

ОТЗЫВ

на диссертационную работу Мацынина Алексея Александровича «Фазовые, структурные и магнитные превращения в пленочных системах Fe/Mn и Mn/Ge при вакуумном отжиге», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния.

Диссертационная работа А.А. Мацынина посвящена синтезу и исследованию свойств пленок, полученных при использовании твёрдофазных реакций в двухслойных Fe/Mn и Mn/Ge плёночных системах.

Система Fe-Mn интересна, благодаря наличию уникальных свойств, таких как инварный эффект, низкотемпературные мартенситные превращения и в совокупности с магнитными свойствами может найти применение в элементах электроники. Фазовые превращения в двухслойной системе Fe/Mn, а также структурные и магнитные свойства синтезированных фаз, полученных с помощью межслойных химических взаимодействий при вакуумном отжиге, недостаточно изучены.

Большое количество фаз с различными физическими свойствами, присущих системе Mn-Ge и перспективных для использования в качестве элементов электроники, представляет интерес для физиков-материаловедов. Так Mn_xGe_{1-x} сплавы с малым содержанием Mn относятся к разбавленным магнитным полупроводникам, что позволяет использовать их в устройствах спинтроники. Однако проблемой разбавленных магнитных полупроводников и магнитных фаз на их основе является низкая температура Кюри (ниже комнатной) и потому основные усилия исследований направлены на синтез наноматериалов, обладающих ферромагнетизмом выше комнатной температуры. Среди всех фаз, существующих в исследуемой Mn-Ge системе, основной ферромагнитной фазой является Mn_5Ge_3 , которая имеет высокие значения намагниченности насыщения и точку Кюри выше комнатной температуры. Однако, остаются не ясными механизмы, приводящие к

возникновению ферромагнетизма в данной системе. По этой причине исследования технологических способов получения данной фазы, измерения ее свойств становятся приоритетными при изучении системы Mn-Ge.

Исходя из вышесказанного диссертационная работа посвящена изучению процессов фазоформирования (последовательности фазовых превращений) в зависимости от атомного соотношения реагирующих слоев и от температуры вакуумной термообработки в двухслойных системах Fe/Mn и Mn/Ge. Кроме того, не только синтез, но и изучение структурных и магнитных свойств вновь формируемых фаз в тонкопленочном состоянии с использованием межслойных химических взаимодействий (твердофазных реакций) в данных системах несомненно являются актуальной задачей.

Диссертация изложена на 111 стр. машинописного текста, включая 35 рисунков и 4 таблицы. Состоит из введения, обзора литературы, главы с содержанием описаний оборудования и приборов для исследования, а также технологии получения слоистых структур и их термообработки, 4-х глав, посвященных изложению экспериментальных результатов, пяти основных выводов и списка использованных литературных источников (138 наименований).

Литературный обзор посвящен рассмотрению принципов использования твердофазных реакций и их особенностей в массивных образцах и в тонких пленках для синтеза новых материалов. Описываются известные особенности сплавов Fe-Mn и Mn-Ge, а также бинарных систем. Рассматриваются различные аспекты, относящихся к разбавленным магнитным полупроводникам, такие как происхождение ферромагнетизма, особенности спинодального распада твердых растворов и возможность изменения физических свойств с помощью образования фаз Новотного (фаз внедрения). По результатам обзора литературы достаточно полно сформулированы проблемы и задачи в данной области научных исследований.

В своей работе А.А. Мацынин использует широкий набор современного технологического и аналитического оборудования, методов изучения структурных, электрических, магнитных свойств и фазовых особенностей. Корректность выполненных с их применением исследований (описанных в главе II) и достоверность полученных экспериментальных результатов не вызывает сомнений. Для синтеза материалов автором использован метод последовательного вакуумного отжига, предварительно нанесенных в высоком вакууме двухслойных Fe/Mn и Mn/Ge плёнок.

В следующей главе представлено описание синтеза пленок $\text{Fe}_x\text{Mn}_{1-x}$ сплавов, как поликристаллических на стеклянных подложках, так и эпитаксиальных Mn/Fe(001) образцов на подложке MgO(001), осуществленного А. А. Мацыниным при использовании вакуумных отжигов. Представлены типы структурных изменений, содержащих аустенитную и мартенситную фазы, от температуры отжига, анализ физических свойств магнитных фаз. Установлена последовательность формирования фаз в системе Fe/Mn в зависимости от температуры отжига. Отмечено и объяснено частичное восстановление Fe после отжига при температуре выше 600 °С, при этом вновь восстановленные кристаллиты железа эпитаксиально связаны с подложкой MgO(001). Обнаружено, что температура инициирования твердофазной реакции (образование твердого раствора Mn в Fe) совпадает с температурой обратного мартенситного перехода в системе Fe-Mn. Изучение фазовых превращений, структурных изменений и магнитных свойств в системе Fe/Mn, проведенные в данной главе, показало, что путем термообработки с низкими температурами (~ 220 °С) существует возможность достаточно простым способом изготавливать тонкопленочные $\text{Fe}_x\text{Mn}_{1-x}$ материалы с заранее заданными параметрами.

Три остальные главы посвящены изучению тонкопленочной системы Mn-Ge различного состава. Установлены последовательности фазовых превращений и измерены магнитные свойства синтезированных фаз в двухслойных структурах с атомным соотношением слоев 20Mn/80Ge,

60Mn/40Ge, 80Mn/20Ge при их вакуумных отжигах. В этих главах установлена температура (120°C) начала твердофазного синтеза ферромагнитной фазы – Mn_5Ge_3 , которая не меняется для всех исследуемых составов. Температура формирования ферромагнитной фазы совпадает с температурой спинодального распада (образование кластеров Mn_5Ge_3 с магнитным порядком) в $\text{Mn}_x\text{Ge}_{1-x}$ твёрдом растворе. Высказано предположение, что это явление и является причиной образования ферромагнитной фазы, именно при этой температуре.

В работе Мацынина получены нетривиальные физические и материаловедческие результаты с применением рентгеновских структурных исследований и их обсуждение проведено на уровне современных научных представлений, что позволяет говорить о их достоверности. Основные из них.

1. Приведенные автором технологические методики синтеза материалов с использованием твердофазных реакций позволяют изготавливать необходимые пленочные материалы с заданными физическими свойствами при достаточно низких температурах термообработки.
2. Экспериментально показано, что независимо от состава реагентов первой образуется всегда одна и та же фаза (для системы Ge/Mn) - ферромагнитная фаза Mn_5Ge_3 , которая совпадает с температурой спинодального распада. Это явление совместно с эффектом совпадения начала синтеза твердого раствора в системе Fe/Mn с температурой обратного мартенситного превращения позволяет говорить об общих физико-химических принципах твердофазного синтеза.
3. Показан способ увеличения намагниченности и температуры Кюри ферромагнитной фазы в системе Mn-Ge в результате образования фазы Новотного (фазы внедрения). Автором показано, что не только углерод, но и кислород участвует в образовании фазы Новотного. Полученные результаты согласуются с литературными данными Mn - Ge системы

А.А. Мацыниним представлена интересная, детально проработанная экспериментальная работа. Достоверность и корректность представленных результатов не вызывает сомнений. Сделанные выводы обоснованы. Автореферат вполне отражает содержание диссертационной работы. Результаты достаточно полно опубликованы в реферируемых изданиях, прошли апробацию на всероссийских и международных конференциях.

В тоже время по диссертационной работе имеются следующие вопросы и замечания:

1. В литературном обзоре для системы Mn-Ge много говорится о магнитных кластерах, но, к сожалению, в экспериментальной части о них не упоминается. Возникает вопрос, присутствуют ли они в исследуемых образцах?
2. В работе показана зависимость электрического сопротивления образца от температуры пленочной системы Fe/Mn и при повторном нагреве видна петля. Возникает вопрос претерпевает ли она какие-либо изменения при 3,4, 5 и т.д. циклах? Если да, то с чем это связано?
3. Автор детально исследует образцы от 20 до 80% Mn, а в литературном обзоре говорится о легировании 5% Mn и менее в Ge. Возникает вопрос, почему данная область концентраций не была затронута?
4. Автор утверждает о влиянии кислорода и углерода на магнитные свойства Mn_5Ge_3 фазы. Однако не говорится ничего о влиянии других газов, такие как азот, которые также могут присутствовать в камере отжига.
5. На некоторых дифрактограммах имеются не идентифицированные отражения.
6. Работа выглядела более убедительной, если бы присутствовали электронно-микроскопические данные.
7. В работе присутствует незначительное количество стилистических и орфографических ошибок. Подписи к рисункам выполнены на русском языке, за исключением нескольких (рис. 5, 7, 8, 17).

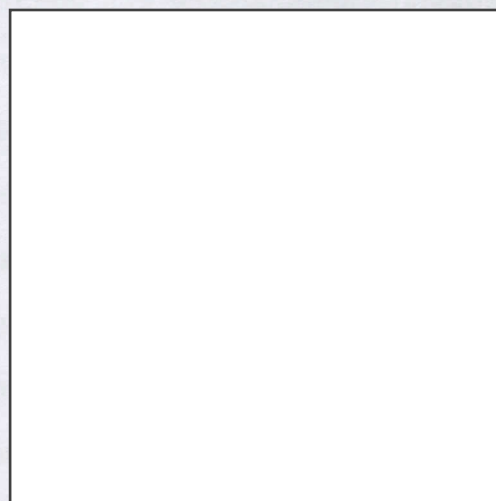
Отмеченные недостатки диссертационной работы не меняют общей положительной оценки работы, не умаляют ее научных достоинств и высокой практической значимости. Диссертация А. А. Мацынина представляет собой законченную самостоятельную научную работу на актуальную тему, содержащую большой экспериментальный материал, имеющий научную новизну и практическую значимость.

По формальным признакам, уровню научных и практических результатов представленная диссертационная работа удовлетворяет требованиям ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Мацынин Алексей Александрович заслуживает присвоение искомой ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния.

Официальный оппонент,
доктор физико-математических наук,
профессор, проректор по научной и
инновационной деятельности,
Сибирский государственный
аэрокосмический университет имени
академика М.Ф. Решетнева,
г. Красноярск, пр. им. газеты
«Красноярский рабочий», 31,
тел. 291-91-90, loginov@sibsau.ru



Ю.Ю. Логинов



СПИСОК

Опубликованных научных и учебно-методических работ

Логинов Юрий Юрьевич

№ п/п	Наименование работы	Вид работы	Выходные данные	Соавторы
1	2	3	4	5
1	Влияние режимов роста монокристаллов на перенос и накопление примесных атомов в растущем кристалле	Печатн.	Вестн. Сиб. гос. аэрокосмич. ун-та им. акад. М.Ф.Решетнева. 2009, вып. 4(25). - С.120-124.	Ленченко В.М., Мозжерин А.В.
2	Лавинное умножение и излучательная рекомбинация носителей тока в кремниевых солнечных элементах	Печатн.	Вестн. Сиб. гос. аэрокосмич. ун-та им. акад. М.Ф.Решетнева. 2010, вып. 4(30). - С.11-15.	Ленченко В.М., Мозжерин А.В.
3	Анализ тепловых и рекомбинационных потерь фототока в солнечных элементах космических аппаратов	Печатн.	Вестн. Сиб. гос. аэрокосмич. ун-та им. акад. М.Ф.Решетнева. 2011, вып. 3(36). - С.43-48.	Ленченко В.М., Мозжерин А.В.
4	Исследование коэволюционного алгоритма генетического программирования и его применение в задаче моделирования фазовых границ магнитного состояния кристалла	Печатн.	Вестн. Сиб. гос. аэрокосмич. ун-та им. акад. М.Ф.Решетнева. 2011, вып. 5 (38). - С.9-14.	Аплеснин С.С., Жуков В.Г.
5	Влияние упругих напряжений на формирование структурных дефектов в полупроводниках	Печатн.	Вестн. Сиб. гос. аэрокосмич. ун-та им. акад. М.Ф.Решетнева. 2013, вып. 2 (48). - С.198-200.	Мозжерин А.В., Брильков А.В.
6	Электронно-микроскопические исследования дефектообразования в легированных примесями монокристаллах CdTe, ZnS и ZnSe	Печатн.	Вестн. Сиб. гос. аэрокосмич. ун-та им. акад. М.Ф.Решетнева. 2013, вып. 3 (49). - С.209-211.	Мозжерин А.В., Брильков А.В.
7	Зависимость критического радиуса частичных дислокационных петель от энергии дефекта упаковки в полупроводниках	Печатн.	ФТТ. 2014, т.56, № 4, С. 692-694.	Мозжерин А.В., Брильков А.В.

Список верен:

Ученый секретарь СибГАУ

Печать организации



А.Е.Гончаров