

ОТЗЫВ

на автореферат диссертационной работы «Влияние условий формирования на особенности атомного строения и оптических свойств широкозонных полупроводниковых микро- и наноструктур MoO_3 и MoS_2 », Аль Хайлани Хассана Исмаила Дамбос, представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.10 – физика полупроводников

Диссертация Аль Хайлани Хассана Исмаила Дамбос посвящена *актуальным* проблемам исследования особенностей атомного и электронного строения широкозонных полупроводниковых микро- и наноструктур MoO_3 и MoS_2 , полученных в разных технологических условиях газотранспортного синтеза.

Триоксид молибдена MoO_3 является перспективным полупроводниковым материалом из-за широкого набора интересных свойств, обусловленных его стехиометрией и способами получения, включая фоточувствительные и каталитические свойства, которые находят применение в электронных устройствах отображения, оптических запоминающих устройствах, газовых датчиках и литиевых батареях. В зависимости от способа получения MoO_3 ширина запрещенной зоны прямозонного полупроводника изменяется в интервале 3,3 - 3,8 эВ.

Дисульфид молибдена MoS_2 интересен благодаря возможности получить контролируемое количество молекулярных слоев исходных структур. Они рассматриваются в качестве двумерных 2D материалов, которые могут дополнить графен, не имеющий запрещенной зоны, для создания устройств опто- и наноэлектроники. Мономолекулярные слои MoS_2 обладают запрещенной зоной 1.84 эВ прямозонных переходов, в отличие от мультислоевых и объемных непрямозонных.

Анализ автореферата показывает, что диссертационная работа Аль Хайлани Хассана Исмаила Дамбос представляет собой научно – квалификационную работу, направленную на решение крупной научной задачи, отличается научной новизной и практической значимостью полученных результатов. Работа представляет собой законченное, целостное исследование, вносящее существенный вклад в физико-химический синтез новых многофункциональных материалов. В диссертационной работе содержатся полученные ряд результатов, отличающихся существенной новизной и имеющих важное фундаментальное и прикладное значение.

Из наиболее значимых **научных результатов**, полученных автором диссертационного исследования, можно выделить следующие:

1. Определена температура синтеза (800°C) моноклинного триоксида молибдена метастабильной фазы $\beta\text{-MoO}_3$ (пространственная группа $P 2_1/n$) при наличии паров воды в газотранспортной среде, с уменьшенной шириной запрещенной зоны $E_g=2.68$ эВ.

2. Показано, что при максимально высокой температуре синтеза 1100°C вырастают микрокристаллы $\alpha\text{-MoO}_3$ с основной орторомбической структурой ($P bnm$), имеющие меньшие значения ширины запрещенной зоны непрямозонных переходов 2.68 эВ и 2.51 эВ соответственно, обусловленные влиянием примесей водорода и кислорода из паров воды H_2O или азота и кислорода из N_2O .

3. Показано, что при механическом воздействии в виде растирания в порошках из микрокристаллов MoO_3 , синтезированных при высокой 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 $P 2_1/n$;

4. Определена температура синтеза микрокристаллов MoO_3 , (800°C), при которой они оказываются более устойчивыми к механическим воздействиям, и после растирания содержат одну исходную фазу: орторомбическую α -фазу ($P bnm$) в случае аргон-кислородной газотранспортной среды или моноклинную β -фазу ($P 2_1/n$) в случае добавления паров воды к основному газу-носителю аргону.

5. Установлено, что в процессе формирования сульфидов молибдена при газотранспортном переносе паров серы на металлические пластины молибдена при различных температурах синтеза в горячей зоне кварцевого реактора при высоких температурах в интервале $800^\circ\text{C} - 1000^\circ\text{C}$ на пластинах молибдена образуются дисульфиды молибдена MoS_2 различных модификаций/политипов: гексагональной $P63/mmc$ при 800°C и ромбоэдрической (тригональной) $R3m$ при 1000°C .

6. Впервые газотранспортным методом получены фракталообразные структуры MoS_2 с минимальным значением частоты моды внутрислоевых колебаний $E_{2g}^1 377.5 \text{ см}^{-1}$ по сравнению со

всеми ранее известными значениями для этой моды.

Практическая значимость работы заключается в возможности использования результатов работы при формировании микрокристаллов и низкоразмерных структур, обладающих различной морфологией и регулируемой шириной запрещенной зоны

Текст автореферата написан технически грамотным языком, демонстрирующим высокую эрудицию автора, приведенные СЭМ изображения и дифрактограммы информативны и логично связаны с текстом, одновременно дополняя его. Постановка задач, их разработка, обобщение, теоретические и практические выводы свидетельствуют о высоком научном уровне соискателя. Положения, выносимые на защиту хорошо обоснованы и убедительны, личный вклад автора диссертации в разработку этих положений и результатов не вызывает сомнений, а сами результаты прошли апробацию на Всероссийских научных конференциях. Диссертация, несомненно, вносит существенный вклад в решение крупной научной проблемы в области получения полупроводниковых материалов, расширяющих отечественную электронную компонентную базу. Автореферат максимально полно отражает суть диссертации, ее актуальность, научную и практическую значимость

По теме диссертации опубликовано 6 работ, в том числе: 3 статьи в научных изданиях, рекомендованных ВАК для публикации результатов диссертационных работ, в числе которых 2 работы опубликованы в академических журналах, индексируемых в системах *WoS* и *Scopus*, 3 тезисов опубликованы в сборниках трудов конференций.

Замечания по тексту автореферата.

1. Траптовка изображения на рисунке 8 как упорядоченного массива квантовых точек, считаю некорректной, поскольку существование в них эффекта квантового ограничения не доказано. К тому же при размерах порядка 50 нм оно весьма сомнительно.

2. Оптическим свойствам уделено мало внимания, не смотря на уникальность оптических свойств данных материалов. В частности отсутствует информация о коэффициенте преломления данных материалов.

Полученные автором результаты, их достоверность и новизна, обоснованность научных положений и выводов, приводят к заключению о том, что диссертационная работа «Влияние условий формирования на особенности атомного строения и оптических свойств широкозонных полупроводниковых микро- и наноструктур MoO_3 и MoS_2 » соответствует всем требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением правительства РФ № 842 от 24 сентября 2013 г., а ее автор Аль Хайлани Хассана Исмаила Дамбос заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.10– физика полупроводников.

Сахаров Юрий Владимирович
Доктор технических наук,
специальность 01.04.04 – Физическая электроника,
Доцент кафедры физической электроники,
Федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего
образования «Томский государственный университет
систем управления и радиоэлектроники», ФГБОУ ВО ТУСУР

Сахаров Ю.В.

Адрес: 634050, г. Томск, пр. Ленина 40
Телефон: (3822) 51-05-30
Факс: (3822) 51-32-62
e-mail iurii.v.sakharov@tusur.ru



Подпись Сахарова Ю.В. удостоверяю
Ученый секретарь

Прокопчук Е.В.