °С. Для всех других вариантов морфологии сведения об условиях получения отсутствуют. Можно лишь предполагать, что с номером рисунка температура или длительность осаждения последовательно возрастают.

5. Автор предполагает, что на поверхности слюды происходит формирование сплошного и большого по площади однослойного или двухслойного покрытия из сульфида молибдена. То есть реализуется механизм послойного роста или рост "по Крастанову-Странскому". Для подтверждения этого следовало бы привести значения поверхностных энергий слюды и сульфидов молибдена. В отсутствие таких цифр, следуя приведенным изображениям АСМ, можно предполагать, что зарождение, скорее всего, идет по островковому механизму, когда формируются двумерные островки, причем их размеры, морфология и структура зависят от толщины (числа слоёв) и от температуры.

5. Есть некоторые замечания к оформлению работы:

- на дифрактограммах от образцов Mo-S (Рис. 26-31) не приводятся ни индексы Миллера, ни фазы, от которых формируются дифракционные пики, что затрудняет анализ приведённых результатов;

- ошибочны нумерации рисунков на стр. 83, 89, 90;

- описание в тексте и подпись к рис. 42 не соответствуют друг другу;

- встречаются неудачные или несогласованные фразы, например, "...В настоящее время MoS₂ добился прогресса ...", "...Целью настоящего раздела является показать влияние толщины...".

Заключение. Несмотря на сделанные замечания общее впечатление о диссертации положительное. Полученные результаты изложены грамотно, последовательно и логично, с использованием соответствующей научной терми-

нологии. Выводы работы обоснованы и подтверждаются экспериментальными данными.

Автореферат правильно отражает содержание диссертации.

Диссертация Аль Хайлани Хассан Исмаил Дамбоса, представленная на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение ряда задач, имеющих существенное значение для физики полупроводников.

Диссертация «Влияние условий формирования на особенности атомного строения и оптических свойств широкозонных полупроводниковых микро- и наноструктур MoO_3 и MoS_2 » соответствует критериям, установленным «Положением о присуждении ученых степеней», предъявляемым к кандидатским диссертациям, содержание диссертации соответствует научной специальности 01.04.10, а ее автор, Аль Хайлани Хассан Исмаил Дамбос, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.10 - «Физика полупроводников».

Официальный оппонент,

доктор физико-математических наук, профессор, профессор кафедры Физики твердого тела ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет».



Стогней Олег Владимирович

Адрес: Россия, 394026, г. Воронеж, ул. Московский проспект, 14

Телефон: +7(473) 246-66-47

e-mail: stognei@cchgeu.ru

Проректор по научной работе ВГТУ



И.Г. Дроздов