

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу **Смирновой Марии Николаевны** «ФОРМИРОВАНИЕ ГОМОГЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ СОСТАВА $\text{MgFe}_{1.6}\text{Ga}_{0.4}\text{O}_4$ », представленной на соискание учёной степени кандидата химических наук по специальности 02.00.21 – химия твёрдого тела.

Диссертационная работа Смирновой М.Н. связана с исследованием закономерностей формирования $\text{MgFe}_{1.6}\text{Ga}_{0.4}\text{O}_4$ с характеристиками, необходимыми для создания пленок на подложках кремния микроэлектронного качества. Общеизвестно, что до настоящего времени практически не существует СВЧ устройств на основе ферритовых пленок на полупроводниковых подложках. Связано это с тем, что процесс их синтеза и последующей кристаллизации, протекающий, как правило, при 800-1000°C, сопровождается взаимодействием между материалами гетероструктур, а также диффузионными процессами на межфазных границах. В результате на межфазных границах формируются слои измененного состава, приводящие к ухудшению функциональных характеристик электронных устройств. В связи с этим диссертационная работа Смирновой М.Н., имеющая как научную, так и практическую значимость, несомненно, является **актуальной**.

Объектами исследования диссертационной работы Смирновой М.Н., были выбраны порошкообразные материалы состава $\text{MgFe}_{1.6}\text{Ga}_{0.4}\text{O}_4$, а также пленки на их основе на подложках монокристаллического кремния с буферными слоями SiO_2 и TiO_2 .

Несомненным достоинством диссертационной работы Смирновой М.Н. является четкая формулировка ее **основной цели**, достижению которой подчинены практически все разделы работы. Она заключается в разработке метода синтеза порошкообразных гомогенных материалов $\text{MgFe}_{1.6}\text{Ga}_{0.4}\text{O}_4$ без углеродсодержащих примесей с узким распределением частиц по размерам и выявление взаимосвязи состава, структуры и физико-химических свойств синтезированных материалов в зависимости от использованных восстановителей. Это позволило автору разработать методику синтеза пленок на основе $\text{MgFe}_{1.6}\text{Ga}_{0.4}\text{O}_4$. При этом $\text{MgFe}_{1.6}\text{Ga}_{0.4}\text{O}_4$, использованный в качестве мишени при напылении пленок, был

получен методом горения геля с использованием в качестве восстановителей глицина и уротропина. В работе показано, что присутствие в реакционной смеси глицина и уротропина способствует получению материала с наиболее лучшими функциональными характеристиками по сравнению с другими восстановителями, которые применяли в работе.

Диссертация Смирновой М.Н. состоит из введения, трех глав: обзор литературы, экспериментальная часть, обсуждение результатов, выводов и списка литературы. Работа изложена на 132 страницах, включая 58 рисунков и 20 таблиц. Список цитируемой литературы содержит 187 наименований. Диссертация написана хорошим языком, аккуратно оформлена.

Во **введении** обоснована актуальность темы диссертационной работы, цель и задачи исследований, показана научная новизна и практическая значимость работы, представлены основные положения, выносимые на защиту, а также личный вклад автора.

В **обзоре литературы** представлены сведения о магнитных материалах на основе металлов, которые используются в спинтронных устройствах. Приведен сравнительный анализ магнитных полупроводниковых материалов, основные направления их поиска. При этом основное внимание уделено материалам с температурой магнитного упорядочения, превышающей комнатную. Представлены сведения о методах синтеза ферритов и других оксидных материалов, а также краткие сведения о методах получения пленок. Особое внимание также уделено анализу материалов, полученных методом сжигания гелей. В заключительной части обзора литературы рассматривается структура и свойства ферритов со структурой шпинели. Результатом обзора литературы является обоснование актуальности работы, ее целей и задач.

В **экспериментальной части** автор указал реагенты и степень их чистоты, которые были использованы в работе, представил схему синтеза порошковых материалов, а также сведения о том, исходя из каких соображений, были выбраны восстановители для синтеза порошкообразных материалов методом сжигания гелей. Также автор указал инструментальные методы их исследования и приборы, с помощью которых реализовывал поставленные в работе задачи.

Считаю, что использованный диссертантом комплекс инструментальных методов является полным для решения поставленной задачи.

Анализируя содержание работы в третьей главе (**Обсуждение результатов**), следует выделить **основные научные результаты**, полученные автором:

- разработка способа получения гомогенных поликристаллических наноразмерных порошкообразных материалов $\text{MgFe}_{1.6}\text{Ga}_{0.4}\text{O}_4$ с функциональными характеристиками, необходимыми для создания пленочных гетероструктур $\text{Mg}(\text{Fe}_{0.8}\text{Ga}_{0.2})_2\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{Si}$ микроэлектронного качества;
- исследование особенностей процесса формирования геля и его термическое поведение при синтезе порошкообразных материалов $\text{MgFe}_{1.6}\text{Ga}_{0.4}\text{O}_4$ методом сжигания с использованием в качестве восстановителей глицина, а также смесей глицина с уротропином, крахмалом и мочевиной;
- методика расчета температуры горения гелей и других термических параметров этого процесса;
- определение влияния используемых при сжигании восстановителей на свойства порошкообразных материалов $\text{MgFe}_{1.6}\text{Ga}_{0.4}\text{O}_4$;
- методика создания поликристаллических пленок $\text{MgFe}_{1.6}\text{Ga}_{0.4}\text{O}_4$ на подложках Si с минимизированными процессами диффузии на межфазных границах и взаимодействиями между компонентами.

Практическая значимость работы несомненна. Разработанный автором способ получения гомогенных поликристаллических материалов $\text{MgFe}_{1.6}\text{Ga}_{0.4}\text{O}_4$ без углеродсодержащих примесей с унимодальным распределением частиц по размерам и создание на их основе пленок на рассогласованных по кристаллографическим параметрам подложках позволит получать пленочные гетероструктуры с термостабильными межфазными границами для спинтронных устройств.

Касаясь отдельных **замечаний и пожеланий**, необходимо отметить следующее:

1. Предложенная в работе методика расчета температуры горения гелей и термических параметров этого процесса имеет самостоятельный научный интерес. Каковы возможности использования предложенной методики для оценки температуры получения других веществ и материалов?

2. Почему при расчете температуры горения гелей по данным ДСК учитывается теплоемкость материала тигля, в котором находится образец, а не теплоемкость самого образца?
3. Почему для получения пленок необходимо использовать мелкодисперсный порошкообразный $\text{MgFe}_{1.6}\text{Ga}_{0.4}\text{O}_4$ с унимодальным распределением частиц по размерам?
4. Автор показал преимущества использования барьерного слоя SiO_2 по сравнению с TiO_2 для создания гетероструктур $\text{MgFe}_{1.6}\text{Ga}_{0.4}\text{O}_4/\text{Si}$ с относительно стабильными межфазными границами. В тоже время не совсем понятен выбор для этих целей диоксидов титана и кремния. Анализировали ли оптимальную толщину этих буферных слоев с целью получения пленок, обладающих наименее дефектной структурой?
5. В заключительной части работы представлен анализ поперечных сечений исследуемых структур, полученных с использованием метода ионно-лучевого напыления. Показано, что при снижении толщины пленки от 400 нм до 200 нм температура кристаллизации понижается от 900°C до $820\text{-}840^\circ\text{C}$. В тоже время было бы интересно посмотреть влияние толщины пленки $\text{MgFe}_{1.6}\text{Ga}_{0.4}\text{O}_4$ на температуру ее кристаллизации.

Тем не менее, приведенные замечания не могут повлиять на общую положительную оценку работы, которая сложилась на основании знакомства с диссертацией и публикациями автора. Диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой содержится решение научной задачи по созданию материалов для устройств спинтроники, что вносит весомый вклад в развитие химии твердого тела.

Результаты диссертационной работы Смирновой М.Н. опубликованы в 5 статьях в рецензируемых российских изданиях и в 12 тезисах докладов на всероссийских и международных конференциях. Таким образом, работа успешно прошла апробацию. Содержание автореферата полностью отражает содержание диссертационной работы. Опечатки и иные погрешности встречаются редко.

По итогам рассмотрения диссертационной работы можно заключить, что диссертация Смирновой М.Н. «Формирование гомогенных материалов состава $\text{MgFe}_{1.6}\text{Ga}_{0.4}\text{O}_4$ », характеризуется высокой актуальностью и достоверностью

полученных результатов, обладает научной и практической значимостью. Работа полностью соответствует «Положению о присуждении ученых степеней» (Постановление Правительства РФ от 24.09.2013 № 842, пункты 9 и 14), соответствует паспорту специальности 02.00.21 – Химия твердого тела по формуле и области исследования, а ее автор – Смирнова Мария Николаевна заслуживает присуждения ученой степени кандидата химических наук по специальности 02.00.21 – химия твердого тела.

Официальный оппонент,
старший научный сотрудник
Федерального государственного
бюджетного учреждения науки
Института проблем химической физики РАН
кандидат химических наук

Н.В. Лысков

142432, Московская область, г. Черноголовка,
пр-т Академика Семенова, д. 1
Тел. 8-903-627-48-33
e-mail: lyskov@icp.ac.ru

Подпись Н.В. Лыскова заверяю.
Ученый секретарь
Федерального государственного
бюджетного учреждения науки
Института проблем химической физики РАН
доктор химических наук



Б.Л. Психа

«08» ноября 2016 г.