

ОТЗЫВ

официального оппонента о диссертации

Аль Хайлани Хассан Исмаил Дамбос

«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.

Двумерные (2D) слоистые материалы, такие как оксиды или халькогениды переходных металлов (например, MoO_3 , MoS_2 , MoSe_2 , WS_2) привлекают большое внимание исследователей. Причиной этого является обнаруженное проявление в 2D-структурах уникальных электронных, механических, фотокаталитических и оптических свойств, которые в значительной степени отличаются от свойств объёмных материалов. Например, ширина запрещенной зоны 2D MoS_2 делает его активным в видимом диапазоне длин волн фотокатализатором. Подобные слоистые структуры с пониженной размерностью благодаря своим уникальным свойствам применяются также в акустической микроволновой оптоэлектронной технологии, в химических источниках тока, в солнечных батареях, в качестве фотокатализаторов и в других областях. Электронные свойства наиболее актуальны в приложениях к полевым транзисторам, устройствам памяти, фотоприемникам, особенно в связи с новыми методами получения, включая отслоение и химическое газофазное осаждение. Поэтому диссертационная работа Аль Хайлани Хассан Исмаил Дамбос, целью которой является установление закономерностей влияния технологических условий газотранспортного осаждения на кристаллическую структуру, морфологию и электронное строение широкозонных полупроводниковых микро- и наноструктур MoO_3 и MoS_2 , является своевременной и **актуальной**.

В диссертации изучены тонкие слои микро- и наноструктур MoO_3 и MoS_2 , полученные методом газотранспортных химических реакций в потоке аргона, а для решения сформулированных в диссертации задач используется комплекс экспериментальных методов, включающий современный рентгенофазовый анализ, сканирующую электронную микроскопию, рентгеноспектральный микроанализ, спектроскопия диффузного отражения и комбинационного рассеяния. Все вышесказанное, а также использование в работе современных программных сред для анализа и интерпретации экспериментальных данных обеспечило высокую **достоверность** результатов и выводов.

При температуре 1100° С газотранспортного синтеза удалось получить микрокристаллы α -MoO₃ только основной орторомбической модификации (Pbnm) в присутствии паров воды или закиси азота в газотранспортной аргоновой среде, со значениями ширины запрещенной зоны (E_g) 2.95 eV и 2.86 eV, соответственно. А при температуре синтеза 800°С - либо основную орторомбическую модификацию α -MoO₃ (Pbnm) с $E_g = 2.85$ эВ в аргон-кислородной среде, либо моноклинную фазу β - MoO₃ (P 2₁/n) с $E_g = 2.68$ эВ при добавлении паров воды к аргону.

В интервале более низких температур (525 – 600) °С на подложке из слюды получен мономолекулярный слой MoS₂, содержащий тригональные домены и обладающий шириной запрещенной зоны 1.84 эВ при прямозонном оптическом переходе с образованием экситонов при комнатной температуре. Впервые зарегистрировано минимальное значение частоты моды внутрислоевых колебаний E_{2g}^1 377.5 см⁻¹ в многослойных образцах, обусловленных их фракталообразной морфологией и нецелочисленной размерностью.

Научная и практическая значимость полученных в диссертации результатов обусловлена прежде всего тем, что предложенный метод синтеза оксидов молибдена позволяет получать слоистую орторомбическую структуру микрокристаллов α -MoO₃ (Pbnm) или моноклинную β -фазу MoO₃ P 2₁/n в зависимости от температуры или добавления к аргону паров воды или закиси азота. При синтезе MoS₂ с участием паров серы при различных температурах в интервале (800 - 1000) °С на поверхности подложек из молибдена образуются дисульфиды молибдена различных модификаций/политипов: при 800 °С - гексагональная (P6₃/mmc), при 1000°С - ромбоэдрическая (тригональной).

Содержание автореферата в целом соответствует тексту и выводам диссертации. Основные результаты диссертации опубликованы в ведущих научных изданиях, в том числе во входящих в перечень ВАК. Содержание диссертации, приведенных результатов, сделанных выводов и выдвигаемых на защиту положений соответствует указанной специальности 01.04.07 - физика конденсированного состояния. Диссертация Аль Хайлани Хассан Исмаил Дамбос является завершенным научным исследованием и оставляет общее положительное впечатление.

Тем не менее, к соискателю имеются некоторые **замечания и вопросы**:

1. С чем связана преимущественная ориентация микрокристаллов при формировании слоёв оксида молибдена MoO₃ в направлении [010], а слоёв сульфида молибдена MoS₂ - в направлении [110]?

2. В виде каких химических соединений (гидроксиды, оксигидриды, кристаллогидраты или иные соединения) или их структурных элементов встраивается вода в кристаллическую решётку в процессе роста оксида молибдена $\text{MoO}_3(\text{H}_2\text{O})$ в присутствии паров воды?

3. На рисунке 24 представлено присутствие только непрямозонных электронных переходов в MoO_3 . Каковы критерии выбора той или иной интерпретации зависимости коэффициента поглощения от частоты, так как есть вероятность наблюдения и других переходов, с учётом того факта, что обнаружено отклонение химического состава MoO_3 от стехиометрии и влияние примесей водорода, кислорода и азота (кривая 4)?

В заключении следует отметить, что диссертация Аль Хайлани Хассан Исмаил Дамбос «Влияние условий формирования на особенности атомного строения и оптических свойств широкозонных полупроводниковых микро- и наноструктур MoO_3 и MoS_2 », представленная на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, является законченной научно-квалификационной работой, выполненной на высоком профессиональном уровне. Диссертация **соответствует требованиям ВАК**, предъявляемым к кандидатским диссертациям, в том числе критериям II раздела Положения «О порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации №842 от 24 сентября 2013 г., а ее автор Аль Хайлани Хассан Исмаил Дамбос заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.10 - физика полупроводников.

02.12.2019 г.

Котов Геннадий Иванович

доктор физико-математических наук

(специальность 01.04.10 - физика полупроводников),

профессор кафедры физики, теплотехники и теплоэнергетики

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий»

394036, Россия, г. Воронеж, проспект Революции, д. 19

телефон: +7 (905)6549200

e-mail: giktv@mail.ru

