

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе и
международной деятельности,

К.Т.Н., доц.



Пахомова Е.Г.

«27» мая 2024 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу Аль-Онаизан Мохаммад Хассан Али «Синтез и свойства композитов на основе Дираковского полуметалла Cd_3As_2 и ферромагнетика $MnAs$ », представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.2.3 - Технология и оборудование для производства материалов и приборов электронной техники.

Актуальность Синтез магниточувствительных материалов на основе спин-поляризованных структур представляется актуальным направлением по созданию магнитной памяти современных электронных устройств, сенсоров, устройств связи и др. Спин-поляризованные структуры представляют собой композиты, полученные из сочетания ферромагнитных и немагнитных нанослоев. Традиционно такие структуры осаждают методом молекулярно лучевой эпитаксии. Исследование, представленное в диссертационной работе, посвящено разработке физико-химических основ синтеза гранулированных структур, для которых в зависимости от спиновой поляризации носителей заряда характерны эффекты гигантского и туннельного магнитосопротивления. Гранулированные структуры достаточно технологичны и могут быть синтезированы простыми и недорогими методами, например, с помощью вакуумно-термического напыления в виде пленок. Так как достижения в направлении снижения габаритов приборов электроники связаны с развитием технологии получения тонкопленочных материалов, то актуальным представляется преодоление проблем, возникающих из-за физико-химических свойств ряда функциональных материалов, препятствующих изготовлению планарных структур на их основе. Это связано с решением актуальной задачи выбора структурно и химически совместимых материалов для создания прекурсоров, необходимых для синтеза спин-поляризованных структур методом вакуумно-термического напыления.

Основной целью работы была разработка технологии тонких композитных пленок системы дираковский полуметалл Cd_3As_2 - мягкий ферромагнетик $MnAs$ и выполнение исследований их электрических и магнитных свойств для оценки возможности создания спин поляризованной гранулированной структуры.

К числу основных **задач** можно отнести: обоснование выбора объектов исследований на основе анализа физико-химических свойств Cd_3As_2 и $MnAs$, оценка характера взаимодействия между указанными соединениями, исследования возможность использования метода вакуумно -термического напыления для получения тонких композитных пленок системы Cd_3As_2 - $MnAs$, синтез вышеуказанных пленок различных составов, исследование их физико-химических свойств, выбор оптимального состава и технологических режимов, обеспечивающих синтез спин-поляризованной гранулированной структуры на основе тонких композитных пленок Cd_3As_2 - $MnAs$.

Научная новизна работы Синтезированы и идентифицированы сплавы Cd_3As_2 с содержанием $MnAs$: 20, 25, 40, 50 и 70 мол.%. Исследовано влияние скорости кристаллизации на однородность распределения и размер кристаллитов фаз и показано, что с ростом скорости кристаллизации, особенно при режимах закалки, происходит увеличение однородности распределения ферромагнитных включений $MnAs$, и уменьшение размеров кристаллитов, также обнаружено уменьшение электропроводности, коэрцитивной силы и температуры Кюри. Исследовано влияние барического давления на электромагнитные свойства синтезированных композитных сплавов и показано, что с ростом давления наблюдалось отрицательное магнетосопротивление с максимумом в области давлений 22–26 ГПа, что связывалось с появлением спиновой поляризации носителей заряда. Методом вакуумно-термического испарения получены тонкие композитные пленки Cd_3As_2 - $MnAs$ различного состава на подложках из кремния и ситалла. Измерения электропроводности, проведённые при температурах 77–300 К и в магнитных полях 0-0,3 Тл показали, что пленки обладали металлическим типом проводимости. Магнетосопротивление пленок, в зависимости от состава, изменялось от положительного (для составов до 9,9 ат.% Mn) до отрицательного (от 12,9 ат.% Mn). Наличие отрицательного магнетосопротивления и магнитного поля насыщения свидетельствовало о появлении в пленках спиновой поляризации носителей заряда.

Достоверность результатов

Достоверность полученных результатов подтверждается использованием современных, хорошо апробированных методов исследований на аттестованных установках; а также хорошим согласованием экспериментальных данных с теоретическими представлениями, вытекающими из оригинальных и общепринятых физико-химических моделей.

Практическая значимость работы

В диссертации разработана методика получения тонких гранулированных структур Cd_3As_2 - MnAs с высокими значениями магнетосопротивления и линейным характером изменения от температуры и магнитного поля. Результаты диссертационной работы могут быть использованы при разработке новых типов датчиков температуры и магнитного поля.

Оценка структуры и содержание работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, выводов, изложена на 122 страницах машинописного текста, содержит 8 таблиц, 72 рисунка и списка литературы из 199 наименований.

Во введении обоснована актуальность работы, сформулированы цель и задачи, охарактеризована научная новизна, практическая значимость результатов и изложены научные положения, выносимые на защиту.

В первой главе приведен анализ литературных источников по физико-химическим, структурным, термодинамическим и электрическим свойствам дираковского полуметалла Cd_3As_2 как для объёмных поликристаллов, так и для структурно-совершенных монокристаллов и пленочных образцов. Подробно рассмотрены структурные и электромагнитные свойства арсенидов марганца и методы их получения. Проанализирована диаграмма системы Cd_3As_2 - MnAs - CdAs_2 и показано, что ее разрез Cd_3As_2 - MnAs является квазибинарным, эвтектического типа с незначительной растворимостью компонентов. Сделаны выводы, позволившие обосновать выбор элементарных компонентов для синтеза и технологические условия получения композитных сплавов.

Во второй главе диссертации описаны методики получения и исследования физико-химических свойств объектов исследования. Для этого был использован комплекс методов анализа: рентгенофазовый, дифференциально-термический, микроструктурный и исследования электрических и магнитных свойств. Излагается разработанная методика экспресс-измерения температуры Кюри, на основе изменения индукции при внесении ферромагнетика в магнитное поле соленоида и ее реализация в экспериментальной установке по исследованию магнитных свойств.

В третьей главе представлены результаты по получению и исследованию свойств объёмных образцов композитных сплавов Cd_3As_2 - MnAs . Отмечается высокая степень влияния технологических режимов синтеза, и, в особенности, скорости кристаллизации на структурные, электрические и магнитные свойства. По результатам этой главы сделан вывод об уменьшении размеров кристаллитов фаз Cd_3As_2 и MnAs и более равномерном их распределении в сплавах с ростом скорости кристаллизации, что является важным для синтеза прекурсоров, используемых при осаждении пленочных образцов.

Четвертая глава посвящена синтезу тонких композитных пленок с использованием трех прекурсоров с различным содержанием ферромагнитной

фазы. Исследовано влияние состава пленок на электрические и магнитные свойства. Показано, что пленки с содержанием до 9,2 мол% MnAs обладали положительным магнетосопротивлением. С ростом содержания ферромагнитной компоненты магнетосопротивление в пленках становилось отрицательным, а кривые намагниченности принимали вид, характерный для ферромагнетика (наблюдалось насыщение намагниченности в магнитное поле). Это делает подобные пленки перспективным материалом для создания магнито-чувствительного датчика.

В заключении кратко сформулированы наиболее важные результаты работы.

Диссертация написана ясным научным языком, хорошо структурирована. Каждая глава содержит выводы, что облегчает понимание материала.

В соответствии с поставленной целью, настоящая диссертационная работа является логически завершенным научным исследованием, содержащим новое решение актуальной задачи

Замечания по диссертационной работе

1. Для снижения ошибки измерений при изучении магнетосопротивления требуется выполнить процедуру симметризации/антисимметризации экспериментальных данных. Для чего измерения надо выполнять, как при прямом, так и при обратном направлении тока через образец, и, при этом, в двух направлениях магнитного поля. На наш взгляд, в работе причина такого упрощенного подхода к методике измерения магнетосопротивления должна быть разъяснена.

2. Не полностью раскрыт потенциал исследования структуры пленок комплексом методов: РФА, СЭМ и АСМ. Построены гистограммы распределения по размерам гранул только по АСМ изображениям. В то время как именно этот метод может давать наибольшую ошибку измерения из-за неучета кривизны кончика иглы кантилевера. Почему гранулометрия не была выполнена по изображениям СЭМ (Рис. 4.8), а средний размер гранул не определен по уширению дифракционных линий при РФА (метод Дебая -Шерера)?

3. В работе использовалась хорошая методика по исследованию микро- и нано-размерного магнетизма – МСМ. Однако, соответствующие изображения недостаточно проанализированы. На рис. 4.10 в МСМ-режиме даже при 427 К прослеживается магнитная структура пленки, а амплитуды магнитного рельефа при 300 К и при 427 К сопоставимы. Значит ли это, что пленка при температуре больше чем на 100 К выше температуры Кюри арсенида марганца остается ферромагнитной?

4. Не показано, почему состав прекурсоров по содержанию ферромагнитной фазы не соответствовал измеренному составу пленок. В пленках ее было существенно меньше.

5. Тексты диссертации и автореферата содержит много опечаток, лишних слов в предложениях, часто искажавших смысл, отмечается плохое согласование времен и предлогов, в некоторых местах используются некорректные термины (например, в подрисуночной подписи к рис. 4.10 вместо «при температуре 300 К» используется «при разрешении 300 К»). Обозначения осей на рисунках не единообразно: используются как русскоязычные, так и англоязычные названия величин и обозначения единиц величин (иногда даже на разных осях одного рисунка, как, например, на рис. 3.26), а также некорректный перевод с английского языка на русский (например, используется «эмУ/г» вместо «emu/g»). Встречаются ошибки с размерностями физических величин: на рис. 3.26 магнитная индукция « $\mu_0 H$ » выражена в «Т» (англоязычное обозначение единицы Тесла), а ниже на рис. 3.27 в теслах уже выражена напряженность магнитного поля H . Это говорит о недостаточно свободном владении соискателем терминологией и системой единиц физических величин на русском языке.

Данные замечания не снижают общую высокую оценку работы, которая выполнена на современном научно – техническом уровне, а ее результаты могут быть использованы в научном и прикладном плане.

Заключение

Диссертационная работа Аль-Онаизан Мохаммад Хассан Али представляет собой завершённую научно-исследовательскую работу на актуальную тему; содержит целый ряд новых и полезных для практики результатов. Выводы и рекомендации работы обоснованы. Основные результаты диссертационной работы отражены в 6 публикациях в научных журналах и сборниках трудов международных и российских конференций, в том числе 4 научных статьях в рецензируемых журналах, входящих в перечень ВАК, и индексируемых в международных базах данных Web of Science и/или Scopus.

Диссертационная работа Аль-Онаизан Мохаммад Хассан Али «Синтез и свойства композитов на основе Дираковского полуметалла Cd_3As_2 и ферромагнетика $MnAs$ », соответствует всем требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ № 842 от 24 сентября 2013 г. (в редакции от 11.09.2021 г.), а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.3 - Технология и оборудование для производства материалов и приборов электронной техники.

Диссертация рассмотрена, а отзыв обсуждён и одобрен после доклада соискателя на объединенном семинаре Регионального центра нанотехнологий и кафедры нанотехнологий, микроэлектроники, общей и прикладной физики Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования Юго-Западном государственном университете «17» мая 2024 г., (протокол №3 от 18.05.2023).

Отзыв, составленный по итогам семинара, подписан: директором Регионального центра нанотехнологий ЮЗГУ, доктором физико-математических наук, доцентом, профессором кафедры нанотехнологий, микроэлектроники, общей и прикладной физики ЮЗГУ Пугачевским Максимом Александровичем (специальность 1.3.8 – физика конденсированного состояния, тел. +7(4712) 22-26-05, e-mail: pmaximal@mail.ru) и заведующим кафедрой нанотехнологий, микроэлектроники, общей и прикладной физики ЮЗГУ, к.ф.-м.н., доц. Кузько Андреем Евгеньевичем (специальность 1.3.8 – физика конденсированного состояния, тел. +7(4712) 22-24-62, e-mail: kuzko@mail.ru)

Сведения о ведущей организации:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Юго-Западный государственный университет", г. Курск
Адрес: 305040, Курская область, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94

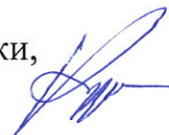
Директор Регионального центра нанотехнологий ЮЗГУ

д.ф.-м.н., доцент



М.А. Пугачевский

Заведующим кафедрой нанотехнологий,
микроэлектроники, общей и прикладной физики,
к.ф.-м.н., доц



А.Е. Кузько