

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ЭКСПЕРТНОЙ КОМИССИИ

по защите диссертации Аль-Онаизана Мохаммада Хассана Али «Синтез и свойства композитов на основе Дираковского полуметалла Cd_3As_2 и ферромагнетика MnAs », представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.3 – Технология и оборудование для производства материалов и приборов электронной техники и состоявшейся в НИТУ «МИСиС» 19 июня 2024 г.

Диссертация принята к защите Диссертационным советом НИТУ МИСиС 15 апреля 2024 г., протокол № 19.

Диссертация выполнена на кафедре технологии материалов электроники НИТУ МИСиС.

Научный руководитель – доктор химических наук, Маренкин Сергей Фёдорович, профессор кафедры технологии материалов электроники НИТУ МИСиС.

Экспертная комиссия утверждена Диссертационным советом НИТУ МИСиС (протокол № 19 от 15 апреля 2024 г.) в составе:

1. Костишин Владимир Григорьевич (председатель комиссии), доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой Технологии Материалов Электроники НИТУ МИСиС.

2. Панина Лариса Владимировна — доктор физико-математических наук, профессор кафедры Технологии Материалов Электроники НИТУ МИСиС.

3. Яржемский Виктор Георгиевич, доктор физико-математических наук, ведущий науч. сотр. ИОНХ РАН.

4. Бурмистров Игорь Николаевич, доктор инженерного центра Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова».

5. Конюхов Юрий Владимирович, доктор технических наук, профессор кафедры функциональных наносистем и высокотемпературных материалов НИТУ МИСиС.

В качестве ведущей организации утверждено федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Юго-западный государственный университет» (ЮЗГУ).

Экспертная комиссия отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

- Синтезированы и идентифицированы сплавы Cd_3As_2 с содержанием MnAs , соответственно, 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 фаз, уменьшение размеров кристаллитов, а также уменьшение электропроводности, коэрцитивной силы и температуры Кюри.

- Исследовано влияние барического давления на электромагнитные свойства композитных сплавов и показано, что с ростом давления наблюдалось отрицательное

магнетосопротивление (MR) с максимумом в области давлений 22–26 ГПа, что связывалось с появлением спиновой поляризации.

- Методом вакуумно-термического испарения получены тонкие композитные пленки Cd_3As_2 с MnAs на подложках из кремния и ситалла с содержанием, согласно данным энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии (ЭДС), 5,8–21,1 ат. % Mn. Методами рентгенофазового анализа, сканирующей электронной микроскопии, атомно-силовой (АСМ) и магнито-силовой микроскопии (МСМ) исследованы состав и структурные свойства, и показано, что плёнки состояли из кристаллитов α ''-фазы Cd_3As_2 и ферромагнитных гранул MnAs. При 20–300 К в магнитном поле до 3,0 кЭ измерены полевые и спектральные зависимости поперечного эффекта Керра, подтверждающие наличие ферромагнетизма при содержании Mn более 9,9 ат. %.

- Электромагнитные измерения, проведённые при температурах 77–300 К и 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). Величина положительного сопротивления падала с ростом содержания марганца. Изменение сопротивления от магнитного поля для пленок с положительным характером магнетосопротивления, соответствовало случаю воздействия силы Лоренца. Для пленок с отрицательным характером магнетосопротивления величина сопротивления увеличивалась с ростом содержания Mn, также изменился вид зависимости сопротивления от магнитного поля. Наличие магнитного поля насыщения указывало на появление спиновой поляризации в пленках.

- Пленки отличались отрицательным магнетосопротивлением, величина которого зависела от состава и размеров кристаллитов и достигала 5,7% в магнитном поле насыщения 0,135 Тл. Наличие отрицательного магнетосопротивления и магнитного поля насыщения свидетельствовало о появлении в пленках спиновой поляризации. Линейный характер изменения сопротивления от температуры и магнитного поля представляет интерес при использовании пленок в качестве сенсоров температуры и магнитного поля.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

- На основе комплексных исследований состава, структуры и свойств оптимизированы технологические условия получения композиционных сплавов системы Cd_3As_2 -MnAs, что позволило синтезировать высокоплотные с минимальной пористостью слитки, пригодные для изучения электромагнитных свойств в широком интервале концентраций ферромагнитной фазы.

- Для экспрессного изучения магнитных свойств была разработана методика и сконструирована установка, основанная на изменении индукции при помещении ферромагнетика в магнитном поле соленоида. Эта методика включала мониторинг изменений магнитной индукции и позволяла оперативно оценить температуру Кюри.

- Изучение в широких интервалах температур и магнитных полей электромагнитных свойств позволило установить корреляцию между структурой и свойствами в сплавах Cd_3As_2 с MnAs, приготовленных при различных технологических условиях, а также определить, что

высокие скорости кристаллизации позволяют получать композиты с более равномерным распределением фаз, что представляется важным при создании прекурсоров, обеспечивающих стационарность процессов напыления.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

- Впервые методом вакуумно-термического напыления были получены композиционные тонкие пленки Cd_3As_2 с MnAs в широком интервале концентраций ферромагнитной фазы. Исследования состава, структуры и электромагнитных свойств установило корреляции между составом, структурой и магнетосопротивлением пленок. При малом содержании MnAs до 9 мол.% магнетосопротивление было положительным и определялось силой Лоренца. С ростом содержания ферромагнитной фазы с 12 мол.% магнетосопротивление становилось отрицательным и появлялось магнитное поле насыщения, что свидетельствовало о возникновении спиновой поляризации, которая увеличивалась с ростом MnAs .
- В композитных пленках состава 19 мол.% MnAs при магнитном поле насыщения 0,135 Тл магнетосопротивление достигало 6% при 300 К. Это представляет интерес при использовании пленок в качестве магнито-чувствительного материала, чувствительность которого оценивалась $\sim 5 \times 10^{-5}$ А/Гс при использовании батарейки 1,5 В.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

достоверность научных результатов подтверждается использованием современного аттестованного и сертифицированного оборудования. Для идентификации и изучения свойств использовался комплекс методов физико-химического анализа: микроструктурный и рентгеноструктурный анализы; методики измерения электрических и магнитных свойств; дифференциально-термический анализ; методика магнитооптических измерений; квазигидростатического давления от 15 до 50 Гпа. Для экспрессного анализа магнитных свойств была разработана методика и сконструирована установка, основанная на изменении индукции при помещении ферромагнетика в магнитное поле соленоида.

Личный вклад автора в настоящую работу заключается в постановке целей и задач, непосредственном участии в лабораторных экспериментах, включая разработку методики изготовления образцов, проведение экспериментальных измерений, обработку, анализ и оценку полученных результатов измерений.

Материалы Диссертации Аль-Онаизана Мохаммада Хассана Али опубликованы в 6 печатных работах, из которых 4 работы в изданиях, входящих в перечень ВАК РФ и в базы Web of Science/Scopus, также получено 1 свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ и 1 патент на изобретение.

Пункт 2.6 Положения присуждения ученой степени кандидата наук, ученой степени доктора наук НИТУ МИСИС соискателем ученой степени не нарушен.

Диссертация Аль-Онаизана Мохаммада Хассана Али соответствует критериям п. 2 Положения о порядке присуждения ученых степеней в НИТУ МИСИС.

Экспертная комиссия приняла решение о возможности присуждения Мохаммаду Хассану Али Аль-Онаизану ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.3 – Технология и оборудование для производства материалов и приборов электронной техники, так как полученные в его диссертационной работе высокие значения магнетосопротивления и линейный характер его изменения от температуры и магнитного поля в композитных сплавах и тонких пленках системы $\text{Cd}_3\text{As}_2\text{-MnAs}$ представляет практический интерес при использовании их в качестве материалов сенсоров температуры и магнитного поля.

Экспертная комиссия приняла решение о возможности присуждения Мохаммаду Хассану Али Аль-Онаизану 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 (пяти) человек, участвовавших в заседании, из 5 (пяти) человек, входящих в состав комиссии, проголосовала: за - 5 (пять), против - нет, недействительных бюллетеней - нет.

Председатель Экспертной комиссии



В. Г. Костишин

19.06.2024