

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Мочалова Леонида Александровича
«ПЛАЗМОХИМИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ ТОНКИХ ПЛЕНОК
ОКСИДА ГАЛЛИЯ, ОКСИДА ЦИНКА И ХАЛЬКОГЕНИДОВ СИСТЕМ
As(S,Se,Te) И As-Se-Te»,
представленной на соискание ученой степени доктора технических наук
по специальностям 2.6.7 – «Технология неорганических веществ»
и 2.6.17. – «Материаловедение»

Оксиды галлия и цинка благодаря своим фундаментальным свойствам представляют интерес для разработки приборов силовой и сенсорной электроники. В настоящий момент, преимущественно зарубежными научными коллективами, достигнуты относительно высокие характеристики прототипов приборов на основе этих соединений. Дальнейшее развитие работ в этом направлении, помимо всего прочего, требует получения высококачественных плёнок со строго контролируемой концентрацией примесей, микрорельефом поверхности, толщиной и другими характеристиками. Важным также является развитие методов роста плёнок твердых растворов и «смешанных оксидов» в системах различных металлооксидов и широкозонных полупроводников для получения материалов с уникальными свойствами. Перспективным для роста таких плёнок со строго контролируемыми характеристиками является плазмохимический синтез. Таким образом, диссертационные исследования являются актуальными и необходимыми для развития силовой и сенсорной электроники.

В ходе диссертационных исследований был осуществлен плазмохимический синтез тонких плёнок оксида галлия в реакционных газовых смесях (Ga-O₂-Ar), (Ga-O₂-H₂-Ar) и (Ga-I₂-O₂-H₂) на подложках из c-plane сапфира, а также тонких плёнок оксида цинка с различными структурными свойствами с использованием высокочистого цинка в качестве источника цинка в плазмообразующей смеси (O₂-H₂) в условиях низкотемпературной неравновесной плазмы ВЧ-разряда. Автору диссертации удалось получить материалы, обладающие одними из лучших показателей с точки зрения химической и структурной однородности, а также морфологии поверхности.

Впервые наноструктурированные пленки системы β-Ga₂O₃-GaN были получены методом прямого одностадийного плазмохимического осаждения из газовой фазы в условиях гетероэпитаксиального роста на подложки c-plane сапфира, при этом металлический галлий использовали в качестве источника галлия. Проведены исследования электропроводящих свойств плёнок β-

Ga₂O₃-GaN в чистом сухом воздухе, а также при воздействии H₂, O₂, NH₃, CH₄, CO, NO₂ и NO, в интервале температур 30 – 750 °С. Показано, что введение GaN в плёнки β-Ga₂O₃ позволяет существенно увеличить электропроводность пленок и их чувствительность к газам. Полученные результаты свидетельствуют о том, что плёнки β-Ga₂O₃ с 7 % содержанием GaN представляют интерес для разработки быстродействующих высокотемпературных сенсоров H₂, O₂ и NH₃ (Акт внедрения прилагается). Предложены качественные механизмы сенсорного эффекта плёнок β-Ga₂O₃ и влияния добавки GaN на их газочувствительные свойства.

Кроме этого, важным результатом, определяющим оригинальность и научную новизну диссертационной работы Мочалова Леонида Александровича, является реализация синтеза халькогенидных пленок системы As-S различного химического состава конверсией моносульфида мышьяка в плазме с последующим легированием иттербием на уровне 1-7 ат.% непосредственно в процессе плазмохимического синтеза. Были синтезированы халькогенидные пленки систем As-S, As-Se, As-Te и As-Se-Te в условиях неравновесной низкотемпературной плазмы ВЧ-разряда при пониженном давлении прямым синтезом из соответствующих высокочистых элементов в широком диапазоне составов, и определены их физико-химические свойства.

По основным результатам диссертационных исследований соискателем опубликовано более 30 научных работ, преимущественно в высокорейтинговых изданиях, индексируемых в БД Scopus, Web of Science и РИНЦ. Основные положения диссертационных исследований были представлены на более 10 международных конференциях и семинарах в качестве приглашенных докладов.

Стоит отметить, что текст автореферата диссертации не лишен недостатков:

1. Требуется пояснения формулировка «...близкие к монокристаллическим тонкие пленки...».
2. Не указаны толщины выращенных оксидов галлия и цинка.
3. На рисунке 7 и в соответствующих местах текста автореферата перепутаны РДА спектры для оксидов галлия и цинка.
4. Из текста автореферата следует, что микроструктура плёнок Ga₂O₃ с высоким содержанием GaN имеет два уровня: первый представлен крупными фрагментами размером порядка 1 мкм; второй – нанонити с диаметром несколько десятков нм. Проявление таких резко отличающихся элементов микроструктуры плёнок требует объяснения.
5. Для плёнок (Al_xGa_{1-x})₂O₃ для подтверждения полученных результатов необходимо было представить спектры пропускания.

Указанные замечания носят рекомендательный характер и не снижают общего высокого уровня выполненной диссертационной работы. Полученные результаты обладают высокой практической значимостью с точки зрения дальнейших перспектив разработки технологий изготовления изделий микроэлектроники.

Диссертация «Плазмохимический синтез тонких пленок оксида галлия, оксида цинка и халькогенидов систем As(S,Se,Te) и As-Se-Te» Мочалова Леонида Александровича выполнена на высоком научном уровне и заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальностям 2.6.7. – «Технология неорганических веществ» и 2.6.17. – «Материаловедение».

Заведующий лабораторией металлооксидных полупроводников Центра исследований и разработок «Перспективные технологии в микроэлектронике»,

Кандидат физико-математических наук по специальности 01.04.10 - Физика полупроводников,

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет», 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36

тел.: 8 923 437 08 33

e-mail: almaev_alex@mail.ru

Подпись А.В. Алмаева заверяю
Ученый секретарь ученого совета НИ ТГУ
Кандидат геолого-минералогических наук



А.В. Алмаев

14.08.2023

Н.А. Сазонтова