

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ЭКСПЕРТНОЙ КОМИССИИ

по защите диссертации *Джалолоддинзоды Мухаммадюсуфа*

«СИНТЕЗ НАНОГРАНУЛИРОВАННЫХ СТРУКТУР В СИСТЕМАХ ПОЛУПРОВОДНИК GaSb - ФЕРРОМАГНЕТИКИ MnSb и GaMn»,

представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук
по специальности 2.2.3 – «Технология и оборудование для производства
материалов и приборов электронной техники»

и состоявшейся в НИТУ МИСИС 26.02.2025 г.

Диссертация принята к защите Диссертационным советом НИТУ МИСИС 16 декабря 2024 г., протокол №25.

Диссертация выполнена на кафедре «Технология материалов электроники» федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель – профессор кафедры технологии материалов электроники НИТУ МИСИС, д.х.н. Маренкин Сергей Федорович.

Экспертная комиссия утверждена Диссертационным советом НИТУ МИСИС (протокол №25 от 16 декабря 2024 г.) в составе:

1. Кожитов Лев Васильевич, д.т.н., профессор кафедры технологии материалов электроники НИТУ МИСИС – председатель комиссии;
2. Панина Лариса Владимировна, д.ф.-м.н., профессор кафедры технологии материалов электроники НИТУ МИСИС;
3. Яржемский Виктор Георгиевич, д.ф.-м.н., ведущий научный сотрудник федерального государственного бюджетного учреждения науки Института общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова Российской академии наук;
4. Падалко Анатолий Георгиевич, д.х.н., профессор, заведующий лабораторией физикохимии баротермических процессов федерального государственного бюджетного учреждения науки Института металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова Российской академии наук;
5. Поляков Петр Александрович, д.ф.-м.н., профессор физического факультета федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова».

В качестве ведущей организации утверждено федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Юго-Западный государственный университет».

Экспертная комиссия отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

1. Разработана оригинальная технология получения тонких пленок MnSb, основанная на послойном вакуумно-термическом напылении в высоком вакууме ($\sim 10^{-4}$ Па) слоев Mn и Sb с последующим их температурным отжигом без разгерметизации установки. Исследованы электрические и магнитные свойства синтезированных тонких пленок MnSb. Данная технология универсальна и может быть применена для получения тонких пленок других веществ, для которых из-за особенностей их физико-химических свойств применение других методов затруднено
2. В условиях высокого вакуума из высокочистых реактивов синтезированы слитки объемных образцов (MnSb). Установлено, что они являются магнито-мягкими ферромагнетиками с температурой Кюри ~ 580 К и низкой коэрцитивной силой $\sim 5,9$ Э. Высокая чистота и однородность по составу полученных слитков позволили в дальнейшем использовать их, как прекурсоры, для синтеза композитных образцов GaSb-MnSb
3. Синтезированы композиты системы GaSb-MnSb эвтектического (59 мол.% GaSb - 41 мол.% MnSb) и заэвтектического (30 мол.% GaSb - 70 мол.% MnSb) составов вакуумно-термическим методом и идентифицированы РФА, ДТА и сканирующей электронной микроскопией (СЭМ). Исследовано влияние скорости охлаждения на однородность распределения и размер кристаллитов фазы (MnSb) и показано, что с ростом скорости охлаждения ($v_{(охл)}$) с $0,1$ °C/с до 60 °C/с, происходит увеличение однородности распределения и уменьшение размеров кристаллитов фазы MnSb (с 20 мкм до $0,8-1$ мкм).
4. Обнаружено, что для композита эвтектического состава (59 мол.% GaSb - 41 мол.% MnSb), полученного в режиме закалки, характерно наличие спиновой поляризации, которая подтверждается появлением отрицательного магнетосопротивления и наличием магнитного поля насыщения.
5. Впервые изучены фазовые равновесия в системе GaSb-GaMn, установлена эвтектика, координаты которой составляют 45 мол.% GaMn и 55 мол.% GaSb с $T_{эвт} = 609$ °C. Установлено, что температура ликвидуса состава с содержанием до 75 мол.% GaMn системы GaMn-MnSb ниже температуры перитектического (~ 840 °C) распада GaMn.

Это указывает на возможность получения композитов с высоким содержанием магнитотвердой фазы GaMn путем ее стабилизации.

Теоретическая значимость диссертации заключается в том, что разработанные методики расчетов технологических параметров синтеза тонких пленок заданных составов универсальны и могут быть использованы при получении других соединений.

Полученные соискателем результаты исследования представляют практический интерес для ученых, специализирующихся в области синтеза магниточувствительных материалов на основе спин поляризованных структур.

Достоверность работы подтверждается хорошей воспроизводимостью результатов, полученных с помощью современного оборудования. Синтез проводили с из высокочистых реактивов в условиях высокого вакуума вакуумно-ампульным методом, что гарантировало точность состава полученных образцов $\Sigma 1 \times 10^{-3}$ масс%. Идентификацию и изучение свойств осуществляли комплексом методов физико-химического анализа, используя прецизионные приборы: дифрактометр Bruker-D8, СЭМ, оптический анализатор «Эпиквант» и др. Измерения электрических свойств проводили с использованием цифрового мультиметра Keithly с программным обеспечением. Качество электрических контактов контролировали измерением вольт - амперных характеристик.

Приведенные результаты были опубликованы в 4-х статьях в журналах из перечня ВАК и входящих в базу данных Scopus и представлены на международных и всероссийских конференциях.

Личный вклад автора в настоящую работу состоит в подготовке технологического оборудования и проведении синтеза объемных и пленочных образцов, в их идентификации комплексом методов физико- химического анализа: РФА, ДТА и микроструктурного анализа. Автор разработал методику создания электрических контактов на тонкопленочных образцах, проводил измерения магнитных и электрических свойств при 77 и 300 К в магнитных полях до 0,2 Т, осуществлял обработку и анализ полученных результатов, готовил статьи и взаимодействовал с рецензентами.

Представлен акт о перспективах использования результатов, полученных в диссертации Джалолиддинзоды Мухаммадюсуфа.

Пункт 2.6 Положения о порядке присуждения ученых степеней в НИТУ МИСИС соискателем ученой степени кандидата наук не нарушен. Диссертация Джалолиддинзоды Мухаммадюсуфа соответствует критериям п. 2 Положения о порядке присуждения ученых степеней в НИТУ МИСИС, так как в ней на основании

выполненных автором работ исследованы: влияние технологических условий синтеза на структуру и свойства композитов на основе системы GaSb-MnSb. Впервые комплексом методов физико-химического анализа изучена система GaSb-GaMn, построена фазовая диаграмма этой системы. Полученные в работе результаты имеют важное научное значение и являются перспективными в решении практических задач получения магниточувствительных материалов

Экспертная комиссия приняла решение о возможности присуждения Джалолиддинзоде Мухаммадюсуфу ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.3 – «Технология и оборудование для производства материалов и приборов электронной техники».

Результаты голосования:

при проведении тайного голосования экспертная комиссия в количестве 5 человек, участвовавших в заседании, из 5 человек, входящих в состав комиссии, проголосовала: за 5, против: нет, недействительных бюллетеней: нет.

Председатель Экспертной комиссии
заслуженный деятель науки, профессор,
доктор технических наук



Л.В. Кожитов

26.02.2025 г.